

STUDIO SULLA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE: DALL'ANALISI  
CONOSCITIVA ALLE STRATEGIE DI SALVAGUARDIA E TUTELA

# STUDIO SULLA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE: DALL'ANALISI CONOSCITIVA ALLE STRATEGIE DI SALVAGUARDIA E TUTELA

*Giorgio Ghiglieri, Giulio Barbieri, Antonio Vernier*

2006 ENEA  
Ente per le Nuove Tecnologie  
L'Energia e l'Ambiente  
Lungotevere Thaon di Revel, 76  
00196 Roma  
  
ISBN 88-8286-147-3

## **Organismi di appartenenza degli autori**

*Giorgio Ghiglieri*

Dipartimento Ingegneria del Territorio, Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata; Nucleo Ricerca Desertificazione:  
Viale Italia, 07100 Sassari, Università degli Studi di Sassari

*Giulio Barbieri, Antonio Vernier*

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Geologia Applicata e Geofisica Applicata: P.zza d'Armi, 09100  
Cagliari, Università degli Studi di Cagliari

## **Ringraziamenti**

Un sentito ringraziamento ai partecipanti del progetto, che con le loro competenze scientifiche hanno reso possibile la realizzazione della ricerca

## **Organismi, ricercatori, e co-autori che hanno promosso la ricerca**

*Alberto Carletti, Nicola Demurtas, Rosanna Pinna, Daniele Pittalis, Angelo Vigo*

Dipartimento Ingegneria del Territorio; Nucleo Ricerca Desertificazione – Università degli Studi di Sassari

*Tamiru Alemayeu*

Università di Addis Abeba – Etiopia

Hanno inoltre contribuito per:

- inquadramento geologico tettonico  
Giacomo Oggiano: Istituto di Scienze Geologico-mineralogiche - Università degli Studi di Sassari;
- analisi di laboratorio per acque e suoli  
Mario Deroma: Dipartimento Ingegneria del Territorio – Università degli Studi di Sassari
- caratterizzazione idrogeochimica delle acque  
Dolores Fidelibus: Politecnico di Bari – Università degli Studi di Bari;
- prospezioni geofisiche  
Roberto Balia, Massimiliano Bianco: Dipartimento Ingegneria del Territorio–Università degli Studi di Cagliari
- inquadramento pedologico  
Salvatore Madrau: Dipartimento Ingegneria del Territorio, Nucleo Ricerca Desertificazione  
– Università degli Studi di Sassari
- modellizzazione afflussi-deflussi  
Marcello Niedda, Mario Pirastru, Fabio Cambula: Dipartimento Ingegneria del Territorio,  
– Università degli Studi di Sassari
- inquadramento climatico  
Andrea Motroni, Simona Canu, Michele Fiori, Antonello Cossu: SAR (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna)
- studio socio-economico  
Elisabetta Strazzerà, Giovanni Sistu, Vania Statzu: Facoltà di Scienze Politiche – Università degli Studi di Cagliari

Gli indirizzi di posta elettronica degli autori sono: [ghiglieri@uniss.it](mailto:ghiglieri@uniss.it); [barbieri@unica.it](mailto:barbieri@unica.it); [a.vernier@unica.it](mailto:a.vernier@unica.it)

STUDIO SULLA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE  
RISORSE IDRICHE: DALL'ANALISI CONOSCITIVA  
ALLE STRATEGIE DI SALVAGUARDIA E TUTELA

GIORGIO GHIGLIERI

GIULIO BARBIERI

ANTONIO VERNIER



## ELENCO DELLE MONOGRAFIE

RIADE “Ricerca Integrata per l’Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione” ha proposto e realizzato un avanzamento non solo nelle conoscenze settoriali, ma nell’approccio integrato e multidisciplinare, indispensabile per una tematica così complessa come la desertificazione. Di seguito sono riportate le 12 monografie prodotte nel corso delle attività di progetto, che documentano il lavoro svolto ed i risultati conseguiti.

1. La desertificazione in Italia e il progetto RIADE
2. Caratterizzazione tipologica dei fenomeni di desertificazione nell’Italia meridionale ed insulare
3. Indicatori di desertificazione: approccio integrato e supporto alle decisioni
4. Tecnologie innovative per l’analisi di variabili climatiche
5. Nuove tecnologie per lo studio della vegetazione in relazione ai cambiamenti climatici
6. Ricerca di metodi innovativi per l’analisi e la valutazione dell’erosione dei suoli mediante analisi isotopiche
7. La sostanza organica e la desertificazione: aspetti sperimentali e modellistica
8. Salinizzazione e qualità delle acque: impatti e ipotesi di mitigazione
9. Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall’analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela
10. Lettura dinamica delle relazioni tra territorio, insediamenti umani ed utilizzo delle risorse naturali: sistematizzazione e riproposizione in chiave innovativa delle conoscenze e tecniche tradizionali
11. Modellistica ambientale e sistemi di supporto alle decisioni per la lotta alla desertificazione
12. Appunti da un viaggio di studio...ciò che abbiamo imparato e che non avremmo altrimenti appreso (dal Master F-RIADE)

<http://www.riade.net>

Ricerca Integrata per l’Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione



## **NDICE**

<b>INTRODUZIONE</b>	13
<b>CAPITOLO 1</b>	
<b>MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL WP 4.4</b>	15
<b>1.1 Motivazione e quadro di riferimento concettuale per la sistematizzazione tipologica dei fenomeni di degrado delle risorse idriche</b>	15
<b>1.2 Generalità sulle Risorse Idriche in Sardegna</b>	16
<b>1.3 Obiettivi generali del progetto</b>	17
<b>1.4 Scelta dell'area di studio e obiettivi specifici</b>	18
<b>1.5 Inquadramento dell'area in studio</b>	19
<b>CAPITOLO 2</b>	
<b>SET DI DATI ESISTENTI DI LETTERATURA SCIENTIFICA, RAPPORTI E RELAZIONI TECNICHE, CARTOGRAFIA DI BASE</b>	21
<b>2.1 Acquisizione dei dati per l'area in studio</b>	22
<i>2.1.1 Ricerca bibliografica dati esistenti e di letteratura scientifica</i>	22
<i>2.1.2 Ricerca bibliografica presso gli Enti Territoriali</i>	23
<i>2.1.3 Dati topografici</i>	24
<i>2.1.4 Dati geologico-strutturali</i>	25
<i>2.1.5 Dati idrologici</i>	30
<b>CAPITOLO 3</b>	
<b>INQUADRAMENTO CLIMATICO</b>	31
<b>3.1 Elaborazione di mappe meteo-climatiche e di indici derivati, per il territorio della Nurra</b>	31
<b>3.2 Indicatori climatici per l'individuazione delle aree più sensibili alla siccità e alla desertificazione in Sardegna</b>	33
<b>CAPITOLO 4</b>	
<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO</b>	39
<b>4.1 Stratigrafia</b>	42
<i>4.1.1 Il basamento varisico</i>	42
<i>4.1.2 Coperture paleozoiche e mesozoiche</i>	42
<i>4.1.3 Depositi sedimentari cenozoici</i>	44
<i>4.1.4 Depositi sedimentari quaternari</i>	44
<i>4.1.5 Successione vulcanica oligo-miocenica</i>	45
<i>4.1.5.1 I flussi piroclastici</i>	45
<i>4.1.5.2 Lave in domi e ammassi sub-vulcanici</i>	45
<b>4.2 L'assetto strutturale</b>	46
<i>4.2.1 Tettonica varisica</i>	46
<i>4.2.2 Tettonica mesozoica</i>	46
<i>4.2.3 Tettonica cenozoica</i>	47

<b>4.3 Prospezione gravimetrica</b>	47
4.3.1 Generalità	47
4.3.2 Profilo gravimetrico Monte Doglia – La Crucca	48
4.3.3 Profilo gravimetrico Punta Pedru Ghisu – Monte Maggiore	49
<b>4.4 Sintesi dei risultati</b>	49
<b>CAPITOLO 5</b>	
<b>PEDOLOGIA</b>	55
<b>5.1 I suoli</b>	55
5.1.1 La Soil Taxonomy	56
5.1.2 La Legenda FAO-UNESCO alla Carta Mondiale dei Suoli	56
<b>5.2 Le unità fisiografiche</b>	57
5.2.1 <i>a- paesaggi delle formazioni metamorfiche del Paleozoico (filladi, filladi sericitiche, quarzitoscisti, quarziti ecc.), e relativi depositi di versante</i>	58
5.2.1.1 i- unità cartografica 1	58
5.2.1.2 ii- unità cartografica 2	59
5.2.1.3 iii- unità cartografica 3	60
5.2.2 <i>c- Paesaggi delle formazioni arenacee del Permo - Trias e relativi depositi di versante</i>	61
5.2.2.1 i- unità cartografica 9	61
5.2.3 <i>d- paesaggi delle formazioni calcaree cristalline del Mesozoico e relativi depositi di versante</i>	62
5.2.3.1 i- unità cartografica 10	62
5.2.3.2 ii- unità cartografica 11	63
5.2.3.3 iii- unità cartografica 12	64
5.2.4 <i>e - paesaggi delle formazioni effusive acide del Mesozoico e relativi depositi di versante</i>	64
5.2.4.1 i- unità cartografica 13	64
5.2.4.2 ii- unità cartografica 14	65
5.2.4.3 iii- unità cartografica 15	66
5.2.4.4 iv- unità cartografica 16	66
5.2.4.5 v- Unità cartografica 17	67
5.2.4.6 vi- unità cartografica 18	67
5.2.5 <i>h - unità di paesaggio delle alluvioni mio-plioceniche e pleistoceniche e dei depositi eolici pleistocenici</i>	68
5.2.5.1 i- unità cartografica 32	68
5.2.5.2 iii- unità cartografica 34	69
5.2.5.3 iv- unità cartografica 35	70
5.2.5.4 v- unità cartografica 36	71
5.2.5.5 vi- unità cartografica 37	72
5.2.5.6 vii- unità cartografica 38	72
5.2.5.7 viii- unità cartografica 40	73
5.2.6 <i>i - paesaggi delle alluvioni recenti ed attuali</i>	73
5.2.6.1 i- unità cartografica 41	73
5.2.6.2 ii- unità cartografica 42	74
5.2.6.3 iii- unità cartografica 43	75

5.2.7	<i>I - paesaggi dei depositi eolici dell'Olocene</i>	76
5.2.7.1	i - unità cartografica 44	76
5.2.8	<i>m - paesaggi delle aree urbanizzate</i>	76
5.2.8.1	i- unità cartografica 45: aree urbane	76
5.2.8.2	ii- unità cartografica 46: aree industriali	76
5.2.8.3	iii- unità cartografica 47: aeroporti, aree soggette a servitù militari	76
5.2.8.4	iv- unità cartografica 48: cave e discariche	76
<b>5.3</b>	<b>L'attività di ricerca pedologica nell'ambito del progetto RIADE</b>	76

## **CAPITOLO 6**

### **USO DEL SUOLO**

97

## **CAPITOLO 7**

### **SCHEMI ACQUEDOTTISTICI, CENSIMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELLE VARIE UTENZE**

103

<b>7.1</b>	<b>Fonti e acquisizione dati</b>	103
7.1.1	<i>Usi civili e industriali</i>	103
7.1.2	<i>Usi irrigui</i>	104
7.1.3	<i>Sistemi depurativi</i>	109
7.1.4	<i>Il GIS degli schemi acquedottistici</i>	109
<b>7.2</b>	<b>Gli invasi artificiali</b>	110
7.2.1	<i>Invaso del Cuga</i>	110
7.2.2	<i>Invaso dell'Alto Temo (Monteleone Roccadoria)</i>	111
7.2.3	<i>Invaso di Surigheddu</i>	112
7.2.4	<i>Invaso del Bidighinzu</i>	113
7.2.5	<i>Invasi del Bunnari</i>	113
7.2.6	<i>Invasi del Coghinas a Muzzone e del Coghinas a Casteldoria</i>	113
<b>7.3</b>	<b>Reti di distribuzione multisettoriale</b>	113
7.3.1	<i>Reti di distribuzione civile ed industriale</i>	114
7.3.1.1	<i>Coghinas 1</i>	114
7.3.1.2	<i>Coghinas 2</i>	116
7.3.1.3	<i>Interconnessione Coghinas 1- Coghinas 2</i>	116
7.3.1.4	<i>Truncu Reale - Monte Agnese</i>	116
7.3.1.5	<i>Schema n° 6 Porto Torres - Sassari - Sorso</i>	117
7.3.1.6	<i>Schema n° 9 Alghero - Cuga</i>	118
7.3.1.7	<i>Schema n° 7 Bidighinzu</i>	119
7.3.1.8	<i>Schema n° 12 Temo</i>	120
7.3.1.9	<i>San Marco 1 e San Marco 2</i>	120
7.3.1.10	<i>Quadro riassuntivo per le utenze civili</i>	121
7.3.2	<i>Rete di distribuzione irrigua del Consorzio di Bonifica della Nurra</i>	122
<b>7.4</b>	<b>Principali usi, consumi irrigui e sistemi di tariffazione</b>	123
<b>7.5</b>	<b>Sistemi di depurazione</b>	129
<b>7.6</b>	<b>Flussi idrici disponibili</b>	132

<b>CAPITOLO 8</b>	
<b>CARATTERISTICHE DELLA RETE IDROGRAFICA</b>	139
<b>8.1 Rete idrografica</b>	139
<b>8.2 Monitoraggio deflussi e primi risultati della modellizzazione afflussi-deflussi</b>	140
<b>8.3 I sottobacini monitorati</b>	143
<b>8.4 Il rilievo in campo dei deflussi idrici superficiali</b>	148
<b>8.5 Il modello matematico per la simulazione delle portate</b>	154
<b>8.6 Considerazioni finali</b>	158
<b>CAPITOLO 9</b>	
<b>RILIEVI IDROGEOLOGICI</b>	161
<b>9.1 Impostazione dei rilievi idrogeologici</b>	161
<b>9.2 Censimento pozzi e primi rilievi idrogeologici speditivi (ottobre 2003-febbraio 2004)</b>	162
<b>9.3 Elaborazioni dei dati: I fase</b>	170
<b>9.4 Campionamento orientativo (giugno 2004)</b>	175
<b>9.5 Elaborazioni dei dati: II fase</b>	178
<b>9.6 Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi</b>	<b>190</b>
<i>9.6.1 Impostazione della rete preliminare</i>	190
<i>9.6.2 Monitoraggio settembre 2004: rilievi idrogeologici speditivi</i>	192
<i>9.6.3 Monitoraggio dicembre 2004: rilievi idrogeologici e campionamento</i>	192
<b>9.7 Censimento e rilievi idrogeologici integrativi nelle aeree esterne al bacino (aprile 2005)</b>	195
<i>9.7.1 Mesozoico</i>	195
<i>9.7.2 Miocene</i>	195
<b>9.8 Rete di monitoraggio definitiva dei pozzi</b>	199
<i>9.8.1 Impostazione della rete</i>	199
<i>9.8.2 Monitoraggio giugno 2005: rilievi idrogeologici e campionamento</i>	199
<b>9.9 Rilievi idrogeologici nelle sorgenti</b>	<b>202</b>
<i>9.9.1 Censimento delle sorgenti</i>	202
<b>9.10 Isopiezometriche degli acquiferi</b>	<b>206</b>
<b>CAPITOLO 10</b>	
<b>IDROGEOCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI</b>	209
<b>10.1 Metodiche analitiche</b>	209
<i>10.1.1 Modalità di prelievo del campione</i>	209
<i>10.1.2 Analisi eseguite in situ</i>	210
<i>10.1.2.1 NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	210
<i>10.1.2.2 Ossigeno disciolto</i>	210
<i>10.1.2.3 rH potenziale di ossido-riduzione</i>	210
<i>10.1.3 Stabilizzazione dei campioni d'acqua</i>	210
<i>10.1.4 Analisi fisico-chimiche eseguite in laboratorio</i>	211
<i>10.1.4.1 Conducibilità elettrica</i>	211
<i>10.1.4.2 Ione bicarbonato</i>	211
<i>10.1.4.3 Cationi principali: calcio, magnesio, sodio, potassio</i>	211

10.1.4.4 Cationi minori: zinco, ferro, litio, manganese, cadmio, piombo	212
10.1.4.5 Anioni: fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, solfati, fosfati	212
10.1.4.6 Silice	212
10.1.4.7 Residuo fisso 110 °C e 180 °C	213
<b>10.2 L'interpretazione idrogeochimica</b>	213
<b>10.3 Contenuto in solidi disciolti (TDS)</b>	214
<b>10.4 Facies idrochimiche</b>	217
<b>10.5 Distribuzione areale di alcuni parametri</b>	220
<i>10.5.1 Ricostruzione della distribuzione areale delle quote di fondo pozzo</i>	220
<i>10.5.2 Distribuzione areale della Temperatura</i>	222
<i>10.5.3 Distribuzione del contenuto salino (TDS)</i>	225
<b>10.6 Misure alle sorgenti</b>	227
<b>10.7 Costituenti maggiori</b>	229
<i>10.7.1 Calcio e magnesio</i>	229
<i>10.7.2 Sodio e potassio</i>	233
<i>10.7.3 Solfati</i>	236
<i>10.7.4 Bicarbonati</i>	239
<i>10.7.5 Silice</i>	241
<b>10.8 Interpretazioni conclusive di sintesi</b>	244
<b>10.9 Analisi Isotopiche delle acque sotterranee</b>	246
<i>10.9.1 Cenni teorici</i>	246
<i>10.9.2 Gli isotopi stabili ossigeno-18 e deuterio</i>	246
<i>10.9.3 Il tritio</i>	247
<b>10.10 Indagine isotopica nell'area in studio</b>	247
<i>10.10.1 Isotopi stabili e tritio</i>	247
<b>CAPITOLO 11</b>	
<b>CARATTERIZZAZIONE DEGLI ACQUIFERI</b>	269
<b>11.1 Rapporti tra tettonica e geometrie degli acquiferi</b>	269
<b>11.2 Unità e complessi idrogeologici. Il bacino idrogeologico</b>	269
<i>11.2.1 Unità idrogeologica del Paleozoico</i>	270
<i>11.2.2 Unità idrogeologica del Mesozoico</i>	270
<i>11.2.3 Unità idrogeologica delle vulcaniti terziarie</i>	271
<i>11.2.4 Unità idrogeologica del Miocene</i>	271
<i>11.2.5 Unità idrogeologica del Quaternario</i>	271
<b>11.3 Isopiezometriche degli acquiferi</b>	272
<b>11.4 Regime, classificazione, curve di svuotamento e di esaurimento delle sorgenti</b>	272
<b>11.5 Interpretazione dei risultati</b>	274
<i>11.5.1 Studio delle curve di svuotamento e delle curve di esaurimento</i>	274
<b>11.6 Regime e classificazione delle sorgenti monitorate</b>	313
<i>11.6.1 Sorgenti che rispondono in modo immediato alle precipitazioni</i>	313
<i>11.6.2 Sorgenti che presentano una risposta ritardata alle precipitazioni</i>	313
<i>11.6.3 Sorgenti in cui, nelle fasi di ricarica e decremento, la conducibilità varia in modo conforme alla portata</i>	314
<i>11.6.4 Sorgenti in cui, nelle fasi di ricarica e decremento, la conducibilità varia in modo inverso alla portata</i>	314

<b>11.7 Bilancio idrogeologico e potenzialità degli acquiferi</b>	322
<i>11.7.1 Calcolo dei componenti del bilancio idrogeologico</i>	323
<i>11.7.2 Calcolo delle riserve regolatrici</i>	334
<i>11.7.3 Rendimento unitario medio degli acquiferi</i>	339
<i>11.7.4 Verifica del ruscellamento superficiale stimato con il ruscellamento superficiale misurato</i>	340
<b>CAPITOLO 12</b>	
<b>VULNERABILITA' E RISCHIO POTENZIALE D'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI</b>	343
<b>12.1 Introduzione</b>	343
<b>12.2 La valutazione della vulnerabilità intrinseca ed integrata all'inquinamento degli acquiferi: il modello SINTACS</b>	344
<i>12.2.1 Generalità</i>	344
<i>12.2.2 Il modello di calcolo SINTACS</i>	345
<i>12.2.3 L'indice di vulnerabilità SINTACS</i>	348
<b>12.3 La vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi dell'area in studio</b>	350
<i>12.3.1 Discretizzazione dell'area</i>	350
<i>12.3.2 Parametri SINTACS</i>	350
<i>12.3.3 La Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi</i>	362
<b>12.4 La vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi dell'area in studio</b>	366
<i>12.4.1 I centri di pericolo ed inquinanti potenziali</i>	366
<i>12.4.2 La carta della Vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi</i>	385
<b>12.5 Valutazione della Pericolosità da nitrati di origine agricola: il modello IPNOA</b>	388
<i>12.5.1 Fattori di pericolo</i>	389
<i>12.5.2 Fattori di controllo</i>	391
<b>12.6 Valutazione del rischio potenziale di inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola</b>	394
<b>12.7 Valutazione della pericolosità d'inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola, mediante l'IPNOA, nell'area in studio</b>	395
<i>12.7.1 Determinazione dei fattori di pericolo e di controllo</i>	395
<i>12.7.2 Il calcolo IPNOA. La Carta di Pericolosità d'inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola</i>	405
<b>12.8 Valutazione del Rischio Potenziale di Inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola nell'area in studio</b>	408
<i>12.8.1 Validazione e verifica del modello applicato</i>	411
<b>CAPITOLO 13</b>	415
<b>STATO QUALITATIVO DELLE RISORSE IDRICHE</b>	
<b>13.1 La qualità di base delle acque sotterranee</b>	415
<i>13.1.1 Valutazione della qualità di base delle acque destinate al consumo umano</i>	416
<i>13.1.2 Valutazione della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo</i>	418

<b>13.2 Valutazione, per l'area in studio, della qualità di base per il consumo umano delle acque sotterranee</b>	420
<i>13.2.1 Rete di monitoraggio preliminare</i>	420
13.2.1.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)	421
13.2.1.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)	422
13.2.1.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)	423
13.2.1.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)	423
13.2.1.5 Distribuzione della qualità di base per il consumo umano nella rete di monitoraggio preliminare	424
<i>13.2.2 Rete di monitoraggio definitiva</i>	425
13.2.2.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)	427
13.2.2.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)	428
13.2.2.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)	428
13.2.2.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)	429
13.2.2.5 Distribuzione della qualità di base per il consumo umano nella rete di monitoraggio definitiva	430
<b>13.3 Valutazione, per l'area in studio, della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso irriguo</b>	431
<i>13.3.1 Rete di monitoraggio preliminare</i>	431
13.3.1.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)	432
13.3.1.2 Acquifero del Giura (cc(G) - complesso calcareo)	432
13.3.1.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)	433
13.3.1.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)	433
13.3.1.5 Distribuzione della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio preliminare	435
<i>13.3.2 Rete di monitoraggio definitiva</i>	436
13.3.2.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)	437
13.3.2.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)	438
13.3.2.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)	439
13.3.2.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)	439
13.3.2.5 Distribuzione della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio definitiva	439
<b>13.4 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici secondo il D.Lgs. 152/99</b>	441
<i>13.4.1 Il D.Lgs. 152/99</i>	442
<i>13.4.2 Descrizione dei contenuti dell'Allegato n. 1 del D.Lgs. 152/99</i>	444
13.4.2.1 Definizione dei corpi idrici significativi	444
13.4.2.1.1 Corpi idrici superficiali	444
13.4.2.1.2 Corpi idrici sotterranei	445
13.4.2.2 Definizione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici significativi	446
13.4.2.2.1 Corpi idrici superficiali	446
13.4.2.2.2 Corpi idrici sotterranei	448
13.4.2.3 Monitoraggio e classificazione	448
13.4.2.3.1 Corpi idrici superficiali	448
13.4.2.3.2 Corpi idrici sotterranei	456

<b>13.5 La classificazione dei corpi idrici dell'area in studio secondo il D.Lgs.152/99</b>	460
<b>13.6 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici superficiali</b>	461
<i>13.6.1 Criticità per la qualità ambientale</i>	465
<b>13.7 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei dell'area in studio</b>	471
<i>13.7.1 Classificazione dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei</i>	472
13.7.1.1 Acquifero del Trias – csc(T) complesso sedimentario composito	475
13.7.1.2 Acquifero del Giura – cc(G) complesso calcareo	478
13.7.1.3 Acquifero del Cretaceo – ccm(C) complesso calcareo marnoso	481
13.7.1.4 Acquifero dell'Oligo–Miocene – cpi(OM) complesso piroclastico	484
13.7.1.5 Acquifero del Miocene – cmc(Mc) complesso marnoso calcareo	487
13.7.1.6 Acquifero del Quaternario – csr(Q) complesso sedimentario recente	489
<i>13.7.2 Distribuzione areale delle classi di qualità dello stato chimico</i>	490
<i>13.7.3 Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei</i>	497
<i>13.7.4 Classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei</i>	498
<b>13.8 Individuazione di indicatori di qualità ambientale delle acque sotterranee</b>	499
<b>13.9 Valutazione della qualità delle acque sotterranee dell'area in studio sulla base del D.S.A. e degli ID delle sostanze azotate</b>	501
<i>13.9.1 Rete di monitoraggio preliminare</i>	501
<i>13.9.2 Rete di monitoraggio definitiva</i>	508
<b>13.10 Verifica dei modelli di previsione con i dati sulla qualità delle RIS</b>	514
<b>CAPITOLO 14</b>	
<b>STANDARDIZZAZIONE ED ARMONIZZAZIONE DI DATI E METADATI</b>	519
<b>14.1 Standardizzazione dei dati</b>	519
<b>14.2 Standardizzazione dei metadati</b>	522
<b>CONCLUSIONI</b>	527
<b>ATTIVITÀ DI FORMAZIONE, DIVULGAZIONE E INTERNAZIONALIZZAZIONE DEL WP 4.4</b>	531
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	535

## INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività di ricerca multidisciplinari, volte a contrastare e/o a mitigare i processi di desertificazione, un ruolo importante deve essere attribuito alle tematiche relative ad una corretta gestione delle risorse idriche, finalizzata al controllo ed alla conservazione quantitativa e qualitativa della risorsa. Il degrado qualitativo e quantitativo delle acque costituisce infatti una seria problematica ambientale laddove l'approvvigionamento idrico per usi civili, agricoli ed industriali, deve fare affidamento allo sfruttamento di queste risorse.

Le pressioni di tipo antropico, legate anche alle attività produttive ed ai loro impatti (lo scarico incontrollato di reflui di varia origine, l'irrorazione di sostanze chimiche per trattamenti antiparassitari e concimazioni, il sovrasfruttamento delle acque sotterranee, i fenomeni d'intrusione di acqua marina ecc.), possono produrre un degrado quali-quantitativo di questa risorsa, rendendola inadatta ai vari usi ed in particolare a quelli più pregiati (idropotabili e ambientali). In tal senso il degrado delle risorse idriche di un territorio, influenzando negativamente sugli ambienti naturali e sulla crescita socio-economica dell'area, costituisce un fondamentale indicatore dei processi di desertificazione, intesi nell'accezione più generale di degrado del territorio derivante da diversi fattori, comprese le variazioni climatiche e l'impatto antropico [Barbieri, Ghiglieri, Vernier 2004] [UNEP 1994].

La necessità di individuare degli indicatori di qualità ambientale è una delle priorità evidenziate dalla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNNCD-United Nations Convention to Combat Desertification). La UNNCD individua negli indicatori (art.16-lettera c) lo strumento necessario per supportare operativamente un largo spettro di attività, quali la stima, la valutazione e la rappresentazione cartografica delle dimensioni del fenomeno, nonché per individuarne le cause, quantificarne gli impatti, giustificare la spesa per gli interventi di mitigazione, monitorare l'efficacia degli interventi stessi.

Il presente lavoro illustra e propone un processo metodologico di impostazione di uno studio multidisciplinare della risorsa idrica, a scala di bacino idrografico e/o idrogeologico in ambiente mediterraneo, partendo da un caso di studio in un'area campione della Sardegna. I criteri di scelta dell'area pilota, individuata nel bacino del Calich, sono stati dettati dall'esigenza di soddisfare alcune peculiarità quali: presenza di corpi idrici superficiali (fiumi, canali, dighe ecc.), acquiferi superficiali e profondi, agglomerati urbani e attività produttive, che generano quindi usi competitivi della risorsa idrica.

Questa ricerca rientra tra le attività previste dal progetto RIADE [Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione [www.riade.net](http://www.riade.net)] nell'ambito dell'Obiettivo Realizzativo 4 (OR 4), *Sistema innovativo di supporto alle decisioni per la gestione degli interventi per la lotta alla desertificazione*.

Il progetto RIADE è cofinanziato dal MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) (Prat. MIUR 12948) nell'ambito del Programma Operativo Nazionale "Ricerca, Sviluppo Tecnologico e Alta Formazione" 2000-2006, con una partnership composta da: A.C.S. (Advanced Computer System), ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), NRD-Università di Sassari (Nucleo Ricerca Desertificazione).



## **CAPITOLO 1**

### **MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DEL WP 4.4**

#### **1.1 Motivazione e quadro di riferimento concettuale per la sistematizzazione tipologica dei fenomeni di degrado delle risorse idriche**

Le risorse idriche superficiali e sotterranee, considerate unitariamente sotto il duplice aspetto qualitativo e quantitativo, costituiscono un fattore essenziale e determinante di conservazione e sviluppo di ogni forma di vita ed, in quanto tali, risultano assolutamente necessarie al sostentamento e all'armonico sviluppo degli ambienti naturali ed alla crescita socio-economica del territorio. In tal senso il deterioramento quali-quantitativo delle risorse idriche di un territorio, influenzando negativamente sulle condizioni di sviluppo di ogni forma di vita e di organizzazione antropica, costituisce indubbiamente un fondamentale indicatore dei processi di desertificazione, intesi nell'accezione più generale di degrado del sistema bioprodotivo del territorio, dovuto a cause diverse, tra le quali primariamente le variazioni climatiche e le attività umane. D'altra parte, anche nel linguaggio comune, al termine desertificazione viene generalmente associato il concetto di mancanza parziale o totale di risorsa idrica.

Pur essendo considerato un indicatore fondamentale di desertificazione, il degrado della risorsa idrica costituisce in realtà una causa o concausa di desertificazione e non un effetto dei processi di desertificazione oggettivamente osservabili, come nel caso della degradazione dei suoli o delle foreste. Il reale impatto negativo che il degrado delle risorse idriche ha, o può avere, sullo sviluppo delle forme di vita naturali e organizzate, e cioè sullo sviluppo dei processi di desertificazione, è infatti legato all'utilizzo che concretamente si fa della risorsa idrica. Per questo motivo sembra più corretto parlare, in relazione al degrado delle acque, di potenziale indicatore di desertificazione, piuttosto che di indicatore certo ed oggettivo di desertificazione. In altre parole, una risorsa idrica sotterranea di pessima qualità, capace pertanto di provocare perdita di risorse naturali (suolo, vegetazione ecc.), potrebbe non costituire elemento assoluto di degrado se non venisse captata e utilizzata, e magari venisse sostituita con altra risorsa idrica derivata da altri bacini. Come pure una risorsa idrica prodotta in un determinato bacino idrografico non può e non deve essere messa in conto come fattore di sviluppo di quel bacino qualora venga derivata verso altri bacini, ma al contrario può costituire fattore di desertificazione del bacino stesso a cui è stata sottratta.

Altro elemento che rende difficoltosa la valutazione dell'impatto che le acque degradate possono avere sull'ambiente e sul territorio è l'impossibilità di definire, per le risorse idriche, standard minimi qualitativi e quantitativi necessari alla conservazione e al corretto sviluppo dell'ambiente e del territorio in cui tali risorse si rinvenivano naturalmente. Dal punto di vista quantitativo infatti le risorse idriche necessarie per un equilibrato sviluppo del territorio variano in funzione delle caratteristiche e del grado attuale dello sviluppo socio-economico del territorio stesso (insediamenti urbani e produttivi, uso del suolo ecc.). Ancor più dal punto di vista qualitativo appare difficile definire degli standard generali, perché certamente i requisiti di qualità richiesti alle acque differiscono, anche sensibilmente, a seconda dell'utenza a cui sono destinate (idropotabile, industriale e irrigua). Pertanto, una stessa risorsa idrica, qualitativamente e quantitativamente definita, potrebbe costituire elemento di degrado in un certo contesto territoriale e al contrario elemento di sviluppo in altri differenti contesti.

Nella valutazione del rapporto risorse idriche-desertificazione, un ruolo fondamentale giocano inoltre le infrastrutture ed i processi tecnologici che l'uomo è in grado di realizzare e utilizzare per una corretta e razionale gestione della risorsa. In tal senso debbono, per esempio, considerarsi a tutti gli effetti disponibili per lo sviluppo di un territorio anche le acque eventualmente derivate da altri bacini idrografici. Come pure non può considerarsi in senso assoluto indicatore di desertificazione una risorsa qualitativamente non elevata, se poi detta risorsa, attraverso opportuni processi depurativi, può essere resa idonea a soddisfare una certa tipologia di utenza (ad esempio trattamento delle acque reflue per scopi irrigui). L'analisi risulta a questo punto particolarmente complessa, perché non può essere disgiunta da una valutazione di carattere economico, tenuto anche conto che i costi aggiuntivi connessi alla realizzazione di infrastrutture e processi tecnologici costituiscono un elemento di perdita di redditività economica, che, nell'accezione più ampia di desertificazione, costituisce uno dei fattori dei processi stessi di desertificazione. Il rapporto tra degrado delle risorse idriche e desertificazione sarebbe invece più univocamente e più facilmente interpretabile se le risorse idriche insistessero in un ambiente naturale, in cui venissero utilizzate esclusivamente risorse locali, captate, immagazzinate o derivate nel loro stato qualitativo naturale [Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A. 2003].

## **1.2 Generalità sulle risorse idriche in Sardegna**

La Sardegna, a causa della sua peculiare posizione geografica ed a causa di eventi climatici estremi, quali siccità e/o alluvioni, succedutisi in particolare negli ultimi quindici anni, soffre di una scarsa disponibilità di risorse idriche e può quindi configurarsi come regione rappresentativa di una problematica molto diffusa e urgente in tutto il bacino del Mediterraneo.

Una prima ipotesi di gestione delle risorse idriche fu elaborata in Sardegna, nel 1988, con il "Piano delle acque". Lo scopo di questo documento di pianificazione fu quello di accertare se la domanda d'acqua per i vari usi (civile, agricolo e industriale) potesse essere soddisfatta nel lungo periodo e con quali infrastrutture. Il Piano prese in considerazione quasi esclusivamente le acque superficiali, considerando invece le acque sotterranee una risorsa locale e integrativa. Le valutazioni effettuate nell'ambito del Piano sono oggi parzialmente superate ed obsolete, a causa delle mutazioni naturali e antropiche avvenute negli ultimi 15 anni.

Nel 1995, in seguito ad un prolungato periodo siccitoso, il Governo Nazionale dichiarò lo stato di emergenza idrica in tutto il territorio dell'isola e nominò Commissario Governativo Regionale il Presidente della Giunta, dotandolo di poteri speciali, necessari per attivare una serie coordinata di azioni e interventi atti a garantire il superamento della crisi. Fu pertanto redatto un documento di base, il Piano d'Ambito, aggiornato al 2000, dove fu analizzato il problema idrico in Sardegna. Dal Piano d'Ambito, uno dei dati più esplicitivi che si evince è quello relativo al volume d'acqua disponibile, pari a 260 m<sup>3</sup> annui pro capite, stimato su una popolazione di 1.650.000 abitanti. Questo volume è nettamente inferiore alla soglia minima stabilita dagli esperti (1000 m<sup>3</sup> annui per abitante), al di sotto della quale la scarsità d'acqua diventa un grave fattore limitante per lo sviluppo economico di un territorio, non essendo in grado di soddisfare i fabbisogni per gli usi civili e produttivi. Altro dato interessante è che a fronte di un fabbisogno totale stimato pari a 1162 milioni di m<sup>3</sup> annui, di cui il 25,3% per usi civili,

il 5,3% per usi industriali e il 69,4% per usi agricoli, la risorsa idrica disponibile è pari a 690 milioni di m<sup>3</sup> annui. La risorsa idrica complessiva è a sua volta suddivisa in: acque superficiali derivate dagli invasi (617 milioni di m<sup>3</sup> annui); acque sotterranee per uso acquedottistico (73 milioni di m<sup>3</sup> annui).

Il Piano d'Ambito, governato dall'Autorità d'Ambito, è dunque lo strumento tramite il quale si dovrà gestire la risorsa idrica; questo prevede il raggiungimento, mediante interventi programmati, di elevati standard qualitativi e quantitativi. In Sardegna come Ambito Territoriale Ottimale (ATO), quale delimitazione territoriale ottimale ed efficiente per una gestione integrata della risorsa idrica, è stato definito l'intero territorio dell'isola [L.R. 29/97].

Nell'isola, l'approvvigionamento idrico per i differenti usi è per la maggior parte garantito dalle risorse idriche superficiali, regolamentate da dighe. In alcune aree le acque sotterranee rappresentano però un importante approvvigionamento idrico alternativo ma, poiché ancora oggi non esiste un *servizio di gestione*, esse non sono utilizzate razionalmente. Lo sfruttamento incontrollato, in alcuni casi, sta determinando un inarrestabile processo di deterioramento, in termini quantitativi e qualitativi, delle risorse idriche sotterranee (sovrasfruttamento, ingressione di acqua di mare negli acquiferi costieri, inquinamento da sostanze organiche e/o chimiche ecc.).

Il deficit idrico più elevato è localizzato nella Sardegna meridionale, a causa della maggiore scarsità di precipitazioni e della maggiore densità di popolazione. In generale, nei grandi comprensori del Campidano di Cagliari, della valle del Cixerri, della piana di Oristano e della Nurra, il deficit idrico assume valori rilevanti e pertanto determina conflitti acuti tra le varie utenze (civili, industriali e agricole).

### **1.3 Obiettivi generali del progetto**

L'obiettivo principale del WP 4.4 è quello di ricercare, elaborare e proporre modelli e strategie di gestione innovativa e sostenibile della risorsa idrica a scala di bacino idrografico e/o idrogeologico in ambiente mediterraneo, partendo da un caso di studio in un'area campione della Sardegna. La ricerca è inoltre tesa a focalizzare, analizzare e interpretare la realtà socio-economica di tale area, al fine di valutare la percezione del problema ed il grado di accettabilità delle misure prese in esame. Un'ulteriore obiettivo è quello di riconoscere risorse idriche alternative di qualità e di valutarne la possibilità di sfruttamento. Il tutto, sensibilizzando e coinvolgendo attivamente gli utenti istituzionali quali Enti gestori, Assessorati, Servizi tecnici degli acquedotti, Servizi tecnici regionali, provinciali e comunali ecc.. Su questa base viene proposta e sperimentata una metodica, che fornisca le conoscenze necessarie per una gestione integrata e sostenibile della risorsa idrica, anche in riferimento al recente decreto legislativo dell'11 maggio 1999 n. 152 e successive integrazioni.

La necessità primaria è, quindi, quella della conoscenza approfondita delle risorse e delle peculiarità del territorio mediante una ricerca multidisciplinare che applichi alcune tecnologie innovative. Viene, inoltre, sviluppato un sistema di monitoraggio integrato, per l'individuazione di nuovi indicatori ambientali dotati di alto valore sintetico. Questi indicatori dovranno essere in grado di dare le risposte ai problemi legati al monitoraggio finalizzato alla lotta alla desertificazione, senza ricorrere all'uso dei numerosi e generici parametri ambientali di routine. Dunque, lo scopo del lavoro è quello di proporre uno strumento metodologico per la gestione delle risorse idriche, che sia da un lato efficiente

e flessibile, e dall'altro consenta un approccio multidisciplinare, a costi relativamente limitati, che possa essere ripetibile e trasferibile in altri contesti territoriali.

#### **1.4 Scelta dell'area di studio e obiettivi specifici**

L'area è stata individuata in accordo a criteri generici quali:

- presenza di tipologie di fenomeni di desertificazione rilevanti e rappresentativi di contesti geografici significativi;
- caratteristiche di natura fisica e socio-economica;
- caratteristiche legate alla storia ed alla preistoria dell'area con particolare riferimento agli insediamenti umani;
- disponibilità e accessibilità di dati primari e risultati di precedenti ricerche.

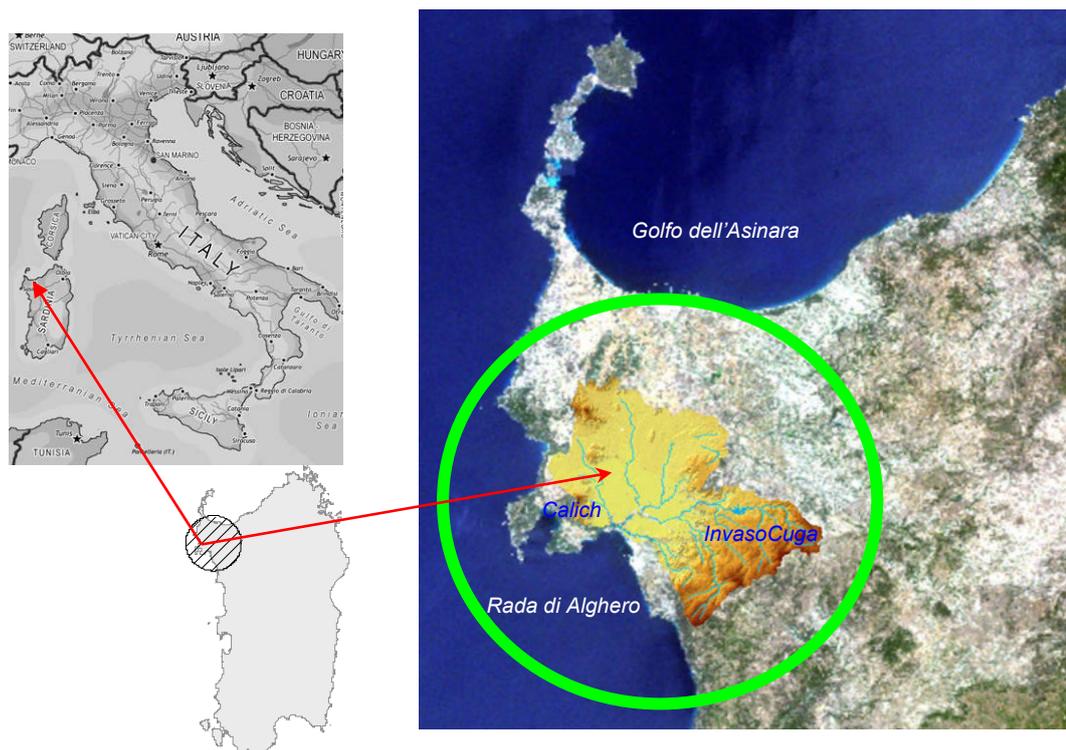
Inoltre, per poter sviluppare la ricerca, l'area campione doveva essere caratterizzata dalla presenza di corpi idrici superficiali (fiumi, canali, dighe ecc.), acquiferi superficiali e profondi, agglomerati urbani e attività produttive.

Infine, i criteri di scelta dell'area pilota sono stati dettati anche dall'esigenza di alimentare la base conoscitiva, al fine di sperimentare un sistema innovativo di supporto alle decisioni per la gestione degli interventi per la lotta alla desertificazione: uno degli obiettivi principali dell'intero progetto RIADE.

Fatte queste premesse e dopo un'attenta analisi, si è deciso di scegliere, quale area pilota della Sardegna, quella ricadente nella zona nord occidentale dell'isola, nella regione della Nurra. In particolare l'area è quella relativa al bacino idrografico sotteso allo stagno costiero del Calich, nel territorio della provincia di Sassari (figura 1.1).

La ricerca, sviluppata in un arco temporale di 28 mesi, ha previsto 15 obiettivi specifici realizzativi elencati di seguito:

1. set di dati esistenti di Letteratura scientifica, Rapporti e Relazioni tecniche, Cartografia di base;
2. elaborazione e interpretazione dei dati climatici su base locale con redazione di grafici, diagrammi e cartografia tematica. Studio di eventuali variazioni climatiche recenti;
3. carta geologica in scala 1:50.000;
4. carta pedologica in scala 1:50.000;
5. carta dell'uso del suolo in scala 1:50.000;
6. caratterizzazione dei principali corpi idrici naturali e artificiali dal punto di vista quantitativo e qualitativo;
7. rete di monitoraggio pozzi e sorgenti;
8. caratterizzazione dei principali acquiferi presenti nell'area in studio dal punto di vista quantitativo e qualitativo;
9. realizzazione della Carta di Vulnerabilità intrinseca ed integrata all'inquinamento degli acquiferi dell'area in studio;
10. verifica della eventuale contaminazione marina delle aree costiere;
11. censimento e caratterizzazione delle varie utenze;
12. indagine socio-economica e valutazione dei fabbisogni idrici futuri;
13. ricerca di nuove fonti di approvvigionamento;
14. realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale (GIS);
15. identificazione di possibili soluzioni tecniche per la gestione sostenibile delle risorse idriche.



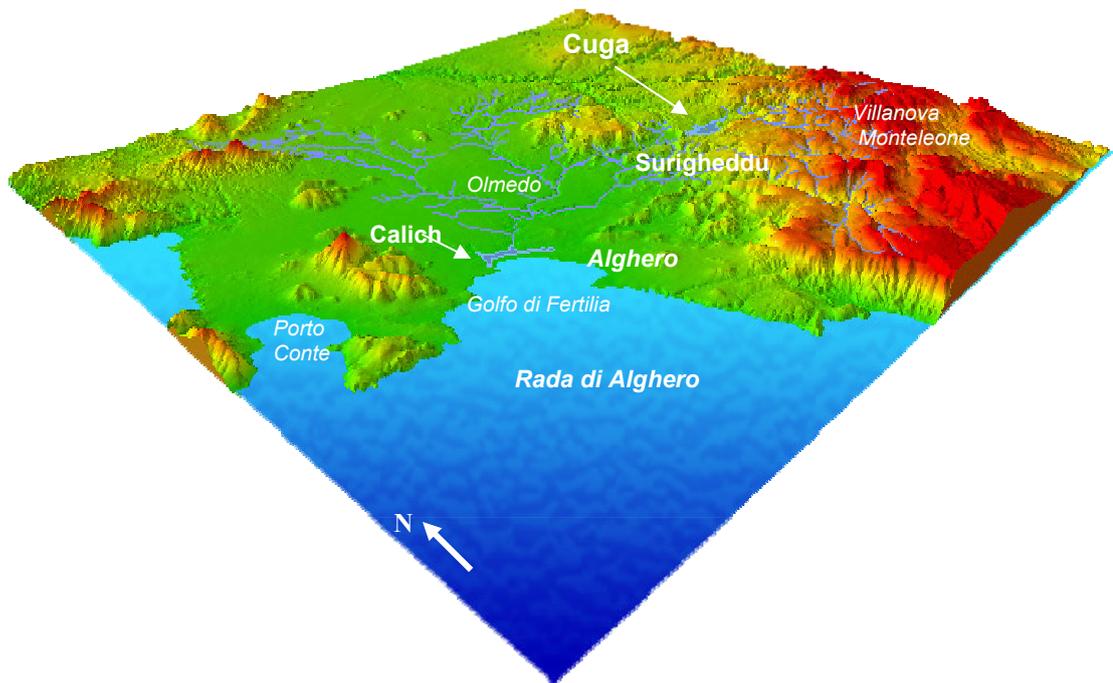
**Figura 1.1 - Area pilota della Sardegna**

## **1.5 Inquadramento dell'area in studio**

Il bacino pilota è ubicato nella Sardegna Nord occidentale, nel territorio della provincia di Sassari. Il bacino ha una estensione di circa 400 km<sup>2</sup> e ricade nei territori comunali di Alghero, Ittiri, Olmedo, Putifigari, Sassari, Uri e Villanova Monte Leone. L'area in studio è compresa nei Fogli IGM, in scala 1:50.000, n. 440, 441, 458, 459, 478 e 479. Nel quadro generale delle varie tipologie delle aree costiere della Sardegna, la zona in studio offre svariati motivi di interesse naturalistico e antropico.

All'interno del bacino idrografico si distinguono due grandi aree: la Nurra di Alghero, con paesaggi pianeggianti nella porzione centro settentrionale del bacino; l'altra, costituita da paesaggi collinari che da Alghero si spingono verso Villanova Monte Leone, occupando la parte meridionale del bacino (figura 1.2). La parte centrale del bacino è dunque caratterizzata da una morfologia pianeggiante, degradante fino alla rada di Alghero, localmente dominata da rilievi costituiti da alti tettonici o residui di erosione e da una dorsale meridionale. In questa area troviamo il Monte Murone con i suoi 506 m s.l.m., che rappresenta la cima più alta dell'area in studio.

La vicinanza dei rilievi alla costa non permette la formazione di corsi d'acqua di una certa importanza; le precipitazioni infatti si raccolgono in modesti compluvi e defluiscono direttamente a mare. In generale il reticolo idrografico del bacino è impostato con orientamento verso il Golfo di Fertilia. Le linee principali di deflusso sono a raggiera e solo in parte legate a direttrici tettoniche. Il corso d'acqua più importante è il Rio Barca che sfocia nello stagno del Calich. Le precipitazioni sono mediamente pari a 600 mm/a.



**Figura 1.2 - Area in studio**

All'interno del bacino sono presenti due invasi artificiali: corrispondenti alle dighe del Cuga e di Surigheddu.

L'area, fino a non molti anni fa interessata quasi esclusivamente da una fiorente attività agro-pastorale, ancora oggi presente, sviluppatasi soprattutto nell'entroterra e presso le maggiori incisioni fluviali, ha visto negli ultimi anni una forte richiesta di urbanizzazione lungo la fascia costiera con la costruzione di diversi insediamenti turistici con le relative infrastrutture urbanistiche. Nell'entroterra, a Nord-Est di Alghero, sono presenti alcune imprese produttive tipologicamente riconducibili ad attività industriali, terziarie e quaternarie.

Sulla costa, la concentrazione della popolazione, sia residente che stagionale, insieme all'uso agricolo dei territori, determina un fabbisogno idrico che, in certi periodi dell'anno e/o in annate siccitose, supera le quantità disponibili. Inoltre, l'estrazione eccessiva di acqua dagli acquiferi costieri può innescare fenomeni d'intrusione di acqua marina negli stessi, che contribuiscono ad incrementare, ancora di più, il rischio di desertificazione.

## CAPITOLO 2

### SET DI DATI ESISTENTI DI LETTERATURA SCIENTIFICA, RAPPORTI E RELAZIONI TECNICHE, CARTOGRAFIA DI BASE

Fino ad oggi, nell'area in studio non sono mai stati eseguiti studi organici e di dettaglio sulle risorse idriche. Questo ha comportato la necessità di reperire, da varie fonti e in diversi formati, le informazioni utili che costituissero la base di partenza delle attività. L'acquisizione dei dati disponibili è avvenuta pertanto sia mediante contatti diretti con Enti pubblici e privati, sia attraverso documenti recuperati da Istituti di ricerca. Vengono di seguito elencate le principali fonti di dati consultate.

Il primo catasto delle acque sotterranee in Sardegna, accompagnato da ricerche ed indagini di campagna, fu realizzato negli anni 1931-32 dalla sezione di Cagliari del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici. Furono censite tutte le sorgenti con portata superiore o uguale a 0,10 litri/s e, di esse, quelle con portata di 0,5 litri/s e oltre: tutte queste furono riportate su una carta in scala 1:250.000. I risultati delle ricerche, corredati da elenchi e da fotografie delle sorgenti principali, figurano nel volume *Le Sorgenti Italiane. Sardegna* curato da Manfredi [1934]. Da allora fino al 1974 la stessa sezione di Cagliari ha registrato le portate delle numerose sorgenti, censite o non, conservando in apposito archivio i relativi dati.

Negli anni 1955-56 fu redatta dal Prof. S. Vardabasso, dell'Istituto di Geologia dell'Università di Cagliari, una *Carta delle Permeabilità della Sardegna*, per conto della CASMEZ, a cura dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Sardegna e pubblicata dalla Commissione di Studio per il Piano di Rinascita della Sardegna. In questa carta, a colori in scala 1:250.000, risultavano indicate le sorgenti con portata uguale o superiore a 0,5 litri/s, nonché le varie litologie distinte in base al grado di permeabilità.

Iniziato negli anni 70 e portato a compimento nel 1984, uno studio delle risorse idriche sotterranee fu realizzato in due fasi dall'Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università di Sassari, sotto la direzione del Prof. A. Pietracaprina, per conto della CASMEZ. Lo studio, fondamentalmente impostato sul censimento delle captazioni, fu concretizzato in numerosi volumi e atlanti cartografici (Carte IGM 1:25.000) contenenti descrizioni e dati di pozzi e sorgenti. Nella prima fase si era provveduto al censimento dei punti d'acqua con portate idriche superiori o uguali a 0,01 litri/s ed alla effettuazione di analisi chimiche e fisiche. Nella seconda fase, si erano eseguite indagini geofisiche ed operazioni di trivellazione nelle aree di maggior interesse: Sassarese, Salti di Buddusò, Campidano, Sulcis-Iglesiente e Cixerri. Fra i pozzi trivellati, profondi per lo più tra 100 e 200 m, alcuni vengono utilizzati ancor oggi con ottimi risultati per approvvigionamento idropotabile di centri abitati.

Agli studi fin qui menzionati, dal 1957 ad oggi, si sono affiancate indagini geologico-geofisiche, trivellazioni e analisi idrochimiche eseguite da vari Enti pubblici regionali, quali ESAF, ERSAT, EAF ed EMSA [Progemisa].

Solo dopo l'emanazione del Decreto Ass.le n. 676/96, giusta Delibera della Giunta n. 26-27 del 18.6.1996, BURAS n. 34 del 9/9/1996, i Servizi del Genio Civile hanno potuto acquisire una documentazione adeguata sulle ricerche e sulle utilizzazioni idriche. Ciononostante si è tutt'oggi nell'impossibilità di controllare l'attendibilità dei dati stratigrafici e idraulici relativi soprattutto ai pozzi, forniti in massima parte da privati, anche nel caso di trivellazioni autorizzate.

Allo stato attuale, pertanto, possono essere ritenute accettabili solo le notizie ed i dati riguardanti sorgenti e pozzi in gestione all'ESAF, all'ERSAT e ad alcuni Comuni: i soli Enti che da decenni, e talora addirittura da oltre un secolo, hanno mantenuto viva una tradizione acquedottistica con servizi appositi e personale specializzato.

Per quanto riguarda le pratiche relative alle autodenunce di pozzi privati non preventivamente autorizzati, basti accennare al fatto che per circa 90.000 pratiche di sanatoria, ai sensi del D.Lgs. n. 275/1993, gli stessi dati di ubicazione, profondità e portata idrica utilizzata, di per sé relativamente semplici e di facile accertamento, risultano inattendibili, non veritieri o volutamente reticenti.

Se a tali considerazioni si aggiungono le innegabili difficoltà di accertamento dei dati di portata idrica e salinità, spesso variabili nel tempo o determinati in maniera empirica o addirittura falsati, si comprende bene come, in particolare, nel campo delle acque sotterranee fino ad oggi in Sardegna non si siano raggiunte conoscenze pienamente valide.

In attuazione al D.Lgs. 152/99, per la Sardegna è attualmente ancora in fase di ultimazione il *Piano di Tutela delle Acque*, che peraltro rappresenterà uno strumento di controllo e monitoraggio fondamentale, ma a carattere regionale.

Nonostante la mole apparentemente notevole di studi e lavori fino ad oggi eseguiti, non esiste ancora nell'Isola, allo stato attuale, una struttura operativa unitaria che provveda alla raccolta e all'aggiornamento dei dati riguardanti in particolare le risorse idriche sotterranee.

## **2.1 Acquisizione dei dati per l'area in studio**

Non essendo stati precedentemente effettuati nell'area in esame studi geologici, idrogeologici, pedologici e idrologici di dettaglio, la presente indagine è partita da una scarsa conoscenza delle caratteristiche fisiche del territorio. La prima fase operativa del WP 4.4 è stata quella di reperire, presso gli Enti territoriali ed istituzionali, dati di varia natura utili alla ricerca (cartografia di base, dati climatici, dati su consumi e qualità delle risorse idriche, stratigrafie ecc.). A tale scopo sono stati contattati enti quali Genio Civile, Comuni, Servizio Idrografico, Amm. Provinciale di SS, ERSAT, ESAF ecc.. La raccolta di una notevole mole di dati, spesso frammentari e non attendibili, ha comportato una operazione di prima validazione: infatti, non è sempre stato facile a priori determinarne la qualità. Quindi, una volta reperito ed esaminato il dato, lo si è validato in funzione di alcuni criteri quali: fonte, redattore, ufficialità, variabilità, storicità del dato ecc.. In parallelo, per quelli ritenuti validi, si è proceduto ad una loro archiviazione informatizzata e georiferita. Le informazioni sono state di diverso tipo (acque, suoli, uso del suolo ecc.) e di diverso formato (cartaceo, informatizzato ecc.).

Viene riportato di seguito un elenco dei più importanti dati e le relative fonti: gli estremi bibliografici completi sono inseriti in bibliografia, alla fine della presente relazione.

### **2.1.1 Ricerca bibliografica dati esistenti e di letteratura scientifica**

- Università degli Studi di Sassari-Istituto di Mineralogia e Geologia-Cassa per il Mezzogiorno Roma Progetto Speciale n. 25, Ricerche idriche sotterranee in Sardegna-Pozzi-Stratigrafia. Vol. 38 1979-80. Acquisizione dati di 29 perforazioni con colonna stratigrafica;

- Università degli Studi di Sassari-Istituto di Mineralogia e Geologia-Cassa per il Mezzogiorno Roma Progetto Speciale n. 25, Ricerche idriche sotterranee in Sardegna-Sorgenti-Profilo geologici delle sorgenti. Vol. 36 1979-80. Acquisizione dati di 5 sorgenti con sezione geologica;
- Università degli Studi di Sassari-Istituto di Mineralogia e Geologia-Cassa per il Mezzogiorno Roma Progetto Speciale n. 25, Ricerche idriche sotterranee in Sardegna [1979-80]. Censimento pozzi e sorgenti;
- Piano d'ambito della Regione Sardegna: database pozzi censiti;
- ricerca bibliografica su tematiche riguardanti indicatori qualitativi e gestione sostenibile delle risorse idriche;
- normativa vigente in materia di risorse idriche e difesa del suolo;
- cartografia geologica.

### 2.1.2 Ricerca bibliografica presso gli Enti Territoriali

Si elencano i dati acquisiti e informatizzati presso i diversi enti territoriali:

archivio del *GENIO CIVILE di SASSARI*

- 169 pratiche di pozzi autorizzati dal 1994 al 2003;
- 86 pratiche di pozzi denunciati dal 1999 al 2003.

*ESAF (GESTIONE di SASSARI)*

archivio centrale

- analisi chimiche delle acque grezze e trattate, nei diversi impianti dello schema acquedottistico, relativi agli anni dal 1997 al 2003 (disponibili fino al 1987);
- volumi annui di acqua grezza trattata nell'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese, provenienti dal Bacino del Cuga e dai pozzi gestiti dall'ente (anni 1994-2000);
- dati dimensionali del depuratore di Olmedo;
- progetto definitivo per l'adeguamento e l'ampliamento del depuratore di acque reflue di Olmedo (non realizzato);

archivio del distaccamento di Arenosu (Fertilia)

- schema acquedottistico: planimetria in scala 1:25000;
- portate mensili erogate dall'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese per i consumi idrici della città di Alghero e di Fertilia paese (anni 1996-2003);
- portate annue in uscita dall'impianto di Monte Agnese per la zona turistica e il serbatoio di Monte Siseri (anni 2001-2003);
- portate mensili di acqua grezza proveniente dal Bacino del Cuga in ingresso all'impianto di Monte Agnese (dal 07/2000 al 10/2003);
- dati sulle portate di acqua grezza proveniente dal Bacino del Coghinas mediante sopralluogo presso l'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese.

*EAF (CAGLIARI)*

- progetto SINA;

#### *ERSAT (CAGLIARI)*

- 70 stratigrafie di sondaggi eseguiti nell'area in studio;
- carta aree sensibili desertificazione regione Sardegna;

#### *PROVINCIA DI SASSARI*

- studi ambientali;

#### *COMUNI RICADENTI NELL'AREA IN STUDIO*

- consumi idrici;

#### *ASI (SASSARI)*

- stratigrafie, sondaggi e consumi idrici;

#### *ISTAT*

- dati socio-economici su consumi idrici;

#### *SOGEAR*

- stratigrafie sondaggi;

#### *SARDA BAUXITI*

- stratigrafie sondaggi.

### **2.1.3 Dati topografici**

Per la base topografica è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000, rispondente, nel grado di dettaglio, alle necessità di elaborazione previste dal progetto. Le CTR presentano il vantaggio di essere in formato vettoriale con estensione DXF: tale peculiarità le rende immediatamente disponibili per l'utilizzo con numerosi software e versatili per le elaborazioni. Il sistema di coordinate di origine Gauss Boaga è stato convertito nel sistema di proiezione UTM, Zona 32, ED 50, Ellissoide Internazionale 1950, al fine di uniformarsi con quello standard utilizzato per il progetto RIADE.

La base topografica, in formato digitale, è attualmente costituita da geometrie poligonali e senza attributi associati. Così come verrà meglio dettagliato nel seguito della relazione, nella parte dedicata alla realizzazione del GIS, è stato necessario effettuare correzioni topologiche di alcuni strati informativi topografici ed associare un data base alle primitive geometriche.

La ricostruzione della base topografica digitale dell'area in studio ha richiesto l'unione di 59 sezioni in scala 1:10.000 [CTR Regione Sardegna] relative a 8 fogli IGM in scala 1: 50.000, come riportato nella tabella 2.1.

**Tabella 2.1 - Basi topografiche utilizzate**

<b>Foglio IGM 1: 50.000</b>	<b>Sezioni in scala 1:10000</b>	<b>Totale sezioni utilizzate</b>
440	030 – 070 – 110 – 120 – 150 – 170	6
441	130 – 140 – 150	3
458	020 – 030 – 040 – 060 – 070 – 080 – 110 – 120 – 140 – 150 – 160	11
459	Tutte	16
460	060	1
478	020 – 030 – 040 – 080	4
479	Tutte	16
480	010 – 050	2

#### **2.1.4 Dati geologico-strutturali**

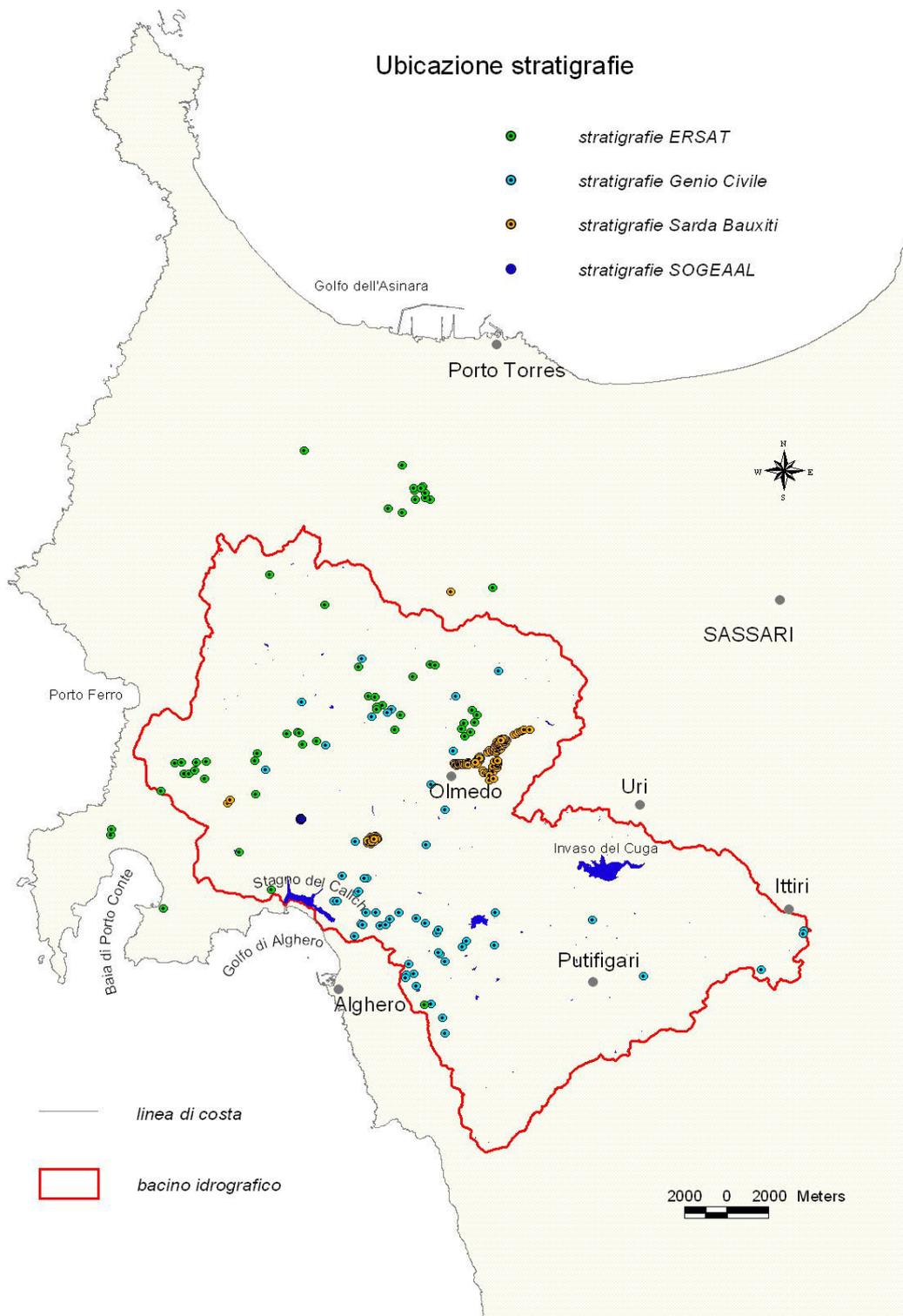
Dal momento che, come già detto in precedenza, nell'area in esame non erano mai stati eseguiti studi idrogeologici di dettaglio, l'elemento di particolare difficoltà è stato il fatto che non erano ben conosciute le condizioni idrogeologiche ai limiti laterali del bacino idrografico ed i reali rapporti stratigrafici.

Questa condizione di incertezza era accentuata anche dalla complessità dei lineamenti strutturali, legati agli eventi tettonici succedutesi nelle diverse ere geologiche, che di fatto complicavano la comprensione della geometria degli acquiferi.

La base conoscitiva di partenza è stata la Carta Geologica in scala 1:200.000, nell'ambito del Progetto *CARG* [Carmignani et al. 1996].

Dunque, al fine di realizzare il modello idrogeologico concettuale è stato fondamentale reperire informazioni stratigrafiche relative a trivellazioni per sondaggi geognostici o per ricerche d'acqua. A questa fase è stata data una particolare importanza, dedicando ad essa diverso tempo, sia per la consultazione presso vari Enti di documenti e pratiche, peraltro tutti cartacei, che per la standardizzazione dei dati acquisiti. In totale sono state informatizzate e georeferenziate, attraverso l'uso di apposito software [*Stratigrapher-Geostru*], 386 stratigrafie.

Nella figura 2.1 sono rappresentate le ubicazioni dei sondaggi recuperati per il progetto. Nella figura 2.2 è riportato un esempio di log stratigrafico.



**Figura 2.1 - Ubicazione dei sondaggi**



Riade WP 4.4

Progetto: Progettazione Sarda (Sardi)	Località: Giacobbebbi	Categoria: Oltresardo	Id: 100/305
ADP	Coordinate IGM	Coordinate Gauss - UTM	Spessore del piano di campagna (M S.L.M.)
Sistema di perforazione: A. Distribuzione di nuclei	Id: Sondaggio geognostico	Letto pompa	Portata reale (L/s)      Portata di esercizio (L/s)
Area estratta:	Impresa di perforazione:	Nota:	

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota (m)	Quota Base Pozzo (m)	Pozzo	Netto (Base Pozzo)	Fazio (m)	Uscita (m)	Uscita (m)	Diametro perforazione (mm)
0.00										Diametro (mm) e tipo manico.
10.00		Calcare corallario con molluschi e frequenti intercalazioni argillose	-19.00							Diametro filtri (mm)
20.00		Impiombato di Karst costituito da argilla bruna e ciottoli di quarzo	-21.00							
		Calcare corallario	-24.40							
25.00		Formazione basaltica	-25.90							
30.00		Calcare marnoso verdastro e grigio porfidiario	-30.00							
35.00										
40.00										
45.00										
50.00										

Figura 2.2 - Esempio di log stratigrafico

Viene di seguito riportato un elenco degli Enti da cui sono state reperite le informazioni stratigrafiche:

- ERSAT (Ente Regionale Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura) – Cagliari;
- Genio Civile di Sassari – Regione Autonoma Sardegna;
- Progemisa per conto della Sarda Bauxiti – Olmedo;
- SOGEAAL, ente gestore dei servizi dell'Aeroporto Riviera del Corallo di Alghero;
- Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari.

#### *ERSAT*

La collaborazione del personale dell'Ente ha consentito di reperire i dati dei sondaggi per ricerche idriche condotti, sulla piana della Nurra, dall'ETFAS (oggi ERSAT) tra il 1950 ed il 1978. Si tratta di dati archiviati in forma cartacea e ubicati sui vecchi fogli IGM (edizione 1943), in scala 1:25.000, attraverso i quali è stato possibile desumerne le coordinate. Sono state acquisite, in totale, 59 stratigrafie in formato cartaceo, recanti le seguenti informazioni:

- provincia, comune, località di ubicazione del sondaggio;
- denominazione identificativa, basata sul numero del foglio IGM di appartenenza, sul quadrante e sul numero progressivo del pozzo;
- profondità e descrizione dei litotipi attraversati;
- profondità e descrizione delle falde incontrate;
- diametro e profondità di perforazione, rivestimento e di eventuali filtri;
- quota topografica del boccaforo;
- denominazione dell'impresa esecutrice dei lavori e tipo di sonda utilizzata;
- stato del pozzo.

Tutti i dati sono stati informatizzati salvando le informazioni contenute negli originali e completandole con l'aggiunta delle coordinate UTM desunte dalla lettura delle posizioni sulle carte topografiche di riferimento in scala 1:25.000. Al fine di consentire una rapida consultazione ed un confronto con i dati cartacei si è deciso di mantenere la denominazione originale di ogni pozzo, con una distribuzione così definita:

- 11 pozzi nel II quadrante NE del foglio IGM n°179;
- 3 pozzi nel II quadrante NO del foglio IGM n°179;
- 19 pozzi nel II quadrante SE del foglio IGM n°179;
- 5 pozzi nel II quadrante SO del foglio IGM n°179;
- 17 pozzi nel I quadrante NO del foglio IGM n°192;
- 2 pozzi nel I quadrante SE del foglio IGM n°192;
- 2 pozzi nel I quadrante NE del foglio IGM n°192.

Le stratigrafie, sono state salvate nel formato specifico del programma (STH) e, successivamente, esportate in formato DXF allo scopo di renderle compatibili con i programmi di CAD e GIS.

#### *Genio Civile di Sassari*

Grazie alla disponibilità del personale è stato possibile accedere agli archivi dell'ufficio idrografico, con l'obiettivo di consultare e acquisire i dati geologici ed idrogeologici relativi alle trivellazioni per ricerche idriche compiute dal 1995 al 2003.

Come è ormai ben noto, circa il 90% dei pozzi esistenti nel territorio dell'isola, e quindi anche nella Nurra, sono abusivi: cioè i proprietari dei pozzi non hanno mai richiesto, per lo sfruttamento delle acque sotterranee, la regolare autorizzazione e la concessione di derivazione del Genio Civile. Infatti, le pratiche relative alle concessioni, disponibili presso il Genio Civile di Sassari, sono risultate in numero molto limitato e a volte prive di informazioni esaustive per la ricerca. Comunque, prima di iniziare la fase di censimento dei pozzi in campagna, sono stati recuperati i dati relativi ai pozzi che ricadono nella zona d'indagine, quali: proprietario, recapito telefonico e domiciliare, località e coordinate del pozzo, stratigrafie, profondità di perforazione e impresa di trivellazione. Peraltro, alcune pratiche, che recavano in allegato, come da normativa vigente, la relazione geologica e la stratigrafia del pozzo, hanno rappresentato una fonte di informazioni capillarmente diffusa sul territorio, consentendo di infittire le conoscenze stratigrafiche ed idrogeologiche.

I documenti, al momento della consultazione (autunno 2003), erano in fase di informatizzazione da parte del Genio Civile, pertanto anche in questa occasione i dati sono stati acquisiti su supporto cartaceo e, successivamente, informatizzati.

Occorre precisare che le stratigrafie reperite presso il Genio Civile non possono ricondursi ad un unico modello di rappresentazione dei dati, essendo state realizzate da diversi professionisti, esterni all'Ente: ciò spiega l'estrema eterogeneità nella descrizione delle formazioni litologiche. In particolare, sono state recuperate e consultate 212 pratiche. Tali pratiche hanno subito una prima selezione volta ad eliminare quelle riferite ad aree esterne al bacino e/o prive di dati fondamentali (coordinate, quote degli strati ecc.). Quelle utilizzabili (135), raggruppate per anno di pratica, sono state raccolte in un database informatizzato. Di seguito è riportato il numero delle stratigrafie per anno di datazione della pratica:

- 3 del 1995;
- 8 del 1996;
- 4 del 1997;
- 11 del 1998;
- 2 del 1999;
- 10 del 2000;
- 41 del 2001;
- 48 del 2002;
- 8 del 2003.

Successivamente, si è ritenuto opportuno acquisire informazioni da 28 ulteriori stratigrafie collocate esternamente al bacino.

#### *Sarda Bauxiti – Progemisa*

La Sarda Bauxiti è una società mineraria, con sede ad Olmedo, impegnata nella ricerca ed estrazione della bauxite, minerale presente in estesi giacimenti del Cretaceo che vengono coltivati nella concessione mineraria ubicata nel Comune di Olmedo.

A metà degli anni ottanta, la società affidò alcune campagne di sondaggi alla Progemisa SpA, agenzia governativa regionale impegnata nel settore delle ricerche minerarie, allo scopo di localizzare e descrivere ulteriori giacimenti su aree della concessione non ancora indagate.

L'archivio custodisce una notevole mole di stratigrafie su supporto cartaceo, ubicabili sull'area di concessione attraverso un sistema di coordinate *interno* che prevede un numero identificativo per ogni sondaggio relativo alla zona della concessione a cui appartiene. È stata dunque necessaria la georeferenziazione dei sondaggi, secondo il sistema UTM attraverso operazioni in ambiente GIS.

In ciascuna zona della concessione, la frequenza dei sondaggi piuttosto elevata, con boccafori intervallati anche di soli 50 metri, è giustificata dalle finalità della ricerca mineraria, intesa a localizzare orizzonti coltivabili di bauxite con potenze anche inferiori ai 2 metri. I sondaggi sono stati condotti, nella quasi totalità dei casi, con modalità mista *distruzione di nucleo – carotaggio continuo*, con l'intento di aumentare il dettaglio nel tratto di perforazione interessante gli orizzonti bauxitici.

Di seguito si riporta l'elenco completo delle stratigrafie, suddivise secondo le principali località della concessione:

- Montigiù De Su Cossu, 43 stratigrafie;
- Las Piccas, 2 stratigrafie;
- Monte Nurra, 1 stratigrafia;
- Olmedo, 23 stratigrafie;
- Olmedo – Sa Badiga, 7 stratigrafie;
- Olmedo – Brunestica, 44 stratigrafie;
- Olmedo – Grascioleddu, 44 stratigrafie.

Sono state informatizzate 164 stratigrafie con estensione STH e DXF, alle quali vanno sommate 62 stratigrafie archiviate nel solo formato STH, perché risultanti da perforazioni parzialmente fallite o fori guida di sondaggi successivamente approfonditi nel medesimo sito, e quindi, di minore interesse.

#### *SO.GE.A.AL SpA – Aeroporto Riviera del Corallo (Alghero – Fertilia)*

La gestione della stazione aeroportuale di Alghero è affidata alla SO.GE.A.AL SpA dal 1996. Nel 2001, in occasione dell'ampliamento e della riqualificazione della aerostazione, sono stati realizzati 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con profondità comprese tra 8,3 e 11,5 m, dei quali sono stati acquisiti i dati stratigrafici e geotecnici cartacei, oltre alla relazione geotecnica relativa al nuovo edificio in progetto. I sondaggi, benché di profondità modesta e ricadenti su un'area ridotta, hanno consentito di descrivere con precisione un settore centrale della piana, soprattutto per quanto concerne lo spessore e la tipologia delle formazioni del Quaternario. La presenza di un pozzo assai produttivo profondo 85 m, realizzato per servire tutte le utenze aeroportuali e l'adiacente caserma del comando VVFF, ha consentito di verificare il grado di dettaglio offerto dalle diverse tipologie di perforazione.

#### *2.1.5 Dati idrologici*

La serie di dati climatici, utilizzata per il lavoro, è stata fornita dal SAR (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna), che ha inoltre curato anche la spazializzazione degli stessi. I risultati sono riportati nel Capitolo 3 dedicato all'inquadramento climatico e nel Capitolo 11 dove si commenta il bilancio idrologico.

## CAPITOLO 3 INQUADRAMENTO CLIMATICO

### 3.1 Elaborazione di mappe meteo-climatiche e di indici derivati, per il territorio della Nurra

Lo sviluppo dei sistemi informativi territoriali orientati ad applicazioni a carattere idrogeologico non può prescindere dalla elaborazione di specifici strati informativi continui, relativi alle principali grandezze climatiche e ad alcuni indici agro-climatici derivati. L'esigenza di una rappresentazione regolare nello spazio delle principali grandezze meteorologiche, al fine di avere una copertura continua del territorio, discende dal fatto che la fonte principale per tale tipo d'informazione è di tipo puntuale, rappresentata da stazioni meteorologiche distribuite sul territorio, spesso, con una densità ed uniformità non adeguate.

Lo scopo del lavoro svolto è pertanto stimare, il più fedelmente possibile, a partire da valori noti delle variabili in alcune posizioni, i valori incogniti della stessa variabile su un'area che corrisponde ad un grigliato regolare rappresentato da un raster. Si è condotto pertanto uno studio basato sull'implementazione di differenti tecniche di interpolazione spaziale del dato climatico che ha permesso di individuare il metodo statisticamente più rispondente per le diverse grandezze considerate e per i periodi presi in esame.

I dati di base utilizzati sono rappresentati dai valori mensili delle temperature e delle precipitazioni, relativi all'intero territorio regionale. In particolare, per le temperature sono state impiegate sia le medie mensili trentennali delle minime e massime, di circa 60 stazioni del Servizio Idrografico, per il periodo 1961-90<sup>1</sup>, sia le medie mensili dei tre anni recenti 2003-2004-2005 misurate da circa 50 stazioni della rete SAR. Per le precipitazioni, analogamente si sono utilizzate le medie mensili sia per il trentennio climatico (circa 200 stazioni principalmente dell'Idrografico) sia per il triennio recente relative alla rete SAR. L'interpolazione spaziale dei dati sopra citati ha consentito di ottenere mappe di dettaglio dell'area oggetto di studio, la Nurra, per le precipitazioni e per l'evapotraspirazione reale, funzionali alla determinazione delle precipitazioni efficaci annue: parametri necessari per l'impostazione del bilancio idrogeologico.

Il software GIS utilizzato per la generazione delle mappe è ArcGis Desktop ArcInfo (ESRI) nella versione 9 con le estensioni Spatial Analyst e Geostatistical Analyst. Per l'ottenimento delle mappe mensili di temperatura è stata adottata una procedura basata sulla relazione statistica tra i dati misurati e i parametri geomorfologici del territorio, i cui valori derivano dal DEM con una risoluzione di 250 m.

Tale approccio, ampiamente adottato nella letteratura specifica recente, è stato preventivamente messo a confronto sul set di dati medi climatici (1961-90), con altri metodi quali il Kriging, il Co-Kriging e l'Inverso della Distanza, risultando il più idoneo, in termini di minore RMSE e coefficiente di correlazione, a descrivere il campo della grandezza temperatura.

---

<sup>1</sup> Il periodo preso in considerazione, il 1961-1990, corrisponde al trentennio più recente indicato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO) quale riferimento convenzionale per le analisi ed i confronti climatologici [Climatological normals *CLINO* for the period 1961-1990, pubblicazione del WMO N. 847 del 1996].

Nello specifico, è stato studiato il modello di regressione lineare multipla tra i dati medi mensili della grandezza in esame e, come variabili indipendenti, 4 parametri geografici e morfologici quali quota, distanza dal mare, latitudine e longitudine (espresse in UTM). Si è infine ricavato il coefficiente di determinazione della retta del modello di regressione in rapporto ai specifici coefficienti della regressione, ottenendo in ultima analisi le relazioni da adottare per ciascun parametro e per ciascun mese, come quella riportata sotto a titolo esemplificativo:

$$T = 28,1400891738 - 0,0073614978 \times \text{Quota} - 0,0000096919 \times \text{DistMare} + 0,0000084726 \times \text{EST} - 0,0000043728 \times \text{NORD}$$

Applicando tali relazioni alla griglia del DEM si è stimato il valore corrispondente a ciascun punto di griglia per la grandezza considerata. La mappa preliminare così ottenuta è stata poi integrata con i residui della regressione interpolati tramite il metodo Kriging. Le mappe mensili sono state elaborate per ottenerne una singola media sia per l'anno medio climatico che per il triennio recente.

Per le precipitazioni, dopo la preliminare fase di confronto tra i diversi metodi di interpolazione spaziale, si è optato per le tecniche geostatistiche Kriging e Co-Kriging, quelle che in generale forniscono i risultati migliori. In particolare, per l'anno medio climatico l'utilizzo di un numero elevato di stazioni ha evidenziato una sostanziale convergenza tra le *performance* dei diversi metodi e, in definitiva, si è adottato il Co-Kriging, in cui la varianza spaziale del campo di precipitazione è vista anche funzione della quota; per gli anni 2003, 2004 e 2005, invece, fornisce un risultato maggiormente apprezzabile la tecnica del Kriging ordinario sia per l'irregolarità della distribuzione delle piogge nel breve periodo, sia per l'utilizzo di un numero inferiore di stazioni.

Tuttavia, per le precipitazioni occorrerebbe sottolineare che risulta difficoltoso trovare un metodo univoco di interpolazione e che i risultati ottenuti sono da considerarsi indicativi, in considerazione della estrema variabilità spaziale della grandezza, nonché della distribuzione non gaussiana dei valori, in particolare per i brevi periodi, condizione questa che pone dei limiti all'utilizzo delle tecniche geostatistiche che si basano sull'assunto della distribuzione normale della variabile in studio.

Dalle mappe di temperatura e precipitazione, per ciascun periodo in esame, sono state derivate le temperature medie annue corrette ( $T_c$ ), parametro necessario per il calcolo dell'evapotraspirazione reale, vale a dire il volume d'acqua che viene realmente perso per evapotraspirazione, secondo il metodo di Turc [1954]. La mappa delle  $T_c$  e delle precipitazioni sono state quindi utilizzate per il calcolo dell'evapotraspirazione reale, secondo la relazione seguente:

$$E_{Tr} = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{0,5}$$

in cui

$E_{Tr}$	evapotraspirazione reale (mm);
$P$	precipitazioni medie annue (mm);
$L$	funzione della temperatura, dato da: $L = 300 + 25 \times T_c + 0,05 \times T_c^3$ ;
$T_c$	temperatura media annua corretta ( $^{\circ}C$ ).

La differenza tra le precipitazioni annue e l'evapotraspirazione reale, consente di determinare le precipitazioni efficaci annue (Q) sull'area della Nurra, informazione base per la stima dell'infiltrazione efficace.

### 3.2 Indicatori climatici per l'individuazione delle aree più sensibili alla siccità e alla desertificazione in Sardegna<sup>2</sup>

In recenti studi, il Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna [Motroni et al. 2005] ha calcolato l'Indice di Precipitazione Standardizzato [Standardized Precipitation Index, SPI, McKee et al. 1993] per valutare l'andamento della siccità in Sardegna per il periodo 1951-2005. L'indice SPI rappresenta la differenza del dato di precipitazione considerato per un dato step temporale, rispetto alla media climatica dello stesso step, diviso la deviazione standard, dove la media e la deviazione standard sono calcolati dal record dei dati climatici. Lo SPI è stato calcolato sui dati di precipitazione registrati da 102 stazioni meteorologiche del Servizio Idrografico per il periodo 1951-2000. I vantaggi nell'utilizzo dello SPI, rispetto ad altri indici di siccità possono essere così riassunti:

- il calcolo dello SPI richiede poche variabili in input (solo i cumulati mensili di precipitazione);
- è più semplice individuare un maggior numero di stazioni con serie di dati completi;
- lo SPI rappresenta un modo semplice, ma significativo, per rappresentare i trend di siccità di breve e lungo periodo [Bordi et al. 2001].

L'indice SPI assume valori negativi in caso di eventi siccitosi e valori positivi per condizioni di buona disponibilità idrica (il *range* varia da valori minimi inferiori a -2 a valori superiori a +2). Quando le condizioni siccitose o di pioggia divengono più o meno severe, l'indice assume valori, rispettivamente, più negativi e più positivi. Nella tabella 3.1 sono presentati i valori di SPI e le corrispondenti classi di siccità.

I valori positivi di SPI indicano valori di precipitazioni superiori alla media, mentre valori di SPI negativi indicano valori di precipitazioni inferiori alla media.

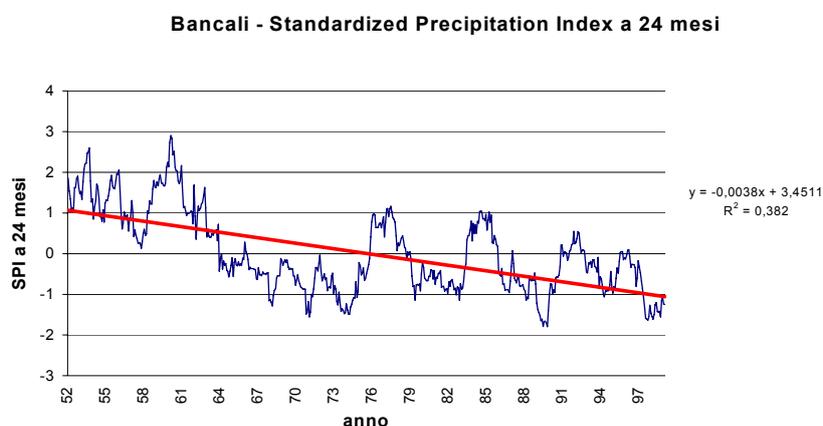
**Tabella 3.1 - I valori di SPI e le corrispondenti classi di siccità**

Valore di SPI	Classe climatica
>2 o maggiore	Estremamente umido
da 1,50 a 1,99	Molto umido
da 1,00 a 1,49	Moderatamente umido
da -0,99 a 0,99	Vicino alla media
da -1,49 a -1,00	Moderatamente siccitoso
da -1,99 a -1,50	Molto siccitoso
da -2,00 o minore	Estremamente siccitoso

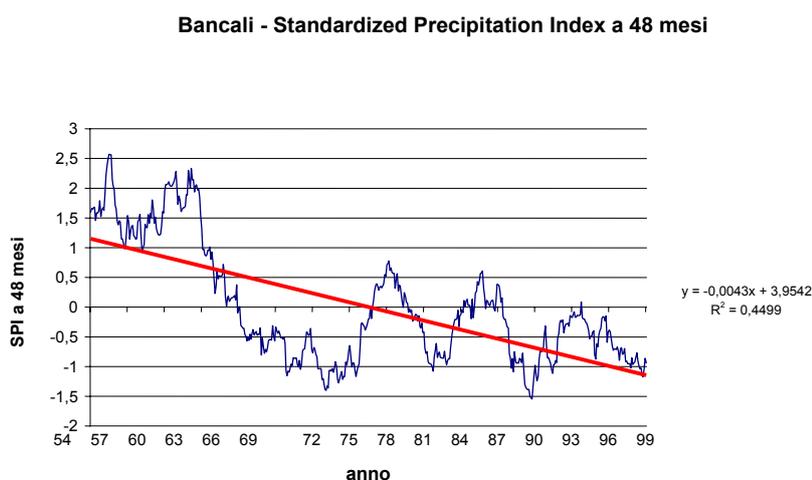
<sup>2</sup> tratto da Motroni A., Canu S. 2005. Climate indicators for assessing sensitive areas to drought and desertification in Sardinia (Italy). WMO/FAO/Cost Action Workshop on *Climatic analysis and mapping for agriculture* – Bologna 14-17 June 2005. In press

Un evento siccitoso si verifica quando i valori di SPI sono continuamente negativi e raggiunge una intensità significativa quando i valori sono inferiori a -1. Il periodo siccitoso si considera terminato quando i valori ritornano positivi.

L'indice SPI è stato calcolato a differenti scale temporali (1, 3, 6, 12, 24, 48 mesi). In generale, si può affermare che l'indice SPI, calcolato su una finestra temporale di 1, 3 e 6 mesi, individua gli eventi siccitosi di breve periodo, che vanno ad influenzare le condizioni di umidità del terreno, mentre lo SPI a 12, 24 e 48 mesi mostra gli eventi siccitosi di lungo periodo, che hanno un effetto negativo sulle riserve idriche del sottosuolo e dell'acqua di falda. A titolo di esempio, nella figura 3.1 e nella figura 3.2 sono presentati gli andamenti tipicamente negativi dell'indice SPI (su scale temporali di 24 e 48 mesi, rispettivamente), per una stazione rappresentativa (Bancali) ricadente nell'area di studio. È evidente come, a partire più o meno dalla metà degli anni '70, la media del cumulato di precipitazione sulla Sardegna mostri un decremento, analogamente a quanto riscontrato in altre aree del bacino del Mediterraneo [Delitala 2005].



**Figura 3.1 - Andamento dell'indice SPI step 24 mesi – stazione meteorologica di Bancali**

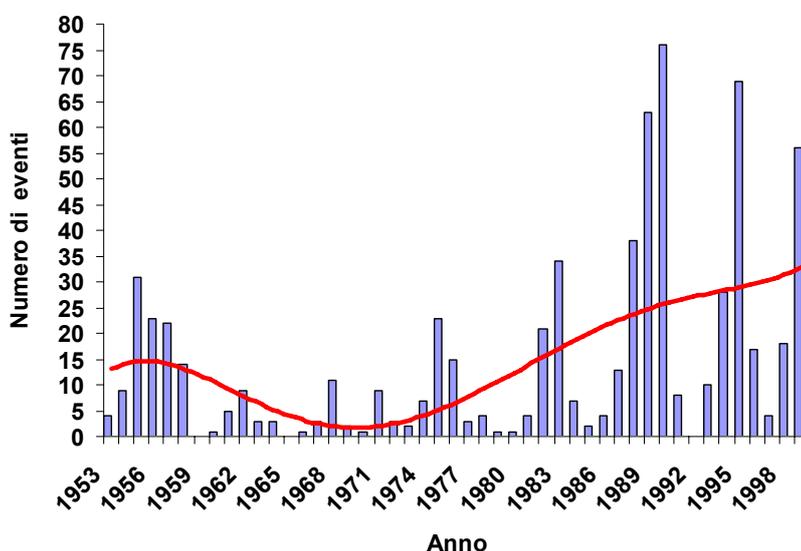


**Figura 3.2 - Andamento dell'indice SPI step 48 mesi – stazione meteorologica di Bancali**

Per mostrare il trend negativo o positivo dei periodi siccitosi o di quelli piovosi, per il periodo 1951-2000 è stato considerato l'andamento nel tempo dei valori dei coefficienti angolari delle curve degli indici SPI, calcolati a differenti step temporali per ciascuna stazione di riferimento: circa il 90% delle stazioni prese in considerazione mostra un valore medio negativo del coefficiente angolare dell'indice SPI, mentre solo circa il 10% mostra un valore medio positivo. Inoltre, l'analisi qualitativa degli eventi siccitosi è possibile attraverso il calcolo delle frequenze dei valori medi dell'indice SPI, che siano minori di -1 per ciascun anno del periodo considerato 1951-2000.

Nella figura 3.3 è mostrato il numero di volte in cui l'indice SPI (step 24 mesi) ha presentato mediamente valori inferiori a -1 (condizioni di severa siccità) in tutta la Sardegna: durante le ultime due decadi 1980-2000 il numero di eventi siccitosi estremi è cresciuto sensibilmente, a conferma della riduzione del cumulo medio di precipitazione e della differente distribuzione delle precipitazioni.

**Sardegna - Numero di eventi con SPI<-1**



**Figura 3.3 - Frequenza del numero di eventi siccitosi/anno (valori di SPI<-1) per il periodo 1951-2000 in Sardegna**

È interessante notare anche la collocazione geografica delle aree caratterizzate da periodi siccitosi più estremi per l'intero territorio regionale.

Nella figura 3.4 è rappresentata la carta del trend dell'indice SPI, calcolato a step di 24 mesi, ottenuta attraverso l'interpolazione dei valori medi dei coefficienti angolari per ciascuna delle 102 stazioni oggetto di studio.

Nella figura 3.5 è rappresentata la media annuale di precipitazione per il periodo 1951-2000.

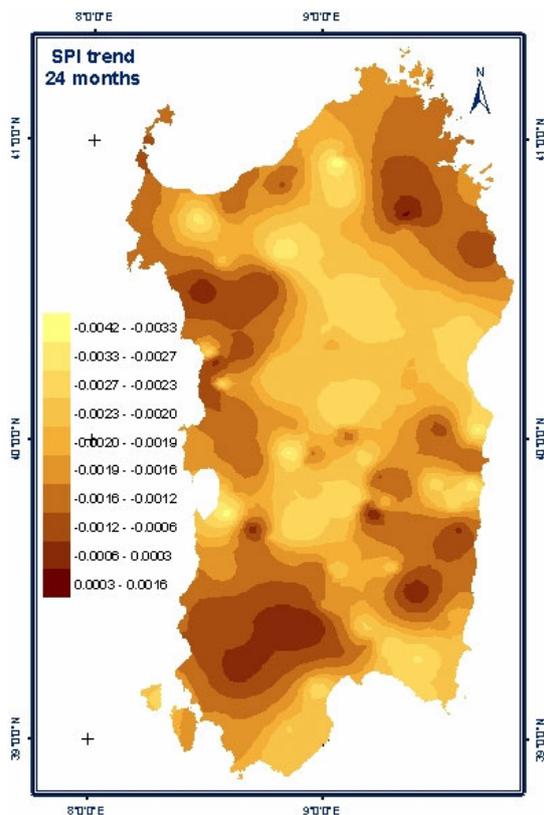


Figura 3.4 - Trend dell'indice SPI a 24 mesi

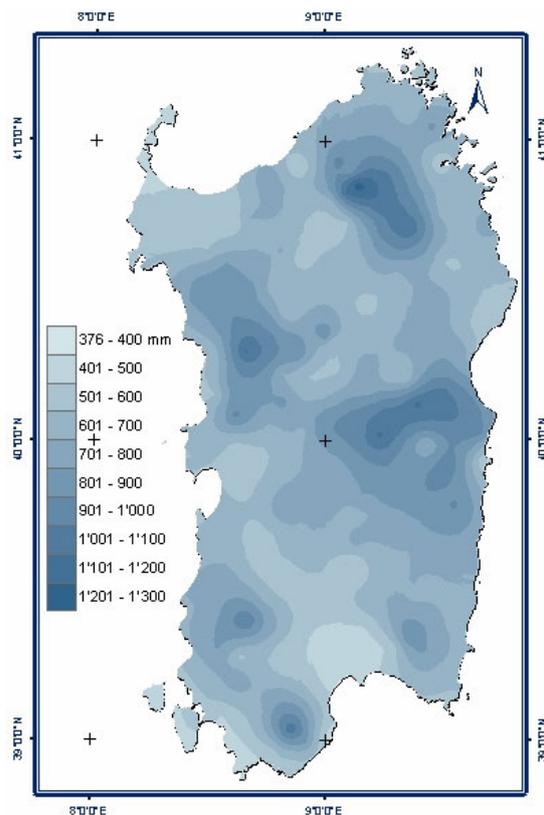
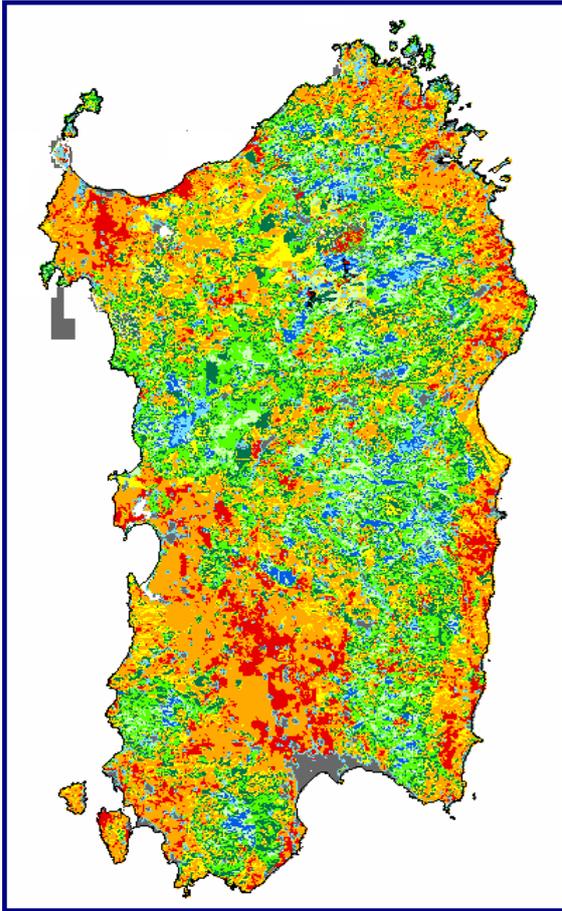


Figura 3.5 - Cumulato medio annuo di precipitazione (periodo 1951-2000)

Un risultato interessante è che nelle aree in cui mediamente è piovuto meno, nel periodo 1951-2000, si sono verificati i trend più negativi dell'indice SPI. In altre parole, nelle zone della Sardegna in cui piove meno la tendenza è stata quella di una progressiva riduzione delle precipitazioni mentre nelle aree tendenzialmente più piovose (Catena del Limbara, Sardegna centrale, monti dell'Iglesiente e Sette Fratelli), il trend dell'indice di precipitazioni si mantiene praticamente costante o addirittura mostra un leggero valore positivo. Questo può essere spiegato sulla base della natura dei regimi di precipitazione che caratterizzano la Sardegna, ma queste indicazioni necessitano di studi ulteriori [Delitala 2005].

Il confronto tra la carta dei trend dello SPI a 24 mesi (figura 3.4) e la carta delle aree sensibili alla desertificazione-ESAs della Sardegna [Motroni et al. 2003] (figura 3.6) mostra chiaramente come le aree affette da condizioni sempre crescenti di siccità siano anche più sensibili a processi di desertificazione (aree del nord-ovest e del centro-sud della Sardegna), nonostante la scala di studio utilizzata (1:250.000) e il fatto che il clima sia solo uno degli indici ambientali considerati dalla metodologia ESAs-MEDALUS, anche se opportunamente *pesato* all'interno della metodologia [Kosmas et al. 1999].



Classe	Sottoclasse	Copertura del territorio (%)
Non soggetta	N	1
Potenziale	P	5
Fragile	F1	7
Fragile	F2	17
Fragile	F3	13
Critica	C1	13
Critica	C2	28
Critica	C3	10
Non classificata		5

**Figura 3.6 - Carta delle aree sensibili alla desertificazione ESAS**



## **CAPITOLO 4**

### **INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO**

La Nurra è una regione pianeggiante che costituisce un alto strutturale delimitato verso est da un semigraben miocenico (Bacino di Porto Torres) ben evidenziato sia da alcuni dati sismo-stratigrafici off shore [Thomas & Gennessaux 1986], che da rilevamenti di campagna [Funedda et al. 2000].

I depositi miocenici del semi-graben trasgrediscono, con rapporti di onlap, questo alto strutturale nel quale i terreni più antichi affiorano progressivamente verso ovest. La trasgressione si realizza al disopra di vucaniti oligo-aquitani e talvolta direttamente sopra le coperture carbonatiche mesozoiche, ad ovest delle quali, sulla costa, affiora il basamento metamorfico varisico.

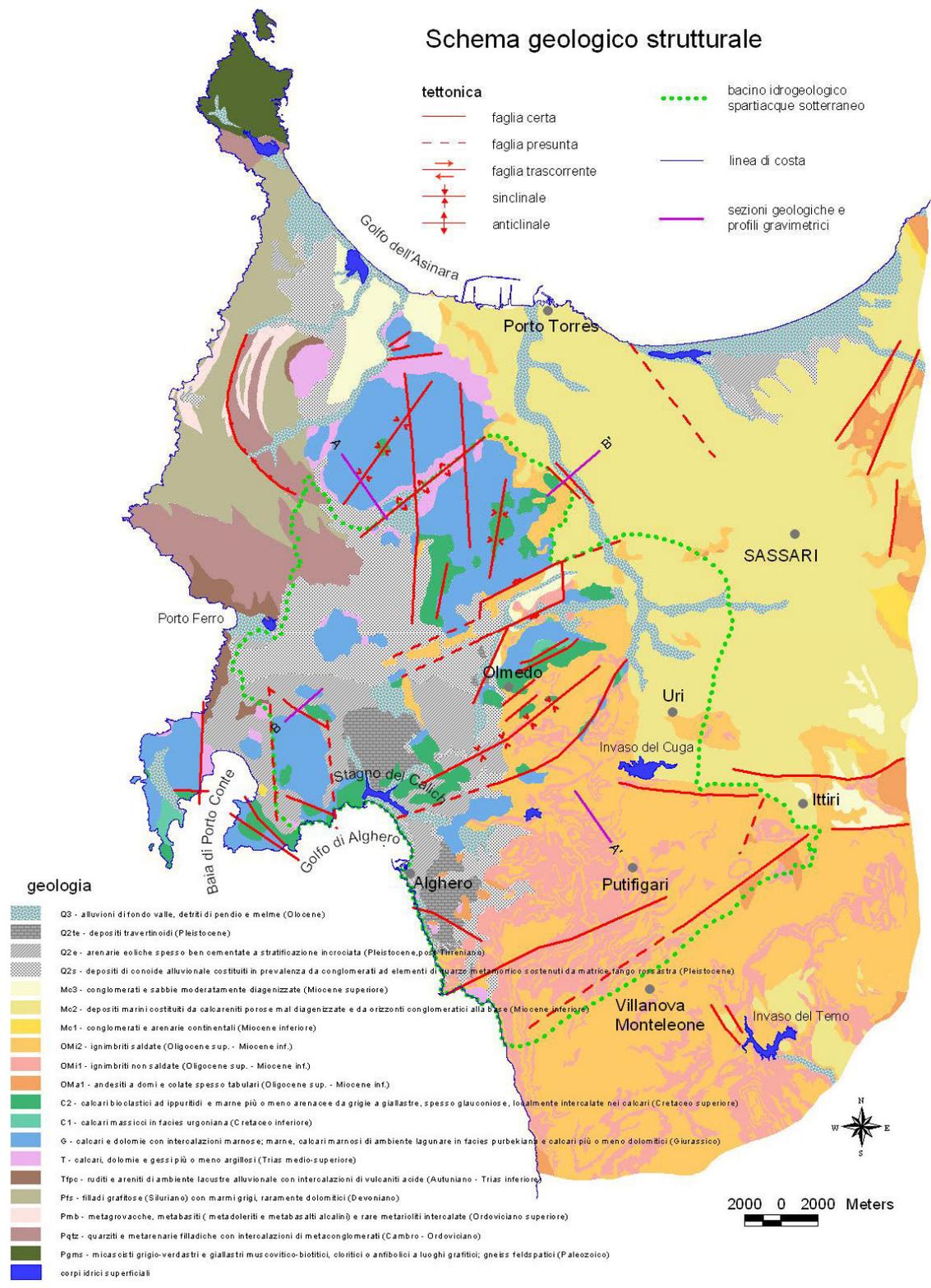
Verso sud la regione confina con il Mejlugu: un'area caratterizzata da plateaux ignimbritici miocenici variamente incisi. Ad ovest la Nurra è delimitata dal Bacino Balearico ed a nord dal Golfo dell'Asinara.

L'attuale assetto strutturale, che controlla la distribuzione e la giacitura dei terreni in affioramento, si è delineato con molta probabilità a partire dall'Oligocene-Miocene inferiore, anche se alcuni tratti strutturali, che interessano le coperture mesozoiche, possono essere riferiti a fasi tettoniche del Cenozoico inferiore o del Mesozoico.

In figura 4.1 è rappresentato lo schema geologico-strutturale dell'area in studio; in figura 4.2 sono riportate le sezioni geologiche.

Nell'Allegato 1 viene rappresentato, in scala 1:50.000, lo schema geologico-strutturale con le sezioni geologiche e i profili gravimetrici. La grande varietà di litologie coinvolte, in una strutturazione solo apparentemente priva di complessità, rende problematica la ricostruzione della circolazione idrica sotterranea e le geometrie dei serbatoi.

Perciò il lavoro, oltre ad un'analisi dei dati di letteratura editi ed inediti, si è basato su un'attenta lettura delle stratigrafie disponibili da sondaggi per scopi geognostici e sondaggi minerari [Progemisa SpA, ERSAT, Genio Civile] e su rilievi originali di campagna integrati da indagini geofisiche.



**Figura 4.1 - Schema geologico-strutturale dell'area in studio**

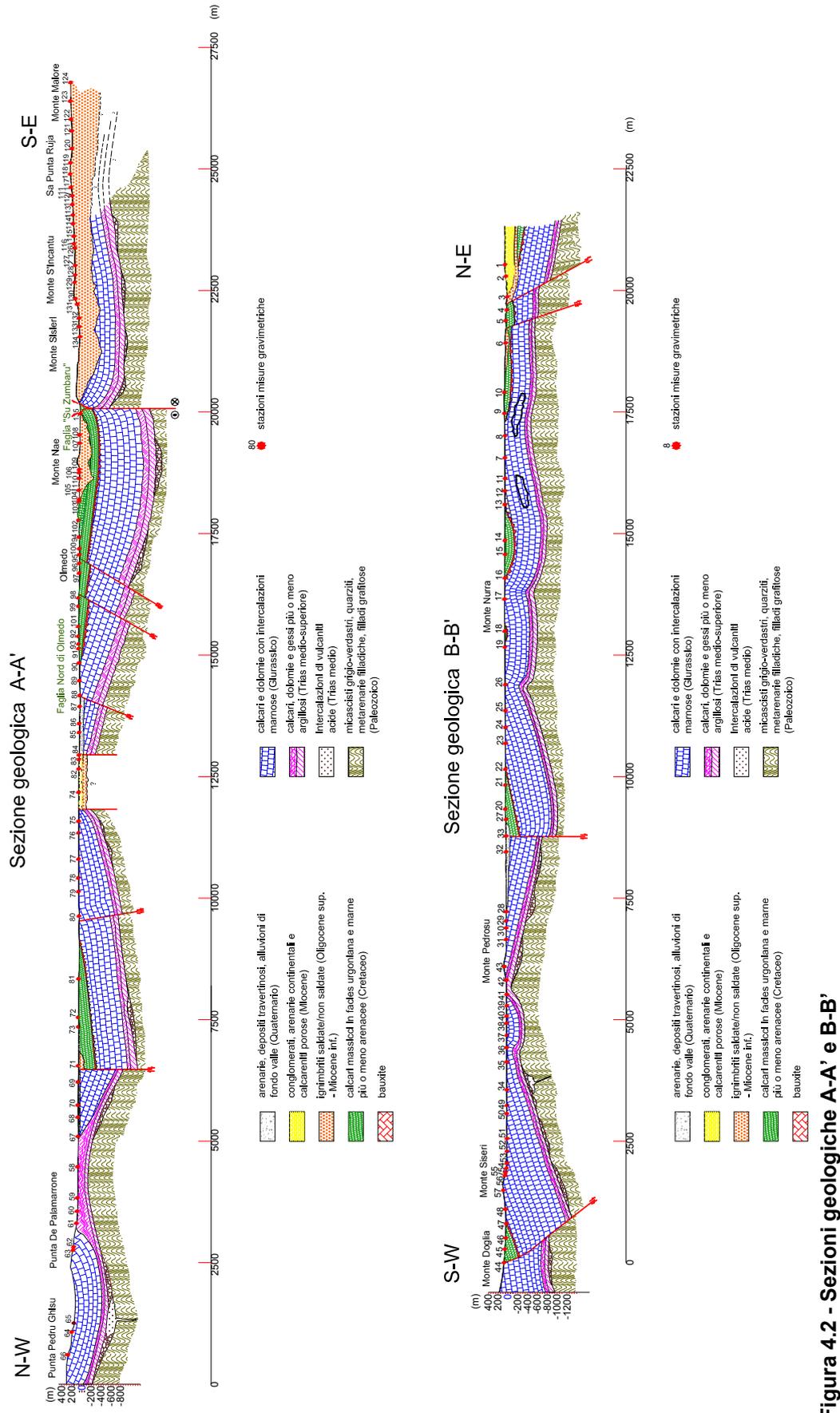


Figura 4.2 - Sezioni geologiche A-A' e B-B'

## 4.1 Stratigrafia

I terreni coinvolti nell'indagine, che vanno dal Paleozoico al Quaternario, sono descritti qui di seguito ponendo in evidenza i loro caratteri rilevanti a fini idrogeologici ed idrochimici.

### 4.1.1 *Il basamento varisico*

Il basamento varisico della Nurra è strutturato in un'ampia sinforme di scistosità [Carmignani et al. 1979], con immersione assiale verso est, al nucleo della quale affiorano i terreni più recenti. Per quanto non esistano dati certi sulle attribuzioni cronostatigrafiche dei terreni metamorfici in questione (con eccezione delle filladi grafitose del Siluriano), sulla base di correlazioni litostratigrafiche si possono distinguere:

*Qtz* - Quarziti e metarenarie filladiche con intercalazioni di metaconglomerati. Affiorano a sud dell'Argentiera formando i rilievi di Monte Forte e Rocca della Bagassa che vengono a contatto col Mesozoico nella zona di La Corte. Tali rocce, soprattutto le quarziti, presentano una fitta fatturazione fragile che le rende più permeabili rispetto alle filladi circostanti. (?Cambro-Odoviciano).

*Mb* - Metagrovacche, metabasiti (metadoleriti e metabasalti alcalini) e rare metarioliti intercalate. Affiorano diffusamente tra La Pietraia e Monte Rugginosu (Ordoviciano superiore). Soprattutto le masse doleritiche presentano una discreta permeabilità per fratturazione.

*Fe* - *Ironstones* fosfatici a tessitura diamictitica fine e conglomeratici (Ordoviciano superiore). Affiorano tra Canaglia e la costa, nella parte centrale della Nurra. Pur essendo tali metasedimenti caratterizzati da un modesto spessore, il loro singolare chimismo [Franceschelli et al. 2000; Oggiano & Mameli 2003] potrebbe avere dei riflessi sui tenori di alcuni metalli pesanti nelle acque di alcune sorgenti.

*Fs* - Filladi grafitose (Siluriano). Si tratta di meta-argilliti molto fini ricche in grafite. Tra tutti i litotipi del basamento è sicuramente quello con minor permeabilità.

*Mp* - Micascisti e paragneiss della zona a biotite della facies degli scisti verdi e della facies anfibolitica. Affiorano nella penisola di Stintino e non hanno alcuna rilevanza ai fini dell'idrogeologia della Nurra.

### 4.1.2 *Coperture paleozoiche e mesozoiche*

Tali coperture giocano il ruolo principale nell'idrogeologia della regione; infatti la loro natura essenzialmente carbonatica, oltre a rendere facile l'infiltrazione nelle zone in cui esse affiorano, fanno di queste aree un acquifero di notevole capacità. Le coperture post-variche datano dall'Autuniano, rappresentato da siltiti e areniti continentali grigie, fino al Cretaceo superiore, rappresentato da calcari e marne. Il Paleozoico superiore è rappresentato essenzialmente da ruditi e areniti continentali con intercalazioni di vulcaniti acide che fanno passaggio ad areniti e ruditi triassiche nella tipica facies germanica. I primi depositi marini trasgressivi datano al Trias medio e sono rappresentati da dolomie e calcari anch'essi in facies germanica. La successione marina testimonia l'instaurarsi di una piattaforma a sedimentazione carbonatica che continua per tutto il Mesozoico. Tuttavia un'importante lacuna è presente nel Cretaceo medio; essa è causata da un'emersione che ha generato la formazione di bauxite.

I terreni trasgressivi del Cretaceo superiore, e la stessa bauxite, giacciono sui terreni più antichi in chiara discordanza angolare, ben rilevabile a scala cartografica [Pecorini 1966; Oggiano et al. 1987]. Qui di seguito sono descritti i termini principali delle coperture post varisiche:

*Fpc* - Ruditi e areniti di ambiente lacustre e alluvionale con intercalazioni di vulcaniti acide. Si tratta dei classici sedimenti che interessano i bacini successivi al collasso dell'Orogene Varisico. Sono caratterizzati da una successione basale, potente una decina di metri, caratterizzata dalle tipiche facies grigie autuniane sormontate in discordanza da conglomerati rossi ad elementi di quarzo prevalente nella tipica facies saxo-turingiana. A questi seguono arenarie e conglomerati di ambiente fluviale nei quali sono state individuate petrofacies correlabili con il Buntsandstein meso-europeo [Cassinis et al. 1996]. Lo spessore di queste successioni varia da pochi metri, nella zona di lu Capparoni e a Monte S.ta Giusta, fino a qualche centinaio nella zona di Cala del Vino, sulla costa. La permeabilità di questa successione deve ritenersi moderata anche in virtù di intercalazioni siltose che vi ricorrono a più livelli nella parte alta (Autuniano-Trias inferiore).

*T* - Calcari, dolomie e gessi, più o meno argillosi, del Trias medio e superiore. Si tratta di alternanze di calcari ben diagenizzati e dolomie per uno spessore che a Monte S.ta Giusta è esposto per almeno un'ottantina di metri. Sopra i termini calcareo-dolomitici in facies di Muschelkalk poggiano gessi e dolomie fini, leggermente marnose, con intercalazioni di argilliti verdastre, correlabili con la facies di Keuper. Lo spessore del Keuper è difficilmente valutabile perché coinvolto in una tettonica eiettiva che tende a concentrare i gessi in zone di anticlinali (ad esempio a Cugiareddu) e ad espellerli nelle zone di sinclinale. La permeabilità delle successioni triassiche deve ritenersi buona, trattandosi di litotipi facilmente suscettibili di dissoluzione carsica, con eccezione delle argilliti del Keuper. Riteniamo che la maggiore importanza di questa successione, ai fini dell'idrogeologia, sia rivestita dal contributo in sali solubili che essa è in grado di liberare per la presenza di orizzonti evaporitici. I principali affioramenti di Trias carbonatico ed evaporitico si trovano sulla costa a Cala Viola e a Punta della Ghisciera; intorno a Monte Santa Giusta, a nucleo dell'anticlinale di Cugiareddu, nel centro abitato di Alghero e nella costa a sud della città al di sotto delle vulcaniti terziarie.

*G1* - Calcari e dolomie con intercalazioni marnose del Giurassico. È questa la successione carbonatica più potente della regione. A Monte Doglia essa è esposta per almeno 500 metri ed il suo spessore complessivo è valutabile in almeno 800 metri. Nella parte inferiore della successione, dal Sinemuriano al Bajociano in continuità col Retico (in facies di Keuper), prevalgono calcari, spesso oolitici, con alternanze anche fitte di livelli marnosi. Nella parte centrale prevalgono alternanze di calcari e dolomie del Bathoniano e Calloviano. Segue una potente successione di dolomie dell'Oxfordiano-Kimmeridgiano sulla quale poggiano calcari micritici del Portlandiano. La successione Giurassica costituisce un buon acquifero ed è dotata di buona permeabilità. Solo i livelli marnosi presenti nella sua parte iniziale potrebbero costituire diaframmi impermeabili in grado di separare più ordini di falde.

*G2* - Marne, calcari marnosi di ambiente lagunare in facies Purbekiana, calcari più o meno dolomitici per uno spessore non superiore a 40 m (Berriasiano Valanginiano). Le marne purbekiane affiorano nel settore di Olmedo ed a Cala d'Inferno. La loro importanza da un punto di vista idrogeologico non è rilevante anche se, data la loro scarsa permeabilità, potrebbero sottendere falde sospese di modesta entità.

*C1* - Calcari massicci in facies urgoniana del Cretaceo inferiore. Si tratta di calcari bioclastici grossolanamente stratificati, potenti circa 300 m (Valanginiano-Aptiano). Affiorano solamente a Capo Caccia e a Nalvonazzos, presso Uri, sotto le vulcaniti terziarie. La loro purezza e l'aspetto massiccio favoriscono la circolazione carsica. Tuttavia gran parte di questo litotipo è stato eroso durante l'emersione meso-cretacica, per cui il suo contributo all'idrogeologia della regione è molto modesto.

*Formazione bauxitica* - Si tratta di un livello contenente bauxite, sia alloctona che autoctona. In quest'ultimo caso, alla base della formazione, sono sempre presenti argille in prevalenza caolinitiche che fanno passaggio alle bauxiti.

*C2* - Calcari bioclastici, ad ippuritidi del Coniaciano-Santoniano. Si tratta di calcari grossolanamente stratificati o massivi. Affiorano soprattutto nella parte meridionale della Nurra e a Capo Caccia la loro potenza è variabile, ma facilmente supera i 200 m. In essi la circolazione carsica ipogea può dar luogo a serbatoi di considerevoli volumi.

*C3* - Marne più o meno arenacee da grigie a giallastre spesso glauconiose. Si trovano solo localmente intercalate nei calcari del Cretaceo superiore. Affiorano diffusamente a Brunestica, ad est di Olmedo, con spessore di una ventina di metri, ma i sondaggi della Progemisa e della Sardabauxiti ne hanno evidenziato la continuità in una fascia ad andamento NE, larga 2-4 km che da Brunestica arriva sino alla periferia di Alghero. La presenza di queste marne potrebbe avere rilevanza come livello impermeabile atto a sottendere falde sospese o a confinare falde profonde in pressione.

#### **4.1.3 Depositi sedimentari cenozoici**

Si tratta di depositi sia marini, legati alla trasgressione Burdigaliana, che continentali.

*Mc1* - I depositi marini miocenici affiorano ai limiti dell'area di studio dove sono costituiti essenzialmente da calcareniti porose, mal diagenizzate e da orizzonti conglomeratici alla base. A questi depositi, verso ovest si aggiungono depositi continentali attribuibili al Miocene superiore.

*Mc2* - Conglomerati e sabbie moderatamente diagenizzate, ad elementi di coperture carbonatiche e di basamento cristallino. Affiorano, tra Olmedo e Tottubella, in un basso strutturale ad andamento ENE al di sopra delle vulcaniti terziarie. La loro età non è univoca ma viene riferita sia al Miocene superiore che al Burdigaliano [Pecorini 1965; Funedda et al. 2003]. Lo spessore non è conosciuto e la loro permeabilità è molto elevata.

#### **4.1.4 Depositi sedimentari quaternari**

In gran parte della Nurra, tra Olmedo e Fertilia, affiorano depositi quaternari costituiti da sedimenti continentali sia carbonatici che silico-clastici distinti come descritto di seguito.

*q2te* - Depositi travertinoidi e sabbie più o meno cementate, potenti fino ad un massimo di 10 metri. Affiorano tra Olmedo e le tenute Sella e Mosca (Pleistocene). La loro permeabilità è elevata e possono ospitare falde libere.

Eolianiti pre-tirreniane. Si tratta di arenarie con discreta diagenesi dovuta ad un cemento carbonatico secondario. Affiorano lungo la costa a sud di Alghero. La loro porosità è elevata e possono ospitare falde libere di modesta estensione.

*q2s* - Alluvioni recenti. Si tratta di depositi di conoide alluvionale costituiti in prevalenza da conglomerati ad elementi di quarzo metamorfico sostenuti da una matrice fangosa rossastra. Affiorano attorno ai rilievi paleozoici e, dato il contenuto argilloso, sono scarsamente permeabili (Pleistocene).

*q2e* - Arenarie eoliche post tirreniane più o meno rielaborate in ambiente alluvionale. Affiorano in prevalenza attorno ai rilievi mesozoici costieri (Monte Doglia, Monte Murone ecc.). La loro diagenesi è generalmente discreta, ma la porosità è molto elevata (Olocene).

*q3* - Alluvioni di fondo valle, detriti di pendio e melme (Olocene).

#### **4.1.5 Successione vulcanica oligo-miocenica**

Al di là delle singole unità cartografiche riportate nella Carta Geologica d'Italia, le vulcaniti cenozoiche dell'area di studio sono costituite essenzialmente da alternanze di flussi piroclastici suddivisibili sia in unità di flusso, che di raffreddamento. Le lave, in domi o ammassi sub-vulcanici, sono rappresentate solo da modesti affioramenti.

##### **4.1.5.1 I flussi piroclastici**

La composizione dei flussi è riolitico-riodacitica; lo spessore delle singole unità è vario, ma può raggiungere potenze di alcune centinaia di metri, a seconda della profondità delle paleomorfologie colmate. Spesso la cartografia ufficiale distingue i flussi in base al grado di saldatura. Tale distinzione, anche se non conforme alle nuove norme del Servizio Geologico, che prevedono anche per le vulcaniti suddivisioni tra USB, è più utile da un punto di vista idrogeologico. Infatti i livelli saldati, se non fratturati, sono a bassa permeabilità mentre i livelli a scarsa saldatura, se non argillificati da alterazione deutERICA, presentano spesso permeabilità discrete. Infine va ricordato che, spesso la base dei flussi è alterata in bentonite che costituisce un diaframma impermeabile tra le vulcaniti e il substrato mesozoico. (Aquitaniense-Burdigaliano).

Le vulcaniti rivestono duplice importanza perché influenzano il chimismo delle acque circolanti e costituiscono un'unità idrogeologica con caratteristiche peculiari.

##### **4.1.5.2 Lave in domi e ammassi sub-vulcanici**

Verso sud al di sotto, e talvolta intercalate, nei flussi piroclastici si trovano andesiti in domi e colate. Si tratta di lave a struttura porfirica con mesostasi con discreto contenuto vetroso. A queste lave nella periferia meridionale di Alghero si aggiungono dioriti a tendenza porfirica (Porfiriti Auct.) che datano all'Oligocene (28 ma). Tali rocce, pur affiorando solo marginalmente nell'area di studio, potrebbero rappresentare, verso sud, insieme al Mesozoico, il substrato dei flussi piroclastici.

La permeabilità per fratturazione di tali rocce può ritenersi media, per cui esse potrebbero rappresentare un serbatoio al di sotto delle piroclastiti.

## **4.2 L'assetto strutturale**

L'assetto strutturale della regione riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. La tettonica varisica ha importanza solo nel settore della Nurra occidentale, in cui affiora il basamento metamorfico paleozoico, che comunque riveste un'importanza secondaria rispetto alle coperture.

### **4.2.1 Tettonica varisica**

L'orogenesi varisica è responsabile della strutturazione del basamento che è caratterizzato da una tettonica polifase. La prima fase deformativa è caratterizzata da grandi pieghe isoclinali coricate con vergenza sud-occidentale. A tali pieghe sin-metamorfiche è legata la principale scistosità del basamento. Alla prima fase seguono altre fasi deformative che sviluppano nuove scistosità che traspongono la precedente. Tutto il basamento è strutturato in una grande sinforme di scistosità con immersione assiale verso est. Il piegamento in sinforme è riferibile alla fase F3 [Carosi et al. 2002], mentre l'immersione assiale verso est potrebbe essere riferita al tilting di età miocenica. Da un punto di vista idrogeologico, questo assetto strutturale controlla l'andamento del drenaggio che è centrifugo rispetto alla costa.

### **4.2.2 Tettonica mesozoica**

La tettonica mesozoica è stata individuata dagli studi per la prospezione della bauxite [Oggiano et al. 1987; Combes et al. 1993] ed è riassumibile nelle seguenti fasi:

- movimenti tettonici in regime distensivo, ai quali è legata l'emersione della piattaforma carbonatica. Sono riferiti all'Albiano, anche sulla base di correlazioni con i movimenti tettonici della Provenza (movimenti bedouliani) e sono caratterizzati da faglie normali che, con direzione ENE, hanno riattivato discontinuità tardo-varisiche nel basamento. Tali faglie hanno sollevato il settore nord-occidentale della piattaforma carbonatica attualmente affiorante, causandovi, nel Cretaceo medio, l'elisione erosiva dei depositi del Giurassico superiore e del Cretaceo inferiore. In questo modo la successione carbonatica mesozoica ha iniziato a presentare spessori via via decrescenti verso NW, fin dalla fase emersiva mesocretacica (figure 4.1, 4.2 e Allegato 1);
- tettonica a carattere transpressivo, caratterizzata da faglie trascorrenti sinistre con associate pieghe blande a direzione NNW e faglie normali orientate NE. La faglia più importante, legata a tale tettonica, è la faglia di Su Zumbaru-Mamuntanas. Questa decorre da Nalvonazzos di Uri sino ad oltre Mamuntanas ed è responsabile del sollevamento della piattaforma carbonatica posta a sud-est, che probabilmente è rimasta emersa anche durante il Cretaceo superiore; infatti a sud di tale faglia non si trovano mai sedimenti trasgressivi di tale epoca;
- fase tettonica del Cretaceo terminale, responsabile dell'emersione di tutta la piattaforma mesozoica. Le strutture riferibili a tale tettonica non sono ben identificate.

### 4.2.3 Tettonica cenozoica

- Fase tettonica post-Cretaceo superiore e pre-ignimbriti. Tra il Cretaceo superiore e il Miocene medio devono essersi sviluppate diverse fasi tettoniche che tradizionalmente vengono riferite alla fase *Pirenaica* [Cerchi & Tremolieres 1984]. Le pieghe principali, generate da tale tettonica, hanno direzione assiale N50 e ammettono un raccorciamento N140 che è differente da quello riferito alla fase pirenaica nella Sardegna sud-occidentale [Barca & Costamagna 1997; Carmignani et al. 2004]. Non essendoci marker stratigrafici che possano vincolarla, sia inferiormente che superiormente, tale tettonica, oltre che alla fase Pirenaica, potrebbe essere attribuita al Cretaceo superiore o anche all'Oligocene-Aquitano. In quest'ultimo caso, sarebbe riferibile alla collisione appenninica che ha generato importanti faglie trascorrenti sinistre con associate fasce transpressive nella Sardegna orientale e bacini transtensivi nella Sardegna centro-settentrionale.
- Fase tettonica distensiva, legata all'apertura burdigaliana del Bacino Balearico. Tale fase tettonica riveste notevole importanza nella strutturazione definitiva della regione; infatti ad essa è riferibile il generale tilting verso NE del blocco frustale della Nurra, ben deducibile dall'immersione orientale sia delle strutture planari e lineari del basamento, che dell'immersione assiale a NE delle pieghe che interessano le coperture tra il Rio D'Astimini e Monte Nurra. L'interferenza delle deformazioni fragili, legate a tale tettonica, con le pieghe della tettonica precedente realizza geometrie che hanno un controllo fondamentale sulla circolazione idrica sotterranea.
- Fase tettonica del Pliocene. Tale tettonica è responsabile del sollevamento recente della regione e si manifesta con faglie dirette e sollevamenti in blocco. Tali faglie hanno spesso andamento meridiano, ma possono riattivare faglie precedenti con differenti direzioni, generando depressioni ad andamento NS ed ENE all'interno delle quali si conservano vulcaniti mioceniche e depositi clastici del Miocene superiore.

## 4.3 Prospezione gravimetrica

### 4.3.1 Generalità

Secondo i programmi, è stata eseguita una prospezione gravimetrica lungo due profili regionali circa ortogonali tra loro (Allegato 1, figura 4.1). Le misure gravimetriche sono state eseguite con il gravimetro La Coste & Romberg mod. G n. 251, del Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Cagliari; le misure topografiche, essenzialmente rilevamento delle coordinate planimetriche e della quota, sono state eseguite mediante GPS e mediante livellazione trigonometrica effettuata con distanziometro ad onde e tacheo-teodolite. La precisione delle misure altimetriche, le più importanti in gravimetria, è stimata dell'ordine di 0,1 m, del tutto adeguata nel caso specifico. Il primo dei due profili, in ordine di acquisizione, si sviluppa per circa 20,5 km, con 56 punti di misura tra le località La Crucca (NE) e Monte Doglia (SW), mentre il secondo è lungo circa 26 km, con 80 punti di misura tra Punta Pedru Ghisu (NW) e Monte Maggiore (SE). I profili reali, visti in planimetria, non sono ovviamente rettilinei,

bensi spezzati con spostamenti laterali dei punti di misura rispetto all'allineamento di progetto anche dell'ordine di qualche centinaio di metri, sia a causa dell'agibilità dei luoghi, sia per rendere agevole la successiva fase di lavoro topografico; per gli stessi motivi, anche l'intervallo tra i punti di misura è stato variabile, con valori minimi di poche centinaia di metri e massimi dell'ordine di un chilometro. La densità media di punti stazione proiettati ortogonalmente sugli allineamenti di progetto è dunque di poco inferiore a 3/km (media sui due profili). I dati gravimetrici sono stati elaborati secondo le procedure di rito, con applicazione delle correzioni per densità costante ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ). I valori relativi di gravità osservata sono stati trasformati in valori assoluti mediante appoggio a stazioni della rete gravimetrica sarda [p.e. Trudu 1962; Carrozzo et al. 1997]; infine, il calcolo dell'anomalia di Bouguer è stato eseguito con riferimento alla formula della gravità normale internazionale IGRF 80 [Moritz 1984]. I risultati geofisici sono stati quindi sintetizzati in quattro tavole, due per profilo gravimetrico (figure 4.3 e 4.4).

Nella figura di ciascun profilo sono rappresentate quattro versioni del corrispondente profilo di anomalia (A, B, C e D); nelle figure 4.5 e 4.6 è ancora riportato il profilo D, con sovrapposto a tratto leggero il profilo B, assieme alla sezione geologica corrispondente, frutto dei rilievi specifici eseguiti nell'ambito del Progetto. Dei quattro profili d'anomalia, il profilo A è relativo ai valori originari, con le correzioni canoniche, ma senza alcuna operazione di filtraggio; in esso è anche tracciato il campo regionale del primo ordine (una retta ottenuta per semplice regressione lineare sui valori d'anomalia); il profilo B riguarda l'anomalia di Bouguer depurata della componente regionale del primo ordine; i profili C e D sono i rispettivi corrispondenti dei primi due, ma con applicazione di un filtraggio taglia-alto qualitativo (smoothing) eseguito con una media mobile su tre valori consecutivi. Come si vede, questa operazione ha attenuato sensibilmente le oscillazioni locali (che possono anche essere imputabili ad errori sperimentali) ed esaltato la componente di anomalia a media lunghezza d'onda (alcuni chilometri) ma, come logica conseguenza dello smoothing, ha anche attenuato le ampiezze. Le considerazioni interpretative esposte nel seguito potranno essere apprezzate più facilmente facendo riferimento ai profili d'anomalia depurati della componente regionale, ovvero ai profili B e D.

#### *4.3.2 Profilo gravimetrico Monte Doglia – La Crucca*

Il profilo è caratterizzato da una spiccata anomalia negativa, con lunghezza d'onda di circa 4 km e ampiezza di 4 mGal, che dovrebbe essere associata ad un sensibile ribassamento delle rocce carbonatiche mesozoiche, con consistente colmata quaternaria e recente. Secondo quanto emerso nel corso delle discussioni con i colleghi geologi operanti nel progetto, sembra dover essere esclusa la presenza di strutture tipo graben o assimilabili. L'anomalia in questione è però assolutamente rilevante per ampiezza ed estensione dunque, come si dirà nel seguito, è verosimilmente correlata ad aspetti idrogeologici importanti. Altri aspetti di rilievo e degni di essere approfonditi sono il massimo relativo tra le progressive 12000 e 16500, e l'adiacente minimo verso NE.

### 4.3.3 Profilo gravimetrico Punta Pedru Ghisu – Monte Maggiore

Anche in questo caso, l'elemento caratterizzante e di maggior interesse è costituito da un minimo piuttosto ampio (circa 7 mGal) ed esteso (circa 4,5 km), situato nella parte centrale del profilo, ovvero dall'abitato di Olmedo verso NW. L'ipotesi più accreditata è che si tratti di una struttura tipo pull-apart, piuttosto che di un graben, con consistente colmata terziaria e quaternaria. Poiché dai rilievi geologici e dalla sezione geologica dedotta sembra trattarsi di un'anticlinale con nucleo costituito da rocce metamorfiche del Paleozoico, erosa e quindi stirata, e dato che si afferma che dette rocce metamorfiche sono meno dense delle sovrastanti rocce carbonatiche del Mesozoico, il consistente minimo potrebbe essere l'effetto di due cause concomitanti, cioè primo, la relativa prossimità alla superficie delle rocce metamorfiche indicate come meno dense e secondo, la presenza di una cospicua colmata conseguente all'azione di pull-apart. Gli altri elementi di potenziale interesse si ritrovano nella parte SE del profilo, con una zona di massimo relativo probabilmente associabile ai consistenti spessori di ignimbriti più o meno consolidate, ma evidentemente dense, dell'Oligocene-Miocene, e una zona di minimo relativo da attribuire a condizioni non individuate dalle indagini di superficie.

## 4.4 Sintesi dei risultati

Allo stato attuale, data la mancanza di elementi che consentano di ridurre le incognite e di procedere ad una interpretazione quantitativa, i risultati sono da considerarsi meramente qualitativi. D'altro canto, oltre quelli gravimetrici, in origine erano in progetto anche rilievi geofisici d'altro tipo (elettrici, sismici a riflessione) con i quali sarebbe stato possibile, almeno localmente, fare interpretazioni fondate su dati reali in profondità; per motivi essenzialmente economici non è stato possibile eseguire questi rilievi. Tuttavia quanto emerso, pur nella limitata estensione e varietà delle indagini geofisiche, è di discreto interesse, sia in termini di valutazione degli acquiferi sotterranei, sia ai fini della loro protezione.

Le principali anomalie gravimetriche individuate, ovvero i minimi ben conformati che caratterizzano ciascuno dei due profili, derivano verosimilmente da anomalie geologiche bidimensionali che si estendono in direzione sub-trasversale rispetto alle direzioni dei profili. Se si ammette questo sviluppo laterale delle anomalie negative e si traccia su ciascuna di esse una striscia di larghezza pari alla loro estensione laterale e ortogonale al profilo, l'intersezione tra le due strisce (una per profilo) individua un'area trapezoidale di circa 10 km<sup>2</sup>, situata ad Ovest-Nord Ovest di Olmedo e prevalentemente caratterizzata da terreni quaternari. Quest'area, anche in base alle conoscenze ed agli indizi di ordine idrogeologico, si propone come interessante per futuri approfondimenti. In generale, gli spunti per discussioni scientifiche sono numerosi e interessanti, dato che permangono diverse discrepanze tra le strutture qualitative che i geologi ritengono plausibili lungo i due profili e il significato da attribuire alla conformazione delle anomalie gravimetriche. Evidentemente sono da mettere in conto fattori attualmente solo ipotizzabili come lo stato di fratturazione, la presenza di carsismo e, in genere, l'inopportunità, data la complessità della situazione, di stabilire corrispondenze biunivoche tra litotipi e caratteristiche fisiche. Tutto ciò, si ribadisce, indica per il momento inaffidabile qualunque processo di modellizzazione quantitativa.

Profilo gravimetrico P.Pedru Ghisu - M. Maiore

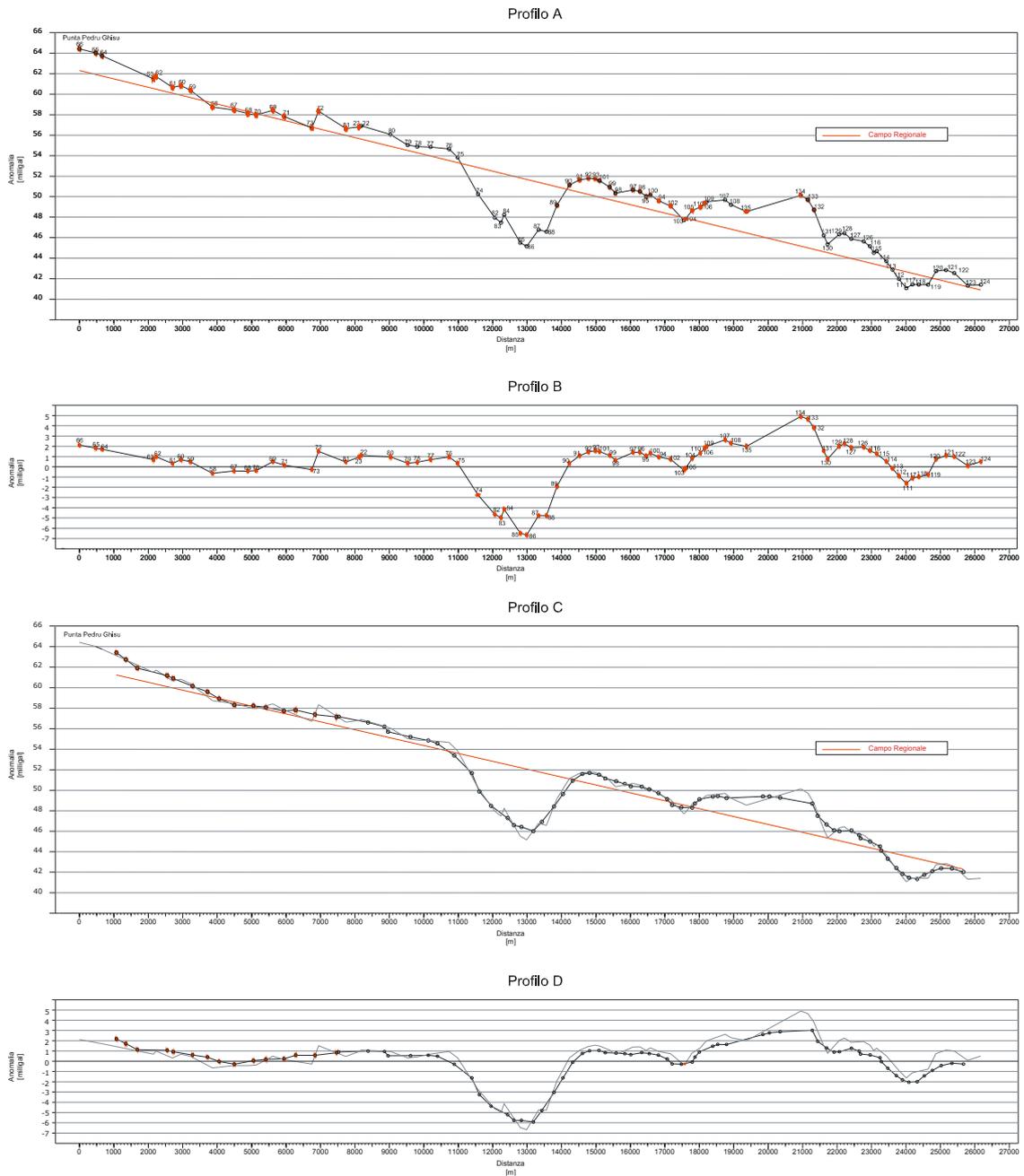


Figura 4.3 - Profilo gravimetrico A-A'

Profilo gravimetrico M.Doglia - La Crucca

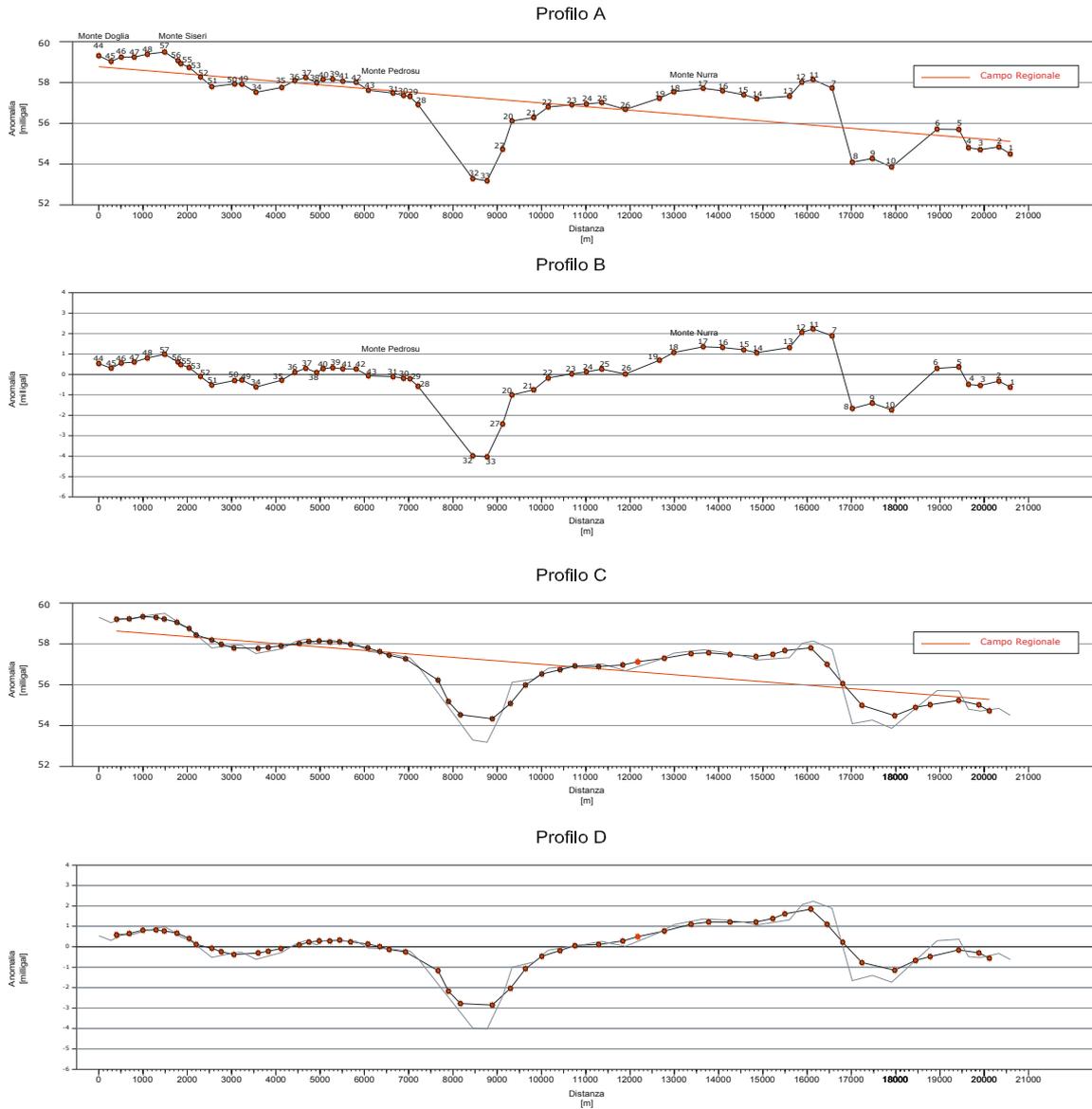
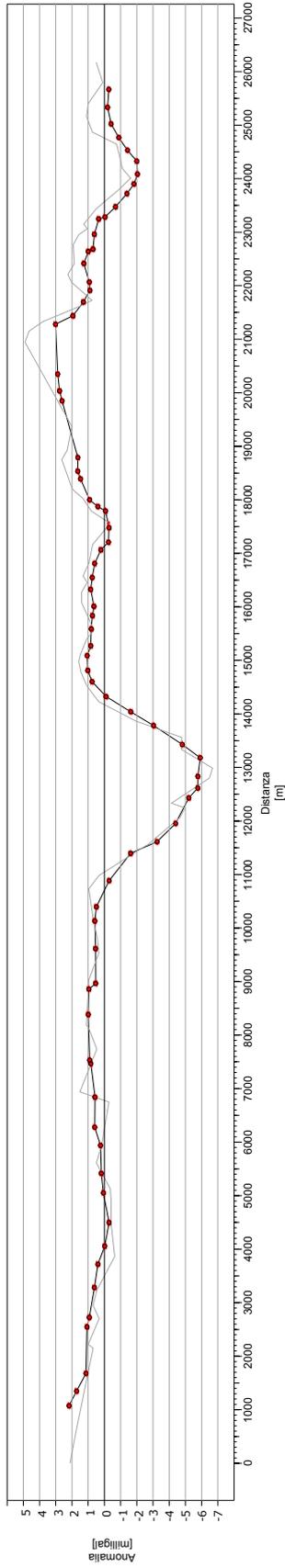


Figura 4.4 - Profilo gravimetrico B-B'

### Profilo D



### Sezione geologica A-A'

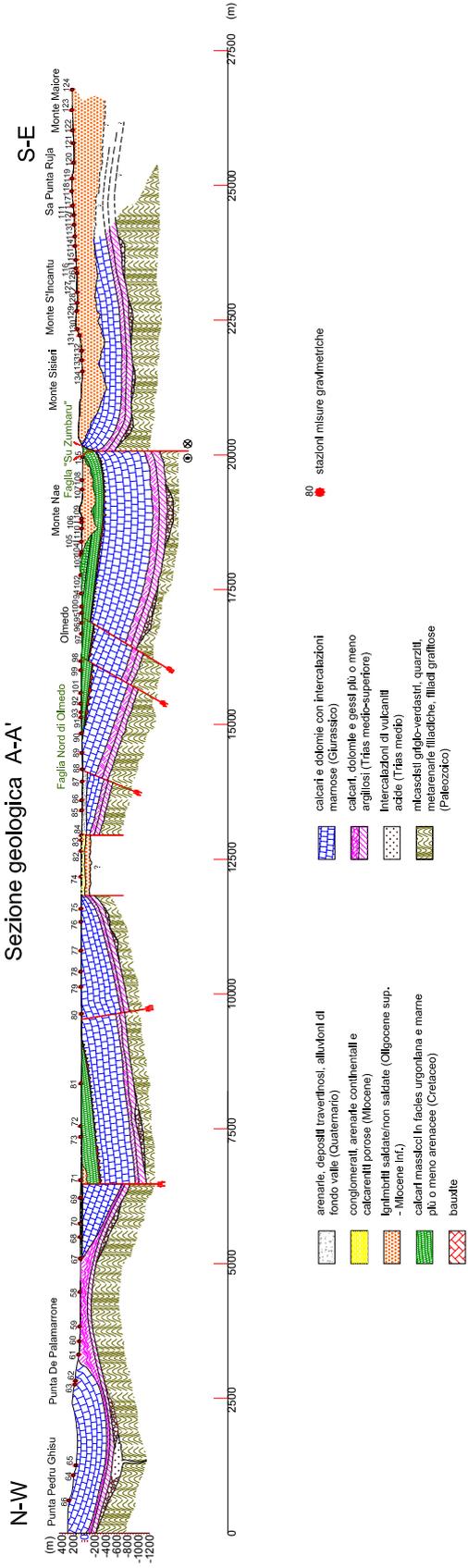


Figura 4.5 - Profilo gravimetrico e sezione geologica A-A'





## CAPITOLO 5 PEDOLOGIA

### 5.1 I suoli

I suoli sono entità naturali, che ospitano o sono in grado di ospitare, la vita delle piante; essi sono generati dall'interazione, nel tempo, del clima, della morfologia, del substrato, della vegetazione e degli organismi viventi, tra cui l'uomo, che costituiscono i fattori della pedogenesi o fattori pedogenetici. L'insieme dei loro processi è indicato come processo pedogenetico o pedogenesi. Quindi, il numero di suoli esistenti, a livello mondiale, deve essere considerato infinito e questi, nel loro insieme, costituiscono *un unicum*, in quanto, il passaggio tra un suolo e il successivo, avviene con estrema gradualità. È solo per facilitare il loro studio e la successiva organizzazione delle conoscenze, che si continua a considerare i suoli o tipi pedologici, come delle entità singole. Persino in una superficie limitata, quale quella dell'area in studio, caratterizzata dalla presenza di una grande variabilità geologica e morfologica, e da una frequentazione antropica di circa 4000 anni, si osserva una grande variabilità di tipi pedologici. Per semplificarne la descrizione si ritiene opportuno, in accordo con quanto fatto da Aru et al. [1992] per la Carta dei suoli della Sardegna, individuare nell'area in studio *le unità di paesaggio o fisiografiche* esistenti e, per ciascuna di esse, procedere alla descrizione dei tipi pedologici, in funzione dei rapporti esistenti tra questi e le principali morfologie. Le unità di paesaggio sono delle porzioni di territorio, con caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche sufficientemente omogenee e, di conseguenza, presumibilmente omogenee anche negli aspetti pedologici. L'uso dell'unità di paesaggio ha permesso di sfruttare al massimo la bibliografia pedologica esistente, consentendo di ridurre al minimo i rilevamenti in campo nelle aree poco note o studiate. In ciascuna unità di paesaggio, sono state ulteriormente riconosciute e studiate una o più *unità di mappa o cartografiche*. Ognuna di esse presenta precise caratteristiche morfologiche e di uso del suolo ed è caratterizzata dalla presenza di uno o più tipi pedologici, ovvero i suoli, così come vengono descritti nelle diverse tassonomie. Nelle diverse unità di mappa, i tipi pedologici possono essere in associazione o in complesso. I tipi pedologici sono in *associazione* quando è possibile separarli in cartografie a grande scala, e sono in *complessi* quando, invece, la loro variabilità è tale da impedire una loro separazione, anche con cartografie a grande scala. La cartografia di riferimento è quella predisposta da Madrau per il Piano Urbanistico Provinciale (PUC), alla scala 1:50000.

Nel territorio della provincia di Sassari sono state riconosciute 11 unità di paesaggio, di cui una è stata utilizzata per le aree urbanizzate o comunque di uso non agricolo dei suoli. Le unità cartografiche ammontano a 48, di cui 4 riservate per le situazioni in cui non sono disponibili informazioni pedologiche, come per esempio, aree urbane, cave e discariche, servitù militari, impianti industriali ecc..

Sono state seguite due classificazioni per i tipi pedologici: la Soil Taxonomy, proposta nel 1975 dall'U.S. Dept. of Agriculture e quella utilizzata dalla FAO e dall'UNESCO, quale legenda per la Carta Mondiale dei Suoli [1975].

In queste pagine ci si limita a descrivere brevemente come sono articolati i due sistemi, rinviando, alle opere specialistiche, per gli approfondimenti.

### 5.1.1 La Soil Taxonomy

Nella sua articolazione, la Soil Taxonomy rispecchia, in parte, il sistema di classificazione linneano, utilizzato da botanici e zoologi, permettendo una esatta definizione delle principali caratteristiche dei tipi pedologici.

Il sistema tassonomico ha l'obiettivo di permettere la descrizione di tutti i tipi di suoli esistenti a livello mondiale. Pertanto, lo schema di classificazione è soggetto a revisioni biennali, le *Keys to Soil Taxonomy*. Per la classificazione dei suoli presenti nella provincia di Sassari si è fatto riferimento alla versione del 2003. La Soil Taxonomy è articolata su più livelli di classificazione e il primo, l'*ordine*, è a livello mondiale e permette di definire i principali processi che hanno portato alla genesi del suolo. Gli ordini attualmente riconosciuti sono dodici. I nomi degli ordini sono distinti dal suffisso *sols*. I livelli successivi sono:

- *sottordine* che evidenziano i regimi di umidità o le caratteristiche chimico-fisiche principali del suolo,
- *grande gruppo*, che evidenzia altri pedogenetici o se non indicato nel sottordine il regime di umidità,
- *sottogruppo*, con il quale vengono specificate alcune caratteristiche secondarie dei suoli, es. spessore, colore, presenza di carbonati,
- *famiglia*, permette con serie di aggettivi di indicare le principali caratteristiche chimiche del suolo, substrato e il suo regime di temperatura,
- *serie*, permette tramite un aggettivo o un nome di specificare la località dove quel tipo pedologico è più diffuso o più rappresentativo.

Fino al livello di grande gruppo, il nome del suolo è ottenuto una serie di sillabe chiave che richiamano le proprietà del suolo stesso; per il sottogruppo si usano degli aggettivi. Sia le sillabe chiave che gli aggettivi derivano da parole greche o latine o comunque di uso comune tra i pedologici. Come esempio si riporta il nome e il significato del tipo pedologico più diffusi nel territorio in studio, *Lithic Xerorthents* dove:

- *ents*: è la sillaba chiave che contraddistingue i suoli iscritti all'ordine degli Entisuoli, ovvero quelli che sono nella fase iniziale del loro sviluppo;
- *orth*: dal greco *orthos*, vero; questa sillaba prefisso contraddistingue tutti gli Entisuoli ascritti al sottordine degli *Orthents*, cioè quelli che rispondono al *modello tipo* di Entisuolo, essendo privi di particolari proprietà fisiche e chimiche;
- *xer*: dal greco *xeros*, secco; questa sillaba prefisso contraddistingue tutti gli *Orthents* che hanno un regime di umidità del suolo di tipo serico;
- *lithic*: dal greco *lithos*, pietra; distingue tutti gli *Xerorthents* che hanno uno spessore (potenza), inferiore a 50 cm.

Nella cartografia pedologica dell'area in studio, la classificazione è stata spinta fino al livello di sottogruppo.

### 5.1.2 La Legenda FAO-UNESCO della Carta Mondiale dei Suoli

La Legenda FAO-UNESCO della Carta Mondiale dei Suoli rappresenta un tentativo per conciliare le principali classificazioni pedologiche, con l'obiettivo di fornire:

- una base scientifica per il trasferimento delle esperienze,
- una classificazione e una nomenclatura comunemente accettata,

- un quadro comune in vista di nuove ricerche pedologiche soprattutto nelle aree in via di sviluppo.

Anche per la Legenda FAO-UNESCO, sono state necessarie più revisioni. La versione più recente è indicata come WRB, acronimo di World Reference Base for Soil Resource, pubblicata nel 1998. Il WRB prevede due livelli tassonomici principali. Il primo è il *gruppo pedologico di riferimento*, attualmente in numero di trenta. Rispetto alla Soil Taxonomy, l'attribuzione di un suolo, ad uno dei gruppi principali, si basa sulle caratteristiche del substrato e del processo pedogenetico più importante nella genesi del suolo in oggetto. Il livello successivo è rappresentato dalla *unità pedologica*. L'attribuzione di un suolo si basa su caratteristiche fisiche, ad esempio il colore o su un processo pedogenetico fondamentale ai fini della sua evoluzione, non considerato nel livello superiore. Il nome del suolo è ottenuto a partire da quello del gruppo principale, a cui è aggiunto uno o più aggettivi, che qualificano i processi pedogenetici o la caratteristica fisica di quella unità pedologica. Sia il nome del gruppo principale che gli aggettivi derivano da parole greche o latine o da termini e nomi comunemente accettati dai pedologi. Entrambi devono essere in grado di richiamare le principali proprietà del suolo. I suoli a minimo spessore, diffusi nell'area in studio, sono classificati dalla Legenda come *Lithic Leptosols*, dove *sols* è il suffisso che contraddistingue i gruppi principali; *Lepto*, dal greco leptos, sottile, indica suoli poco potenti, dal minimo grado evolutivo; *Lithic*, dal greco lithos, pietra indica i Leptosuoli il cui spessore, per la presenza di una roccia dura o di uno strato cementato, è inferiore a 10 cm. Nella cartografia dei suoli della provincia, la classificazione è stata spinta fino a livello di unità pedologica.

## 5.2 Le unità fisiografiche

In accordo con la citata Carta dei Suoli della Sardegna, sono state riconosciute, nell'area in studio, le seguenti unità di paesaggio:

*a- paesaggi delle formazioni metamorfiche del Paleozoico (filladi, filladi serciticche, quarzitoscisti, quarziti ecc.), e relativi depositi di versante;*

*c- paesaggi delle formazioni arenacee del Permo - Trias e relativi depositi di versante;*

*d- paesaggi delle formazioni calcaree cristalline del Mesozoico e relativi depositi di versante;*

*e- paesaggi delle formazioni effusive acide del Mesozoico e relativi depositi di versante;*

*h- unità di paesaggio delle alluvioni mio-plioceniche e pleistoceniche e dei depositi eolici pleistocenici;*

*i- paesaggi delle alluvioni recenti ed attuali;*

*l- paesaggi dei depositi eolici dell'Olocene;*

*m- paesaggi delle aree urbanizzate;*

Nelle pagine successive è riportata la descrizione delle unità di mappa riconosciute in ciascuna di esse. Nell'elencazione delle unità di paesaggio e delle unità di mappa si è mantenuta quella proposta per la carta citata dei suoli della provincia di Sassari. Questa decisione è motivata dalla necessità di uniformare, almeno a livello cartografico, gli studi pedologici in ambito provinciale, al fine di consentire eventuali future correlazione con altre aree.

### 5.2.1 a- paesaggi delle formazioni metamorfiche del Paleozoico (filladi, filladi sericitiche, quarzitoscisti, quarziti ecc.), e relativi depositi di versante

#### 5.2.1.1 i- unità cartografica 1

Questa unità cartografica è osservabile in qualsiasi condizione morfologica, dalla pianeggiante alla collinare, su un substrato costituito prevalentemente da formazioni metamorfiche del basamento siluriano della Sardegna (quarzitoscisti e quarziti compatte sericitiche, filladi e filladi sericitiche di vario colore, micascisti, gneiss), intercalate da filoni di varia natura. Generalmente tutti questi substrati sono poco o nulla alterati.

La rocciosità affiorante<sup>1</sup> è maggiormente diffusa là dove prevalgono le quarziti e le quarzitoscisti, e comunque varia senza alcuna regola apparente.

I suoli hanno profili di tipo A-R e potenze variabili da 10 cm a non più di 25 cm, A-Bw-R con Bw sempre discontinuo. La copertura del suolo può essere costituita dal bosco di leccio, di sughera o roverella, da rimboschimenti di conifere, dalla macchia con diverso grado di degradazione, dal pascolo o, più raramente da seminativi, nelle aree con una morfologia meno accidentata.

L'elevata presenza di quarzo in filoni e di quarzitoscisti fanno sì che la pietrosità superficiale<sup>2</sup>, nelle aree interessate dalla presenza di questa unità, sia sempre presente

Il contenuto in scheletro<sup>3</sup>, dagli elementi piatti e con gli spigoli vivi, è comune, ma può raggiungere e superare il 50-60%. La tessitura<sup>4</sup> varia dalla franco-sabbiosa alla franca.

La reazione è subacida o al limite tra subacida e la neutra. La capacità di scambio cationica<sup>5</sup> (C.S.C.) è estremamente variabile, essendo legata alle caratteristiche del substrato, contenuto in sostanza organica ecc..

---

<sup>1</sup> La rocciosità rappresenta uno degli ostacoli più evidenti alla meccanizzazione delle operazioni colturali. In accordo con Costantini [1983], in queste pagine sono considerate come rocciosità affiorante, oltre alla rocciosità p.d., anche gli elementi pietrosi con  $\phi > 50$  cm.

<sup>2</sup> La pietrosità superficiale è, in queste pagine, sempre riferita a quegli elementi in grado di ostacolare l'utilizzo delle macchine più comuni, la cui eliminazione o riduzione e richiede interventi di spietramento. La FAO [1977, 1990], nella guida alla descrizione del profilo pedologico, pur riconoscendo le seguenti tre classi dimensionali di pietrosità:

*ghiaie:*  $\phi$  0,2 - 7,5 cm

*ciottoli:*  $\phi$  7,5 - 25 cm

*blocchi:*  $\phi > 25$  cm

indica come effettivo ostacolo all'utilizzo dei mezzi meccanici tutti gli elementi pietrosi che hanno un  $\phi > 15$  cm.

<sup>3</sup> Lo scheletro è la frazione granulometrica del suolo con  $\phi > 2$  mm; la frazione di diametro inferiore, oggetto dei nostri studi, è indicata con il termine *terra fine*. In questi suoli l'assenza di scheletro è dovuta al fatto che il substrato pedogenetico è costituito dai residui insolubili, prevalentemente ossidi di Fe e Al, della roccia carbonatica.

<sup>4</sup> Con il termine tessitura si indica l'insieme dei costituenti fisico - meccanici del suolo distinti nelle tre frazioni granulometriche *sabbia* ( $\phi = 2-0,02$  mm), *limo* ( $\phi = 0,02-0,002$  mm), *argille* ( $\phi < 0,002$  mm).

<sup>5</sup> La C.S.C. è definibile come il *massimo numero di cariche negative* [Eschena 1977, pp.110 e seg.] che gli scambiatori del suolo possono mettere a disposizione per adsorbire i cationi della soluzione circolante. Gli scambiatori possono essere inorganici (argille) o organici (umici). Il valore della C.S.C. non costante ma varia in funzione di numerosi fattori tra cui le caratteristiche mineralogiche delle diverse argille, la reazione del suolo ecc..

Il grado di saturazione in basi<sup>6</sup> varia nei diversi profili dal saturo (valori anche prossimi al 100%) all'insaturo, senza che, al momento, sia stata osservata una regola generale. All'interno del singolo profilo, all'aumentare della profondità, il grado di saturazione in basi può variare dal saturo all'insaturo; dalle prime osservazioni, questa variabilità appare correlata al contenuto in sostanza organica.

I rischi di erosione variano da moderati a molto severi, in funzione della morfologia, del grado di copertura vegetale del substrato, dell'uso del suolo sia attuale che nel recente passato.

Le superfici interessate da questa unità, sono inadatte a qualsiasi uso agricolo intensivo. Le destinazioni d'uso ottimali sono il ripristino e la conservazione della vegetazione naturale, il pascolo con un carico limitato di razze bovine rustiche, attività turistiche e ricreative.

Dal punto di vista tassonomico, siamo in presenza di un complesso<sup>7</sup> di suoli che, secondo la Soil Taxonomy, sono classificabili<sup>8</sup>, cioè ascrivibili, ai sottogruppi dei Lithic Xerorthents, (profili A-R, pedotipo dominante), Dystric Xerorthents, Lithic Dystrocherepts (profili A-Bw-R con Bw discontinuo). Per il WRB, questo complesso sarebbe costituito da suoli ascrivibili alle unità pedologiche degli Eutric Leptosols (pedotipo dominante) e da Dystric Leptosols (complesso di scambio insaturo) e Lithic Leptosols (profili A-R potenti meno di 10 cm) ed Epileptic Dystric Cambisols (profili A-Bw-R con Bw discontinuo).

#### 5.2.1.2 ii- unità cartografica 2

Questa unità cartografica si riscontra in corrispondenza di superfici dalla morfologia collinare, su i medesimi substrati indicati per l'unità precedente. La copertura vegetale è, di norma, costituita dal bosco o dal pascolo cespugliato o arborato. Nelle situazioni di marginalità il pascolo tende ad essere sostituito dalla macchia, più o meno degradata; nelle aree che presentano una giacitura più favorevole, tale da permettere la lavorazione a ritocchino, sono presenti seminativi a cereali o erbai in rotazione al pascolo.

La pietrosità superficiale, varia da scarsa a moderata. La rocciosità affiorante è sensibilmente inferiore a quella della unità precedente ed è limitata a quelle aree dove affiorano filoni particolarmente resistenti all'alterazione.

I suoli hanno profili di tipo A-Bw-R, A-Bw-B/C-C o A-Bw-C, tutti con potenze generalmente inferiori a 30-35 cm; nelle situazioni meno evolute, i suoli hanno un profilo di tipo A-R e potenze sempre inferiori a 20 cm.

---

<sup>6</sup> Il grado di saturazione esprime il rapporto tra il contenuto di ioni alcalini e alcalino-terrosi, presenti nel complesso di scambio, e la C.S.C..

<sup>7</sup> Data l'estrema variabilità del paesaggio e, quindi, dei tipi pedologici in essi presenti, sono di norma predisposte delle unità cartografiche nelle quali sono presenti più tipi pedologici. Il numero di suoli racchiusi in ciascuna unità è in funzione diretta della scala e quindi del dettaglio che la cartografia pedologica può offrire. Quindi si parlerà di *unità cartografiche semplici*, che comprendono un solo tipo pedologico e di *unità cartografiche* o di *mappa composte* quando che racchiudono più tipi pedologici. Per queste ultime è possibile distinguere i complessi, quando i diversi suoli non sono separabili cartograficamente a scale maggiori, dalle associazioni (di suoli), quando questa operazione è possibile.

<sup>8</sup> Per semplicità, in questa unità cartografica e in quelle successive, viene utilizzata la dizione *suoli classificati come o classificabili come* ecc.. Nel caso della Soil Taxonomy, queste due frasi devono essere intese come: *suoli attribuiti o attribuibili ai sottogruppi*, mentre nel caso della Legenda FAO, queste due frasi sottintendono sempre l'espressione *suoli attribuiti o attribuibili alle unità pedologiche dei*. I sottogruppi e le unità pedologiche sono, nelle rispettive tassonomie, dei livelli intermedi di classificazione.

La potenza dell'orizzonte Bw cambico è in funzione diretta sia della pendenza della superficie, sia dell'angolo di immersione degli strati metamorfici, risultando massima nel caso di immersione tipo reggipoggio, minima nel caso di immersione tipo franapoggio. Ne deriva che, sia il profilo che l'orizzonte Bw, sono di norma discontinui e possono variare di potenza anche nello spazio di pochi metri.

Il contenuto in scheletro, nei profili non soggetti a lavorazioni frequenti o profonde, è di norma moderato, con elementi minuti, per lo più quarzosi e dagli spigoli vivi. La tessitura è franco-sabbiosa o franca, senza variazioni significative all'aumentare della profondità. La reazione è subacida o al limite tra la subacida e la neutra.

Il grado di saturazione in basi, come nella unità precedente, varia nei diversi profili dal saturo, (condizione più comune) alla insaturo e, all'interno dello stesso profilo, può variare da saturo a insaturo all'aumentare della profondità.

I rischi di erosione variano da moderati a severi, in funzione della morfologia, del grado e delle caratteristiche della copertura vegetale, della frequenza e del tipo delle lavorazioni.

Le superfici ascritte a questa unità sono adatte ad un uso agricolo estensivo o semi estensivo. Le destinazioni d'uso ottimali sono pertanto rappresentate dal pascolo localmente migliorabile e dal rimboschimento finalizzato, più che alla produzione di masse legnose da cellulosa o da opera, alla protezione del suolo. Nelle situazioni di maggiore marginalità, le destinazioni d'uso ottimali sono rappresentate dal ripristino e dalla conservazione della vegetazione naturale e dal pascolo con carico limitato di razze bovine rustiche, da attività turistiche e ricreative.

Dal punto di vista tassonomico, siamo in presenza di un'associazione i cui termini sono classificabili secondo la Soil Taxonomy come Lithic Haploxerepts, Lithic Dystraxepts (insaturi) e Lithic Xerorthents (profili A-R). Per il WRB, l'associazione sarebbe costituita, in funzione del grado di saturazione e di evoluzione del profilo, rispettivamente da Eutric Cambisols, Dystric Cambisols, Eutric Leptosols.

In situazioni estremamente localizzate e sotto una copertura vegetale rappresentata dal bosco o dalla macchia molto fitta, sono stati osservati, su substrati costituiti da depositi colluviali di materiali già fortemente pedogenizzati, dei suoli a profilo A-Bw-C-R o A-Bw-C-2Bt-R, dalla potenza variabile da 60-80 cm a oltre 200 cm. Le caratteristiche chimico-fisiche e fisiche di questi suoli, quali colore, tessitura, reazione C.S.C. e grado di saturazione sono variabilissime, eccetto lo scheletro, sempre molto elevato, con elementi di tutte le dimensioni.

### 5.2.1.3 iii- unità cartografica 3

L'unità cartografica 3 si riscontra su morfologie variabili dalla ondulata alla collinare, su un substrato costituito, prevalentemente, da filladi siluriane a diverso grado di alterazione.

La pietrosità superficiale è moderata e, comunque, sensibilmente inferiore a quelle delle unità precedenti. La rocciosità affiorante è limitata a poche e poco estese placche sulle sommità più erose dei rilievi presenti nell'unità.

La copertura vegetale è costituita da seminativi a cereali o erbai in rotazione al pascolo. L'irrigazione è di soccorso, limitata a poche superfici di modesta ampiezza, prossime ai corpi idrici o servite dagli invasi collinari.

I suoli hanno un profilo di tipo A-Bw-R o A-Bw-C o A-Bw-BC-C, con potenze medie non superiori a 40-50 cm. Il contenuto in scheletro tende ad aumentare con la profondità. La tessitura varia dalla franca alla franco-sabbiosa, franco-sabbioso-argillosa. Non sono state osservate variazioni significative di classi tessiturali con l'aumentare della profondità.

La reazione varia dalla subacida alla neutra. Il grado di saturazione in basi ha un comportamento analogo a quello osservato nelle precedenti unità.

Nelle situazioni di compluvio o ai piedi dei rilievi, dove il substrato è costituito da una successione, spesso caotica, di più colluvi frammentati a alluvioni di varia potenza, il profilo è di tipo A-Bw-C-2A-2Bw o A-Bw-C-2a-2C-3A o A-C-2a-2Bw ecc., o più raramente, Bw-C-2Bt, con potenze superiori a 80-100 cm.

In queste situazioni la pietrosità superficiale può variare, anche in spazi ridotti, da scarsa a eccessiva. Il contenuto in scheletro varia da comune ad elevato e gli elementi sono disposti in una o *più stone lines* discontinue, di varia potenza. La tessitura varia dalla franco-sabbiosa alla franca o ancora più fine, con variazioni di classe tessiturale anche all'interno dello stesso profilo. L'aggregazione è poliedrica subangolare, da fine a grossolana, forte.

La reazione e il grado di saturazione in basi sono simili a quelli del profilo tipo dell'unità.

I rischi di erosione sono di norma moderati, essendo in funzione della morfologia, del grado e delle caratteristiche della copertura vegetale, della frequenza e del tipo di lavorazioni.

Localmente, si hanno episodi di ristagno idrico di breve durata e legati a precipitazioni eccezionali o prolungate.

Le superfici ascritte a questa unità non sono adatte ad un uso agricolo intensivo. Esse pertanto possono essere destinate a colture cerealicole, foraggiere anche irrigue, pascolo migliorato, rimboschimento meccanizzato, finalizzato anche alla produzione di legname da opera o di cellulosa.

Dal punto di vista tassonomico, siamo in presenza di una associazione di suoli in cui il pedotipo dominante, secondo al Soil Taxonomy, è rappresentato da suoli classificabili come Lithic Haploxerepts e in subordine dai Lithic Dystraxepts, Typic Dystraxepts e infine dai Typic Haploxerepts. Limitatamente ai compluvi sono presenti in subordine i Fluventic Haploxerepts.

Per il WRB, l'associazione sarebbe costituita nell'ordine da Eutric Cambisols e Dystric Cambisols. Nei compluvi e nei depositi colluviali sarebbero presenti anche i Fluvic Eutric Cambisols e gli Eutric Fluvisols.

## **5.2.2 c- Paesaggi delle formazioni arenacee del Permo - Trias e relativi depositi di versante**

### **5.2.2.1 i- unità cartografica 9**

Questa unità cartografica interessa delle superfici distribuite quasi esclusivamente nella Nurra, all'interno o in prossimità dei rilievi metamorfici che chiudono a ovest la regione. Le superfici interessate da questa unità presentano morfologie collinari, a tratti aspre ed accidentate, per la presenza di materiali metamorfici più resistenti alla alterazione.

La copertura vegetale è rappresentata dalla macchia a diverso grado di degradazione. La pietrosità superficiale e la rocciosità affiorante sono sempre molto elevate.

I suoli hanno profili di tipo A-R, con potenze modeste, di norma inferiori a 25-30 cm. Il contenuto di scheletro varia da scarso a moderato con elementi minuti e quarzosi. La tessitura varia dalla franco-sabbiosa alla franca. La reazione è neutra o subacida. La C.S.C. non è mai molto elevata ed è di norma satura.

Nei i compluvi o nelle aree a minore pendenza, possono svilupparsi dei suoli a profilo di tipo A-Bw-C o A-Bw-C-R, con potenze medie di 40-50 cm. Il loro contenuto di scheletro varia da scarso a moderato, con elementi minuti e quarzosi. La tessitura varia dalla franco-sabbiosa alla franca. La reazione è neutra o subacida. La C.S.C. non è mai molto elevata ed è di norma satura.

Le superfici interessate da questa unità sono soggette, se private della copertura vegetale o se soggette a pascoli dal carico eccessivo, a gravi rischi di erosione.

Sono comunque inadatte a qualsiasi uso agricolo, anche estensivo. Possono essere destinate al pascolo, ma con carichi limitati, al rimboschimento finalizzato alla protezione del suolo, ad attività turistiche e ricreative.

Dal punto di vista tassonomico, nell'unità è presente un complesso di suoli classificabili come Lithic Xerorthents (profili A-R), Lithic Haploxerepts (profili A-Bw-C). Per il WRB, questi suoli sono classificabili come Lithic Leptosols (profili A-R potenti meno di 10 cm), Eutric Leptosols (restanti profili A-R) e Epileptic Eutric Cambisols (profili A-Bw-C).

### *5.2.3 d- paesaggi delle formazioni calcaree cristalline del Mesozoico e relativi depositi di versante*

#### **5.2.3.1 i- unità cartografica 10**

Questa unità si riscontra su superfici con una morfologia dalla collinare alla pianeggiante. La copertura vegetale può essere costituita dal bosco, dalla macchia a diverso grado di degradazione, dal pascolo talvolta migliorato. Le colture agrarie, di norma cereali, sono limitate alle morfologie meno accidentate. La pietrosità superficiale varia da scarsa a elevata. La rocciosità affiorante, con elementi spesso disposti in fasce fra loro parallele o disposte a costituire ampie pareti quasi verticali, varia da elevata, situazione frequente nelle morfologie collinari, a scarsa, più comune nelle piane.

I suoli, presenti in questa unità, hanno un caratteristico colore, variabile dal bruno al rosso, e profili di tipo A-R, con potenze medie inferiori a 20 cm, A-Bt-R con potenze medie inferiori a 20-25 cm e con l'orizzonte Bt sempre discontinuo e infine A-Bt-R con l'orizzonte Bt discontinuo, che si può spingere per diversi dm all'interno di tasche della roccia, imputabili ai processi carsici.

Il profilo è, generalmente, privo o quasi privo di scheletro. In alcuni casi è stata riscontrata una quantità elevata di scheletro, apportata dalle lavorazioni eccessivamente profonde. La tessitura varia dalla franco-argillosa alla argillosa. La reazione è neutra o subalcalina. La C.S.C. è elevata e satura.

Le superfici, interessate dalla presenza di questa unità, sono soggette a rischi di erosione, variabili da moderati a molto gravi, in funzione della morfologia, delle caratteristiche e del grado di copertura della vegetazione.

Queste superfici sono inadatte ad un uso agricolo intensivo e per gran parte di quelli estensivi. Sono infatti possibili il pascolo, quasi mai migliorabile, e il rimboschimento finalizzato principalmente alla protezione del suolo.

Dal punto di vista tassonomico, in questa unità è presente un complesso di suoli i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy USDA, come Lithic Xerorthents (profili A-R), Inceptic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R con Bt discontinuo), Lithic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R potenti meno di 50 cm) e Typic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R potenti più di 50 cm).

Per il WRB, questi suoli sono classificabili come Lithic Leptosols (profili A-R) e Epileptic Chromic Luvisols.

Nelle aree dove la macchia o il bosco sono più fitti o dove l'intervento antropico (incendi, pascolo dal carico ridotto ecc.) è stato minimo, possono essere osservati dei suoli con profilo A-R o A-Bt-R, con l'orizzonte A molto ricco di sostanza organica, dalla caratteristica aggregazione grumosa o poliedrica, molto fine, attribuiti ai Lithic Argixerolls (Soil Taxonomy) e ai Luvic Phaeozem (WRB).

### 5.2.3.2 ii- unità cartografica 11

Questa unità si riscontra su superfici con una morfologia variabile, dalla debolmente ondulata alla pianeggiante. La copertura vegetale può essere costituita dal bosco, dalla macchia a diverso grado di degradazione e dal pascolo spesso migliorato. Le colture agrarie più diffuse sono i cereali, le arboree e le ortive, in funzione della profondità del suolo e delle disponibilità irrigue. La pietrosità superficiale varia da scarsa ad assente. La rocciosità affiorante è assente.

I suoli presenti in questa unità hanno un colore variabile dal bruno rossastro al rosso e profili di tipo A-R con potenze medie inferiori a 20 cm, A-Bt -R con potenze medie inferiori a 20-25 cm e con l'orizzonte Bt sempre discontinuo o A-Bt-R con potenze medie di 40-60 cm e con l'orizzonte Bt che può spingersi, per diversi dm, all'interno di tasche di origine carsica, presenti nel substrato, con potenze medie superiori a 80-120 cm.

Generalmente, il profilo è privo o quasi privo di scheletro e, spesso, la sua presenza è legata a lavorazioni eccessivamente profonde. La tessitura varia dalla franco-argillosa alla argillosa. La reazione è neutra o subalcalina. La C.S.C. è sempre elevata ed è satura. Le superfici comprese in questa unità sono soggette a rischi di erosione, variabili da moderati a molto gravi, in funzione della morfologia, delle caratteristiche e del grado di copertura della vegetazione. Sono irrigabili in funzione delle disponibilità di riserve idriche.

In funzione delle profondità del suolo, queste superfici possono ospitare un ampio spettro di colture erbacee ed arboree, sia irrigue che asciutte. Dal punto di vista tassonomico, in questa unità è presente un complesso di suoli i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Lithic Xerorthents (profili A-R), Inceptic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R con Bt discontinuo), Lithic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R potenti meno di 50 cm), Typic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R potenti più di 50 cm) e Typic Haploxeralfs.

Per il WRB, questi suoli sono classificabili come Lithic Leptosols (profili A-R), Chromic Luvisols e Haplic Luvisols, se privi della colorazione rossastra.

### 5.2.3.3 iii- unità cartografica 12

Questa unità si osserva su una morfologia da ondulata a debolmente ondulata, ai piedi dei rilievi collinari calcarei giurassici, su un substrato costituito da depositi colluviali di varia granulometria, in parte già pedogenizzati, che ricoprono i calcari compatti.

La copertura vegetale, in queste superfici, può essere costituita dalla macchia, più o meno degradata, dal pascolo arborato o cespugliato e, nelle aree dalla morfologia più dolce, dai seminativi.

La pietrosità superficiale varia da elevata a scarsa, in funzione della distanza dal pendio collinare. La rocciosità affiorante è sempre assente.

I suoli, dal caratteristico colore rossastro o bruno rossastro, hanno un profilo di tipo A-Bt-C-R, A-Bw-C o A-Bw-C-R, tutti con potenze variabili da 40 a oltre 80 cm.

La tessitura varia dalla franco-argillosa alla argillosa, all'aumentare della profondità. Il contenuto di scheletro, contrariamente ai suoli osservati nelle precedenti unità, può essere elevato in tutti gli orizzonti. La reazione è neutra o subalcalina. Il complesso di scambio è elevato e quasi sempre saturato dal calcio.

Il passaggio tra gli orizzonti Bt o Bw e il sottostante C o R è di norma evidenziato dalla presenza di accumuli di carbonati secondari, generalmente come pseudomicelio o come polveri molto fini. Questi accumuli sono discontinui e si ritiene che la loro genesi, sia da imputare a fenomeni di lisciviazione laterale, a carico dei sovrastanti pendii.

L'orizzonte C, infine, è costituito da un pacco di spessore variabile di ghiaie e ciottoli calcarei, frammisti e cementati, in varia misura, da argille.

I rischi di erosione sono, generalmente, molto severi, essendo influenzati dalla pendenza della superficie e dal grado di copertura vegetale.

Le superfici appartenenti a questa unità, in funzione delle profondità del suolo, possono essere adatte ad un spettro di colture sia erbacee che arboree, sia irrigue che asciutte più ampio di quello della precedente unità 10.

Secondo la Soil Taxonomy, in questa unità è presente un'associazione di Calcic Rhodoxeralfs e Calcic Haploxerepts (profili A-Bw-C-R). Sono presenti anche suoli classificati come Lithic Rhodoxeralfs e Inceptic Rhodoxeralfs (profili A-Bt-R con Bt discontinuo).

Il WRB attribuisce i termini della associazione ai Calcic Chromic Cambisols e i Calcic Luvisols.

### *5.2.4 e - paesaggi delle formazioni effusive acide del Mesozoico e relativi depositi di versante*

#### 5.2.4.1 i- unità cartografica 13

Questa unità cartografica si osserva su qualsiasi condizione di morfologia e in presenza di qualsiasi substrato effusivo. La copertura vegetale è rappresentata dal bosco, dalla macchia, più o meno degradata, e dal pascolo.

La pietrosità superficiale è sempre molto elevata ed è associata ad ampie superfici con roccia affiorante che, nelle morfologie a *cuestas* e nei pendii collinari, può essere disposta in fasce parallele.

I suoli hanno profili di tipo A-C o A-R o, più raramente, A-Bw-C con potenze inferiori a 20-25 cm e Bw sempre discontinuo. Lo scheletro varia da comune ad abbondante. La tessitura varia dalla franca alla argillosa. La reazione è neutra. Il complesso di scambio è sempre saturo. Nelle superfici interessate da questa unità, i rischi di erosione variano da assenti ad elevati, in funzione della morfologia e delle caratteristiche della copertura vegetale.

Le superfici interessate da questo complesso di suoli sono inadatte a qualsiasi uso agricolo intensivo e possono essere pertanto destinate al rimboschimento finalizzato alla protezione del suolo, al pascolo di razze ad elevata rusticità e con carichi limitati, ad attività turistiche e ricreative.

L'unità è caratterizzata dalla presenza di un complesso di suoli e pedotipi classificati, secondo la Soil Taxonomy, come Lithic Xerorthents (profili A-C o A-R), Lithic Haploxerepts (profili A-Bw-C con Bw discontinuo) e Lithic Haploxerepts (profili A-Bw-C). Il WRB li classifica rispettivamente come Lithic Leptosols (profili A-C potenti meno di 10 cm), Eutric Leptosols e Epileptic Haplic Cambisols (profili A-Bw-C).

#### 5.2.4.2 ii- unità cartografica 14

Questa unità cartografica è limitata alle sole superfici tabulari delle colate vulcaniche, e alle cosiddette *mesas*, nelle morfologie a *cuestas* (terrazzate). La copertura vegetale è, di norma, costituita dal bosco, dalla macchia in diverse situazioni di degrado e dal pascolo. La pietrosità superficiale varia da scarsa ad elevata ed è associata a ampie superfici a rocciosità affiorante.

Come nella unità precedente, i suoli più diffusi hanno profili di tipo A-C o A-R o più raramente A-Bw-C, con potenze inferiori a 20-25 cm e Bw sempre discontinuo. Nelle situazioni in cui il substrato è alterabile con maggiore rapidità, micromorfologie da pianeggianti a depresse hanno favorito lo sviluppo e la conservazione di profili di tipo A-Bw-C, con potenze fino a 50-60 cm. In tutti i pedotipi, lo scheletro è comune. La tessitura varia dalla franca alla argillosa. La reazione è neutra. Il complesso di scambio è saturo. Queste superfici sono soggette a rischi di erosione scarsi o assenti. Durante la stagione invernale si possono osservare ristagni idrici superficiali. L'estensione delle superfici interessate e la durata del ristagno sono in funzione delle condizioni micromorfologiche.

Le superfici comprese in questa unità sono inadatte a qualsiasi uso agricolo intensivo, per cui, come l'unità precedente, possono essere destinate al rimboschimento finalizzato alla protezione del suolo, al pascolo di razze ad elevata rusticità e con carichi limitati, ad attività turistiche e ricreative.

Dal punto di vista tassonomico, nell'unità è presente un complesso di suoli e i cui pedotipi possono essere classificati, secondo la Soil Taxonomy, come Lithic Xerorthents, Lithic Haploxerepts (profili A-Bw-C con Bw anche discontinuo), Lithic e Typic Haploxerepts (profili A-Bw-C profondi più di 50 cm).

Il WRB li classifica rispettivamente come Lithic Leptosols (profili A-C potenti meno di 10 cm), Eutric Leptosols e Epileptic Haplic Cambisols (profili A-Bw-C).

#### 5.2.4.3 iii- unità cartografica 15

Questa unità raggruppa superfici con una morfologia variabile dalla collinare alla ondulata, su un substrato costituito prevalentemente da vulcaniti poco alterate. L'uomo è intervenuto terrazzando artificialmente le superfici presenti lungo i compluvi.

La copertura vegetale è rappresentata dalla macchia, dai pascoli, sia naturali che migliorati e localmente; nelle morfologie più favorevoli e nei terrazzi si coltivano cereali, foraggere ed arboree, principalmente olivo e vite.

La pietrosità superficiale è scarsa. La rocciosità affiorante è localizzata nelle aree di maggiore erosione.

I pedotipi prevalenti hanno dei profili A-C, potenti mediamente da 20 a 40 cm, o di tipo A-Bw-C, con potenze da 20 (ma orizzonti Bw discontinui) a 60 cm ed oltre.

Nei terrazzi sono presenti suoli dal profilo A-Bw-C, con potenze che possono superare i 100-120 cm. Di norma il contenuto di scheletro è comune. La tessitura varia dalla franca alla argillosa, in funzione delle caratteristiche mineralogiche del substrato e, soprattutto con l'aumentare della profondità. La reazione è neutra o debolmente subalcalina. Il complesso di scambio è saturo.

Nelle superfici, appartenenti a questa unità, i rischi di erosione variano da moderati a severi, in funzione della morfologia, delle caratteristiche della copertura e dell'uso, attuale e passato, del suolo. Queste aree sono da considerarsi, comunque, marginali non adatte alla utilizzazione agricola intensiva. Sono, pertanto, destinabili al rimboschimento finalizzato alla produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo localmente migliorabile e, nelle situazioni più favorevoli, alle colture cerealicole e foraggere. Nell'unità è presente una associazione di suoli i cui pedotipi, secondo la Soil Taxonomy, sono classificabili come Lithic Xerorthents (profili A-C), Lithic Haploxerepts e Typic Haploxerepts i restanti. Secondo il WRB, questi suoli sono classificabili rispettivamente come Eutric Leptosols e Leptic Haplic Cambisols.

#### 5.2.4.4 iv- unità cartografica 16

Questa unità si osserva su superfici con morfologie da pianeggianti ad ondulate, su un substrato di vulcaniti alterate che, ai piedi dei rilievi, sono frammiste con depositi colluviali di varia potenza, oppure possono essere presenti dei depositi alluvionali. La copertura vegetale è costituita dal pascolo, dalle colture cerealicole, foraggere, anche irrigue, e dalle ortive.

La pietrosità superficiale è scarsa o assente. La rocciosità affiorante è sempre assente.

Questa unità comprende suoli con profilo A-Bw-C potenti da 60 ad oltre 100 cm. Nei depositi colluviali o alluvionali il profilo può essere di tipo A-C-2A-2Bw-2C o A-Bw-C-2A-2Bw-2C ecc., e le potenze possono essere superiori a 80-100 cm. Il contenuto in scheletro è comune. In presenza di depositi alluvionali o colluviali, gli elementi dello scheletro possono costituire delle *stone-lines*, irregolari per potenza e diffusione.

La tessitura varia dalla franco-sabbiosa, in presenza dei depositi alluvionali, alla franco-argillosa e argillosa, all'aumentare della profondità. La reazione è neutra o debolmente subalcalina. Il complesso di scambio è sempre saturo.

Nelle morfologie pianeggianti e in presenza di substrati che originano, in seguito ad alterazione, argille con reticolo espandibile, possono essere riscontrati, in numerosi profili, caratteri vertici poco pronunciati, oltre che, in alcuni casi, in profondità,

accumuli di carbonato secondario, sotto forma di una sottile rete, il *pseudomicelio*, simile alle ife fungine.

Nelle superfici classificate in questa unità, i rischi di erosione sono di norma assenti. Si possono verificare fenomeni di ristagno idrico nei suoli con tessitura molto fine, nelle micromorfologie depresse ed in corrispondenze di eventi meteorologici eccezionali.

Queste superfici possono essere da adatte o moderatamente adatte, a seconda della morfologia, all'utilizzo agricolo intensivo, per cui possono essere destinate al rimboschimento meccanizzato per la produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo migliorato, alle colture cerealicole e foraggere e alle colture ortive. Possono essere necessari interventi di drenaggio.

Nell'unità è presente una associazione di suoli i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Typic Haploxerepts, Vertic Haploxerepts (caratteri vertici) e Calcic Haploxerepts (presenza di accumuli di carbonati secondari).

Per il WRB, questi pedotipi sono classificabili rispettivamente come Eutric Cambisols, Vertic Cambisols e Calcic Cambisols

#### 5.2.4.5 v- Unità cartografica 17

A quest'unità cartografica appartengono superfici con un substrato di vulcaniti, localmente alterate e frammiste a depositi alluvionali, ricchi di materiali molto fini. La morfologia è pianeggiante, a tratti debolmente depressa. In queste superfici si osservano ristagni idrici più prolungati rispetto quelli osservabili nella unità precedente.

I suoli sono simili a quelli dell'unità 15, da cui differiscono per la maggiore potenza e per la presenza di caratteri aquici<sup>9</sup>, in genere poco pronunciati, ma che talvolta possono richiedere interventi di drenaggio.

In presenza di substrati che, per alterazione, danno origine ad argille con reticolo espandibile o di depositi alluvionali, ricchi anch'essi di tali argille, possono essere presenti dei suoli a profilo A-C, con caratteri vertici nettamente pronunciati.

Le superfici di questa unità sono, da seconda delle condizioni di drenaggio, da adatte a moderatamente adatte all'utilizzo agricolo intensivo, per cui possono essere destinate al rimboschimento meccanizzato, finalizzato alla produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo migliorato, alle colture cerealicole e foraggere, alle colture ortive. L'irrigazione deve essere praticata assieme ad interventi di drenaggio.

Nella unità si ha un'associazione di suoli i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Typic Haploxerepts, Vertic Haploxerepts, Calcic Haploxerepts e, in caso di caratteristiche vertiche, come Typic Haploxererts e Typic Calcixererts se, ai caratteri vertici, sono associati anche accumuli di carbonati secondari (pseudomicelio).

Secondo il WRB, questi pedotipi sono classificabili rispettivamente come Eutric Cambisols, Vertic Cambisols, Calcic Cambisols, Eutric Vertisols e Calcic Vertisols.

#### 5.2.4.6 vi- unità cartografica 18

L'unità cartografica 18 si riscontra su morfologie pianeggianti o debolmente ondulate, con un substrato costituito da depositi di cineriti vulcaniche o da altri materiali

---

<sup>9</sup> il regime di umidità dei suoli di tipo aquico si osserva quando nel suolo esiste acqua libera per periodi di tempo sufficientemente lunghi per creare condizioni riducenti nel suolo stesso.

vulcanici, la cui alterazione da origine ad elevate quantità di argille con reticolo espandibile. La copertura vegetale è rappresentata dal pascolo, dalle colture cerealicole e foraggere. La pietrosità superficiale e la rocciosità affiorante sono sempre assenti.

È da segnalare che, all'interno del paesaggio delle vulcaniti acide, questa unità è molto più diffusa di quanto non appaia in cartografia, per la presenza di numerose piccole aree, assolutamente non cartografabili alla scala adottata.

I suoli hanno profili di tipo A-C, con potenze che possono superare i 120-150 cm. Lo scheletro è assente. La tessitura è argillosa. La reazione è neutra ed il complesso di scambio, tra i più alti osservabili, è sempre saturo.

In profondità sono osservabili accumuli di carbonati secondari sotto forma di una fitta rete di pseudomicelio o di noduli biancastri di tutte le dimensioni.

Il profilo possiede caratteristiche vertiche molto pronunciate: self-mulching superficiale, profonde ed ampie crepacciature, facce di pressione e di scivolamento, micromorfologia a gilgai, elevata estensibilità lineare ecc., legate alle variazioni volumetriche stagionali del suolo per la presenza, nella frazione fine, di elevate quantità di argille a reticolo espandibile.

Le superfici comprese in questa unità sono adatte alla utilizzazione agricola intensiva. Le principali limitazioni sono rappresentate dalla tessitura argillosa che ostacola le lavorazioni (soprattutto per la scarsa durata delle condizioni di tempera e per la necessità di mezzi di notevole potenza), che rende difficoltoso il drenaggio superficiale durante la stagione invernale, anche a causa della presenza di una micromorfologia a gilgai. Queste superfici possono essere destinate a tutte le colture agrarie, ad eccezione di quelle in cui il prodotto è rappresentato da tuberi, bulbi e radici, che possono essere danneggiati dalle variazioni volumetriche del suolo.

Dal punto di vista tassonomico, i suoli presenti questa unità sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Typic Haploxererts, Chromic Haploxererts, Typic e Chromic Calcixererts, a seconda del colore e della eventuale presenza di orizzonti calcici. Il WRB classifica questi suoli rispettivamente come Eutric Vertisols e Calcic Vertisols.

### *5.2.5 h - unità di paesaggio delle alluvioni mio-plioceniche e pleistoceniche e dei depositi eolici pleistocenici*

#### **5.2.5.1 i- unità cartografica 32**

Questa unità cartografica si osserva su una morfologia da pianeggiante a ondulata, su un substrato costituito da depositi alluvionali antichi, di varia granulometria. La copertura vegetale comprende la macchia e le colture agrarie, sia erbacee che arboree.

La pietrosità superficiale può essere, localmente, anche molto elevata, per la presenza di grossi ciottoli e blocchi, spesso di quarzo, portati in superficie, dagli orizzonti più profondi, dalle lavorazioni. La rocciosità affiorante è sempre assente.

I suoli hanno profili di tipo A-Bt-C, Ap-Bt-C, , Ap-C e potenze che possono variare da 80-100 cm, la condizione prevalente, a meno di 40-50 cm, nelle situazioni di maggior erosione. Il contenuto di scheletro è molto variabile, in funzione delle caratteristiche granulometriche degli episodi alluvionali, che fungono da substrato. Gli elementi sono di dimensioni molto variabili, prevalentemente di quarzo o comunque molto ricchi in quarzo. La tessitura è variabilissima: dalla franco-sabbiosa alla franco-limoso-argillosa, alla argillosa.

L'orizzonte C è, di norma, costituito da un pacco di ciottoli e ghiaie poligeniche, ma sempre con prevalenza del quarzo, fortemente cementate da materiali più fini. La reazione è subacida o neutra. Il complesso di scambio, mai molto elevato, è di norma insaturo.

In profondità, possono essere osservati accumuli di carbonati secondari. Possono esser presenti anche delle screziature (gley e pseudogley) di colore grigiastro o molto bruno, legate alla presenza, attuale o passata, di falde subsuperficiali.

I rischi di erosione variano da assenti a gravi, in funzione della morfologia e della copertura vegetale. I fenomeni di ristagno idrico sono brevi e localizzati nelle micromorfologie depresse.

Le ripetute lavorazioni profonde possono aver rimescolato il profilo per cui, dell'orizzonte Bt, rimangono frammenti più o meno grossolani, all'interno del profilo.

Suoli con queste caratteristiche possono essere osservati, in aree quasi mai cartografabili, all'interno dei paesaggi delle metamorfite e delle rocce intrusive, su substrati costituiti da depositi colluviali, con granulometria estremamente caotica.

Le superfici di quest'unità sono adatte ad un uso agricolo intensivo, sia pure con diverse limitazioni, quali scheletro eccessivo, tessitura fine, scarsa fertilità, difficoltà di drenaggio ecc.. Queste superfici possono essere destinate al rimboschimento per la produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo migliorato, alle colture cerealicole, foraggere e arboree. L'irrigazione è praticabile, in funzione delle disponibilità idriche locali e delle necessità di drenaggio.

In questa unità è presente una associazione di suoli i cui termini, secondo la Soil Taxonomy, sono classificabili come Typic Haploxeralfs; il pedotipo dominante è Calcic Haploxeralfs o Aquic Haploxeralfs, per la presenza di accumuli di carbonati secondari o di caratteri aquici. Nelle aree maggiormente erose, spesso in situazioni non cartografabili, sono diffusi dei suoli classificabili come Lithic Haploxeralfs, mentre i profili rimescolati dalle lavorazioni, anche questi distribuiti in aree difficilmente restituibili in cartografia, sono classificabili come Alfic Xerarents. Il WRB li classifica rispettivamente come Haplic Luvisols, Calcic Luvisols, Gleyic Luvisols e Luvic Anthrosols.

#### 5.2.5.2 iii- unità cartografica 34

L'unità cartografica 34 è stata riscontrata su una morfologia da pianeggiante a ondulata, in aree ai piedi o prossime a rilievi sedimentari e su un substrato costituito da depositi alluvionali antichi, frammentati con depositi colluviali di varia età, ricchi in materiali grossolani (ghiaie, ciottoli), sedimentari, cementati da materiali più fini, fortemente pedogenizzati, oppure su alluvioni antiche con depositi di materiali carbonatici, prelevati per lisciviazione laterale, dai circostanti rilievi sedimentari.

La pietrosità superficiale è moderata o assente. La rocciosità affiorante è sempre assente. I suoli hanno profili di tipo A-Bt-Bk-C, A-Bt-Bk-Ck, Ap-Bt-Bk-C e Ap-Bt-Bk-Ck, potenze che possono variabili, superiori a 80-100 cm. Il contenuto di scheletro è molto variabile, in funzione delle caratteristiche granulometriche degli episodi alluvionali e colluviali, che fungono da substrato. La tessitura varia dalla franco-argillosa alla argillosa, anche all'interno del profilo.

L'orizzonte C è di norma costituito da un pacco di ciottoli e ghiaie poligeniche, fortemente cementate, sia da materiali più fini che da carbonati secondari. La reazione è neutra o subalcalina. Il complesso di scambio, elevato, è di norma saturo.

Questi suoli sono caratterizzati dalla presenza di accumuli di carbonati secondari, sotto forma di noduli sferici, anche di grosse dimensioni, di pseudomicelio, di polveri molto fini presenti in gran parte degli orizzonti Bt e C, orizzonti calcici Bk e Ck. Localmente i processi di carbonatazione si sono spinti fino alla genesi di orizzonti cementati, Bkm o Ckm, di pochi cm di spessore.

Per le superfici interessate da questa unità, i rischi di erosione variano da assenti a moderati, in funzione della morfologia e della copertura vegetale. I fenomeni di ristagno idrico sono brevi e localizzati nelle micromorfologie depresse.

Queste superfici sono adatte ad un uso agricolo intensivo, sia pure con limitazioni dovute alla tessitura eccessivamente fine e all'eccesso di carbonati in profondità. Esse possono essere destinate ad un ampio spettro di colture agrarie. L'irrigazione è praticabile, in funzione delle disponibilità idriche locali e delle necessità di drenaggio. In questa unità è presente una associazione di suoli i cui termini, secondo la Soil Taxonomy, sono classificabili come Calcic Haploxeralfs, il pedotipo dominante e Typic Haploxeralfs in funzione della presenza o meno di orizzonti calcici. Eventuali profili profondamente rimescolati dalle lavorazioni sono classificabili come Alfic Xerarents. Il WRB li classifica rispettivamente come Calcic Luvisols (orizzonte calcico entro 125 cm di profondità), Haplic Calcisols (orizzonte calcico entro 100 cm di profondità) oltre agli Luvic Anthrosols (suoli rimescolati dalle lavorazioni).

#### 5.2.5.3 iv- unità cartografica 35

Questa unità cartografica si osserva su una morfologia da pianeggiante a ondulata, fortemente incisa dal reticolo idrografico, su un substrato costituito da potenti pacchi di depositi alluvionali plio-miocenici o pleistocenici, sovrastanti a precedenti suoli miocenici.

La copertura vegetale è costituita dal pascolo e dalle colture agrarie, sia arboree che erbacee, mentre la macchia mediterranea è limitata a poche aree, spesso molto erose.

La pietrosità superficiale, dovuta a grossi blocchi di quarzo o di altri minerali non alterabili, varia da moderata ad assente ed è spesso dovuta a lavorazioni troppo profonde, in aree fortemente erose. La rocciosità superficiale è sempre assente.

I suoli hanno profili di tipo A-Bt-C-2Bt-2C, Ap-Bt-C-2Bt-2C, A-Bt-Btg-C-2Bt-2C ecc. con potenze del suolo attuale che possono variare da pochi dm a oltre 120-150 cm. Il contenuto in scheletro, costituito da elementi da minuti a molto grossolani, è scarso o assente negli orizzonti A, Bt e 2Bt. La tessitura varia da quella franca, in superficie, alla franco-argillosa, franco-limosa, limoso-argillosa e argillosa in profondità. La reazione è subacida o neutra. Il complesso di scambio non è mai molto elevato ed è di norma insaturo. In profondità possono essere presenti caratteristiche aquiche più o meno pronunciate. Gli orizzonti C e 2C sono costituiti da potenti pacchi da qualche dm a oltre 300 m di ciottoli, ghiaie e blocchi cementati da limi, argille con silice e carbonati. Essi costituiscono degli ostacoli, assolutamente impenetrabili agli apparati radicali, che hanno isolato gli orizzonti sottostanti, bloccandone l'evoluzione pedogenetica e dando origine quindi a dei paleosuoli, che localmente possono essere sostituiti da pacchi di sabbie molto grossolane, sia eoliche che fluviali.

Gli orizzonti sepolti 2Bt hanno caratteristiche molto variabili; in essi sono stati osservati sottorizzonti di accumuli di carbonati, di silice, di ossidi di ferro, caratteristiche aquiche e, alle maggiori profondità, anche orizzonti tipo plintite<sup>10</sup>.

Le superfici di questa unità sono soggette a rischi di erosione che possono variare da moderati a severi, in funzione della morfologia. Spesso si hanno fenomeni di ristagno idrico, la cui estensione e durata variano in funzione della morfologia e delle caratteristiche tessiturali.

Queste superfici sono, solo in parte, adatte ad una utilizzazione agricola intensiva, a causa delle tessiture eccessivamente fini, della scarsa fertilità e delle difficoltà di drenaggio. Possono essere destinate al rimboschimento per la produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo migliorato, alle colture cerealicole, foraggiere e arboree. L'irrigazione può essere praticata, laddove non sussistono problemi di drenaggio.

Dal punto di vista tassonomico, appartengono a questa unità un'associazione di suoli, i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Typic Palexeralfs, il pedotipo dominante, Aquic Palexeralfs, il pedotipo con caratteri aquici pronunciati e Ultic Palexeralfs quelli in cui il complesso di scambio è fortemente insaturo. Questi pedotipi sono classificati dal WRB rispettivamente come Haplic Luvisols, Gleyic Luvisols e Haplic Lixisols.

#### 5.2.5.4 v- unità cartografica 36

Unità simile alla precedente da cui si differenzia per una maggiore gravità dei processi erosivi in atto o passati che hanno causato la perdita parziale o totale degli orizzonti A e Bt con messa a nudo nelle situazioni più gravi oltre che dell'orizzonte C anche di quello 2Bt sepolto.

Questa unità è osservabile soprattutto nella Nurra in due distinte situazioni morfologiche: la prima lungo i fianchi delle incisioni causate dai reticoli idrografici attuali e in presenza di un uso del suolo quali colture cerealicole, foraggiere e pascoli che hanno eliminato la preesistente macchia innescando i processi erosivi. La seconda è osservabile ai piedi dei versanti di Monte Forte dove alla originaria minore potenza del pacco alluvionale mio-pliocenico si sono aggiunti i processi erosivi causati dall'utilizzo agricolo.

I suoli hanno quindi profili di tipo Ap-Bt-2C-2Bt, o Ap-2C-2Bt o Ap-2Bt con potenze del suolo attuale variabili da 40-60 cm a 10-15 cm. Lo scheletro è sempre costituito da elementi strappati agli orizzonti C con le lavorazioni.

Le restanti caratteristiche chimiche e chimico-fisiche sono simili a quelle del pedotipo principale della precedente unità.

Queste superfici sono marginali anche ad una utilizzazione agricola estensiva, avendo nella scarsa potenza e nei rischi di erosione, da moderati a molto gravi in funzione della morfologia, le loro principali limitazioni d'uso. Possono essere destinate al rimboschimento finalizzato alla protezione del suolo e in minor misura alla produzione di legname da opera e da cellulosa e al pascolo con carichi limitati.

---

<sup>10</sup> La plintite è un orizzonte molto ricco in ferro, a strie rosse e bianche, che una volta essiccate induriscono in modo irreversibile. Questo orizzonte si forma in ambienti caldo umidi, a quelle profondità in cui gli orizzonti non sono più sottoposti all'azione della sostanza organica e in ambienti con variazioni molto marcate di umidità. La plintite contiene soprattutto ematite. [Duchafour, 1977].

Dal punto di vista tassonomico questi suoli sono classificabili come Lithic Palexeralfs, il pedotipo dominante e Ultic Palexeralfs quelli in cui il complesso di scambio è fortemente insaturo. Questo pedotipi sono classificati dal WRB rispettivamente come Haplic Luvisols e Haplic Lixisols.

#### 5.2.5.5 vi- unità cartografica 37

Dal punto di vista morfologico e delle caratteristiche del substrato è simile alla precedente unità 35, da cui differisce per presentare caratteri acquici diffusi in tutto il suolo attuale, dovuti alla presenza di prolungati periodi di ristagni idrici ed invernali che impongono ampi interventi di drenaggio.

I suoli presenti in questa unità sono simili a quelli della unità 35, ma con il pedotipo principale rappresentato dagli Aquic Palexeralfs.

#### 5.2.5.6 vii- unità cartografica 38

L'unità cartografica 38 si ritrova su superfici dalla morfologia pianeggiante o debolmente ondulata, su un substrato di depositi alluvionali antichi, poveri di materiali grossolani, frammisti a lenti di travertini o di arenarie triassiche. La copertura del suolo varia dalla macchia o dal rimboschimento, alle colture agrarie, sia erbacee che arboree. La pietrosità superficiale è assente. La rocciosità affiorante è stata osservata solo ai margini della unità, su poche aree di ampiezza estremamente limitata e fortemente erose.

I suoli hanno profili di tipo A-Bt-Ck, Ap-Bt-Bk-C, A-Bt-Bk-Ckm, A-Bt-Bkm-Ckm ecc., che possono anche coprire suoli più antichi (orizzonti 2Bt 2C ecc.). Il suolo attuale ha potenze variabili da 80-100 cm a oltre 120-150 cm, con valori che si riducono sensibilmente nelle aree maggiormente erose, come ad esempio in località Anghelu Ruju (Alghero). Il contenuto di scheletro è modesto, spesso dovuto a lavorazioni eccessivamente profonde, che hanno inciso gli orizzonti C e quelli cementati Bkm e Ckm. La tessitura varia dalla franca alla franco-argillosa o franco-sabbioso-argillosa. La reazione è neutra e il complesso di scambio è sempre saturo. Negli orizzonti Bt e C sono sempre presenti accumuli di carbonati secondari, sotto forma di polvere fine, pendenti, noduli. La successiva cementazione di questi accumuli ha dato origine ai cosiddetti orizzonti petrocalcici (Bkm, Ckm), che possono apparire come travertini o arenarie, più o meno cementate; alcuni esempi sono visibili in località Mamuntanas (Alghero).

I rischi di erosione, per le superfici interessate da questa unità, sono minimi e limitati alle situazioni morfologicamente più svantaggiate, es. fianchi delle incisioni fluviali. I fenomeni di ristagno idrico interessano minime superfici e sono limitati nel tempo.

Dal punto di vista tassonomico, nell'unità è presente una associazione di suoli classificabili come Calcic Palexeralfs, Petrocalcic Palexeralfs e Typic Palexeralfs. Secondo il WRB, questi suoli sono classificabili rispettivamente come Calcic Luvisols e Haplic Calcisols, Petric Calcisols e Haplic Luvisols, in funzione della profondità dove sono osservabili gli orizzonti calcici e petrocalcici.

### 5.2.5.7 viii- unità cartografica 40

L'unità cartografica 40 comprende superfici con una morfologia da pianeggiante a debolmente ondulata, su un substrato di depositi eolici pleistocenici, arenizzati, in parte frammisti ad arenarie, a depositi alluvionali pleistocenici. La copertura vegetale è rappresentata da colture arboree, principalmente l'olivo.

La pietrosità superficiale e la rocciosità affiorante sono sempre assenti.

I suoli hanno profili di tipo Ap-Bt-C, con potenze superiori a 80-100 cm. Lo scheletro è assente o formato da frammenti dell'orizzonte C, strappati con le lavorazioni profonde. La tessitura varia dalla franco-sabbiosa alla franco-sabbioso-argillosa o franco-argillosa. La reazione è neutra o debolmente subalcalina. Il complesso di scambio non è elevato, varia da saturo a moderatamente insaturo. Come nelle unità precedenti, negli orizzonti profondi sono presenti accumuli di carbonati secondari, di norma sotto forma di pseudomicelio, molto fine, con comparsa di profili di tipo Ap-Bt- Bk-C.

I rischi di erosione sono scarsi o assenti. In presenza di micromorfologie depresse, associate a suoli con l'orizzonte Bt prossimo alla superficie, come ad esempio in località Tanca del Vescovo, in agro di Alghero, sono stati osservati brevi ristagni idrici, durante la stagione invernale.

Come per la precedente unità, queste superfici presentano moderate limitazioni alla utilizzazione agronomica intensiva e sono adatte ad un ampio spettro di colture, in particolar modo a quelle arboree.

Secondo la Soil Taxonomy, i suoli presenti in questa unità sono classificabili come Psammentic Palexeralfs e Psammentic Haploxeralfs, in funzione delle caratteristiche e della profondità degli orizzonti argillici, e Calcic Palexeralfs e Calcic Haploxeralfs in caso di accumuli di carbonati. Il WRB classifica questi suoli rispettivamente come Haplic Luvisols e Calcic Luvisols.

### 5.2.6 i - paesaggi delle alluvioni recenti ed attuali

#### 5.2.6.1 i- unità cartografica 41

L'unità cartografica 41 si riscontra su una morfologia da pianeggiante a terrazzata, su un substrato di alluvioni recenti ed attuali e, quindi, estremamente variabile nelle sue caratteristiche mineralogiche e tessiturali. Su questi substrati si osservano suoli con caratteristiche chimico-fisiche notevolmente variabili, sia in senso laterale che all'interno dello stesso profilo.

La pietrosità superficiale varia da assente ad elevata, la rocciosità affiorante è sempre assente.

I suoli hanno profili di tipo A-C, con potenze superiori a 60-80 cm. Nelle successioni di più episodi alluvionali, i profili sono di tipo A-C-2A-2C, A-C-2A-2Bw-2C ecc., con potenze complessive da 60-80 a oltre 150-200 cm. Nei depositi sui terrazzi più antichi, i profili sono di tipo A-Bw-C, A-Bw-C-2A-2C ecc., con potenze sempre superiori a 100-120 cm. Il contenuto di scheletro, in tutti questi suoli, è variabilissimo, da assente a dominante, anche all'interno dei diversi orizzonti dello stesso profilo.

Nel caso di successioni di più alluvioni, gli orizzonti C costituiscono dei pacchi di varia potenza, disposti a formare le *stone-lines*.

La tessitura varia dalla sabbiosa o sabbioso-franca, frequente nelle alluvioni all'interno dei paesaggi granitici, alla argillosa-fine, presente nelle alluvioni di materiali effusivi o calcareo marnosi. La reazione varia dalla subacida alla subalcalina. Il complesso di scambio è sempre elevato e saturo.

In profondità possono essere osservati degli accumuli di carbonati secondari, sotto forma di pseudomicelio molto fine o di piccoli pendenti sotto gli elementi dello scheletro.

In presenza di depositi ricchi di argille a reticolo espandibile sono presenti caratteri vertici, quali facce di pressione e *self-mulching*<sup>11</sup>, più o meno evidenti, per cui questi suoli possono localmente passare ai Vertisuoli.

I rischi di erosione sono praticamente nulli, mentre sono possibili problemi di ristagno idrico, sia durante la stagione invernale sia dopo le adacquate. Nelle aree prossime alla foce o lungo gli stagni costieri, la gravità dei ristagni può essere tale da dare origine a regimi di umidità di tipo aquico (orizzonti Ag e Cg), talvolta dovuti anche alla presenza di falde salmastre.

I rischi di esondazione, in concomitanza con eventi meteorologici eccezionali, sono sempre possibili.

Le possibilità di utilizzazione agronomica sono fra le più ampie possibili; le limitazioni all'uso sono dovute alla scarsa ampiezza di gran parte delle superfici interessate da questa unità e dai fenomeni di ristagno idrico, che sono frequenti sia nelle micromorfologie depresse che in presenza di caratteri vertici. Queste aree possono essere destinate alle attività turistico-ricreative, al rimboschimento per la protezione del suolo e la produzione di legname da opera e da cellulosa, al pascolo migliorato, alle colture cerealicole, foraggiere, ortive e industriali. L'irrigazione è sempre possibile, e può essere condizionata dalla disponibilità di riserve idriche e dalla eventuale necessità di opere di drenaggio.

Dal punto di vista tassonomico, nell'unità è presente una associazione di suoli classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Typic Xerofluvents (il pedotipo più diffuso), Vertic Xerofluvents, Aquic Xerofluvents e Fluventic Haploxerepts (profili A-Bw-C ecc.). In presenza di caratteri vertici molto pronunciati si osservano anche i Typic Haploxerepts.

Il WRB classifica questi suoli rispettivamente come Eutric Fluvisols, Eutric Gleyic Fluvisols, Eutric Cambisols e Eutric Vertisols.

#### 5.2.6.2 ii- unità cartografica 42

Questa unità cartografica è osservabile su morfologie pianeggianti o debolmente depresse, su un substrato di depositi alluvionali recenti, di varia granulometria, in presenza di falde salmastre subsuperficiali, permanenti o temporanee. La vegetazione è tipicamente alofila. La pietrosità superficiale e la roccia affiorante sono sempre assenti. Nell'area in studio, questa unità si trova in aree di limitata estensione, ai bordi dello stagno del Calik.

---

<sup>11</sup> Con questo termine si indica una minuta aggregazione poliedrica, subangolare, estrema conseguenza delle variazioni di volume nei centimetri più superficiali dei suoli vertici.

I suoli hanno profili Ag-Cg o A-Cg, potenti da 20 cm a oltre 100 cm. Il contenuto di scheletro è variabile, da assente o molto scarso, in presenza di alluvioni fini, a dominante, nel caso di alluvioni grossolane. La reazione è sempre alcalina e il complesso di scambio è saturato con  $\text{Na}^+$ .

I rischi di erosione sono assenti, mentre i fenomeni di esondazione e i ristagni idrici sono frequenti e prolungati nel tempo.

Queste superfici sono inadatte a qualsiasi uso agricolo, anche il più estensivo. Data la grande valenza paesistica e naturalistica di queste aree, la vegetazione esistente deve essere ripristinata e conservata.

Dal punto di vista tassonomico, nella unità è presente un complesso di suoli che, in funzione delle caratteristiche chimiche delle acque presenti nelle falde, sono classificabili come Aquic Xerofluvents e Typic Salorthids (acque salmastre). Il WRB li classifica rispettivamente come Eutric Gleyic Fluvisols, Haplic Solonchaks e Sodic Solonchaks, in funzione del contenuto in  $\text{Na}^+$  del complesso di scambio

### 5.2.6.3 iii- unità cartografica 43

L'unità cartografica 43 si riscontra su morfologie pianeggianti o leggermente depresse, su un substrato di depositi alluvionali recenti, molto fini e ricchi di argille a reticolo espandibile.

La copertura vegetale è costituita da coltivazioni cerealicole, foraggiere e ortive.

La pietrosità superficiale e la rocciosità affiorante sono sempre assenti.

I suoli sono simili a quelli della precedente unità 18 (Vertisuoli sulle ceneriti mioceniche), hanno profili di tipo A-C e potenze superiori a 120-150 cm. La tessitura è argillosa. La reazione è neutra o subalcalina. Il complesso di scambio è elevato e saturato. In profondità possono essere osservati accumuli di carbonati secondari, principalmente pseudomicelio e pochi noduli di minute dimensioni. I caratteri vertici crepacciature estive, self-mulching, facce di pressione e di scivolamento, sono sempre molto evidenti e sono associati alla micromorfologia a *gilgai*.

I rischi di erosione sono assenti, quelli di esondazione minimi e legati a fenomeni meteorologici eccezionali. La tessitura fortemente argillosa causa difficoltà nel drenaggio superficiale, per cui l'irrigazione richiede turni e volumi di adacquamento appropriati.

Queste superfici sono adatte alle colture erbacee, asciutte ed irrigue, il cui prodotto principale non è costituito da tuberi e radici<sup>12</sup>, a causa della tessitura e della difficoltà di drenaggio.

Secondo la Soil Taxonomy, i pedotipi che costituiscono l'associazione dei suoli presenti in questa unità, sono classificabili come Typic Haploxererts e Chromic Haploxererts, in funzione del colore più o meno scuro del suolo. Secondo il WRB, questi suoli sono classificabili come Eutric Vertisols.

---

<sup>12</sup> Le forti variazioni stagionali di volume del suolo, dovute alla presenza di argille a reticolo espandibile, fa sì che tuberi e radici vengano portati alla luce o spezzati con conseguente decadimento quali-quantitativo dei raccolti.

## 5.2.7 *l - paesaggi dei depositi eolici dell'Olocene*

### 5.2.7.1 i - unità cartografica 44

Questa unità si riscontra su superfici dalla morfologia pianeggiante o debolmente ondulata, lungo o in prossimità della linea di costa. Il substrato è costituito da depositi eolici di sabbie molto ricche in quarzo. La copertura vegetale, in passato, era costituita dalla macchia, che a partire dai primi anni quaranta è stata sostituita da rimboschimenti di conifere, prevalentemente *Pinus* spp..

La pietrosità superficiale e la rocciosità affiorante sono assenti.

I suoli hanno profili di tipo A-C, con potenze inferiori a 15-20 cm. Lo scheletro è assente. La tessitura è sabbiosa. La reazione varia dalla neutra alla alcalina nelle aree più esposte al deposito di Na<sup>+</sup> ad opera degli spray marini. Il complesso di scambio è minimo e di norma insaturo.

Nelle superfici interessate da questa unità, i rischi di erosione eolica sono sempre molto gravi e la distruzione della vegetazione, per incendi o eccessiva frequentazione antropica, causa sempre profonde modifiche nella disposizione delle dune.

Per queste superfici non è ipotizzabile altra destinazione d'uso che il rimboschimento per la protezione del suolo e la fruizione turistica.

Questa unità è costituita da un complesso di suoli i cui termini sono classificabili, secondo la Soil Taxonomy, come Lithic Quartzipsamments (frazione sabbiosa costituita da più del 90% di silice o di altri minerali particolarmente resistenti all'alterazione) o Lithic Xeropsamments. Per il WRB, questi suoli sono classificabili come Protic Arenosols.

## 5.2.8 *m - paesaggi delle aree urbanizzate*

### 5.2.8.1 i- unità cartografica 45: aree urbane

### 5.2.8.2 ii- unità cartografica 46: aree industriali

### 5.2.8.3 iii- unità cartografica 47: aeroporti, aree soggette a servitù militari

### 5.2.8.4 iv- unità cartografica 48: cave e discariche

## 5.3 **L'attività di ricerca pedologica nell'ambito del progetto RIADE**

La bibliografia pedologica relativa alla Sardegna nord-occidentale e, in particolare alla regione storico-geografica della Nurra, è molto ricca ed articolata. Dalla prima carta dei suoli, realizzata da Pietracaprina nel 1964, sono stati realizzati sia numerosi altri rilevamenti, a varia scala di dettaglio, sia studi relativi a singoli pedotipi o a catene di suoli<sup>13</sup>, di particolare interesse per la loro pedogenesi o diffusione.

---

<sup>13</sup> Con il termine catena si indica una successione di profili lungo un versante che si ripete, con sufficiente regolarità, nei versanti adiacenti caratterizzati dalle medesime condizioni geologiche e morfologiche.

La ricerca bibliografica è stata finalizzata, non tanto alla acquisizione della cartografia pedologica, quanto al recupero delle descrizioni di campo dei singoli profili e, se disponibili, delle relative analisi chimico-fisiche.

La cartografia, le note pubblicate, i rilievi di campo conservati presso l'archivio della sezione di Geopedologia e Geologia Applicata del Dipartimento di Ingegneria del Territorio, ha agevolato la determinazione delle coordinate UTM (ED50) di quasi tutti i profili presenti in bibliografia.

Purtroppo, a causa della dispersione dei supporti cartacei, non è stato possibile consultare l'archivio dell'Ente Autonomo del Flumendosa (Cagliari), che nei primi anni 80, ha rilevato numerosi profili, nell'ambito degli studi per la realizzazione della Carta dei Suoli delle aree irrigabili della Sardegna [Aru et al. 1986]. Queste indagini hanno comunque permesso di recuperare i dati relativi a 163 profili ricadenti all'interno dell'area in studio o in prossimità della stessa.

L'ubicazione dei profili, nella carta pedologica al 50000, ha evidenziato una carenza di degli stessi nel paesaggio delle formazioni effusive acide,<sup>14</sup> che si è cercato di colmare nel corso dei rilievi in campo.

Complessivamente, tra dati bibliografici e nuovi rilevamenti, il settore pedologia di Sassari ha messo a disposizione, delle altre unità operative, 189 profili (tabella 5.1. e 5.2). Per 118 di questi sono disponibili i dati analitici relativi a: granulometria (scheletro, sabbie, limi e argille), reazione (pH in H<sub>2</sub>O e in KCl), contenuto in C, N e in CaCO<sub>3</sub> (se presente) e complesso di scambio (CSC totale e basi).

Nelle tabelle successive sono riepilogati i dati dei profili analizzati nel corso del progetto.

In figura 5.1 è riportata la carta pedologica dell'area in studio e in figura 5.2 l'ubicazione dei profili.

---

<sup>14</sup> Si tratta di un paesaggio pressoché assente nella Nurra e poco diffuso nella Sardegna nord-occidentale. La morfologia collinare, delle aree interessate da queste formazioni effusive, fa sì che esse siano prevalentemente marginali all'uso agricolo intensivo, per cui questo paesaggio risulta tuttora poco studiato dal punto di vista pedologico, a livello regionale.

**Tabella 5.1 - Profili pedologici utilizzati nel progetto RIADE**

<b>Progetto</b>	<b>N°</b>		<b>Progetto</b>	<b>N°</b>		<b>Progetto</b>	<b>N°</b>	
La Corte	1		Mamuntanas	3		Boschi Farris	5	
La Corte	2		Mamuntanas	4		Boschi Farris	9	
La Corte	3		Mamuntanas	5		Boschi Farris	10	
La Corte	4		Mamuntanas	6		Boschi Farris	14	
La Corte	6		Mamuntanas	7		Boschi Farris	19	
La Corte	7		Mamuntanas	8		Boschi Farris	20	
La Corte	9		Mamuntanas	9		Nurra Boschi	2	
La Corte	11		Mamuntanas	10		Tesi Caciotta	1	
La Corte	12		Mamuntanas	11		Tesi Caciotta	2	
La Corte	13		Mamuntanas	12		Tesi Caciotta	3	
La Corte	22		Mamuntanas	13		Tesi Caciotta	4	
La Corte	24		Mamuntanas	14		Tesi Caciotta	5	
La Corte	25		Mamuntanas	15		Tesi Caciotta	6	
La Corte	26		Mamuntanas	16		Tesi Caciotta	7	
La Corte	28		Mamuntanas	17		Tesi Caciotta	8	
La Corte	29		Mamuntanas	18		Tesi Caciotta	9	
La Corte	30		Mamuntanas	19		Tesi Caciotta	10	
La Corte	31		Mamuntanas	20		Tesi Caciotta	11	
La Corte	32		Mamuntanas	21		Tottubella	1	
La Corte	33		Mamuntanas	22		Tottubella	2	
La Corte	34		Mamuntanas	23		Tottubella	3	
La Corte	35		Mamuntanas	24		Tottubella	4	
La Corte	36		Mamuntanas	25		Tottubella	5	
La Corte	37		Mamuntanas	26		Tottubella	6	
La Corte	38		Mamuntanas	27		Tottubella	7	
La Corte	39		Mamuntanas	28		Tottubella	8	
La Corte	40		Tesi Carboni	1		Tottubella	9	
La Corte	41		Tesi Carboni	2		Tottubella	10	
La Corte	42		Tesi Carboni	3		Tottubella	11	
La Corte	43		Tesi Carboni	4		Tottubella	12	
La Corte	44		Tesi Carboni	5		Tottubella	13	
La Corte	47		Tesi Carboni	7		Tottubella	14	
La Corte	48		Tesi Carboni	8		Tottubella	15	
La Corte	49		Tesi Carboni	9		Tottubella	16	
La Corte	50		Lisimetro Bonassai	1		Tottubella	17	
La Corte	51		Lisimetro Bonassai	2		Tottubella	18	
La Corte	52		Rinnovamento Pini	1		Tottubella	19	
La Corte	53		Boschi Farris	1		Tottubella	20	
Mamuntanas	1		Boschi Farris	3		Tottubella	21	
Mamuntanas	2		Boschi Farris	4		Tottubella	22	

Progetto	N°	Progetto	N°	Progetto	N°
Tottubella	23	Tottubella	43	RIADE	10
Tottubella	24	Tottubella	44	RIADE	11
Tottubella	25	Tottubella	45	RIADE	12
Tottubella	26	Tottubella	46	RIADE	13
Tottubella	27	Tottubella	47	RIADE	14
Tottubella	28	Tottubella	48	RIADE	15
Tottubella	29	Tottubella	49	RIADE	16
Tottubella	30	Tottubella	50	RIADE	17
Tottubella	31	Tottubella	51	RIADE	18
Tottubella	32	Tottubella	52	RIADE	19
Tottubella	33	Tottubella	53	RIADE	20
Tottubella	34	Tottubella	54	RIADE	21
Tottubella	32	Tottubella	55	RIADE	24
Tottubella	33	RIADE	1	RIADE	25
Tottubella	34	RIADE	2	RIADE	26
Tottubella	35	RIADE	3	RIADE	27
Tottubella	36	RIADE	4	RIADE	26
Tottubella	37	RIADE	5	RIADE	29
Tottubella	38	RIADE	5	RIADE	30
Tottubella	39	RIADE	6	RIADE	31
Tottubella	40	RIADE	7	RIADE	32
Tottubella	41	RIADE	8	RIADE	33
Tottubella	42	RIADE	9	RIADE	34
RIADE	35	RIADE	36		

71	profili descritti
118	profili analizzati

**Tabella 5.2 - Ubicazione profili**

Profilo numero	Coordinate utm (ed50)	Comune	Campionato	Orizzonte/ Numero A	Orizzonte/ Numero Bw	Orizzonte/ Numero BC	Orizzonte/ Numero C	Orizzonte/ Numero R	Orizzonte / Numero 2Ab	Orizzonte /numero 2Cb
1	32T441702-4492674	Alghero	X	1696			1697		1698	1690
2	32T449800-4497391	Alghero	X	1701						
3	32T453894-4495208	Ittiri	X	1777		1778				
4	32T454490-4493430	Putifigari								
5	32T455646-4488579	Putifigari	X	1779	1780	1781				
6	32T455582-4488587	Putifigari	X	1782	1783				1784/85	
7	32T453274-4489680	Putifigari	X	1786	1787					
8	32T452110-4488460	Putifigari								
9	32T456275-4490705	Putifigari								
10	32T461467-4499790	Usini	X	1772						
11	32T463176-4493288	Ittiri	X	1773						
12	32T461943-4493234	Ittiri	X	1774	1775					
13	32T460720-4493016	Ittiri	X	1776						
14	32T449168-4492199	Alghero	X	1788	1789		1790			
15	32T449270-4492074	Alghero	X	1791						
16	32T451443-4492777	Alghero	X	1792						
17	32T450579-4492894	Alghero								
18	32T451925-4490610	Putifigari								
19	32T451594-4490280	Putifigari								
20	32T451781-4490900	Putifigari								
21	32T451575-4492067	Putifigari								
22	32T452232-4492420	Putifigari	X	1794	1795		1796			
23	32T452483-4492766	Putifigari	X	1797						
24	32T453565-4491722	Putifigari								
25	32T454117-4489139	Putifigari	X	1798	1799					

Profilo numero	Coordinate utm (ed50)	Comune	Campionato	Orizzonte/Numero	Orizzonte / Numero	Orizzonte/Numero	Orizzonte/Numero	Orizzonte/Numero	Orizzonte / Numero	Orizzonte /numero
26	32T453866-4489289	Puttifigari	X	1800						
27	32T451924-4488856	Puttifigari	X	1801	1802	1803				
28	32T455726-4492018	Puttifigari								
30	32T448640-4485648	Villanova Monteleone	X	1818						
31	32T449414-4485977	Villanova Monteleone								
32	32T449671-4483731	Villanova Monteleone								
33	32T449943-4482950	Villanova Monteleone	X	1819						
34	32T451162-4482565	Villanova Monteleone	X	1820						
35	32T447561-4498692	Olmedo	X	1812	1813	1814				
36	42T447505-4498686	Olmedo	X	1815	1816	1817				

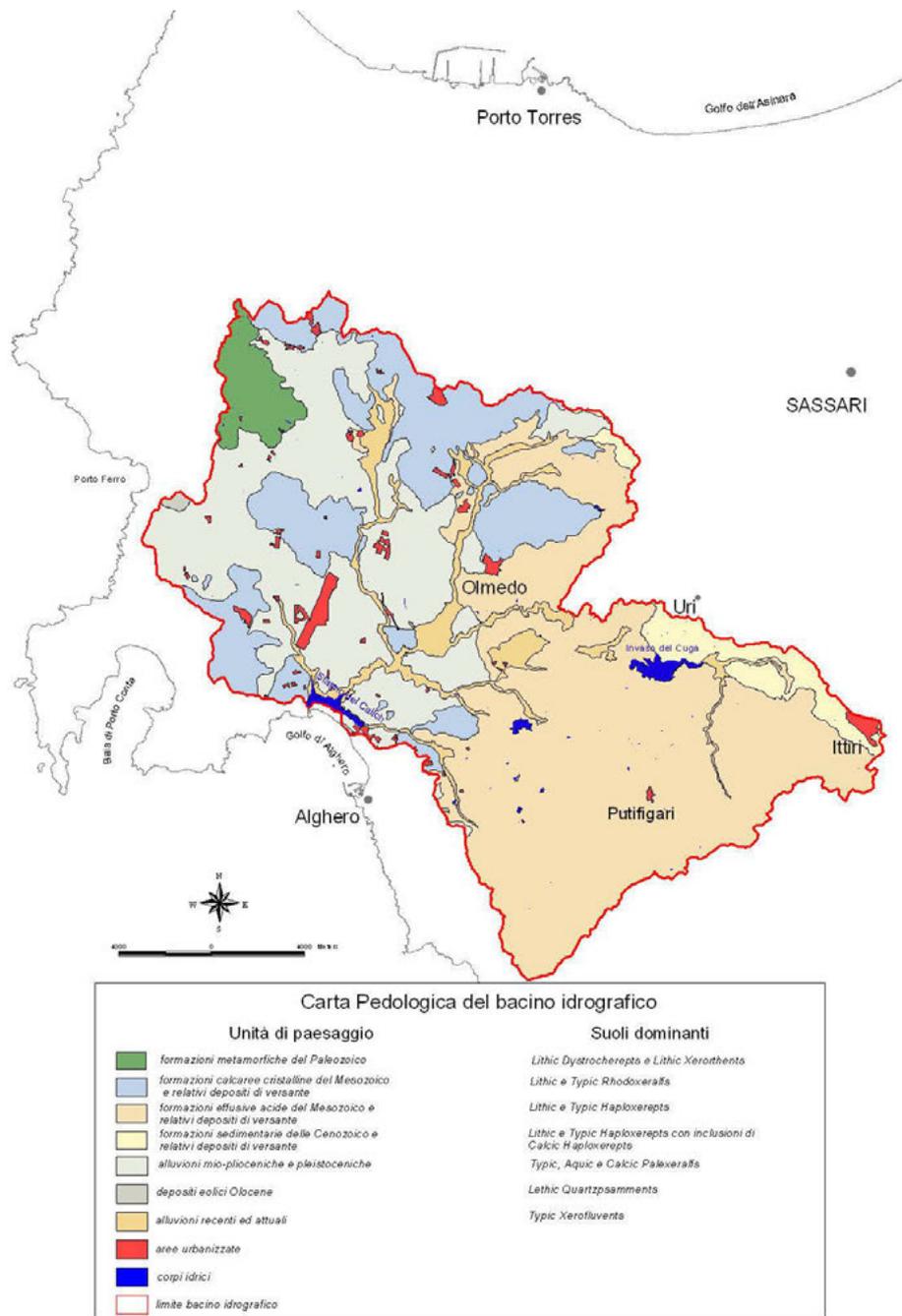
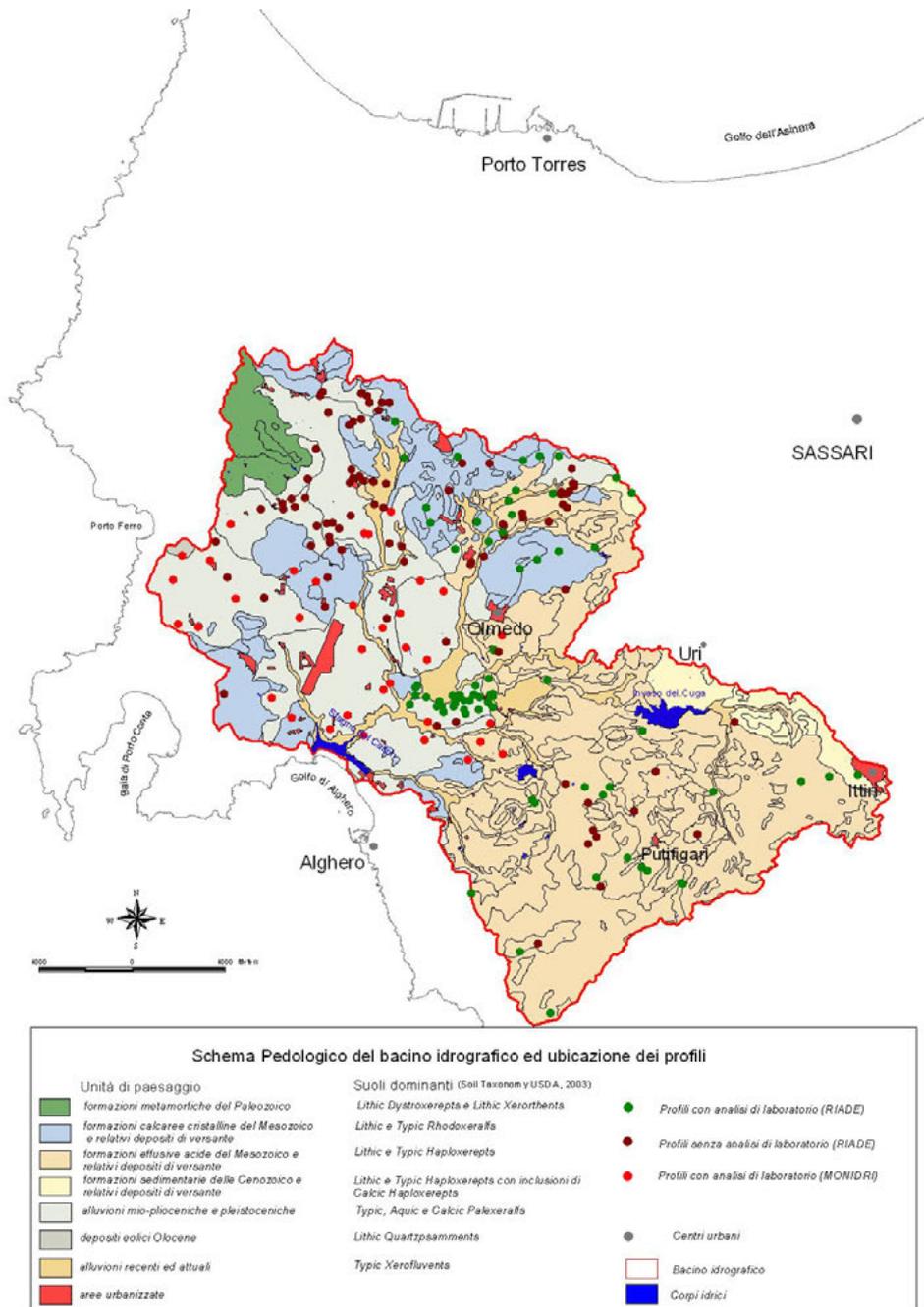


Figura 5.1 - Carta pedologica del bacino del Calich



**Figura 5.2 - Carta pedologica del bacino del Calich e ubicazione profili**

**Tabella 5.3 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1696	1697	1698	1690
<b>profilo</b>		1	1	1	1
<b>orizzonte</b>		A	C	2Ab	2Cb
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	913	945	930	950
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	55	30	30	10
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	32	25	40	40
<b>Analisi chimiche</b>					
<b>pH (H2O)</b>		7,7	8,7	8,7	8,9
<b>pH (KCl)</b>		7,4	9,2	8,4	8,9
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	234	268	221	274
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	32	1	5	2
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	55	2	9	3
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,8	0,1	0,4	0,3
<b>C/N</b>		18	10	13	7
<b>Complesso di scambio</b>					
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	18,27	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	4,87	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,54	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,22	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	23,9	n.d.	n.d.	n.d.
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	23,9	0,5	2,7	1,8
<b>G.S.B.</b>	(%)	100	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	0			

**Tabella 5.4 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1701	1777	1778
<b>profilo</b>		2	3	3
<b>orizzonte</b>		A	A	BC
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	315	208	198
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	183	64	62
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	94	70	77
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	85	66	73
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	298	503	468
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	153	150	170
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	187	147	150
<b>Analisi chimiche</b>				
<b>pH (H2O)</b>		6,4	6	6,6
<b>pH (KCl)</b>		5,9	5,7	5,7
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	18	39	17
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	31	67	29
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,1	2,2	1,4
<b>C/N</b>		16	18	12
<b>Complesso di scambio</b>				
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	7,78	5,4	5,55
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	4,87	2,6	3
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,49	0,2	0,84
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,7	0,7	0,93
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	13,84	8,9	10,32
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	18,4	22,8	15,4
<b>G.S.B.</b>	(%)	75	39	67
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	4,56	13,9	5,08

**Tabella 5.5 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1779	1780	1781
<b>profilo</b>		5	5	5
<b>orizzonte</b>		A	Bw	C
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	34	68	41
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	12	44	30
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	12	42	31
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	10	43	48
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	533	306	301
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	238	233	260
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	195	332	330

**Analisi chimiche**

<b>pH (H2O)</b>		6	5,6	5,9
<b>pH (KCl)</b>		5,6	4,7	4,2
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	42	8	-----
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	72	14	-----
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	3,2	0,7	-----
<b>C/N</b>		13	11	-----

**Complesso di scambio**

<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	12,15	4,65	-----
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	4,37	4,21	-----
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,71	0,63	-----
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,54	0,34	-----
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	17,77	9,83	-----
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	31,8	19,6	-----
<b>G.S.B.</b>	(%)	56	50	-----
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	14,03	9,77	-----

**Tabella 5.6 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1782	1783	1784	1785
<b>profilo</b>		6	6	6	6
<b>orizzonte</b>		A	C	2Ab	2Ab
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	167	404	224	199
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	125	118	126	200
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	116	125	150	194
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	121	117	175	61
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	338	427	364	270
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	154	103	82	120
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	146	110	103	155
<b>Analisi chimiche</b>					
<b>pH (H2O)</b>		5,9	5,6	6,1	6,2
<b>pH (KCl)</b>		5,2	4,7	4,4	4,5
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	14	-----	9	6
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	24	-----	16	10
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1	-----	0,4	0,6
<b>C/N</b>		14	-----	23	10
<b>Complesso di scambio</b>					
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	8,49	-----	3,38	2,31
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	4,07	-----	2,03	1,5
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,48	-----	0,16	0,05
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,95	-----	0,09	0,03
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	13,99	-----	5,66	3,89
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	17,8	-----	16,9	22,6
<b>G.S.B.</b>	(%)	79	-----	33	17
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	3,81	-----	11,24	18,71

**Tabella 5.7 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1786	1787	1772	1773
<b>profilo</b>		7	7	10	11
<b>orizzonte</b>		A	Bw	A	A
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	192	79	48	28
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	48	19	14	2
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	55	26	24	0,4
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	44	23	61	35
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	388	307	579	581
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	233	280	130	260
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	232	345	192	122
<b>Analisi chimiche</b>					
<b>pH (H2O)</b>		6,2	5,6	8	7,6
<b>pH (KCl)</b>		4,5	4,2	7,6	7,4
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0	777
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0	n.d.
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	24	9	20	49
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	41	16	34	84
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,8	0,9	2,4	4
<b>C/N</b>		13	10	8	12
<b>Complesso di scambio</b>					
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	9,98	5,69	6,23	22,34
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	5,96	5,91	2,31	1,53
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,49	0,16	0,6	0,22
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,96	0,16	0,67	1,11
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	17,39	11,92	9,81	16,2
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	25,4	30,2	32,3	25,2
<b>G.S.B.</b>	(%)	68	39	30	100
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	8,01	18,28	22,49	0,00

**Tabella 5.8 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1774	1775	1776
<b>profilo</b>		12	12	13
<b>orizzonte</b>		A	Bw	A
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	191	108	243
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	49	39	66
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	41	33	56
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	58	58	78
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	337	267	366
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	246	265	214
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	269	338	220
<b>Analisi chimiche</b>				
<b>pH (H2O)</b>		6,4	6,5	6,4
<b>pH (KCl)</b>		5,8	6,0	6,1
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	62	22	32
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	107	38	55
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	4,6	1,9	2,8
<b>C/N</b>		13	12	11
<b>Complesso di scambio</b>				
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	11,03	3,1	6,48
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	2,78	1,02	0,51
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,48	0,76	0,32
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	1,44	0,51	0,38
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	15,73	5,39	7,69
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	28,8	25,4	21,2
<b>G.S.B.</b>	(%)	55	21	36
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	13,07	20,01	13,51

**Tabella 5.9 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1788	1789	1790	1791
<b>profilo</b>		14	14	14	15
<b>orizzonte</b>		A	Bw	C	A
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	322	91	260	117
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	47	44	60	47
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	65	74	145	68
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	63	76	114	68
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	452	329	536	349
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	165	120	90	263
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	208	357	55	205
<b>Analisi chimiche</b>					
<b>pH (H2O)</b>		6,1	6,2	6,9	6,6
<b>pH (KCl)</b>		5,2	4,7	5,5	6,1
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	assente	assente	assente	assente
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	assente	assente	assente	assente
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	11	8	-----	25
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	19	14	-----	43
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	0,8	0,5	-----	1,6
<b>C/N</b>		14	16	-----	16
<b>Complesso di scambio</b>					
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	3,97	7,43	-----	5,72
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	3,1	8,22	-----	1,99
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,05	0,76	-----	0,05
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,28	0,41	-----	0,29
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	7,4	16,82	-----	8,05
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	17,6	26,6	-----	22,5
<b>G.S.B.</b>	(%)	42	63	-----	36
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	10,2	9,78	-----	14,45

**Tabella 5.10 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1792	1793	1794	1795	1796
<b>profilo</b>		16	16	22	22	22
<b>orizzonte</b>		A	Bw	A	Bw	C
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	302	376	227	91	577
<b>Sabbia molto grossa (2÷1mm)</b>	(g/kg)	17	27	62	40	53
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	22	66	44	17	33
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	32	103	56	38	70
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	346	149	305	305	482
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	230	177	202	139	97
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	353	478	331	461	265
<b>Analisi chimiche</b>						
<b>pH (H2O)</b>		6,1	6,3	5,4	5,2	5,3
<b>pH (KCl)</b>		5,1	4,8	4,8	4,2	3,9
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	28	9	28	7	----
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	48	16	48	12	----
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,7	0,8	1,8	0,6	----
<b>C/N</b>		16	11	16	12	----
<b>Complesso di scambio</b>						
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	10,14	4,37	15,41	16,86	----
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	7,22	4,68	12,58	21,69	----
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,75	0,22	1,25	3,72	----
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,69	0,1	1,09	1,17	----
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	18,8	9,37	30,33	43,44	----
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	36,8	43,2	39,7	51,7	----
<b>G.S.B.</b>	(%)	51	22	76	84	----
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	18	33,83	9,37	8,26	----

**Tabella 5.11 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		<b>1797</b>	<b>1798</b>	<b>1799</b>	<b>1800</b>
<b>profilo</b>		<b>23</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>26</b>
<b>orizzonte</b>		<b>A</b>	<b>A</b>	<b>Bw</b>	<b>A</b>
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	173	91	105	207
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	26	63	83	46
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	48	41	52	35
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	46	52	78	35
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	392	324	103	249
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	164	272	276	312
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	324	248	408	323
<b>Analisi chimiche</b>					
<b>pH (H2O)</b>		6	5,7	5,8	5,2
<b>pH (KCl)</b>		5,4	5,2	4,6	4,9
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	30	20	8	46
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	52	34	14	79
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	2,4	1,4	0,7	3,2
<b>C/N</b>		13	14	11	14
<b>Complesso di scambio</b>					
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	14,35	7,6	8,17	14,81
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	12,35	4,86	8,65	7,2
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	4,13	0,59	1,34	0,71
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	2,33	0,76	0,79	1,12
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	33,16	13,81	18,95	23,84
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	37,9	19,4	25,3	27
<b>G.S.B.</b>	(%)	87	71	75	88
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	4,74	5,59	6,35	3,16

**Tabella 5.12 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1801	1802	1803	1804	1805
<b>profilo</b>		27	27	27	29	29
<b>orizzonte</b>		A	Bw	C	A	Bw
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	326	139	340	494	35
<b>Sabbia molto grossa (2÷1mm)</b>	(g/kg)	93	61	112	44	26
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	48	74	57	31	31
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	61	97	67	39	74
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	339	307	396	363	269
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	271	308	208	292	257
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	188	153	160	231	343
<b>Analisi chimiche</b>						
<b>pH (H2O)</b>		5,6	6,1	6,4	6	6,3
<b>pH (KCl)</b>		5,4	5,5	5,4	5,5	5,3
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	39	11	----	34	10
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	67	19	----	59	17
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	2,4	1	----	2,2	0,7
<b>C/N</b>		16	11	----	15	14
<b>Complesso di scambio</b>						
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	15,97	7,06	----	9,92	13,99
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	2,56	2,28	----	2,56	8,97
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,65	0,7	----	0,43	0,92
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	1,34	0,72	----	1,02	0,96
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	20,52	10,76	----	13,93	24,84
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	24,9	13,8	----	24,1	27,1
<b>G.S.B.</b>	(%)	82	78	----	58	92
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	4,38	3,04	----	10,17	2,26

**Tabella 5.13 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1818	1819	1820
<b>profilo</b>		30	33	34
<b>orizzonte</b>		A	A	A
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	339	365	288
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	51	65	60
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	40	48	63
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	49	57	123
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	423	198	319
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	217	376	271
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	220	256	164
<b>Analisi chimiche</b>				
<b>pH (H2O)</b>		6,0	4,2	4,9
<b>pH (KCl)</b>		5,3	3,9	4,2
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	19	59	23
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	33	102	40
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,3	4,2	1,7
<b>C/N</b>		15	14	14
<b>Complesso di scambio</b>				
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	8,85	6,23	7,39
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	8,45	2,31	4,57
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	1,79	0,6	0,38
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,86	0,67	0,98
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	19,95	9,81	13,32
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	23,2	32,3	25,4
<b>G.S.B.</b>	(%)	86	30	52
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	3,25	22,49	12,08

**Tabella 5.14 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1812	1813	1814
<b>profilo</b>		35	35	35
<b>orizzonte</b>		Ap	Bw	C
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	210	191	231
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	78	81	74
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	76	77	76
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	87	91	88
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	419	476	382
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	138	61	70
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	202	214	310
<b>Analisi chimiche</b>				
<b>pH (H2O)</b>		6,3	6,3	6,2
<b>pH (KCl)</b>		5,6	5,7	5,9
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	13	10	4
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	22	17	7
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	1,0	0,8	0,4
<b>C/N</b>		13	13	10
<b>Complesso di scambio</b>				
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	9,19	7,91	7,58
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	3,28	2,81	4,34
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,48	0,32	0,65
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,63	0,48	0,70
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	13,58	11,52	13,27
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	15,40	15,00	20,70
<b>G.S.B.</b>	(%)	88	77	64
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	1,8	3,48	7,43

**Tabella 5.15 - Analisi profilo Riade 1**

<b>Campione numero</b>		1815	1816	1817
<b>profilo</b>		36	36	36
<b>orizzonte</b>		Ap	Bw	C
<b>Scheletro (&gt;2 mm)</b>	(g/kg)	159	155	194
<b>Sabbia molto grossa (2÷1 mm)</b>	(g/kg)	90	83	81
<b>Sabbia grossa (1÷0,5 mm)</b>	(g/kg)	85	81	73
<b>Sabbia media (0,5÷0,25 mm)</b>	(g/kg)	88	81	78
<b>Sabbia fine (0,25÷0,02 mm)</b>	(g/kg)	354	372	369
<b>Limo (0,02÷0,002 mm)</b>	(g/kg)	140	153	136
<b>Argilla (&lt;0,002 mm)</b>	(g/kg)	243	230	263
<b>Analisi chimiche</b>				
<b>pH (H2O)</b>		6,4	6,4	6,2
<b>pH (KCl)</b>		5,5	5,5	5,6
<b>Calcare totale</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Calcare attivo</b>	(g/kg)	0	0	0
<b>Carbonio</b>	(g/kg)	12	12	6
<b>Sostanza organica</b>	(g/kg)	21	21	16
<b>Azoto totale</b>	(g/kg)	0,9	0,9	0,6
<b>C/N</b>		13	13	10
<b>Complesso di scambio</b>				
<b>Ione Calcio</b>	(meq/100 g)	7,32	10,75	11,30
<b>Ione Magnesio</b>	(meq/100 g)	2,83	4,11	6,13
<b>Ione Sodio</b>	(meq/100 g)	0,71	0,60	1,30
<b>Ione Potassio</b>	(meq/100 g)	0,81	0,57	7,00
<b>Somma basi di scambio</b>	(meq/100 g)	11,47	16,03	19,43
<b>C.S.C.</b>	(meq/100 g)	18,70	18,60	20,20
<b>G.S.B.</b>	(%)	61	86	96
<b>Acidità di scambio</b>	(meq/100 g)	7,23	2,57	0,77

## CAPITOLO 6

### USO DEL SUOLO

La carta dell'uso del suolo, relativa all'area in studio, è stata ricavata da quella estesa a tutto il territorio regionale, prodotta dalla Regione Sardegna in scala 1:25000 (figura 6.1). Le informazioni territoriali contenute nella carta della Regione Sardegna sono state organizzate secondo una banca dati originata dal progetto europeo denominato *Corine Land Cover*, derivata dall'interpretazione di immagini satellitari. La carta Corine è impostata per una stampa in scala 1:25000 e l'unità minima cartografabile è di circa 25 ettari. Il database del progetto *Corine land Cover* è organizzato secondo una legenda articolata in 3 livelli, a loro volta suddivisi in 44 classi di uso del suolo del territorio. La carta dell'uso del suolo è stata realizzata con l'utilizzo di diversi documenti tecnici e materiali informativi:

- la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- le orto foto Aima del 1997/98;
- le orto foto a colori RGB;
- le immagini satellitari Land Sat 1998;
- la carta forestale della Stazione Sperimentale del Sughero 1998;
- la copertura aerofotografia del 1994 B/N;
- l'atlante dell'irrigazione delle regioni meridionali [INEA 2001];
- altri dati raccolti dal Corpo Forestale di vigilanza Ambientale relativi agli incendi nel periodo 1995-2001.

La figura 6.2 mostra l'uso del suolo, ritagliato sul bacino idrografico del Calich, visualizzato mediante il GIS.

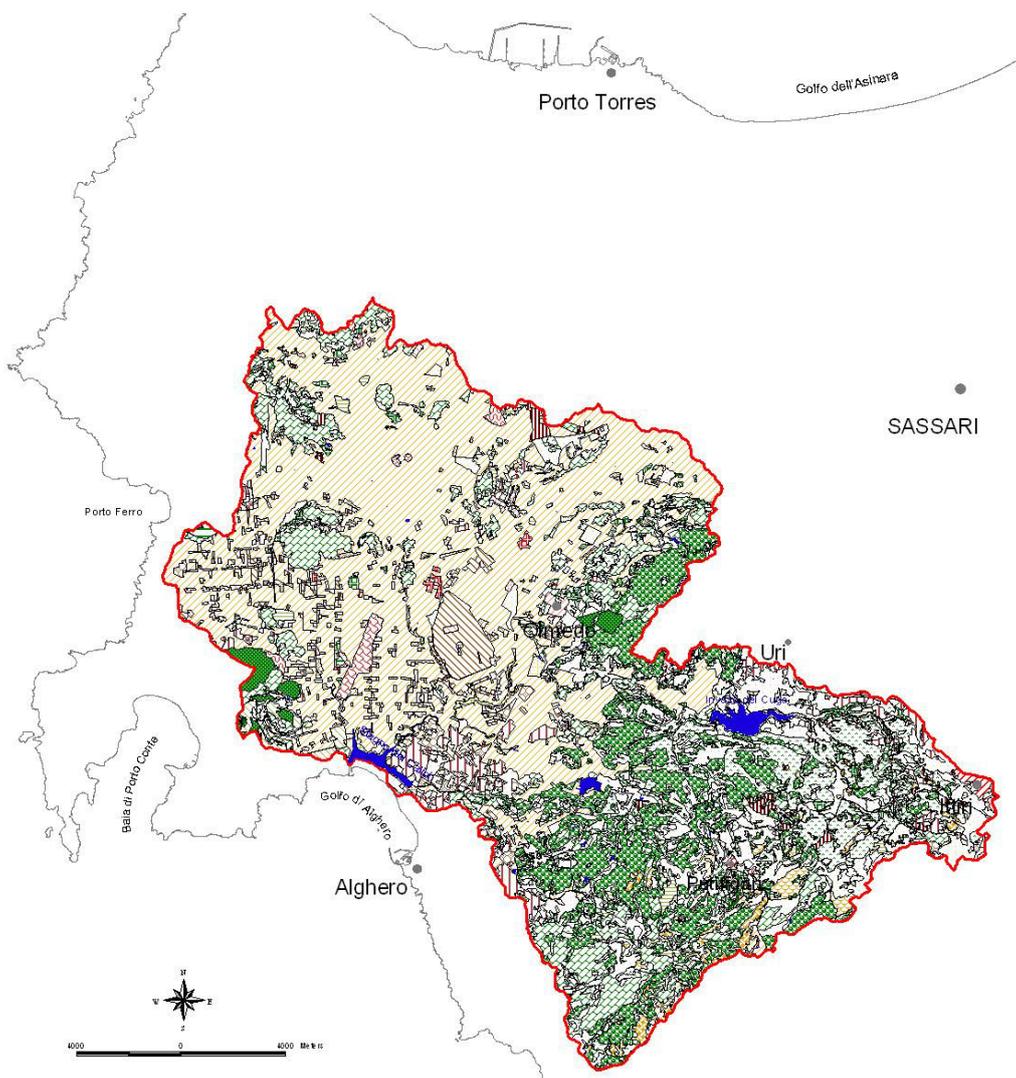
L'area sottesa al bacino idrografico del Calich ha un'estensione di 433 km<sup>2</sup>. Il database relativo all'uso del suolo è riportato nella tabella 6.1, dove sono elencate le diverse tipologie suddivise per categorie. Nella figura 6.3 è riportato il grafico che illustra la suddivisione percentuale delle differenti categorie di uso del suolo presenti nel bacino in studio.

Le superfici coltivate, localizzate soprattutto nell'area pianeggiante della Nurra, nella zona centro settentrionale del bacino, occupano circa il 60% del territorio. Più in particolare, i seminativi si estendono su una superficie di 188 km<sup>2</sup>, corrispondente al 43% del totale. In questa categoria sono stati raggruppati i seminativi in aree non irrigue, i seminativi semplici e le colture orticole in pieno campo.

Le colture arboree sono rappresentate per lo più da oliveti (3,4%) e vigneti (2%).

I prati artificiali interessano l'8% della superficie del bacino.

Le zone arbustive e/o arboree, che comprendono le aree con macchia mediterranea, diffusa su tutto il territorio, i cespuglietti, gli arbusteti e la gariga, si estendono sul 23% della superficie dell'area in studio, soprattutto nella parte sud-est, dove sono si trovano anche le zone boscate (3%) e le aree a pascolo naturale (6,8%).



**Figura 6.1 - Carta dell'Uso del suolo del bacino del Calich**

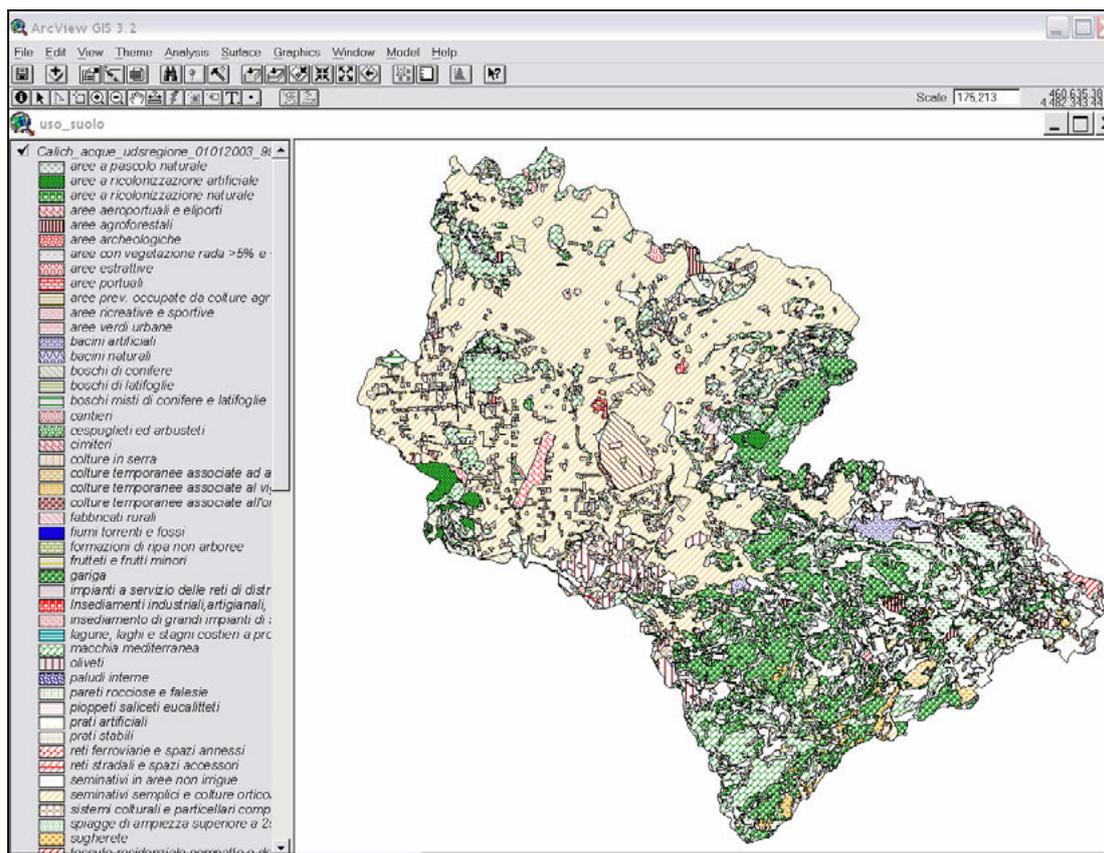


Figura 6.2 - Uso del suolo: schermata del GIS

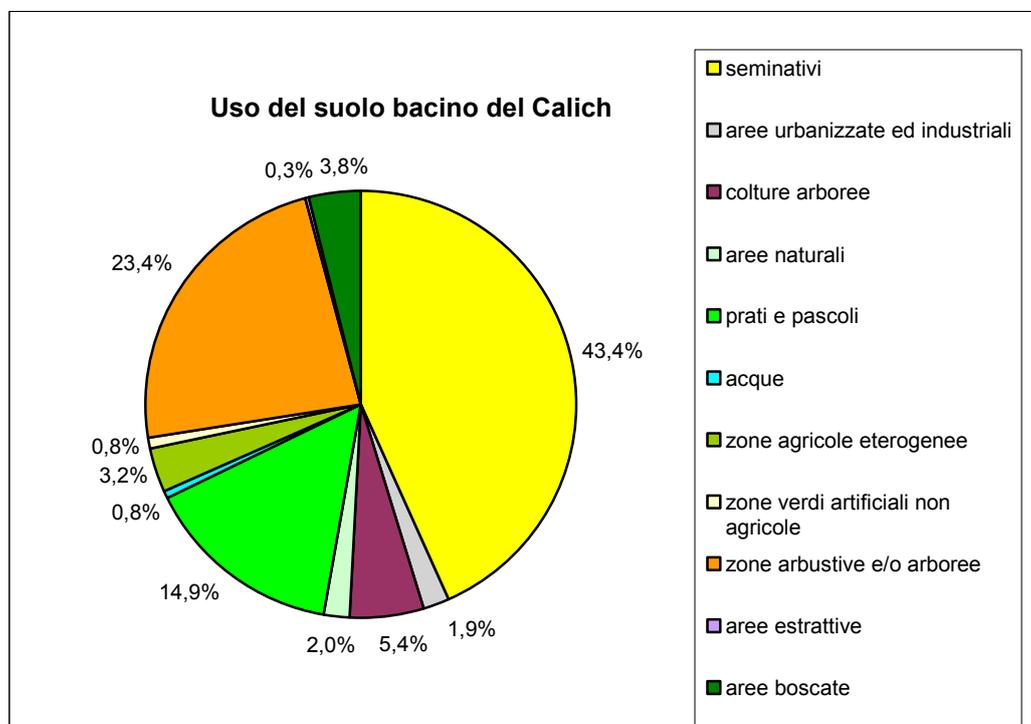


Figura 6.3 - Suddivisione percentuale delle classi di uso del suolo nel bacino idrografico del Calich

**Tabella 6.1 - Database dell'uso del suolo relativo al bacino idrografico sotteso allo stagno del Calich**

Uso del suolo	Superficie km <sup>2</sup>	%
Aree urbanizzate ed industriali		1,91
Aree portuali	0,37	
Aree aeroportuali e eliporti	185,69	
Cantieri	34,17	
Cimiteri	2,95	
Tessuto residenziale compatto e denso	90,07	
Tessuto residenziale rado	108,97	
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	75,95	
Impianti a servizio delle reti di distribuzione	2,02	
Insedamenti industriali artigianali commerciali e spazi annessi	85,95	
Insedamento di grandi impianti di servizi	1,62	
Reti stradali e spazi accessori	5,30	
Fabbricati rurali	203,51	
Aree ricreative e sportive	30,17	
Aree estrattive		0,27
Aree estrattive	119,06	
Aree naturali		2,02
Spagge di ampiezza superiore a 25 m	0,06	
Pareti rocciose e falesie	6,58	
Aree a ricolonizzazione naturale	588,24	
Formazioni di ripa non arboree	147,49	
Aree con vegetazione rada >5% e <40%	133,30	
Zone verdi artificiali non agricole		0,84
Aree a ricolonizzazione artificiale	364,87	
Acque		0,79
Bacini artificiali	242,29	
Fiumi torrenti e fossi	8,65	
Lagune laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	92,67	
Zone agricole eterogenee		3,23
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	327,02	
Colture temporanee associate al vigneto	1,59	
Colture temporanee associate all'olivo	55,36	
Sistemi colturali e particellari complessi	819,99	
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di aree naturali importanti	143,09	
Vivai	34,22	
Colture in serra	19,28	
Aree boscate		3,84
Sugherete	351,36	
Aree agroforestali	241,24	
Boschi di conifere	256,80	
Boschi di latifoglie	759,09	
Boschi misti di conifere e latifoglie	55,03	
Zone arbustive e/o arboree		23,37
Gariga	4834,70	
Macchia mediterranea	5281,14	
Cespuglieti ed arbusteti	5,11	
Prati e pascoli		14,87
Aree a pascolo naturale	2961,39	

Uso del suolo	Superficie km <sup>2</sup>	%
Coltivazioni arboree		5,44
Oliveti	1477,68	
Vigneti	869,20	
Frutteti e frutti minori	9,31	
Seminativi		43,40
Seminativi in aree non irrigue	2110,85	
Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	16683,77	
Aree archeologiche		0,01
Aree archeologiche	3,336	



## CAPITOLO 7

### SCHEMI ACQUEDOTTISTICI, CENSIMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELLE VARIE UTENZE

#### 7.1 Fonti e acquisizione dati

Uno degli obiettivi realizzativi del W.P. 4.4, nell'ambito del Progetto RIADE, è quello di ricostruire il sistema infrastrutturale dell'approvvigionamento idrico dei tre settori di utenza fondamentali (civile, industriale ed irriguo) all'interno dell'area di studio. Tale sistema è inteso chiaramente come integrato, in quanto si è cercato di comprendere le diverse fasi del processo di gestione della risorsa idrica, a partire dall'accumulo sino all'adduzione, alla distribuzione, al trattamento di depurazione ed all'eventuale riutilizzo. Un altro aspetto fondamentale è quello di quantificare, come ordine di grandezza, i consumi delle varie utenze (civili, industriali, agricole e zootecniche). Una delle caratteristiche peculiari dell'area è quella di comprendere, al suo interno, attività antropiche, anche di una certa entità, riconducibili ai diversi settori produttivi: aziende agricole e zootecniche, sia di piccole che di medie dimensioni, imprese relative ad attività industriali, terziarie e quaternarie e, soprattutto, strutture ricettive di vario tipo nel settore turistico. Negli ultimi anni, infatti, la zona è stata interessata da una forte urbanizzazione, principalmente lungo la fascia costiera, legata alla realizzazione di nuovi insediamenti turistici, con forti fluttuazioni stagionali della popolazione residente, che hanno determinato notevoli incrementi dei consumi idropotabili. Per questo motivo, in certi periodi dell'anno o in annate siccitose, il fabbisogno supera la disponibilità idrica, generando così usi competitivi della risorsa idrica.

L'approvvigionamento idrico, per i diversi settori di utenza, sfrutta principalmente acque superficiali, immagazzinate e regolate in 8 invasi artificiali con l'integrazione, anche cospicua, di acque sotterranee, soprattutto mediante l'emungimento da pozzi. La quasi totalità dei *flussi idrici* proviene da fonti di approvvigionamento esterne all'area di studio. Fatta eccezione dell'invaso del Cuga e quello di Surigheddu, i bacini artificiali sono tutti ubicati al di fuori del bacino idrografico sotteso allo stagno del Calich. Per questo motivo, insieme al fatto che le reti di distribuzione spesso sono interconnesse l'una con l'altra, sono stati considerati, quasi interamente, gran parte degli schemi acquedottistici della Sardegna nord-occidentale.

##### 7.1.1 Usi civili e industriali

La fase di acquisizione dei dati è risultata molto laboriosa e complicata in quanto la risorsa idrica, a seconda della sua destinazione d'uso, è gestita da enti differenti; inoltre, i dati erano disponibili in molteplici formati, spesso non informatizzati e, in alcuni casi, difficilmente accessibili. Fondamentali informazioni, relative agli usi civili, sono state dedotte dal Piano d'Ambito della Regione Sardegna (approvato nel 2002).

Da tale documento, redatto a cura dell'ESAF (Ente Sardo Acquedotti e Fognature) e dell'EAF (Ente Autonomo del Flumendosa), è stato possibile estrapolare gli schemi di distribuzione della risorsa idrica per scopi idropotabili, relativi allo stato di fatto del 2002 e numerati secondo il criterio proprio del NPRGA (Nuovo Piano Regolatore Generale degli Acquedotti).

Questi dati sono disponibili in formato vettoriale (dwg), georeferenziati, riportati su base topografica IGM in scala 1:50000 e corredati da tabelle (in formato xls), che riportano, per ciascuno schema, le caratteristiche tecniche e le portate erogate per ogni tratto di condotta. Questi dati, nell'ambito delle attività RIADE, sono stati integrati con altri reperiti presso l'ESAF (settore di Sassari). In particolare, sono stati acquisiti i tracciati, in formato cartaceo, di alcune condotte, che sono stati scannerizzati, digitalizzati e georeferenziati, e i consumi idrici mensili, dal 1994 al 2003, dei centri abitati di Alghero, Fertilia e del circostante agro.

Per quanto riguarda le utenze industriali, concentrate nell'agglomerato di San Marco (al centro della Piana di Alghero), i dati raccolti presso il Consorzio ASI (Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di Sassari-Porto Torres-Alghero) si limitano ad alcuni tracciati di condotte, anche questi in formato cartaceo, non ancora attivate. Infatti, l'approvvigionamento idrico delle attività industriali del Consorzio, avviene esclusivamente tramite pozzi, nella maggioranza dei casi non denunciati, dei quali non sono disponibili dati storici relativi alle portate di emungimento.

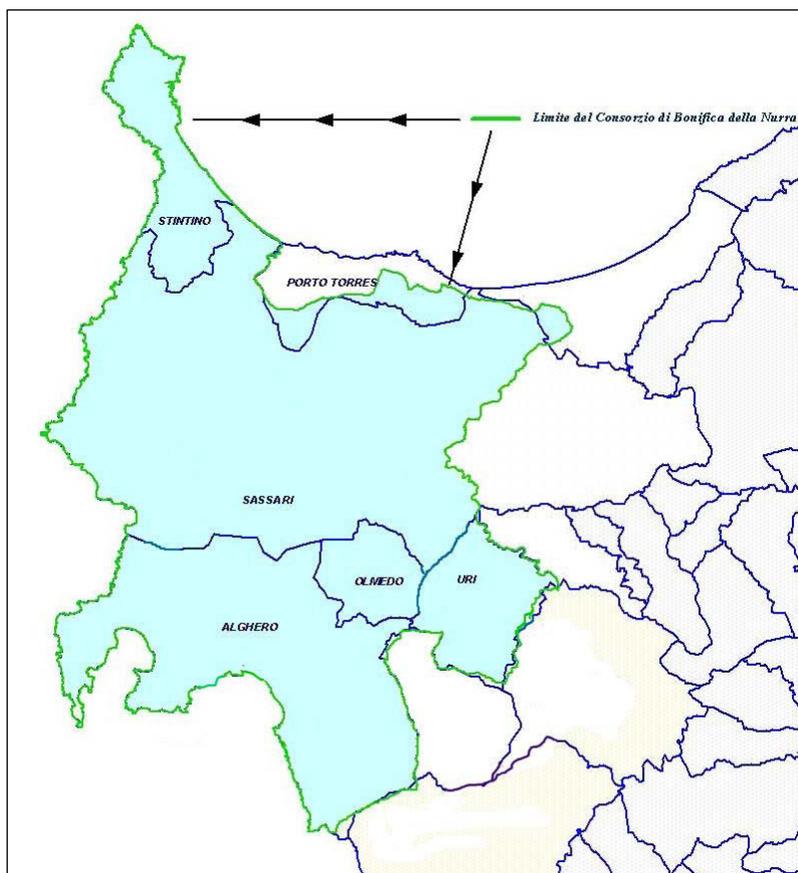
Per l'analisi della funzione di domanda di acqua per gli usi civili ed industriali, si rimanda alla parte del presente documento dove viene ampiamente descritta.

### *7.1.2 Usi irrigui*

La gestione della risorsa idrica destinata all'uso irriguo è di competenza del Consorzio di Bonifica della Nurra, la cui rete di distribuzione interessa solo la zona pianeggiante dell'area in studio.

Tutti i dati concernenti sia gli schemi acquedottistici, compresi nella rete consortile irrigua, sia i fabbisogni e i consumi irrigui delle colture presenti nell'area in studio, sono stati reperiti originariamente presso il Consorzio di Bonifica e successivamente informatizzati ed elaborati nell'ambito del Progetto MONIDRI-INEA con il quale è in atto, già dal principio dell'attività di ricerca, uno scambio di dati.

Il Consorzio di Bonifica della Nurra è stato costituito nel 1949 in seguito ad un accordo tra l'Amministrazione Provinciale e il Comune di Sassari. Il Consorzio tra i proprietari è stato istituito con il Decreto del Presidente della Giunta Regione Sardegna (DPGRS) n.11802/100 del 26/10/1963. Inizialmente, i Comuni interessati erano quelli di Sassari, Porto Torres, Stintino, Alghero e Olmedo. Scopo del Consorzio era quello di migliorare e conservare la proprietà fondiaria attraverso un'opera di bonifica che avrebbe permesso il conseguimento di vantaggi economici per i proprietari interessati. In seguito, nel 1993 con il DPGRS n. 306, l'area è stata estesa ai territori comunali di Uri, Usini, Putifigari, Villanova Monteleone, Monteleone Roccadoria e Padria; la superficie amministrativa del Consorzio raggiungeva i 120.000 ha di estensione. Questi Comuni, fatta eccezione per Uri, sono stati in seguito esclusi e attualmente, la superficie consortile ammonta a poco meno di 73.000 ha (figura 7.1).

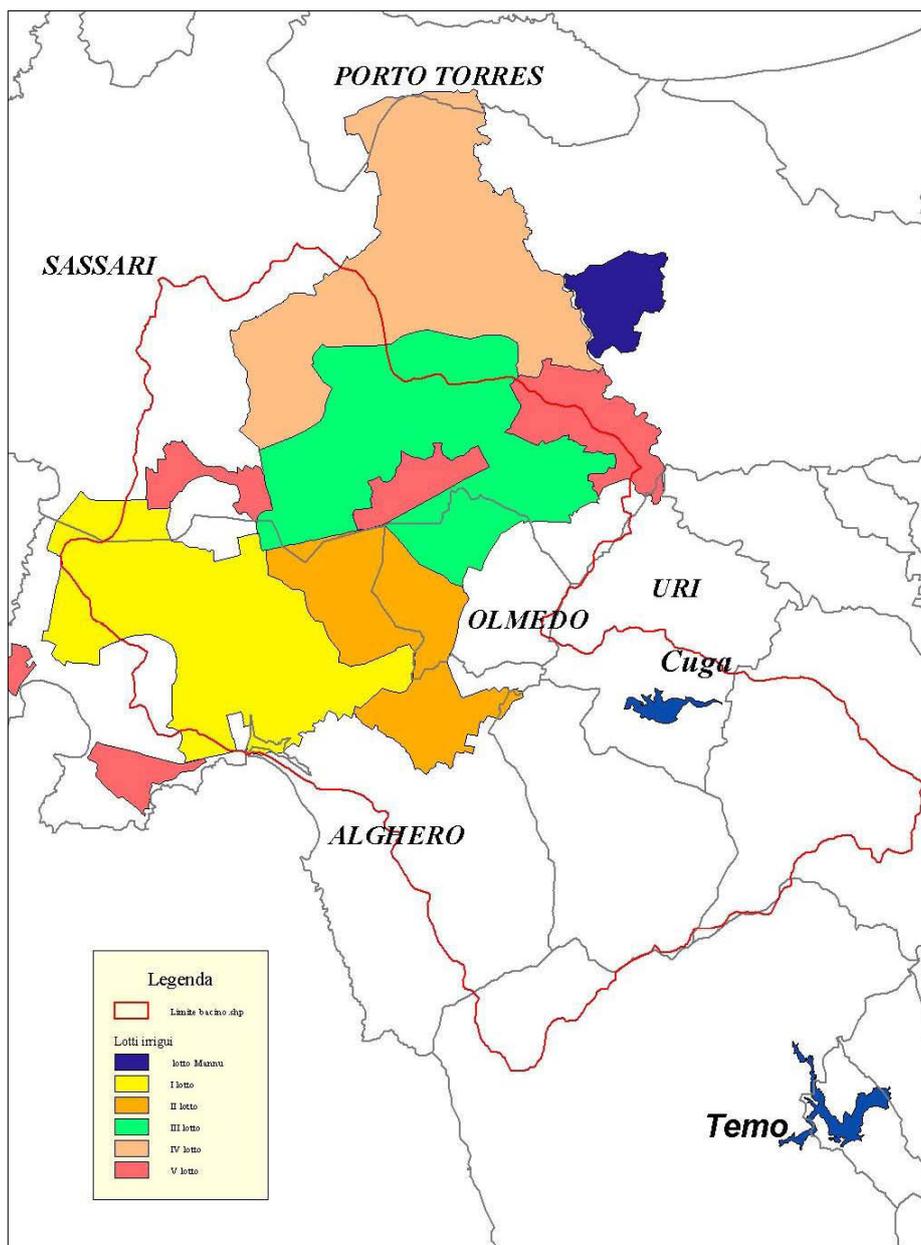


**Figura 7.1 - Limiti del Consorzio di Bonifica della Nurra e Comuni interessati**

Fin dalla sua costituzione, il Consorzio ha realizzato diverse opere di cui la più importante è senza dubbio l'imponente complesso, che prende il nome di *Sistema Temo-Cuga*, per l'irrigazione di un comprensorio inizialmente di poco meno di 25.000 ha e per l'approvvigionamento idropotabile dei Comuni di Alghero, Sassari, Villanova Monteleone, Monteleone Roccadoria, Macomer e Suni.

Al sistema è annesso un complesso di aerogeneratori di energia elettrica per l'abbattimento dei costi di sollevamento delle acque di irrigazione. Nel comprensorio sono insediati circa 3.000 utenti. Gli impianti di irrigazione sono stati realizzati dal Consorzio, per conto dello Stato, e gestiti in concessione nell'interesse dei propri consorziati. Il comprensorio irriguo si estende in tutti i Comuni che fanno parte del Consorzio di Bonifica, ad eccezione di Uri e di Stintino, che non sono forniti di impianti irrigui consortili (figura 7.2).

Il Comune di Uri, in realtà, sarebbe un'area extra-comprensorio, ma risulta inclusa in quanto vengono concesse delle quantità di acqua, attinte con motopompe e sifoni, direttamente dall'invaso del Cuga o dal canale adduttore. Quest'acqua è utilizzata per l'irrigazione delle coltivazioni, soprattutto carciofaie, presenti nella zona limitrofa al bacino del Cuga e ai proprietari viene richiesto un contributo.



**Figura 7.2 - Delimitazione dei lotti e del bacino idrografico della Nurra**

La tabella 7.1 indica, per ogni Comune, l'area irrigata rispetto al totale amministrativo, che risulta pari al 29% della superficie totale. I Comuni serviti dalle reti irrigue del Consorzio sono: Alghero, Olmedo, Porto Torres e Sassari. In particolare, il Comune di Olmedo è servito da impianti di irrigazione nella metà della sua superficie amministrativa, i Comuni di Alghero e Sassari nel 30%, mentre Porto Torres nel 6%.

**Tabella 7.1 - Estensione dell'area amministrativa e dell'area irrigata nei Comuni del Consorzio**

Comuni	Area amministrativa (ha)	Area irrigata (ha)	Area irrigata %
Alghero	20.641	6.509	31,5
Olmedo	3.059	1.561	51,0
Porto Torres	2.196	139	6,3
Sassari	40.773	12.834	31,5
Stintino	4.442	-	-
Uri	1.822	-	-
Totale	72.933	21.043	28,9

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra e Progetto Monidri

In questi Comuni si trovano gli impianti consortili, su una superficie che è stata suddivisa in 5 lotti. La suddivisione del Consorzio in lotti non è stata fatta secondo le diverse caratteristiche tecniche o le coltivazioni delle zone servite dalle condotte, ma su base storica. I progetti esecutivi dei lotti sono stati realizzati in tempi diversi sulla base dei finanziamenti disponibili nei vari periodi.

La maggior parte delle aree del lotto V (figura 7.2) sono servite attraverso impianti di sollevamento. Fa parte del comprensorio anche la zona del fiume Mannu (lotto Mannu), una *fonte alternativa* dalla quale si attinge in periodi particolarmente siccitosi per irrigare un'area molto piccola, in corrispondenza della quale si trova una stazione di sollevamento. Il fiume Mannu, pur essendo una fonte di prelievo stagionale, è comunque molto importante per l'area interessata. La figura 7.2 mostra la perimetrazione dei lotti: alcuni si localizzano in Comuni diversi, mentre il lotto V si localizza *a macchia di leopardo*. Per quanto riguarda la determinazione della superficie di ogni lotto, l'elaborazione della cartografia messa a disposizione dal Consorzio, su supporto informatico, ha permesso la ricostruzione sia dell'estensione che della Superficie Agricola Utilizzabile di ogni lotto<sup>1</sup>. L'uso del suolo in ciascun lotto è prevalentemente agricolo, se si considera che la percentuale della SAU sulla superficie totale di ciascuno è mediamente del 90%.

I dati della tabella 7.2 mostrano, in dettaglio, la distribuzione della SAU nei Comuni, per ogni lotto. La SAU dei lotti I e II è compresa quasi interamente nel Comune di Alghero, mentre i lotti III, IV e V interessano soprattutto il Comune di Sassari.

<sup>1</sup> Il regolamento consortile del 2002 precisa che la superficie attrezzata irrigabile netta è diversa da quella catastale perché tiene conto della percentuale convenzionale di tare aziendali per ogni lotto irriguo, risultati da ogni progetto. In particolare, considerando che la superficie consortile è stata divisa in 5 lotti (realizzati in tempi diversi), tali percentuali sono:

- I e V lotto: 85%
- II e III lotto: 95%
- IV lotto: 80%

Nel raggruppamento *altri* rientrano Uri e Usini (dove si localizzano delle porzioni del V lotto) e Putifigari (dove si localizzano superfici del II lotto). Vista però l'esiguità di tali aree e la mancanza di condotte, si è deciso, per questa indagine, di non considerarle. La rete di distribuzione irrigua consortile è stata informatizzata, nell'ambito del Progetto MONIDRI-INEA, mediante digitalizzazione ed informatizzazione delle cartografie e dei dati messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica della Nurra (figura 7.3).

**Tabella 7.2 - SAU per ogni Comune nei diversi lotti del Consorzio irriguo della Nurra (ha)**

Distribuzione della SAU nei diversi Comuni							
	Superficie	SAU	Sassari	Alghero	Olmedo	Porto Torres	Altri
Lotto I	6.523	5.622	402	5.220	0		18
Lotto II	3.570	3.301	65	2.376	841		18
Lotto III	6.531	5.930	5.055	64	811		
Lotto IV	7.270	6.703	6.433			270	
Lotto V	3.330	2.922	2.381	510			31
Lotto Mannu	900	806	806				
Totale	28.124	25.283	15.141	8.170	1.653	270	49

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra e Progetto Monidri



**Figura 7.3 - Digitalizzazione della rete di distribuzione irrigua consortile sulla ortofoto**

### 7.1.3 Sistemi depurativi

I dati riguardanti il sistema depurativo fognario sono stati recuperati presso il Settore Ambiente e Risorse della Provincia di Sassari; si tratta di dati in formato cartaceo, concernenti il dimensionamento degli impianti di depurazione e gli aspetti quantitativi e qualitativi dei reflui trattati, mentre non è stato possibile reperire i dati relativi ai tracciati delle condotte fognarie.

### 7.1.4 Il GIS degli schemi acquedottistici

Il trattamento e l'elaborazione di tali dati è stato finalizzato alla implementazione degli stessi in ambiente GIS. I tematismi principali sono relativi agli invasi artificiali, agli schemi multisettoriali di distribuzione attraverso i quali sono convogliati i flussi idrici all'interno dell'area di studio e gli impianti di trattamento e depurazione dei reflui. A ciascun tematismo è associato un database, che contiene sinteticamente tutte le informazioni reperite presso le varie fonti sopra citate. In figura 7.4 è rappresentata una schermata del GIS. Nel DVD allegato alla relazione sono contenuti tutti i tematismi informatizzati.

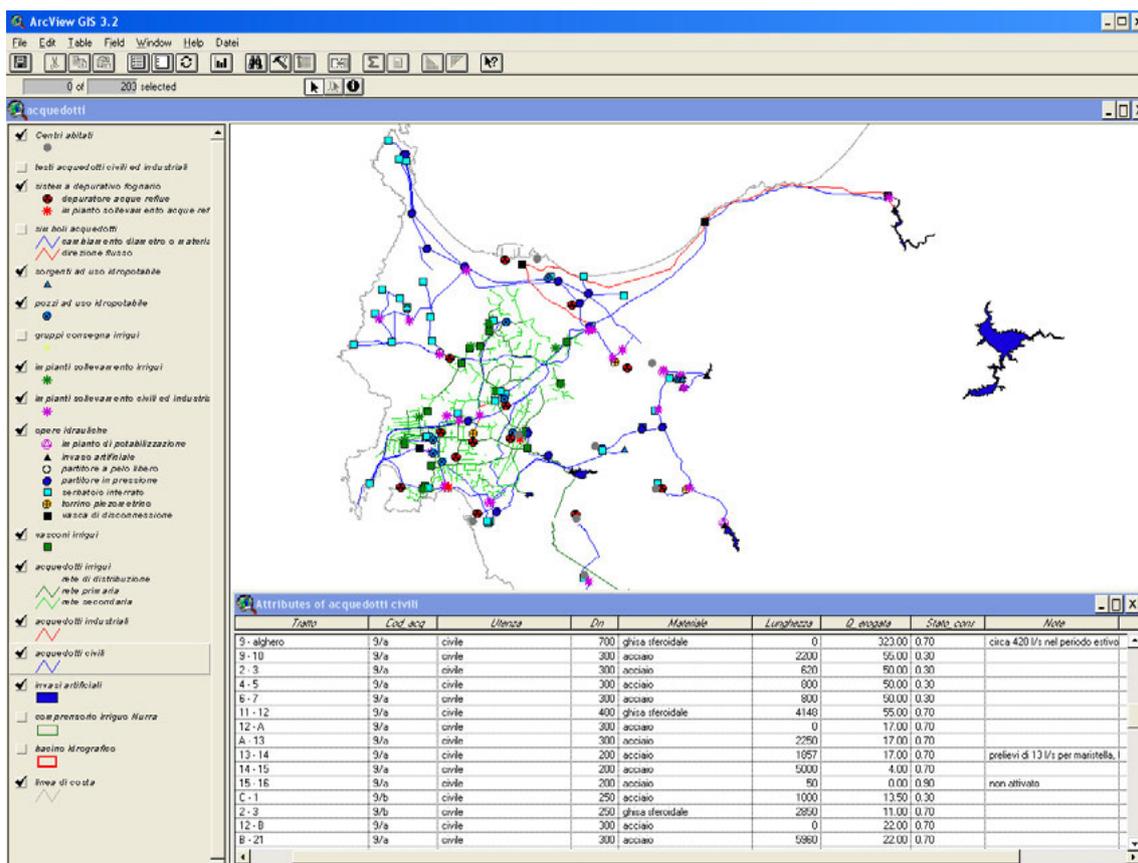


Figura 7.4 - Schermata del GIS schemi acquedottistici

## 7.2 Gli invasi artificiali

Gli invasi artificiali, nei quali vengono immagazzinate le risorse idriche superficiali, che vengono distribuite (parzialmente e/o totalmente) all'interno dell'area di indagine, sono elencati nella tabella 7.3. In essa è riportata sia la destinazione d'uso che le capacità di invaso massime e autorizzate [Viceconte G. 2004].

Gli unici invasi che ricadono all'interno dell'area in studio sono il Cuga e Surigheddu.

**Tabella 7.3 - Invasi artificiali**

Denominazione	Destinazione d'uso	Capacità di invaso massima (Mm <sup>3</sup> )	Capacità di invaso autorizzata (Mm <sup>3</sup> )
Surigheddu	irriguo	2,12	
Cuga	irriguo,civile	33,93	25,00
Alto Temo	irriguo,civile	81,18	58,87
Bunnari alto - Bunnari basso	civile	1,61	1,61
Bidighinzu	civile	11,00	11,00
Coghinas a Casteldoria	irriguo,civile,industriale	3,47	3,47
Coghinas a Muzzone	irriguo,civile,industriale	261,93	223,91

### 7.2.1 Invaso del Cuga

L'invaso del Cuga, gestito dal Consorzio di Bonifica della Nurra, è un serbatoio artificiale costruito nel 1975 in seguito allo sbarramento del rio omonimo, unico immissario tributario importante. L'opera si trova nei pressi dei centri abitati di Uri e Ittiri, si estende su una superficie di circa 1,8 km<sup>2</sup> e la risorsa idrica è destinata prevalentemente ad uso irriguo e civile. Lo sbarramento è realizzato con materiali sciolti: il paramento di valle è rivestito con un manto di pietrame cementato con malta, mentre il paramento di monte è rivestito da blocchi disposti alla rinfusa.

La presa potabile è costituita da una torre di presa acquedottistica di forma cilindrica con diametro esterno di 7 m munita di 4 prese sistemate da quota 112 a quota 91 m s.l.m.. Dall'invaso ha origine un canale adduttore, realizzato in muratura e calcestruzzo, destinato all'uso irriguo e capace di convogliare una portata di 10 m<sup>3</sup>/s: questo termina, dopo un percorso di circa 7 km, nella vasca di compenso di Monte Baranta, nei pressi del centro abitato di Olmedo.

Il bacino imbrifero, sotteso allo sbarramento, ha un'estensione di circa 58 km<sup>2</sup> ed è insufficiente, con i suoi deflussi, a portare a riempimento il lago. Per questo motivo vengono addotte le acque dall'invaso artificiale dell'Alto Temo, ubicato più a sud in prossimità dei centri di Romana e Monteleone Roccadoria, mediante un collegamento che avviene in parte in galleria e in parte in alveo (il Sistema Temo-Cuga).

In tabella 7.4 viene riportato il volume di acqua in uscita dal Sistema Temo-Cuga, in relazione alla destinazione d'uso, per il decennio 1993-2003. I dati sono espressi in milioni di metri cubi: il dato sull'evaporazione è stato stimato dal Consorzio di Bonifica della Nurra. Dalla tabella si può notare che i prelievi per l'uso idropotabile sono rimasti sostanzialmente gli stessi in tutti gli anni, non altrettanto per l'acqua utilizzata per l'agricoltura.

**Tabella 7.4 - Volume di acqua distribuito in relazione alla destinazione d'uso (milioni di m<sup>3</sup>) relative al Sistema Temo-Cuga**

Utilizzo	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Irriguo	35,8	34,3	5	25,5	41,5	13	16,9	3,7	29,6	9,2	
Idropotabile	11,2	11,3	10,9	12,8	12,7	13,2	14	14,3	20,3	19,7	8,1
Industriale											
Extra-agricolo											
Evaporazione	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Totale risorsa	49,9	48,6	18,8	41,3	57,2	29,2	33,9	21	52,9	31,9	

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra e Progetto Monidri

La risorsa idrica utilizzata per scopi potabili (tabella 7.4) è gestita dall'ESAF (Ente Sardo Acquedotti e Fognature).

Fino al 2003 il Cuga ha rappresentato la principale fonte di approvvigionamento per il Comune di Alghero, fornendo all'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese circa 400 l/s, oltre a servire ovviamente la rete di distribuzione consortile per soddisfare il fabbisogno irriguo della piana di Alghero. Dal 2003 l'erogazione della risorsa invasata, nel bacino del Cuga, per uso potabile si è ridotta notevolmente, fino a circa 30 l/s, e nel prossimo futuro questa dovrebbe cessare quando sarà ultimata la condotta che convoglierà i reflui depurati dell'impianto di depurazione del Comune di Sassari (ubicato in località Caniga) all'invaso, il quale sarà destinato a quel punto esclusivamente all'uso irriguo.

### *7.2.2 Invaso dell'Alto Temo (Monteleone Roccadoria)*

L'invaso dell'Alto Temo, gestito anch'esso dal Consorzio di Bonifica della Nurra, è un serbatoio artificiale realizzato con uno sbarramento sul corso medio del fiume Temo e ricade nei Comuni di Monteleone Roccadoria, di Romana e di Villanova Monteleone, a sud dell'area di studio. Lo sbarramento è realizzato con una diga a gravità alleggerita in calcestruzzo. Il suo utilizzo è volto, nella massima parte, a soddisfare le richieste dell'utenza irrigua, ma è presente anche una torre di presa, di proprietà dell'ESAF, per il prelievo destinato all'utenza idropotabile. L'invaso si trova a 215 m s.l.m. e cede acqua per gravità al Cuga, collocato invece a 115 m s.l.m.. Il collegamento avviene inizialmente mediante un tratto in galleria, della lunghezza di circa 10 km, poi in alveo sul Rio Sette Ortas e infine di nuovo in galleria fino, allo sbocco nel Cuga.

I trasferimenti tra questi due bacini vengono fatti in tarda primavera (maggio-giugno), quando l'alveo del fiume è ancora saturo di acqua: infatti normalmente questa procedura implica minori perdite. Le paratoie vengono comunque aperte nel momento in cui ci si rende conto che l'acqua invasata nel Cuga non è sufficiente a garantire la campagna irrigua. In particolare, ci sono due soglie minime (livelli di guardia) per attingere dal Temo:

- circa 1 milione di m<sup>3</sup>: soglia al di sotto della quale non si riesce ad attingere acqua per uso irriguo;
- circa 3 milioni di m<sup>3</sup>: soglia al di sotto della quale non si riesce a prendere acqua per uso potabile, o meglio la si riesce a prendere ma non è potabilizzabile.

Dal Temo ci sono inoltre altre due uscite per uso potabile: una verso Bosa e l'altra verso l'invaso del Bidighinzu. I prelievi per il Bidighinzu, effettuati dall'ESAF, fanno parte di una sorta di *scambio* tra l'Ente e il Consorzio: infatti nei periodi di maggiore siccità, il Consorzio può disporre di un'immissione di acqua direttamente in rete effettuata dal Coghinas e dal Surigheddu.

Il collegamento tra l'invaso del Temo e quello del Cuga è illustrato nello schema in figura 7.5 che indica le uscite per il potabile che l'ESAF effettua da entrambi i bacini.

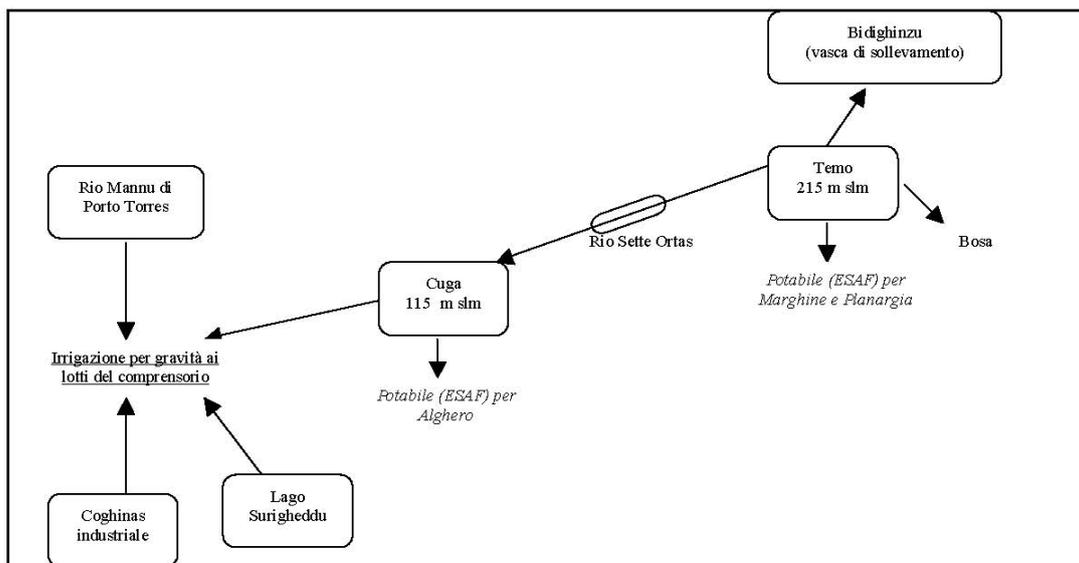


Figura 7.5 - Schema collegamento Temo-Cuga (Fonte: Progetto Monidri)

### 7.2.3 Invaso di Surigheddu

L'invaso di Surigheddu, localizzato ad est della città di Alghero, è stato realizzato con uno sbarramento in terra sul Rio Serra. L'invaso, gestito dall'ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura), è attualmente inutilizzato. In passato, le risorse idriche allocate venivano destinate per uso irriguo, alimentando le aziende di Surigheddu e Mamuntanas e, parzialmente per uso potabile, per l'approvvigionamento di Alghero.

#### *7.2.4 Invaso del Bidighinzu*

L'invaso del Bidighinzu è ubicato ad est rispetto all'area di interesse del progetto RIADE, in prossimità dei centri di Thiesi e Bessude: esso è gestito dall'ESAF. Lo sbarramento è di tipo a gravità ordinaria in calcestruzzo e la destinazione d'uso della risorsa invasata è esclusivamente idropotabile.

#### *7.2.5 Invasi del Bunnari*

Si tratta di un sistema di due invasi in cascata (Bunnari Alto e Bunnari Basso), ubicati non lontano dalla città di Sassari: sono entrambi gestiti dal Comune di Sassari che è il concessionario dello sfruttamento della risorsa ad uso idropotabile. Gli sbarramenti sono del tipo a gravità ordinaria in muratura di pietrame. Nell'invaso Bunnari Alto è presente una torre di presa collegata con la rete di adduzione e con l'invaso del Bunnari Basso.

#### *7.2.6 Invasi del Coghinas a Muzzone e del Coghinas a Casteldoria*

Questi due invasi costituiscono una fondamentale fonte di approvvigionamento per importanti utenze idropotabili, quali la città di Sassari e molti altri centri della Sardegna settentrionale, nonché per le utenze industriali di Porto Torres e del Sassarese e per le utenze irrigue del Consorzio di Bonifica del Nord Sardegna.

L'invaso del Coghinas a Muzzone è gestito dall'ENEL e le acque sono destinate per uso idropotabile ed idroelettrico. Lo sbarramento è a gravità ordinaria, a strati alternati di muratura di pietrame e di calcestruzzo.

L'invaso del Coghinas a Casteldoria raccoglie i deflussi residui del Rio Coghinas ed è gestito dal Consorzio di Bonifica del Nord Sardegna, ma l'ENEL è titolare della concessione. Lo sbarramento è del tipo a gravità ordinaria in calcestruzzo.

### **7.3 Reti di distribuzione multisetoriale**

La ricostruzione degli schemi idrici multisetoriali, finalizzata alla realizzazione di un unico database comprendente le principali informazioni sull'intricata rete di distribuzione della risorsa idrica, si è rivelata difficoltosa. Questo perché i dati, provenendo dai diversi enti gestori, erano molto diversi tra loro, soprattutto da un punto di vista qualitativo, e quindi di difficile omogeneizzazione.

La tabella 7.5 elenca schematicamente le reti di distribuzione per le varie tipologie di utenze, con i codici identificativi così come riportato nel database del GIS.

**Tabella 7.5 - Reti di distribuzione multisettoriali**

Codice schema	N° NPRGA	Denominazione	Destinazione d'uso
COG1		Coghinas1	industriale
COG2		Coghinas2	civile,industriale,irrigua
COG1-COG2		interconnessione Cog1-Cog2	industriale
TR-MA		Truncu Reale – Monte Agnese	civile
6/A	6	Porto Torres - Sassari - Sorso	civile
6/B	6	acq. locale Sassari	civile
6/C	6	acq. locale Porto Torres	civile
6/D	6	acq. locale Campanedda	civile
7/A	7	Bidighinzu	civile
7/X	7	acq. locale Uri	civile
7/Z	7	acq. locale Olmedo	civile
9/A	9	Alghero - Cuga	civile
9/B	9	acq. locale Monte Doglia	civile
9/C	9	acq. locale Tottubella	civile
12/A	12	Temo	civile
SM1		san Marco1	civile
SM2		san Marco2	industriale
CDB		acq. Consorzio di Bonifica della Nurra	irrigua

Di seguito si riporta una breve descrizione degli schemi acquedottistici per i diversi usi, indicati nella tabella 7.5 e rappresentati in figura 7.6.

### *7.3.1 Reti di distribuzione civile ed industriale*

#### *7.3.1.1 Coghinas 1*

L'acquedotto industriale Coghinas 1 è stato realizzato negli anni '70, su progetto della Cassa per il Mezzogiorno, per servire l'utenza industriale dell'agglomerato di Porto Torres, all'epoca di proprietà della SIR ed attualmente della Syndial. La Cassa per il Mezzogiorno ne ha curato anche la gestione fino a quando, nel 1989, è subentrato l'ESAF come ente gestore. La condotta funziona a gravità dalla vasca di carico dell'impianto di sollevamento di S.Maria Coghinas, presso il bacino artificiale di Casteldoria, fino alla vasca terminale ubicata nella Zona Industriale di Porto Torres. Essa ha uno sviluppo di circa 49 km, lungo la costa settentrionale, ed è suddivisa in due tronconi separati da una vasca di disconnessione, situata circa a metà tracciato, in località Punta Tramontana, che ha lo scopo di ridurre il carico pressorio sul secondo tronco. A causa della morfologia del terreno è stato necessario realizzare sette gallerie di valico con funzionamento in pressione, quasi sempre in condizioni difficili dal punto di vista geologico, sia per la forte variabilità delle litologie attraversate e per la presenza di argille bentonitiche fortemente rigonfianti, che per manifestazioni franose interessanti alcuni punti del tracciato. Tali eventi franosi, danneggiando la condotta, hanno determinato la riduzione della capacità di trasporto della stessa e il mancato

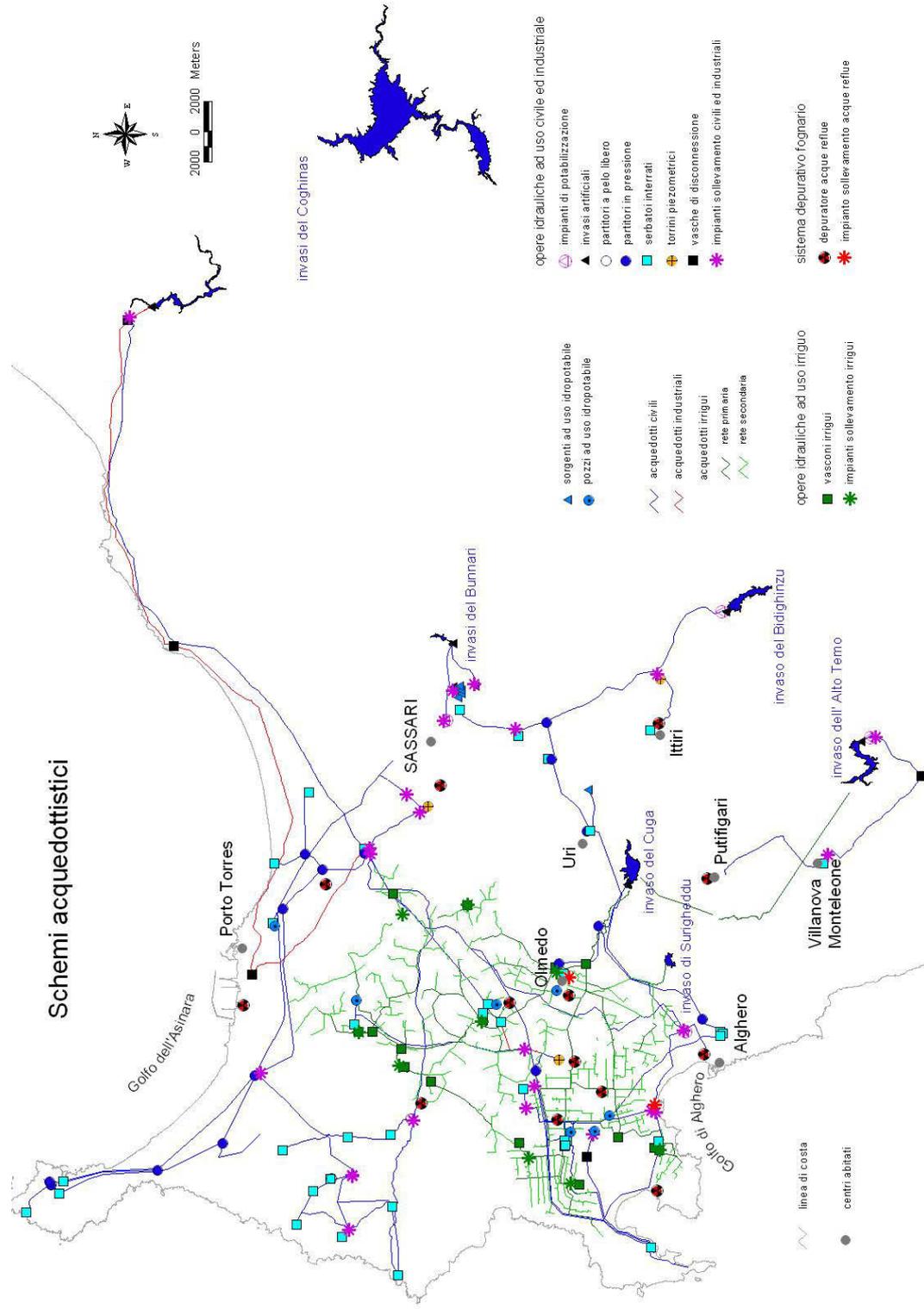


Figura 7.6 - Reti di distribuzione multisettoriali

funzionamento a pressione delle gallerie lesionate. A fronte di una capacità iniziale di trasporto di 2000 l/s, a tutt'oggi, sia per gli eventi franosi, ma anche per il ridimensionamento cospicuo del fabbisogno idrico della Zona Industriale di Porto Torres, il Coghinas 1 convoglia una portata pari a 400 l/s.

#### 7.3.1.2 Coghinas 2

L'acquedotto Coghinas 2 ha le stesse origini del Coghinas 1, sia in termini di realizzazione e gestione, sia in termini di destinazione d'uso. Però, a differenza di quest'ultimo, benché fosse stato realizzato per completare le infrastrutture a servizio delle aree industriali di Truncu Reale (Sassari) e di San Marco (Alghero), fin dai primi mesi di utilizzo ha visto coinvolte anche utenze civili, inizialmente di modesta entità e poi di una certa rilevanza, e l'utenza irrigua del Consorzio di Bonifica della Nurra. Il Coghinas 2 ha anch'esso origine dalla vasca di S.Maria Coghinas, presso il lago artificiale di Casteldoria e prosegue parallelamente al Coghinas 1 fino a Sorso, ma si mantiene, per tutto il tracciato, a quote sempre maggiori rispetto al Coghinas 1, evitando attraversamenti in galleria; successivamente si dirige verso l'entroterra fino a raggiungere la vasca di Truncu Reale, posta a monte dell'omonimo impianto di potabilizzazione. A partire dalla vasca di testa, la condotta trasporta 1500 l/s, e dopo aver erogato circa 150 l/s per le principali utenze potabili del tratto di costa compreso tra Valledoria e la Marina di Platamona, convoglia 1350 l/s alla vasca di Truncu Reale. A valle di questa vi è un partitore in pressione che suddivide la portata tra l'attiguo impianto di potabilizzazione (800 l/s) e la prosecuzione (250 l/s) sino alla vasca terminale situata in prossimità dell'abitato di Tuttubella, utile per servire la Zona Industriale di San Marco (Alghero).

#### 7.3.1.3 Interconnessione Coghinas 1- Coghinas 2

Tra i due acquedotti esiste un'interconnessione realizzata con una condotta che unisce gli impianti di Porto Torres e Truncu Reale con possibilità di utilizzo nei due versi di percorrenza (a gravità verso Porto Torres e con sollevamento verso Truncu Reale). Questo collegamento ha reso possibile garantire con continuità l'approvvigionamento all'Agglomerato Industriale di Porto Torres in concomitanza ai dissesti, di cui si è accennato sopra, che hanno reso inutilizzabile l'acquedotto Coghinas 1 per lunghi periodi. In questi casi, è stato possibile trasferire sul Coghinas 2 il carico gravante sul primo in virtù della compatibilità tra domanda e capacità di trasporto disponibile. Il collegamento non è mai stato utilizzato in senso inverso data la precarietà in cui versano le gallerie dell'acquedotto Coghinas 1.

#### 7.3.1.4 Truncu Reale - Monte Agnese

L'acquedotto Truncu Reale-Monte Agnese, attivato di recente, trasporta gran parte della risorsa (300 l/s che durante il periodo estivo diventano 390 l/s) che garantisce l'approvvigionamento idropotabile di Alghero, Fertilia e buona parte delle borgate ubicate nella piana della Nurra. La condotta si sviluppa a partire dal serbatoio a monte dell'impianto di potabilizzazione di Truncu Reale, al quale arriva l'acqua grezza trasportata dal Coghinas 2, proveniente dall'invaso di Casteldoria, e termina all'ingresso

dell'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese. Qui l'acqua grezza viene potabilizzata per poi essere immessa nella rete di distribuzione rappresentata dallo Schema n° 9 Alghero-Cuga. Durante la fase progettuale si era inizialmente pensato di far partire la condotta dalla vasca di Tottubella che costituisce il punto terminale dell'acquedotto Coghinas 2. Ma per due importanti motivi si è optato per la soluzione che conosciamo oggi. Il primo è rappresentato dai limiti di trasporto del Coghinas 2, a causa dei quali si sarebbe dovuto annullare quasi tutto il prelievo per l'utenza irrigua; il secondo motivo è dovuto al fatto che la vasca di Tottubella si trova ad una quota inferiore rispetto all'impianto di Monte Agnese e quindi sarebbe stato necessario realizzare un sollevamento per trasportare l'acqua che, invece, da Truncu Reale fluisce a gravità. La condotta ha permesso di dirottare l'approvvigionamento per uso potabile di Alghero e del suo hinterland sull'invaso del Coghinas e di ridurre drasticamente il prelievo dall'invaso del Cuga, che fino al 2003, ha rappresentato la principale risorsa per questa domanda. Oggi, come già accennato in precedenza, il prelievo per uso potabile dal Cuga si è ridotto a circa 30 l/s e nel prossimo futuro la risorsa invasata sarà destinata esclusivamente all'utenza irrigua.

#### 7.3.1.5 Schema n° 6 Porto Torres - Sassari - Sorso

Lo schema n° 6 comprende la rete di condotte che, a partire dall'impianto di potabilizzazione di Truncu Reale, si sviluppa in tre direzioni: verso il centro urbano di Sassari, verso la parte settentrionale della Piana della Nurra e a nord verso i centri costieri. All'uscita del potabilizzatore vengono erogati 550 l/s attraverso la condotta che, dopo aver attraversato una parte dell'agro di Sassari, arriva al centro cittadino. Al punto terminale della condotta giungono 450 l/s, in quanto per l'approvvigionamento delle frazioni di Li Punti e San Giovanni vengono prelevati 100 l/s. La città di Sassari però è servita, oltre che dall'invaso del Coghinas a Casteldoria, anche dai bacini del Bunnari e del Bidighinzu.

La risorsa proveniente dal sistema dei due invasi del Bunnari viene distribuita mediante una rete acquedottistica locale, gestita dal Comune di Sassari (denominata 6/b), alla quale sono collegate due traverse fluviali, la traversa sul Rio Mascari e quella della Valle dei Ciclamini, e le captazioni di 4 sorgenti, anch'esse ubicate nella località Valle dei Ciclamini. Nell'insieme, queste fonti di approvvigionamento apportano 220 l/s, di cui 15 l/s derivano da acque sotterranee e confluiscono dapprima all'impianto di potabilizzazione comunale e poi nella parte alta della città. La quota parte di risorsa proveniente dal Bidighinzu è pari a 210 l/s, i quali sono erogati tramite la condotta compresa nello schema n° 7 (descritta in seguito).

Come già scritto, da Truncu Reale partono altre due condotte che si dirigono rispettivamente verso est, ovvero verso le borgate di Campanedda, La Corte e Palmadula, e verso nord-est cioè verso i centri costieri di Porto Torres, Platamona fino a Stintino. La prima condotta trasporta 15 l/s che, mediante diverse diramazioni, raggiunge le borgate fino ad arrivare all'abitato dell'Argentiera, sulla costa occidentale. A questi vanno aggiunti 10 l/s provenienti dalla condotta ubicata più a nord attraverso il partitore di Monte Elva. L'unica borgata non servita dalla rete, anche se la condotta esiste, è quella di Campanedda, il cui approvvigionamento è assicurato da un pozzo, il quale eroga una portata di 6 l/s ed è gestito dall'ESAF.

Infine, la condotta che si dirige verso la costa settentrionale, convoglia 210 l/s che vengono distribuiti tra Platamona (50 l/s), Porto Torres (80 l/s), Stintino e i vari insediamenti turistici della zona (70 l/s). Per quanto riguarda la città di Porto Torres, questa percepisce un importante contributo di risorsa potabile proveniente da acque sotterranee, emunte mediante un campo pozzi gestito dallo stesso Comune. Si tratta precisamente di 5 pozzi mantenuti costantemente in pompaggio che erogano complessivamente circa 100 l/s, che vengono miscelati con l'acqua potabile proveniente da Truncu Reale e poi immessi nella rete di distribuzione cittadina. In tabella 7.6 sono riportati i pozzi e le sorgenti utilizzati a scopo idropotabile nello schema n° 6.

**Tabella 7.6 - Pozzi e sorgenti utilizzati a scopo idropotabile nello schema n° 6**

ID Pozzo o Sorgente	Denominazione	Codice acquedotto	Portata erogata l/s
6/9	pozzi comunali P. Torres (Li Pidriazzi)	6/c	100,00
6/10	pozzo Mandras (Campanedda)	6/d	6,00
6/5	sorgenti valle dei ciclamini 1	6/b	2,50
6/6	sorgenti valle dei ciclamini 2	6/b	4,00
6/7	sorgenti valle dei ciclamini 3	6/b	5,00
6/8	sorgenti valle dei ciclamini 4	6/b	3,50

Fonte: ESAF

### 7.3.1.6 Schema n° 9 Alghero - Cuga

Lo schema n° 9 è quello che riveste maggiore importanza per il progetto RIADE, in quanto si sviluppa, a differenza di tutti gli altri, completamente all'interno dell'area di interesse e distribuisce la risorsa per uso potabile presso i centri abitati della Piana della Nurra. La sua peculiarità sta nel fatto che, fra tutti gli schemi acquedottistici considerati, è quello nel quale vi è il maggior contributo, in percentuale rispetto al totale di risorsa distribuita, da acque sotterranee mediante l'emungimento da pozzi. In particolare si tratta di 4 pozzi gestiti dall'ESAF, ubicati nell'agro di Alghero, tra i quali il pozzo Berti caratterizzato da un'elevata produttività (portata media erogata 50 l/s). In tabella 7.7 sono riassunti i dati relativi ai pozzi utilizzati per usi idropotabili nello schema n° 9.

Per descrivere lo schema n° 9 si parte dall'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese dove arrivano le acque grezze provenienti da Truncu Reale, attraverso la condotta che collega i due impianti (300 l/s che nel periodo estivo sono 390 l/s), dall'invaso del Cuga (30 l/s) e infine dal Pozzo Berti (mantenuto costantemente in pompaggio, con una portata media di 50 l/s), ubicato in prossimità dell'aeroporto di Fertilia. Le acque vengono miscelate, potabilizzate e distribuite tra i centri abitati di Alghero, Fertilia, la cosiddetta zona turistica e le varie borgate dell'agro.

**Tabella 7.7 - Pozzi utilizzati a scopo idropotabile nello schema n° 9**

ID Pozzo	Denominazione	Codice acquedotto	Portata erogata l/s	Note
9/3	pozzo Etfas 2 (Santa Maria la Palma)	9/a	18,00	
9/4	pozzi Monte Doglia	9/b	13,50	la portata complessiva dei 3 pozzi è 55 l/s, ma non sono utilizzati simultaneamente
9/2	pozzo Berti	9/a	50,00	
9/5	pozzo Rumanedda (Tottubella)	9/c	6,00	

Fonte: ESAF

Più precisamente, dopo l'uscita dall'impianto di Monte Agnese, l'acqua potabile segue due direzioni: la prima verso la città di Alghero, dove vengono immessi nella rete di distribuzione cittadina 325 l/s (che diventano circa 420 l/s nel periodo estivo) e la seconda verso Fertilia (55 l/s). In corrispondenza dell'impianto di sollevamento di Fertilia, si trovano tre diramazioni: verso l'abitato (16 l/s), verso la zona turistica (17 l/s), lungo la fascia costiera e verso il serbatoio di Monte Siseri (22 l/s), ubicato in prossimità della borgata di Santa Maria La Palma.

La condotta che serve la zona turistica distribuisce l'acqua per usi civili a tutti i diversi insediamenti ubicati lungo la costa, da Le Bombarde fino alla Baia di Porto Conte: qui interseca un'altra condotta alimentata dai pozzi di Monte Doglia (13,5 l/s), che poi prosegue verso sud-est fino a Tramarglio.

Al serbatoio di Monte Siseri le acque potabili, provenienti da Monte Agnese, sono miscelate con le acque grezze emunte da un pozzo (ETFAS 2, Santa Maria la Palma), gestito dall'ESAF, che fornisce una portata di 18 l/s. Dal serbatoio si dipartono due condotte che trasportano rispettivamente 19 l/s e 21 l/s e che servono le utenze potabili dell'agro, tra cui la borgata di Santa Maria la Palma (3,50 l/s). Da una di esse parte una diramazione che raggiunge la zona turistica, arrivando fino al promontorio di Capo Caccia. La borgata di Tottubella, ad est di Santa Maria la Palma in direzione Sassari, pur essendo raggiunta dall'infrastruttura acquedottistica dello schema n° 9, è servita esclusivamente, per usi civili, da acque sotterranee emunte da un pozzo ESAF (Pozzo Rumanedda, Tottubella), il quale eroga una portata di 6 l/s.

### 7.3.1.7 Schema n° 7 Bidighinzu

Lo schema n° 7 preleva la risorsa superficiale dall'invaso del Bidighinzu e la distribuisce, per usi civili, in molti Comuni a sud ed ad ovest di Sassari. Per quanto riguarda l'oggetto dello studio, esso ha un interesse abbastanza parziale rispetto alla sua totale estensione, in quanto serve soltanto pochi centri abitati all'interno dell'area di interesse quali Ittiri, Uri e Olmedo.

Dal bacino del Bidighinzu, si diparte verso nord-est una condotta che trasporta 286 l/s e che ha il suo punto terminale in un serbatoio alle porte della città di Sassari. A questo serbatoio giunge una portata di 210 l/s che va ad integrare le altre fonti di approvvigionamento della città, convogliate attraverso lo schema n° 6, come descritto in precedenza. Prima di arrivare a Sassari, la condotta presenta diverse diramazioni verso i vari Comuni serviti, tra i quali, solo per citare quelli ubicati all'interno dell'area di studio, Ittiri, Uri e Olmedo, che ricevono rispettivamente 22 l/s, 12 l/s e 6 l/s.

Nel caso di Uri e Olmedo, per l'approvvigionamento a scopo potabile, le acque sotterranee giocano un ruolo fondamentale: le sorgenti Paulis forniscono 6 l/s e i 2 pozzi gestiti dall'ESAF, ubicati nei pressi del campo sportivo di Olmedo, mantenuti alternativamente in pompaggio, forniscono una portata di 8 l/s (tabella 7.8).

**Tabella 7.8 - Pozzi e sorgenti utilizzati a scopo idropotabile nello schema n° 7**

ID Pozzo o Sorgente	Denominazione	Codice acquedotto	Portata erogata l/s	Note
7/34	pozzi campo sportivo (Olmedo)	7/z	8,00	il pompaggio dai 2 pozzi è periodicamente alternato
7/31	sorgenti paulis (uri)	7/x	6,00	

Fonte: ESAF

Una condotta dello schema n° 7 alimenta, in modo insufficiente, una parte della città di Alghero, precisamente la parte alta, erogando una portata di 6 l/s.

### 7.3.1.8 Schema n° 12 Temo

Per la ricostruzione delle reti di distribuzione per usi civili, dallo schema n° 12, sono state considerate solo le condotte che portano l'acqua potabile ai centri di Villanova Monteleone e Putifigari. Dall'invaso del Temo a Monteleone Roccadoria, la condotta si sviluppa verso sud-ovest fino a raggiungere il vascone ubicato sul Monte Minerva e da qui continua in direzione nord-ovest fino all'abitato di Villanova Monteleone, convogliando una portata di 25 l/s.

Da un pozzetto di presa della rete cittadina di Villanova si diparte un'altra condotta, per una lunghezza complessiva di circa 5 km, che alimenta il paese di Putifigari, fornendo una portata di 3 l/s.

### 7.3.1.9 San Marco 1 e San Marco 2

Le condotte San Marco 1 e San Marco 2 dovrebbero trasportare rispettivamente le acque per uso civile e per uso industriale per le varie utenze all'interno dell'agglomerato industriale di San Marco (gestito dall'A.S.I.: Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di Sassari-Porto Torres-Alghero), ubicato al centro della Piana di Alghero.

La San Marco 1 è collegata alla condotta dell'ESAF che trasporta acqua potabile da Santa Maria la Palma a Tottubella e tramite un pozzetto di presa dovrebbe garantire il prelievo per le utenze civili nella vicina zona industriale. La condotta San Marco 2, relativa all'approvvigionamento per uso industriale, si collega con il serbatoio di Tottubella, che rappresenta anche il punto di arrivo della condotta Coghinas 2, proveniente da Truncu Reale.

Entrambe le condotte non sono state attivate, e dunque attualmente l'approvvigionamento idrico sia per uso civile che per uso industriale, secondo le fonti dell'A.S.I., è assicurato esclusivamente da pozzi di proprietà delle singole aziende consorziate, dei quali non si ha nessun dato per quanto riguarda le portate emunte.

### 7.3.1.10 Quadro riassuntivo per le utenze civili

La tabella 7.9 riassume le portate erogate per usi civili ai diversi centri abitati che ricadono all'interno dell'area in studio.

**Tabella 7.9 - Approvvigionamenti idrici utenze civili per l'area in studio**

Centri serviti	Acquedotto	Portata l/s
Alghero	schema n° 9	325,00*
Fertilia	schema n° 9	16,00
Zona turistica	schema n° 9	28,50
Santa Maria la Palma	schema n° 9	3,50
Tottubella	schema n° 9	6,00
La Corte	schema n° 6	3,00
Olmedo	schema n° 7	14,00
Uri	schema n° 7	18,00
Ittiri	schema n° 7	22,00
Putifigari	schema n° 12	3,00
Villanova Monteleone	schema n° 12	22,00

\* 420 l/s nel periodo estivo

Nella tabella 7.10 sono riportati i contributi da acque superficiali e sotterranee relativi agli schemi ESAF, dunque anche al di fuori dell'area in studio, nei quali sono inseriti pozzi e sorgenti utilizzati a scopo idropotabile.

**Tabella 7.10 - Contributi da acque superficiali e sotterranee (schemi n° 6, 7 e 9)**

Acquedotto	Portata totale distribuita l/s	Contributo da acque superficiali		Contributo da acque sotterranee	
		l/s	%	l/s	%
schema n° 6	1111	980	88	121	12
schema n° 7	300	286	95	14	5
schema n° 9	417,5*	330*	79	87,5	21

Fonte: ESAF

\* la portata aumenta di 90 l/s nel periodo estivo

### 7.3.2 Rete di distribuzione irrigua del Consorzio di Bonifica della Nurra [Fonte Progetto MONIDRI-INEA]

Nella rete di distribuzione irrigua del Consorzio di Bonifica della Nurra, la maggior parte della risorsa viene distribuita per gravità, la restante viene sollevata e portata in pressione, grazie al sistema di impianti di sollevamento e vasche con capacità di compenso e/o riserva. Nelle tabelle 7.11 e 7.12 rispettivamente sono riportate le caratteristiche degli impianti di sollevamento e delle vasche inserite nella rete consortile irrigua.

**Tabella 7.11 - Caratteristiche degli impianti di sollevamento**

Impianti	Denominazione	Portata max l/s	Prevalenza m	Superficie S.A.U. ha
1	Corea	195	25,00	382
2	Guardia grande	75	25,00	250
3	Maristella	57	48,00	175
4	Brunestica	270	33,00	804
5	Monte Uccari	800	35,00	2360
6	Donna Ricca	562	49,00	1487
7	Monte Nudo	1325	51,00	4204
8	Badde Funtana	476	66,00	944
9	Ottava	495	64,00	713
Totale comprensorio Nurra		4253		11319

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra e Progetto Monidri

Dalla vasca di Monte Baranta si dipartono le condotte adduttrici di alimentazione del comprensorio irriguo. Il comprensorio Nord è alimentato tramite una condotta in c.a.p. DN 2000 che, partendo dalla vasca di Monte Baranta ed attraversando tutto il III lotto, si dirige verso Nord per alimentare, oltre al III, anche il IV lotto e parte del V lotto. Questa condotta alimenta le varie condotte principali che da essa derivano in carico ed i due impianti di sollevamento di Brunestica e di Monte Uccari terminando in corrispondenza di quest'ultimo.

Come già accennato prima, in prossimità della borgata di Tottubella e della vasca consortile di Monte Uccari è ubicata la vasca terminale della condotta Coghinas 2, dalla quale si diparte la condotta industriale San Marco 2. Dopo 150 m dall'uscita della vasca, quest'ultima sovrappassa la condotta consortile Principale Nord DN 2000 destinata ad alimentare il III e il IV lotto irriguo.

Tramite due by-pass, di cui uno prima dell'arrivo nella vasca terminale del Coghinas 2 e l'altro tra la San Marco 2 e la condotta Principale Nord DN 2000, i sistemi idrici Temo-Cuga e Coghinas, sono stati interconnessi, anche se con un collegamento provvisorio che, per quanto limitato nelle possibilità di esercizio, ha permesso di alleviare la penuria idrica delle stagioni siccitose [Tesi F.Cambula A.A. 1995-1996].

Lo schema distributivo del comprensorio Sud è alimentato da due condotte adduttrici gemelle, con presa nella stessa vasca di compenso di Monte Baranta. Queste doppie condotte, chiamate Condotte Gemelle, realizzate in origine con tubazioni in cap DN 1300, dopo l'attraversamento con la ferrovia Alghero-Sassari, nei pressi dei vivai ex-Quadriflor, si dividono in due adduttrici (Principale Alta e Principale Bassa) rispettivamente al servizio delle due parti, alta e bassa, del comprensorio Sud.

**Tabella 7.12 - Caratteristiche delle vasche**

Vasche	Denominazione	Quote m s. l. m.		Volume m <sup>3</sup>
		min.livello	max.livello	
V1	Monte Zirra	80,00	82,80	400
V2	Guardia Grande	81,20	84,00	400
V3	Maristella Bassa	47,00	49,50	1302
V4	Maristella Alta	86,00	90,00	1230
V5	Bacino di Compenso	53,00	60,00	47000
VR	V. Rottura di M.te Siseri	69,00	73,00	1500
V6	Brunestica	108,00	112,50	10000
V7	Monte Uccari	108,00	112,00	36000
V8	Vasca di Regolazione	74,00	78,30	20600
V9	Donna Ricca	116,50	120,00	8750
V10	Monte Reposu	111,00	114,50	4400
V11	Vasca Bassa	73,80	78,30	6100
V12	Monte Nudo	116,00	120,00	24300
V13	Badde Funtana	90,30	94,00	6350
V14	Ottava	80,67	84,41	11700
<b>Volume totale vasche complesso Nurra</b>				<b>m<sup>3</sup> 180032</b>

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra e Progetto Monidri

Queste adduttrici, attraversata tutta la piana di Fertilia, risalgono le propaggini dei monti che delimitano la piana stessa verso ovest, per arrivare agli impianti di sollevamento e ai bacini di compenso in grado di regolare la pressione in rete e di recuperare i superi di portate, dai quali si dipartono le reti distributrici. Il quinto lotto denominato Ottava-Bancali risulta scollegato dal Sistema Temo-Cuga, ma comunque all'interno del comprensorio irriguo: per il suo approvvigionamento, si attingono le acque dal fiume Mannu mediante una traversa e con un impianto di sollevamento sono portate ad una vasca dalla quale poi, mediante delle pompe, vengono riportate in pressione e immesse in rete. La rete di distribuzione è realizzata prevalentemente in cemento amianto, e solo per brevi tratti in cloruro di polivinile (PVC) e in parte in acciaio.

#### **7.4 Principali usi, consumi irrigui e sistemi di tariffazione**

Per quanto riguarda l'impiego irriguo della risorsa idrica nel territorio, la tabella 7.13 riferita al periodo 1993-2002, dà una indicazione sul numero di aziende e sulle superfici servite dalla rete consortile. La superficie irrigua del comprensorio era inizialmente pari a 22.079 ha<sup>1</sup>: nel corso del tempo è aumentato il numero di aziende servite dalla rete. Rimane, comunque, piuttosto elevato il numero di aziende agricole del comprensorio irriguo che attualmente non vengono approvvigionate dalla rete consortile.

La tabella contiene anche un'informazione relativa alla percentuale di superfici irrigate rispetto a quelle potenzialmente irrigabili e programmate in base alle domande.

<sup>1</sup> In base all'ultimo dato fornito dal Consorzio di Bonifica della Nurra la superficie attrezzata per l'irrigazione è pari a 21.043 ha.

Gli anni 1995 e 2000 sono stati particolarmente siccitosi per cui non è stata distribuita acqua per l'agricoltura mentre, in alcuni periodi, come conseguenza delle scarse piogge, il Consorzio ha posto delle limitazioni alle domande accettate, soddisfacendo la richiesta solo per le colture più bisognose. Più precisamente, si sono avute delle restrizioni alle richieste di acqua nel 1998 (irrigato al 25%), nel 1999 (45%) e nel 2002 (50%).

Come si è detto le riduzioni non hanno interessato tutte le colture. Quelle con superfici inferiori a 0,5 ha e quelle che potevano resistere ad un apporto minore di acqua sono state escluse dall'erogazione. Sono state escluse poi le aziende che riuscivano ad approvvigionarsi da sole attraverso pozzi propri (es. Sella & Mosca, Consorzio di Bonassai ecc.). A questo riguardo, c'è da precisare che, nel comprensorio è vietato emungere l'acqua sotterranea in particolare quando è in atto l'erogazione da parte del Consorzio.

**Tabella 7.13 - Impiego della risorsa idrica nel Consorzio di Bonifica della Nurra**

	<b>Aziende servite dalla rete</b>	<b>Superfici irrigabili ha</b>	<b>Superfici irrigate ha</b>	<b>Superfici irrigate %</b>	<b>Aziende non servite dalla rete</b>	<b>Superficie irrigata extra-consorzio ha</b>
1993	2.449	4.830	3.362	70	1.175	50
1994	2.416	3.883	3.617	93	1.165	50
1995	2.418	nd	428	-	2.307	0
1996	2.428	3.561	3.974	112	1.307	50
1997	2.483	4.456	4.692	105	1.251	50
1998	2.605	4.250	1.758	41	1.486	17
1999	2.690	4.733	1.902	40	1.692	50
2000	2.690	4.574	438	10	2.803	0
2001	2.903	3.703	3.223	87	1.852	50
2002	2.903	4.096	1.715	42	2.026	25

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra.e Progetto Monidri

In base alle informazioni fornite dai tecnici del Consorzio, gli utenti possono essere raggruppati in precise categorie:

- aziende cerealicole;
- aziende orticole;
- aziende olivicole e viticole;
- allevamenti zootecnici (ovini);
- allevamenti bovini (brado o specializzato);
- aziende miste.

Appartengono al Consorzio alcune aziende di grosse dimensioni: Sella & Mosca, Azienda Rossi (specializzata nell'allevamento zootecnico di frisone), Quadriflor, Istituto Zootecnico Casario di Bonassai (di circa 90 ha), un'azienda di Bancali di 400 ha che produce barbabietole ed alleva ovini. Il Consorzio quindi comprende sia realtà normali, di dimensioni medio-piccole, che realtà grandi e interessanti.

Per quanto riguarda le colture irrigate con acqua consortile, i dati del Consorzio hanno permesso di ricostruire le superfici per il periodo 1993-2004. I dati si riferiscono all'acqua erogata durante la campagna irrigua aprile-ottobre. A questo riguardo, è intenzione del Consorzio estendere la campagna irrigua a tutti i 12 mesi dell'anno. In tal modo alcune colture, come ad esempio le ortive, potrebbero essere seminate nei periodi autunnali. La distribuzione dell'acqua alle diverse colture avviene sulla base delle richieste presentate ad inizio anno dagli agricoltori e sulla base delle disponibilità idriche. Le decisioni vengono prese dal Consorzio di concerto con il Presidente della Commissione per l'Emergenza Idrica. Gli agricoltori sono assistiti nelle diverse sedi dalla Coldiretti e dall'ERSAT; se l'utente accetta l'assegnazione e non cambia ordinamento colturale, il Consorzio eroga l'acqua.

La tabella 7.14 è stata ricostruita sulla base delle richieste di acqua soddisfatte nei diversi anni. I dati sulle floreali, forestali e serre si riferiscono in particolare alle superfici della Quadriflor, un'azienda vivaistica di circa 30 ha.

**Tabella 7.14 - Superfici irrigate con acque consortili nel periodo 1993-2003**

Coltura	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Barbabietola da zucchero	26,8	28,8	3,4	8,4	37,4	123,2	272,9	49,0	85,0	72,7	116,0
Carciofo	339,7	254,3	30,1	331,5	329,9	85,7	227,0	34,2	218,5	105,6	196,1
Colture forestali	22,2	23,9	2,8	8,7	31,0	24,8	4,3	3,5	11,5	4,4	14,1
Erbai autunno vernini	192,9	207,5	24,5	246,7	269,2	31,9	4,9	29,4	116,8	81,5	136,8
Floreali	3,3	3,5	0,4	17,4	4,6	0,6	9,2	-	5,2	3,6	8,0
Foraggere avvicendate	22,6	24,3	2,9	-	31,6	0,7	0,5	-	63,6	46,2	18,7
Frutteti	122,2	131,5	15,6	120,1	170,6	156,9	137,1	10,7	117,3	50,9	135,9
Mais	850,3	914,7	108,2	938,0	1186,8	266,4	265,4	157,6	741,6	510,4	1098,2
Medica	781,7	840,9	99,5	1049,9	1091,0	268,1	284,9	50,3	485,5	323,5	666,1
Officinali	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,3	-
Oleaginose	14,3	15,3	1,8	35,9	19,9	26,9	8,7	2,0	12,7	-	-
Olivo	40,5	43,6	5,2	33,8	56,6	60,5	86,9	9,8	89,4	36,7	119,0
Ortive	362,7	390,2	46,2	555,7	506,2	365,4	369,4	55,3	404,9	221,6	481,3
Pomodoro	10,7	11,5	1,4	19,0	14,9	13,4	7,5	1,7	6,2	1,5	3,5
Prati polifiti e monofiti	147,0	158,1	18,7	-	205,1	76,6	52,9	18,0	109,2	73,5	168,7
Serre	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8	5,1	9,2
Sorgo	73,1	78,7	9,3	82,8	102,0	22,9	30,6	12,5	98,5	56,7	122,8
Vigneti	455,5	490,1	58,0	526,2	635,8	234,4	139,8	4,4	644,9	121,4	729,9
Totale	3465,3	3617,0	427,8	3974,2	4692,6	1758,2	1901,9	4383	3223	1715,4	4024,2

Fonte: Progetto Monidri

Ogni coltura del comprensorio ha un determinato fabbisogno idrico che il Consorzio cerca di soddisfare nell'assegnazione dell'acqua. Come si è detto, il Consorzio decide quanta acqua erogare in base alle richieste ed alle disponibilità. La base di partenza corrispondeva a 6.000 m<sup>3</sup>/ha/anno. Le richieste degli agricoltori sono di circa 4.000 ha per cui, assumendo un tale fabbisogno, l'acqua da erogare diventa 24 milioni di m<sup>3</sup>. Il pagamento viene calcolato in ragione dell'utilizzazione dell'acqua e in rapporto alla superficie e alla qualità delle colture. I tre raggruppamenti sono i seguenti:

- colture ad elevato fabbisogno idrico (classe A, 8.000 m<sup>3</sup>/ha/anno): carciofo, colture foraggere avvicendate, colture floreali in pieno campo, barbabietola primaverile, mais, medica, pomodoro, prati polifiti e monofiti, sorgo, riso, colture ortive e oleaginose;
- colture a medio fabbisogno idrico (classe B, 3.500 m<sup>3</sup>/ha/anno): frutteti, colture forestali, barbabietola autunnale, erbai autunno-vernini, olivo, vigneti e ortive a goccia, colture protette;
- colture a basso fabbisogno idrico (classe C, 2.500 m<sup>3</sup>/ha/anno): colture irrigate a goccia (frutteti, vigneti, oliveti, colture forestali, mais, colture officinali) ad eccezione delle ortive a goccia.

L'ultimo raggruppamento è stato introdotto a partire dal 2001 per tenere separate tutte le colture irrigate a goccia che dimostravano avere un fabbisogno idrico più basso.

Esiste una differenza fra barbabietola autunnale e primaverile. Questo perché il diverso periodo di semina influenza anche il fabbisogno idrico, che è maggiore in quella primaverile (seminata a febbraio-marzo rispetto alla semina di novembre-dicembre di quella autunnale).

Il carciofo e il pomodoro sono state incluse fra le colture di classe A, ad elevato fabbisogno idrico, nonostante non siano colture che richiedono 8.000 m<sup>3</sup>/ha di acqua. Occorrerà cambiare il regolamento irriguo che in passato prevedeva questo fabbisogno. Tra le colture di classe A è presente anche il riso. Questo perché fu fatta una sperimentazione, effettuata dalla Facoltà di Agraria di Sassari, che prevedeva la produzione di riso con l'aspersione. Tale tecnica colturale però non si è diffusa tra gli agricoltori della zona.

Anche il girasole è stato considerato di classe A, sebbene attualmente (specie dopo la nuova PAC) non sia una coltura molto diffusa. In passato però, la sua presenza era legata al fatto che gli agricoltori ne facevano richiesta per ottenere i contributi EU.

La tabella 7.15 mostra i dati del 2004: 1.022 ha di colture appartengono alla classe A, 2.651 alla classe B e 842 alla classe C. Dunque, il 79% della risorsa idrica è stata distribuita tra le colture della classe B, a medio fabbisogno idrico.

In linea di massima, il Consorzio riesce a soddisfare le richieste provenienti dagli agricoltori per tutte le classi, soprattutto per quelle a medio e basso fabbisogno. Per la classe ad alto fabbisogno idrico c'è qualche difficoltà, sebbene le cose stiano migliorando in seguito al fatto che gli utenti stanno adottando tecniche di risparmio idrico, come ad esempio la semina in un periodo in cui vi è disponibilità idrica, che non coincida, cioè, con il periodo siccitoso.

**Tabella 7.15 - Superficie irrigata e m<sup>3</sup> di acqua concessi dal Consorzio nel 2004**

Coltura	ha concessi	m <sup>3</sup> (migliaia)	m <sup>3</sup> /ha	Classe
Barbabietola autunnale	81,8	286,3	3.500	B
Barbabietola primaverile	22,5	180,0	8.000	A
Carciofo	144,3	1.154,1	8.000	A
Carciofo a Goccia	41,8	146,2	3.500	B
Erbai Autunno Vernini	169,8	594,3	3.500	B
Floreali a Goccia	3,9	9,8	2.500	C
Floreali a Pieno Campo	3,1	24,8	8.000	A
Foraggiere	19,8	158,4	8.000	A
Forestali	13,1	45,8	3.500	B
Forestali a Goccia	5,2	13,0	2.500	C
Frutteti	68,4	239,6	3.500	B
Frutteti a Goccia	81,8	204,5	2.500	C
Mais	1.203,6	9.628,5	8.000	A
Mais a Goccia	2,0	5,0	2.500	C
Medica	734,9	5.879,6	8.000	A
Olivo	59,0	206,6	3.500	B
Olivo a Goccia	123,0	307,5	2.500	C
Ortive a Goccia	359,1	1.256,7	3.500	B
Ortive Avvicendate	261,4	2.090,9	8.000	A
Pomodoro	0,8	6,0	8.000	A
Pomodoro a Goccia	3,9	13,8	3.500	B
Prati Polifiti e Monofiti	181,6	1.452,8	8.000	A
Serre	7,1	25,0	3.500	B
Sorgo	98,9	791,2	8.000	A
Vigneti	198,0	693,0	3.500	B
Vigneti A Goccia	626,5	1.566,4	2.500	C
<b>Totale</b>	<b>4.515,3</b>	<b>26.979,8</b>	<b>5.975</b>	

Fonte: Progetto Monidri

Per quanto riguarda i contributi consortili, questi si dividono in tre categorie:

- *contributo istituzionale*, pagato ad ettaro ed è pari a circa 1,5 €/ha per gli agricoltori le cui aziende si trovano all'esterno del consorzio irriguo e di circa 5,7 €/ha per le aziende che invece si trovano all'interno dello stesso;
- *contributo manutenzione impianti consortili irrigui*, pagato in ragione della superficie dominata effettivamente dagli impianti consortili, per quanto riguarda le aziende che ricadono effettivamente nel comprensorio irriguo; fa eccezione il Comune di Uri, al quale viene concessa dell'acqua pur essendo fuori dal comprensorio. Uri, infatti, attinge direttamente dal canale adduttore (per la cui acqua viene applicata la stessa tariffa per il comprensorio irriguo, in ragione della superficie irrigata) e dal bacino del Cuga (per la cui acqua invece le tariffe

vengono ridotte dell'80%); tale ruolo era pari a circa 27 €/ha nel 1998, 19 €/ha nel 1999/2000 e 13 €/ha nel 2001/2002;

- *contributo esercizio irriguo*, in passato applicato per ha/coltura; mentre dal 2002 si sta cercando di applicarlo sulla base dei consumi effettivi, grazie a un sistema di contatori presenti nelle aziende. In base al regolamento irriguo consortile, il tributo irriguo viene ripartito in ragione dell'utilizzazione dell'acqua ed in rapporto alla superficie effettivamente irrigata ed alla qualità delle colture; le tariffe adottate per il comprensorio irriguo saranno ridotte del 40% del costo ad ettaro per gli utenti delle aree fuori comprensorio irrigate dal canale adduttore e dal bacino del Cuga.

La tabella 7.16 mostra la tariffa ad ettaro/coltura per l'esercizio irriguo 1999-2001. Invece, come si è già accennato, a partire dal 2002, il Consorzio applica la tariffa sulla base degli effettivi consumi e il suo ammontare è pari a 0,03 €/m<sup>3</sup> nel 2002.

**Tabella 7.16 - Tariffe per categoria colturale del Consorzio di Bonifica della Nurra**

Gruppo Coltura	1999	2000	2001
A	€ 206,6	€ 309,9	€ 206,6
B	€ 149,8	€ 224,7	€ 149,8
C			€ 56,8
Carciofo	€ 258,2	€ 387,3	€ 258,2
Carciofo a goccia	€ 180,8	€ 271,1	€ 180,8

Fonte: Progetto Monidri

Una volta che entreranno in funzione i contatori, che permetteranno di pagare l'acqua in base ai consumi effettivi di ogni azienda, rimarranno legati alla superficie soltanto i contributi istituzionali e quelli di manutenzione degli impianti consortili. Con l'avvento dei contatori verranno ridotti gli sprechi e sarà rilevato anche un eventuale uso scorretto per colture diverse da quelle dichiarate, possono essere effettuate delle variazioni alle colture presenti nella domanda di richiesta dell'acqua, ma solo con certi criteri e rispettando certi tempi. Le letture iniziali, finali e intermedie permetteranno di avere un quadro più chiaro della situazione. Sulla base dei m<sup>3</sup> di acqua consumati verranno decisi i ruoli irrigui. Per il 2002 e 2003 il ruolo è stato pari a 0,0301 €/m<sup>3</sup>. Un problema che potrebbe sorgere riguarda l'eventuale manomissione dei contatori, ma in base al regolamento consortile, sono gli stessi consorziati ad essere responsabili del buon funzionamento degli impianti.

Altre difficoltà potrebbero derivare dai pagamenti differiti legati alla lettura manuale: il consorziato infatti paga le bollette un anno dopo l'utilizzo dell'acqua, il che può creare problemi nel caso in cui magari si cambino le colture o sopravvengano altri problemi. Sarebbe ideale una lettura satellitare o meccanica. Da aggiungere che il Consorzio fa le manutenzioni alle reti aziendali perchè le condotte arrivano fino alle aziende. Si sta puntando anche sullo sfruttamento dell'eolico e dell'idroelettrico come fonti di autofinanziamento. Per quanto riguarda la prima fonte di energia, si è già a buon punto: ci sono già 16 pali e se ne vorrebbero aggiungere altri 16. Per ciò che concerne la produzione di energia idroelettrica, è in progetto la realizzazione di una turbina che sfrutti l'energia dell'acqua che dal Temo viene riversata al Cuga per caduta.

## 7.5 Sistemi di depurazione

All'interno dell'area in studio vi sono numerosi impianti di trattamento e depurazione delle acque reflue (tabella 7.17), con dimensioni che variano a seconda del bacino di utenza di ciascuno di essi.

**Tabella 7.17 - Sistemi di depurazione nell'area in studio**

Denominazione	Località	Comune	Tipologia	Ab. Eq.	Q max ingresso	Q media ingresso	Trattamenti	Ricettore	Coordinate scarico
Depuratore consorzio A.S.I.	zona industriale P.Torres	P. Torres	depuratore acque reflue					mare	
Depuratore Ottava	Ottava	Sassari	depuratore acque reflue						
Depuratore Sassari	Caniga	Sassari	depuratore acque reflue						
Depuratore Alghero	Mariotti	Alghero	depuratore acque reflue	40000 - 75000	1750	875.00	primario, secondario, terziario	mare	441757; 4490334
Depuratore consorzio A.S.I.	San Marco	Alghero	depuratore acque reflue	12000	360		primario, secondario, terziario	riu Filibertu	442328; 4499501
Depuratore aeroporto	Nuraghe Biancu	Alghero	depuratore acque reflue	3000	130		primario, secondario, terziario	riu Oruni	439197; 4496809
Depuratore Santa Maria la Palma	Pala Pirastru	Alghero	depuratore acque reflue	12900	71		primario, secondario, terziario	canale di bonifica	438602; 4500602
Impianto sollev. Fertilia	Fertilia	Alghero	impianto sollev. acque reflue					suolo	439598; 4494363
Depuratore Tottubella	Rumanedda	Sassari	depuratore acque reflue	1500	20	6.00	primario, secondario	canale affluente del rio su Mattone	446135; 4503509
Depuratore Olmedo	Pedras De Fogu	Olmedo	depuratore acque reflue	1600	200	40.00	primario, secondario	riu Sardinu	446681; 4499772
Impianto sollev. Olmedo	Binzas Benzas	Olmedo	impianto sollev. acque reflue					riu Medadu	448112; 4499507
Depuratore Putifigari	Casu Nicola	Putifigari	depuratore acque reflue		50		primario, secondario, terziario	riu Multas Nieddas	454250; 4490998
Depuratore Ittiri	Zeppere	Ittiri	depuratore acque reflue	18000		242.00	primario, secondario, terziario	riu Zeppere	464349; 4494112
Depuratore la Corte	La Corte	Sassari	depuratore acque reflue	350	18	1.25	primario, secondario, terziario	affluente riu don Gavino	439683; 4509348
Depuratore Maristella	Maristella	Alghero	depuratore acque reflue	600 - 2500	25	16.67	primario, secondario, terziario	mare	433004; 4494172

Fonte: Provincia di Sassari – Settore Ambiente e Risorse

Oltre a questi, sono stati considerati anche alcuni impianti esterni all'area in studio, ma che sono interessati da progetti di intervento o addirittura da lavori già in esecuzione in materia di riutilizzo delle acque reflue che poi potrebbero essere dirottate al suo interno: vengono di seguito schematicamente descritti.

L'impianto di depurazione gestito dall'ASI (Consorzio per l'area di Sviluppo Industriale di Sassari, Porto Torres, Alghero), situato in località San Marco nel Comune di Alghero, riceve le acque reflue urbane provenienti dalla omonima zona industriale e dalla vicina Azienda Sella & Mosca; all'impianto sono conferiti anche i liquami domestici provenienti dalle fosse settiche delle abitazioni sparse nelle zone limitrofe. Il depuratore ha una potenzialità di impianto pari a 12000 abitanti equivalenti e una portata massima in ingresso di 360 m<sup>3</sup>/h. Lo scarico delle acque reflue depurate avviene, mediante una condotta, nell'adiacente Rio Filiberto e ha carattere discontinuo.

Il depuratore di Olmedo, sito in località Pedras de Fogu, gestito dall'ESAF, riceve i reflui da due impianti di sollevamento: uno è situato alla periferia del centro abitato e, in caso di troppo pieno, scarica direttamente sul Rio Madedu; l'altro impianto di sollevamento si trova all'interno dell'area del depuratore e, in caso di troppo pieno, riversa le acque direttamente nello scarico, senza passare per gli impianti di depurazione. L'impianto è stato progettato per 1600 abitanti equivalenti, con una portata affluente massima di 200 m<sup>3</sup>/h e media di 40 m<sup>3</sup>/h. Attualmente risulta essere sottodimensionato e, in caso di eventi piovosi particolarmente intensi, non è in grado di accogliere l'intera portata in arrivo.

L'impianto di depurazione di Santa Maria La Palma riceve, oltre al carico civile della borgata, quello della cantina sociale di *Santa Maria la Palma*, quello di Fertilia e dei campeggi Nurral e Calich. A Fertilia, un'impianto di sollevamento pompa i reflui che, mediante una condotta di circa 6 km, vengono immessi nel depuratore: in caso di mancato funzionamento della stazione di pompaggio, i liquami vengono scaricati al suolo, tramite lo sfioro, dal pozzetto di arrivo. L'impianto di depurazione è stato progettato per trattare i reflui di 12900 abitanti equivalenti, tenendo conto anche del caseificio *Coapla*, da tempo non più attivo. La popolazione attualmente servita è invece di 3500 abitanti equivalenti nel periodo invernale, con punte di 6500 abitanti equivalenti nel periodo estivo (considerando la popolazione fluttuante). La portata del refluo in ingresso è variabile da 980 a 1700 m<sup>3</sup>/giorno; l'impianto è dotato di un unico scarico che riversa il refluo depurato nel confinante canale di bonifica che, dopo un percorso di circa 6.5 km, sbocca nello Stagno del Calich.

Il depuratore di Tottubella riceve le acque reflue urbane dalla omonima borgata e ha una capacità di 1500 abitanti equivalenti. La portata media e massima del refluo in ingresso all'impianto sono, rispettivamente, di 6 e 20 m<sup>3</sup>/h: lo scarico è situato in un canale affluente del Rio Su Mattone.

L'aeroporto civile di Alghero è dotato di un impianto per la depurazione dei reflui provenienti dall'aerostazione, dalla rete fognaria degli edifici dei Vigili del Fuoco, dalla scuola di volo, dalle unità di manutenzione e dallo svuotamento dei bottini (liquami provenienti dagli aerei). Sono sottoposti a depurazione anche gli scarichi di acque meteoriche di prima pioggia, prodotti dai piazzali della aerostazione. La portata idraulica dei reflui è variabile in funzione dell'andamento stagionale e delle presenze turistiche, con un picco massimo nei periodi estivi. Le acque reflue depurate vengono convogliate nel Rio Oruni.

Il depuratore di La Corte riceve le acque reflue della borgata con una portata media di  $1.25 \text{ m}^3/\text{h}$  e massima di  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  ed ha una capacità di 350 abitanti equivalenti. Lo scarico avviene in un affluente del Rio Don Gavinu.

L'impianto di depurazione di Ittiri ha una capacità di circa 18000 abitanti equivalenti. Riceve acque reflue civili dal paese e industriali, provenienti dal caseificio sociale Lait, tramite collettore fognario apposito, separato da quello comunale; queste ultime sono conferite nel periodo da dicembre a giugno. Lo scarico avviene, tramite un canalone, nel Rio Zeppere, affluente del Rio Minore.

L'impianto di depurazione di Putifigari è localizzato in località Casu Nicola e riceve le acque reflue del paese, scaricandole nel rio Multas Nieddas.

L'impianto di depurazione del refluo urbano della città di Alghero, ubicato in località Mariotti all'interno del centro abitato, funziona per la maggior parte dell'anno con un carico di 40000 ab/eq, mentre nella stagione turistica (luglio-agosto) i carichi possono arrivare a 75000 ab/eq. I reflui che non raggiungono il depuratore per caduta vengono convogliati mediante condotte in pressione che si dipartono da alcune stazioni di pompaggio ubicate in diversi punti della città. Le portate massima e media del refluo in ingresso all'impianto sono rispettivamente di  $875$  e  $1750 \text{ m}^3/\text{h}$ . Il refluo depurato viene versato direttamente a mare mediante un unico scarico, realizzato a mezzo di una condotta, che dal depuratore raggiunge l'area portuale e poi prosegue sottomarina, terminando con un opportuno diffusore posizionato ad una profondità indicativa di - 11 m s.l.m..

Il depuratore sito in località Maristella oltre al carico civile della borgata stessa, riceve stagionalmente anche quello degli insediamenti turistici limitrofi. La popolazione servita oscilla, a seconda dei periodi dell'anno, tra i 600 e i 2500 abitanti equivalenti. La portata massima in ingresso all'impianto è di  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ , mentre quella media è di  $16.67 \text{ m}^3/\text{h}$ . Lo scarico avviene direttamente in mare, nella baia di Porto Conte, a mezzo di una condotta sottomarina completa di diffusore di testa posizionato ad una profondità di -7 m s.l.m.. È in progetto l'eliminazione dell'impianto nell'attuale localizzazione: verrà realizzato un sistema di pompaggio che conferirà il refluo all'impianto di depurazione di S.Maria la Palma, dove, a seguito della dismissione del caseificio *Coapla*, si ha una capacità depurativa tale da assorbire il nuovo carico.

Nella tabella 7.17 sono inseriti altri due impianti di depurazione: quello della Zona Industriale di Porto Torres e quello della città di Sassari, che sono ubicati all'esterno dell'area oggetto del nostro studio, ma che abbiamo comunque ritenuto opportuno citare, pur non avendo a disposizione dati completi riguardo le loro caratteristiche, se non la loro ubicazione geografica. Il motivo che sta alla base di questa scelta è che tali impianti sono stati interessati da studi e progetti, alcuni passati alla fase esecutiva, come nel caso del depuratore di Sassari, riguardanti il riutilizzo dei reflui depurati.

Per perseguire una maggiore economicità dei costi di approvvigionamento complessivi e rendere totalmente disponibile per l'uso potabile la risorsa proveniente dal Coghinas, l'A.S.I. ha elaborato uno studio di fattibilità mirante al riutilizzo dei reflui industriali e del centro urbano di Porto Torres, depurati nell'impianto da loro gestito nella Zona Industriale di Porto Torres. Il progetto prevede che al medesimo impianto debbano essere conferiti anche i reflui dell'agglomerato industriale di Truncu Reale, quelli dell'hinterland tra Sassari e Porto Torres e di una parte della città di Sassari. Tale progetto non è mai passato alla fase esecutiva e a tutt'oggi i reflui depurati dall'impianto vengono scaricati direttamente in mare.

Un altro importante progetto è quello che riguarda il trasferimento dei reflui depurati nell'impianto di depurazione di Sassari (sito in località Caniga) all'invaso del Cuga per un volume complessivo di 14 Mm<sup>3</sup>/anno. Tale trasferimento dovrebbe avvenire mediante un collettore del DN 800 in ghisa sferoidale dello sviluppo complessivo di 15 km di cui 6 in premente. Il progetto prevede una stazione di sollevamento localizzata presso il depuratore stesso, che manda il refluo in pressione fino ad una vasca di carico, realizzata in località Monte Oro alla quota di 170 m s.l.m.. Tale progetto è in fase di esecuzione e, una volta terminati i lavori di realizzazione della condotta, l'invaso del Cuga dovrà essere destinato esclusivamente ad immagazzinare risorse idriche per gli usi irrigui.

## 7.6 Flussi idrici disponibili

Dopo aver descritto le reti di distribuzione multisettoriali della risorsa idrica, vengono riassunti i flussi idrici entranti nel bacino idrografico sotteso allo Stagno del Calich. Nella tabella 7.18 sono riportati i volumi idrici derivati da invasi artificiali e distribuiti dall'ESAF per gli usi civili; mentre, il dato relativo all'uso irriguo, si riferisce all'erogazione della risorsa derivata dall'invaso del Cuga da parte del Consorzio di Bonifica della Nurra.

**Tabella 7.18 - Volumi idrici derivati da risorse superficiali (Mm<sup>3</sup>/anno). Anno 2004**

Nome invaso	Uso civile	Uso irriguo
Cuga*	0,946	26,98
Alto Temo	0,833	
Bidighinzu	1,451	
Coghinas	10,504	

\*Fino al 2003, dall'invaso del Cuga venivano derivati mediamente 10.8 Mm<sup>3</sup> per l'approvvigionamento idrico per uso civile del Comune di Alghero.

Nella tabella 7.19 sono riportati i volumi idrici, intesi come medie annue [ESAF] derivati da pozzi e sorgenti, distribuiti dall'ESAF, per uso civile relativi all'area in studio.

**Tabella 7.19 - Volumi idrici derivati da risorse sotterranee per usi civili (Mm<sup>3</sup>/anno). Dati medi**

Nome	Codice Acquedotto	Uso civile
Pozzo Berti	9/2	1,577
Pozzo Etfas n° 2	9/3	0,568
Pozzi Monte Doglia	9/4	0,426
Pozzo Tottubella	9/5	0,189
Pozzi campo sportivo Olmedo	7/34	0,252
Sorgente Paulis	7/31	0,189
Totale		3,201

Nella figura 7.7 sono riportati, schematicamente, il sistema acquedottistico e i flussi idrici disponibili nell'area in studio.

Schematizzazione del sistema acquedottistico e dei flussi idrici disponibili nell'area in studio

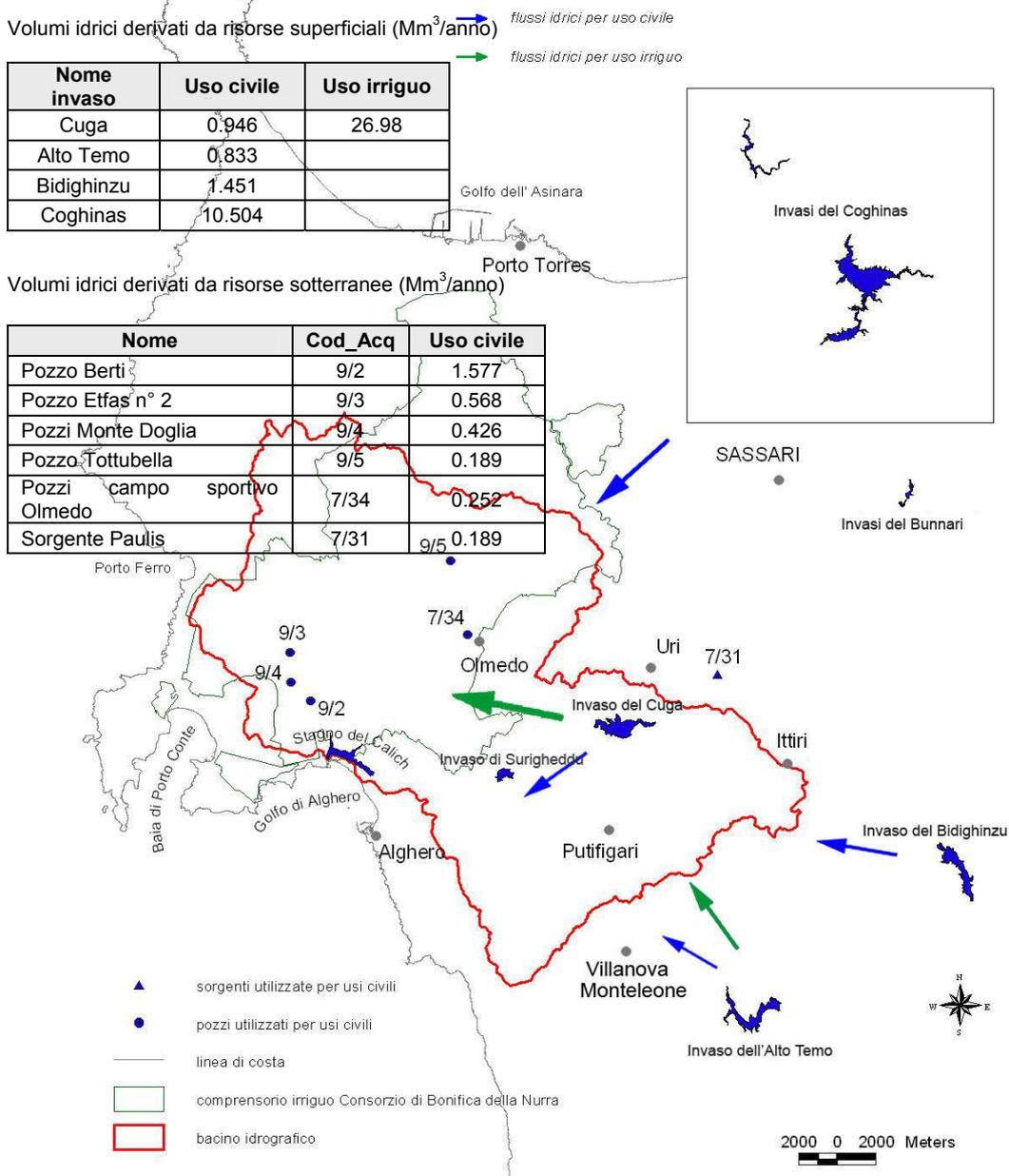


Figura 7.7 - Schematizzazione del sistema acquedottistico e dei flussi idrici disponibili nell'area in studio

Per quanto riguarda gli usi civili (dettagliatamente discussi ed analizzati nella parte della relazione dedicata allo studio socio-economico), sono disponibili i dati relativi ai consumi effettivi, per gli anni dal 2001 al 2003, nel Comune di Alghero, forniti dal Servizio Idrico Integrato municipale. Nella tabella 7.20 sono riportati i consumi totali annui (m<sup>3</sup>/anno); mentre, nelle tabelle 7.21 (a,b,c) sono differenziati in funzione delle diverse tipologie di utenza.

**Tabella 7.20 - Consumi totali annui per usi civili nel Comune di Alghero (m<sup>3</sup>/anno)**

		Consumi totali annui
2003	m <sup>3</sup> (valori assoluti)	3761055
2002		3767047
2001		4115168
2003	m <sup>3</sup> (valori percentuali)	
2002		
2001		
2003	m <sup>3</sup> (valori medi per utenza)	234,60
2002		252,48
2001		296,52
2003	numero utenze	16031,5
2002		14920
2001		13878

Fonte: Servizio Idrico Integrato Comune di Alghero

**Tabella 7.21.a - Consumi annui per utenze domestiche residenti e non residenti nel Comune di Alghero (m<sup>3</sup>/anno)**

		Domestico residenti	Domestico non residenti
		Consumi annui	Consumi annui
2003	m <sup>3</sup> (valori assoluti)	2631416	41718
2002		2616545	25340
2001		2829470	16548
2003	m <sup>3</sup> (valori percentuali)	70%	1%
2002		69%	1%
2001		69%	0%
2003	m <sup>3</sup> (valori medi per utenza)	115,28	44,08
2002		113,84	43,88
2001		125,68	55,34
2003	numero unità	22826	946,5
2002		22984,5	577,5
2001		22513	299

Fonte: Servizio Idrico Integrato Comune di Alghero

**Tabella 7.21.b - Consumi annui per utenze turistiche, artigianali, industriali e agricole nel Comune di Alghero (m<sup>3</sup>/anno)**

		<b>Turistico ricettivo</b>	<b>Artigianale, industriale, agricolo</b>
		Consumi annui	Consumi annui
2003	m <sup>3</sup> (valori assoluti)	157366	147539
2002		170148	168893
2001		168807	166584
2003	m <sup>3</sup> (valori percentuali)	4%	4%
2002		5%	4%
2001		4%	4%
2003	m <sup>3</sup> (valori medi)	3983,95	285,10
2002		3911,45	327,31
2001		3836,52	332,17
2003	numero unità	39,5	517,5
2002		43,5	516
2001		44	501,5

Fonte: Servizio Idrico Integrato Comune di Alghero

**Tabella 7.21.c - Consumi annui per utenze della collettività, commerciali o studi professionali nel Comune di Alghero (m<sup>3</sup>/anno)**

		<b>Collettività</b>	<b>Commerciale o studio professionale</b>
		Consumi annui	Consumi annui
2003	m <sup>3</sup> (valori assoluti)	164238	128656
2002		189751	124666
2001		205377	161169
2003	m <sup>3</sup> (valori percentuali)	4%	3%
2002		5%	3%
2001		5%	4%
2003	m <sup>3</sup> (valori medi)	1136,60	94,57
2002		1290,82	95,42
2001		1544,19	122,66
2003	numero unità	144,5	1360,5
2002		147	1306,5
2001		133	1314

Fonte: Servizio Idrico Integrato Comune di Alghero

Nella tabella 7.22 sono riportati i consumi annui per usi civili ( $m^3$ /anno), relativi ai Comuni ricadenti nell'area in studio, stimati mediante modelli matematici utilizzati nella valutazione socio-economica.

**Tabella 7.22 - Consumi totali annui stimati per usi civili per i Comuni ricadenti nell'area in studio ( $m^3$ /anno)**

Comune	Numero unità per funzione				Consumi annui stimati ( $m^3$ ) - Ipotesi alta				Consumi annui stimati ( $m^3$ ) - Ipotesi bassa			
	Utenze domestiche	Utenze Ind. e Commerciali	Utenze Pubbl.	Totali	Utenze domestiche	Utenze Ind. e Commerciali	Utenze Pubbl.	Totali	Utenze domestiche	Utenze Ind. e Commerciali	Utenze Pubbl.	Totali
Alghero	14611	2320	479	3930059	2964382	696000	269677	3930059	2606570	696000	269677	3572247
Ittiri	3105	428	99	743037	558900	128400	55737	743037	490590	128400	55737	674727
Olmedo	962	107	36	225528	173160	32100	20268	225528	151996	32100	20268	204364
Putifigari	232	16	12	53316	41760	4800	6756	53316	36656	4800	6756	48212
Uri	1089	104	37	248051	196020	31200	20831	248051	172062	31200	20831	224093
Villanova M.	955	107	50	232150	171900	32100	28150	232150	150890	32100	28150	211140
<b>Totale</b>	<b>20954</b>	<b>3082</b>	<b>713</b>	<b>5432141</b>	<b>4106122</b>	<b>924600</b>	<b>401419</b>	<b>5432141</b>	<b>3608764</b>	<b>924600</b>	<b>401419</b>	<b>4934783</b>

I dati riportati nella tabella 7.23 rappresentano i volumi idrici disponibili nel sistema Temo-Cuga all'inizio della campagna irrigua per gli anni dal 1992 al 2003. Tali volumi sono stati ottenuti dalla somma dei livelli del Cuga e del Temo decurtata di 11 Mm<sup>3</sup>, ovvero le acque morte dei due invasi.

**Tabella 7.23 - Volumi idrici disponibili nel sistema Temo-Cuga (Mm<sup>3</sup>/anno)**

	Disponibilità lorda dei laghi all'inizio della campagna irrigua
1992	66,74
1993	45,83
1994	37,41
1995	5,47
1996	43,96
1997	52,42
1998	16,23
1999	19,57
2000	6,37
2001	74,10
2002	30,34
2003	48,87

Fonte: Progetto Monidri – INEA

In particolare, per quanto riguarda l'uso irriguo, nella tabella 7.24 sono riportati i volumi idrici derivati dal sistema Temo-Cuga erogati dal Consorzio di Bonifica della Nurra, dal 1993 al 2004.

Si può notare come, in corrispondenza delle annate più siccitose (1995, 2000 e 2002), ci sia stata una drastica riduzione dell'erogazione per uso irriguo, mentre i volumi idrici destinati agli usi civili sono rimasti sostanzialmente costanti.

**Tabella 7.24 - Volumi idrici derivati dal sistema Temo-Cuga per usi irrigui (Mm<sup>3</sup>/anno)**

	Utilizzo	
	Irriguo	Irriguo*
1993	35,78	23,81
1994	34,30	22,82
1995	4,96	3,30
1996	25,55	17,00
1997	41,49	27,61
1998	13,04	8,68
1999	16,89	11,24
2000	3,70	2,46
2001	29,59	19,69
2002	9,20	6,12
2003		
2004	26,98	17,95

Fonte: Progetto Monidri-INEA

\* i valori si riferiscono alla stima dei volumi idrici distribuiti sull'area del comprensorio irriguo del Consorzio di Bonifica della Nurra ricadente nel bacino idrografico sotteso allo Stagno del Calich (66,54% dell'area totale), ipotizzando un'erogazione costante per unità di superficie.



## CAPITOLO 8 CARATTERISTICHE DELLA RETE IDROGRAFICA

### 8.1 Rete idrografica

Nell'area in studio, la vicinanza dei rilievi alla costa non permette la formazione di corsi d'acqua di una certa importanza; le precipitazioni infatti si raccolgono in modesti compluvi e defluiscono direttamente a mare. In generale il reticolo idrografico del bacino è impostato con orientamento verso il Golfo di Fertilia. Le linee principali di deflusso sono a raggiera e solo in parte legate a direttrici tettoniche. L'area è percorsa dai seguenti fiumi principali il Rio Barca, con i suoi principali affluenti (Riu Filibertu, Riu Sassu e Riu Serra), il Riu De Calvia e il Canale Urune: questi, alimentati da una serie di torrenti, confluiscono nello stagno costiero del Calich. Sono tutti a carattere torrentizio stagionale, fatta eccezione del tratto finale del Rio Barca: il quale, avendo in questa zona il fondo dell'alveo ad una quota minore del livello medio del mare risente, nei periodi estivi, dell'influenza della marea. In figura 8.1 è rappresentata la rete idrografica e la classificazione gerarchica dei corsi d'acqua.

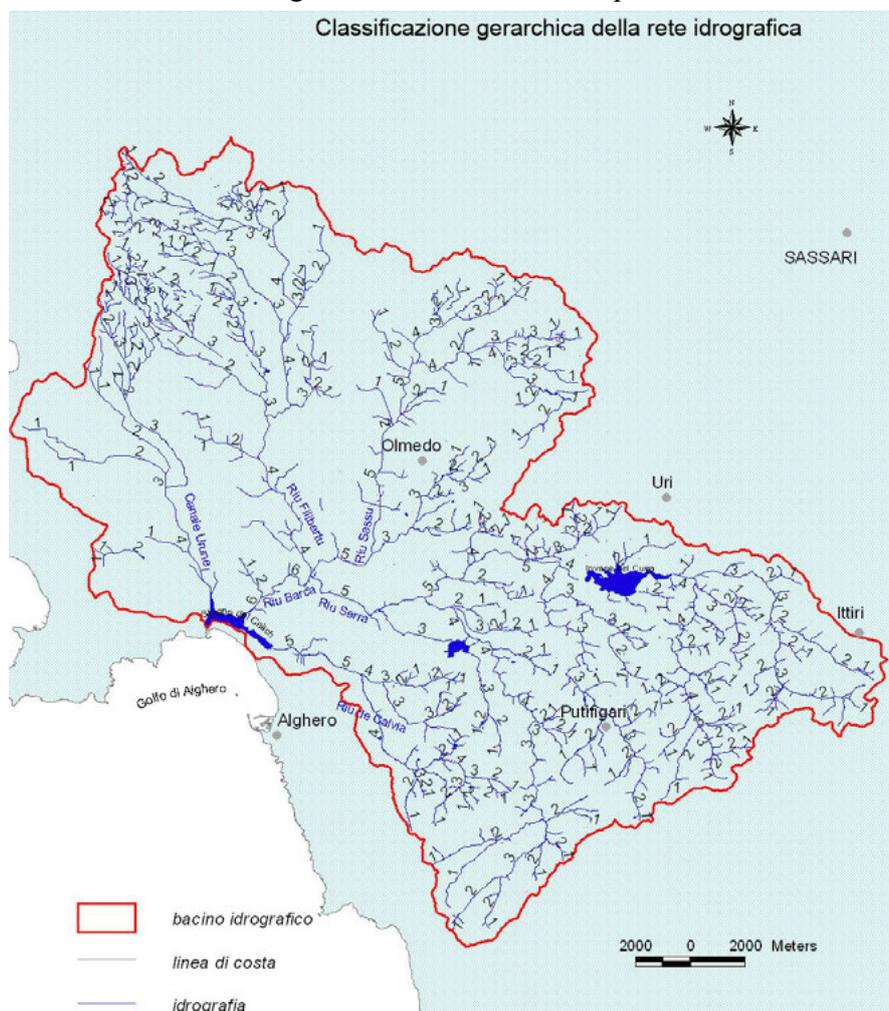
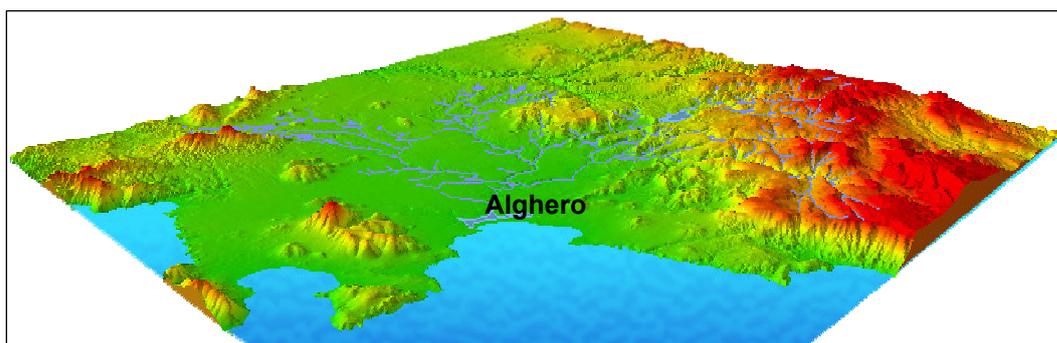


Figura 8.1 - Rete idrografica del bacino sotteso allo stagno del Calich

## 8.2 Monitoraggio deflussi e primi risultati della modellizzazione afflussi-deflussi

La valutazione quantitativa delle risorse idriche superficiali nel territorio della Nurra, all'interno del bacino idrografico dello stagno del Calich, è stata sviluppata con metodologie di carattere sperimentale, empirico e modellistico. È stato condotto quindi un lavoro di rilievo sperimentale in campo e di simulazione matematica dei principali processi fisici di interesse.

Il territorio oggetto dello studio rientra nel bacino idrografico dello stagno del Calich (figure 8.1, 8.2 e 8.3), che si estende per una superficie complessiva di 443 km<sup>2</sup>.



**Figura 8.2 - Rappresentazione tridimensionale della orografia del comprensorio della Nurra meridionale, con al centro lo stagno del Calich e la rete idrografica dei principali immissari**

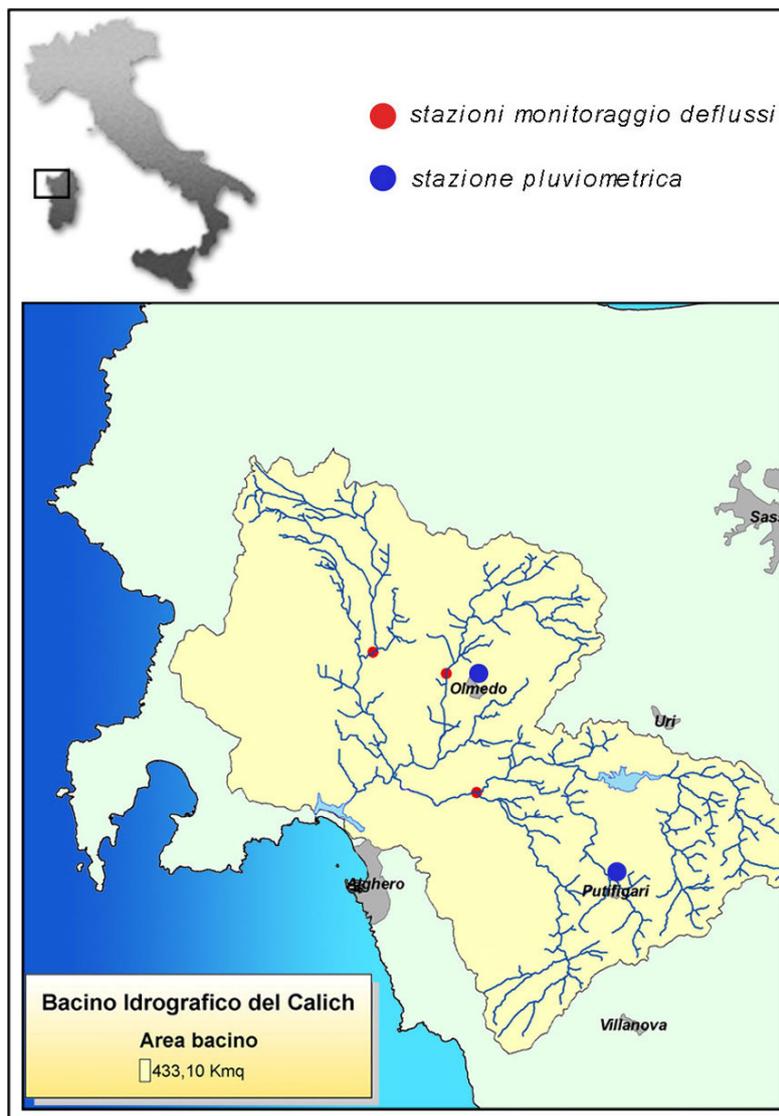
All'interno del bacino principale sono stati individuati tre sottobacini, rappresentati in figura 8.4, presso le cui sezioni di chiusura sono stati rilevati i deflussi idrici superficiali, con cadenza mensile, per il periodo di sperimentazione del Progetto. I tre sottobacini monitorati sono rappresentativi della maggior parte del reticolo idrografico e della superficie del bacino del Calich. La scelta delle sezioni di chiusura ha tenuto conto della accessibilità ai siti in condizioni di sicurezza e della regolarità delle sezioni trasversali. Sono stati così presi in considerazione tratti di alveo rivestiti, sede di attraversamenti stradali. Inoltre, le tre sezioni sono state localizzate sufficientemente a monte dello stagno poiché, nella porzione valliva del reticolo idrografico, i deflussi idrici sono influenzati dalle correnti salmastre di marea. A causa della morfologia pianeggiante del bacino, infatti, le correnti marine risalgono per diversi chilometri dal canale a mare dello stagno verso gli immissari. Le tre sezioni scelte, rappresentate in figura 8.3 e 8.4, sono state convenzionalmente nominate come di seguito:

- Aeroporto, presso il sito aeroportuale di Fertilia, accessibile dalla S.P. 291, in un tratto terminale di canale rivestito in calcestruzzo e con geometria regolare e ben definita;
- Fontana Olmedo, presso il centro abitato di Olmedo, in un tratto prossimo ad una fonte, al di sotto del ponte di attraversamento stradale della S.P. 291;
- Cuga, a valle dell'invaso sul rio Cuga, in prossimità dell'attraversamento della S.P. 127 bis per Alghero, in corrispondenza di un ponte-tubo realizzato lungo un acquedotto del Consorzio di Bonifica della Nurra.

Il lavoro è stato articolato in tre fasi operative integrate tra loro:

- l'elaborazione in formato GIS-ArcInfo della morfologia, dell'uso del suolo e della tipologia dei suoli;
- il monitoraggio in campo e l'analisi della misura dei deflussi idrici superficiali;
- la simulazione numerica dei processi idrologici che concorrono alla formazione dei deflussi nei corsi d'acqua osservati, con modelli matematici di integrazione delle equazioni del moto.

Le portate idriche sono state stimate attraverso misure in campo dei livelli e delle velocità della corrente, rilevati da strumenti elettronici di alta precisione. Gli input climatici, per il modello di simulazione numerica, sono stati i dati di piovosità ed evapotraspirazione potenziale giornaliera rilevati dal SAR (Servizio Agrometeorologico Regionale) in corrispondenza delle stazioni meteorologiche site all'interno del bacino.



**Figura 8.3 - Bacino idrografico dello stagno del Calich e localizzazione delle sezioni di monitoraggio dei deflussi idrici e delle stazioni di misura della precipitazione e dell'evapotraspirazione potenziale**



Figura 8.4 - Le tre sezioni di monitoraggio dei deflussi idrici e i relativi bacini idrografici

### 8.3 I sottobacini monitorati

La sezione Aeroporto si trova nella parte nord-occidentale del bacino del Calich. Il suo sottobacino si estende per una superficie di circa 55 km<sup>2</sup>, l'altezza media è di 87 m s.l.m., la sezione di sbocco, di coordinate UTM 442600 Est e 4502190 Nord, si trova ad una quota di 27 m s.l.m., mentre il punto più alto è rappresentato dal Monte Forte ad una quota di 459 m s.l.m.. La pendenza ha un valore medio dell'8%.

La morfologia (figura 8.5) si presenta pianeggiante per la maggior parte dell'estensione territoriale, mentre gli unici rilievi compaiono nell'estremità nord-occidentale del bacino.

L'uso del suolo, così come risulta da Corine Land Cover (1:25000), è espressivo del forte grado di antropizzazione subito da questo territorio; dalla figura 8.6 si osserva come la maggior parte del suolo sia destinata ad attività produttive agricole (74%), mentre solo in minima parte, limitatamente alle zone più pendenti del bacino, compare la vegetazione naturale (macchia, gariga e boschi).

Nelle figure 8.7 e 8.8, congiuntamente agli altri bacini, sono riportate le classi di tessitura e i valori medi di profondità dei suoli [Madrau, Carta Pedologica 1:50000].

Nella parte centrale del bacino del Calich si trova la sezione Fontana Olmedo. Il suo sottobacino si estende per una superficie di circa 56 km<sup>2</sup>, l'altezza media è di 75 m s.l.m., la sezione di sbocco, di coordinate UTM 446170 Est e 4501140 Nord, si trova ad una quota di 19 m s.l.m., mentre il punto più alto è rappresentato dal Monte Rosso ad una quota di 234 m s.l.m.. La pendenza ha un valore medio del 6%, indice di una morfologia particolarmente pianeggiante. L'uso del suolo si presenta molto simile al bacino della sezione Aeroporto: principalmente si riscontrano seminativi e colture orticole in pieno campo nelle aree più pianeggianti (60%), e macchia mediterranea e gariga nelle zone più acclivi.

La sezione Cuga si trova nella parte meridionale del bacino del Calich, a valle dell'invaso del Cuga. Del suo sottobacino non si è considerata la superficie tributaria dell'invaso, in quanto le acque che vi defluiscono sono intercettate integralmente e non partecipano alla formazione dei deflussi idrici superficiali nella sezione monitorata. Il sottobacino si estende per una superficie di circa 91 km<sup>2</sup>, l'altezza media è di 216 m s.l.m., la sezione di sbocco, di coordinate UTM 447660 m Est e 4495300 m Nord, si trova ad una quota di 11 m s.l.m., mentre il punto più alto ha una quota di 512 m s.l.m..

La pendenza ha un valore medio del 17%: a differenza degli altri bacini monitorati, la morfologia assume un carattere più montagnoso e le aree pianeggianti si limitano solo alla porzione centrale e valliva del bacino. L'andamento morfologico del territorio si riflette sull'uso del suolo più naturale e variegato rispetto agli altri bacini. Predominano difatti la gariga e la macchia mediterranea (47%), mentre i seminativi (18%) si limitano alle sole aree pianeggianti della porzione valliva del territorio.

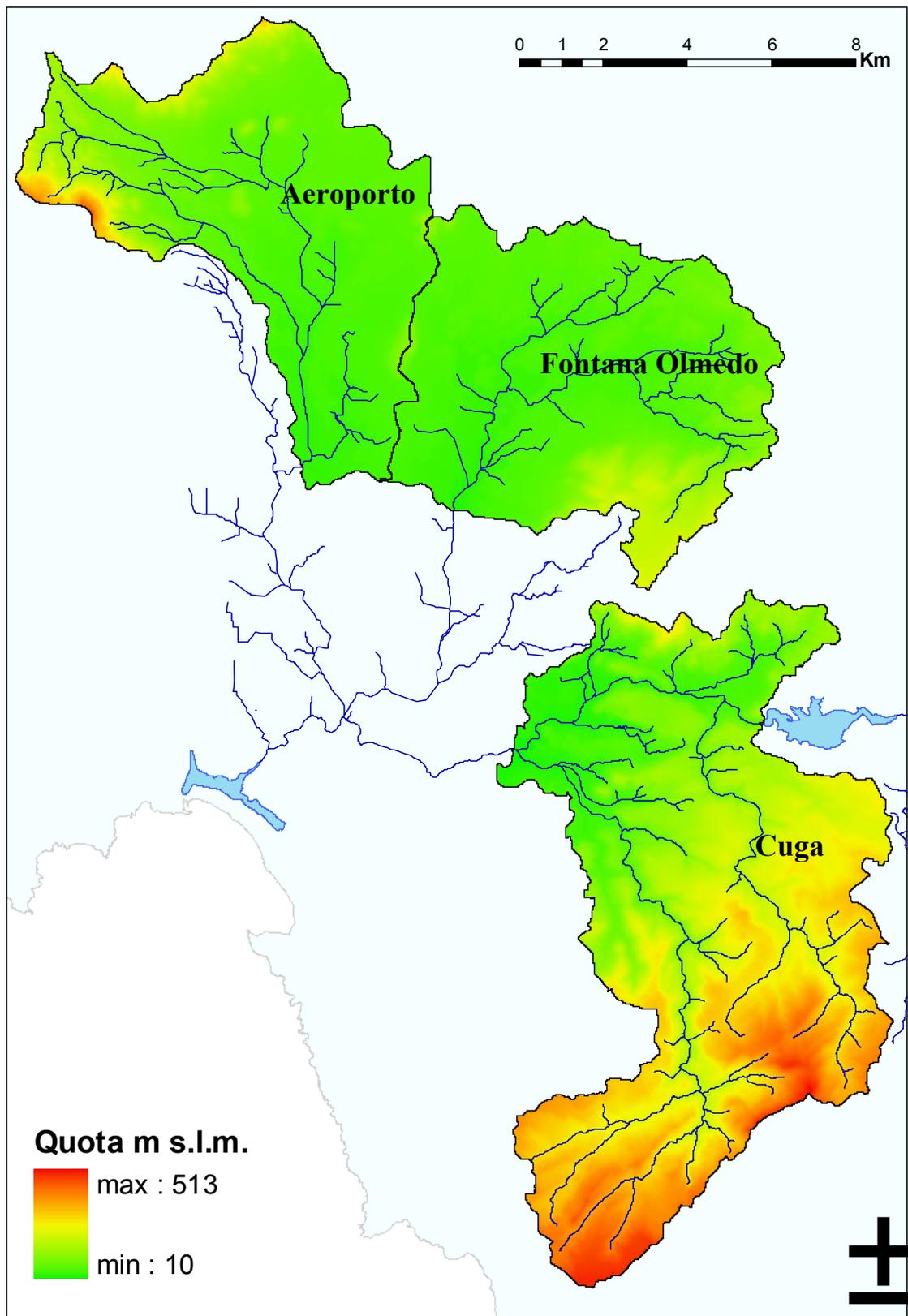


Figura 8.5 - Modello digitale del terreno (DEM) dei bacini monitorati

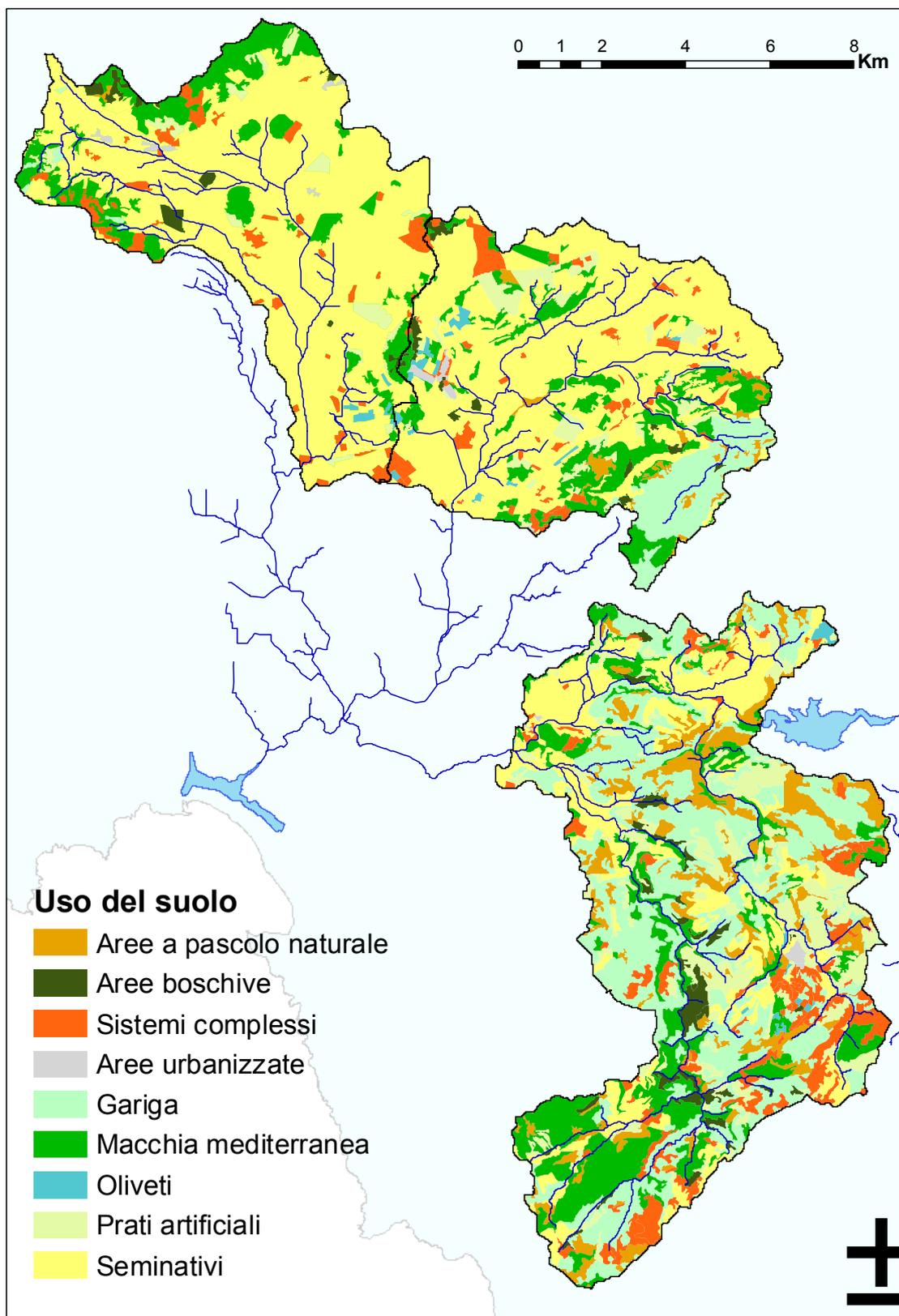


Figura 8.6 - Rappresentazione dell'uso del suolo nei bacini monitorati (rielaborato da Corine Land Cover 1:25000)

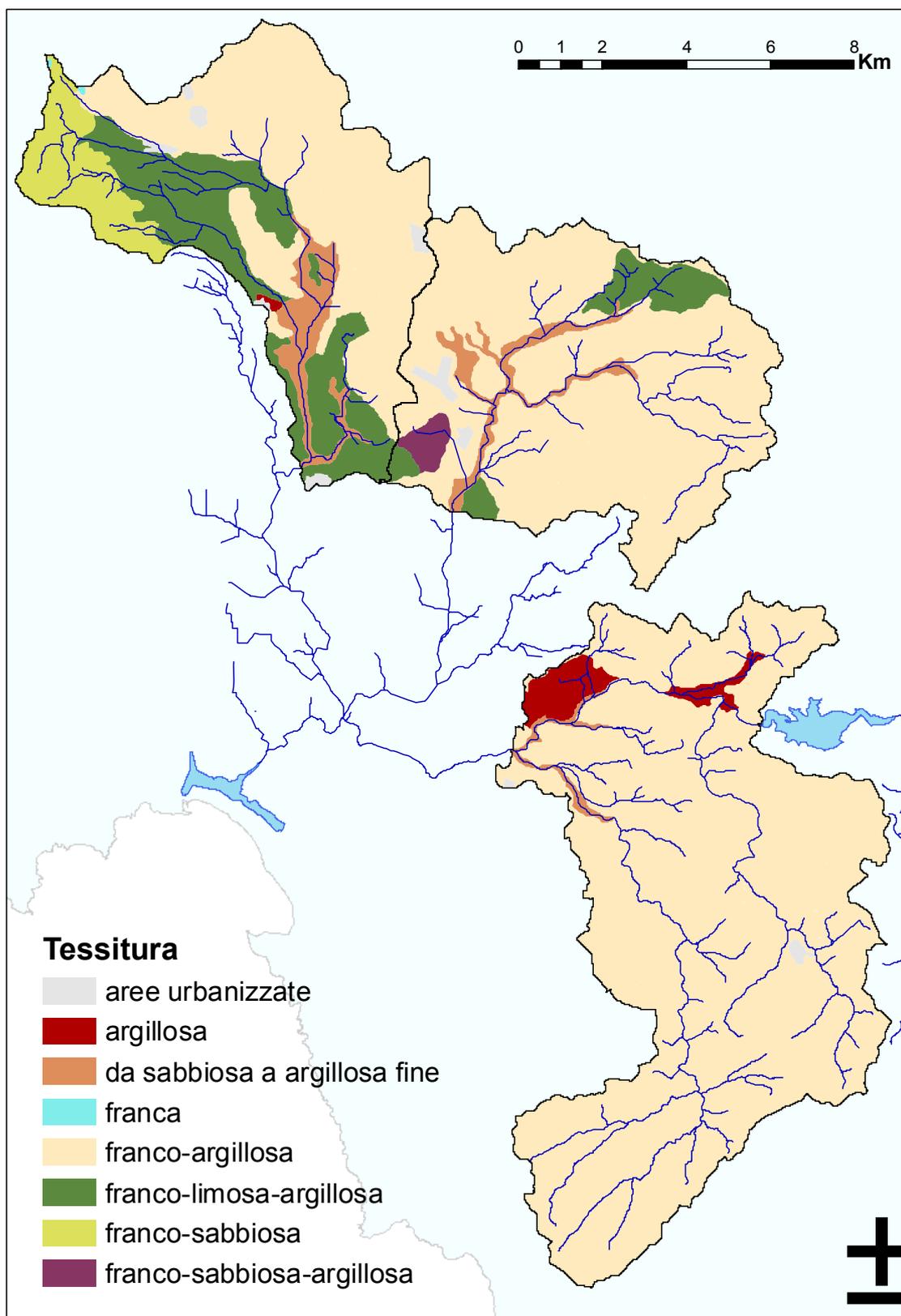


Figura 8.7 - Distribuzione delle tipologie di tessitura nei bacini monitorati [Madrau, Carta Pedologica 1:50000]

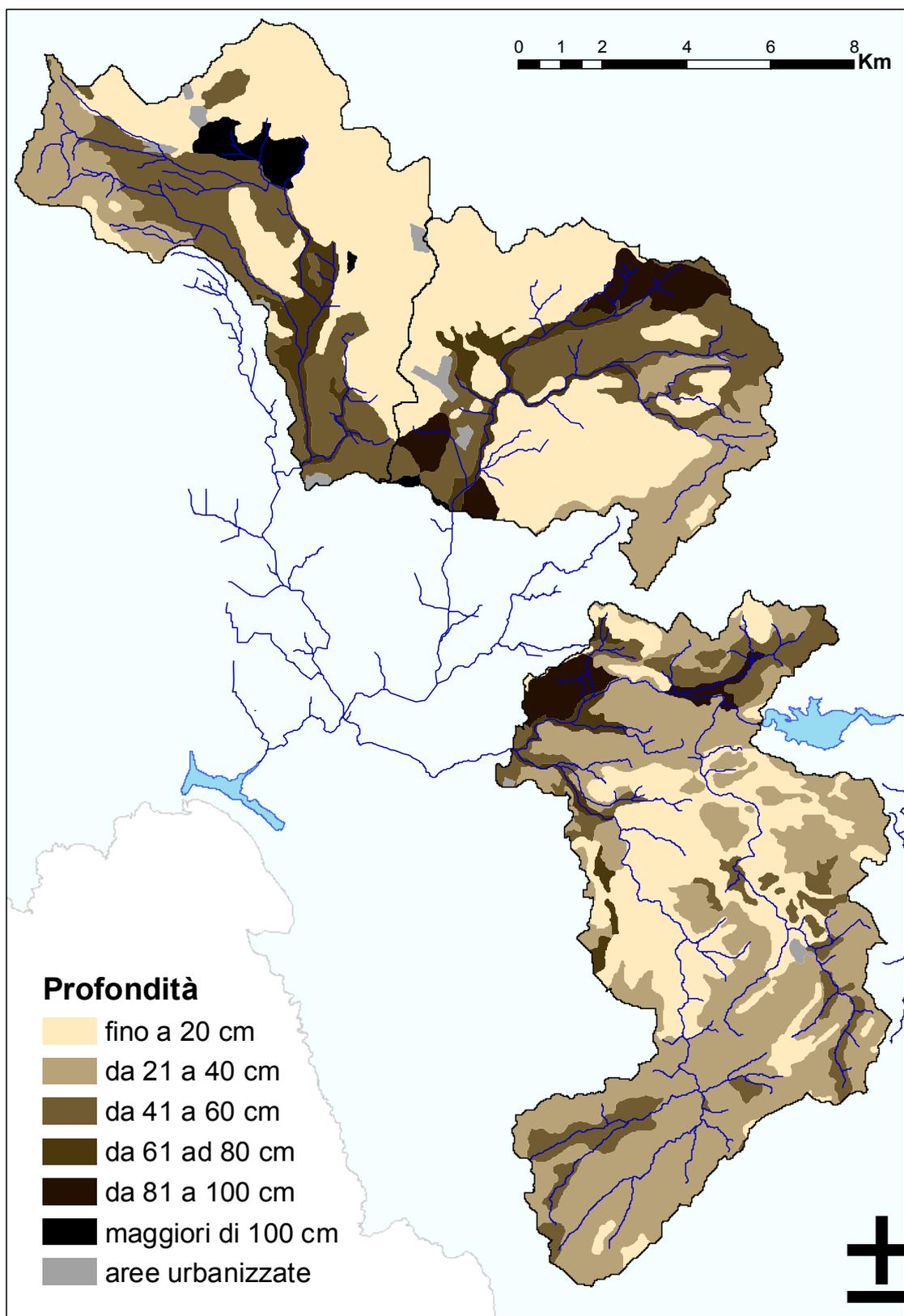


Figura 8.8 - Profondità medie dei suoli nei bacini monitorati [Madrau, Carta Pedologica 1:50000]

## 8.4 Il rilievo in campo dei deflussi idrici superficiali

Rilievi geometrici di dettaglio sono stati eseguiti per ciascuna sezione di chiusura dei tre sottobacini, in modo da definire le grandezze dimensionali utili per il calcolo delle portate, a partire dalle velocità e dai livelli idrici rilevati strumentalmente.

### *Sezione 1: Aeroporto*

La sezione del canale è trapezia, con pareti rivestite in calcestruzzo finemente lisciato (figura 8.9). Si distingue un alveo centrale di magra e due golene laterali in cui l'acqua defluisce solo durante i mesi piovosi invernali. Nelle fasi di magra il canale è soggetto ad interrimento e vi cresce una fitta vegetazione che ostacola il libero deflusso delle acque.

### *Sezione 2: Fontana Olmedo*

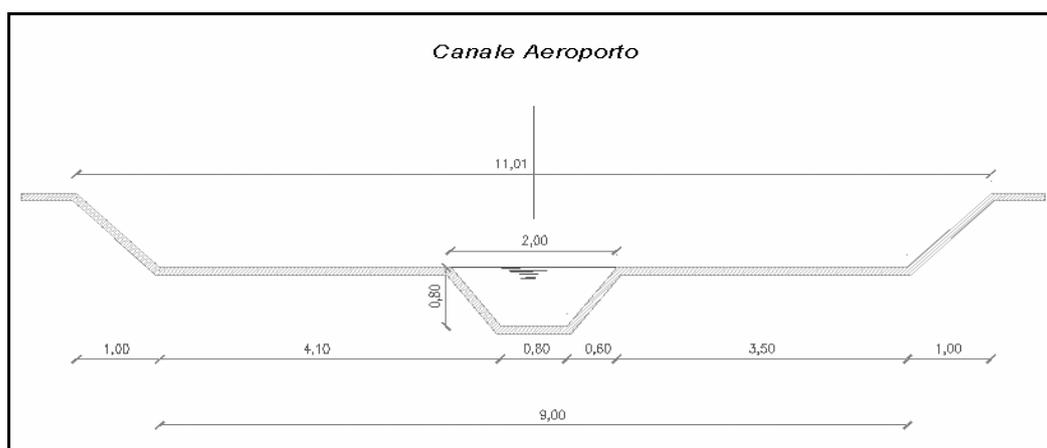
La sezione, localizzata tra le pile di un ponte stradale, presenta una forma rettangolare con pareti rivestite in calcestruzzo (figura 8.10). Data la notevole larghezza del canale, i valori di velocità e di livello idrico sono stati rilevati in tre punti intermedi della sezione trasversale.

### *Sezione 3: Cuga*

In questa sezione il corso d'acqua scorre in alveo naturale (figura 8.11). La sezione è localizzata al di sotto di un ponte-tubo, tra le pile del ponte stesso. La parte di sezione utile al deflusso idrico risulta fortemente variabile in funzione delle portate. Nei mesi invernali l'alveo era completamente interessato dal deflusso e le operazioni di misura risultarono talvolta difficoltose. Nei mesi estivi il deflusso occupava circa un quinto della larghezza dell'alveo, con livelli idrici quasi nulli. Anche in questo caso sono stati monitorati punti diversi della sezione, a monte e a valle dei manufatti in cemento che delimitano la sezione trasversale dell'alveo.

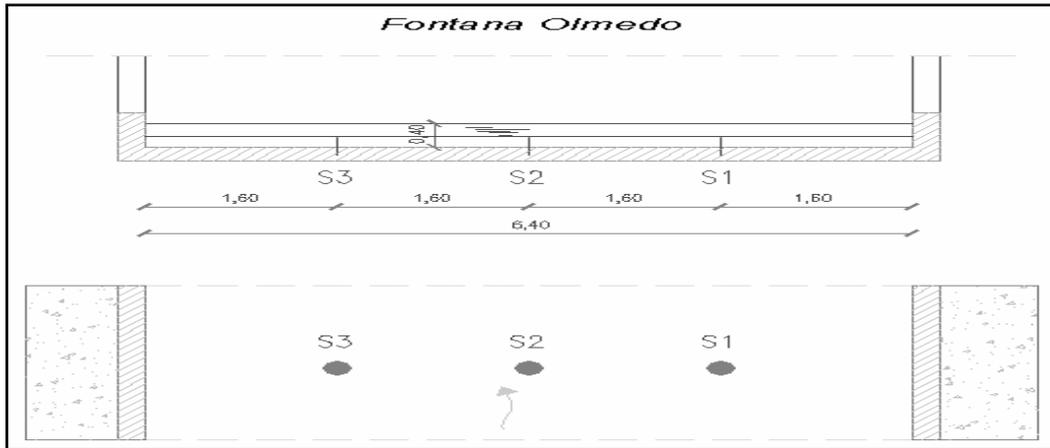
La portata dei tre corsi d'acqua è stata stimata a partire dalle misure combinate di livello del battente idrico e di velocità media della corrente, rilevate in campo attraverso lo strumento Area-Velocity Mainstream (figura 8.12). Esso consta di un trasduttore di pressione ad immersione che, previa calibrazione, permette la conversione della pressione idrostatica esercitata dalla lama d'acqua direttamente in un valore di livello idrico, e di un sensore di velocità a ultrasuoni basato sull'effetto Doppler. Sulla base dei livelli misurati e del rilievo geometrico della sezione, si calcola quindi l'area della sezione trasversale della corrente, per la determinazione della portata come prodotto tra l'area e la velocità media.

Il monitoraggio dei deflussi idrici superficiali ha avuto inizio nel mese di dicembre 2004 ed è terminato nell'ottobre del 2005. Le portate sono state monitorate con cadenza mensile. In figura 8.13 e in tabella 8.1 è riportato il confronto tra i valori delle velocità medie, dei livelli idrici e delle portate rilevate per le singole sezioni di chiusura. Le misure rilevate nella sezione Cuga il 7 febbraio 2005 e nella sezione Aeroporto il 13 dicembre 2004 sono state escluse dalle successive elaborazioni a causa di un'elevata incertezza sul valore di velocità, al quale lo strumento di misura attribuiva un basso livello di precisione. In base ai valori osservati, le portate medie defluite alle sezioni di sbocco sono state di 126 l/s per la sezione Aeroporto, di 139 l/s per la sezione Cuga e di 150 l/s per la sezione Fontana Olmedo.

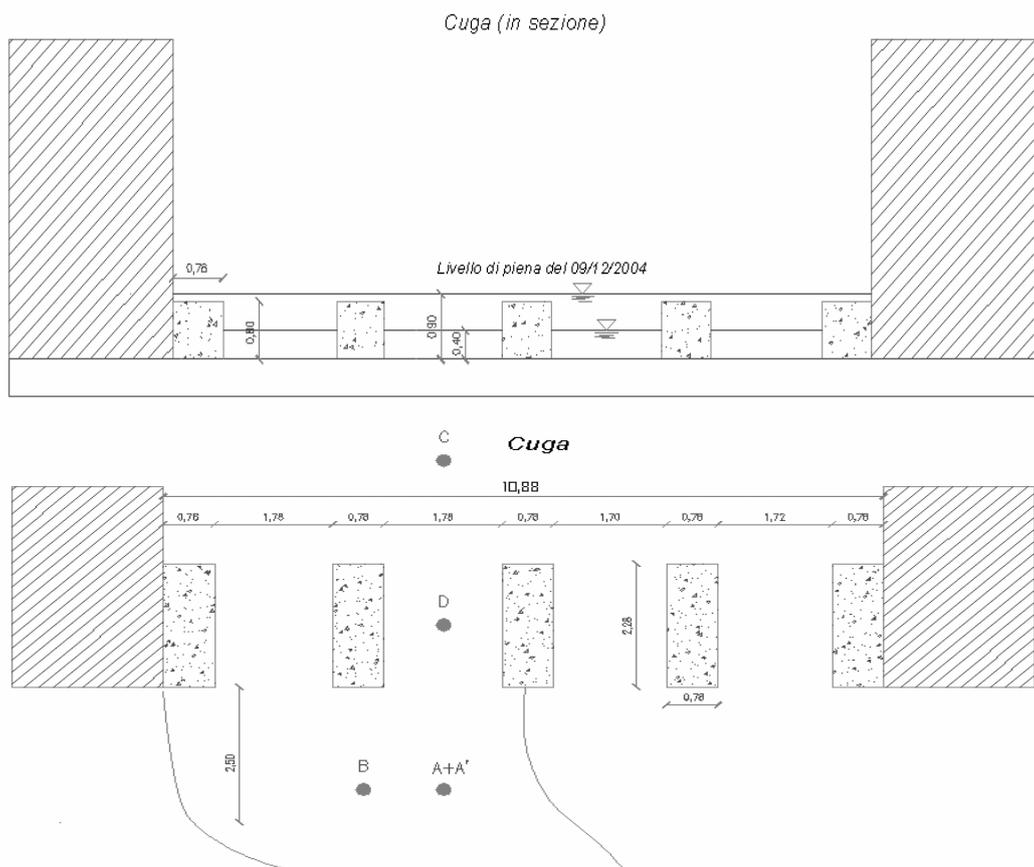


**Figura 8.9 - Dimensioni (in metri) della sezione Aeroporto e immagine dell'alveo con le golene ricoperte da vegetazione**

Si può osservare come dei tre corsi d'acqua monitorati, solo quello relativo alla sezione Fontana Olmedo presenti carattere perenne, mantenendo un deflusso di magra estivo di quasi 100 l/s. Nelle altre due sezioni, a dispetto di portate equivalenti nel periodo invernale, pari a circa 300 l/s, i deflussi idrici estivi tendono pressoché ad annullarsi.



**Figura 8.10 - Dimensioni (in metri) della sezione Fontana Olmedo e immagine dell'alveo tra le pile del ponte**



**Figura 8.11 - Dimensioni (in metri) della sezione Cuga e immagine dell'alveo sotto il ponte-tubo**



(a)



(b)

**Figura 8.12 - (a) Microprocessore-datalogger del misuratore di portata Area-Velocity Mainstream; (b) sensore combinato di misura del livello idrico e della velocità media della corrente**

**Tabella 8.1 - Livello idrico, velocità media della corrente e portata misurata nelle tre sezioni di monitoraggio**

Data rilievo	Fontana Olmedo			Cuga			Aeroporto		
	Livello (m)	Velocità (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m)	Velocità (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m)	Velocità (m/s)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
13/12/04	0,17	0,05	0,06	0,44	0,40	0,32	0,78	0,02	
10/01/05	0,13	0,24	0,20	0,45	0,41	0,26	0,84	0,17	0,30
07/02/05	0,14	0,29	0,26	0,22	0,15		0,81	0,26	0,31
15/03/05	0,12	0,41	0,32	0,28	0,50	0,24	0,79	0,25	0,21
06/04/05	0,15	0,20	0,19	0,31	0,38	0,20	0,75	0,19	0,20
23/05/05	0,10	0,17	0,11	0,25	0,35	0,21	0,56	0,10	0,07
24/06/05	0,15	0,08	0,08	0,18	0,02	0,01	0,57	0,09	0,07
28/07/05	0,16	0,09	0,09	0,17	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00
02/09/05	0,16	0,10	0,11	0,16	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00
08/10/05	0,16	0,08	0,08	0,22	0,03	0,01	0,62	0,09	0,08

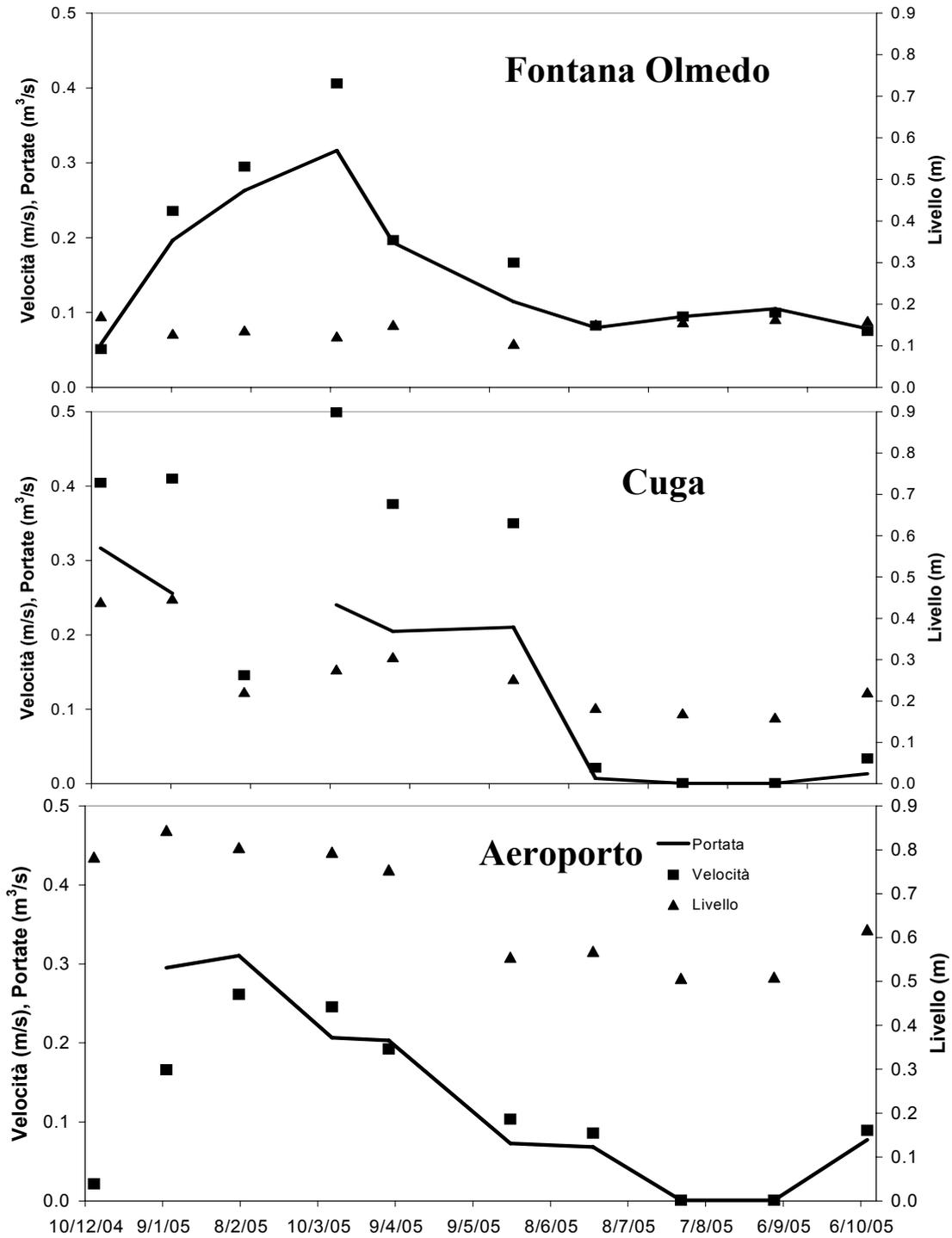


Figura 8.13 - Livello idrico, velocità media della corrente e portata misurata nelle tre sezioni di monitoraggio

## 8.5 Il modello matematico per la simulazione delle portate

I deflussi idrici in superficie e nel suolo sottosuperficiale sono stati simulati con un modello numerico distribuito, il quale rappresenta i principali processi idrologici che coinvolgono l'atmosfera, la vegetazione e il suolo. La modellistica è stata sviluppata minimizzando i parametri e i processi rappresentati, pur mantenendo le componenti di base di un modello fisicamente basato. Il modello simula l'intercettazione superficiale  $S$  e la relativa evaporazione  $E$ , l'evapotraspirazione  $ET$ , il deflusso sottosuperficiale bidimensionale (2D) e il deflusso cinematico incanalato monodimensionale (1D) [Niedda 2000; Niedda 2004; Niedda e Cambula 2004], secondo lo schema rappresentato in figura 8.14.

La precipitazione  $P_e$ , in eccesso dall'invaso delle intercettazioni, perviene al suolo e vi si infiltra per intero. Solo quando l'umidità  $\theta$  supera il valore  $\theta_{33}$  corrispondente ad un potenziale nel suolo di -33 kPa, i volumi in eccesso costituiscono un input per il deflusso sottosuperficiale. Allorché l'altezza dello strato saturo  $h$  supera lo spessore di suolo  $H$ , l'eccesso di saturazione  $I_e$  costituisce un input per il deflusso superficiale nel reticolo idrografico. Le equazioni differenziali di conservazione della massa e dei momenti del deflusso sottosuperficiale 2D (1-2) e del deflusso superficiale 1D (3-4) possono essere quindi così espresse:

$$n_e \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = P_e - ET - I_e, \text{ con } \theta > \theta_{33}, \quad (1a)$$

$$I_e = \frac{n_e(h-H)}{dt} \text{ se } h > H \text{ e } I_e = 0 \text{ se } 0 \leq h \leq H; \quad (1b)$$

$$u = -K \frac{\partial(z+h)}{\partial x}, \quad (2a)$$

$$v = -K \frac{\partial(z+h)}{\partial y}, \quad (2b)$$

$$K = \frac{h}{H} K_s, \quad (2c)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{I_e \cdot dx \cdot dy}{ds}, \quad (3)$$

$$\text{con } Q \geq 0, A \geq 0;$$

$$Q = n^{-1} F^{2/3} i^{1/2} A^m. \quad (4)$$

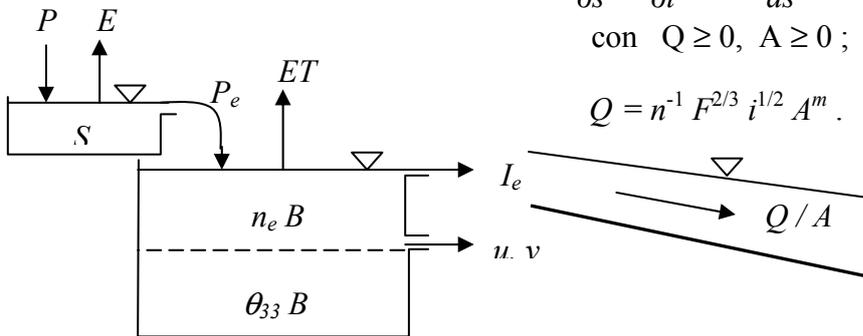


Figura 8.14 - Rappresentazione concettuale dei flussi idrici tra l'atmosfera, la superficie, il suolo e il reticolo idrografico

Nelle equazioni (1-4)  $t$  è il tempo;  $x$  e  $y$  sono gli assi ortogonali delle coordinate nel piano orizzontale;  $u$  e  $v$  sono le componenti della velocità di Darcy lungo gli stessi, calcolate secondo le equazioni (2a) e (2b);  $z$  è la quota del substrato impermeabile;  $K$  la conduttività idraulica del suolo;  $\phi$  la porosità totale;  $n_e = \phi - \theta_{33}$  la porosità efficace o drenabile;  $s$  è la coordinata longitudinale del reticolo idrografico;  $Q$  la portata superficiale;  $A$  è la relativa sezione trasversale;  $i$  la pendenza del fondo dell'alveo;  $n$  è l'indice di scabrezza di Manning;  $F$  è il fattore di forma nell'espressione semplificata del raggio idraulico  $R = FA^{1/2}$ . Per rappresentare la riduzione della conduttività idraulica con la profondità si è utilizzata l'equazione (2c), dove  $K_S$  è la conduttività idraulica satura alla superficie del suolo. Il sistema di equazioni differenziali (1-4) è risolto con schemi alle differenze finite convenzionali, di tipo esplicito per le equazioni del flusso sottosuperficiale e implicito per il flusso superficiale. L'evapotraspirazione effettiva  $ET$  è stata calcolata dal valore potenziale  $PET$  con la formula [Allen et al. 1998]:

$$ET = K_w K_c PET$$

dove  $K_w$  è un coefficiente riduttivo, variabile linearmente tra 0 e 1 in funzione dell'umidità del suolo e  $K_c$  è un coefficiente di campo che integra tutti gli effetti delle caratteristiche che distinguono l'uso effettivo del suolo dalla coltura di riferimento. La capacità delle intercettazioni superficiali è stata determinata in funzione dell'indice di area fogliare LAI [Dickinson et al. 1991]:

$$S = H_r LAI$$

dove  $H_r$  è un coefficiente di intercettazione della pioggia, posto uguale a 0.2 mm/LAI. I valori di LAI per i bacini in studio sono riportati in tabella 8.2, distintamente per ciascun tipo di copertura vegetale. I valori della porosità efficace, del contenuto di umidità del suolo a -33 kPa e della conduttività idraulica satura, utilizzati nelle simulazioni, sono riportati in tabella 8.3 in funzione della tessitura del suolo, secondo quanto riportato in letteratura [Rawls et al. 1993]. Si sono utilizzati, inoltre, il valore del coefficiente di Manning  $n = 0,05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  insieme ai valori di  $m = 4/3$  ed  $F = 0,25$ .

Il modello matematico è stato applicato per la simulazione dei processi durante l'anno idrologico compreso tra l'ottobre del 2004 e l'ottobre del 2005. Sono stati utilizzati i dati di evapotraspirazione potenziale giornaliera e di piovosità ogni 10 minuti, rilevati dal SAR in corrispondenza di stazioni meteorologiche site all'interno del bacino in esame. Le simulazioni sono state condotte con un intervallo di discretizzazione temporale  $\Delta t = 600 \text{ s}$  e un passo spaziale  $\Delta s = 50 \text{ m}$ .

Gli unici parametri soggetti a calibrazione sono il coefficiente di campo  $K_c$  e la conduttività idraulica satura effettiva  $K_S$ , la quale è fatta variare secondo la relazione:

$$K_S = \alpha \cdot K_S^*$$

dove  $K_S^*$  è il valore di conducibilità derivato sulla base della tessitura del suolo e  $\alpha$  è un parametro di amplificazione dovuto a effetti fisici, come la presenza di macropori e sostanza organica nel suolo, e a errori di approssimazione numerica nell'integrazione alle differenze finite delle equazioni differenziali del moto.

**Tabella 8.2 - Valori di Leaf Area Index utilizzati per le diverse classi di uso del suolo**

Classe d'uso del suolo	LAI
Aree boschive	7
Aree urbanizzate	1
Aree a pascolo naturale	3
Gariga	4
Macchia mediterranea	4
Oliveti	6
Prati artificiali	3
Seminativi	4
Sistemi complessi	4

**Tabella 8.3 - Valori di porosità efficace  $n_e$ , di capacità di campo  $\theta_{33}$  e di conducibilità idrica satura  $K_s$  utilizzati per le differenti classi di tessitura del suolo presenti nei sottobacini monitorati**

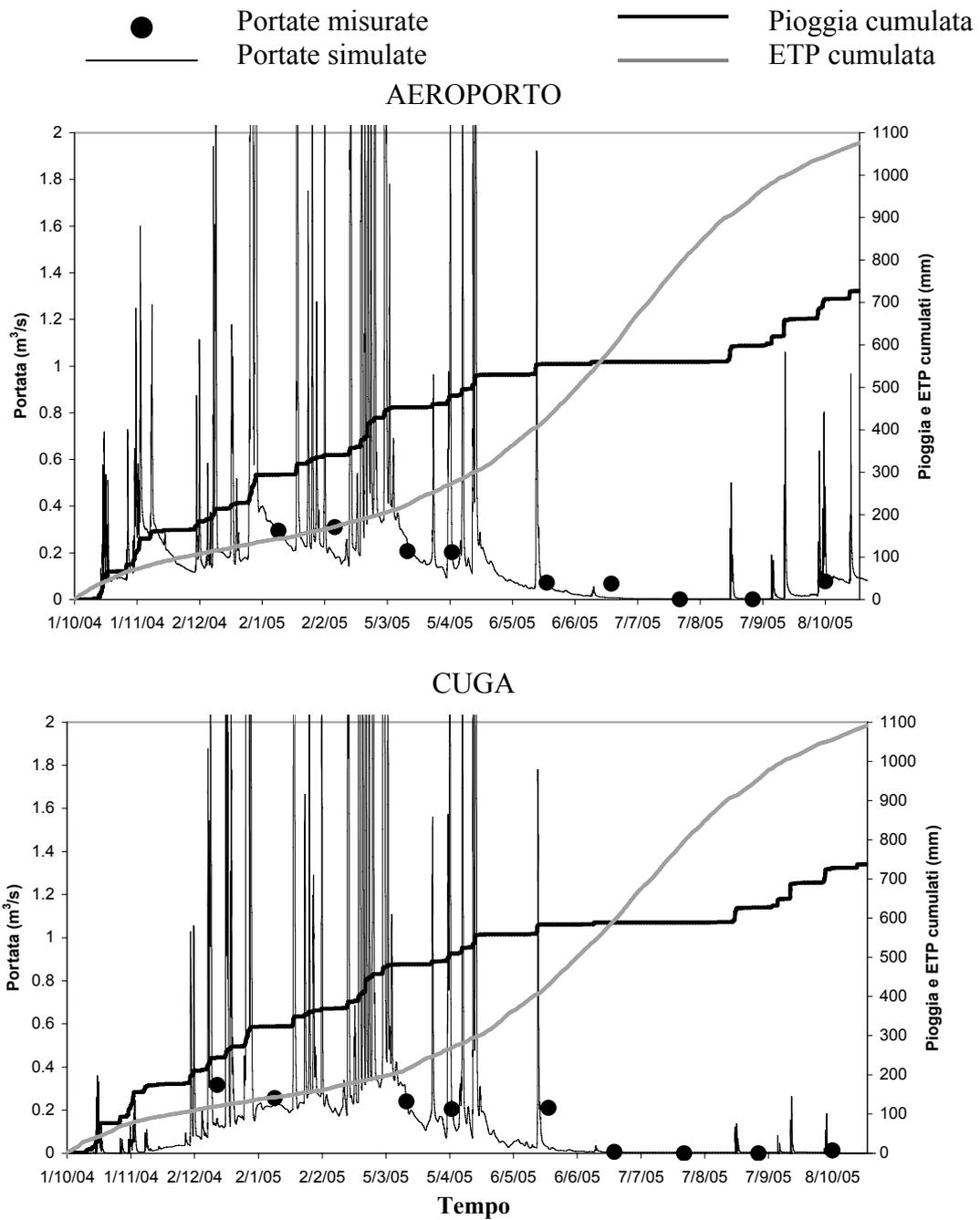
Tessitura	$\theta_{33}$	$n_e$	$K_s$ (mm/h)
Da Sabbiosa a Argillosa fine	0,143	0,255	0,50
Franco-Sabbiosa	0,246	0,207	30,0
Franca	0,193	0,270	15,0
Franco-Argillosa	0,146	0,318	3,0
Franco-Sabbiosa-Argillosa	0,143	0,255	6,0
Franco-Limoso-Argillosa	0,105	0,366	2,5
Argillosa	0,079	0,396	0,5

**Tabella 8.4 - Valori della produzione di risorsa idrica risultanti dalle simulazioni nei bacini osservati nel periodo 1° ottobre 2004 - 1° ottobre 2005**

Bacino	Aeroporto	Cuga
Superficie (km <sup>2</sup> )	55	91
Volumi di deflusso simulati (Mm <sup>3</sup> )	9,55	9,34
Altezza di deflusso ragguagliata (mm)	173,6	102,6
Altezza di pioggia (mm)	662	691
Coefficiente di deflusso (defl./pioggia)	0,26	0,15

I risultati della simulazione, per i due bacini Aeroporto e Cuga considerati, sono riportati in figura 8.15. I valori ottimizzati dei parametri di calibrazione sono risultati  $K_c = 0,5$  e  $\alpha = 70$  per il bacino Aeroporto e  $K_c = 0,65$  e  $\alpha = 20$  per il bacino Cuga.

I valori della produzione di risorsa idrica, risultante dalle simulazioni nei due bacini osservati nel periodo 1° ottobre 2004 - 1° ottobre 2005, sono riportati in tabella 8.4.



**Figura 8.15 - Idrogrammi delle portate calcolate e confronto con le portate osservate e con le piogge e l'evapotraspirazione utilizzate in input dal modello di simulazione**

## 8.6 Considerazioni finali

Le misure di portata rilevate nelle tre sezioni di monitoraggio durante l'anno 2005, nonostante la limitatezza del periodo di osservazione in rapporto alla variabilità climatica del territorio in esame, hanno fornito delle importanti indicazioni sui regimi idrologici dei tre corsi d'acqua e sui processi fisici che li governano. In base ai valori misurati, le portate medie defluite alle sezioni di sbocco sono state di 126 l/s per la sezione Aeroporto, di 139 l/s per la sezione Cuga e di 150 l/s per la sezione Fontana Olmedo.

Si può osservare come, dei tre corsi d'acqua monitorati, solo quello relativo alla sezione Fontana Olmedo presenti carattere perenne, mantenendo un deflusso di magra estivo di quasi 100 l/s.

Nelle altre due sezioni i deflussi estivi tendono pressoché ad annullarsi, nonostante che le portate nel periodo invernale, pari a circa 300 l/s, siano equivalenti nei tre bacini. L'osservazione sperimentale ha quindi evidenziato il ruolo determinante svolto dal substrato geologico nella risposta idrologica del bacino Fontana Olmedo. Tale substrato alimenta un sostenuto deflusso di magra anche nel periodo asciutto, come è stato anche messo in evidenza dalle numerose sorgenti presenti nel bacino.

Il regime idrologico è quindi sensibilmente influenzato dalla natura permeabile del substrato geologico, capace di assorbire parte dei volumi infiltratisi nei periodi piovosi e alimentare il corso d'acqua con portate di magra sostenute anche nelle stagioni non piovose. In questi ambienti è fondamentale la comprensione, non solo dei processi idrologici superficiali e sottosuperficiali, ma anche la valutazione, con un accettabile grado di accuratezza, del moto di filtrazione nella fase satura della roccia e del processo di ricarica della falda attraverso la fase insatura.

Il modello matematico di simulazione dei processi idrologici superficiali e sottosuperficiali è stato applicato ai soli due bacini Aeroporto e Cuga. Questi ultimi sembrano, infatti, essere più influenzati da processi superficiali e sottosuperficiali e meno da quelli profondi. Per i due bacini è risultata una buona corrispondenza tra la risposta del modello di simulazione e i valori di portata rilevati sperimentalmente.

Le simulazioni delle portate hanno evidenziato una diversa velocità di risposta dei due bacini a input di pioggia simili, ma con valori medi di deflusso dello stesso ordine di grandezza, nonostante il bacino Cuga abbia dimensioni quasi doppie del bacino Aeroporto. In particolare, in questo bacino la portata è cresciuta più rapidamente in conseguenza delle prime piogge autunnali sia nel 2004, sia nel 2005.

Il bacino Cuga risponde più lentamente a causa di una maggiore capacità di ritenuta dell'acqua, dovuta sia a suoli di maggiore potenza, sia a una sua maggiore naturalità e copertura arborea, rispetto al bacino Aeroporto, prevalentemente agricolo. La mancanza di misure di portata in continuo nel tempo ha impedito una completa calibrazione del modello, tale da riprodurre le portate anche durante gli eventi di piena conseguenti alle piogge più intense.

L'applicazione del modello di simulazione ha consentito di stimare i deflussi idrici per tutto l'anno di monitoraggio, e di ricoprire i periodi al di là di quelli puntuali, con cadenza mensile, durante i quali è stata rilevata la misura. È stato così possibile valutare la risorsa idrica apportata nelle due sezioni durante gli eventi di pioggia più intensi, ma di breve durata, non osservati sperimentalmente.

Le simulazioni con il modello matematico distribuito, per una maggiore accuratezza, richiedono comunque ulteriori approfondimenti e calibrazioni, soprattutto sulla natura del substrato roccioso e sulla sua permeabilità che, seppur limitata, influisce sui tempi di rilascio e sulla quantità dei volumi idrici superficiali.

Il modello di simulazione, una volta calibrato con sufficiente accuratezza, potrà essere utilizzato per valutare i deflussi idrici negli anni passati, a partire dalle serie storiche note delle precipitazioni e dei parametri climatici, che sono dati di ingresso del modello. Un'analisi di questo tipo costituisce infatti la base per gli studi statistici sulla disponibilità, presente e futura, di risorsa idrica superficiale in un territorio.



## **CAPITOLO 9 RILIEVI IDROGEOLOGICI**

### **9.1 Impostazione dei rilievi idrogeologici**

La fase di pianificazione ed attuazione dello studio idrogeologico del bacino sotteso dallo stagno Calich ha presentato, sino dalle fasi preliminari, molteplici problematiche connesse alla vastità dell'area da indagare, al suo complesso assetto geologico-strutturale ed alla scarsa letteratura di interesse idrogeologico riguardante la zona.

Come già scritto, le fasi iniziali del progetto sono state dedicate in gran parte alla raccolta di dati bibliografici attinenti all'assetto idrogeologico del bacino, con particolare riguardo per le informazioni di carattere litostratigrafico e strutturale, particolarmente importanti nella definizione della tipologia e geometria degli acquiferi. Con l'ausilio dei dati ottenuti presso il Genio Civile di Sassari, attraverso le pubblicazioni del Piano d'Ambito e di Pietracaprina (PS25), è stato possibile ricostruire un database preliminare dei pozzi distribuiti sul bacino che fosse funzionale alle operazioni di censimento, necessarie alla costruzione di una rete di monitoraggio.

Contestualmente al reperimento di tali dati, si è proceduto, a partire dall'ottobre 2003, al censimento di un totale di 365 pozzi tra i quali selezionare i più rappresentativi da inserire nella rete di monitoraggio. Per tutta la durata del progetto tale rete è stata costantemente aggiornata ed affinata sulla base del crescente grado di approfondimento e di riconoscimento dei caratteri idrogeologici del bacino.

I pozzi inclusi nella rete di monitoraggio sono stati sottoposti a verifiche periodiche riguardo ai livelli piezometrici ed ai valori di conducibilità elettrica, pH e temperatura, mentre una parte di essi è stata selezionata per le campagne di campionamento delle acque, al fine di definirne l'intero screening delle proprietà chimico-fisiche, indispensabile alla caratterizzazione delle unità idrogeologiche ed al rilevamento di eventuali agenti inquinanti.

A partire dalla tarda primavera 2004 è stato approntato il censimento delle sorgenti, anch'esso finalizzato alla costruzione di una rete di monitoraggio costituita da un campione rappresentativo dei punti d'acqua. Il monitoraggio delle sorgenti, orientato alla ricostruzione della curva di esaurimento ed alla caratterizzazione chimico-fisica delle acque, è stato condotto mediante verifiche della portata e dei valori di conducibilità elettrica, pH e temperatura, con cadenza almeno mensile (ogni 15 giorni durante l'estate). Nel medesimo periodo si è dato inizio al campionamento ed al monitoraggio delle acque superficiali dei principali sottobacini dell'area in studio, con particolare attenzione per quelle a ridosso dello stagno Calich.

I risultati delle campagne di monitoraggio e campionamento sono stati organizzati in database standardizzati costantemente aggiornati, elaborati ed interpretati.

Vengono qui di seguito riportate, in ordine cronologico, le varie fasi di lavoro, descrivendo anche le ipotesi interpretative preliminari, che hanno alla fine consentito di delineare il modello idrogeologico concettuale finale.

## 9.2 Censimento pozzi e primi rilievi idrogeologici speditivi (ottobre 2003-febbraio 2004)

L'acquisizione dei dati sperimentali, di tipo idrogeologico, è iniziata con il censimento in campagna dei pozzi presenti nell'area in studio. Al momento dell'inizio di questa fase non si avevano sufficienti informazioni sulla geologia, ovvero sui rapporti stratigrafici delle formazioni presenti nella piana, nonché sulla tettonica, ovvero sulla presenza di strutture tipo faglie, graben e pieghe. Questo implicava che anche le Unità Idrogeologiche e quindi gli acquiferi non erano ben delineati nella loro geometria spaziale e profondità.

Un altro fattore di incertezza era dato dal fatto che, poiché i pozzi presentano profondità di perforazione variabile, non si aveva praticamente mai l'informazione sul reale condizionamento, ovvero sulla profondità e sullo spessore dei filtri delle singole opere di captazione. Da un punto di vista pratico, questo fatto può far capire che se esistono più acquiferi sovrapposti ed i filtri sono posizionati per tutta la profondità dell'opera, il dato relativo alla misura piezometrica è sicuramente condizionato dall'acquifero che possiede il carico idraulico maggiore. Questa situazione è comune ogni qualvolta si affrontano studi idrogeologici e soprattutto quando si eseguono rilievi su punti d'acqua già esistenti, cioè non appositamente realizzati per le indagini. In questi casi gli unici dati certi e quindi discriminanti, perché misurabili sperimentalmente, sono quelli relativi alla profondità totale dell'opera di captazione ed alla soggiacenza (livello piezometrico riferito al piano di campagna).

Durante questa fase iniziale del progetto, data la scarsità di notizie, la poca attendibilità degli studi precedenti e l'elevato numero di pozzi presenti nel territorio, si è deciso di adottare un criterio logico e funzionale per il censimento degli stessi. Dunque, data l'impossibilità di censire tutti i punti d'acqua, pubblici e privati, presenti nel bacino, inizialmente si è scelto di eseguire il rilevamento secondo una media di 0,2 punti per km<sup>2</sup>, tenendo anche conto della litologia e della profondità delle captazioni. Sono stati così rilevati 450 punti d'acqua (365 pozzi e 85 sorgenti), omogeneamente distribuiti sul territorio d'indagine e facenti capo a tre differenti tipologie: la prima con profondità di perforazione (dal p.c.) fino a 15 m; la seconda fino a 50 m e la terza con profondità maggiore di 50 m. Tale suddivisione è stata fondata su un'ipotesi iniziale che prevedeva l'esistenza di almeno tre acquiferi sovrapposti e non comunicanti, cui avrebbero dovuto corrispondere altrettante tipologie di pozzo, come descritto in tabella 9.1 (tale ipotesi si è rivelata poco aderente alla realtà come si descriverà in seguito).

**Tabella 9.1 - Tipologia, in funzione della profondità della perforazione, dei pozzi censiti**

<b>Tipologia del pozzo</b>	<b>Intervallo di profondità da p.c. (m)</b>	<b>Acquifero ipotizzato</b>
Pozzi superficiali	0-15	Quaternario marino, alluvionale ed eluvio-colluviale
Pozzi medi	15-50	Formazioni carbonatiche mesozoiche e/o vulcaniti oligomioceniche e/o sedimenti miocenici
Pozzi profondi	>50	Formazioni carbonatiche mesozoiche e/o vulcaniti oligomioceniche

Sulle carte topografiche sono stati ubicati i pozzi inclusi nel database preliminare realizzato a partire dai dati del Genio Civile di Sassari, del Piano d'Ambito della Regione Autonoma della Sardegna e del PS 25. In tal modo è stato possibile indirizzare preliminarmente la ricerca verso i pozzi ritenuti più idonei agli scopi del Progetto, evitando inutili dispendi di tempo con ricerche a vuoto.

Il rilevamento ed il censimento dei pozzi ha avuto inizio il 21 ottobre 2003 con l'attività parallela di almeno quattro rilevatori suddivisi in due squadre, entrambe dotate di un freatimetro (max 100m), un pHmetro-conduttivimetro, un GPS, un altimetro, alcuni campionatori di diverse dimensioni e la serie completa delle carte topografiche C.T.R. 1:10000 del bacino: in figura 9.1 e 9.2 vengono rappresentate alcune attività del censimento. Le squadre di rilevamento hanno suddiviso il territorio in due zone di indagine, evitando così di sovrapporsi durante le attività.



**Figura 9.1 - Rilevamento di un pozzo trivellato**



**Figura 9.2 - Rilevamento di un pozzo a largo diametro**

Nella quasi totalità dei contatti, i proprietari dei fondi, su cui sono ubicati i pozzi, si sono rivelati disponibili alla collaborazione. Soltanto in casi sporadici, soprattutto nelle zone più isolate, si è dovuta vincere una certa diffidenza iniziale che derivava, probabilmente, dal timore di controlli o accertamenti a fini amministrativi e fiscali. In genere, però, anche coloro che in un primo momento si erano rivelati poco disposti a collaborare, durante le successive attività di monitoraggio si sono rivelati disponibili ed interessati.

Per ogni punto d'acqua, censito e numerato progressivamente, sono stati rilevati i seguenti dati:

- coordinate chilometriche Est-Nord, riferite al sistema UTM ED 50; quota sul livello del mare, attraverso l'utilizzo di uno strumento GPS (modello etrex Vista-Garmin) tarato giornalmente;
- località d'ubicazione;
- dati costruttivi dell'opera, come il diametro e la profondità dell'opera, l'altezza del boccapozzo ecc.;
- livello piezometrico mediante freatometro;
- parametri chimico-fisici, mediante misure speditive in situ quali temperatura, pH, e conducibilità elettrica attraverso l'utilizzo di un pHmetro/conduktivimetro portatile modello WTW 340;
- documentazione fotografica.

Oltre ai rilievi idrogeologici sono state ricavate ulteriori informazioni quali: nominativo del proprietario, anno di perforazione, utilizzo prevalente, potenza della pompa ecc..

L'attività di censimento dei pozzi ha avuto termine il 13 febbraio 2004, con 365 pozzi rilevati, di cui 98 superficiali (fino a 15 m di profondità), 105 medi (con profondità compresa fra 15 e 50 m), 152 profondi (con profondità maggiore di 50 m) e 10 di profondità indeterminata (non è stato possibile determinare in modo esatto la profondità). Tutti i dati rilevati sono stati riportati in una tabella di campagna appositamente realizzata (figura 9.3). Una volta verificati e controllati, i dati sono stati successivamente inseriti in un data base descrittivo, secondo un formato compatibile col GIS.

I dati presenti sul database, come appare evidente nella tabella di codifica dei campi (figura 9.4), sono georeferenziati (campo delle *coordinate UTM*) e riferibili a precisi intervalli di tempo (campo della *data di misura*), a tutto vantaggio della versatilità del sistema di monitoraggio.

I pozzi sono stati denominati secondo un *id\_misura* basato su una progressione numerica seguita da una lettera che ne identificasse la squadra di rilevamento (S o C): tale scelta si è resa necessaria per garantire un'organizzazione indipendente del lavoro di ogni squadra e per poter facilmente risalire ai nominativi degli operatori, anch'essi riportati su un apposito campo del data base.

Come si osserva in figura 9.5, la distribuzione dei pozzi è sbilanciata verso l'area della piana, ricadente nella porzione Nord del bacino. Tale dato non deve stupire, essendo questa la zona più densamente popolata e sfruttata dal punto di vista agricolo. La distribuzione dei pozzi sulla piana, infatti, è piuttosto uniforme ed accenna a diradarsi soltanto in corrispondenza dei modesti rilievi collinari.

Invece, in figura 9.6 è rappresentata la distribuzione dei pozzi in funzione della loro della profondità.



ID POZZO	UTM_EST	UTM_NORD	USO	DATA_MIS	QUOTA_PIEZ m s.l.m.	T C	COND 25°C µS/cm	pH
1S	434641	4493480	irriguo	21-oct-2003 00:00:00	39,77	21,9	3700	6,9
2S	435275	4500216	domestico	21-oct-2003 00:00:00	11,64	21,3	3650	6,9
3S	434428	4498917	irriguo soccorso	21-oct-2003 00:00:00	39,67	19,6	3650	7,1
4S	434426	4493904	irriguo soccorso	21-oct-2003 00:00:00	38,87	20,1	1320	7,3
5S	43442	4493750	irriguo soccorso	21-oct-2003 00:00:00	40,17	20,9	4390	6,6
6S	433652	4493977	irriguo soccorso	22-oct-2003 00:00:00	33,20	18,4	1250	7,7
7S	433512	4500216	irriguo soccorso	22-oct-2003 00:00:00	33,66	18,6	3890	7,0
8S	433609	4500454	irriguo soccorso	22-oct-2003 00:00:00	35,34	18,9	1570	7,1
9S	436225	4500437	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	13,17	19,4	1490	6,8
10S	434395	4500439	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	29,03	19,7	1730	7,4
11S	434404	4500459	irriguo	23-oct-2003 00:00:00	30,02	21,1	2740	7,2
12S	436188	4500955	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	11,98	20,9	3760	6,7
13S	435537	4501143	domestico	23-oct-2003 00:00:00	27,30	21,8	2300	6,7
14S	434656	4500883	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	32,92	21,4	1580	7,0
15S	436021	4501042	disuso	23-oct-2003 00:00:00	25,72	20,7	1800	7,9
16S	436002	4501003	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	12,43	21,1	2240	7,0
17S	434890	4501089	disuso	23-oct-2003 00:00:00	30,96	22,0	1620	6,8
18S	435129	4500965	irriguo soccorso	23-oct-2003 00:00:00	30,40	20,1	2210	6,7
19S	435844	4501018	irriguo,zootecnico	24-oct-2003 00:00:00	26,80	18,5	2290	6,7
20S	435754	4500511	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	13,23	19,3	1890	6,9
21S	433868	4501050	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	35,23	21,2	1580	7,0
22S	433212	4500928	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	32,60	20,7	1920	7,7
23S	433422	4501086	domestico	24-oct-2003 00:00:00	33,80	21,5	1580	6,9
24S	434068	4500842	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	34,96	20,6	1210	7,6
25S	433309	4501639	irriguo,zootecnico	24-oct-2003 00:00:00	33,26	22,1	2260	6,9
26S	434811	4501819	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	31,16	21,4	2370	8,3
27S	433895	4501635	irriguo	24-oct-2003 00:00:00	29,79	19,4	2590	6,9
28S	439040	4501812	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	31,59	22,7	2350	6,8
29S	436491	4501864	irriguo	27-oct-2003 00:00:00	27,71	20,0	3270	7,3
30S	436790	4502076	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	26,29	19,4	3530	6,9
31S	436089	4502596	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	30,61	20,7	8660	7,5
32S	435940	4501098	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	28,37	20,3	1410	7,7
33S	433315	4502456	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	23,74	20,1	2220	7,0
34S	433971	4502296	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	1,24	19,8	3190	6,6
35S	436506	4502855	irriguo soccorso	27-oct-2003 00:00:00	34,35			
36S	447026	4500702	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	44,88	20,8	880	7,2
37S	447029	4500694	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	43,78			
38S	445957	4505215	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00		20,7	1180	6,8
39S	438487	4499458	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	7,78	19,3	1950	7,1
40S	438103	4498019	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	7,95	22,0	1730	6,8
41S	438108	4498022	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	8,11			
42S	438113	4498022	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	7,34			
43S	438944	4497251	idropotabile	11-nov-2003 00:00:00	4,65	21,8	1600	7,3
44S	435394	4501851	irriguo soccorso	13-nov-2003 00:00:00	31,30	17,0	2410	7,2
45S	435486	4501871	irriguo soccorso	13-nov-2003 00:00:00	30,85	21,6	3010	7,7
46S	433394	4502524	irriguo soccorso	13-nov-2003 00:00:00	28,48	19,0	1810	7,0
47S	436043	4505017	disuso	13-nov-2003 00:00:00	60,41	17,1	6130	7,3
48S	435563	4504909	disuso	13-nov-2003 00:00:00	50,41	19,4	8810	6,5
49S	435804	4505658	disuso	13-nov-2003 00:00:00	68,97	21,8	6380	6,7
50S	437166	4506074	domestico,zootecnico	13-nov-2003 00:00:00	89,57	18,7	1960	6,8
51S	437051	4506682	zootecnico	13-nov-2003 00:00:00	112,04	19,0	1620	6,0
52S	436050	4506655	zootecnico	13-nov-2003 00:00:00	66,14	14,2	4030	7,1
53S	437354	4505854	zootecnico	14-nov-2003 00:00:00	76,73	19,0	2490	7,3
54S	438646	4505913	zootecnico	14-nov-2003 00:00:00	51,51	21,9	2010	7,1
55S	439322	4506277	domestico	14-nov-2003 00:00:00	72,96	22,0	2490	6,7
56S	439181	4508061	domestico	14-nov-2003 00:00:00	78,00	20,1	2580	7,3
57S	439164	4509234	domestico	14-nov-2003 00:00:00	84,27	17,8	2740	7,8
58S	438903	4509770	zootecnico	14-nov-2003 00:00:00	93,45	19,7	1450	7,2
59S	438288	4509691	domestico	14-nov-2003 00:00:00	92,42	18,7	1250	7,4
60S	439180	4509362	disuso	14-nov-2003 00:00:00	83,85	18,7	950	7,8
61S	437820	4510870	disuso	14-nov-2003 00:00:00	106,90	17,7	1750	7,6
62S	438130	4506650	irriguo,zootecnico	17-nov-2003 00:00:00	92,70	19,3	3670	7,3
63S	437742	4510391	disuso	17-nov-2003 00:00:00	105,55	20,8	2830	7,3
64S	437803	4510421	irriguo	17-nov-2003 00:00:00	89,39	20,9	2080	7,0
65S	438235	4510402	irriguo,zootecnico	17-nov-2003 00:00:00	92,47	20,7	1210	6,8
66S	438015	4509547	irriguo,zootecnico	17-nov-2003 00:00:00	118,25	22,1	4170	6,0
67S	436207	4510689	disuso	17-nov-2003 00:00:00	140,07	22,3	1250	6,6
68S	439174	4509962	disuso	17-nov-2003 00:00:00	88,72	20,1	540	7,5
69S	440106	4510126	industriale	17-nov-2003 00:00:00	75,81	20,9	1450	6,9
70S	440351	4509874	disuso	18-nov-2003 00:00:00	72,57	17,0	2240	7,2
71S	440572	4510475	domestico	18-nov-2003 00:00:00	77,26	21,6	3970	6,7
72S	443776	4507878	zootecnico	18-nov-2003 00:00:00	58,65	21,7	1320	6,9
73S	442081	4510021	zootecnico	18-nov-2003 00:00:00	67,86	21,9	940	6,9
74S	441996	4509701	disuso	18-nov-2003 00:00:00	64,14	21,4	1270	6,9
75S	441866	4508696	zootecnico	18-nov-2003 00:00:00	54,81	21,1	2850	7,1
76S	441420	4508244	zootecnico	18-nov-2003 00:00:00	52,20	20,3	2020	6,8
77S	442329	4505986	zootecnico	19-nov-2003 00:00:00	43,93	22,0	1980	7,3
78S	442945	4508720	zootecnico	19-nov-2003 00:00:00	56,20	20,5	2520	6,7
79S	442739	4508227	disuso	19-nov-2003 00:00:00	58,80	20,3	1270	7,1
80S	444466	4508725	zootecnico	19-nov-2003 00:00:00	57,95	20,7	1000	6,3
81S	445244	4507389	industriale	19-nov-2003 00:00:00	48,74	20,2	1030	7,0
82S	445495	4507305	industriale	19-nov-2003 00:00:00	51,79	20,1	280	8,0
83S	443797	4506220	domestico,zootecnico	19-nov-2003 00:00:00	53,45	18,2	2090	7,3
84S	442631	4506785	domestico,zootecnico	20-nov-2003 00:00:00	45,53	18,4	1510	6,9
85S	442542	4506708	disuso	20-nov-2003 00:00:00	45,69	18,8	1590	6,9
86S	440172	4507052	zootecnico	20-nov-2003 00:00:00	48,60	18,7	2980	7,0
87S	438274	4510924	zootecnico	20-nov-2003 00:00:00	93,25	18,5	1350	6,6
88S	440737	4510503	disuso	20-nov-2003 00:00:00	74,14	18,6	3980	7,3
89S	440675	4510759	domestico	20-nov-2003 00:00:00	76,73	18,5	1780	6,8
90S	445044	4509901	domestico,zootecnico	20-nov-2003 00:00:00	43,42	19,8	980	6,9
91S	445194	4508039	domestico	20-nov-2003 00:00:00	43,04	16,9	250	7,2
92S	451354	4506723	disuso	01-dec-2003 00:00:00	66,29	19,7	3410	6,7
93S	451823	4506657	domestico,zootecnico	01-dec-2003 00:00:00	70,55	19,1	1930	7,2
94S	449988	4506848	disuso	01-dec-2003 00:00:00	63,36	20,7	1510	7,0
95S	449224	4507078	domestico	01-dec-2003 00:00:00	54,21	19,1	1170	6,8
96S	449153	4507079	domestico,irriguo	01-dec-2003 00:00:00	53,08	19,5	1620	6,8
97S	445446	4505766	domestico,zootecnico	01-dec-2003 00:00:00	44,63	19,7	1030	7,0
98S	443600	4506139	disuso	01-dec-2003 00:00:00	54,42	20,2	1460	7,5
99S	447296	4507137	domestico,zootecnico	01-dec-2003 00:00:00	52,81	20,3	1180	6,9
100S	446935	4506405	disuso	01-dec-2003 00:00:00	47,75	21,6	1340	6,8

Figura 9.4 - Schermata del data-base relativo ai pozzi

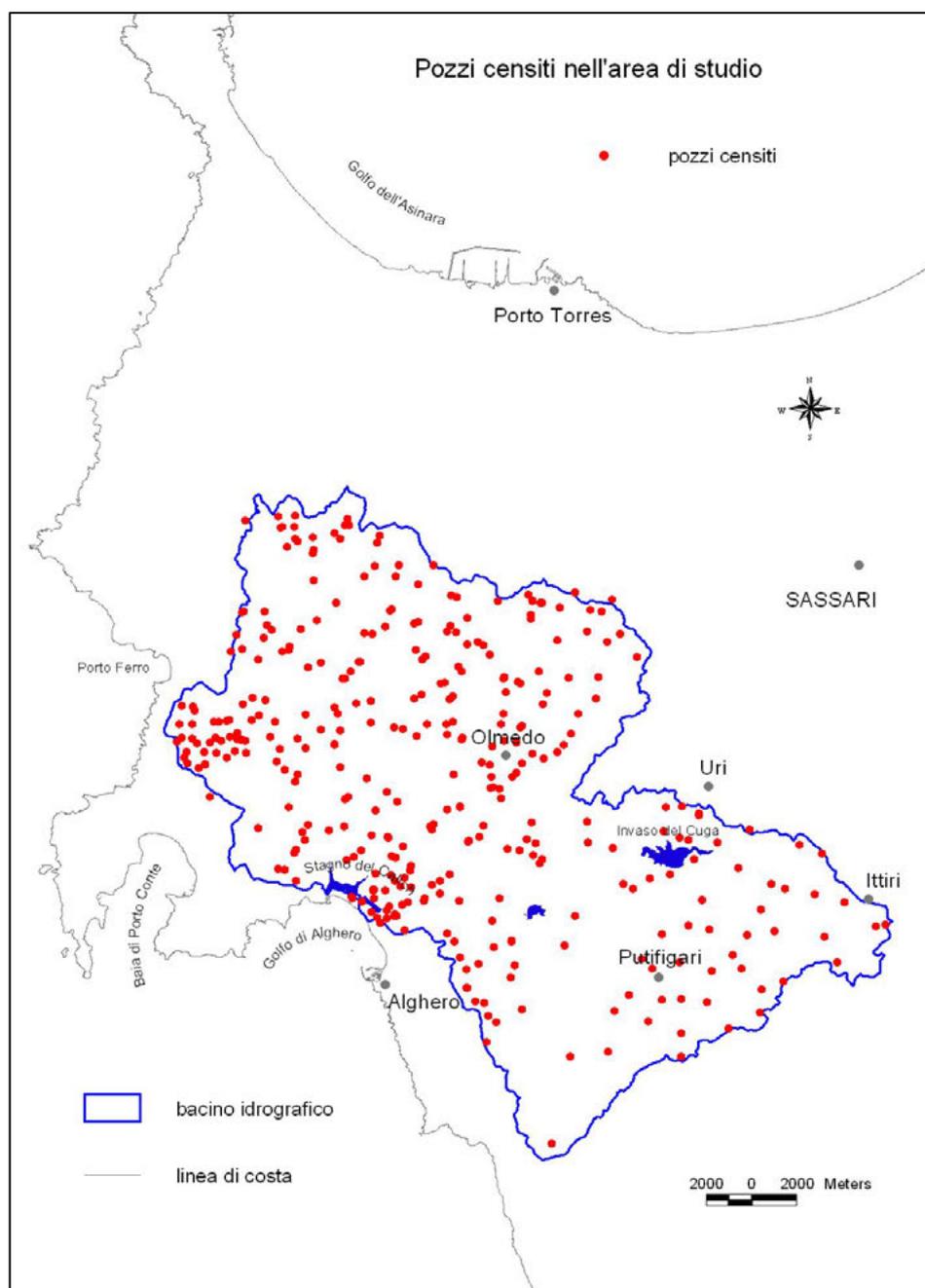
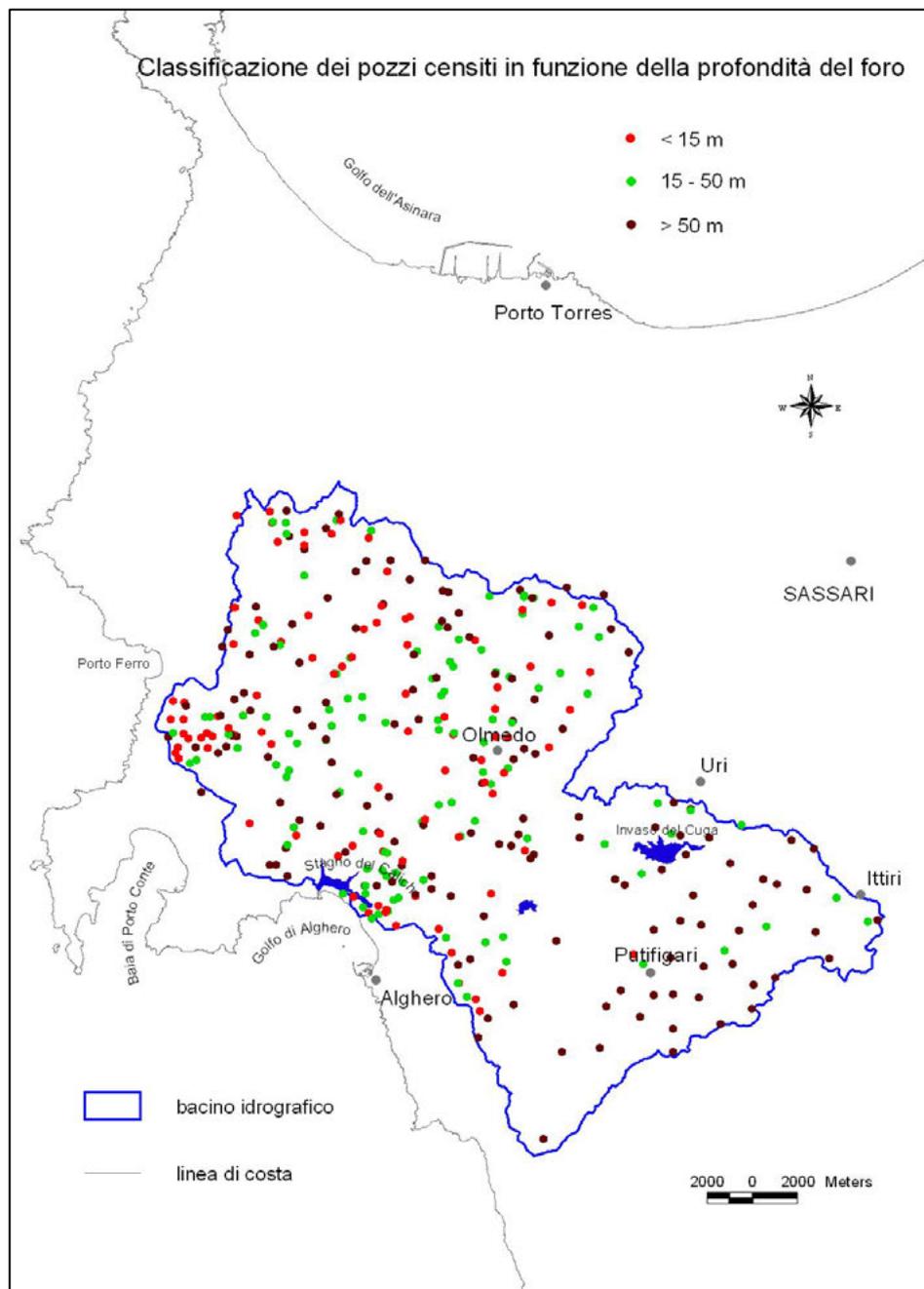


Figura 9.5 - Distribuzione dei pozzi censiti sull'area del bacino



**Figura 9.6 - Distribuzione dei pozzi in funzione della loro profondità**

I pozzi superficiali sono concentrati quasi esclusivamente sulla parte nord, in corrispondenza della piana, soprattutto a ridosso delle aree costiere. Tale tendenza è riscontrabile, seppure in misura minore, anche nei pozzi di media profondità, i quali sono uniformemente distribuiti sulla piana mentre si ritrovano, in quantità estremamente ridotta, nella zona sud-orientale del bacino. I pozzi profondi, in generale più numerosi, godono di una distribuzione più uniforme sull'intera area del bacino raggiungendo talvolta profondità ragguardevoli (oltre 220 m).

La distribuzione aerea dei pozzi, anche in funzione della loro profondità, trova ovviamente spiegazione nell'assetto geologico e idrogeologico dell'area. Facendo riferimento alla destinazione d'uso prevalente, al momento del censimento risultano: 94 pozzi inutilizzati o non ancora utilizzati; 8 sfruttati per approvvigionamento idropotabile; 30 per uso domestico; 90 per uso irriguo; 7 per uso industriale; 74 per uso zootecnico; 46 per uso misto (domestico, irriguo e zootecnico) (figura 9.7).

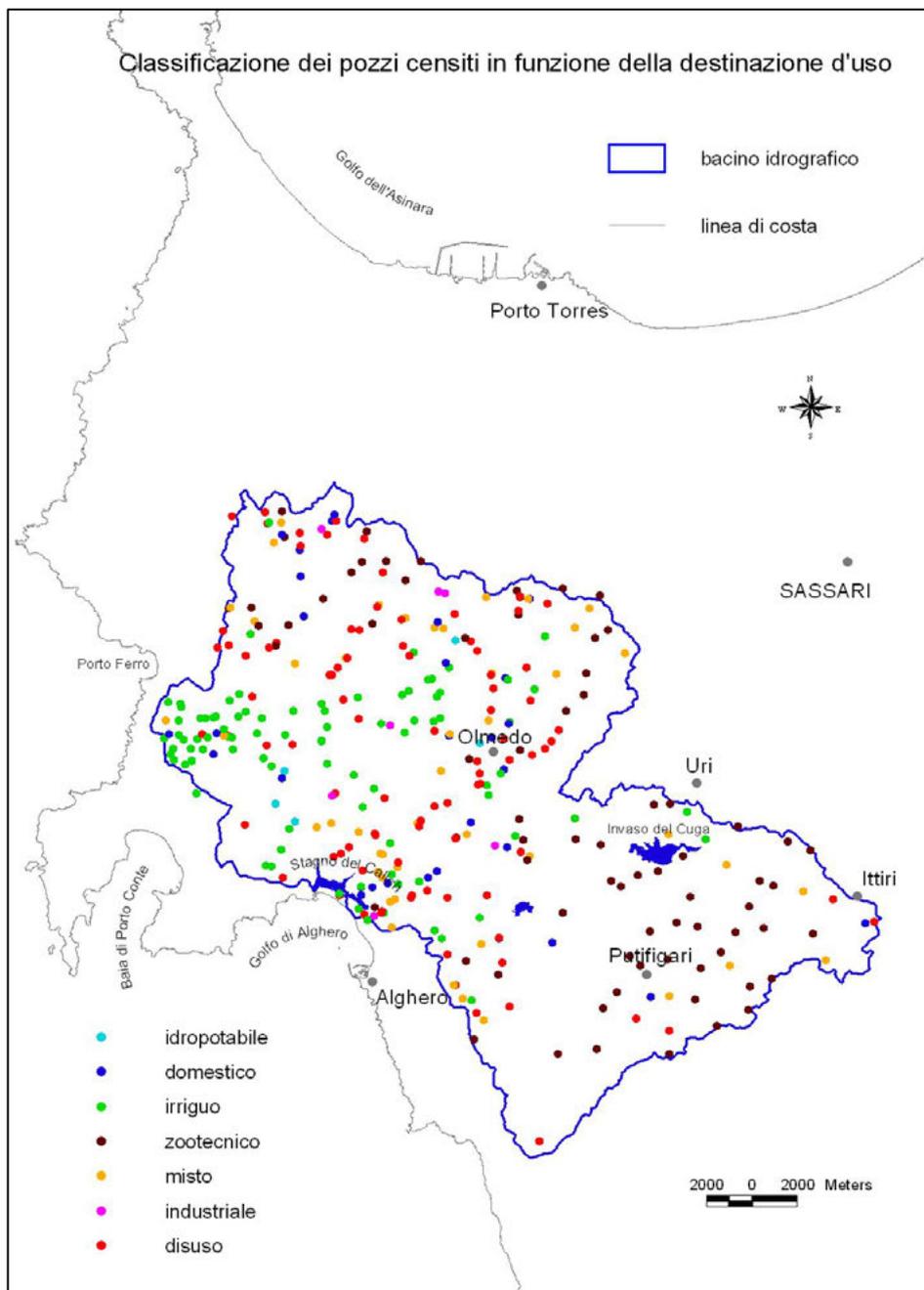


Figura 9.7 - Distribuzione dei pozzi secondo la destinazione d'uso

### 9.3 Elaborazioni dei dati: I fase

Conclusa la fase di censimento dei pozzi (ottobre 2003–gennaio 2004), i dati sono stati implementati in un data base allo scopo di semplificare e velocizzare tutte le successive operazioni di pre-elaborazione e trattamento degli stessi. Il data base creato ha permesso di realizzare una scheda monografica completa relativa a ciascun pozzo, contenente in maniera sintetica tutte le caratteristiche costruttive ed i dati acquisiti in campagna.

L'obiettivo delle prime interpretazioni è stato quello di dare continuità spaziale a dati puntuali, mediante interpolazione, al fine di poter calcolare valori anche in quelle posizioni in cui non era stato effettuato alcun rilievo sperimentale. In questo modo è stato possibile elaborare le curve isopiezometriche e di isoconducibilità.

Le curve isopiezometriche, dette anche isoidroipse, sono quelle curve immaginarie che congiungono punti avente uguale quota piezometrica, espressa in m s.l.m.m.. Si tratta quindi di linee equipotenziali, ovvero di uguale carico piezometrico, alle quali risultano perpendicolari le linee di corrente. Queste ultime, dette anche linee di flusso, rappresentano le traiettorie che percorrono le particelle d'acqua in movimento; la rete di flusso così costruita consente di stabilire le direzioni di scorrimento delle acque di falda. Le curve di isoconducibilità sono quelle curve immaginarie che congiungono punti di eguale valore di conducibilità elettrica delle acque sotterranee, espresse nel nostro caso in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Come primo tentativo di elaborazione si è scelto di utilizzare la profondità dei pozzi come elemento discriminante assieme alla geologia di superficie.

Mentre per la zona meridionale, dove affiorano le vulcaniti si era praticamente sicuri dell'esistenza di un unico sistema acquifero, per la zona di piana, la necessità di aggregare i pozzi secondo la loro profondità è derivata dalle seguenti semplici ipotesi preliminari:

- presenza fino alla profondità di 15 m di un acquifero superficiale libero, ospitato nei depositi quaternari (?);
- presenza fino alla profondità di 50 m, di un acquifero confinato, ospitato nella serie carbonatica del Cretaceo (?);
- presenza a profondità maggiore di 50 m, di un acquifero ospitato nella serie carbonatica del Giurese (?) o del Trias (?).

Una volta aggregati i pozzi secondo queste tipologie, sono state eseguite ulteriori considerazioni per verificare, per esempio, che non esistessero incongruenze eclatanti sulle quote piezometriche di pozzi vicini aventi la stessa profondità.

Per le elaborazioni, le informazioni estrapolate dal data base sono state le seguenti: coordinate chilometriche UTM, quote piezometriche, profondità dei pozzi e valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee. Per le elaborazioni è stato utilizzato il metodo del Kriging. Tale metodo è specificatamente una tecnica di interpolazione geostatistica che utilizza come pesi i valori dedotti da un modello fittato ad un variogramma, cioè un diagramma che descrive l'andamento dello scarto quadratico medio fra i valori dei punti in funzione della loro reciproca distanza.

Il Kriggaggio, attraverso la risoluzione di un complicato sistema di equazioni, si propone due obiettivi: la somma dei residui (valori stimati meno valori reali) deve essere uguale a zero; la varianza delle stime deve essere minimizzata. Un altro vantaggio del metodo è quello di permettere di considerare alcune proprietà intrinseche alla natura dei dati o alle modalità di campionamento come, rispettivamente, la presenza

di anisotropie nelle correlazioni o la sovrabbondanza di valori in alcune aree. Per le elaborazioni si è usato tale metodo in quanto si presta meglio all'interpolazione di dati non uniformemente distribuiti, come nel caso nostro.

Per le elaborazioni delle curve isopiezometriche relative ai pozzi superficiali e medi superficiali sono stati aggiunti dei punti fittizi ubicati nella linea di costa a quota piezometrica zero, in quanto questa è una approssimazione della situazione reale per un acquifero a superficie libera; mentre per le elaborazioni sui pozzi medi profondi e profondi non sono stati utilizzati punti fittizi. Specificando il set di dati puntuali di partenza, il programma utilizzato costruisce il GRID (griglia) utilizzando il metodo di interpolazione scelto. È importante sottolineare la scelta del variogramma Linear, nel caso di elaborazioni con il Krigging, perché è quello che rappresenta il miglior compromesso per la maggior parte delle distribuzioni di valori. I file relativi alle singole elaborazioni, una volta implementati in ambiente GIS, sono stati convertiti nei formati shape e dbf. In questo modo è stato possibile, importando come tematismi le elaborazioni sulle piezometriche e sulle isoconducibilità, visualizzarle in sovrapposizione agli altri tematismi come la geologia, la topografia ecc..

Partendo dai valori di quota piezometrica e conducibilità elettrica rilevati sui pozzi inseriti nel database del censimento, sono state condotte diverse elaborazioni che interpolassero i dati puntuali ottenendo delle curve isopiezometriche ed isoconduttive relative alle diverse categorie di profondità. Di seguito si riporta lo schema delle elaborazioni condotte sui pozzi del censimento, denominati secondo il nome del file d'origine:

- pozzi\_superficiali: elaborazione delle isopiezometriche relative ai pozzi superficiali (profondità  $\leq 15$  m) che ricadono nel Quaternario. Per l'elaborazione sono stati considerati dei punti fittizi a quota piezometrica zero ubicati sulla linea di costa;
- pozzi\_superficiali\_cond: elaborazione delle isoconducibilità, standardizzate a 25 °C, relative ai pozzi superficiali (profondità  $\leq 15$  m) che ricadono nel Quaternario;
- pozzi\_medi\_superficiali: elaborazione delle isopiezometriche relative ai pozzi con profondità  $< 50$  m che ricadono nel Quaternario. Per l'elaborazione sono stati considerati dei punti fittizi a quota piezometrica zero ubicati sulla linea di costa;
- pozzi\_med\_superficiali\_cond: elaborazione delle isoconducibilità, standardizzate a 25 °C, relative ai pozzi con profondità  $< 50$  m che ricadono nel Quaternario;
- pozzi\_profondi: elaborazione delle isopiezometriche relative ai pozzi con profondità  $\geq 50$  m, esclusi quelli che ricadono nelle vulcaniti e nel Miocene di Uri e Ittiri;
- pozzi\_profondi\_cond: elaborazione delle isoconducibilità, standardizzate a 25 °C, relative ai pozzi con profondità  $\geq 50$  m, esclusi quelli che ricadono nelle vulcaniti e nel Miocene di Uri e Ittiri;
- pozzi\_med\_profondi: elaborazione delle isopiezometriche relative ai pozzi con profondità  $> 15$  m che ricadono nel Quaternario e nei calcari della Nurra;
- pozzi\_med\_profondi\_cond: elaborazione delle isoconducibilità, standardizzate a 25 °C, relative ai pozzi dell'elaborazione precedente;
- pozzi\_vulcaniti: elaborazione delle isopiezometriche relative ai pozzi, esclusi quelli molto superficiali (profondità  $< 5$  m), che ricadono nelle vulcaniti;
- pozzi\_vulcaniti\_cond: elaborazione delle isoconducibilità, standardizzate a 25 °C, relative ai pozzi, esclusi quelli molto superficiali, che ricadono nelle vulcaniti.

Nell'elenco soprastante si possono osservare alcune modifiche rispetto alla suddivisione degli acquiferi pensata originariamente: al termine del censimento, infatti, si è constatata la sostanziale difficoltà o l'impossibilità di distinguere gli acquiferi di media profondità (15-50 m) da quelli superficiali e da quelli profondi. Spesso i pozzi superficiali sono di tipo trivellato, con profondità al limite tra le categorie *superficiale* e *medio*, ma con caratteristiche (qualità dell'acqua e produttività) che li collocano tra i medi. Viceversa, numerosi pozzi medi, intestati su falde detritiche o coltri alluvionali, pur avendo profondità superiori a quelle stabilite dalla classificazione, riportano caratteristiche tipiche dei pozzi superficiali (non di rado si sono individuati pozzi a largo diametro profondi più di 15 m). La stessa problematica si è riscontrata nella distinzione tra *medi* e *profondi*, appurando che frequentemente pozzi di media profondità intercettano gli stessi acquiferi di quelli con profondità ben più elevate.

In prima istanza, quindi, si è deciso di suddividere i pozzi di media profondità in due categorie: *medi-superficiali*, nei casi di evidente affioramento di litotipi quaternari e *medi-profondi*, nei casi di affioramento prossimale di formazioni mesozoiche di elevata potenza. Nelle figure seguenti sono riportati i risultati delle prime elaborazioni, espressi in forma di carte delle isopieze e delle isoconduttive. Come si osserva nei draft degli elaborati grafici (figura 9.8), la distribuzione dei pozzi superficiali è concentrata sulle zone più depresse, nelle quali sono più frequenti e potenti i depositi quaternari in facies alluvionale ed eolica. Gli assi di drenaggio convergono verso lo stagno Calich con cadenti idrauliche ridotte in prossimità del settore centrale della piana e minimi pronunciati in corrispondenza dei pozzi 24C e 114C.

L'estrema discontinuità areale delle formazioni quaternarie, però, induce molta cautela sull'estensione dei risultati ad un'area così vasta. La carta delle isoconduttività mostra, infatti, aree a conducibilità assai diverse: in prossimità della costa si evidenziano pozzi con conducibilità elettrica superiore a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (7C e 10C) (probabilmente imputabili a fenomeni di intrusione salina facilitata dalla vicinanza di uno stagno), contigui a pozzi (5C) con valori inferiori a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

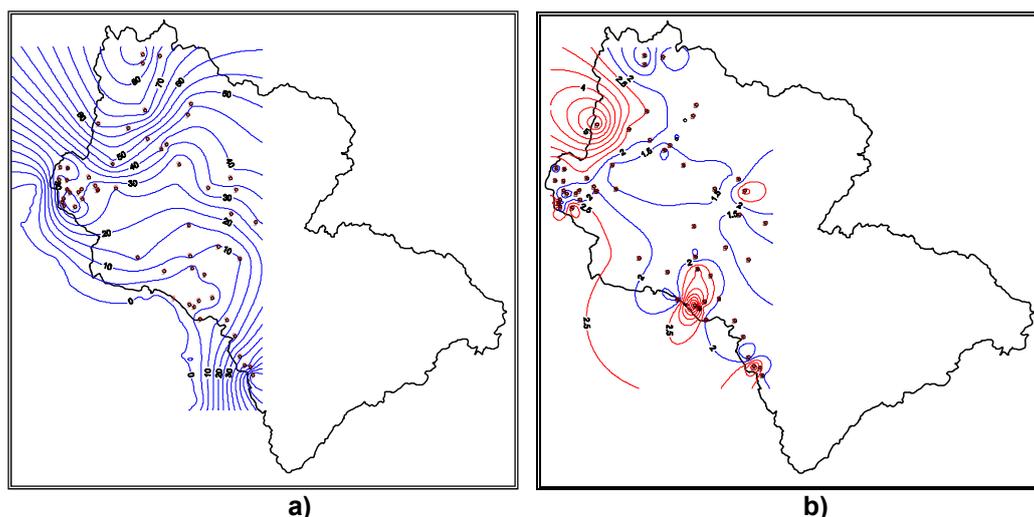


Figura 9.8 - Carte delle isopieze (m s.l.m.m.) (a) e delle isoconduttive (b) dei pozzi superficiali (in rosso le isoconduttività con valori > di 2,5 mS/cm)

Variazioni repentine si hanno anche su aree più interne e con piezometriche non depresse: i pozzi 105C, 47S e 111S, infatti, riportano valori di conducibilità assai elevati mentre i vicini pozzi 24S, 113S e 102C fanno registrare valori normali. Tale anomalia si può inquadrare in un vasto contesto geologico, assai vario nella tipologia deposizionale e nella distribuzione dei litotipi: si è riscontrato, ad esempio, che alcuni pozzi (111S), le cui acque presentavano elevati valori di conducibilità elettrica, erano ubicati su formazioni continentali calcaree (travertini) le quali, talvolta, rilasciano nelle acque di circolazione elevati tenori di cloruri, accumulati durante la fase di deposizione e presumibilmente attribuibili al chimismo originario della roccia madre.

L'irregolare distribuzione dei valori di conducibilità si è confermata ed accentuata nell'elaborazione dei dati sui pozzi profondi (figura 9.9), i quali, mostrano una distribuzione delle anomalie a macchia di leopardo: se in prossimità della costa la diffusione di elevate anomalie può trovare parziale giustificazione in modesti fenomeni di intrusione salina (pozzo 20C), nei pozzi a Nord del bacino (84C, 89C, 45S, 92C, ecc), tale interpretazione appare infondata a causa della notevole distanza dalla costa e dell'elevata quota piezometrica. In corrispondenza dei suddetti pozzi, inoltre, si rileva la presenza di calcari del Trias (affioranti e/o ipogei) intercalati da facies evaporitiche, le quali, nella fattispecie, mostrano di influenzare negativamente la qualità generale delle acque sotterranee per la presenza di elevati tenori di cloruri e solfati (facilmente solubili).

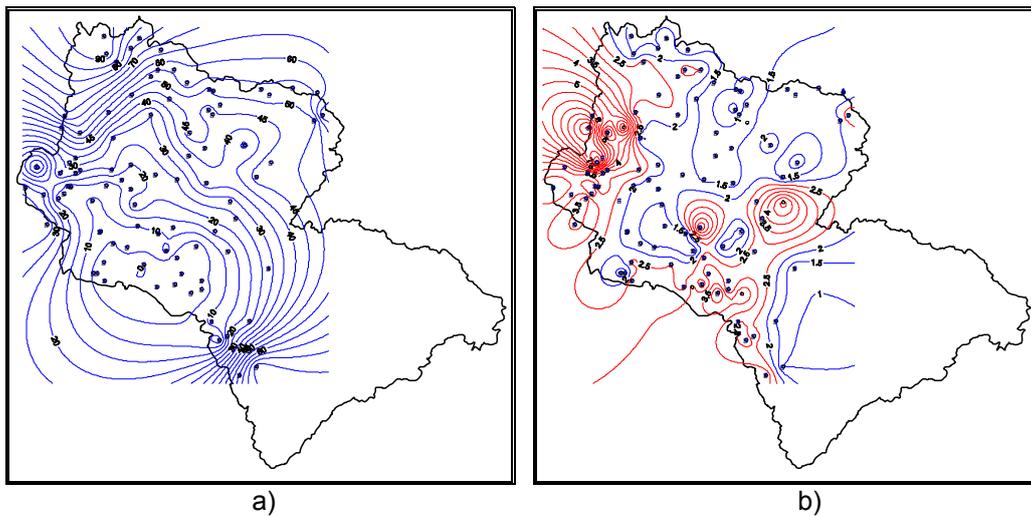
Gli scenari descritti in precedenza hanno trovato ulteriore conferma nelle elaborazioni condotte sui pozzi medi-superficiali e medi-profondi (figure 9.10 e 9.11). Entrambi i gruppi hanno mostrato una certa uniformità nella definizione dei principali assi di drenaggio, pur con alcuni casi di depressione della piezometrica al di sotto del livello medio del mare per alcuni pozzi ubicati in prossimità della costa (1C, 11C e 15C). In particolare, il pozzo 15C faceva registrare una quota piezometrica (statica) di - 6,25 m s.l.m.m., alla quale si associava un valore di conducibilità di 5660  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Data l'entità dell'anomalia si è ritenuto opportuno verificare la quota reale del pozzo mediante un rilievo topografico di dettaglio, compiuto con strumenti ad elevata precisione, ottenendo una conferma del dato rilevato in prima battuta.

Il confronto tra le due elaborazioni mostra la singolare sovrapponibilità delle isopieze relative agli acquiferi medio-superficiali e medio-profondi, pur essendo, secondo le ipotesi di partenza, il primo un acquifero freatico ed il secondo uno confinato (si noti, in figura 9.11, la presenza di una isopiezometrica a quota 0 lungo la linea di costa).

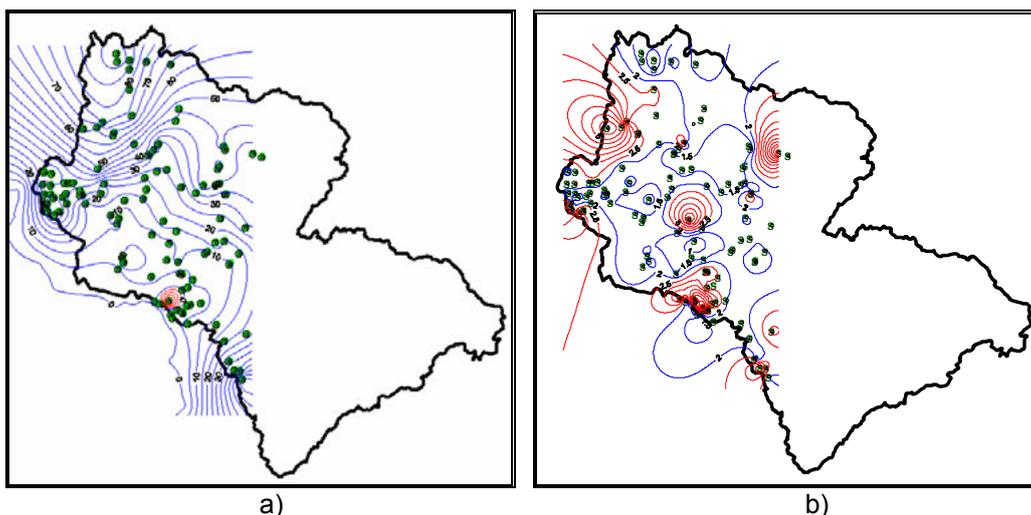
La sovrapponibilità si ripresenta anche all'esame delle isoconducibilità, ove si evidenziano zone a conducibilità elevata in prossimità dello stagno, nella zona a Nord del bacino e su alcune aree centro-meridionali della piana. Riesaminando anche le carte di isoconducibilità dei pozzi profondi e superficiali, si osserva una buona corrispondenza con quanto descritto, a conferma della suddivisibilità degli acquiferi non per classi di profondità, ma per zone circoscritte facenti capo a precisi contesti idrogeologici.

I pozzi distribuiti sulle vulcaniti meritano un discorso a parte: essi, infatti, sono intestati su litotipi uniformemente distribuiti, con potenze crescenti verso SW e dotati di permeabilità modesta. Siffatta circostanza ha indotto ad ipotizzare un acquifero multistrato, con strati confinanti rappresentati da livelli piroclastici in facies vitrofirica e tufaceo-cineritica. Il contatto con i sottostanti calcari mesozoici è stato rinvenuto di rado durante le perforazioni ed è circoscritto alle aree più prossime alla piana.

Le elaborazioni in figura 9.12 mostrano un asse di drenaggio orientato, ovviamente, verso la piana e raccordato con gli acquiferi ivi presenti (figure. 9.8, 9.9, 9.10 e 9.11). Può essere anche ipotizzata una loro parziale comunicazione. Il notevole dislivello tra la piana ed il massiccio vulcanico giustifica l'elevato gradiente piezometrico. Le conducibilità elettriche appaiono piuttosto elevate in corrispondenza del settore nord-occidentale dell'altopiano ignimbrico, ove si supera abbondantemente il valore di  $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$  (pozzi 139S, 178S e 185S). In prima approssimazione, una simile anomalia può trovare spiegazione nel litotipo fortemente modificato da diffusi fenomeni idrotermali.



**Figura 9.9 - Carte delle isopiezze (m s.l.m.m.) (a) e delle isoconduttive (b) dei pozzi profondi (in rosso le isoconduttività con valori > di 2,5 mS/cm)**



**Figura 9.10 - Carte delle isopiezze (m s.l.m.m.) (a) e delle isoconduttive (b) dei pozzi medi-superficiali (in rosso le isoconduttività con valori > di 2,5 mS/cm)**

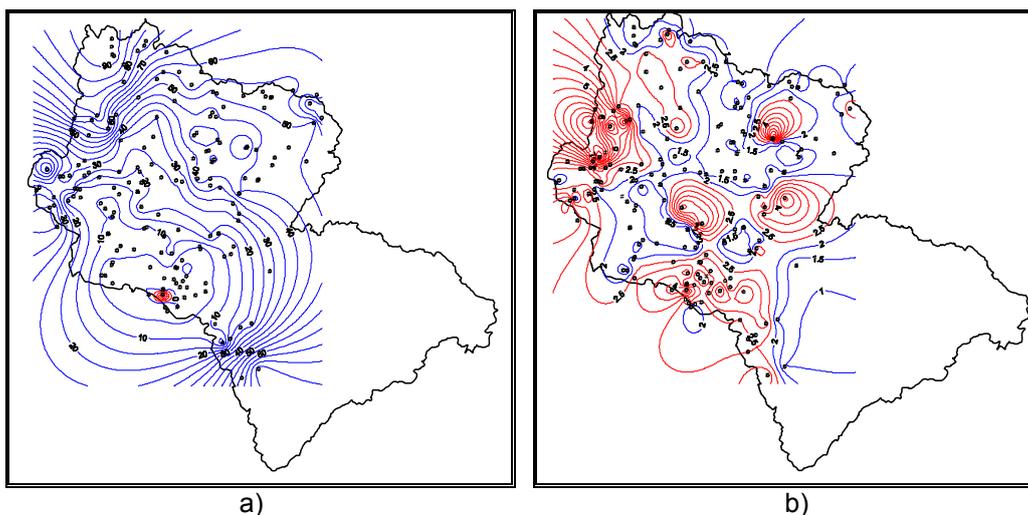


Figura 9.11 - Carte delle isopieze (m s.l.m.m.) (a) e delle isoconduttive (b) dei pozzi medi-profondi (in rosso le isoconduttività con valori > di 2,5 mS/cm)

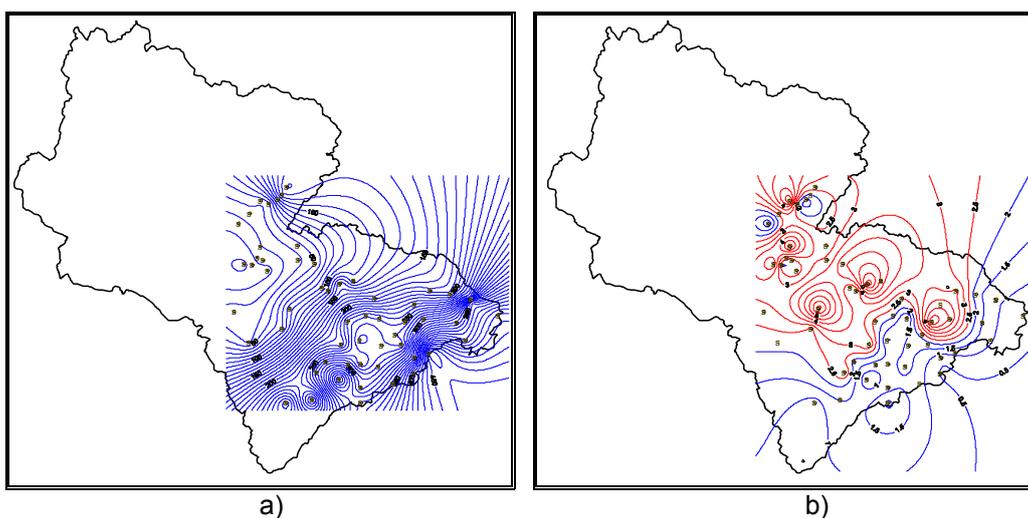


Figura 9.12 - Carte delle isopieze (m s.l.m.m.) (a) e delle isoconduttive (b) dei pozzi sulle vulcaniti (in rosso le isoconduttività con valori > di 2,5 mS/cm)

#### 9.4 Campionamento orientativo (giugno 2004)

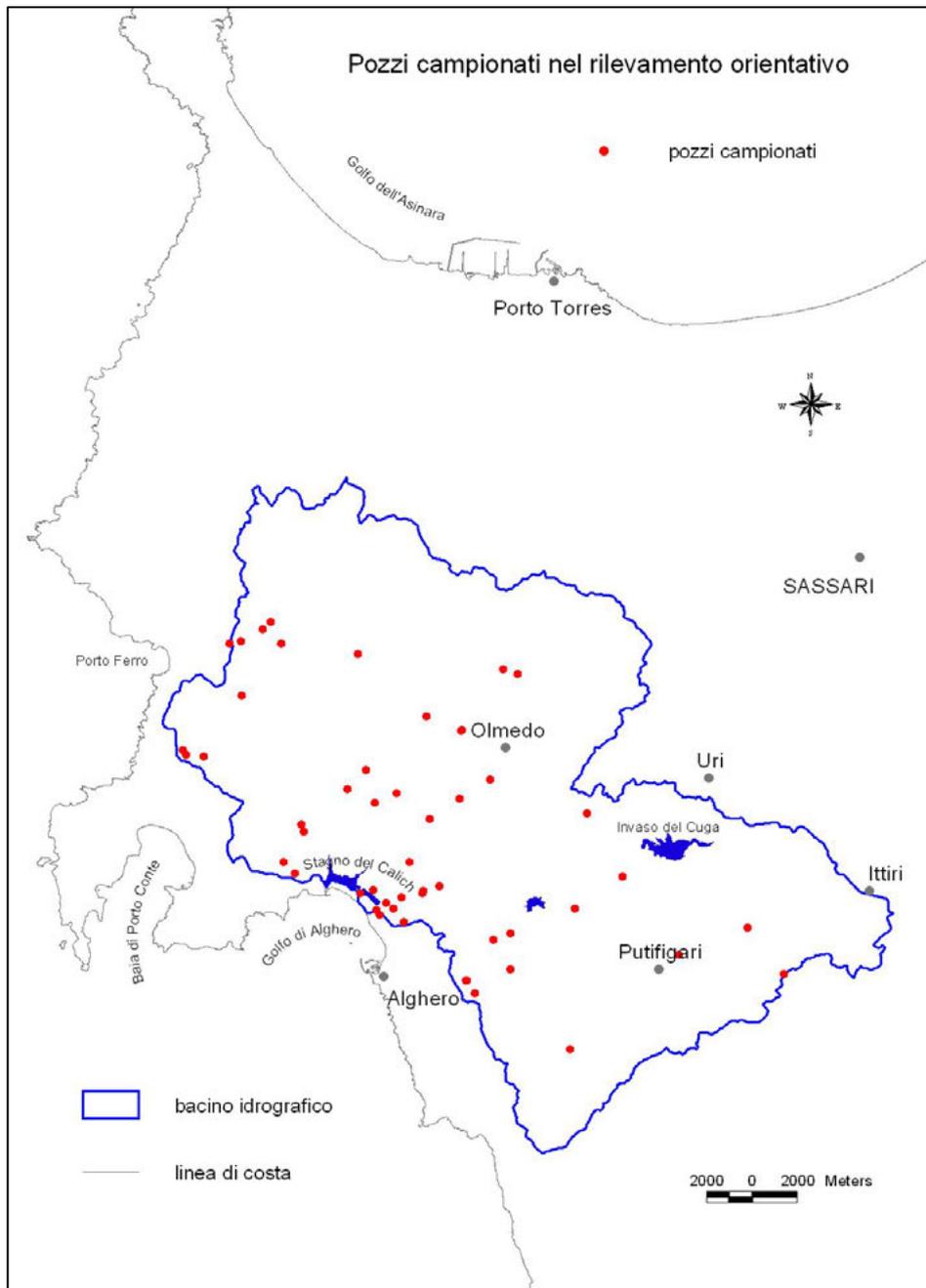
La distribuzione e l'orientamento delle isoconduttività e delle isopiezometriche ha indotto quindi a rivedere l'originaria suddivisione degli acquiferi adottata come canone selettivo durante il censimento e fondata su criteri geometrici di sovrapposizione delle falde, in stretta dipendenza con la profondità.

Le numerose anomalie di conducibilità e di quota piezometrica hanno rappresentato il punto di partenza per un approfondito riesame dell'assetto idrogeologico del bacino, volto ad una più precisa individuazione e caratterizzazione degli acquiferi.

A tale scopo è stato programmato un *campionamento orientativo*, integrato da misure speditive, condotto su 52 pozzi (figura 9.13 e tabella 9.2) ritenuti rappresentativi al fine di comprendere meglio le anomalie. Il campionamento è stato eseguito tra il 5 maggio ed il 9 giugno del 2004.

**Tabella 9.2 - Elenco dei 52 pozzi selezionati per il campionamento orientativo**

ID_POZZO	UTM_EST	UTM_NORD	USO	DATA_MIS	QUOTA_PIEZ m s.l.m.	T °C	COND 25°C $\mu S/cm$	pH
3S	434439	4493917	irriguo soccorso	13-may-2004 00:00:00	41,47	18,6	1360	7,1
4S	434426	4493904	irriguo soccorso	13-may-2004 00:00:00	40,58	19,4	1060	6,9
6S	433652	4493977	irriguo soccorso	14-may-2004 00:00:00	35,22	19,8	1400	7,2
7S	433512	4500216	irriguo soccorso	13-may-2004 00:00:00	35,27	19,1	4070	6,5
31S	436089	4502596	irriguo soccorso	13-may-2004 00:00:00	33,52	24,2	8520	7,6
47S	436043	4505017	disuso	13-may-2004 00:00:00	62,00	19,6	3630	6,6
48S	435563	4504909	disuso	13-may-2004 00:00:00	51,51	22,5	8460	6,9
53S	437354	4505854	zootecnico	13-may-2004 00:00:00	80,03	17,1	2554	7,1
11S	445700	4501040	domestico	13-may-2004 00:00:00	32,35	19,8	2000	6,8
112S	445725	4501085	domestico,irriguo	13-may-2004 00:00:00	33,79	20,6	320	7,2
127S	448173	4503558	domestico	11-may-2004 00:00:00	45,64	18,3	846	7,0
150S	447551	4503778	irriguo,zootecnico	11-may-2004 00:00:00	36,53	19,6	6646	6,7
157S	451199	4497403	irriguo	09-jun-2004 00:00:00	47,13	21,2	2610	7,0
167S	452777	4494629	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	91,86	23,0	4340	6,6
178S	458227	4492364	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	248,26	22,9	4420	6,4
181S	455244	4491162	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	274,62	21,2	1650	6,5
185S	450681	4493224	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	86,80	23,0	5570	7,0
192S	459805	4490314	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	471,56	20,3	1060	6,4
4C	441986	4493156	disuso	13-may-2004 00:00:00	2,20	20,0	4080	7,2
5C	441300	4493865		11-may-2004 00:00:00	1,08	24,0	1250	7,0
7C	442425	4493474	zootecnico	13-may-2004 00:00:00	1,70	19,3	5000	7,5
9C	442133	4492920	irriguo	11-may-2004 00:00:00	3,06	25,6	1300	6,9
10C	443097	4493714	irriguo,domestico	14-may-2004 00:00:00	3,79	18,5	3160	7,1
12C	442727	4493209	disuso	13-may-2004 00:00:00	3,04	18,3	3260	7,7
15C	441833	4494014	domestico	11-may-2004 00:00:00	1,80	22,8	4500	6,7
21C	443428	4495249	zootecnico,irriguo	14-may-2004 00:00:00	1,67	24,2	3020	8,2
31C	443174	4492598	irriguo,domestico	14-may-2004 00:00:00	9,56	22,7	1530	6,5
40C	441907	4497874	irriguo	11-may-2004 00:00:00	14,01	23,5	1150	6,6
41C	440726	4498473	disuso	11-may-2004 00:00:00	13,80	20,5	1730	6,8
43C	442866	4498284	disuso	11-may-2004 00:00:00	13,70	21,8	4850	7,4
45C	441516	4499305	irriguo	14-may-2004 00:00:00	19,87	20,8	5750	6,6
47C	438711	4496325	irriguo	11-may-2004 00:00:00	14,25	21,0	1490	6,6
48C	438804	4496590		11-may-2004 00:00:00	16,30	20,4	2410	7,4
49C	438411	4494774	disuso	09-jun-2004 00:00:00	1,42	22,9	3040	6,4
59C	437925	4495258	irriguo	14-may-2004 00:00:00	3,90	20,6	1230	6,9
69C	441183	4504435	irriguo,zootecnico	11-may-2004 00:00:00	30,88	19,6	3670	6,2
84C	437827	4504905	disuso	13-may-2004 00:00:00	67,93	23,0	6970	7,6
93C	437000	4505525	irriguo	12-may-2004 00:00:00	68,17	17,4	4845	6,8
97C	447097	4491843	domestico,irriguo	11-may-2004 00:00:00	23,26	19,0	3021	6,8
102C	445954	4490038	disuso	14-may-2004 00:00:00	35,98	20,0	770	7,0
103C	445898	4490039	irriguo,domestico	14-may-2004 00:00:00	34,52	22,5	2280	6,4
104C	447855	4490519	zootecnico	11-may-2004 00:00:00	50,74	17,6	5461	7,4
105C	446290	4489455	irriguo,domestico	11-may-2004 00:00:00	40,05	19,6	3899	6,7
110C	447867	4492102	domestico	11-may-2004 00:00:00	19,25	21,1	1351	6,3
114C	444021	4493894	disuso	12-may-2004 00:00:00	2,28	16,5	1301	7,9
115C	444051	4493984	disuso	12-may-2004 00:00:00	3,15	19,2	4309	6,9
116C	444735	4494202	disuso	14-may-2004 00:00:00	2,58	23,1	2050	6,6
120C	444322	4497178	irriguo,zootecnico	12-may-2004 00:00:00	6,38	18,3	1667	6,7
129C	445630	4498032		12-may-2004 00:00:00	14,15	17,9	1466	6,8
131C	444186	4501685	irriguo	13-may-2004 00:00:00	42,34	20,7	1280	7,2
139C	446968	4498889	disuso	11-may-2004 00:00:00	24,68	19,8	1801	7,2
152C	450451	4486399	zootecnico	09-jun-2004 00:00:00	288,50	22,3	1020	6,1



**Figura 9.13 - Ubicazione dei pozzi campionati nel rilevamento orientativo**

Contestualmente alle misure in situ ed al prelievo di campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche in laboratorio, è stata approfondita la correlazione tra anomalie di conducibilità elettrica e geologia di superficie attraverso un rilievo geologico di maggior dettaglio nei siti di ubicazione dei pozzi. Le analisi chimico-fisiche, eseguite in laboratorio, hanno consentito di disporre di informazioni di maggior dettaglio, che hanno fornito prime importanti indicazioni sui principali acquiferi del bacino.

## 9.5 Elaborazioni dei dati: Il fase

Al fine di ipotizzare il modello concettuale degli acquiferi sono stati realizzati sette profili idrogeologici, secondo orientazioni N-S e E-W, correlando i risultati delle analisi idrochimiche, effettuate sui campioni prelevati nel giugno 2004, con i dati piezometrici e le informazioni di carattere geologico e stratigrafico.

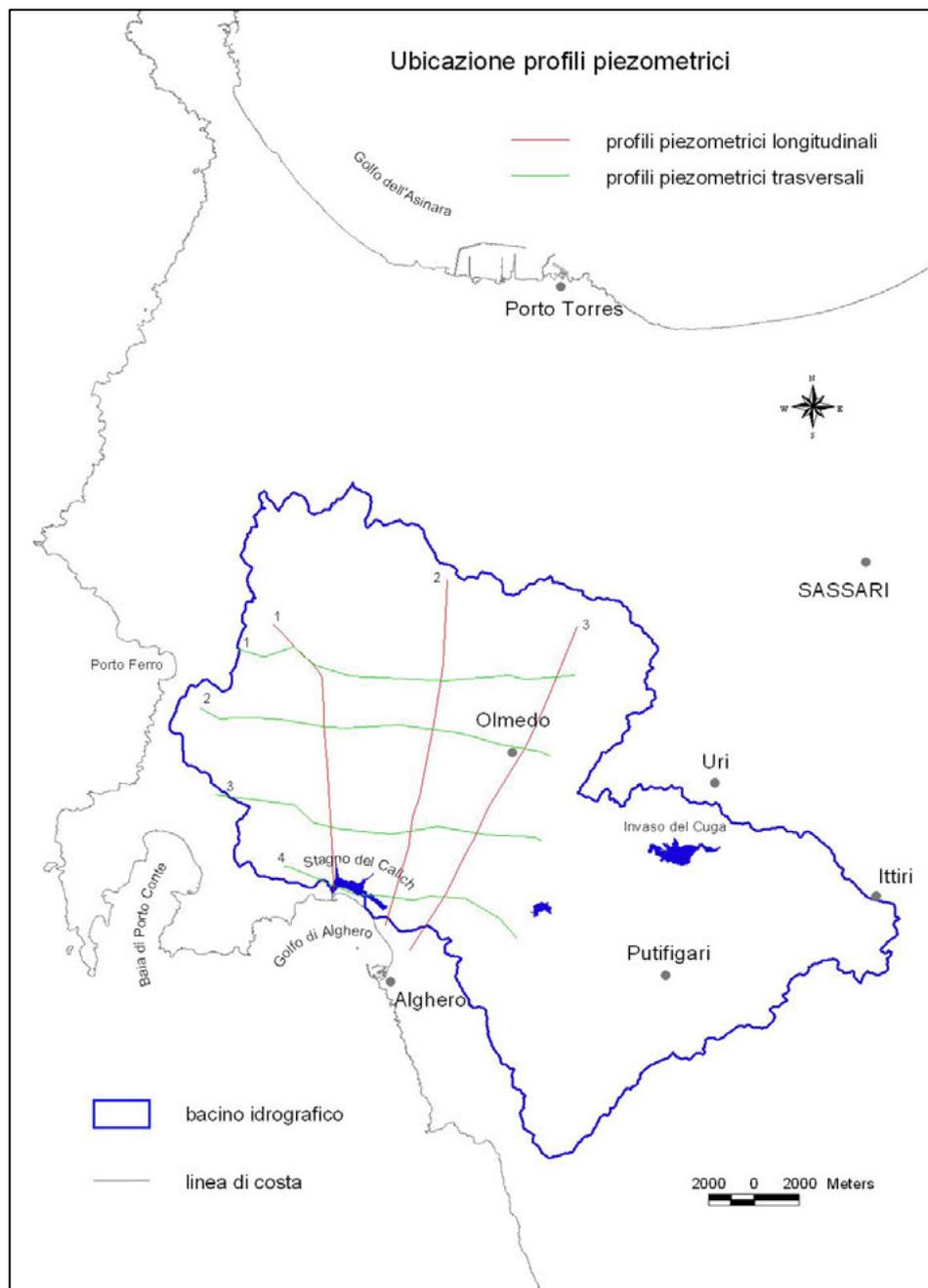
I segmenti corrispondenti alla posizione di ciascun pozzo ne riportano schematicamente la quota piezometrica, la profondità e l'intervallo di conducibilità elettrica, secondo le quattro classi cromatiche riportate in legenda. Sul profilo sono ubicate anche alcune stratigrafie, reperite presso gli enti citati nel Capitolo 2, digitalizzate e scalate alla dimensione del disegno, al fine di agevolare l'interpretazione della geologia di superficie ed il riconoscimento delle unità idrogeologiche.

Le informazioni sono distribuite su aree piuttosto vaste e con differente grado di dettaglio (la base geologica, al momento della elaborazione, è relativa a quella del Servizio Geologico Nazionale in scala 1:100000). Si vuole quindi precisare che i seguenti profili sono stati elaborati nelle prime fasi del progetto e pertanto sono da considerarsi delle bozze. I colori utilizzati sui profili topografici sono relativi alle formazioni riportate nella Carta Geologica del Servizio Geologico Nazionale. Comunque, queste prime elaborazioni hanno permesso di indirizzare le successive fasi dei rilievi idrogeologici e le interpretazioni finali.

Come si osserva in figura 9.14, i profili sono stati ubicati sull'area della piana, secondo orientazioni parallele ed ortogonali alle direzioni di flusso delle acque sotterranee e dove si sono riscontrate le maggiori anomalie di conducibilità elettrica. In particolare, si è constatata la presenza di acque con conducibilità elevate (non di rado superiori a 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) in corrispondenza degli affioramenti del Trias. Nelle formazioni del Keuper, infatti, sono documentati livelli evaporatici costituiti da solfati e cloruri estremamente solubili, i quali innalzano il tenore di cationi ed anioni nelle acque con conseguente, e talvolta cospicuo, aumento dei valori di conducibilità elettrica.

Il dato è stato ulteriormente confermato dalle analisi di laboratorio, le quali hanno rivelato elevati tenori di cloruri e solfati nelle acque prelevate dai pozzi impostati sul presunto acquifero triassico, quali, ad esempio, il pozzo 84C, presente nel profilo L1 (figura 9.15). Quest'ultimo, partendo dai piedi del rilievo paleozoico di M.te Forte, attraversa il lato Ovest della piana, arrestandosi sulla spiaggia di Maria Pia, oltre il perimetro del bacino idrografico, per una lunghezza totale di circa 12,5 km. Partendo da Nord, parzialmente occultate dalla debole coltre quaternaria, si individuano le metamorfite paleozoiche di M.te Forte, sostanzialmente impermeabili, con un rapido passaggio al soprastante Permo-Trias sedimentario della piana (Buntsandstein, Muschelkalk e Keuper), che evolve da arenarie rossastre e conglomerati a dolomie e calcari marnosi con le sottili intercalazioni degli orizzonti gessosi.

I dati di campagna e le successive analisi sui campioni di laboratorio confermano la diretta influenza di questi ultimi sull'acquifero su cui sono intestati i pozzi 83C e 84C: il contatto tra filladi e calcari, infatti, è ubicato a monte dei suddetti pozzi, ed immerge verso S-SE: la conducibilità elettrica rilevata sul campione prelevato dal pozzo 84 C misurava 5990  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Proseguendo verso Sud, lungo il profilo si individua il contatto tra Trias e Giura, nei pressi del rilievo di *Sa coa de su soldau*.



**Figura 9.14 - Ubicazione dei profili idrogeologici**

La formazione giurassica, costituita da alternanze di calcari e dolomie, è sede di un acquifero che si differenzia nettamente dal precedente: l'acqua presenta una conducibilità raramente superiore a  $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$  ed in laboratorio è stato riscontrato, mediamente, un contenuto di cloruri e solfati modesto. Tale peculiarità si rileva, ad esempio, nei pozzi 53C, 57C, 76C, 89 C e 39S ed emerge netta sul Profilo Longitudinale 2 (figura 9.16).

Quest'ultimo collega i pozzi distribuiti lungo un allineamento N-S, che parte dai pressi del rilievo dolomitico di M.te Nurra, attraversa l'intera piana e si arresta poco a Sud dello stagno del Calich, sulla spiaggia all'esterno del Bacino, per una lunghezza complessiva di circa 15,5 km. I pozzi ubicati sul calcare giurassico (81S, 90S, 91S e 114S), affiorante sino a M.te Uccari, mostrano caratteri chimico-fisici assai simili, con conducibilità costantemente inferiori ai 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pur se intestati a profondità notevolmente diverse tra di loro. Le stratigrafie ubicate lungo il profilo, benché scarsamente dettagliate, confermano la presenza di un potente substrato calcareo, da compatto ad estremamente fessurato. Dalle numerose stratigrafie e dalla profondità media dei pozzi è lecito supporre un notevole aumento del grado di carsificazione della roccia a quote mediamente inferiori a -80 m s.l.m.. Come affermato in precedenza, comunque, il chimismo delle acque si è rivelato l'unico fattore discriminante utilizzabile per la distinzione degli acquiferi impostati su calcari mesozoici.

L'affioramento del Quaternario, a Sud di M.te Nurra, favorito probabilmente da una depressione di origine tettonica, occulta parzialmente l'ammasso roccioso sano, ma i pozzi (107S e 109S) registrano ugualmente conducibilità delle acque non superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e un chimismo simile a quello descritto per i pozzi precedenti, evidenziando la continuità dell'acquifero giurassico che si protrae senza soluzione di continuità sino ai pozzi 131C e 77C. L'affioramento di rocce ignimbritiche in corrispondenza del pozzo 109S, di potenza trascurabile, conferma l'esistenza del suddetto basso tettonico colmato durante il ciclo eruttivo oligo-miocenico, del quale oggi persistono i relitti sfuggiti all'erosione. Proseguendo verso Sud, dal pozzo 43C, la situazione muta radicalmente e si osservano valori di conducibilità raramente inferiori ai 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Il rilevamento della geologia in situ ha messo in luce numerosi affioramenti di calcare marnoso del Cretaceo, parzialmente confermati dalla carta geologica, che giustificano le suddette anomalie dovute, evidentemente, alla elevata componente marnosa dei banchi calcarei. Il pozzo 43C, inoltre, presentava una quota piezometrica di circa 12 m s.l.m.m., escludendo qualunque forma di depressione della falda con richiamo di acque salmastre. Dal pozzo 32C in poi, invece, la situazione appariva meno chiara, avendosi valori alti di conducibilità in zone con frequenti affioramenti di marne cretache, ma anche quote piezometriche piuttosto depresse. Occorre ricordare, infine, che il particolare assetto tettonico del bacino associa macrostrutture di tipo plicativo orientate sia N-S che E-W: queste ultime, in particolare, avrebbero favorito l'affioramento, in prossimità della costa (litorale di Alghero), di scaglie del Trias, *strizzate* ed espulse lungo i bordi delle mega-pieghe. Non è da escludersi, quindi, l'influenza di eventuali livelli gessosi sul chimismo delle acque di alcuni pozzi costieri. Sul bordo orientale della piana, con andamento NE-SW, è stato ubicato il terzo ed ultimo profilo longitudinale, il quale ha inizio in località Badde Rebuddu, sfiora l'abitato di Olmedo e si interrompe anch'esso oltre il limite del bacino, lungo la costa a Sud di Alghero (La Pietraia), per un totale di 15,7 km (figura 9.17).

Il profilo longitudinale 3 ha consentito di verificare i rapporti tra le acque circolanti nelle vulcaniti e quelle circolanti nei calcari, nonché di approfondire l'influenza dei litotipi del Cretaceo sulla qualità degli acquiferi. La carta geologica mostra l'affioramento di una coltre ignimbritica di potenza modesta. Ciò si deduce da una semplice considerazione: mentre il pozzo 208S mostra valori di conducibilità inferiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , il successivo pozzo 210S, più profondo, si attesta su valori superiori a 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , denunciando la presenza dell'acquifero cretaceo.

S

N

- Cond. < 2.0 mS/cm
- 2.0 mS/cm < Cond. < 2.5 mS/cm
- 2.5 mS/cm < Cond. < 4.0 mS/cm
- Cond. > 4.0 mS/cm

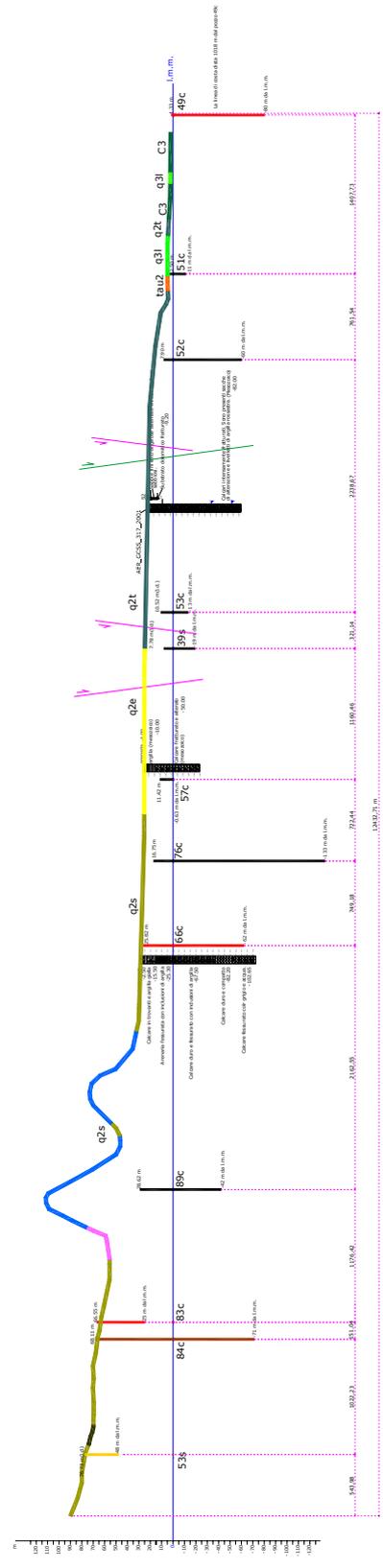


Figura 9.15 - Profilo longitudinale 1

S

# Profilo\_longitudinale\_2

N

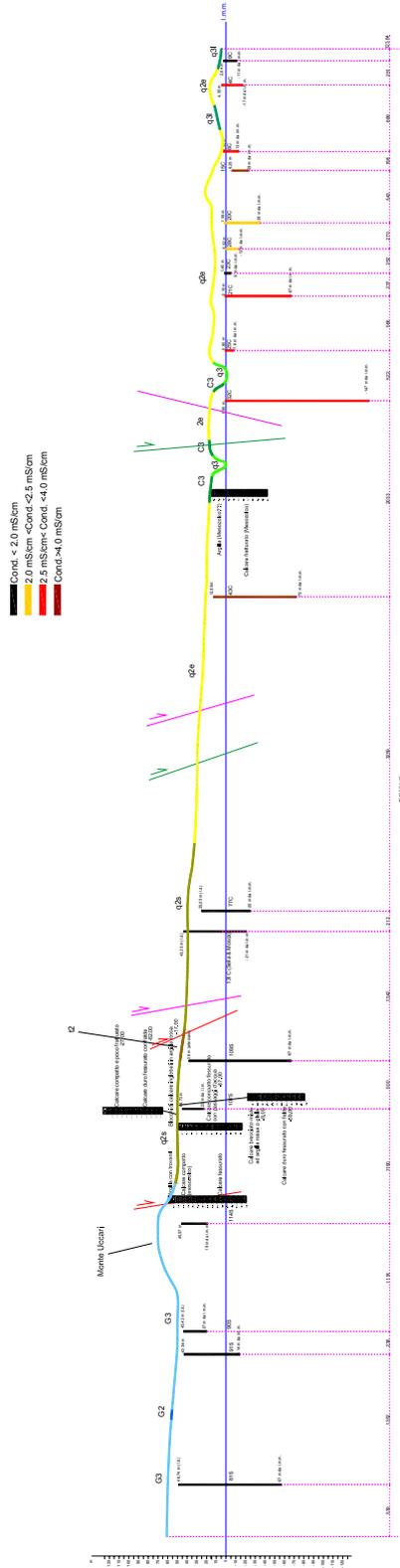


Figura 9.16 - Profilo longitudinale 2

# Profilo\_longitudinale\_3

S

N

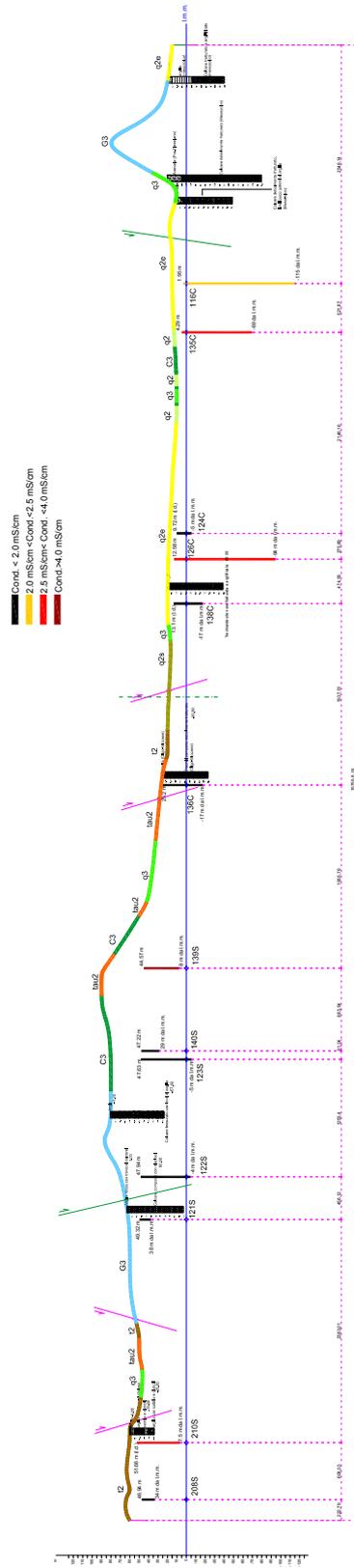


Figura 9.17 - Profilo longitudinale 3

Il pozzo 208, con profondità inferiore a 26 m, non attinge quindi dal suddetto acquifero: la differenza di profondità tra i due pozzi fornisce un'efficace chiave di lettura dei rapporti stratigrafici ed idrogeologici tra vulcaniti e calcari mesozoici. La prosecuzione del profilo conferma la presenza di un acquifero impostato sui calcari del giurassico, evidenziato da valori di conducibilità piuttosto bassi, spesso inferiori a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , che caratterizzano i pozzi 121S, 122S, 123S e 140S. Gli ultimi due, benché ubicati sul Cretaceo affiorante, sono impostati nell'acquifero sottostante del Giura.

Le caratteristiche dell'acquifero del Cretaceo riemergono vistosamente dal pozzo 139S in cui si registrano elevatissimi tenori di sali disciolti, riconducibili in parte all'acquifero marnoso.

Oltre il pozzo 139S, i valori sono più bassi e tendenzialmente soggetti a variazione lungo il percorso del profilo, ma si mantengono comunque oltre i 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ad esclusione del pozzo 124C, la cui ridotta profondità non consente di intercettare il calcare marnoso del Cretaceo.

L'elevata distanza dalla linea di costa e le quote piezometriche di segno abbondantemente positivo non danno adito all'ipotesi di intrusione d'acqua di mare per nessuno dei pozzi del profilo longitudinale 3.

I tre profili longitudinali, hanno permesso, in prima istanza di verificare le variazioni di conducibilità e quota piezometrica lungo le ipotetiche linee di drenaggio ricavate dalle elaborazioni condotte sui pozzi del censimento, constatando quanto segue:

- sono state confermate le direzioni delle linee di drenaggio desunte dalle elaborazioni preliminari, con quote piezometriche decrescenti in direzione dello stagno e della costa, sia per gli acquiferi freatici sia per quelli in pressione;
- le variazioni di conducibilità elettrica sono attribuibili in massima parte a processi di interazione acqua-roccia, con valori elevati in corrispondenza dei livelli gessosi del Trias, delle marne del Cretaceo e delle vulcaniti alterate da circolazione idrotermale, alternati a repentini abbassamenti in corrispondenza del calcare dolomitico del Giura;
- in prossimità dello stagno del Calich si rileva un'area che sembra essere interessata da fenomeni di intrusione d'acqua di mare, con piezometriche depresse e valori di conducibilità elettrica elevati.

Di seguito vengono commentati i quattro profili trasversali alle linee di flusso delle acque sotterranee.

Il profilo trasversale 1 (figura 9.18) è ubicato in prossimità del limite Nord della piana.

# Profilo\_trasversale\_1

E

W

- Cond. < 2.0 mS/cm
- 2.0 mS/cm < Cond. < 2.5 mS/cm
- 2.5 mS/cm < Cond. < 4.0 mS/cm
- Cond. > 4.0 mS/cm

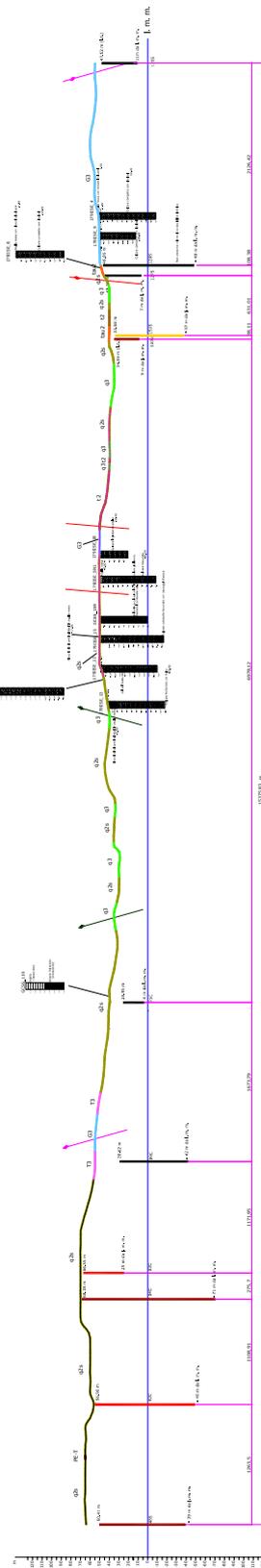


Figura 9.18 - Profilo trasversale 1

Il profilo attraversa, da Est ad Ovest, per una lunghezza totale di circa 15,3 km, le località di Santu Bainzu Arca, il versante Sud del M.te Uccari e chiude su Sa Coa e Su Soldau, in parziale sovrapposizione con il Profilo Longitudinale 1. I pozzi ubicati ad Est (127S, 128S, 150S e 151S) mostrano caratteri chimici differenti: i primi due fanno registrare bassi valori di conducibilità elettrica e sono ubicati sul Giura sub-affiorante sotto un esiguo spessore di vulcaniti; mentre il 150S ed il 151S, educano dall'acquifero del Cretaceo, parzialmente occultato dalle vulcaniti. All'estremo Ovest si ripresentano (Profilo Longitudinale 1) i pozzi intestati sul Trias cui è associata una conducibilità elevata (48S, 83C, 84C e 92C). La lettura delle isopieze evidenzia un possibile spartiacque (68,38 m s.l.m.m.) in prossimità del pozzo 84C, ed una leggera depressione (25,95 m s.l.m.m.) in corrispondenza del pozzo 71C, collocato su un modesto fondovalle. Anche in prossimità della costa le quote piezometriche si mantengono piuttosto elevate, con un valore di 50,41 m s.l.m.m. (pozzo 48S).

Il Profilo Trasversale 2 (figura 9.19) parte dalla località Montigiù Biancu, attraversa Olmedo e si snoda sulla sezione centro-settentrionale della piana, seguendo in parte il tracciato della SS291, per poi chiudersi in prossimità della costa, a Sud di Monte Zirra. Ripropone le stesse problematiche riscontrate sul Profilo 1, con valori elevati di conducibilità in prossimità della costa, in corrispondenza di litotipi triassici (al limite ricoperti da sedimenti quaternari). Le quote piezometriche, sempre piuttosto elevate (eccezion fatta per il 34S), allontanano l'ipotesi di una intrusione d'acqua di mare.

Il Profilo Trasversale 3 (figura 9.20), ricalca in gran parte l'andamento delle conducibilità del profilo 2, con valori elevati soltanto in corrispondenza dei pozzi 126C e 142C, ove si collocano modesti spessori di vulcaniti che occultano le marne del Cretaceo sede dell'acquifero. Attraversando la parte sub-pianeggiante, le quote piezometriche sono più depresse, ma comunque ben al di sopra dello zero. In prossimità del Monte Doglia il pozzo 1S mostra caratteri differenti con una quota piezometrica di 40 m s.l.m.m. ed una conducibilità superiore a 2,5 mS/cm.

Il profilo trasversale 4 (figura 9.21) si sviluppa per una lunghezza assai più breve rispetto ai precedenti, collocandosi tra il Monte Rizzu e la piccola valle tra Monte Palmavera e Monte La Giorba. Nel tratto centrale attraversa lo Stagno del Calich in due sezioni per poi disporsi quasi parallelamente al golfo. Esso mostra peculiarità che lo differenziano in modo sostanziale dai restanti profili, sia per quote piezometriche medie sia per valori di conducibilità. In particolare, in prossimità dello stagno, i pozzi 1C e 15C mostrano livelli piezometrici assai depressi, con valori negativi della quota piezometrica e acque ad elevata conducibilità. Il fenomeno si ripresenta in maniera meno marcata anche nei pozzi 115C e 118C (quote piezometriche poco sopra il livello del mare e conducibilità oltre i 4,0 mS/cm).

E

### Profilo\_trasversale\_2

W

- Cond. < 2.0 mS/cm
- 2.0 mS/cm < Cond. < 2.5 mS/cm
- 2.5 mS/cm < Cond. < 4.0 mS/cm
- Cond. > 4.0 mS/cm

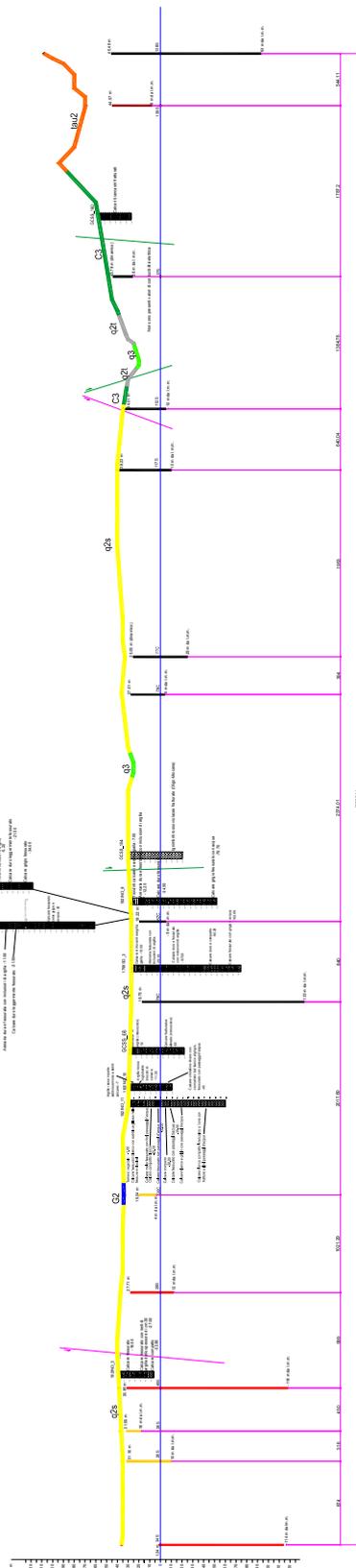


Figura 9.19 - Profilo trasversale 2

E

### Profilo\_trasversale\_3

W

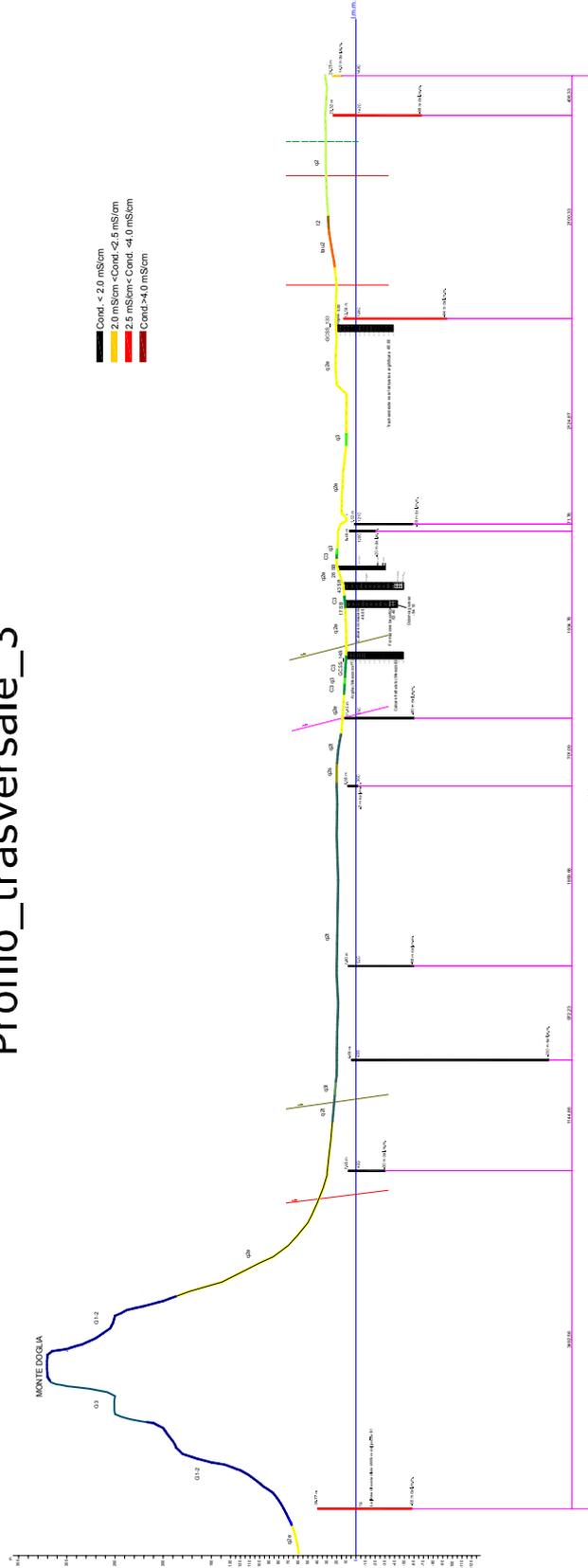


Figura 9.20 - Profilo trasversale 3



## 9.6 Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi

### 9.6.1 Impostazione della rete preliminare

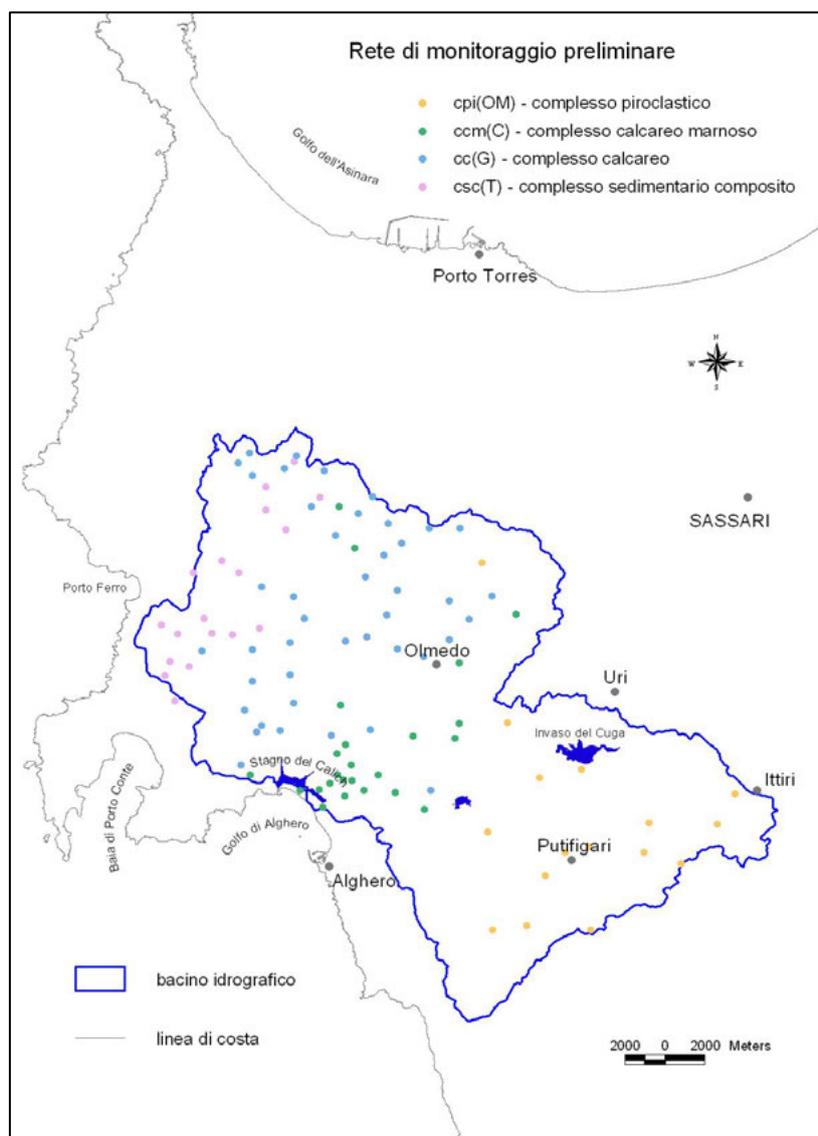
La fase di campionamento orientativo e le prime elaborazioni hanno consentito di delineare, con più precisione, l'assetto idrogeologico dell'area in studio e di modificare le zone di indagine a cui circoscrivere il monitoraggio, ridefinendo numero, tipologia e collocazione degli acquiferi. Allo stato della ricerca si è giunti alla definizione di una ipotesi di modello idrogeologico, articolato sulla presenza dei seguenti acquiferi:

- acquifero ospitato nelle formazioni del Trias (dolomie, marne, gessi, argille, calcari dolomitici ecc.), scarsamente produttivo e caratterizzato da valori di conducibilità elettrica elevati, generalmente superiori a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; la salinizzazione sembrerebbe dovuta a fenomeni naturali, legati alla composizione chimica delle rocce che compongono la matrice dell'acquifero (presenza di livelli evaporitici);
- acquifero ospitato nelle formazioni del Giura (calcari, calcari dolomitici, marne ecc.), molto produttivo e con valori di conducibilità elettrica bassa, compresa tra 1000 e 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- acquifero ospitato nelle formazioni del Cretaceo (calcari, calcari dolomitici, marne ecc.), mediamente produttivo e con valori di conducibilità elettrica intermedia, compresa tra 2000 e 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , attribuibile probabilmente alla presenza di marne;
- acquifero ospitato nel complesso vulcanico Oligo-miocenico (rioliti, riodaciti, tuffi ecc.), mediamente produttivo e caratterizzato, in alcune aree, da elevati valori della conducibilità elettrica;
- acquifero ospitato nelle alluvioni recenti del Quaternario, localmente e scarsamente produttivo, caratterizzato, in prossimità della costa, da valori di conducibilità elettrica elevati, generalmente superiori a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . In questo acquifero si segnalano, in alcuni casi, quote piezometriche inferiori al livello medio del mare, indicativi di fenomeni di sovrasfruttamento degli acquiferi.

Così come verrà ampiamente descritto nei successivi capitoli, il modello idrogeologico è stato praticamente confermato attraverso il modello idrogeochimico delle acque sotterranee e mediante i rilievi geologico-strutturali di dettaglio integrati dalle prospezioni geofisiche. Dunque, tenuto conto del modello idrogeologico ipotizzato e sulla base dell'elaborazione e interpretazione dei dati rilevati nel corso del censimento dei punti d'acqua, si è giunti alla impostazione di una rete di monitoraggio preliminare, costituita da 103 pozzi distribuiti nei vari acquiferi (figura 9.22 e tabella 9.3).

**Tabella 9.3 - Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi**

Acquifero	Numero pozzi
Acquifero del Trias	18
Acquifero del Giura	45
Acquifero del Cretaceo	16
Acquifero vulcanico Oligo-miocenico	16
Acquifero del Quaternario	8



**Figura 9.22 - Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi**

### *9.6.2 Monitoraggio settembre 2004: rilievi idrogeologici speditivi*

L'attività del primo monitoraggio ha avuto inizio il 31 agosto 2004, con una campagna di rilievi idrogeologici speditivi (livello piezometrico, conducibilità elettrica, pH e temperatura delle acque) conclusasi il 10 settembre 2004. L'analisi dei risultati della prima campagna sulla rete di monitoraggio ha evidenziato la complessa geometria degli acquiferi che caratterizza l'intero bacino.

I dati sono stati raccolti in un database simile a quello utilizzato nelle campagne precedenti: sono stati aggiornati, quindi, solo i campi relativi alle misure effettuate in maniera tale da renderne immediatamente confrontabili i valori.

Nella tabella 9.4 vengono riportati i dati, suddivisi per acquifero.

### *9.6.3 Monitoraggio dicembre 2004: rilievi idrogeologici e campionamento*

Nel mese di dicembre del 2004, è stato effettuato, sulla rete di monitoraggio preliminare, un rilievo idrogeologico di maggior dettaglio. Per ogni punto d'acqua, oltre all'esecuzione delle misure speditive in situ (temperatura, pH e il livello piezometrico), sono state campionate le acque sotterranee. In laboratorio sono stati misurati i parametri relativi a: conducibilità elettrica, salinità, ossigeno disciolto, potenziale di ossido riduzione, residuo fisso, durezza totale, bicarbonati, nitrati, nitriti, cloruri, solfati, bromuri, fosfati, silice, ammoniaca, sodio, potassio, calcio, magnesio, ferro, litio, zinco, manganese, piombo e cadmio.

Di seguito vengono restituiti i dati (tabella 9.5), suddivisi per acquifero; nei Capitoli 10 e 13 saranno discussi, in dettaglio, i risultati delle analisi chimiche delle acque.

**Tabella 9.4 - Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi (monitoraggio settembre 2004)**

ID_POZZO	UTM_EST	UTM_NORD	USO	UNI_IDROG	DATA_MIS	QUOTA_PIEZ m s.l.m.	T °C	COND. 25°C μS/cm	pH
1S	434641	4498480	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	32,70	25,4	2390	6,9
2S	435375	4500215	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	06-sep-2004 00:00:00	14,86			
5S	434142	4493760	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	40,52	24,3	3140	6,6
11S	434404	4500459	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	24,61	23,9	1990	6,8
16S	438002	4501003	irriguo soccorso	csd(G) - complesso calcareo	02-sep-2004 00:00:00	15,77	27,4	2270	7,2
26S	434811	4501819	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	02-sep-2004 00:00:00	32,81	28,5	2190	9,5
29S	436491	4501864	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	27,31	24,7	2600	6,7
31S	436089	4502596	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	33,20	21,5	6230	7,5
34S	433371	4502286	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	17,48	24,2	3820	8,2
36S	447026	4500702	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	44,54			
37S	447023	4500694	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	42,67	25,8	1400	6,6
39S	438487	4494588	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	10,92	21,4	1930	7,0
40S	438003	4498019	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	10,62			
41S	438008	4498022	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00		22,4	1840	6,9
43S	435944	4497251	idropotabile	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00		22,8	1780	6,8
48S	435563	4504309	disuso	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	51,70	24,2	6140	6,4
56S	439181	4508061	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	78,96	21,6	2970	7,1
57S	439164	4508234	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	83,73	24,3	4780	6,8
58S	438503	4509770	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	90,09	21,9	1420	7,2
64S	437903	4510421	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	89,96	20,9	2280	7,1
69S	440106	4510128	industriale	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	74,78	22,4	1470	6,9
71S	440572	4510475	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	76,24	20,7	3020	6,9
72S	443776	4507878	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	56,22	21,4	1620	6,8
73S	442081	4510021	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	68,32	20,0	960	6,9
75S	441866	4508996	zootecnico	csd(T) - complesso sedimentario composito	31-aug-2004 00:00:00	53,65	19,4	3370	6,9
76S	441420	4508244	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	02-sep-2004 00:00:00	51,38	22,0	2200	6,7
79S	442799	4508227	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	01-sep-2004 00:00:00	55,46	19,7	1760	6,7
80S	444466	4508725	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	57,31	20,5	1100	6,8
81S	445244	4507389	industriale	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	42,85	19,3	1150	6,9
84S	442631	4506785	domestico,zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	45,16	20,4	1980	6,9
86S	440172	4507052	zootecnico	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	51,76	20,3	3100	7,1
87S	438374	4510324	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	86,15	20,3	1050	6,6
89S	440675	4510758	domestico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	80,75	27,0	1880	6,7
90S	445044	4505801	domestico,zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	41,14	20,0	1070	6,8
98S	443600	4506139	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	52,68	23,9	1490	7,4
99S	447296	4507137	domestico,zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	51,41	21,8	1190	6,8
100S	445935	4506405	disuso	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	49,48	22,4	1180	6,7
101S	445695	4504022	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	41,43	24,0	990	6,8
112S	445725	4510185	domestico,irriguo	csd(G) - complesso calcareo	02-sep-2004 00:00:00	33,26	28,5	910	6,9
114S	444118	4504686	irriguo soccorso	csd(G) - complesso calcareo	23-sep-2004 00:00:00	44,78	22,3	1110	6,6
120S	450400	4503746	irriguo,zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	47,85	25,7	1170	6,7
122S	449270	4502995	disuso	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	48,31	23,5	630	7,3
125S	451697	4502626	zootecnico	com(C) - complesso calcareo manoso	03-sep-2004 00:00:00	50,46	23,6	1680	6,6
128S	448276	4503507	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	02-sep-2004 00:00:00	46,00	25,8	1320	6,7
130S	446613	4507719	zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	55,39	24,2	1700	6,4
139S	448796	4500398	zootecnico	com(C) - complesso calcareo manoso	01-sep-2004 00:00:00	43,92	24,0	2660	6,9
140S	446287	4501559	domestico	csd(G) - complesso calcareo	23-sep-2004 00:00:00	46,23	21,7	1270	6,4
143S	445173	4502773	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	44,40	23,3	1380	6,8
157S	451189	4497403	irriguo	cpd(DM) - complesso piroclastico	07-sep-2004 00:00:00	46,24	22,1	2360	6,8
165S	454840	4495053	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	03-sep-2004 00:00:00	112,17	26,2	4800	6,9
167S	452777	4494623	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	07-sep-2004 00:00:00	91,66	24,4	4280	6,6
173S	461099	4492293	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	09-sep-2004 00:00:00	309,28	21,3	1770	6,6
174S	462493	4493828	irriguo	cpd(DM) - complesso piroclastico	03-sep-2004 00:00:00	245,86	25,6	1990	6,6
178S	458227	4492364	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	09-sep-2004 00:00:00	250,02	21,3	4910	6,5
180S	457964	4490889	irriguo,zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	21-sep-2004 00:00:00	254,81	21,1	2050	6,7
181S	455244	4491162	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	03-sep-2004 00:00:00	274,97	29,0	1070	6,0
192S	459805	4490314	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	07-sep-2004 00:00:00	456,66	21,0	1200	6,3
197S	455328	4487011	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	03-sep-2004 00:00:00	330,02	22,7	2020	6,6
201S	452195	4487206	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	07-sep-2004 00:00:00	174,37	22,1	1690	6,7
205S	452047	4489723	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	08-sep-2004 00:00:00	278,23	20,8	1980	6,0
206S	454045	4490894	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	08-sep-2004 00:00:00	210,91	20,5	3660	6,1
210S	449894	4505410	irriguo	cpd(DM) - complesso piroclastico	01-sep-2004 00:00:00	50,02	25,0	3050	7,1
1C	440876	4494010	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	-0,17	22,9	5060	6,9
4C	441986	4493156	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	-2,98	23,5	3420	7,3
10C	443097	4493714	irriguo,domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	02-sep-2004 00:00:00	2,11	24,1	3080	6,6
15C	441833	4494014	domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	0,53	24,4	4980	6,8
18C	442349	4494343	domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	02-sep-2004 00:00:00	0,78	23,2	2740	6,7
20C	443007	4494522	domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	02-sep-2004 00:00:00	1,82	27,6	2010	6,8
21C	443428	4495249	zootecnico,irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	02-sep-2004 00:00:00	-0,59	24,6	3320	6,9
26C	442700	4495823	domestico,irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	3,11	22,8	3070	6,8
28C	442754	4494779	industriale,irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	0,33	22,9	1970	6,6
29C	443463	4494493	irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	01-sep-2004 00:00:00	6,02	24,6	2070	6,7
32C	443127	4496292	irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	31-aug-2004 00:00:00	0,96	25,2	2100	7,3
33C	442429	4496739	disuso	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	10,80	23,9	1340	6,9
43C	442866	4498284	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	06-sep-2004 00:00:00	13,43	22,8	5220	7,7
47C	438711	4496325	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	07-sep-2004 00:00:00	12,78	23,2	1370	6,7
49C	438411	4494774	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	02-sep-2004 00:00:00	1,35	25,9	3150	6,5
52C	438983	4496999	domestico,irriguo	csd(G) - complesso calcareo	06-sep-2004 00:00:00	12,07	26,7	1390	6,8
59C	437925	4495258	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	31-aug-2004 00:00:00	-0,40	23,2	1170	6,7
60C	438506	4501074	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	03-sep-2004 00:00:00	13,03	24,2	2150	6,5
62C	440375	4501408	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	19,95	19,6	1900	6,6
63C	440366	4493796	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	03-sep-2004 00:00:00	23,90	21,1	1630	7,2
66C	438958	4502128	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	18,32	23,3	1540	6,6
71C	440599	4503716	disuso	csd(G) - complesso calcareo	02-sep-2004 00:00:00	24,95	22,9	1730	6,8
74C	441064	4502626	disuso	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	24,54	19,6	1020	6,6
77C	443121	4501477	industriale	csd(G) - complesso calcareo	07-sep-2004 00:00:00	23,61	28,6	1400	7,1
81C	440560	4498381	industriale	csd(G) - complesso calcareo	07-sep-2004 00:00:00	3,43	23,2	1240	6,4
84C	437827	4504905	disuso	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	67,94	22,9	6950	7,6
89C	438960	4504211	irriguo,zootecnico	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	24,02	21,5	970	6,7
90C	437509	4501789	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	02-sep-2004 00:00:00	17,38	24,0	2980	6,5
93C	437000	4505525	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	01-sep-2004 00:00:00	63,45	21,6	5400	6,8
98C	447038	4493027	irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	03-sep-2004 00:00:00	36,57	24,5	2800	7,0
107C	447357	4493987	disuso	csd(G) - complesso calcareo	03-sep-2004 00:00:00	17,88	25,8	2680	7,5
112C	450201	4491921	domestico	cpd(DM) - complesso piroclastico	08-sep-2004 00:00:00	70,52	26,1	2530	6,6
115C	444051	4493984	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	03-sep-2004 00:00:00	2,62	23,0	5000	6,9
118C	445604	4493897	disuso	com(C) - complesso calcareo manoso	03-sep-2004 00:00:00	8,61	24,0	4120	6,7
121C	444373	4497045	disuso	csd(G) - complesso calcareo	07-sep-2004 00:00:00	0,52	26,1	1160	7,2
126C	446470	4496702	irriguo,domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	06-sep-2004 00:00:00	12,84	28,0	2490	7,4
131C	444186	4501685	irriguo	csd(G) - complesso calcareo	01-sep-2004 00:00:00	42,98	24,5	910	7,0
135C	444754	4494778	domestico	com(C) - complesso calcareo manoso	08-sep-2004 00:00:00	2,14	23,7	3930	6,7
142C	448568	4496603	irriguo	com(C) - complesso calcareo manoso	06-sep-2004 00:00:00	22,26	26,3	2970	7,3
145C	448770	4497340	zootecnico	com(C) - complesso calcareo manoso	07-sep-2004 00:00:00	29,52	23,7	5840	7,0
152C	450451	4486999	zootecnico	cpd(DM) - complesso piroclastico	07-sep-2004 00:00:00	269,90	22,6	1330	6,1

**Tabella 9.5 - Rete di monitoraggio preliminare dei pozzi (monitoraggio dicembre 2004)**

ID_POZZO	UTM_EST	UTM_NORD	USO	UNI_IDROG	DATA_MIS	QUOTA_PIEZ m s.l.m.	T °C	COND. 25°C μS/cm	pH
1S	434641	4438490	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	16-dec-2004 00:00:00	39,81	21,2	3739	6,9
2S	435275	4500215	domestico	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	14,67	19,0	3773	7,0
5S	434142	4439760	irriguo soccorso	csa(T) - complesso sedimentario composto	17-dec-2004 00:00:00	40,97	17,2	4275	6,6
11S	434404	4500459	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	31,19	19,7	2440	6,9
16S	436002	4501003	irriguo soccorso	cc(G) - complesso calcareo	13-dec-2004 00:00:00	15,38	19,7	2200	6,9
26S	434811	4501819	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	32,36	21,1	2132	8,9
29S	436491	4501864	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	29,65	16,2	3192	6,8
31S	436089	4502596	irriguo soccorso	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	32,52	19,8	8379	7,3
34S	433971	4502286	irriguo soccorso	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	18,03	21,9	3933	8,2
36S	447026	4500702	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	44,34	19,2	1322	6,7
37S	447029	4500894	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	44,70			
39S	438487	4499458	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	10,70	18,5	1813	7,1
40S	438103	4498019	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	11,16			
41S	438108	4498022	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	10,34	18,2	1721	7,0
43S	438944	4497251	idropotabile	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	8,68	18,8	1703	6,7
48S	435663	4504909	disuso	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	51,55	18,8	8140	6,6
56S	439181	4508061	domestico	csa(T) - complesso sedimentario composto	16-dec-2004 00:00:00	75,98	16,9	3477	7,0
57S	439164	4509234	domestico	csa(T) - complesso sedimentario composto	16-dec-2004 00:00:00	82,97	18,8	5255	6,7
58S	438503	4509770	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	30,10	17,7	1705	6,9
64S	437803	4510421	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	87,78	18,6	2303	7,0
69S	440106	4510126	industriale	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	73,96	18,6	1957	6,5
71S	440572	4510475	domestico	csa(T) - complesso sedimentario composto	16-dec-2004 00:00:00	76,67	18,6	3443	6,7
72S	443776	4507878	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	55,32	18,3	1960	6,5
73S	442081	4510021	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	67,85	18,1	1013	6,6
75S	441866	4508936	zootecnico	csa(T) - complesso sedimentario composto	16-dec-2004 00:00:00	53,43	16,5	3135	7,1
76S	441420	4508244	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	50,78	18,0	2120	6,6
79S	442739	4508227	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	58,23	17,7	1265	7,0
80S	444466	4508725	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	55,24	18,2	1142	6,5
81S	445244	4507389	industriale	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	42,46	17,8	1140	6,7
84S	442631	4506795	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	30,61	18,2	1710	6,8
86S	440172	4507052	zootecnico	csa(T) - complesso sedimentario composto	20-dec-2004 00:00:00	50,37	16,6	3112	6,9
87S	438374	4510924	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	91,76	19,6	1375	6,8
89S	440675	4510758	domestico	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	73,21	18,7	1790	6,4
90S	445044	4505801	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	42,10	17,6	1115	6,9
98S	443600	4506139	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	53,76	20,0	1996	7,5
100S	445935	4506405	disuso	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	46,81	18,6	1179	6,6
101S	445695	4504022	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	41,65	16,2	1343	6,7
112S	445725	4501085	domestico,irriguo	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	33,43	18,3	1018	7,2
114S	444118	4504896	irriguo soccorso	cc(G) - complesso calcareo	23-nov-2004 00:00:00	44,87	18,7	1227	6,5
120S	450400	4503746	irriguo,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	20-dec-2004 00:00:00	47,68	21,6	1498	6,6
122S	449270	4502995	disuso	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	48,07	18,1	914	7,3
125S	451597	4502826	zootecnico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	20-dec-2004 00:00:00	50,33	18,2	1954	6,7
128S	448276	4503507	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	46,03	21,2	1318	7,1
130S	448913	4507119	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	54,88	18,1	1680	6,5
132S	448796	4500396	zootecnico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	44,74	18,6	4104	6,6
140S	448287	4501859	domestico	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	46,73	18,4	1279	6,7
143S	445173	4502773	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	44,55	19,0	1317	6,7
157S	451199	4497403	irriguo	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	46,83	19,0	2633	6,9
165S	454940	4495053	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	112,25	18,7	4651	7,0
167S	452777	4494929	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	31,59	22,4	4309	6,9
173S	461599	4492399	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	20,2		1907	6,9
174S	462493	4493828	irriguo	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	18,8		1237	7,0
178S	458227	4492364	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	250,20	17,7	5039	6,4
180S	457964	4490893	irriguo,zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	254,97	18,4	2165	6,4
181S	455244	4491624	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	275,06	17,0	1138	6,2
192S	459805	4490314	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	471,35	16,9	1117	6,2
197S	455328	4487011	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	330,53	17,6	2029	6,5
201S	452135	4487206	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	178,47	21,6	1496	7,2
205S	453047	4489723	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	278,76	17,2	1778	5,7
206S	454045	4490894	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	24-nov-2004 00:00:00	211,96	18,1	3477	6,0
210S	449894	4505410	irriguo	spi(CM) - complesso piroclastico	16-dec-2004 00:00:00	50,03	19,2	3684	7,2
1C	440876	4494010	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	0,16	21,3	3306	7,2
4C	441986	4493166	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	2,40	19,0	3397	7,2
10C	443097	4493714	irriguo,domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	2,59	19,2	2713	6,7
15C	441833	4494014	domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	17-dec-2004 00:00:00	0,72	17,5	4777	6,5
18C	442349	4494343	domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	1,11	19,4	2964	6,7
20C	443007	4494522	domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	2,14	18,8	1892	6,8
21C	443428	4495249	zootecnico,irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	17-dec-2004 00:00:00	1,56	17,8	3226	6,9
28C	442754	4494779	industriale,irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	0,74	19,5	1756	6,6
29C	443463	4494493	irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	17-dec-2004 00:00:00	2,38	17,5	767	6,6
32C	443127	4496292	irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	17-dec-2004 00:00:00	1,31	17,8	1927	7,1
33C	442429	4496375	disuso	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	11,65	18,4	1042	7,1
43C	442866	4498284	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	12,97	19,5	4913	7,8
47C	438711	4496925	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	11,83	17,3	1046	6,8
49C	438411	4494774	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	13-dec-2004 00:00:00	1,20	20,5	2200	6,6
52C	439883	4496999	domestico,irriguo	cc(G) - complesso calcareo	13-dec-2004 00:00:00	11,97	20,3	1320	6,8
59C	437925	4495258	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	0,69	21,2	1051	6,4
60C	438506	4501074	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	11,73	19,1	1984	6,7
62C	440375	4501408	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	18,98	17,6	1824	6,5
63C	440366	4499796	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	13-dec-2004 00:00:00	24,49	20,0	1379	6,9
66C	438858	4502128	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	27,07	20,0	2360	6,3
71C	440559	4503716	disuso	cc(G) - complesso calcareo	03-dec-2004 00:00:00	23,76	17,7	1961	6,9
74C	441064	4502626	disuso	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	22,67	16,3	988	6,8
77C	443121	4501477	industriale	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	23,95	17,2	1379	6,7
81C	440560	4498381	industriale	cc(G) - complesso calcareo	02-dec-2004 00:00:00	12,20	20,0	1221	6,9
90C	437509	4501789	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	16,96	20,8	2918	6,5
93C	437000	4505925	irriguo	csa(T) - complesso sedimentario composto	14-dec-2004 00:00:00	67,61	18,8	4982	6,8
98C	447038	4493027	irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	37,60	20,9	2360	7,0
107C	447357	4493987	disuso	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	18,15	17,7	2348	7,6
112C	450201	4491921	domestico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	70,66	19,0	2166	6,5
115C	444051	4493984	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	3,98	19,8	2747	7,5
118C	445604	4493897	disuso	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	10,55	21,0	3990	6,9
121C	444373	4497045	disuso	cc(G) - complesso calcareo	01-dec-2004 00:00:00	-0,55	18,4	1199	7,5
126C	448470	4496702	irriguo,domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	12,89	18,5	2166	7,5
131C	444186	4501685	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	30-nov-2004 00:00:00	43,11	18,8	1898	6,9
135C	444754	4494778	domestico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	-2,03	20,7	2804	7,0
142C	448568	4496603	irriguo	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	16-dec-2004 00:00:00	23,25	19,9	2341	7,1
148C	448770	4497340	zootecnico	ccm(C) - complesso calcareo massiccio	25-nov-2004 00:00:00	29,60	19,7	5860	6,9
152C	450451	4496999	zootecnico	spi(CM) - complesso piroclastico	25-nov-2004 00:00:00	294,24	18,5	1130	5,8

## 9.7 Censimento e rilievi idrogeologici integrativi nelle aree esterne al bacino (aprile 2005)

Sino dalle sue fasi iniziali lo studio è stato incentrato all'interno dell'area relativa al bacino idrografico sotteso allo stagno costiero del Calich. Al fine di individuare il bacino idrogeologico degli acquiferi individuati e data l'estrema complessità delle geometrie degli stessi, è stato necessario estendere l'indagine nelle aree esterne al bacino idrografico. In particolare, l'attenzione si è concentrata sui calcari mesozoici posti a ridosso del limite Nord del bacino (Palamarrona, Macci Gottu ecc.) e su quelli miocenici interessanti la maggior parte del settore orientale. Nel mese di aprile 2005, è stato così realizzato un censimento pozzi ed un rilievo idrogeologico integrativo su tali aree, misurando i principali parametri speditivi ed eseguendo elaborazioni su i dati piezometrici ed i valori di conducibilità elettrica (tabella 9.6).

La discussione sull'individuazione del bacino idrogeologico è affrontata nel Capitolo 11.

### 9.7.1 Mesozoico

Il censimento condotto sui calcari mesozoici è stato circoscritto al sistema di megapieghe disposte con assi NE-SW e consistenti in una sinclinale molto ampia, con asse immergente a NE, seguita da un'anticlinale assai più stretta, anch'essa con asse di piega immergente a NE. La scelta dei pozzi è stata operata lungo direttrici ubicate in corrispondenza dei due assi di piega e dei fianchi, ipotizzando una direzione di deflusso parallela ad esse. In totale sono stati censiti 33 pozzi con profondità comprese tra 36 e 300 m dal p.c..

In figura 9.23 sono riportate le piezometriche, calcolate con i nuovi punti d'acqua integrativi, che mostrano sostanzialmente un deflusso diretto verso Nord. Questo evidenzia uno spartiacque sotterraneo (bacino idrogeologico) e la continuità dell'acquifero mesozoico a ridosso delle pieghe.

### 9.7.2 Miocene

Le indagini sono proseguite lungo la sezione di calcari miocenici affioranti ad Est del bacino idrografico: in totale sono stati censiti 27 pozzi. L'elaborazione delle curve isopiezometriche è stata realizzata integrando i pozzi sui calcari del Miocene con parte dei pozzi della rete di monitoraggio ubicati al confine Est del bacino ed alcuni di quelli rilevati a Nord sul Mesozoico: questo al fine di verificare eventuali rapporti tra gli acquiferi.

La carta delle isopiezometriche (figura 9.24) mostra una direzione preferenziale di deflusso verso N, con una spiccata tendenza a drenare verso l'alveo del Riu Mannu, sfociante nei pressi di Porto Torres.

La direzione di deflusso della falda è orientata, quindi, sub-parallelamente al bacino, interagendo solo in prossimità del bacino di *pull-apart* (loc. la Crucca), ove si evidenzia un'importante zona di richiamo, favorita dalla morfologia depressa e dal maggiore gradiente di permeabilità al contatto dei sedimenti di colmata.

**Tabella 9.6 - Censimento pozzi nelle aree esterne al bacino (aprile 2005)**

ID POZZO	UTM EST	UTM NORD	USO	UNI IDROG	DATA MIS	QUOTA PIEZ m s.l.m.	T °C	COND 25°C μS/cm	pH
158C	439386	4512573	disuso	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00	31,20	19,8	1470	6,5
159C	440061	4514809	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00	50,84	19,1	1500	6,4
160C	442296	4516338	irriguo,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00		20,9	1460	6,9
161C	440911	4516427	domestico,irriguo,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00	48,04	18,4	1380	6,7
162C	442615	4516189	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00	47,00	18,2	1630	6,3
163C	442130	4516577	domestico,irriguo	cc(G) - complesso calcareo	05-apr-2005 00:00:00	33,30	18,9	1820	6,5
164C	443180	4517538	disuso	osc(T) - complesso sedimentario composito	06-apr-2005 00:00:00	45,01			
165C	443114	4517561	industriale	osc(T) - complesso sedimentario composito	06-apr-2005 00:00:00	45,09	18,9	1800	6,7
166C	442951	4517412	industriale	cc(G) - complesso calcareo	06-apr-2005 00:00:00	37,97	19,0	1700	6,4
167C	442442	4518140	domestico,irriguo,zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	06-apr-2005 00:00:00	25,04	19,5	2920	6,7
168C	444319	4516582	industriale	cc(G) - complesso calcareo	06-apr-2005 00:00:00		20,0	1600	6,8
169C	444079	4516523	disuso	cc(G) - complesso calcareo	06-apr-2005 00:00:00	34,63			
170C	438379	4515480	irriguo,zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	06-apr-2005 00:00:00	38,06	19,8	2650	6,5
171C	437862	4514954	domestico,irriguo,zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	06-apr-2005 00:00:00	44,45	19,2	2750	6,8
172C	441567	4512195	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	07-apr-2005 00:00:00	77,87	18,8	1600	6,5
173C	440334	4512856	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	07-apr-2005 00:00:00	50,49	18,6	1430	6,5
174C	441195	4516170	domestico	cc(G) - complesso calcareo	07-apr-2005 00:00:00	28,38	19,7	1750	6,5
175C	441750	4517226	disuso	osc(T) - complesso sedimentario composito	07-apr-2005 00:00:00	27,95	20,0	2300	6,7
176C	441214	4517002	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	07-apr-2005 00:00:00	26,28	19,8	1870	6,6
177C	441493	4517426	zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	07-apr-2005 00:00:00	32,03	18,8	4840	6,8
178C	444494	4514623	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	07-apr-2005 00:00:00	56,38	19,4	1700	6,9
179C	442656	4511434	irriguo	osc(T) - complesso sedimentario composito	08-apr-2005 00:00:00	71,17	18,9	5790	6,9
180C	442983	4511371	disuso	osc(T) - complesso sedimentario composito	08-apr-2005 00:00:00	70,62	19,4	2430	6,8
181C	443438	4512215	zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	08-apr-2005 00:00:00	70,21	19,3	1350	6,8
182C	443145	4513081	domestico	cc(G) - complesso calcareo	08-apr-2005 00:00:00	86,13	19,1	1650	6,5
183C	446352	4516752	industriale	cc(G) - complesso calcareo	08-apr-2005 00:00:00	17,15	20,3	1690	6,8
184C	445604	4516287	domestico,zootecnico	osc(T) - complesso sedimentario composito	08-apr-2005 00:00:00	22,79	19,0	1630	6,8
185C	444634	4513066	disuso	osc(T) - complesso sedimentario composito	08-apr-2005 00:00:00	67,56	17,9	1570	6,8
186C	446418	4513533	acquedottistico	cc(G) - complesso calcareo	11-apr-2005 00:00:00	56,14	18,6	1460	6,4
187C	450360	4511132	domestico,zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	48,80	19,6	4020	6,7
188C	454412	4512492	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	46,35	20,9	1010	6,5
189C	456783	4512548	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	46,61	18,6	1990	6,8
190C	450972	4514260	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	24,24	19,5	1790	6,5
191C	452175	4516469	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	20,98	19,3	1870	6,8
192C	453140	4514730	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	12-apr-2005 00:00:00	21,61	19,1	1430	6,8
193C	455918	4510023	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	59,18	18,9	1480	6,9
194C	451590	4509920	domestico,zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	32,02	19,6	1650	6,5
195C	447236	4514455	irriguo,zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	-25,30	19,7	3150	6,6
196C	447479	4516079	domestico,zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	30,09	19,4	2750	6,3
197C	453904	4508250	domestico,irriguo,zootecnico	cpil(OM) - complesso piroclastico	13-apr-2005 00:00:00	62,42	20,2	1480	6,8
198C	454307	4514881	domestico,irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	34,50	19,6	1140	6,7
199C	456188	4508441	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	13-apr-2005 00:00:00	82,30	18,6	820	6,8
200C	455921	4493953	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	96,85	19,6	1160	6,5
201C	456659	4501315	zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	77,18	19,9	1410	6,7
202C	460777	4497128	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	246,74	19,0	900	6,8
203C	459742	4503656	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	102,95	21,5	880	6,8
204C	462326	4500762	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	85,33	22,1	4780	6,7
205C	456126	4503391	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	36,32	22,7	1930	6,9
206C	459155	4501618	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	96,61	21,8	740	6,8
207C	462502	4503183	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	96,99	21,6	2180	7,0
208C	459382	4506304	domestico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	90,36	19,6	930	7,0
209C	456194	4505024	zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	14-apr-2005 00:00:00	49,17	19,1	1860	6,8
210C	444989	4510956	domestico,irriguo soccorso	cc(G) - complesso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	65,77	20,7	1400	6,5
211C	447195	4517460	zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	5,86	19,8	3420	6,5
212C	447680	4512146	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	56,21	20,9	4100	6,5
213C	448887	4519377	domestico,zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	9,02	21,8	2670	6,5
214C	451179	4512833	irriguo	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	23,76	20,9	1970	6,8
215C	446574	4509597	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	60,61	20,8	1480	6,8
216C	449843	4514317	zootecnico	cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	15-apr-2005 00:00:00	11,18	20,9	2600	6,8

Il serbatoio dei calcari miocenici, dotati di discreta permeabilità secondaria, costituisce quindi un'unità idrogeologica indipendente che interagisce positivamente con gli acquiferi interni al bacino idrografico soltanto nella zona centro-orientale, in corrispondenza del *pull-apart*.

geologia

- Q3 - alluvioni di fondo valle, detriti di pendio e melm (Olocene)
- Q2te - depositi travertinoidi (Pleistocene)
- Q2e - arenarie eoliche spesso ben cementate a stratificazione incrociata (Pleistocene post-Tirreniano)
- Q2s - depositi di conoide alluvionale costituiti in prevalenza da conglomerati ad elementi di quarzo metamorfico sostenuti da matrice fango rossastra (Pleistocene)
- Mc3 - conglomerati e sabbie moderatamente diagenizzate (Miocene superiore)
- Mc2 - depositi marini costituiti da calcareniti porose mal diagenizzate e da orizzonti conglomeratici alla base (Miocene inferiore)
- Mc1 - conglomerati e arenarie continentali (Miocene inferiore)
- OMI2 - ignimbriti saldate (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- OMI1 - ignimbriti non saldate (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- OMa1 - andesiti a domi e colate spesso tabulari (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- C2 - calcari bioclastici ad ippuritidi e marne più o meno arenacee da grigie a giallastre, spesso glauconiose, localmente intercalate nei calcari (Cretaceo superiore)
- C1 - calcari massicci in facies urgoniana (Cretaceo inferiore)
- G - calcari e dolomie con intercalazioni marnose; marne, calcari marnosi di ambiente lagunare in facies purbekiana e calcari più o meno dolomitici (Giurassico)
- T - calcari, dolomie e gessi più o meno argillosi (Trias medio-superiore)
- Tfpc - ruditi e areniti di ambiente lacustre alluvionale con intercalazioni di vulcaniti acide (Autuniano - Trias inferiore)
- Pts - filladi graffiose (Siluriano) con marmi grigi, raramente dolomitici (Devoniano)
- Pmb - metagrovacche, metabasiti (metadoleriti e metabasalti alcalini) e rare metarodoliti intercalate (Ordoviciano superiore)
- Pqtz - quarziti e metarenarie filladiche con intercalazioni di metaconglomerati (Cambro - Ordoviciano)
- Pgms - micascisti grigio-verdastri e giallastri muscovitico-biotitici, cloritici o anfibolici a luoghi graffiosi, gneiss feldspatici (Paleozoico)
- corpi idrici superficiali

tettonica

- |  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  bacino idrogeologico |  isopiezometriche    |  faglia certa        |  sinclinale  |
|  bacino idrografico   |  direzioni di flusso |  faglia presunta     |  anticlinale |
|  |   |  faglia trascorrente |   |

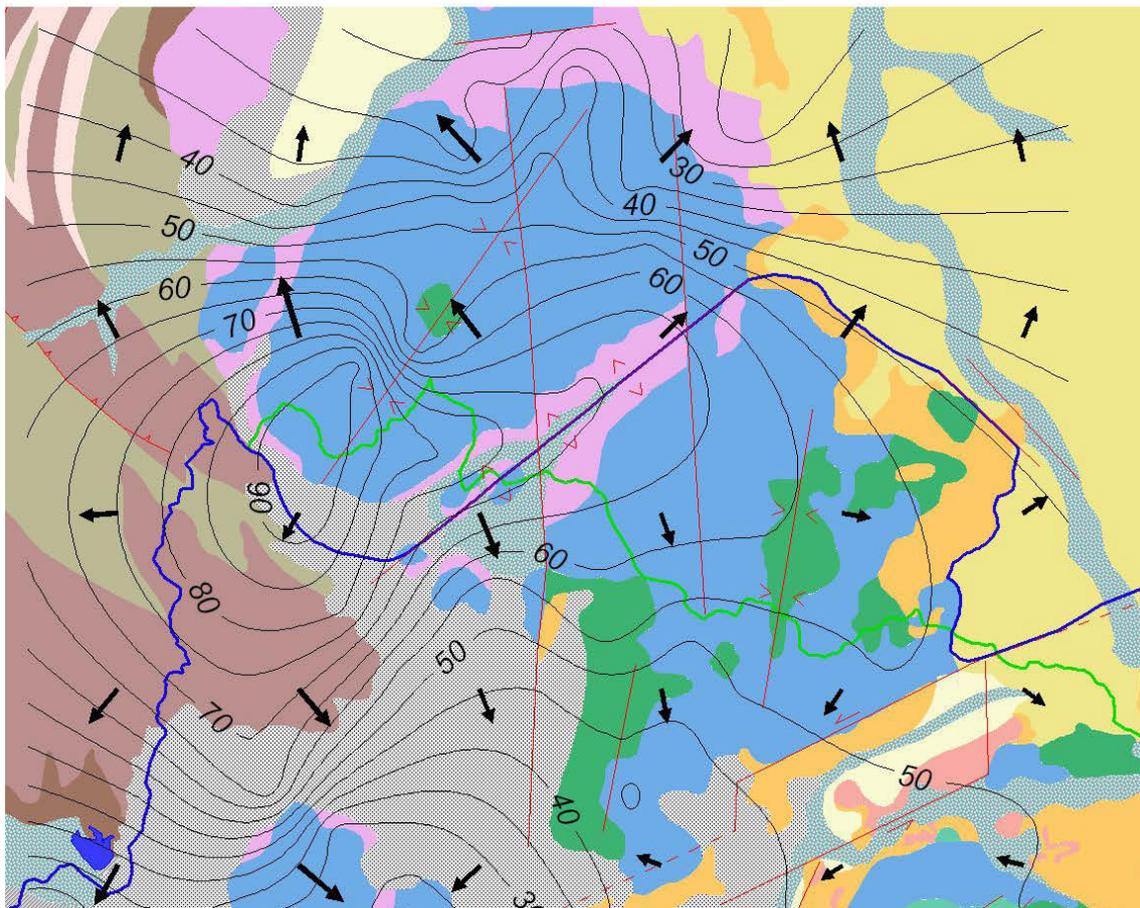


Figura 9.23 - Carta delle isopieze sul Mesozoico

geologia

- Q3 - alluvioni di fondo valle, detriti di pendio e melm (Olocene)
- Q2te - depositi travertinoidi (Pleistocene)
- Q2e - arenarie eoliche spesso ben cementate a stratificazione incrociata (Pleistocene, post-Tirreniano)
- Q2s - depositi di conoidi alluvionali costituiti in prevalenza da conglomerati ad elementi di quarzo metamorfico sostenuti da matrice fango rossastra (Pleistocene)
- Mc3 - conglomerati e sabbie moderatamente diagenizzate (Miocene superiore)
- Mc2 - depositi marini costituiti da calcareniti porose mal diagenizzate e da orizzonti conglomeratici alla base (Miocene inferiore)
- Mc1 - conglomerati e arenarie continentali (Miocene inferiore)
- OM12 - ignimbriti saldate (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- OM11 - ignimbriti non saldate (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- OMa1 - andesiti a domi e colate spesso tabulari (Oligocene sup. - Miocene inf.)
- C2 - calcari bioclastici ad ippuritidi e marni più o meno arenacee da grigie a giallastre, spesso glauconiose, localmente intercalate nei calcari (Cretaceo superiore)
- C1 - calcari massicci in facies urgoniana (Cretaceo inferiore)
- G - calcari e dolomie con intercalazioni marnose, marni, calcari marnosi di ambiente lagunare in facies purbekiana e calcari più o meno dolomitici (Giurassico)
- T - calcari, dolomie e gessi più o meno argillosi (Trias medio-superiore)
- Ttpc - ruditi e areniti di ambiente lacustre alluvionale con intercalazioni di vulcaniti acide (Autuniano - Trias inferiore)
- Pts - filladi graffiose (Siluriano) con marni grigi, raramente dolomitici (Devoniano)
- Pmb - metagrovacche, metabasiti (metadolerti e metabasiti alcalini) e rare metarodoliti intercalate (Ordoviciano superiore)
- Patz - quarziti e metarenarie filladiche con intercalazioni di metaconglomerati (Cambro - Ordoviciano)
- Pgms - micascisti grigio-verdastri e giallastri muscovitico-biotitici, cloritici o anfibolici a luoghi graffiosi; gneiss feldspatici (Paleozoico)
- corpi idrici superficiali

tettonica

- bacino idrogeologico
  - bacino idrografico
- isopiezometriche
  - direzioni di flusso
- faglia certa
  - faglia presunta
  - faglia trascorrente
- sinclinale
  - anticlinale

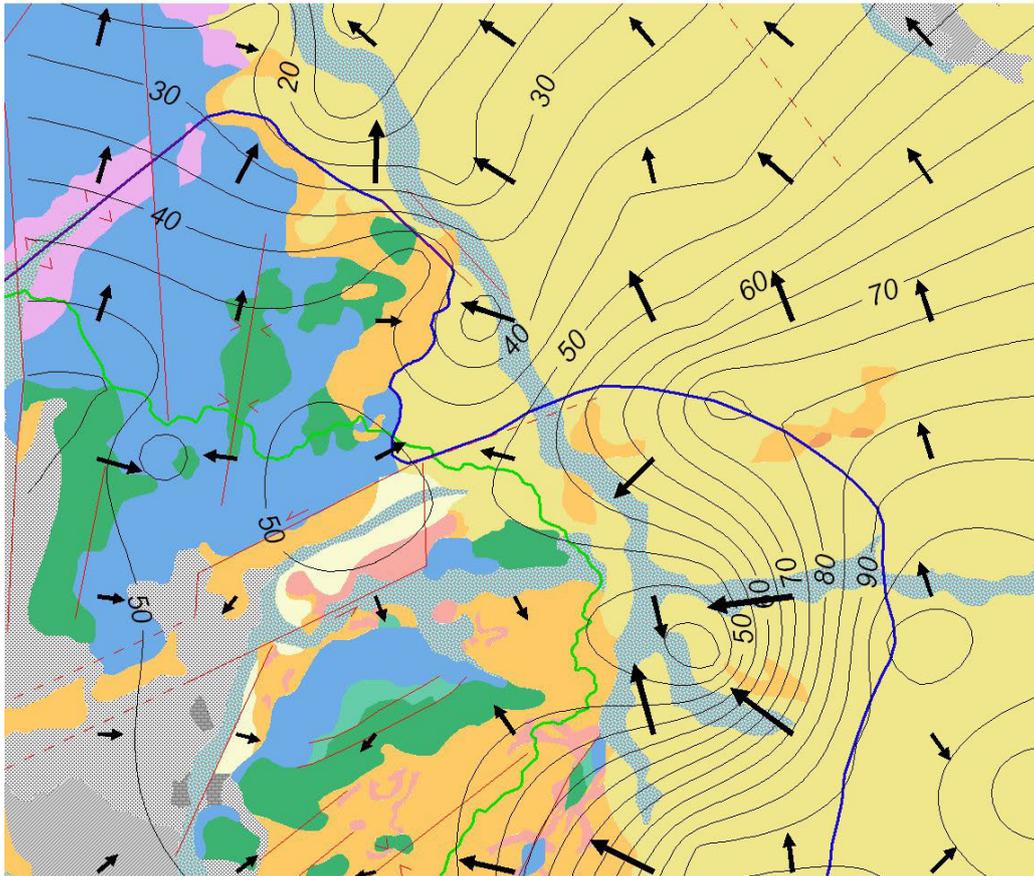


Figura 9.24 - Carta delle isopieze sul Miocene

## **9.8 Rete di monitoraggio definitiva dei pozzi**

### *9.8.1 Impostazione della rete*

Uno degli obiettivi della ricerca è quello di ottimizzare la rete di osservazione delle RIS, in modo da evitare la ridondanza di dati, e nel contempo essere in grado di monitorare gli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa. La scelta e l'ubicazione dei punti di prelievo della rete di monitoraggio definitiva è stata progettata in funzione della geometria degli acquiferi riconosciuti, di una distribuzione ottimizzata delle informazioni e in funzione delle attività antropiche. Così come sarà ampiamente descritto nei capitoli successivi, attraverso l'acquisizione dei dati raccolti (CDP, analisi chimiche, piezometriche e direzioni di flusso delle acque sotterranee, modello idrogeologico concettuale), la loro elaborazione e la loro interpretazione, secondo un approccio multidisciplinare, è stato possibile progettare la rete di monitoraggio definitiva. Ulteriore criterio è stato quello di privilegiare i pozzi che attualmente presentano un certo grado di inquinamento e quelli più produttivi, utilizzati per scopi idropotabili.

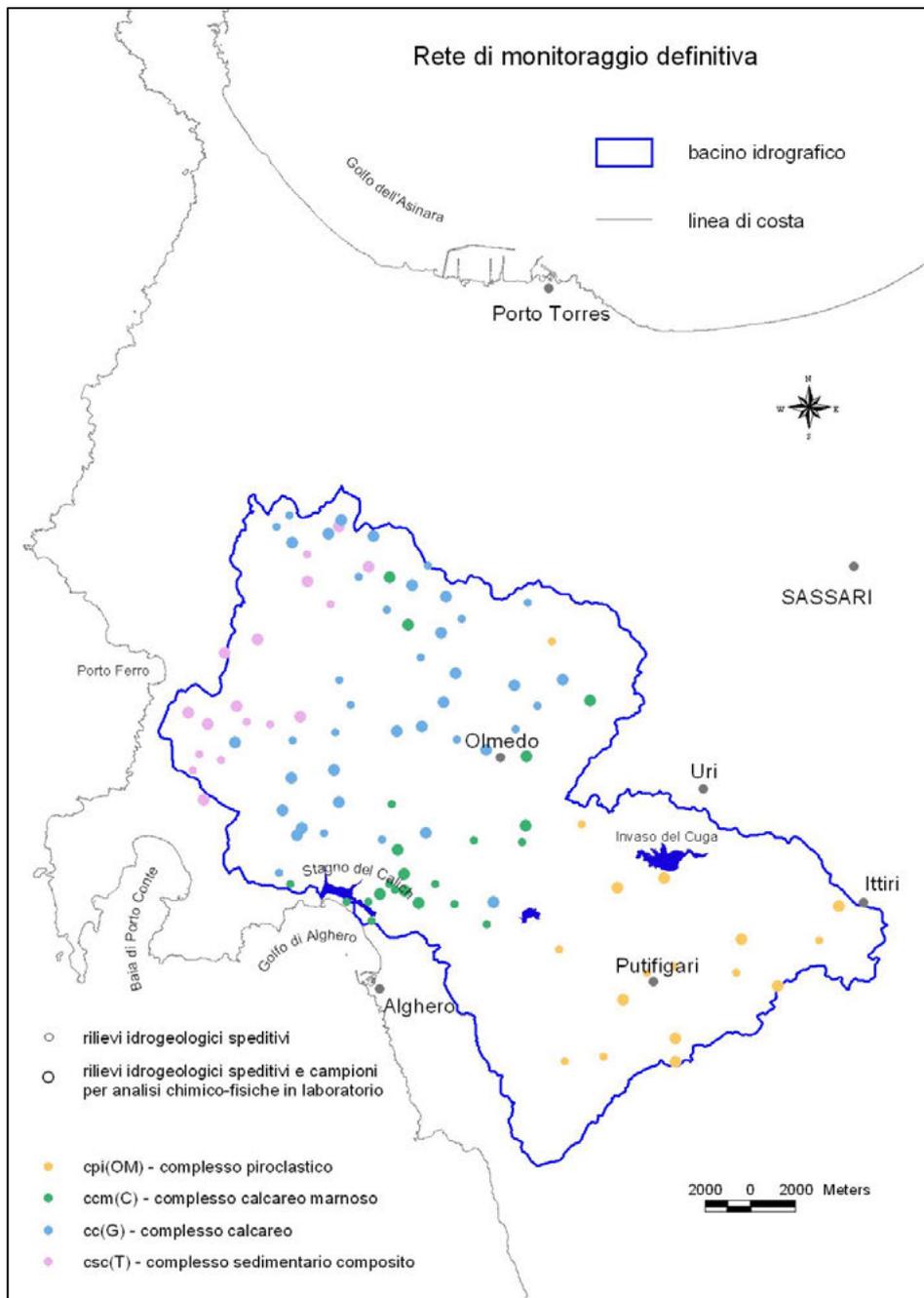
Sono stati quindi selezionati 51 pozzi e 4 sorgenti (figura 9.25), dai 447 punti d'acqua inizialmente censiti e dai 118 successivamente individuati per la costituzione della rete di monitoraggio preliminare. I punti di prelievo della rete di monitoraggio definitiva risultano così suddivisi tra i vari acquiferi individuati:

- 10 pozzi nell'acquifero ospitato nelle formazioni del Trias;
- 23 pozzi e 1 sorgente nell'acquifero ospitato nelle formazioni del Giura;
- 6 pozzi nell'acquifero ospitato nelle formazioni del Cretaceo;
- 9 pozzi e 3 sorgenti nell'acquifero ospitato nel complesso vulcanico oligo-miocenico;
- 3 pozzi nell'acquifero ospitato nelle alluvioni recenti del Quaternario.

Su gli altri punti d'acqua della rete di monitoraggio preliminare sono stati regolarmente eseguiti i rilievi speditivi.

### *9.8.2 Monitoraggio giugno 2005: rilievi idrogeologici e campionamento*

Nel mese di giugno 2005 si è concluso il monitoraggio della rete di pozzi costruita nell'area di indagine. Per ogni punto d'acqua, oltre all'esecuzione delle misure speditive in situ (temperatura, pH e il livello piezometrico), sono state campionate le acque sotterranee. In laboratorio sono stati misurati i parametri relativi a: conducibilità elettrica, salinità, ossigeno disciolto, potenziale di ossido riduzione, residuo fisso, durezza totale, bicarbonati, nitrati, nitriti, cloruri, solfati, bromuri, fosfati, silice, ammoniaca, sodio, potassio, calcio, magnesio, ferro, litio, zinco, manganese, piombo e cadmio. Sono stati prelevati 55 campioni, i dati analitici sono riportati nel Capitolo 10. Nella tabella 9.7 sono evidenziati in giallo i pozzi su cui è stato eseguito il campionamento delle acque per le analisi di laboratorio.



**Figura 9.25 - Rete di monitoraggio definitiva**

**Tabella 9.7 - Pozzi della rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

ID_POZZO	UTM_EST	UTM_NORD	USO	UNI_IDROG	DATA_MIS	QUOTA_PIEZ m s.l.m.	T °C	COND 25°C µS/cm	pH
1S	434641	4498480	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	24-jun-2005 00:00:00	24,6	2070	7,2	
2S	435375	4500216	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	16,88	20,2	3050	6,9
5S	434142	4493760	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	41,15	20,5	2420	6,6
11S	434404	4500453	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	31,02	20,9	2130	6,8
16S	436002	4501003	irriguo soccorso	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	17,50	21,2	2200	7,1
26S	434811	4501819	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	33,18	23,4	2230	8,7
29S	436491	4501864	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	28-jun-2005 00:00:00	31,30	23,0	2420	6,8
31S	436089	4502596	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	34,03	23,8	7100	6,9
34S	432971	4502285	irriguo soccorso	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	21,53	23,6	2610	8,2
36S	447026	4500702	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	45,03			
37S	447029	4500694	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	43,02	21,3	1317	6,8
39S	439487	4493458	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	12,22	19,9	1820	7,4
40S	438103	4498019	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	11,91			
41S	438108	4498022	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	11,68	21,5	1720	6,7
43S	438944	4497251	irropotabile	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	9,36	17,8	1670	6,8
44S	435563	4504909	disuso	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	51,12	25,0	8260	6,9
56S	439181	4508061	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	79,70	22,7	3010	6,7
57S	439164	4509234	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	84,25	21,8	4180	6,9
58S	438503	4503770	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	91,52	20,9	1368	7,0
64S	437803	4510421	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	14-jun-2005 00:00:00	90,65	19,5	1810	7,2
69S	440016	4510126	industriale	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	75,14	22,2	1405	6,8
71S	440572	4510475	domestico	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	75,91	21,0	2420	6,9
72S	443776	4507878	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	49,77	18,8	1470	6,6
73S	442081	4510021	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	68,26	22,3	898	6,9
75S	441968	4509698	zootecnico	csd(T) - complesso sedimentario composito	23-jun-2005 00:00:00	53,81	19,3	2420	7,1
76S	441420	4508244	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	14-jun-2005 00:00:00	51,84	18,1	1620	7,4
78S	442799	4509227	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	27-jun-2005 00:00:00	95,81	24,4	930	6,8
80S	444466	4508725	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	59,09	20,9	950	7,6
81S	445244	4507399	industriale	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	44,77	20,8	1105	6,7
84S	442631	4506785	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	45,25	19,5	1680	7,1
86S	440172	4507052	zootecnico	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	54,00	20,8	2530	7,2
87S	438374	4510924	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	94,69	21,3	1070	6,8
89S	440676	4510758	domestico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	75,43	20,0	1880	6,4
90S	445044	4505801	domestico,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	43,49	21,1	1121	6,8
98S	443600	4506139	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	27-jun-2005 00:00:00	52,43	23,4	1500	7,5
100S	445935	4506405	disuso	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	47,84	21,3	940	7,0
101S	445695	4504022	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	22-jun-2005 00:00:00	41,66	21,8	1357	6,6
112S	445725	4510085	domestico,irriguo	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	33,31	21,4	760	7,7
114S	444118	4504686	irriguo soccorso	cc(G) - complesso calcareo	16-jun-2005 00:00:00	45,11	21,7	1330	6,6
120S	450400	4503748	irriguo,zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	24-jun-2005 00:00:00	48,01	23,5	792	7,1
122S	449270	4502596	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	48,62	21,4	920	7,0
125S	451597	4502826	zootecnico	com(C) - complesso calcareo marnoso	28-jun-2005 00:00:00	50,73	21,1	1610	6,8
126S	449276	4503679	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	28-jun-2005 00:00:00	46,03	24,2	1348	6,8
136S	445810	4507116	zootecnico	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	55,18	20,9	1820	6,4
139S	448796	4500386	zootecnico	com(C) - complesso calcareo marnoso	28-jun-2005 00:00:00	44,80	22,5	2980	6,9
140S	448287	4501559	domestico	cc(G) - complesso calcareo	18-jun-2005 00:00:00	46,95	22,1	1450	6,5
143S	448173	4502733	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	44,34	18,6	1363	6,7
157S	451199	4497403	irriguo	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00	38,94	23,1	2160	7,4
168S	454840	4495053	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	112,96	21,9	4630	7,0
167S	452777	4494629	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	91,99	23,0	4060	6,8
173S	461999	4492299	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00		21,3	1060	7,4
174S	462493	4493283	irriguo	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00		23,3	1860	6,6
178S	458227	4492364	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	250,58	22,6	4850	6,4
180S	457964	4490889	irriguo,zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00	254,79	21,2	1660	6,9
181S	456244	4491162	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00	275,22	23,1	930	6,7
182S	459805	4493031	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	465,24	19,5	1092	6,2
197S	459329	4497011	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	330,30	20,0	2060	6,6
200S	459320	4489024	disuso	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	295,00	24,4	1249	6,9
201S	452195	4487206	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00	173,97	21,7	1250	7,6
203S	453047	4489723	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	278,95	20,4	1870	6,8
206S	454045	4490294	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	211,56	22,5	2640	6,0
210S	449394	4505410	irriguo	cp1(OM) - complesso pirolastico	17-jun-2005 00:00:00	51,23	21,7	2800	7,5
1C	440876	4494010	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	-0,10	23,4	2790	6,3
4C	441986	4493156	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	-2,60	25,0	3530	7,2
15C	441833	4494014	domestico	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	1,97	24,0	4930	6,7
18C	442349	4494343	domestico	com(C) - complesso calcareo marnoso	27-jun-2005 00:00:00	1,08	20,8	3330	6,8
20C	443007	4494522	domestico	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	2,20	26,5	1960	6,9
21C	443428	4495249	zootecnico,irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	27-jun-2005 00:00:00	-4,71	21,8	3110	6,7
28C	442754	4494779	industriale,irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	0,84	19,9	1480	7,1
29C	443463	4494493	irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	28-jun-2005 00:00:00	2,59	24,0	489	6,8
32C	443127	4496292	irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	24-jun-2005 00:00:00	1,28	22,0	2185	7,3
33C	442429	4496735	disuso	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	11,33	20,6	1080	7,2
43C	442866	4496284	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	13,78	20,5	4050	8,0
47C	438711	4496926	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	12,81	17,0	1424	6,9
49C	438411	4494774	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	1,30	23,4	2710	6,8
52C	439893	4496999	domestico,irriguo	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	13,53	23,8	1050	6,9
59C	437925	4495250	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	0,04	22,9	920	7,0
60C	436906	4501074	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	27-jun-2005 00:00:00	14,04	22,5	1660	6,5
62C	440375	4501408	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	18-jun-2005 00:00:00	20,81	19,4	2100	6,8
63C	440366	4493796	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	24,14	21,2	780	7,3
66C	438859	4502128	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	15-jun-2005 00:00:00	18,10	21,6	1890	6,3
71C	440959	4503716	disuso	cc(G) - complesso calcareo	24-jun-2005 00:00:00	26,02	19,5	1410	6,8
74C	441064	4502626	disuso	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	23,11	21,3	750	7,1
77C	443121	4501477	industriale	cc(G) - complesso calcareo	18-jun-2005 00:00:00	23,98	20,8	1441	6,8
81C	440560	4498381	industriale	cc(G) - complesso calcareo	18-jun-2005 00:00:00	6,00	22,8	1225	6,4
90C	437509	4501789	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	14-jun-2005 00:00:00	18,26	20,1	1260	6,9
93C	437000	4505525	irriguo	csd(T) - complesso sedimentario composito	15-jun-2005 00:00:00	58,35	22,0	4880	6,9
98C	447038	4493027	irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	37,05	23,9	2030	7,3
107C	447367	4493987	disuso	cc(G) - complesso calcareo	15-jun-2005 00:00:00	17,99	23,5	2280	7,5
112C	450201	4491921	domestico	cp1(OM) - complesso pirolastico	21-jun-2005 00:00:00	70,46	23,8	1910	6,9
115C	444051	4493984	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	27-jun-2005 00:00:00	3,45	21,9	1282	7,6
118C	445604	4493897	disuso	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	9,80	23,4	3060	7,2
121C	444373	4493045	disuso	cc(G) - complesso calcareo	23-jun-2005 00:00:00	1,30	20,3	1248	6,9
126C	446470	4496702	irriguo,domestico	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	13,30	24,2	2020	7,7
130C	444198	4501685	irriguo	cc(G) - complesso calcareo	24-jun-2005 00:00:00	42,93	23,2	1235	7,0
139C	444754	4494778	domestico	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	0,97	23,1	4470	6,8
142C	448968	4496603	irriguo	com(C) - complesso calcareo marnoso	17-jun-2005 00:00:00	23,07	22,7	2320	7,6
145C	448770	4497340	zootecnico	com(C) - complesso calcareo marnoso	30-jun-2005 00:00:00	29,68	22,7	5160	6,8
152C	450451	4496999	zootecnico	cp1(OM) - complesso pirolastico	30-jun-2005 00:00:00	286,40	26,5	830	6,7

## **9.9 Rilievi idrogeologici nelle sorgenti**

### *9.9.1 Censimento delle sorgenti*

La fase di censimento, in campagna, si è svolta in un arco temporale di circa 3 mesi (febbraio-marzo 2004) ed è stata preceduta dalla individuazione dei punti d'acqua riportati nella Carta Tecnica Regionale in scala al 10000. Per ogni nuovo punto d'acqua censito, a cui è stato attribuito un codice identificativo, sono stati eseguiti i seguenti rilievi: quota topografica (dell'emergenza ed eventualmente della sezione di misura); coordinate chilometriche tramite GPS; dati costruttivi dell'opera; identificazione dell'unità idrogeologica di riferimento; tipo di emergenza; misure speditive di pH, temperatura e conducibilità elettrica tramite pH-metro/conduktivimetro portatile; misura della portata attraverso metodo volumetrico. Per ogni sorgente è stata quindi redatta una scheda monografica (figura 9.26) correlata di documentazione fotografica (figura 9.27).

I rilievi idrogeologici hanno portato a censire, nell'area in studio, 85 sorgenti: di cui 1 appartenente all'unità idrogeologica del complesso metamorfico (cme) del Paleozoico; 2 appartenenti all'unità idrogeologica del complesso sedimentario composito (csc) del Trias; 68 appartenenti all'unità idrogeologica del complesso piroclastico (cpi) dell'Oligo-Miocene (OM); 11 appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso marnoso-calcareo (cmc) del Miocene (Mc) e infine 3 appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso sedimentario recente (csr) del Quaternario.

Delle 85 sorgenti censite nell'intero bacino, 6 sorgenti risultano parzialmente captate e 2 non captate.

Facendo riferimento alla destinazione d'uso prevalente al momento del censimento, 62 sorgenti risultano utilizzate per uso zootecnico, 15 sorgenti per uso civile, 4 sorgenti per uso irriguo, 1 sorgente per uso civile e irriguo e 2 risultano in disuso.

In tabella 9.8 sono riportate le sorgenti censite.

In figura 9.29 è riportata l'ubicazione geografica delle sorgenti: il maggior numero di queste ricade nella parte sud dell'area in studio.

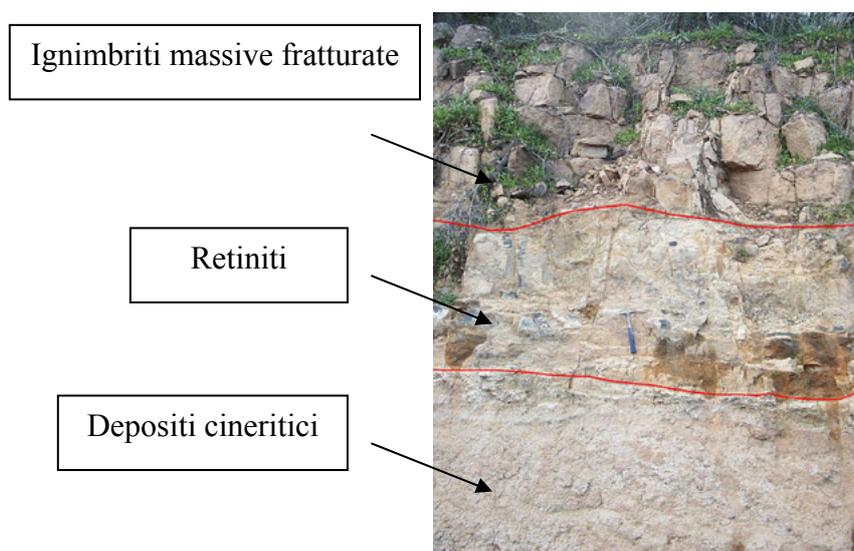


Tabella 9.8 - Database delle sorgenti censite

ID Sorg	UTM_EST	UTM_NORD	USO	DATA_MIS	PORTATA l/s	T °C	COND 25°C µS/cm	SITU	pH
S1	458590	4496232	civile	25-feb-2004 00:00:00	1,000	16,2		800	7,3
S2	460342	4495630	civile	25-feb-2004 00:00:00		14,7		1140	7,2
S3	463948	4492522	civile	25-feb-2004 00:00:00	0,959	13,6		1110	6,7
S4	461852	4493237	civile	25-feb-2004 00:00:00	0,015	10,5		300	6,3
S5	450799	4482478	civile	26-feb-2004 00:00:00	0,092	12,2		570	5,7
S6	452291	4485340	zootecnico	26-feb-2004 00:00:00	0,154	12,9		650	6,5
S8	453087	4489482	zootecnico	26-feb-2004 00:00:00	0,038	12,3		1090	6,3
S9	451480	4492565	disuso	26-feb-2004 00:00:00		11,2		180	6,1
S10	448726	4488281	zootecnico	26-feb-2004 00:00:00		13,2		1120	6,2
S11	448706	4489210	zootecnico	26-feb-2004 00:00:00	0,333	12,4		1580	6,6
S12	450020	4488614		26-feb-2004 00:00:00	0,414	13,2		750	7,5
S13	449228	4485906	zootecnico	26-feb-2004 00:00:00	0,030	12,1		1060	6,2
S14	449652	4487365	zootecnico	27-feb-2004 00:00:00	0,093	10,7		1910	6,3
S15	450056	4486864	zootecnico	27-feb-2004 00:00:00	0,060	12,9		790	5,8
S16	448616	4483775	civile,zootecnico	27-feb-2004 00:00:00	0,039	12,7		830	5,6
S17	449449	4484135	zootecnico	27-feb-2004 00:00:00	1,067	12,7		510	6,1
S18	448992	4482354	zootecnico	08-mar-2004 00:00:00	0,019	10,0		480	5,3
S19	448897	4484894	zootecnico	08-mar-2004 00:00:00	0,084	10,1		1040	6,5
S20	451619	4491826	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,031	14,0		1720	6,7
S21	452020	4491271	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,038	17,6		900	6,0
S22	451535	4490253	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,015	14,4		1200	6,9
S23	453224	4489623	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,027	15,3		1370	6,1
S24	453302	4487911	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,050	12,8		850	6,1
S25	451926	4489589	civile	10-mar-2004 00:00:00	0,010	11,6		1130	7,2
S26	450898	4490864	civile	10-mar-2004 00:00:00	0,096	13,4		430	7,2
S27	455508	4489660	irriguo	10-mar-2004 00:00:00	0,309	14,7		330	5,7
S28	455183	4488098	civile	11-mar-2004 00:00:00	0,760	14,7		340	6,9
S29	455582	4488427	civile	11-mar-2004 00:00:00	0,060	14,9		940	6,7
S30	455527	4488392	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00	0,067	14,4		1270	6,9
S31	454652	4490118	civile	11-mar-2004 00:00:00	0,088	14,6		1280	6,9
S32	455086	4489800	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00	0,220	14,0		610	7,1
S33	455110	4493707	zootecnico	12-mar-2004 00:00:00	0,146	14,2		340	6,5
S34	457112	4490878	zootecnico	12-mar-2004 00:00:00	0,066	13,8		730	6,3
S35	457124	4491213	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,060	13,3		1300	6,8
S36	454031	4488859	civile	23-mar-2004 00:00:00	0,039	12,8		390	6,4
S37	452812	4485713	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,156	14,1		1310	6,6
S38	450808	4489172	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,103	10,3		1450	5,9
S39	450661	4488339	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,021	11,0		1760	6,1
S40	452961	4485845	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,019	13,3		1440	6,8
S41	451656	4484698	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,024	11,7		740	5,7
S42	451808	4484951	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,015	12,8		1270	6,2
S43	451712	4485028	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,130	12,8		730	6,1
S44	451747	4485104	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,013	11,8		1090	7,4
S45I	452028	4485428	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,068	14,0		1180	7,2
S45II	451965	4485386	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,057	14,0		1180	7,2
S45III	451865	4485421	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,075	14,0		1180	7,2
S46	454323	4494374	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,040	14,8		3820	6,4
S47	455135	4491008	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,011	12,8		1090	6,7
S48	450831	4492204	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,008	15,5		1520	7,0
S49	449095	4492077	irriguo	25-mar-2004 00:00:00	0,400	16,7		1890	7,5
S50	447460	4491511	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,133	17,0		1450	6,8
S51	447893	4493965	civile	25-mar-2004 00:00:00	0,465	17,4		1690	7,0
S52	456847	4489033	zootecnico	26-mar-2004 00:00:00	0,006	13,0		1420	7,2
S53	456897	4488808	zootecnico	26-mar-2004 00:00:00	0,064	14,0		340	6,0
S54			zootecnico	26-mar-2004 00:00:00	0,039	16,2		950	5,8
S100	453344	4497983	zootecnico	08-mar-2004 00:00:00	0,010	11,0		2510	7,8
S101	452231	4495114	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,021	14,6		3710	6,6
S102	452538	4495356	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,067	17,2		2560	6,8
S103	458255	4495931	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,014	12,5		730	7,5
S104	457917	4495981	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,037	13,3		1470	7,0
S105	456635	4495671	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,213	10,6		760	6,5
S106	456484	4495167	zootecnico	09-mar-2004 00:00:00	0,063	9,0		1490	6,6
S107	460350	4494688	disuso	10-mar-2004 00:00:00	0,174	16,1		1730	7,5
S108	459843	4494653	zootecnico	10-mar-2004 00:00:00	0,100	15,7		1360	6,9
S109	462145	4494545	zootecnico	10-mar-2004 00:00:00	0,625	14,5		880	6,7
S110	457950	4496194	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00	0,043	11,0		980	7,4
S111	462793	4490515	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00	0,063	14,9		950	6,9
S112	459012	4490486	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00	0,340	12,2		940	6,9
S113	458568	4489219	zootecnico	11-mar-2004 00:00:00		13,9		730	6,9
S114	461742	4491883	zootecnico	12-mar-2004 00:00:00	0,083	16,6		1130	6,5
S115	462752	4493987	irriguo	12-mar-2004 00:00:00	0,017	17,4		820	7,4
S116	459206	4496506	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,040	12,5		710	7,4
S117	458933	4496557	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,020	11,4		790	7,7
S118	462768	4493589	irriguo	23-mar-2004 00:00:00	0,333	12,3		1090	7,0
S119	461256	4491849	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,024	14,8		2330	5,8
S120	461029	4491918	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,025	15,0		1300	6,4
S121	458557	4492202	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,118	15,5		1540	6,2
S122	459027	4491124	zootecnico	23-mar-2004 00:00:00	0,069	14,5		690	5,7
S123	446143	4501128	civile	24-mar-2004 00:00:00	0,833	16,3		1270	6,8
S124	446398	4500957	civile	24-mar-2004 00:00:00	2,990	18,3		1300	6,8
S125	446808	4500980	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,450	18,2		1360	6,7
S126	439873	4507940	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,400	18,5		3180	6,6
S127	438185	4507761	civile	25-mar-2004 00:00:00	0,490	14,4		540	6,0
S128	438441	4508777	zootecnico	25-mar-2004 00:00:00	0,102	16,1		2100	5,8
S129	449465	4499630	zootecnico	08-apr-2004 00:00:00	0,063	17,0		2240	6,7
S130	449756	4495713	zootecnico	08-apr-2004 00:00:00	0,049	20,7		4650	7,8
S131	453021	4501699	zootecnico	24-mar-2004 00:00:00	0,059	16,2		1690	6,4

Per le sorgenti censite, le condizioni e le modalità idrogeologiche per le quali le acque sotterranee vengono a giorno, sono riconducibili a diversi fenomeni. Si possono dunque classificare in: sorgenti di contatto o limite di permeabilità, di frattura e di emergenza.

La prima tipologia è tipica delle sorgenti presenti nel territorio comunale di Ittiri, dove si ha il contatto tra i calcari miocenici e le sottostanti vulcaniti oligo-mioceniche, le quali presentano una permeabilità nettamente inferiore a quella dei calcari soprastanti. Anche all'interno delle stesse vulcaniti (figura 9.28) possiamo riscontrare la presenza di tali limiti: a diverse quote si trovano sequenze discontinue di ignimbriti in facies vitrofirica, comunemente chiamate retiniti e/o depositi cineritici argillificati, i quali fungono da strato impermeabile, dando così origine a manifestazioni sorgentizie.



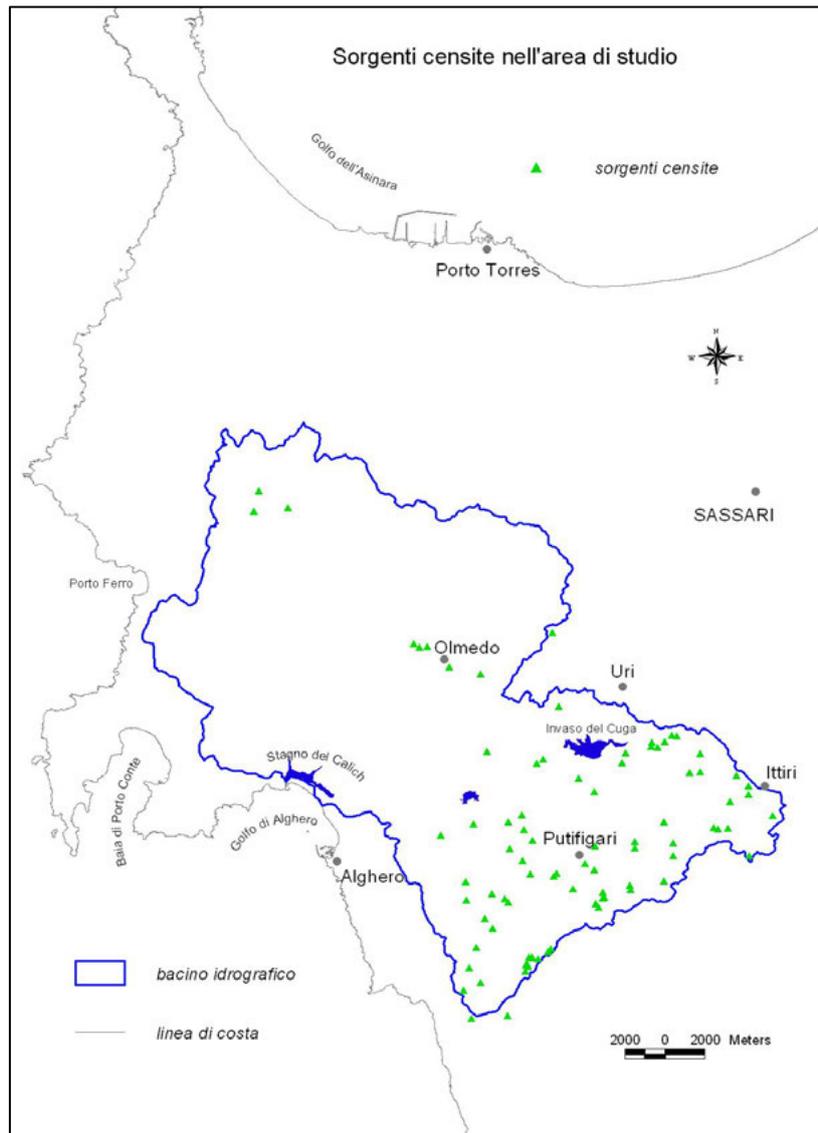
**Figura 9.28 - Sequenza ignimbratica**

La seconda tipologia è tipica delle formazioni vulcaniche oligo-mioceniche, presenti nel territorio comunale di Putifigari. L'irregolare fratturazione presente tende a chiudersi in profondità, ostacolando, in questo modo, l'infiltrazione delle acque e favorendone, in alcuni casi, l'emergenza in superficie. Il complesso vulcanico è particolarmente predisposto alla formazione di sorgenti: sono infatti 56 (più della metà di quelle censite in totale) le sorgenti rinvenute sulle vulcaniti, comprese nella grande maggioranza dei casi all'interno dei comuni di Putifigari, Ittiri, Uri e in minima parte nel comune di Villanova Monteleone.

Una sorgente per frattura, importante per produttività, è quella presente ad Olmedo, che, anche a causa della elevata portata, è sicuramente collegata ad una struttura tettonica.

Sono poco presenti le sorgenti per emergenza e comunque non rivestono una importanza dal punto di vista produttivo.

Sono decisamente in numero minore le sorgenti censite, nella zona settentrionale, sui calcari del Cretaceo e Giurese e sui calcari dolomitici e dolomie del Trias.



**Figura 9.29 - Ubicazione delle sorgenti censite**

### **9.10 Isopiezometriche degli acquiferi**

Come è stato già descritto, per l'intera durata del Progetto sono state effettuate delle campagne di misura al fine di monitorare le acque sotterranee.

I dati relativi alle quote piezometriche sono stati utilizzati per l'elaborazione delle isopiezometriche. In generale, si può affermare che non si evidenziano sostanziali modifiche sull'andamento generale delle linee preferenziali di flusso e sulle cadenti piezometriche.

In figura 9.30 e nell'Allegato 2 sono riportate le elaborazioni relative al monitoraggio eseguito nel dicembre 2004. Nel GIS vengono rappresentate le elaborazioni piezometriche relative ai rilievi eseguiti durante le fasi del monitoraggio (2003-2005).

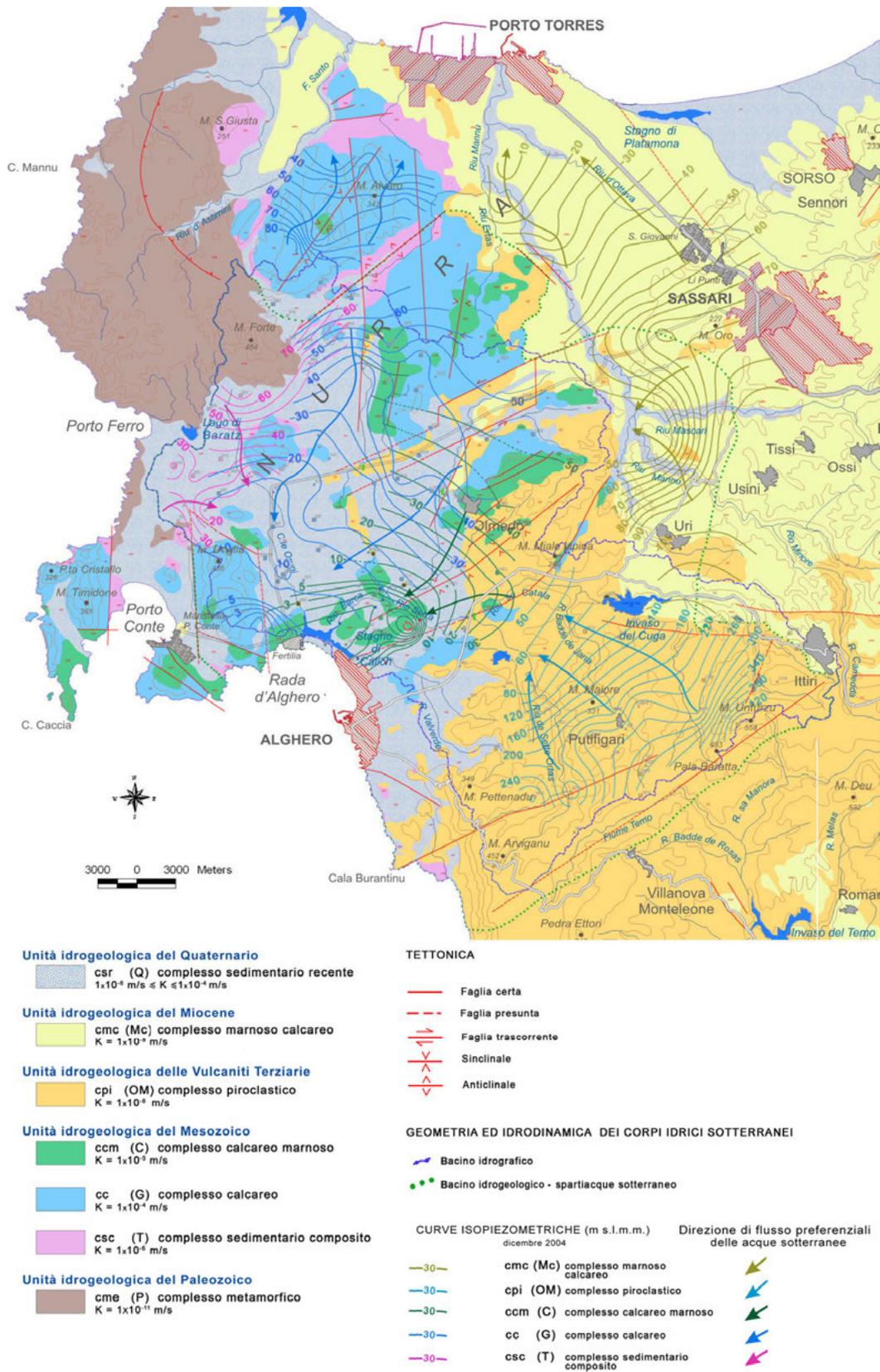


Figura 9.30 - Isopiezometriche (dicembre 2004)



## **CAPITOLO 10**

### **IDROGEOCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI**

Così come scritto nel precedente Capitolo 9 (Rilievi idrogeologici), i rilievi e i campionamenti delle acque superficiali e sotterranee sono stati eseguiti in diverse fasi e periodi. Le analisi chimico-fisiche di laboratorio, descritte in dettaglio nelle successive pagine, sono state eseguite presso il Laboratorio Acque della Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata, Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università degli Studi di Sassari.

Le varie fasi delle attività di monitoraggio, i cui dati analitici di laboratorio sono stati utilizzati per l'interpretazione idrogeochimica, vengono riassunte di seguito:

- ottobre 2003-febbraio 2004: censimento pozzi (365);
- febbraio-aprile 2004: censimento sorgenti (87);
- giugno 2004: campionamento orientativo su 52 pozzi e 14 sorgenti selezionati nelle aree ad elevata conducibilità elettrica, misure speditive su 14 punti e campionamento su 6 punti delle acque superficiali;
- settembre 2004: rilievi idrogeologici speditivi sui 103 pozzi della rete di monitoraggio preliminare e su 14 punti delle acque superficiali;
- novembre-dicembre 2004: campionamento e rilievi idrogeologici su 99 pozzi della rete di monitoraggio preliminare; campionamento di 21 sorgenti monitorate; misure speditive su 14 punti e campionamento su 6 punti delle acque superficiali;
- giugno 2005: campionamento sui 51 pozzi e 4 sorgenti della rete di monitoraggio definitiva, rilievi idrogeologici sui 99 pozzi della rete di monitoraggio, misure speditive su 14 punti e campionamento su 4 punti delle acque superficiali;
- giugno 2005 prelievo di 4 campioni di acqua di mare.

Nelle tabelle 10.3 e 10.4 sono riportati i dati analitici dei campionamenti.

#### **10.1 Metodiche analitiche**

##### **10.1.1 Modalità di prelievo del campione**

Il prelievo del campione, nei pozzi dotati di pompa sommersa, è stato sempre preceduto da un pompaggio di alcuni minuti, in modo da essere il più possibile rappresentativo dell'acquifero in esame. Nei pozzi privi di pompa è stato utilizzato un campionatore in polietilene.

Il campione è stato raccolto in un contenitore in polietilene, in modo da mantenere inalterate le caratteristiche fisico-chimiche, conservato in una borsa termica a bassa temperatura e conferito al laboratorio entro le 4 ore.

Il campione utilizzato per la determinazione dell'ossigeno disciolto è stato prelevato con il campionatore in polietilene, e quindi determinato *in situ*, o quando questo non è stato possibile, conservato in un'apposita bottiglia di vetro all'interno di una borsa termica a bassa temperatura, e analizzato in laboratorio poche ore dopo il prelievo.

### 10.1.2 Analisi eseguite *in situ*

Sono stati determinati *in situ*, su un campione di acqua appositamente prelevato, i parametri temperatura, pH e conducibilità elettrica, con un pHmetro-conduttimetro portatile (*mod. HI 98130 HANNA Instruments*). Contemporaneamente è stata eseguita anche la determinazione dell'ammoniaca, dell'ossigeno disciolto e del potenziale di ossido-riduzione.

#### 10.1.2.1 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Per la determinazione dello ione ammonio è stato utilizzato il metodo colorimetrico associato a uno spettrofotometro portatile *Fotometro aqualytic PCCOMPACT – Ammoniaca*; il campione è trattato con due pastiglie contenenti il reattivo di Nessler che sviluppano un complesso colorato dosato alla lunghezza d'onda di 660nm. I risultati sono stati espressi in mg/l di N ammoniacale.

#### 10.1.2.2 Ossigeno disciolto

La determinazione dell'ossigeno disciolto, sul campione appositamente prelevato, è stata eseguita *in situ* o in laboratorio, su campione stabilizzato, poche ore dopo il prelievo. È stato utilizzato un metodo ad elettrodo specifico (UNI EN 25814) con una cella *WTW cellox 325*, associato a un ossimetro *WTW Oxi 315i* e i risultati sono stati espressi in mg/l.

#### 10.1.2.3 rH potenziale di ossido-riduzione

Il potenziale di ossido riduzione (potenziale redox) è stato determinato per via potenziometrica (UNI/UNICHIM 10370), con un conduttimetro (*WTW pH-cond 340i*) che misura la differenza di potenziale (E) tra un elettrodo all'idrogeno e uno al platino (*WTW Sentix ORP*), congiuntamente alla misura del pH del campione, secondo la relazione:

$$E=0.029rH-0.058pH$$

### 10.1.3 Stabilizzazione dei campioni d'acqua

I campioni, pervenuti presso il laboratorio della Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata, Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università degli Studi di Sassari, sono stati immediatamente filtrati con dei filtri di carta porosa e quindi sottoposti alla determinazione della conducibilità elettrica, del pH, del potenziale di ossidoriduzione e dei bicarbonati.

Un'aliquota del campione è stata ulteriormente stabilizzata, per la lettura degli anioni in HPLC, mediante filtraggio sottovuoto su membrane porose in nylon con pori di 0,2 µm e quindi conservata alla temperatura di 4 °C .

#### 10.1.4 Analisi fisico-chimiche eseguite in laboratorio

Le analisi sono state eseguite entro le 48 ore dal conferimento del campione. Sono stati determinati i principali parametri fisico chimici utili a caratterizzare le acque sotto l'aspetto qualitativo. Nella scelta di questi si è tenuto anche conto dei parametri di base individuati dal D.Lgs. 152/99 e allegati tecnici, per la caratterizzazione chimica dell'acquifero (tabella 10.1).

**Tabella 10.1 - Parametri di base (con (o) sono indicati i parametri macrodescrittori utilizzati per la classificazione) del D.Lgs 152/99**

Temperatura (°C)	Potassio (mg/l)
Durezza totale (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Sodio (mg/l)
Conducibilità elettrica (µS/cm (20°C)) (o)	Solfati (mg/l) come SO <sub>4</sub> (o)
Bicarbonati (mg/l)	Ione ammonio (mg/l) come NH <sub>4</sub> (o)
Calcio (mg/l)	Ferro (mg/l) (o)
Cloruri (mg/l) (o)	Manganese (mg/l) (o)
Magnesio (mg/l)	Nitrati (mg/l) come NO <sub>3</sub> (o)

Complessivamente, i parametri analizzati sono stati i seguenti: temperatura (°C), conducibilità elettrica 18 °C (µS/cm), pH, O.D. (mg/l), residuo fisso 110 °C 180 °C (mg/l), salinità (mg/l), durezza totale (mg/l CaCO<sub>3</sub>), rH (V), cloruri (mg/l), solfati (mg/l), nitrati (mg/l), nitriti (mg/l), bromuri (mg/l), fluoruri (mg/l), fosfati (mg/l), silice (mg/l), calcio (mg/l), magnesio (mg/l), sodio (mg/l), potassio (mg/l), ammoniaca (mg/l), ferro (mg/l), litio (mg/l), zinco (mg/l), manganese (mg/l), cadmio (mg/l) e Piombo (mg/l).

##### 10.1.4.1 Conducibilità elettrica

La conducibilità elettrica dell'acqua è stata determinata anche in laboratorio, sul campione filtrato, con il metodo conduttimetrico (UNI EN 27888), con un conduttimetro dell'*Analytical Control Model 120 microprocessor Conductivity Meter*; i dati sono stati espressi in µS/cm alla temperatura di riferimento di 18 °C. Inoltre, sui campioni di acqua di mare, la misura di questo parametro è stata effettuata sia sul tal quale, che su una diluizione 10x; in particolare, quest'ultima misura è stata utilizzata per poter procedere ad un controllo matematico dei componenti.

##### 10.1.4.2 Ione bicarbonato

Il contenuto di ioni bicarbonato nelle acque è stato determinato con il metodo potenziometrico con un titolatore automatico dell'*Analytical Control ORION 950*, mediante una titolazione acido base con una soluzione di HCL 0.05 N.

##### 10.1.4.3 Cationi principali: calcio, magnesio, sodio, potassio

La determinazione dei cationi è stata eseguita mediante metodo spettrometrico per assorbimento atomico con aspirazione diretta in fiamma (UNI 10540- UNI 10541- UNI 10542- UNI 10543 30/11/96) con uno spettrofotometro *Perkin Elmer mod AAnalyst 200*.

La taratura dello strumento è stata sempre realizzata con delle soluzioni standard certificate, con concentrazioni pari a:

Ca 0,5 ppm, 1 ppm;

Mg 0,125 ppm, 0,250 ppm;

Na 0,25 ppm, 0,50 ppm;

K 0,5 ppm, 1 ppm.

Per ogni campione, preventivamente filtrato, sono state preparate delle diluizioni, di modo che la concentrazione dei cationi ricadesse all'interno dell'intervallo di taratura dello strumento, con l'aggiunta di 1 ml su 100 ml di cloruro di lantanio al 20%.

#### 10.1.4.4 Cationi minori: zinco, ferro, litio, manganese, cadmio, piombo

La determinazione dei cationi minori è stata eseguita mediante metodo spettrometrico per assorbimento atomico con aspirazione diretta in fiamma, utilizzando uno spettrofotometro *Perkin Elmer mod AAnalyst 200*, sul campione preventivamente filtrato.

#### 10.1.4.5 Anioni: fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, solfati, fosfati

La determinazione degli anioni è stata effettuata con il metodo della cromatografia ionica, con un cromatografo composto da:

pompa programmabile *Waters mod. 590*;

rilevatore conduttometrico *Waters mod. 431*;

soppressore chimico *Alltech mod. 335 spcs*;

colonna anioni *Alltech mod allsep anion 7  $\mu$  lunghezza 100 mm*;

software *Peak simple 3.21 (SRI)* per la visualizzazione, integrazione del cromatogramma ed elaborazione dei dati.

La taratura dello strumento è stata effettuata con delle soluzioni standard certificate (Alltech) con concentrazioni pari a:

fluoruri 0,5 ppm, 1 ppm;

cloruri 1 ppm, 2 ppm;

nitriti 1 ppm, 2 ppm;

bromuri 1 ppm, 2 ppm;

nitrati 1 ppm, 2 ppm;

solfati 1,5 ppm, 3 ppm;

fosfati 1,5 ppm, 3 ppm.

In seguito il campione, filtrato sotto vuoto con filtri a membrana da 0,2  $\mu$ m, è stato diluito con acqua milliQ. È stato utilizzato come eluente una diluizione (x200) di una soluzione di carbonato-bicarbonato di sodio (Alltech 1,7 mM sodio Bicarbonato; 1,8 mM sodio Carbonato).

#### 10.1.4.6 Silice

La silice è stata determinata con il metodo colorimetrico al blu di molibdeno (UNI 10503), dosata spettrofotometricamente a 650 nm con uno spettrofotometro.

#### 10.1.4.7 Residuo fisso 110 °C e 180 °C

Il residuo fisso è stato determinato con il metodo gravimetrico (UNI-UNICHIM 10506) con riscaldamento del campione in termostato rispettivamente a 110 °C e 180 °C.

### 10.2 L'interpretazione idrogeochimica

L'interpretazione dei dati chimici e chimico-fisici, relativi ai campioni di acque sotterranee del bacino della Nurra, presenta un quadro d'evoluzione geochimica di gran complessità, che trova riscontro e giustificazione nella complessità geologica e delle vicende tettoniche del Bacino.

I processi che determinano la qualità delle acque sotterranee circolanti nei diversi acquiferi che costituiscono il sistema idrogeologico (a distinta natura litologica e con differenti caratteristiche idrauliche), sono numerosi ed in buona parte dei casi, agiscono in sovrapposizione.

La principale caratteristica delle acque esaminate è che esse sono interessate da una diffusa salinizzazione, la cui origine non è, nella gran parte dei casi, ricollegabile all'azione d'acque di mare d'invasione continentale. Il problema sostanziale nello studio di tali acque, come accade nella maggior parte degli ambienti aridi o semi-aridi delle latitudini mediterranee, è il riconoscimento dell'origine della salinità e l'identificazione dei processi che determinano l'abbondanza di ciascun costituente in soluzione.

Il contenuto salino naturale deriva, nelle acque sotterranee, da processi che avvengono in atmosfera (influenza dello spray marino sul contenuto salino e sulla qualità delle precipitazioni) e da processi che avvengono alla superficie del suolo durante l'infiltrazione (evapotraspirazione, evaporazione, soluzione di sali naturalmente presenti nel suolo, trasporto di fertilizzanti) ed il susseguente transito nella zona insatura. L'acqua sotterranea nella zona satura aumenta normalmente il proprio contenuto salino per l'evolversi delle interazioni acqua-roccia: tali processi hanno tuttavia un limite d'efficacia rispetto all'incremento di sali. Per giustificare, nelle acque sotterranee, contenuti salini ben superiori al g/l, si deve ammettere la presenza di uno o più dei seguenti processi: miscelamento con acque di mare attuali o salate d'antica ingressione, con fluidi interstiziali, salamoie, acque mineralizzate in relazione alla presenza di gradienti geotermici anomali (attuali o precedenti), soluzione di minerali evaporitici. La più ovvia fonte di sali in aree costiere è l'acqua di mare attuale: quando l'intrusione marina è l'unico processo di salinizzazione, anche in presenza di interazioni acqua-roccia sovrapposte ed innescate dal miscelamento, essa è generalmente semplice da individuare. Non altrettanto semplice è lo studio dei processi di salinizzazione quando vi siano fonti diverse dall'acqua di mare attuale: se l'acqua di mare è, infatti, un capostipite del processo di miscelamento analizzabile e riconoscibile, acque salate sotterranee e fluidi di varia origine ed età possono non esserlo, tanto che la loro esistenza è, spesso, solo definita a posteriori.

La salinizzazione può avvenire per soluzione di rocce d'origine evaporitica: data la loro alta solubilità, le acque sotterranee a contatto possono contenere grandi quantità di sali.

Altra fonte di sali sono le acque termali o le acque che dilavano depositi idrotermali: tali acque contengono spesso soluti che differiscono da quelli normalmente presenti negli ambienti a bassa temperatura e la loro partecipazione al processo di salinizzazione può, in teoria, essere riconosciuta per la presenza nelle acque miscelate di concentrazioni

anomale di elementi minori ed in traccia, normalmente assenti o presenti proporzionalmente in bassa concentrazione sia nelle acque dolci che in quelle di mare. A complicare il riconoscimento della fonte della salinizzazione è l'esistenza di processi innescati proprio dall'aumento di contenuto salino. In presenza, infatti, di materiali scambiatori, quali argille o materia organica, l'aumento di forza ionica comporta l'instaurarsi di processi di scambio ionico inverso; in presenza di calcite o gesso, un aumento di forza ionica della soluzione provoca un aumento di aggressività delle acque sotterranee nei confronti di tali minerali; un aumento di forza ionica dovuto a soluzione di solfati innesca in ambienti carbonatici l'incongruente dissoluzione della dolomite, ecc.. Gli effetti dei processi innescati dall'aumento di forza ionica si sovrappongono a quelli dovuti al processo primario di salinizzazione, rendendo quindi più complesso il suo riconoscimento. Quando poi negli acquiferi agiscono più fattori di salinizzazione, tenendo anche in conto l'esistenza inevitabile dei processi modificatori suddetti, è evidente che l'identificazione dei singoli processi e del percorso d'evoluzione delle acque può risultare molto complessa. Questo è proprio il caso del bacino della Nurra, la cui storia geologica rende plausibile la presenza simultanea di numerose fonti di salinizzazione, tra cui formazioni e depositi d'origine evaporitica, lagune salate e depositi salini di origine idrotermale.

Per studiare un processo di miscelamento o di salinizzazione occorrerebbe conoscere a priori le caratteristiche di tutte le fonti potenziali di sali: quasi sempre però tali fonti sono ignote o collocate in zone non accessibili del sistema acquifero, per cui non esiste all'inizio un riferimento certo.

Una possibilità per il riconoscimento delle diverse fonti è di confrontare le composizioni chimiche delle acque con quelle eventualmente dovute al miscelamento conservativo con acqua di mare attuale, che in una zona costiera rappresenta la più ovvia eventualità. In ogni caso, tale prassi permette di riconoscere processi modificatori quali per esempio la soluzione e riduzione di solfati, lo scambio ionico, che si possono accompagnare e sovrapporre alla salinizzazione delle risorse idriche.

### **10.3 Contenuto in solidi disciolti (TDS)**

Una prima valutazione dello stato di salinizzazione delle acque della Nurra scaturisce dall'esame dell'evoluzione, rispetto all'aumento della concentrazione dei cloruri, del contenuto in solidi disciolti (TDS) delle acque campionate (superficiali, sotterranee e da sorgenti), nelle due diverse campagne di monitoraggio, riferite rispettivamente al periodo novembre-dicembre 2004 e giugno 2005. I dati sono stati raggruppati, nell'ambito di ogni campagna di monitoraggio, secondo l'appartenenza dei campioni alle formazioni acquifere, così come definite sulla base delle informazioni geologico-strutturali e di quelle rilevate dalle cartelle tecniche delle trivellazioni.

Nelle figure 10.1 e 10.2, dove i dati sono raggruppati in accordo con l'appartenenza alle diverse formazioni acquifere, si osserva come l'evoluzione del TDS nei due periodi considerati sia grossomodo bimodale, nell'intervallo di concentrazione dei cloruri tra 1 e 10 meq/l, corrispondente ad una variazione del TDS tra 0.25 ed 1 g/l. In tale ambito, le acque possono essere definite dolci e tutti i processi che ne determinano l'evoluzione sono sostanzialmente d'interazione acqua-roccia. Tali acque saranno, nel seguito, indicate come F (*fresh*, dolci) e tale indicazione comparirà come prefisso nell'identificazione della facies idrochimica.

All'andamento inferiore, in tutti e due i periodi, appartengono le acque superficiali e le acque delle sorgenti emergenti dal massiccio oligo-miocenico delle vulcaniti, mentre l'andamento superiore raccoglie le sorgenti del bordo NE del Bacino, quelle che emergono nella piana, e buona parte delle acque sotterranee circolanti nelle formazioni giurassiche. Dall'esame degli stessi andamenti è possibile definire, in prima istanza, che le acque superficiali sono alimentate sostanzialmente dalle acque provenienti dalle sorgenti del massiccio vulcanitico.

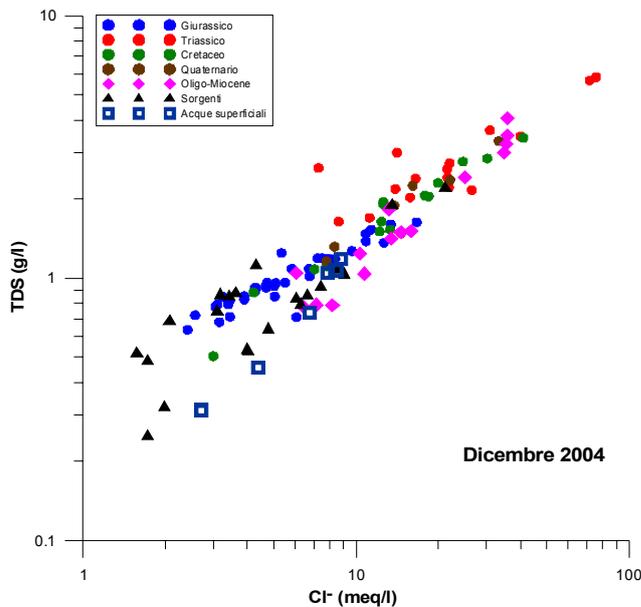


Figura 10.1 - TDS vs cloruri (novembre-dicembre 2004)

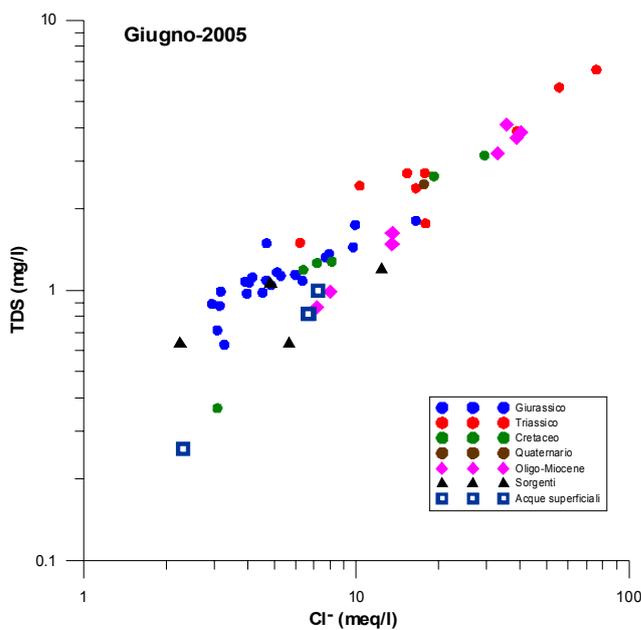


Figura 10.2 - TDS vs. cloruri (giugno 2005)

I campioni appartenenti ai due diversi andamenti manifestano differenti TDS a parità di concentrazione del cloruri, indicando come, nell'ambito delle acque più dolci, siano diversi i processi d'interazione acqua-roccia che portano all'evoluzione del contenuto salino. Le acque delle formazioni triassiche mostrano un TDS > 1 in entrambi i periodi; le acque delle vulcaniti coprono un intervallo di TDS tra 0,7 e 4 g/l in entrambi i periodi, evolvendosi linearmente in prosecuzione dell'andamento inferiore. Le acque delle formazioni cretacicche si collocano, in parte, sull'andamento superiore, ma diversamente da quelle relative alle formazioni giurassiche, continuano ad evolversi sino a salinità pari a 3 g/l.

La figura 10.3 mostra gli stessi dati delle figure 10.1 e 10.2, suddivisi in due soli gruppi: l'uno rappresenta tutte le formazioni della piana, mentre l'altro riunisce le acque delle vulcaniti oligo-mioceniche. Le sorgenti sono invece suddivise in tre gruppi: sorgenti della piana, delle vulcaniti e del bordo NE. I dati si riferiscono ad entrambe le campagne di monitoraggio.

Nella figura 10.3 sono anche riportati gli andamenti delle rette di diluizione (miscelamento conservativo) tra le acque più dolci di ciascuno dei due gruppi e la media dei valori misurati nell'acqua di mare locale. Nel complesso, le acque delle formazioni della piana mostrano un contenuto salino maggiore di quelle delle vulcaniti e, in ogni caso, tutte le acque si collocano superiormente al riferimento delle rette di diluizione. Quest'ultimo fatto indica che la sola ipotesi di salinizzazione per intrusione marina non è in grado, almeno sulla base di una prima analisi, di giustificare la salinizzazione delle acque e che altri processi di salinizzazione agiscono sulle acque di entrambi i raggruppamenti.

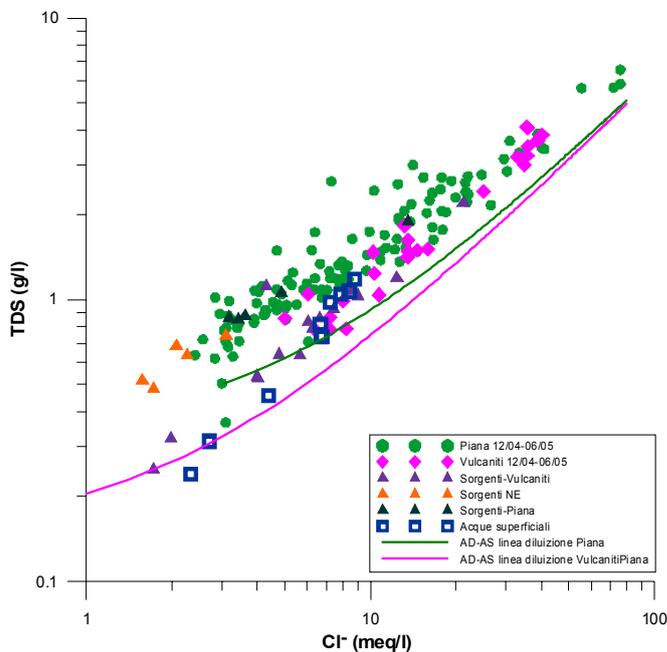


Figura 10.3 - TDS vs cloruri (novembre-dicembre 2004 e giugno 2005); i dati sono raggruppati in due gruppi principali (piana e massiccio vulcanico)

## 10.4 Facies idrochimiche

Le figure 10.4, 10.5, 10.6 e 10.7 permettono di distinguere le principali facies idrochimiche a cui appartengono le acque. Nel quadrante delle acque bicarbonato-alcalino-terrose ricadono le acque di entrambi i periodi delle formazioni giurassiche, le sorgenti della piana e quelle del bordo NE del bacino. L'evoluzione delle acque delle formazioni giurassiche è diretta verso facies solfato-clorurato-alcalino-terrose. Le acque delle vulcaniti oligo-mioceniche si mantengono sempre nel quadrante delle acque cloruro-solfato-alcaline, mentre quelle delle formazioni triassiche sono sempre cloruro-solfatiche, variando tra alcaline ed alcalino-terrose, come anche le acque delle formazioni del Cretaceo e del Quaternario. Le acque superficiali si accompagnano a quelle delle sorgenti delle vulcaniti oligo-mioceniche, confermando che la loro alimentazione proviene da queste ultime.

Riportando le percentuali del Na+K, in relazione alle percentuali dei solfati (figure 10.6 e 10.8), si evidenzia come le acque, precedentemente definite cloruro-solfatiche, siano in realtà a bassa percentuale di solfati; le sole acque che superano il valore di reazione (VR) del 50% sono alcune acque delle formazioni triassiche. La maggior parte delle acque è quindi o di facies anionica bicarbonatica o clorurata o bicarbonato-clorurata.

Le figure 10.7 e 10.9 permettono di riconoscere come l'aumento percentuale della concentrazione dei cloruri sia correlato ad un aumento percentuale della concentrazione in ioni alcalini: essendo a sua volta l'aumento di TDS correlato direttamente all'aumento dei cloruri (figure 10.1, 10.2 e 10.3) se ne deduce che anche il sodio contribuisce direttamente all'aumento del TDS.

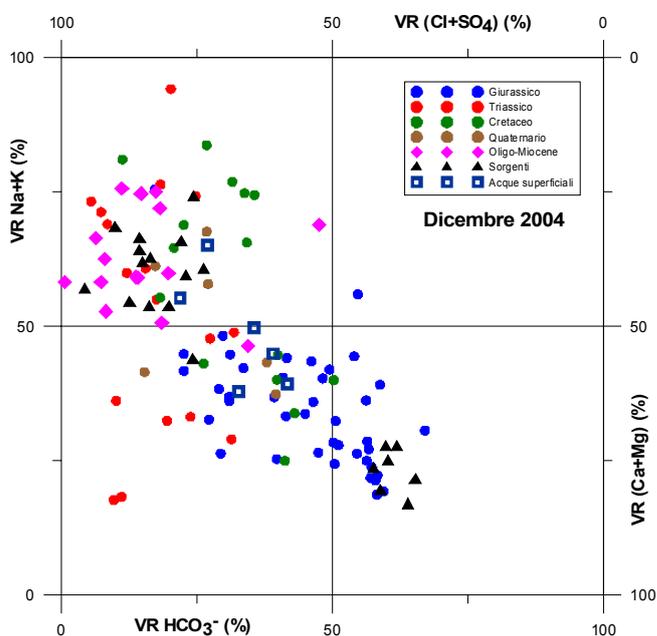


Figura 10.4 - Diagrammi di Chebotarev, valori di reazione (VR) della somma (Na+K) vs quelli dei bicarbonato (novembre-dicembre 2004)

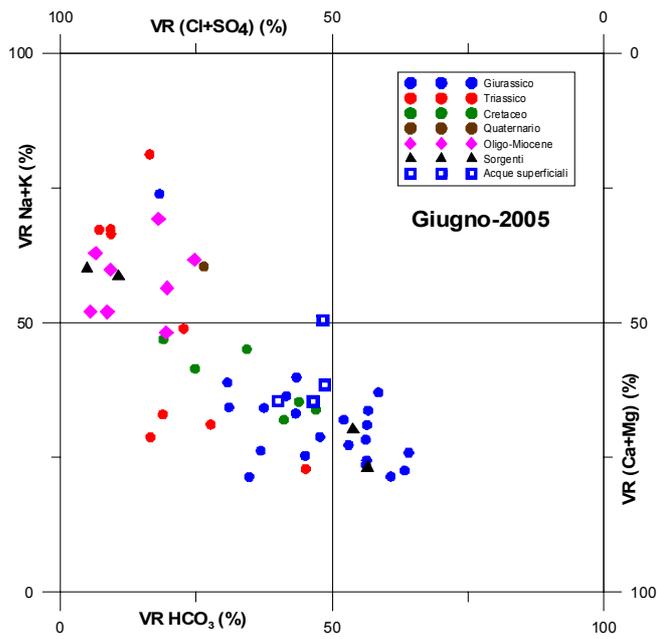


Figura 10.5 - Diagrammi di Chebotarev, VR della somma (Na+K) vs quelli dei bicarbonato (giugno 2005)

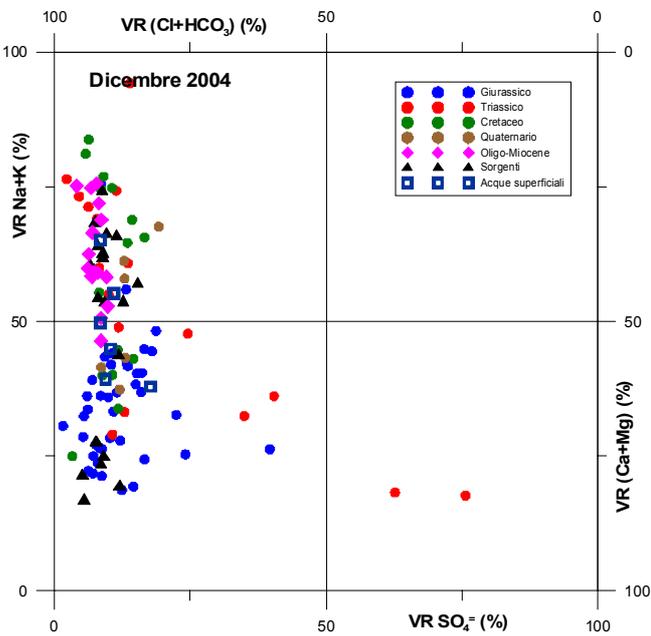


Figura 10.6 - Diagrammi di Chebotarev, VR della somma (Na+K) vs. quelli dei solfati (novembre-dicembre 2004)

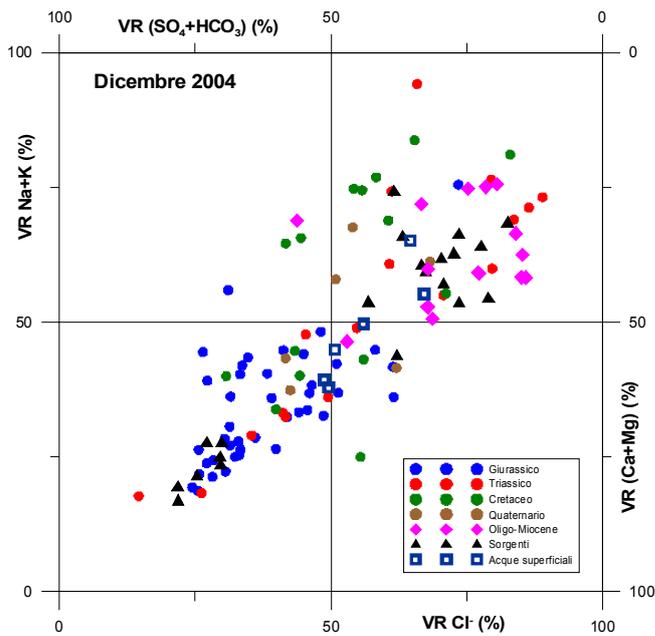


Figura 10.7 - Diagrammi di Chebotarev, VR della somma (Na+K) vs. quelli dei cloruri (novembre-dicembre 2004)

Di fatto, nella media, sodio e cloruro contribuiscono per circa il 38% in peso al TDS; sodio e cloruro rappresentano mediamente ben il 44% in peso del TDS per le acque delle vulcaniti e per quelle delle formazioni triassiche, mentre rappresentano il 43% per le acque delle formazioni del Cretaceo e solo il 30% per quelle delle formazioni del Giura. Tranne quindi per le acque del Giura, la salinizzazione per aumento di sodio e cloruri è generalizzata.

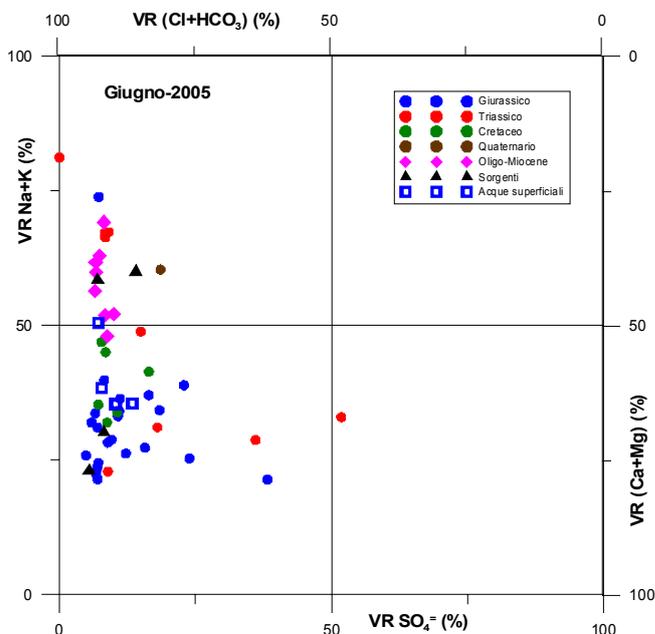
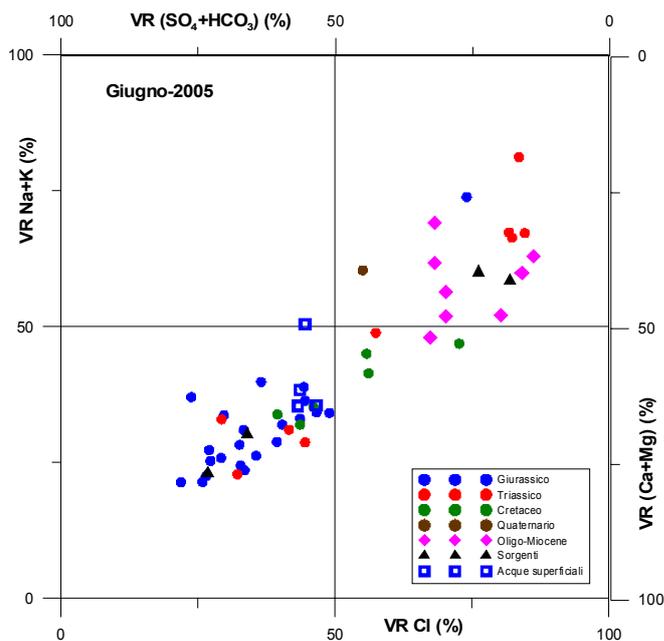


Figura 10.8 - Diagrammi di Chebotarev, VR della somma (Na+K) vs. quelli dei solfati (giugno 2005)



**Figura 10.9 - Diagrammi di Chebotarev, VR della somma (Na+K) vs. quelli dei cloruri (giugno 2005)**

## 10.5 Distribuzione areale di alcuni parametri

Le ricostruzioni delle mappe riportate di seguito forniscono informazioni utili alla comprensione delle fenomenologie che, complessivamente, agiscono nel territorio interessato: esse, tuttavia, devono essere interpretate tenendo debito conto di una serie di limiti, insiti nella loro costruzione. I dati alla base delle ricostruzioni sono stati tratti, infatti, dall'insieme delle diverse campagne d'indagine effettuate, che non avevano come obiettivo, l'elaborazione di mappe tematiche dei parametri di seguito commentati. Corrette ricostruzioni si possono effettuare, infatti, solo attraverso la correlazione di dati riferiti a log parametrici che restituiscono valori misurati a differenti profondità. Nel Bacino della Nurra, i pozzi utilizzati per il monitoraggio sono quasi tutti muniti di impianti di sollevamento che non consentono di effettuare tali prospezioni in condizioni statiche. Inoltre, anche avendo a disposizione pozzi liberi da impianti, il loro numero e la loro distribuzione non erano statisticamente rilevanti. Anche se basate su dati rilevati su pozzi in pompaggio, le ricostruzioni effettuate forniscono un quadro qualitativo delle acque utilizzate nelle diverse aree e permettono di mettere in luce importanti anomalie del processo di salinizzazione delle risorse idriche.

### 10.5.1 Ricostruzione della distribuzione areale delle quote di fondo pozzo

In figura 10.10 è riportata la ricostruzione della distribuzione areale delle quote di fondo pozzo (QFP), come desunte dalle cartelle tecniche dei punti di prelievo (la cui ubicazione è riportata in figura 10.11). L'elaborazione è stata ottenuta considerando le QFP di 366 pozzi censiti ed interpolando tali valori mediante Kriging con variogramma lineare. Una distribuzione delle QFP è generalmente indicativa, area per area, delle quote più produttive degli acquiferi interessati dalle perforazioni.

Ne consegue che l'indicazione di quote mediamente simili può essere ricondotta a diversi acquiferi o diversi livelli acquiferi.

L'ammasso oligo-miocenico è caratterizzato da QFP variabili tra 420 m s.l.m. (per i pozzi presenti nelle aree a quote topografiche maggiori) e 0 m s.l.m.. Ciò significa che le acque analizzate non rappresentano, probabilmente, tutta la tipologia delle acque che possono eventualmente occupare la parte più profonda dell'acquifero, al di sotto del livello medio mare. La zona pianeggiante, subito a ridosso del massiccio, è invece caratterizzata da QFP che si attestano sotto il livello medio mare, variando in un intervallo mediamente compreso tra -30 e -120 m s.l.m.. Nella parte centrale (in allineamento NE-SW) ed in alcune aree a N ed E, le QFP delle perforazioni raggiungono anche i 270 ÷ 240 m sotto il livello medio mare: ciò indica che per raggiungere quote produttive degli acquiferi nella piana, in alcuni casi, occorre andare molto in profondità, anche a causa delle dislocazioni tettoniche.

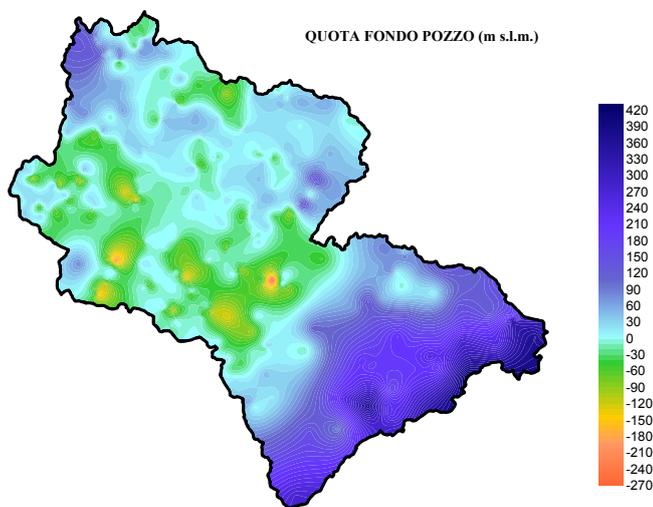


Figura 10.10 - Distribuzione areale delle quote fondo pozzo (m s.l.m.)

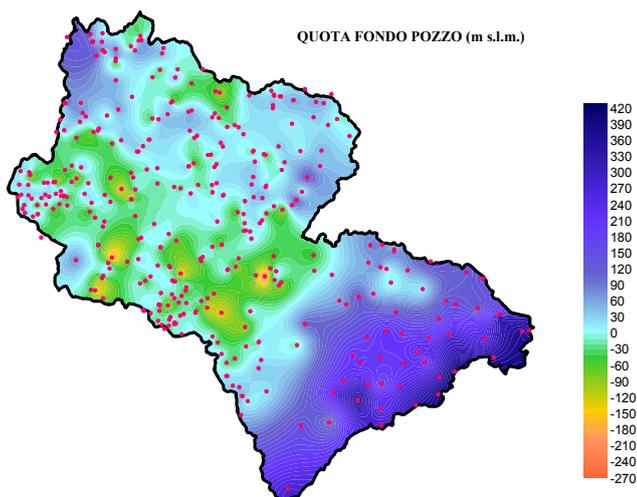


Figura 10.11 - Distribuzione della posizione dei pozzi i cui dati tecnici sono stati utilizzati per la ricostruzione

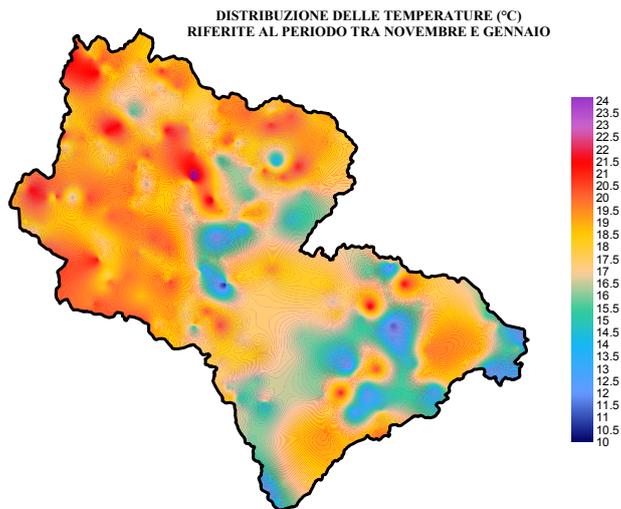
### *10.5.2 Distribuzione areale della temperatura*

Una ricostruzione della distribuzione della temperatura delle acque nel sottosuolo, per tutta l'area interessata dallo studio, è ammissibile anche se gli acquiferi del bacino non fossero in connessione idraulica, in quanto il parametro ha continuità indipendentemente dalla filtrazione. Il calore infatti, viene trasportato sia per conduzione (prevalente in mezzi insaturi), che per convezione forzata o libera (in mezzi saturi): la sua distribuzione negli acquiferi rappresenta il prodotto finito del disturbo operato dal trasporto di calore per convezione (forzata, per moto di fluidi in presenza di gradiente idraulico, o libera, in presenza di gradienti di densità) sul campo termico conduttivo.

I dati di temperatura, utilizzati per la ricostruzione di figura 10.12, provengono sia dalla campagna di rilevamento effettuata nel periodo novembre 2003-gennaio 2004, sia dalla campagna d'indagine effettuata nel periodo novembre 2004-dicembre 2004. I dati, pur appartenendo a due anni differenti, sono stati considerati omogenei, poiché essi sono riferiti ad una medesima stagione. Per la base dati delle elaborazioni sono stati ritenuti significativi anche i dati di temperatura relativi alle sorgenti campionate tra novembre 2003 e gennaio 2004. Sono stati pertanto utilizzati 299 dati di temperatura.

Pur considerando che i dati si riferiscono ad acque provenienti da quote (figura 10.10 e 10.11) e a punti di campionamento differenti, tanto per tipologia che per utilizzo e metodo di campionamento (alcuni campionamenti sono stati effettuati in condizioni dinamiche ed altri in condizioni statiche), la distribuzione delle temperature è utile perché segnala un'anomalia termica generalizzata, plausibilmente collegata alla storia geologica del sito. Le acque sotterranee hanno normalmente, almeno nelle aree d'alimentazione prevalenti, una temperatura pari a quella media atmosferica del periodo d'alimentazione. Essendo, generalmente, il periodo d'alimentazione compreso nel semestre autunno-invernale, alle latitudini della zona in studio, esse dovrebbero attestarsi intorno agli 8-10 °C. In assenza d'anomalie geotermiche, la temperatura delle acque sotterranee è destinata ad aumentare durante il percorso sotterraneo dalle zone d'alimentazione a quelle d'emergenza, in relazione ad un insieme di fattori complessivamente tutti riconducibili alla conduttività idraulica degli acquiferi.

Tuttavia, anche quando le velocità di deflusso siano molto basse e le profondità di circolazione molto alte, le temperature massime raggiungibili sono quelle determinate dal campo conduttivo. Se il campo termico conduttivo (determinabile in assenza di circolazione idrica) è normale, esso è pari mediamente a circa 3 °C/100 m. In ogni caso, i sistemi in oggetto sono sottoposti a flusso convettivo e quindi il gradiente termico dovrebbe essere di molto inferiore al valore predetto. In uno scenario privo d'anomalie, incrementi di temperatura pari a quelli osservabili nelle acque della Nurra, tra zone d'alimentazione e zone di deflusso e scarica della falda, richiederebbero il raggiungimento di altissime profondità da parte di una circolazione molto lenta a carattere regionale. Le ricostruzioni del campo termico, pur con tutte le limitazioni del caso, indicano invece che esistono anomalie geotermiche che trovano congruenza con le vicissitudini geologico-tettoniche dell'area. Nel periodo novembre-gennaio, il complesso oligo-miocenico delle vulcaniti, è caratterizzato dalle temperature più fredde riscontrabili nell'area in studio (min 11.5 °C): ciò è compatibile con le alte quote e con la presenza, nel massiccio, di aree di alimentazione prevalenti.



**Figura 10.12 - Ricostruzione dell'andamento delle temperature (°C) (monitoraggio novembre 2003-gennaio 2004)**

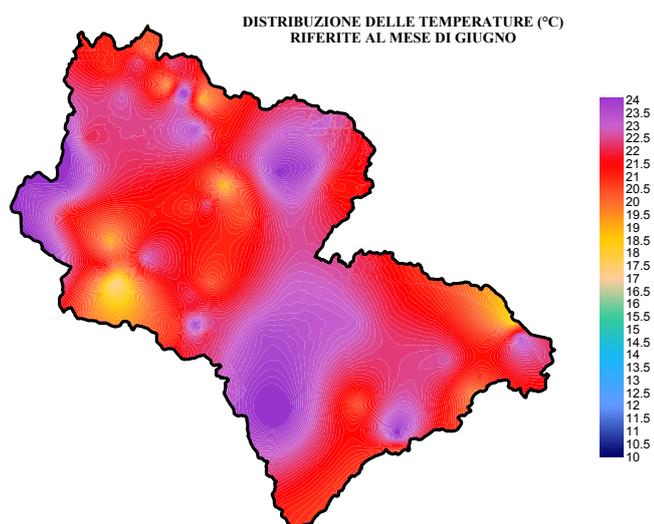
Nello stesso tempo e nel medesimo periodo, anche se i valori di temperatura si riferiscono ad acque provenienti da quote simili, in alcune aree del complesso, la temperatura raggiunge anche i 22.4 °C.

La distribuzione della temperatura, nelle acque della piana, vede la coesistenza d'acque appartenenti a circolazioni fredde (dai 12,5 ai 17 °C) e d'acque a temperature sensibilmente più calde (sino ai 22 °C circa). In particolare, nell'area NE, le temperature sono mediamente più alte, raggiungendo in alcuni punti anche i 24 °C.

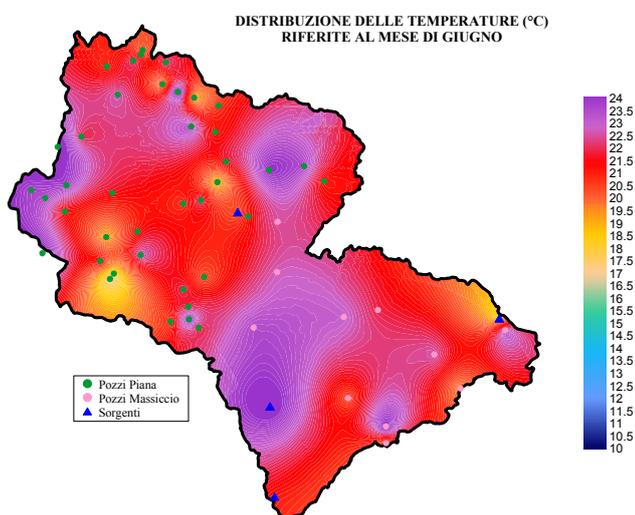
La distribuzione delle temperature, in figura 10.13, è stata ricostruita sulla base dei soli valori di temperatura misurati nella campagna di monitoraggio di giugno 2004. Essa mostra come, ovunque nell'area, le temperature delle acque sotterranee subiscano un incremento rispetto a quelle del periodo invernale, con una tendenza a ridurre la differenza riscontrata tra massiccio e piana. In particolare, è possibile osservare l'espandersi delle zone con temperatura dell'acqua sotterranea intorno ai 23-24 °C, sia nel massiccio sia nella piana. L'incremento di temperatura generalizzato può essere correlato sia al naturale evolversi del sistema acquifero, in ragione dell'avvicinarsi delle stagioni, sia al depauperamento degli stessi causato dallo sfruttamento: fenomeni naturali e antropici richiamano, verso l'alto, acque di circolazione più profonda e/o appartenenti alle riserve idrogeologiche. In uno scenario d'anomalie geotermiche, tali acque hanno evidentemente temperature più alte. Mentre nei mesi invernali la ricarica causa un abbassamento delle temperature medie, in giugno lo sfruttamento tende ad omogeneizzare non solo le temperature del massiccio e quelle della piana, ma anche quelle nell'ambito della piana, dove non sono più visibili aree fredde.

È da segnalare un'unica zona a temperatura relativamente bassa, compresa tra i 17 e i 19 °C, subito alle spalle della Pineta di Arenosu in prossimità di Fertilia (Punta del Gall) che potrebbe indicare una zona di possibile intrusione marina. Nel contesto in studio, infatti, diversamente da quanto accade normalmente in altri acquiferi mediterranei, le acque di intrusione marina hanno temperature più basse di quelle sotterranee dolci e sono quindi marcate da temperature inferiori rispetto a quelle delle acque sotterranee.

È necessario, comunque, sottolineare come la ricostruzione per il mese di giugno si basi su un numero di punti di campionamento inferiore (complessivamente 55 punti) rispetto a quello utilizzato per la ricostruzione invernale: la ricostruzione potrebbe conseguentemente risultare meno significativa della precedente. A conferma comunque degli andamenti, la temperatura media dei rilevamenti del periodo invernale è 18 °C, mentre quella relativa al mese di giugno è pari a 21.7 °C.



**Figura 10.13 - Distribuzione delle temperature (°C) (monitoraggio giugno 2005)**



**Figura 10.14 - Localizzazione dei punti acqua utilizzati per la ricostruzione degli isovalori delle temperature (monitoraggio giugno 2005)**

### 10.5.3 Distribuzione del contenuto salino (TDS)

La figura 10.15 rappresenta la distribuzione del TDS ottenuta dall'elaborazione dei dati provenienti da 118 punti acqua campionati (figura 10.16) tra novembre e dicembre 2004. L'elaborazione mostra il suo limite fondamentale, anche in questo caso, nell'interpolazione dei dati riferiti ad acque di pozzi e sorgenti che provengono da quote e da acquiferi differenti. Essa tuttavia riferisce delle acque attualmente drenate ed in uso nel bacino e quindi permette valutazioni, almeno in merito alle conseguenze che tale uso può avere nei comparti interessati. La distribuzione, se riguardata in maniera sinottica con quelle delle temperature e delle profondità, fornisce utili elementi di riflessione.

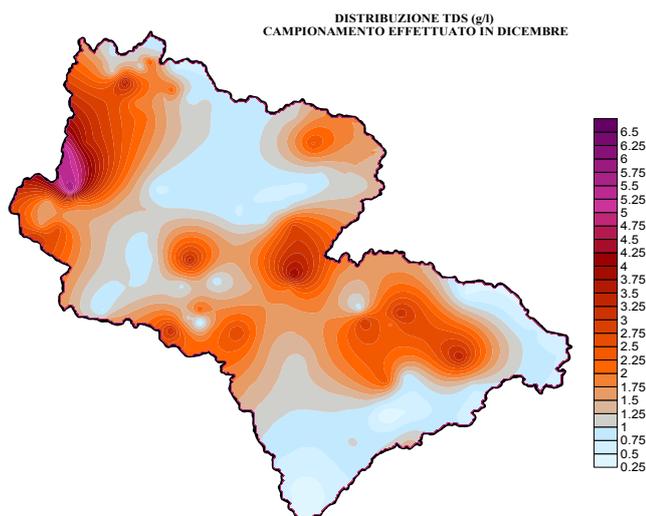


Figura 10.15 - Distribuzione del TDS (g/l) (monitoraggio novembre-dicembre 2004)

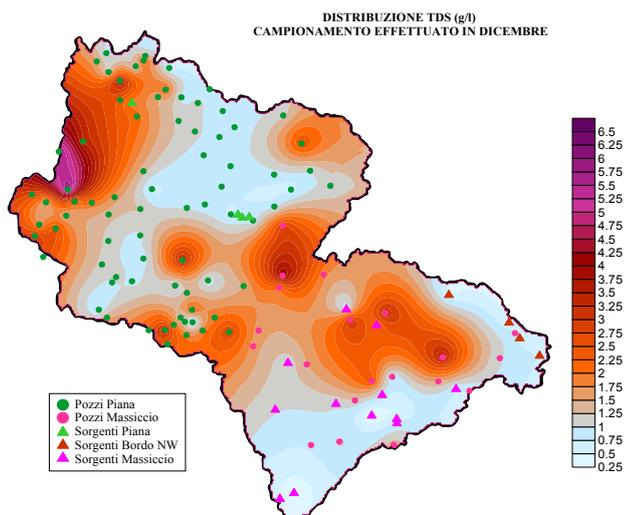
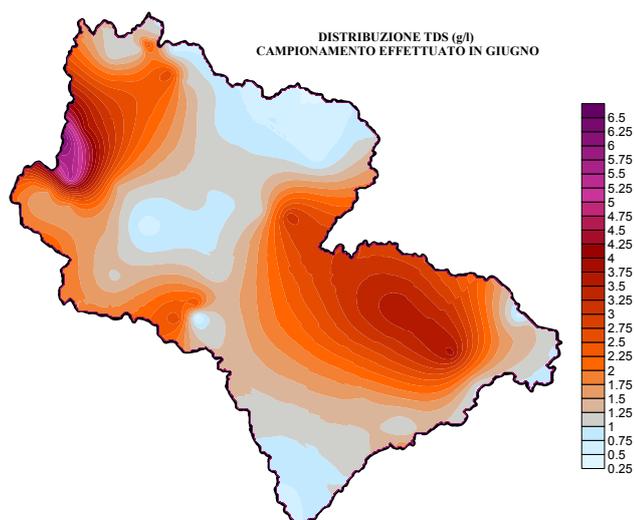
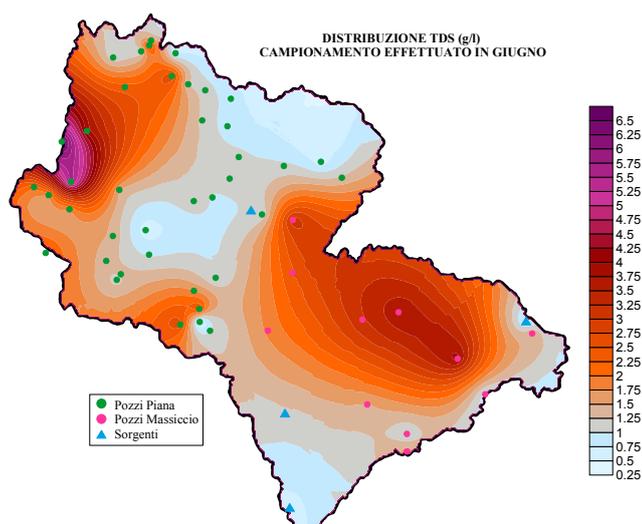


Figura 10.16 - Localizzazione dei punti acqua utilizzati per la ricostruzione degli isovalori del TDS (novembre-dicembre 2004)



**Figura 10.17 - Distribuzione del TDS (g/l) (monitoraggio giugno 2005)**



**Figura 10.18 - Localizzazione dei punti acqua utilizzati per la ricostruzione degli isovalori del TDS (giugno 2005)**

Come già visto nei grafici delle figure 10.1 e 10.2, si osserva come la piana ed il massiccio siano entrambi caratterizzati, per la gran parte, da acque con un TDS variabile tra 0,25÷1,25 g/l. Nelle restanti aree del bacino, le acque sono a contenuto salino superiore: nella piana il TDS raggiunge valori pari a 6 g/l, mentre nel massiccio il TDS si mantiene sotto i 4 g/l. In generale, si può affermare che le acque sotterranee del massiccio sono più dolci di quelle della piana.

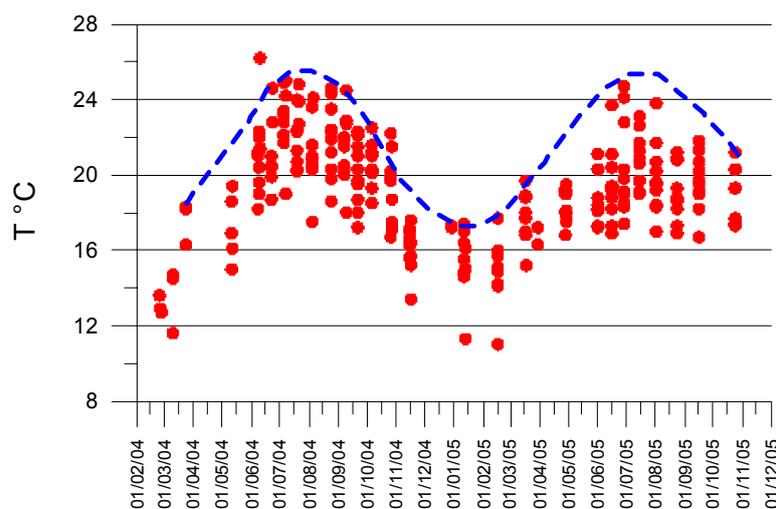
La ricostruzione della distribuzione del TDS per il mese di giugno (figura 10.17) è stata effettuata su un numero di 55 punti (figura 10.18), dunque inferiore rispetto a quello usato per la ricostruzione della distribuzione riferita al periodo invernale.

Tale distribuzione mostra una relativa espansione delle zone a maggiore contenuto salino ed una riduzione delle aree caratterizzate da acque dolci, da attribuirsi sia all'esaurimento stagionale degli acquiferi, sia allo sfruttamento. Alcune anomalie presenti nella stagione invernale sembrano non verificarsi in giugno; tuttavia, ciò potrebbe dipendere dal fatto che i punti d'acqua anomali, in giugno, non sono stati campionati. Di fatto, le ricostruzioni indicano che i processi di salinizzazione non vengono sensibilmente mitigati nel periodo invernale. In entrambi i periodi gli alti valori del TDS, nel complesso oligo-miocenico, si manifestano all'interno del territorio: gli alti carichi idraulici in tale area, oltre che la lontananza dalla costa, indicano plausibilmente che si tratta di fenomeni di salinizzazione non collegati a processi d'intrusione marina. Lo stesso è possibile dire per le anomalie invernali del TDS che s'incontrano nelle aree interne della piana: l'unica zona in cui l'aumento di TDS corrisponde alla linea di costa è quella alle spalle di Alghero.

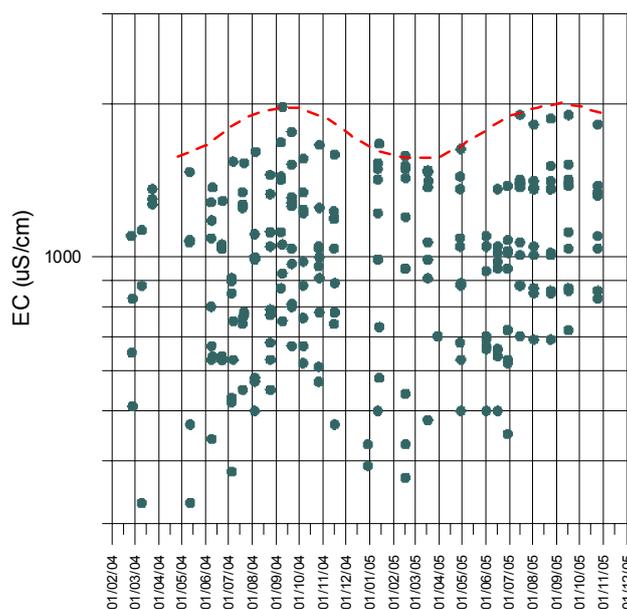
### 10.6 Misure alle sorgenti

Dal confronto delle distribuzioni della temperatura e del contenuto salino, anomalie termiche e di contenuto salino sembrano in gran parte dei casi correlabili. Una considerazione dello stesso tipo scaturisce dall'elaborazione dei dati relativi alle campagne di monitoraggio delle sorgenti. Riportando, per le stesse date, i valori della T (°C), della conducibilità elettrica (EC,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e della portata (l/s), si ottengono rispettivamente le rappresentazioni di figura 10.19, 10.20 e 10.21.

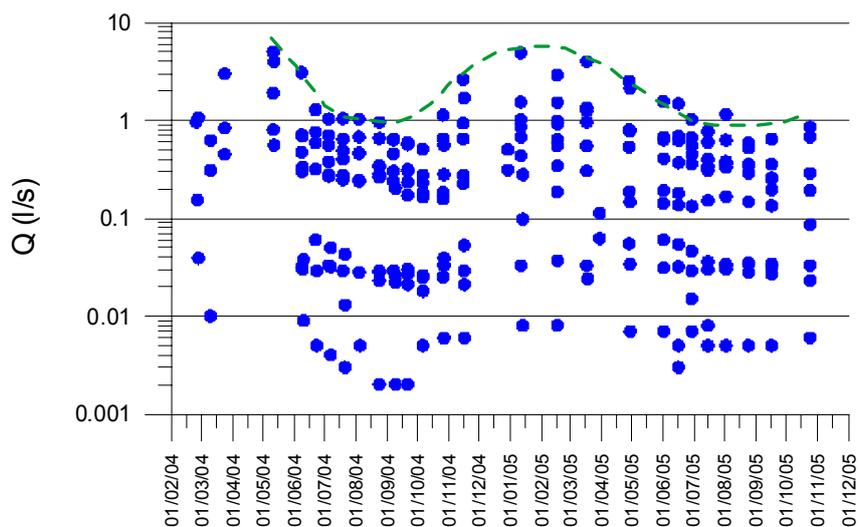
Osservando infatti le rappresentazioni, è possibile osservare, in figura 10.19, la chiara variazione delle temperature, durante l'anno idrologico, con minimi nei mesi tra dicembre e marzo; nella figura 10.20, anche la E.C. mostra una variazione periodica, che tuttavia è sfasata, rispetto alla temperatura, di un paio di mesi, nel senso che i minimi si presentano con circa due mesi di ritardo rispetto alla diminuzione delle temperature; nella figura 10.21 è altrettanto chiara la periodicità delle portate, che sono minime nel periodo luglio- ottobre.



**Figura 10.19 - Valori di temperatura misurati alle sorgenti (S1, S3, S6, S16, S17, S25, S27, S109, S123 e S124) durante il periodo di monitoraggio**



**Figura 10.20 - Valori della EC misurati alle sorgenti (vedi figura 10.19) durante il monitoraggio**



**Figura 10.21 - Valori delle portate (l/s) misurati alle sorgenti durante il monitoraggio**

Nella figura 10.22, i tre andamenti sono riportati indipendentemente dai valori assoluti che li caratterizzano. L'aumento delle portate, nei mesi d'alimentazione delle falde, porta ad una concorde diminuzione delle temperature ed una diminuzione sfasata della conducibilità elettrica; nei mesi di magra delle falde, le portate diminuiscono e le temperature aumentano sensibilmente, mentre anche i contenuti in sali aumentano con una leggera sfasatura. I dati indicano che esistono circolazioni abbastanza rapide che trasferiscono, con un minimo time-lag, le precipitazioni alimentanti alle falde e che, almeno gli acquiferi che alimentano le sorgenti esaminate, hanno un immagazzinamento molto basso.

Di fatto, sia in ragione dell'alternarsi delle stagioni, sia probabilmente dello sfruttamento, durante la stagione estiva vengono a giorno acque che appartengono a circolazioni più profonde, con temperature più elevate e concentrazioni saline più importanti. Quanto desumibile dall'osservazione delle caratteristiche delle sorgenti conferma quanto già delineato sulla base dell'interpretazione delle distribuzioni del TDS e della temperatura.

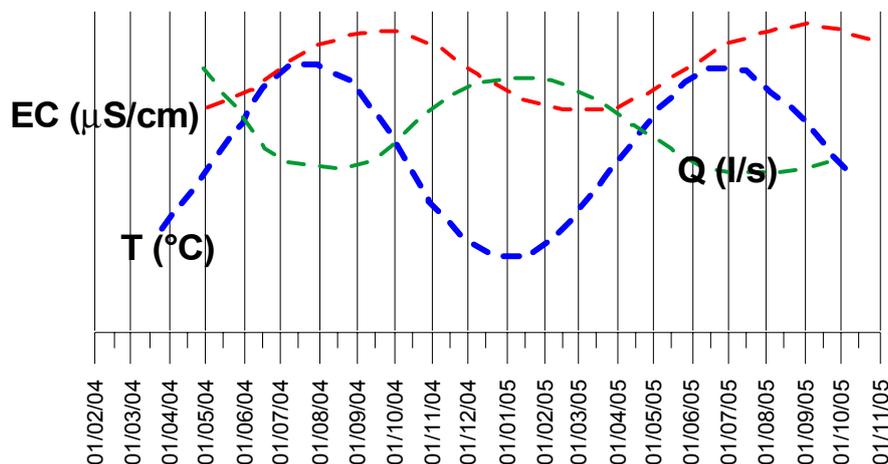


Figura 10.22 - Confronto tra gli andamenti medi stagionali della T, della EC, e delle Q

## 10.7 Costituenti maggiori

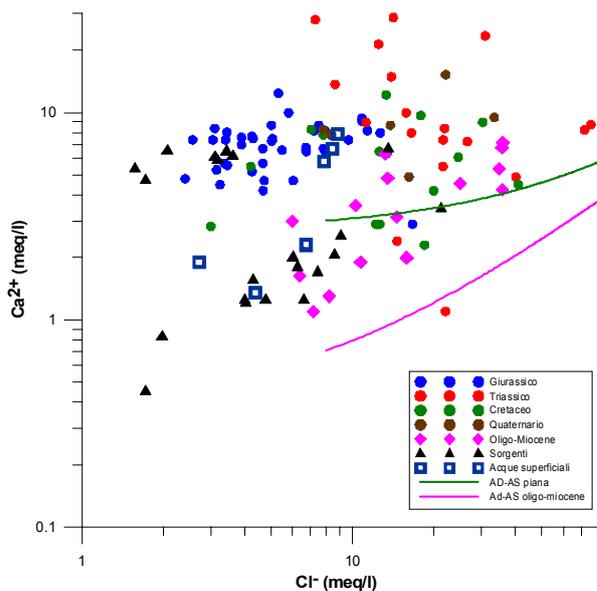
### 10.7.1 Calcio e magnesio

Passando ora alla disamina del comportamento dei costituenti maggiori, le figure 10.23 e 10.24 riportano le concentrazioni in calcio, rispetto all'accrescimento dei cloruri.

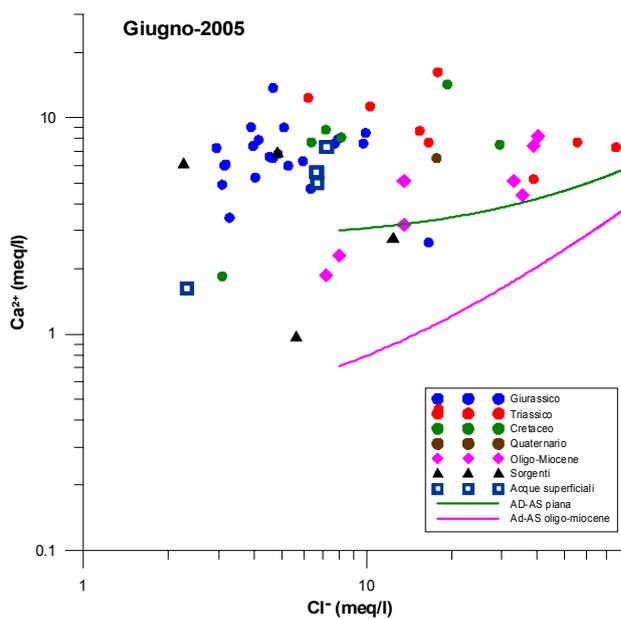
In tutti i grafici ione Cl, i dati sono posti a confronto con le rette di miscelamento tra il capostipite dolce (diverso per la piana e le vulcaniti) e quello salino (mare attuale locale).

Le rette di miscelamento sono rappresentate a partire circa dagli 8 meq/l di cloruri, avendo dalle figure 10.1 e 10.2 desunto come solo oltre tale soglia si possa parlare d'intervento di processi di salinizzazione. Il calcio appare sempre in largo eccesso rispetto alle concentrazioni determinate dal miscelamento conservativo.

Abbastanza netta risulta la discriminazione tra le acque delle formazioni giurassiche, quaternarie e triassiche, da quelle circolanti nelle vulcaniti; il calcio, nelle prime, supera sempre i 3 meq/l (tranne in alcuni campioni di acque di formazioni triassiche, possibilmente in connessione con scambio ionico), mentre le acque sotterranee delle vulcaniti e delle sorgenti da esse emergenti, mostrano, a parità di concentrazione dei cloruri, concentrazioni di calcio normalmente più basse di 3 meq/l. Ad elevate concentrazioni di cloruri, comunque, anche le acque delle vulcaniti superano i 3 meq/l. Alcune delle acque delle formazioni cretache non mostrano una precisa caratterizzazione. Le acque superficiali perdono le loro analogie con le sorgenti delle vulcaniti all'aumentare della concentrazione dei cloruri (AS1, AS, AS5).

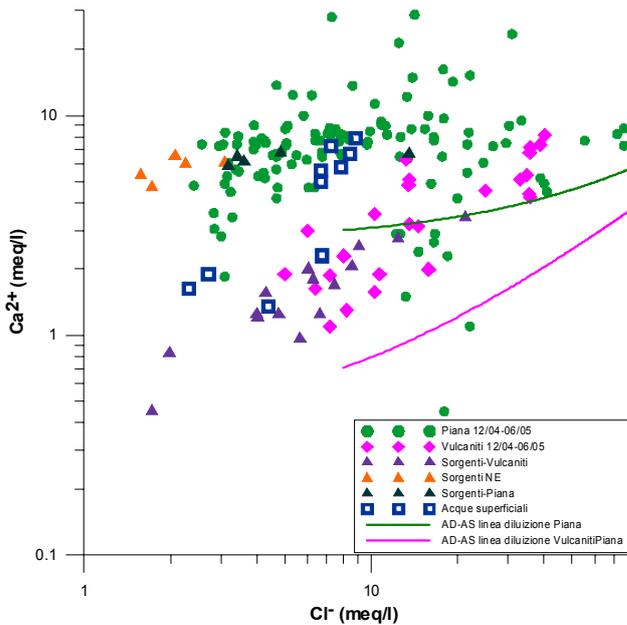


**Figura 10.23** Concentrazioni del calcio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)



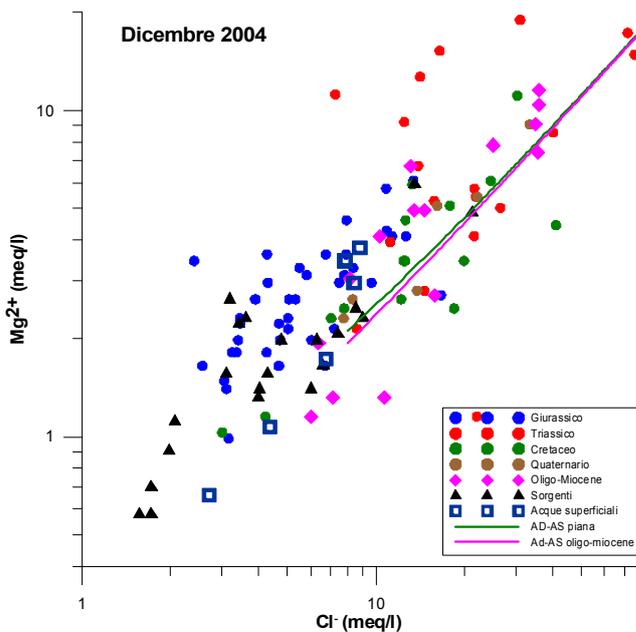
**Figura 10.24** Concentrazioni del calcio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

Nella figura 10.25 si osserva più nettamente la divisione tra acque della piana e delle vulcaniti; le sorgenti oligo-mioceniche del bordo NE hanno tenori in calcio più simili a quelli delle acque sotterranee e delle acque di sorgente della piana, mentre sorgenti ed acque sotterranee delle vulcaniti si allineano su concentrazioni di calcio crescenti con l'aumento dei cloruri.

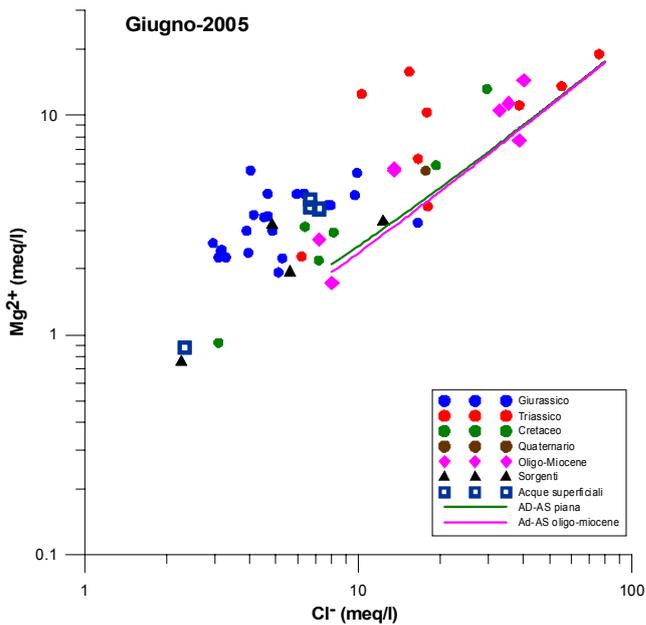


**Figura 10.25** Concentrazioni in calcio rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio, raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

Nelle figure 10.26, 10.27 e 10.28 è riportata la variazione delle concentrazioni di magnesio rispetto a quella dei cloruri. Anche il magnesio, come il calcio, appare generalmente in eccesso rispetto alle rette di miscelamento conservativo con le acque di mare attuali. Rimangono chiare le distinzioni tra acque delle formazioni giurassiche (con massimo 3 e 6 meq/l di magnesio, rispettivamente in dicembre e giugno) e quelle del Trias.

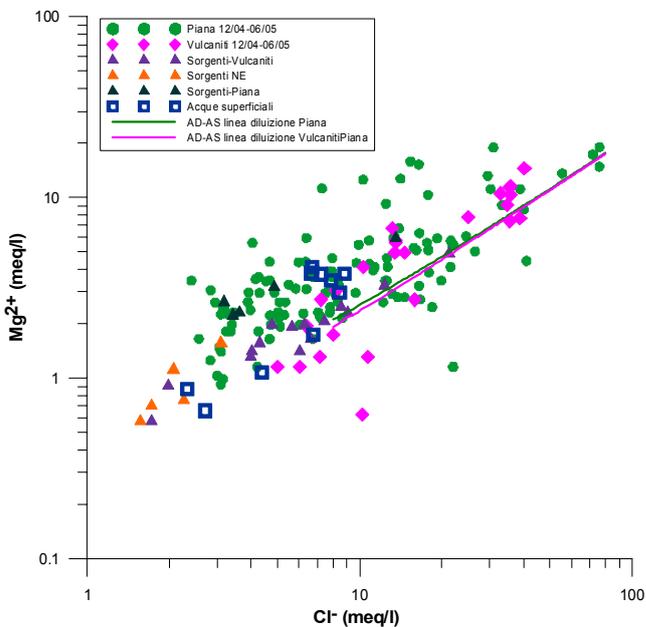


**Figura 10.26** - Concentrazioni del magnesio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)



**Figura 10.27 - Concentrazioni del magnesio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)**

Le acque delle formazioni del Cretaceo e quelle delle vulcaniti non possono essere facilmente distinte sulla base delle concentrazioni di magnesio. Le acque superficiali a maggior TDS mostrano un accrescimento anche in magnesio rispetto alle acque delle sorgenti delle vulcaniti.



**Figura 10.28 - Concentrazioni in magnesio rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)**

### 10.7.2 Sodio e potassio

Le acque delle formazioni oligo-mioceniche sono ricche in sodio (figure 10.29, 10.30 e 10.31) e potassio (figure 10.32, 10.33 e 10.34) anche se, uguali arricchimenti sono mostrati dalle acque delle formazioni triassiche ed in parte cretaceiche. Rimangono sempre distinti i contenuti di sodio e potassio delle acque delle formazioni giurassiche, in ragione della diversa concentrazione in cloruri.

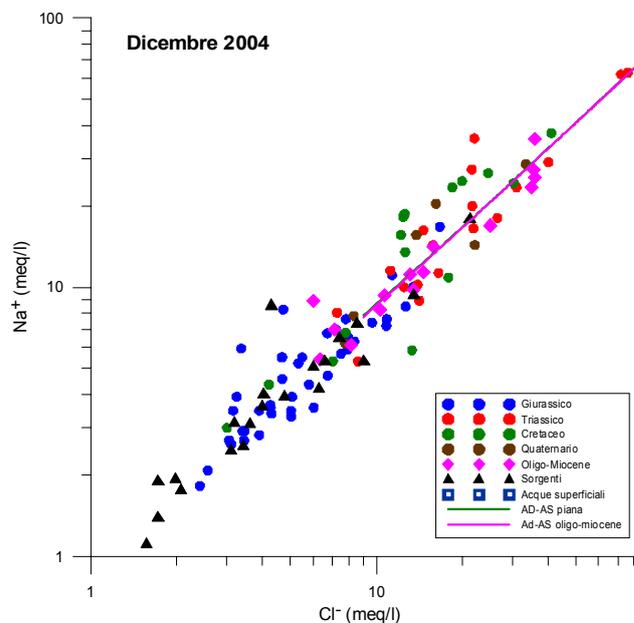


Figura 10.29 - Concentrazioni del sodio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)

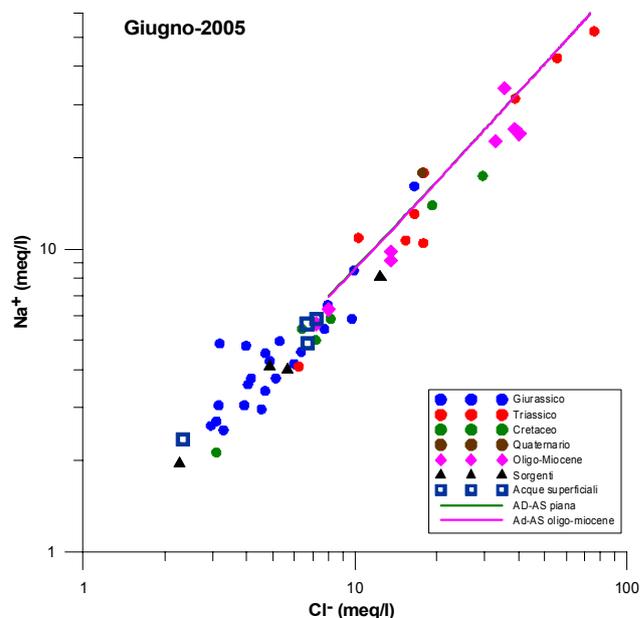


Figura 10.30 - Concentrazioni del sodio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

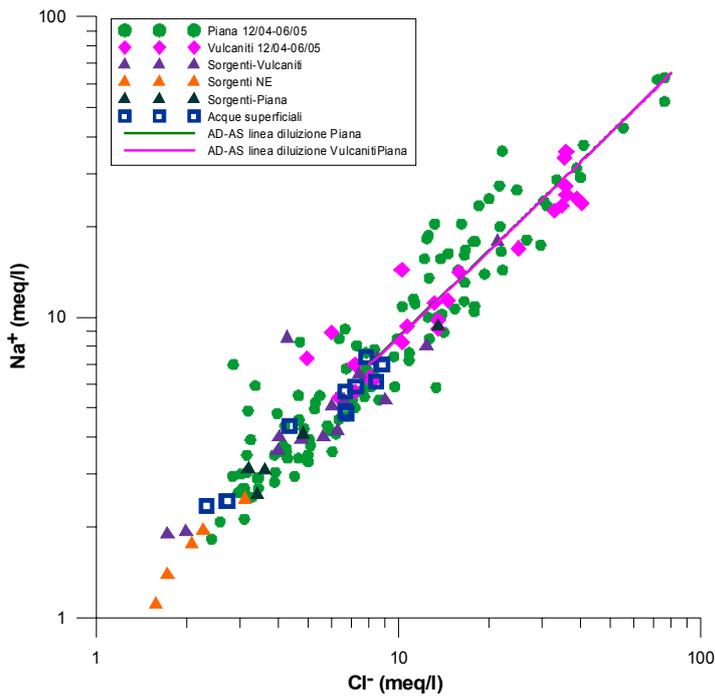


Figura 10.31 - Concentrazioni in sodio rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

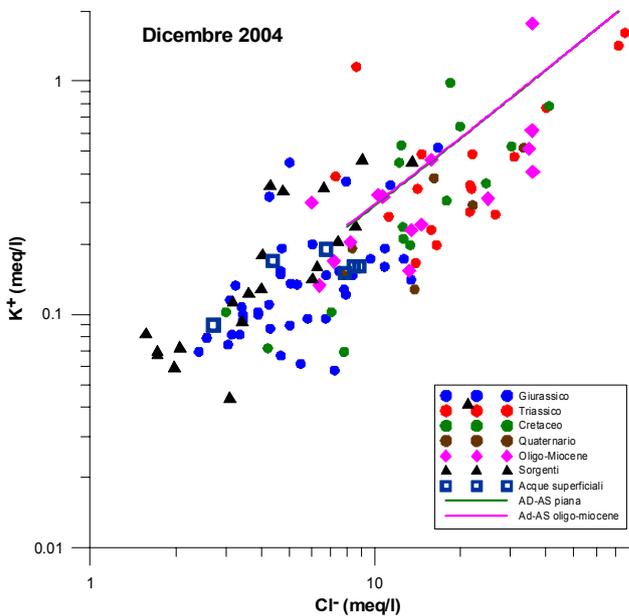


Figura 10.32 - Concentrazioni del potassio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)

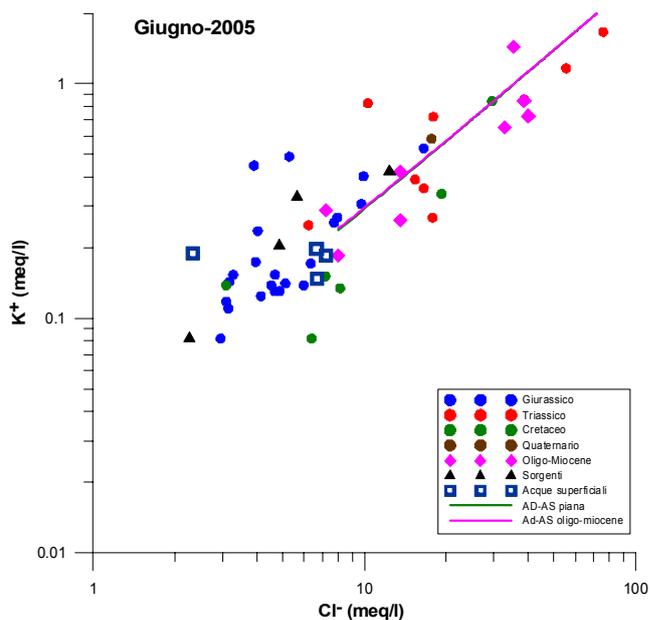


Figura 10.33 - Concentrazioni del potassio rispetto a quelle dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

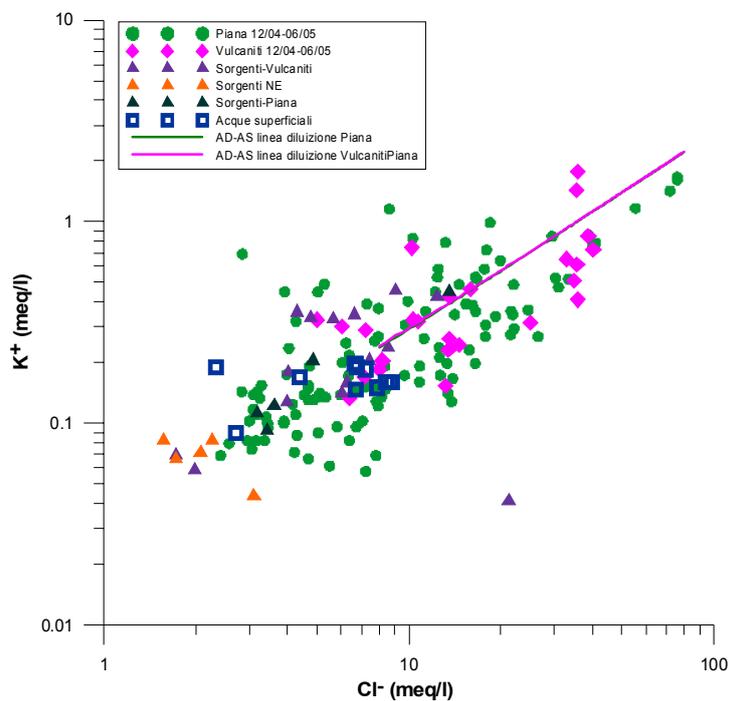


Figura 10.34 - Concentrazioni in potassio rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

I valori di concentrazione, sia del sodio che del potassio, si dispongono sia superiormente sia inferiormente alle rette di miscelamento, nella pratica coincidenti per i due gruppi rappresentati nelle figure 10.31 e 10.34. Nel mese di giugno prevale, per il sodio, una condizione di deficit (figura 10.30), cui corrisponde un chiaro eccesso sia di calcio sia di magnesio (figure 10.24 e 10.27). La prevalenza di minerali sodici nelle vulcaniti conferisce, anche ad acque molto dolci circolanti in quella formazione, una facies NaCl, tipica delle acque ad alto contenuto salino che si ritrovano invece nelle acque delle formazioni cretatiche, quaternarie e triassiche.

Altre facies tipiche della salinizzazione, in presenza di scambiatori, sono quelle CaCl o MgCl; l'aumento di contenuto salino, determinando l'aumento della forza ionica delle acque sotterranee, innesca processi di scambio ionico Na/Ca che determinano eccessi di calcio e/o magnesio e contemporanei deficit in sodio rispetto al miscelamento conservativo. Queste variazioni osservate richiedono la soluzione di sali sodici o il miscelamento con acque salate a prevalente componente cloruro-sodica.

Le predette facies identificano acque sotterranee delle formazioni triassiche, quaternarie e cretatiche, ma anche di quelle oligo-mioceniche; in tutte queste formazioni esistono materiali scambiatori in grado di causare, nelle concentrazioni dei costituenti maggiori, le variazioni osservate.

### 10.7.3 Solfati

Dalle figure 10.35 e 10.36 è immediatamente chiaro che la soluzione di solfati, da parte delle acque sotterranee, sia un problema costante durante l'anno. Concentrazioni sino a 20 meq/l, nel periodo invernale, e sino a più di 30 meq/l, nel periodo estivo, caratterizzano le acque circolanti nelle formazioni triassiche. In misura minore, la soluzione di solfati interessa anche le acque delle formazioni giurassiche e cretatiche, mentre la proporzione dei solfati, rispetto ai cloruri, nelle acque delle vulcaniti è anche più bassa di quella delle acque di mare. Marcati deficit di concentrazione del solfato, rispetto alle rette di miscelamento, potrebbero indicare processi di riduzione di solfati.

Le acque superficiali si mantengono simili alle acque delle sorgenti delle vulcaniti sino a valori di cloruri pari a 8 meq/l (figura 10.37); al di là di questa soglia, i contenuti in solfato crescono più rapidamente, rendendo le acque più simili a quelle delle formazioni della piana. Il rapporto  $SO_4^{2-}/Cl$  distingue chiaramente le acque appartenenti alla piana da quelle del massiccio vulcanitico.

La figura 10.38 mostra come la proporzione  $Ca/SO_4^{2-}$  sia ampiamente più alta di quella determinata dal miscelamento con acque di mare o dalla semplice soluzione di gesso/anidride. Altri processi, in grado di aumentare la concentrazione del calcio, accompagnano quindi la soluzione dei solfati che, in presenza di carbonati porta, almeno nelle acque schiettamente derivanti dalle formazioni carbonatiche, a incongrua dissoluzione della dolomite. Quando il solfato di calcio si discioglie, nell'acqua aumentano sia la concentrazione del calcio sia quella del solfato; l'aumento di concentrazione del calcio causa sovra-saturazione dell'acqua rispetto alla calcite e quindi, per l'effetto dello ione in comune, precipitazione di calcite. Ciò diminuisce la concentrazione del calcio ed il valore del pH, aumentando la pressione parziale della  $CO_2$ . Queste condizioni aumentano la solubilità della dolomite e l'acqua che si trova in condizioni di sotto-saturazione rispetto alla dolomite, la discioglie.

Nel complesso, quindi, la soluzione dei gessi causa la precipitazione della calcite e la dissoluzione della dolomite (incongruente). In definitiva, la soluzione di gesso porta ad un aumento in soluzione, non solo della concentrazione del calcio e dei solfati, ma anche del magnesio. La concentrazione del calcio è controllata sia dalla competizione tra soluzione di solfati e carbonati, sia dallo scambio ionico, quando sufficienti materiali scambiatori siano presenti.

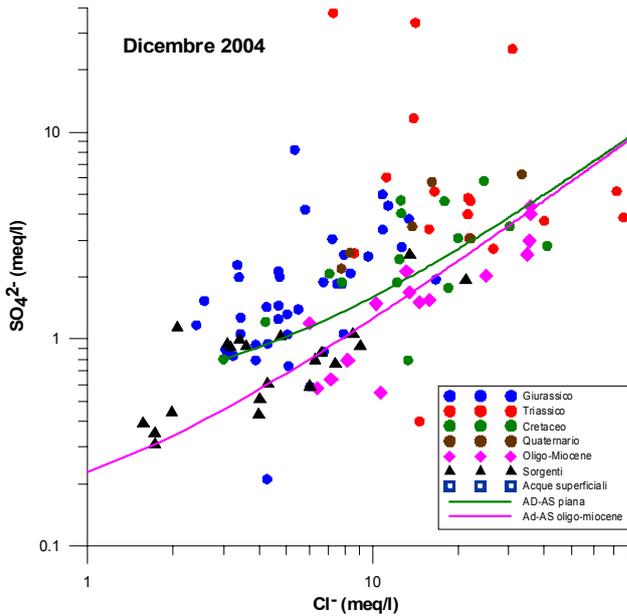


Figura 10.35 - Concentrazione dei solfati rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)

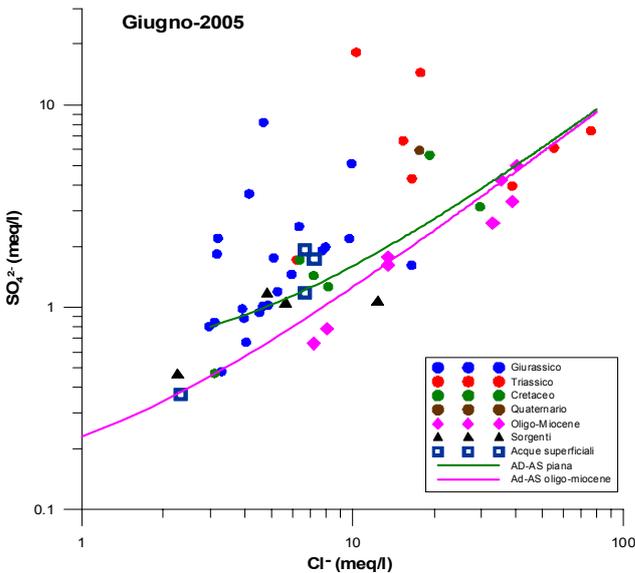


Figura 10.36 - Concentrazione dei solfati rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

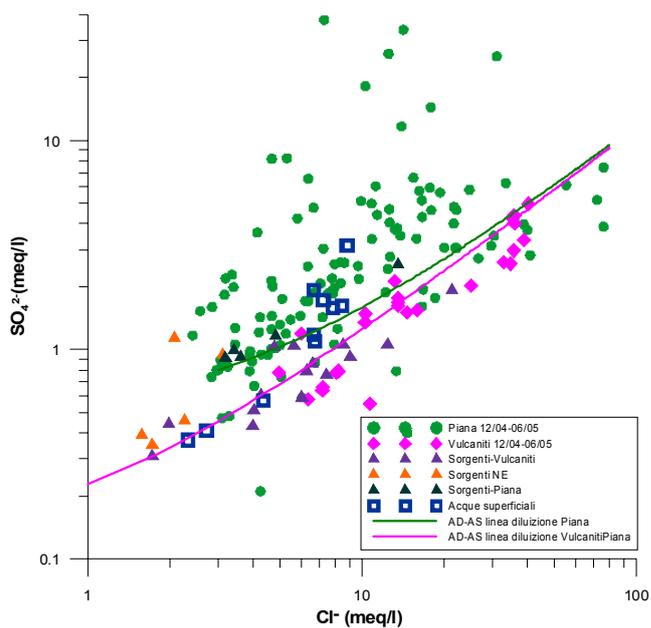


Figura 10.37 - Concentrazioni in solfato rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

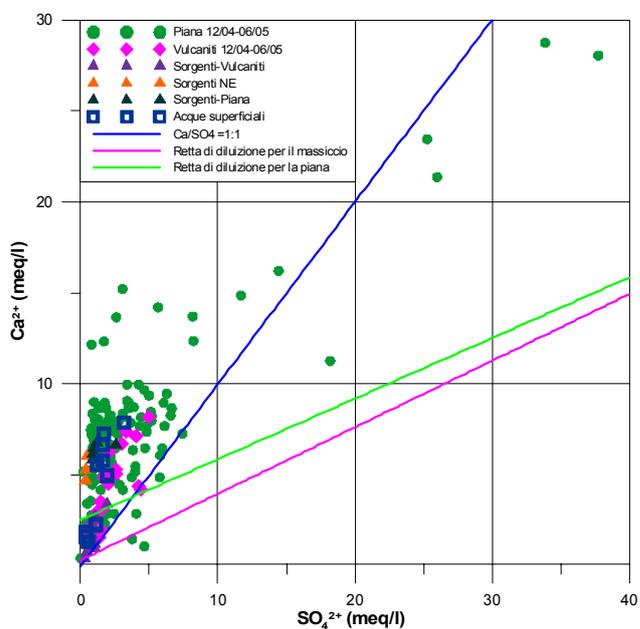
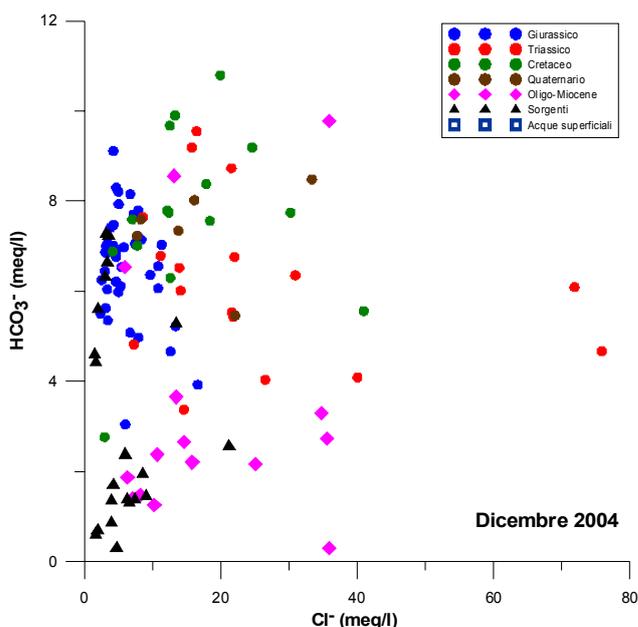


Figura 10.38 - Concentrazioni in calcio rispetto a quelle in solfati in rapporto alle rette di diluizione con acque di mare attuale e alla retta di soluzione del gesso

#### 10.7.4 Bicarbonati

Le figure 10.39, 10.40 e 10.41 permettono di separare la maggior parte delle acque delle vulcaniti da quelle delle formazioni della piana. Le prime infatti non superano normalmente i 4 meq/l di bicarbonato, salvo che in alcuni campioni, mentre le seconde si ritrovano tutte a concentrazioni di bicarbonato superiori a 4 meq/l. I campioni delle vulcaniti che si discostano dal comportamento medio appartengono ai pochi pozzi che raggiungono alte profondità sotto il livello mare o ad acque prelevate in aree poste al limite orientale della formazione. Indubbiamente, a giustificazione dei maggiori contenuti in bicarbonati, nella piana prevalgono formazioni carbonatiche, tuttavia le concentrazioni rilevate sono mediamente abbastanza più elevate della media per tali tipi di formazioni e si mantengono alte anche con l'aumento della salinità.

Tali anomale concentrazioni possono trovare giustificazione in una pressione parziale della  $CO_2$  più alta del normale: tale pressione parziale, nelle acque che peraltro provengono dalle maggiori profondità, può originarsi da influssi di anidride carbonica dal basso attraverso le discontinuità tettoniche.



**Figura 10.39 - Concentrazione dei bicarbonati rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)**

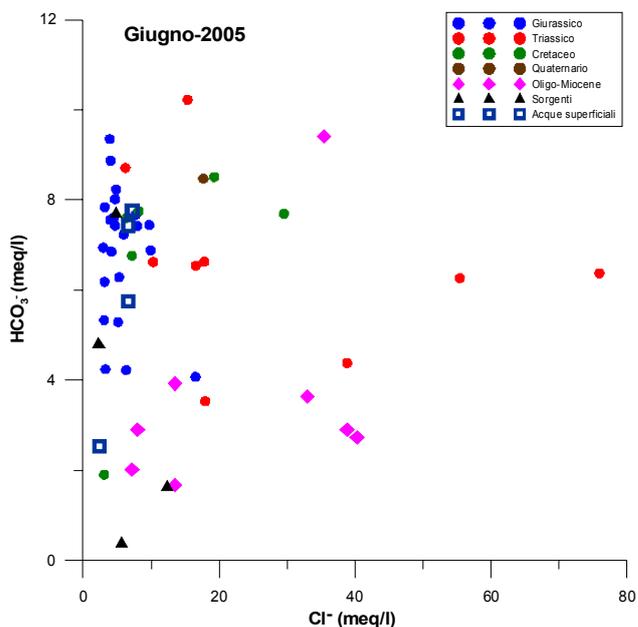


Figura 10.40 - Concentrazione dei bicarbonati rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

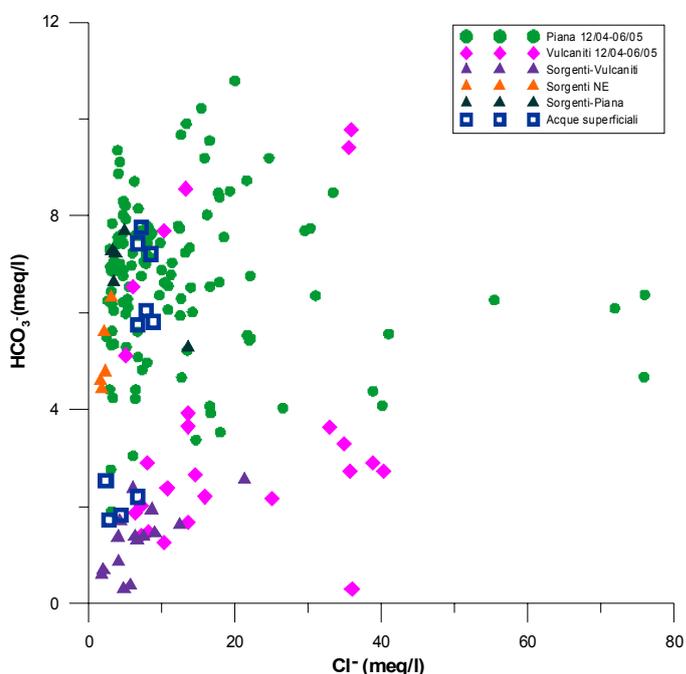


Figura 10.41 - Concentrazioni in bicarbonato rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio, raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

### 10.7.5 Silice

Un'ulteriore discriminazione, tra le acque della piana e quelle delle vulcaniti, deriva dall'esame della relazione  $\text{SiO}_2$  – Cloruri (figure 10.42, 10.43 e 10.44). Tutti i pozzi e le sorgenti che hanno concentrazioni di silice molto alta (maggiore di 40 mg/l), appartengono alle vulcaniti, tranne le acque dei pozzi 1S, 98S, 139S, 4C, 43C, 107C e 142C. Le alte concentrazioni, in questi ultimi campioni, potrebbero derivare da interconnessione di acquiferi, ma indipendentemente dalle formazioni oligo-mioceniche, anche da interazione con materiali glauconitici. Le acque delle formazioni del Giura e del Trias si ritrovano tutte sotto i 25 mg/l (dicembre 2004) ed i 20 mg/l (giugno 2005). Tra 25 e 40 mg/l si ritrovano le acque provenienti dai pozzi 1C, 10C, 15C, 18C, 20C, 21C, 115C, 118C, 126C e 135 C, che si ritrovano raggruppati nella depressione ai piedi del massiccio, nella zona dietro ad Alghero.

Le acque delle sorgenti della piana si raggruppano con le acque sotterranee della piana, così come le sorgenti NE. Le acque superficiali si ritrovano nella stessa fascia di concentrazione 10-25 mg/l. Le distinzioni permangono anche nella stagione estiva.

Utilizzando le concentrazioni dei bicarbonati e quelle della silice (figure 10.45 e 10.46), la discriminazione tra acque delle vulcaniti e quelle delle formazioni della piana diventa più chiara. Le acque delle vulcaniti hanno tenori in silice superiori ai 40 mg/l e concentrazioni in bicarbonati inferiori a 4 meq/l. Viceversa, le acque della piana mediamente hanno concentrazioni di bicarbonato superiori a 4 meq/l e tenori in silice inferiori a 40 mg/l. Un numero limitato di campioni di acqua sotterranea, appartenenti a formazioni cretatiche, triassiche e quaternarie, mostra un comportamento intermedio.

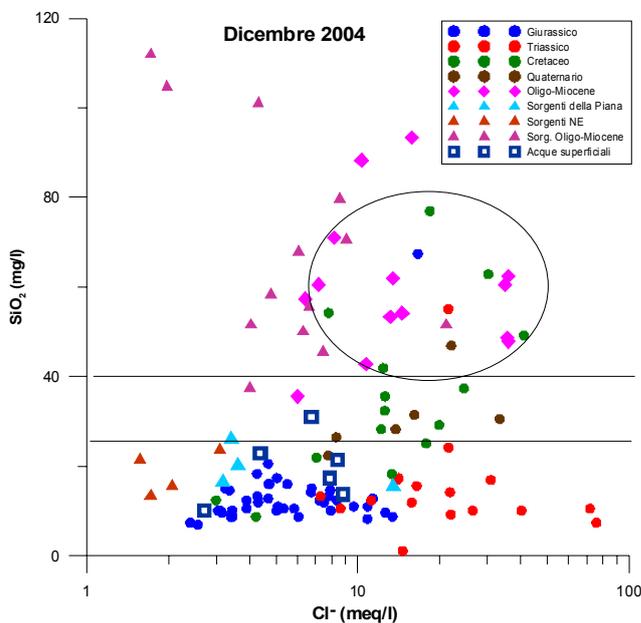


Figura 10.42 - Concentrazione della silice rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)

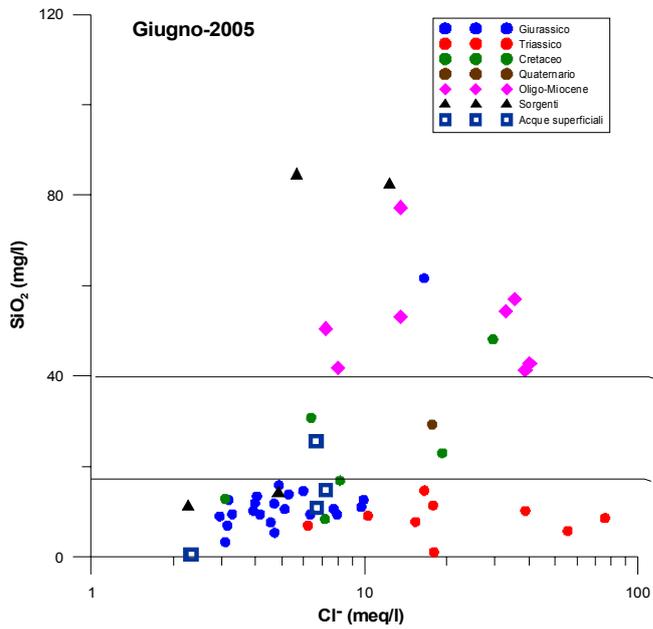


Figura 10.43 - Concentrazione della silice rispetto a quella dei cloruri per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)

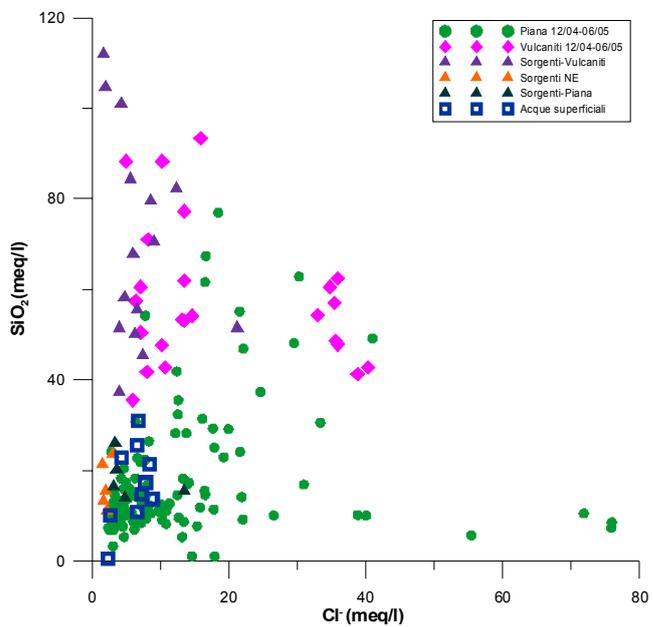
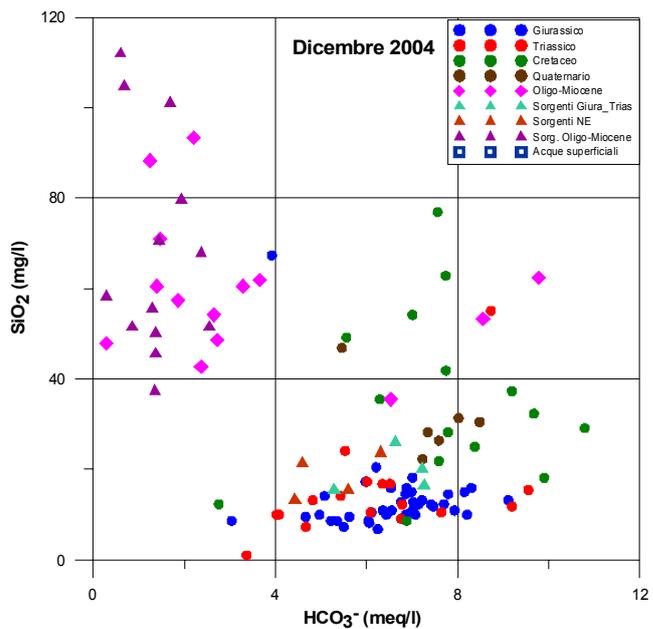
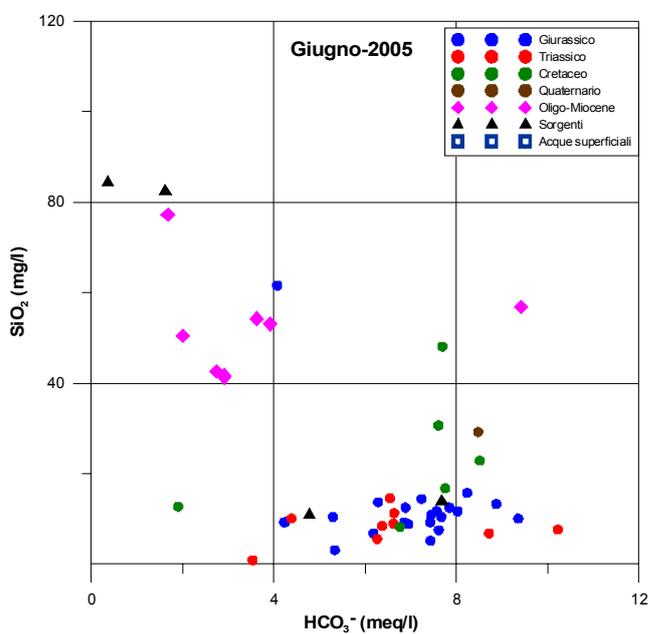


Figura 10.44 - Concentrazioni in silice rispetto a quelle dei cloruri per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)

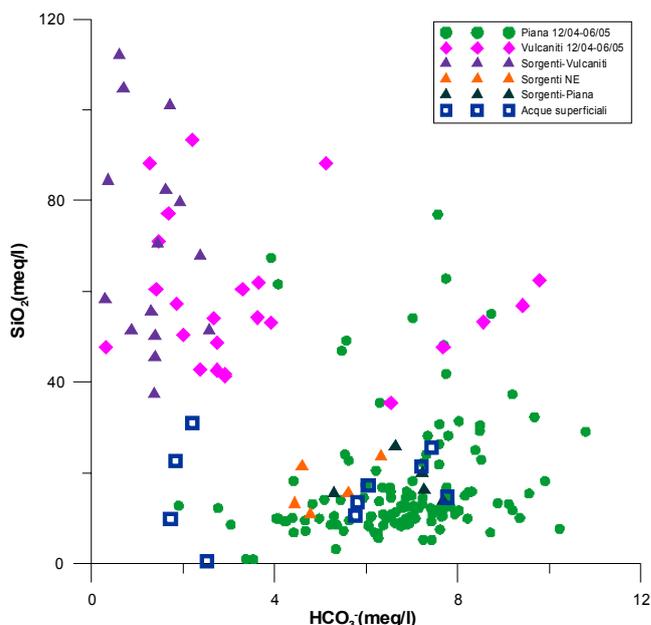


**Figura 10.45 - Concentrazione della silice rispetto a quella dei bicarbonati per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (dicembre 2004)**



**Figura 10.46 - Concentrazione della silice rispetto a quella dei bicarbonati per le acque raggruppate in accordo con la loro appartenenza alle diverse formazioni (giugno 2005)**

La figura 10.47 indica che le acque superficiali più dolci, simili per i costituenti maggiori alle acque delle sorgenti del massiccio oligo-miocenico, se ne discostano per i contenuti in silice. Man mano che procede il deflusso superficiale, le acque acquisiscono una qualità più simile a quella delle acque sotterranee della piana. Come già rilevato per altri costituenti, le sorgenti delle vulcaniti hanno concentrazioni in silice simili a quelle delle acque sotterranee della stessa formazione, mentre le acque delle sorgenti mioceniche del bordo e del bacino si rapportano più verosimilmente alle acque della piana.



**Figura 10.47 - Concentrazioni in silice rispetto a quelle dei bicarbonati per le acque di entrambe le campagne di monitoraggio, raggruppate per posizione geografica (piana e massiccio oligo-miocenico)**

## 10.8 Interpretazioni conclusive di sintesi

L'interpretazione del chimismo delle acque sotterranee e il modello idrogeochimico hanno permesso di meglio identificare gli acquiferi dell'area in studio; in particolare, sono stati utilizzati, come indicatori i contenuti in solfati (acquifero gessoso e dolomitico del Trias), in bicarbonati (acquiferi carbonatici del Giura e del Cretaceo) e in silice (acquifero piroclastico dell'Oligo-Miocene). Inoltre, le sorgenti sono state suddivise, sulla base delle caratteristiche idrogeochimiche, in due gruppi: le acque bicarbonatiche provengono dalle sorgenti dei calcari miocenici e dai sedimenti quaternari, mentre le acque cloruro-alcaline appartengono alle sorgenti del complesso vulcanico.

I processi idrogeochimici sono influenzati dalla litologia e dall'assetto strutturale del territorio che determinano un arricchimento in cationi e anioni, causando in alcuni casi, una degradazione qualitativa delle RIS. I processi di salinizzazione delle acque sotterranee, presenti nell'area della Nurra, hanno diverse origini, anche se la maggior parte di essi è dovuta ad apporti di sodio e cloruri.

L'acquifero del Trias è caratterizzato da acque di scarsa qualità per l'elevata concentrazione di solfati, che rimangono costanti, ovvero non vengono diluiti, durante tutto l'anno idrologico: il TDS varia tra 1,5 e 6,5 g/l, la  $PCO_2$  è in alcuni casi alta; inoltre, quando prevalgono le rocce dolomitiche e carbonatiche, sono stati rilevati elevati contenuti in bicarbonati. La dissoluzione di grossi quantitativi di solfato di calcio, derivanti dai livelli gessosi, determina gli eccessi di calcio e magnesio dovuti dalla dedolomitizzazione. La presenza di marne causa più evidenti fenomeni di scambio ionico, solo in corrispondenza di elevati eccessi positivi di sodio, altrimenti mascherati dal gesso in soluzione. La facies tipiche sono: NaCl (essendoci sia eccessi che carenze di sodio),  $CaCl_2$  (salinizzazione) e  $CaSO_4$ .

I calcari del Giura rappresentano l'acquifero più produttivo e le acque sono prevalentemente bicarbonato-calciche e contengono sino al 20% di solfuri. La maggior parte delle acque con elevata salinità (1-1,5 g/l) hanno una facies  $CaCl_2$ . Le acque dell'acquifero del Giura presentano le più elevate medie di  $PCO_2$  insieme ad un elevato DIC. La presenza delle marne favorisce i processi di scambio ionico (diretto e inverso) con la maggior parte delle acque. Nella Nurra di Alghero, l'acquifero ospitato nelle formazioni del Giura, rappresenta l'unica importante riserva idrica sotterranea con buone caratteristiche qualitative naturali. Per altro, l'attività agricola praticata nella zona, apporta notevoli quantitativi di sostanze azotate. Sarebbe quindi necessario regolamentare le pratiche agricole per limitare i fenomeni di inquinamento di tale risorsa.

La maggior parte delle acque dell'acquifero del Cretaceo presentano valori di TDS maggiori di 1 g/l. Queste mostrano uno scambio ionico, evidenziato da facies tipo  $NaHCO_3$ ,  $MgCl_2$  e  $CaCl_2$ . I contenuti in silice, più alti rispetto alle acque degli altri acquiferi della piana, sono possibili a causa della presenza di depositi glauconitici: la  $PCO_2$  è bassa, con isolati picchi.

L'acquifero del complesso piroclastico dell'Oligo-Miocene, pur essendo in prossimità della costa, presenta elevati carichi idraulici, che escludono fenomeni di intrusione marina. Diversi processi sono responsabili della evoluzione chimica di queste acque: interazioni acqua-roccia con tufi più o meno alterati, accumulo di sali derivanti da una antica attività idrotermale e processi di scambio ionico con zeoliti, caolini, bentonite e prodotti di alterazione dell'antica attività idrotermale. L'acidità dell'acqua sotterranea favorisce la dissoluzione dei silicati e l'aumento dell'alcalinità che accresce il contenuto in anidride carbonica, la cui origine non è ben chiara, in assenza di specifici traccianti. Tuttavia, le acque sono caratterizzate da una pressione parziale dell'anidride carbonica moderatamente alta e da elevate temperature; questo fa pensare che l'anidride carbonica provenga da circuiti profondi appartenenti ad un campo termale anomalo.

Le acque dell'acquifero del Quaternario sono caratterizzate, durante tutto l'anno, da valori di TDS maggiori di 1.3 g/l ed appartengono alla facies NaCl e  $CaCl_2$ .

Inoltre, è interessante notare che, gli acquiferi dei complessi vulcanico e carbonatico hanno la possibilità di interconnessione: infatti alcuni campioni di acque sotterranee prelevati nella piana indicano un possibile inter-mixing.

Dunque, sulla base delle conoscenze acquisite, l'acqua di mare non sembra essere la causa principale della salinizzazione delle acque sotterranee dell'area.

Comunque, le percentuali in cloruri aumentano parallelamente a quelle del sodio; infatti, sodio e cloruri rappresentano in percentuale il 38% del TDS. Per le acque, questa percentuale è rispettivamente il 44% per gli acquiferi del Trias e dell'Oligo-Miocene, il 43% per l'acquifero del Cretaceo e solo il 30% per quello del Giura. La presenza di alite (salgemma: NaCl) negli acquiferi della piana, potrebbe essere meglio spiegata con alcune analisi mineralogiche. Così, come nell'acquifero del complesso piroclastico, alcune analisi sui depositi bentonitici hanno misurato elevati tenori in cloruri, che dimostrano alcune anomale concentrazioni in sali nelle acque sotterranee.

Solo vicino alla costa, nella piana prospiciente il Golfo di Alghero, la salinizzazione delle acque sotterranee può essere attribuita a fenomeni d'intrusione di acqua di mare. Lo stagno costiero del Calich è in diretta comunicazione con il mare e rappresenta la zona di confluenza fra le acque dolci dell'entroterra con l'acqua di mare. Durante l'estate, quando i fiumi sono in magra, l'acqua di mare riesce a risalire per alcuni chilometri, verso l'interno, lungo l'asta del Rio Barca.

## 10.9 Analisi Isotopiche delle acque sotterranee

### 10.9.1 Cenni teorici

Nelle acque sotterranee si trovano in soluzione delle sostanze che possono essere utilizzate come *traccianti naturali* perché la loro concentrazione è funzione soltanto delle caratteristiche proprie dell'acqua d'infiltrazione efficace. A tale scopo vengono usati soprattutto gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno, che fanno parte della stessa molecola dell'acqua.

Come è noto, alcuni isotopi sono stabili mentre altri, instabili, si trasformano spontaneamente per emissione di radiazioni. Gli isotopi stabili servono a caratterizzare l'acqua ed a determinarne l'origine. Gli isotopi instabili servono a determinare l'età dell'acqua, per esempio con il tritio si copre un intervallo di circa 50 anni.

### 10.9.2 Gli isotopi stabili ossigeno-18 e deuterio

L'*ossigeno-18* ( $^{18}\text{O}$ ) ed il *deuterio* ( $^2\text{H}$  o D), isotopi rispettivamente dell'ossigeno e dell'idrogeno, consentono di calcolare la quota media di infiltrazione delle acque sotterranee: dunque permettono di localizzare il bacino di alimentazione. Entrambi vengono espressi in differenza per mille ( $\delta \text{‰}$ ) del rapporto isotopico del campione ( $R_x$ ) rispetto allo stesso rapporto nello standard ( $R_s$ ), secondo l'espressione:

$$\delta \text{‰} = (R_x/R_s - 1) \times 1000$$

dove R è il rapporto fra l'isotopo più pesante e quello più leggero:  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  per l'ossigeno e  $\text{D}/^1\text{H}$  per l'idrogeno. Lo standard è rappresentato dallo SMOW (Standard Mean Ocean Water), che rappresenta il valore medio della composizione isotopica delle acque oceaniche (le quali costituiscono il punto iniziale del ciclo idrologico).

I principali processi naturali che determinano frazionamenti isotopici nelle acque sono i fenomeni di evaporazione e condensazione. Inoltre, poiché il frazionamento isotopico è tanto maggiore quanto più è bassa la temperatura, è evidente che i tenori in  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$

delle precipitazioni debbano dipendere strettamente (oltre dalla posizione rispetto agli oceani) dalla latitudine, dalla stagione e dall'altitudine.

Senza entrare nel dettaglio della metodica, si ammette che il tenore medio in isotopi pesanti stabili delle precipitazioni si conservi inalterato nelle acque sotterranee, a parità di posizione geografica: tale contenuto è da correlare con il gradiente temperatura dell'aria /altitudine e, quindi, con l'altezza sul livello del mare del bacino di alimentazione. Tale gradiente va sempre calcolato sperimentalmente, in quanto varia da regione a regione. L'interpretazione deve, inoltre, tenere conto di eventuali fenomeni di miscelamento fra acque di diversi acquiferi.

### **10.9.3 Il tritio**

Il *tritio* ( $^3\text{H}$ ), isotopo più pesante dell'idrogeno, ha massa tre ed è il solo radioattivo. Si forma spontaneamente per bombardamento del  $^{14}\text{N}$ , da parte delle radiazioni cosmiche, si trasforma in acqua per combinazione con l'ossigeno dell'aria e raggiunge le acque sotterranee con le precipitazioni atmosferiche. In assenza di motivi di perturbazione artificiali, il contenuto in tritio delle piogge è in equilibrio con quello atmosferico, risentendo anch'esso della localizzazione geografica, della latitudine e della temperatura. La quantità di tritio nell'atmosfera è pressoché costante, in quanto il tritio prodotto e quello che decade sono naturalmente in equilibrio.

Nel periodo di sperimentazione delle armi termonucleari nella stratosfera (1952-1963) la quantità di radionuclidi di tritio è aumentata di quasi 3 ordini di grandezza, fino alla moratoria di tali esperimenti. Da questo periodo il contenuto in tritio nelle precipitazioni è tornato ai livelli precedenti gli anni '50, vale a dire 5-10 unità tritio, contro le 3000-5000 del 1963. Una unità tritio (TU Tritium Unit) equivale alla presenza di un atomo di  $^3\text{H}$  ogni  $10^8$  atomi di ossigeno. Dunque, la principale applicazione in campo idrogeologico è quella della datazione delle acque sotterranee: infatti, queste, nel corso del loro movimento, perdono tritio, in accordo con il periodo di decadimento e/o dimezzamento (12,43 anni).

## **10.10 Indagine isotopica nell'area in studio**

Al fine di chiarire alcuni aspetti, relativi alle aree di alimentazione e datare le acque sotterranee, è stata condotta un'analisi isotopica sulle acque sotterranee prelevate da alcuni pozzi, selezionati in funzione della loro posizione ed appartenenza a sistemi acquiferi differenti. Ulteriore informazione che si è voluta definire è relativa ai tempi di ricarica (tempo di residenza medio nell'acquifero) e quindi ai tempi di arrivo di eventuali inquinanti idroveicolati.

### **10.10.1 Isotopi stabili e tritio**

Nel periodo compreso fra novembre-dicembre 2005, sono stati prelevati dei campioni d'acqua sotterranea da sei pozzi e una sorgente per analizzare gli isotopi stabili ( $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ ) e da tre pozzi per il Tritio (figura 10.48). Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio per le analisi isotopiche delle acque del CNR di Pisa. I risultati delle analisi sono riportati in tabella 10.2.

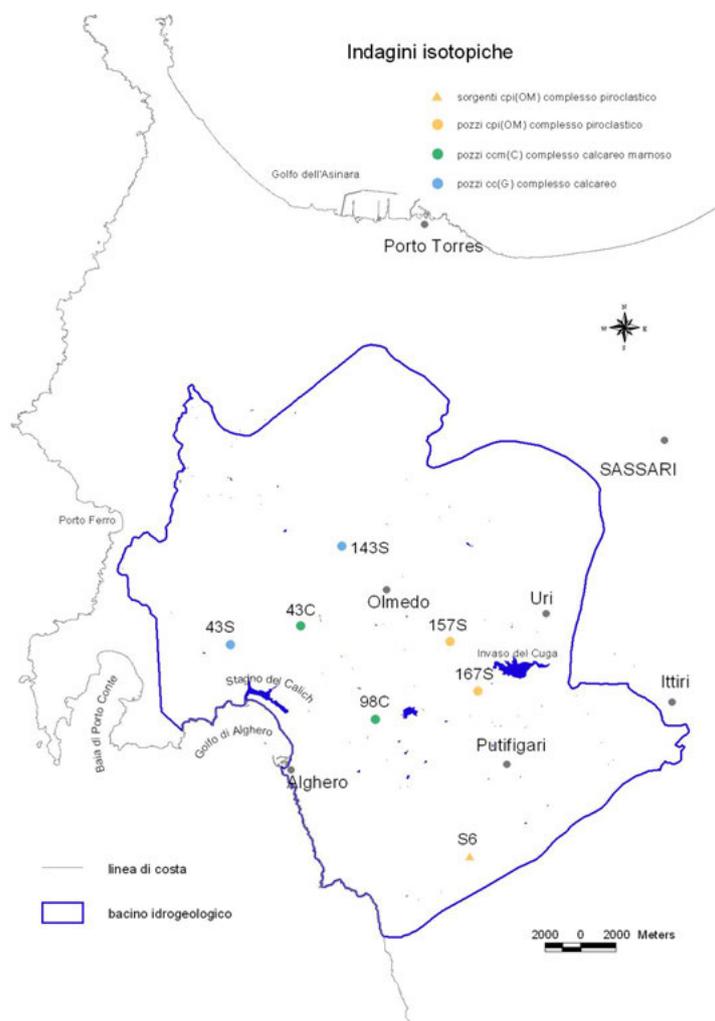
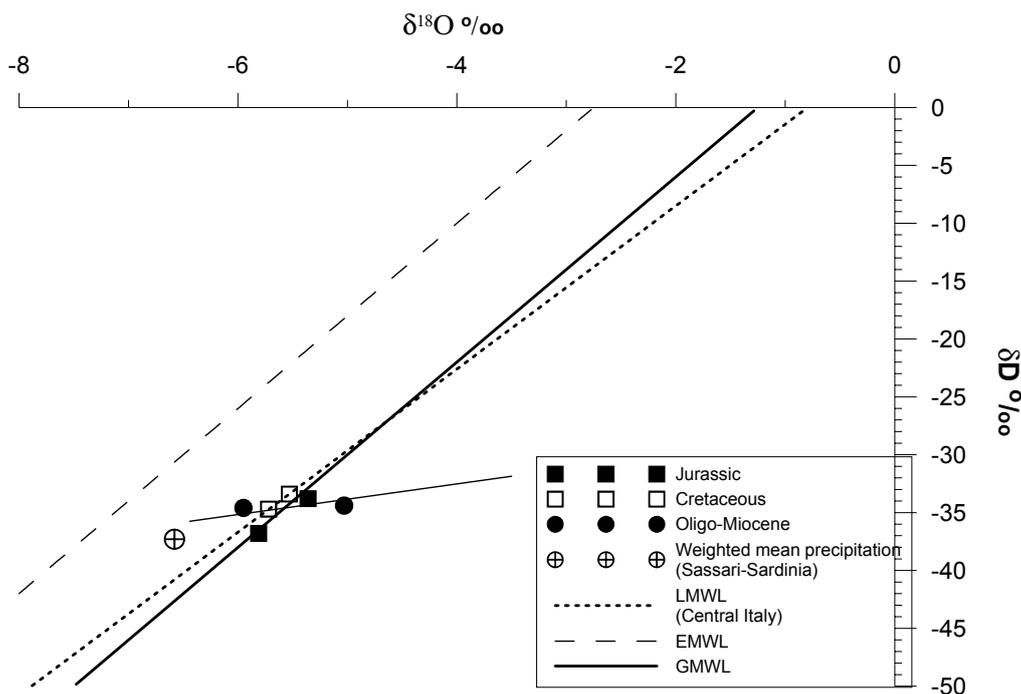


Figura 10.48 - Ubicazione punti prelievo per analisi isotopiche

Tabella 10.2 - Isotopi stabili e tritio

Punto d'acqua	Tipo	Data	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ VSMOW	$\delta^2\text{H}$ VSMOW	$^3\text{H}$ TU	Acquifero
S6	Sorgente	30/11/05	-6.44	-35.6	-	cpi(OM)Oligo-Miocene
43S	Pozzo	06/12/05	-5.81	-36.8	3.6±0.6	cc(G)Giura
43C	Pozzo	30/11/05	-5.53	-33.4	-	ccm(C)Cretaceo
98C	Pozzo	30/11/05	-5.72	-34.7	-	ccm(C)Cretaceo
143S	Pozzo	06/12/05	-5.36	-33.8	3.1±0.6	cc(G)Giura
157S	Pozzo	30/11/05	-5.03	-34.4	-	cpi(OM)Oligo-Miocene
167S	Pozzo	06/12/05	-5.95	-34.6	0.3±0.4	cpi(OM)Oligo-Miocene



**Figura 10.49 - Relazione tra  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  delle acque sotterranee campionate**

In figura 10.49 vengono diagrammati i dati relativi agli isotopi stabili in relazione al EMWL (East Mediterranean Water Line) e a GMWL (Global Meteoric Water Line). In accordo con Longinelli e Selmo [2003], la Local Meteoric Water Line (LMWL) per l'Italia centrale, area geografica dove ricade la Nurra, è  $\delta^2\text{H} = 7,05 \delta^{18}\text{O} + 5,6$ .

Lo stesso studio indica che i valori della media pesata per la pioggia di Sassari (periodo: 2/1999-1/2000) sono rispettivamente  $-6,58\text{‰}$  e  $-37,3\text{‰}$ .

Il raggruppamento degli isotopi stabili, relativo alle acque sotterranee, intorno alla LMWL e alla media pesata delle precipitazioni indica che la ricarica degli acquiferi carbonatici e vulcanici è influenzata da precipitazioni atmosferiche locali. In ogni caso, senza un set completo di dati, di sicuro riferimento, la media pesata delle *acque di ricarica* non può essere calcolata e usata per la comparazione: gli effettivi valori potrebbero essere oltremodo più negativi, a causa dell'esclusione delle precipitazioni estive.

Comunque, anche considerando la media pesata delle precipitazioni, le acque sotterranee analizzate mostrano uno scostamento, che può rappresentare l'effetto dell'evaporazione nelle acque d'infiltrazione. Per esempio, il campione 157S (zona occidentale) ubicato sulla faglia trascorrente di Su Zumbaru: la sua posizione può corrispondere ad un arricchimento dovuto all'evaporazione prima dell'infiltrazione. Questa ipotesi può essere ritenuta valida per il fatto che la faglia delimita una depressione strutturale, attraverso la quale le circostanti acque superficiali confluiscono e conseguentemente evaporano a causa della bassa permeabilità dovuta alla presenza di tufi argillificati.

In ogni caso, possono essere anche altre le cause all'origine dei valori isotopici misurati, specialmente alla luce delle già discusse anomalie idrotermali e/o il possibile arricchimento in anidride carbonica. Allo stato attuale, il set di dati acquisiti non è sufficiente per risolvere i dubbi, che potrebbero essere meglio chiariti mediante l'utilizzo del  $^{13}\text{C}$ .

I pochi valori di tritio danno comunque importanti informazioni sui tempi di ricarica e sulla natura degli acquiferi. Valori molto bassi di tritio ( $0,3\pm 0,4$  T.U.) del campione prelevato dal pozzo 167S (acquifero vulcanico dell'Oligo-Miocene) possono indicare una bassa permeabilità dell'acquifero o una circolazione profonda delle acque sotterranee, il che vuol dire anche tempi di residenza elevati.

Per i campioni prelevati dall'acquifero carbonatico del Giura (143S e 43S), i valori di tritio variano tra  $3,1\pm 0,6$  e  $3,6\pm 0,6$  TU. Tali valori indicano per l'acquifero un basso grado fratturazione e dunque, per le acque sotterranee, tempi di residenza relativamente prolungati (si stima circa 10-12 anni).

**Tabella 10.3 - Risultati analitici del campionamento di dicembre 2004**

Sample	T °C	pH situ	EC 18°C	OD	rH	Caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
1S	21,2	6,9	3280	6,12	22,8	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2320	2280
2S	19,0	7,0	3310	3,02	22,1	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	3620	3580
5S	17,2	6,6	3750	2,99	17,5	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	4060	3760
11S	19,7	6,9	2140	5,89	22,1	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	1700	1700
16S	18,7	6,9	1930				1400	1360
26S	21,1	8,9	1870	3,26	21,8	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	1340	1320
29S	16,2	6,8	2800	8,50	21,7	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2120	1980
31S	19,8	7,3	7350	1,43	19,3	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	5580	5060
34S	21,9	8,2	3450	4,28	20,9	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2560	2560
36S	19,2	6,7	1160				840	840
39S	18,5	7,1	1590				1120	1040
41S	18,2	7,0	1510				1100	1080
43S	18,8	6,7	1494				1060	1000
48S	18,8	6,6	7140	0,36	18,7	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	5280	4860
56S	16,9	7,0	3050	6,56	22,1	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2260	2200
57S	18,8	6,7	4610	9,05	20,0	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	4300	3880
58S	17,7	6,9	1496				1100	1040
64S	18,6	7,0	2020				1600	1440
69S	18,6	6,5	1366				1000	920
71S	18,6	6,7	3020	2,18	19,9	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2660	2360
72S	18,3	6,5	1368				1260	1180
73S	18,1	6,6	889				640	580
75S	16,5	7,1	2750	6,96	23,4	mezzo ossidante, acque chiarificate, condizioni aerobiche	2500	2380
76S	18,0	6,6	1860				1480	1260
79S	17,7	7,0	1110				840	800
80S	18,2	6,5	1002				700	660
81S	17,8	6,7	1000				700	600
84S	18,2	6,8	1500				1040	1020
86S	15,6	6,9	2730	6,11	20,2	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2260	1880
87S	19,6	6,6	1206				860	860

Sample	T °C	pH situ	EC 18°C	OD	rH	Caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
89S	18,7	6,4	1570				1460	1380
90S	17,6	6,9	978				680	680
98S	20,0	7,5	1400				1140	1080
100S	18,6	6,6	1034				760	620
101S	15,2	6,7	1178				900	760
112S	18,3	7,2	893				680	600
114S	18,7	6,5	1076				740	680
120S	21,6	6,6	1314	3,77	18,8	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1080	1000
122S	18,1	7,3	802				560	520
125S	18,2	6,7	1363	5,57	19,9	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	740	640
128S	21,2	7,1	1156				680	660
130S	19,1	6,5	1474				1100	980
139S	19,6	6,6	3600				2880	2720
140S	18,4	6,7	1122				840	740
143S	19,0	6,7	1155				760	760
157S	19,0	6,8	2310				1580	1520
165S	18,7	7,0	4080				5180	2560
167S	22,4	6,8	3780				2740	2440
173S	20,2	6,9	1322				840	760
174S	18,8	7,0	1085				760	640
178S	17,7	6,4	4420				3160	3120
180S	18,4	6,4	1890				1440	1400
181S	17,0	6,2	998				700	660
192S	16,9	6,2	980				680	660
197S	17,6	6,5	1780				1320	1220
201S	21,6	7,2	1312				860	760
205S	17,2	5,7	1560				1260	1120
206S	18,1	6,0	3050				2630	1044
210S	19,2	7,2	3240	3,05	23,2	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	3140	2980

Sample	T °C	pH situ	EC 18 °C	OD	rH	Caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
1C	21,3	7,2	2900				2040	2040
4C	19,0	7,2	2980	3,59	21,1	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	2520	2400
10C	19,2	6,7	2380	3,95	22,5	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1700	1660
15C	17,5	6,5	4190	4,70	19,3	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	3020	2800
18C	19,4	6,7	2600				2100	2000
20C	18,8	6,8	1660	6,91	22,2	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1300	1260
21C	17,8	6,9	2830	1,14	20,0	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1920	1840
28C	19,5	6,6	1540	2,88	22,1	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1000	940
29C	17,5	6,6	673	0,55	21,0	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	500	440
32C	17,8	7,1	1690	3,83	21,6	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1580	1400
33C	18,4	7,1	1177				800	800
43C	19,5	7,8	4310				3040	2980
47C	17,3	6,8	1181				820	820
49C	20,5	6,6	1930				1820	1520
52C	20,3	6,8	1158				820	780
59C	21,2	6,4	922				780	740
60C	19,1	6,7	1740				1340	1140
62C	17,6	6,5	1600				1160	1100
63C	20,0	6,9	1210				880	880
66C	20,0	6,3	2070	5,57	21,1	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1860	1820
71C	17,7	6,9	1720				1300	1080
74C	16,3	6,8	867				660	560
77C	17,2	6,7	1210				740	680
81C	20,0	6,9	1071				760	720
90C	20,8	6,5	2560	4,77	20,0	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1960	1920
93C	19,8	6,8	4370	2,56	15,1	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	3320	3080
98C	20,9	7,7	2070	3,59	20,4	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1540	1520
107C	17,7	7,6	2060				1440	1360
112C	19,0	6,5	1900				1340	1220

Sample	T °C	pH situ	EC 18 °C	OD	rH	Caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
115C	19,8	7,5	2410	4,93	22,6	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2060	1820
118C	21,0	6,8	3500	1,55	17,7	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	2760	2680
121C	16,4	7,5	1052				800	800
126C	18,5	7,5	1900	1,86	22,7	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	1360	1340
131C	18,8	6,9	1042				800	740
135C	20,7	7,0	2460	4,10	22,6	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	1760	1760
142C	19,9	7,1	2580	4,28	22,2	mezzo riducente, acque grezze normali, anossia	1800	1700
145C	19,7	6,9	5140				3680	3520
152C	18,5	5,8	991				720	620
S1	18,0	6,8	646				520	500
S3	16,3	6,5	938				680	660
S6	15,2	7,3	702				640	600
S11	15,0	6,6	1300				1100	1080
S16	16,4	5,8	804				680	680
S17	15,7	6,3	430				320	300
S25	13,4	7,6	1355				1060	1040
S27	17,6	6,7	712				540	540
S31	18,7	6,6	1164				880	860
S30	16,6	7,3	1048				680	680
S36	14,3	6,4	332				880	220
S46	17,5	6,6	2770				2400	2200
S49	16,2	6,6	1410				980	980
S50	17,1	6,2	1082				800	760
S109	15,6	6,4	686				580	580
S112	15,5	6,2	997				760	740
S118	15,0	6,9	863				700	620
S123	17,9	6,6	1072				800	780
S124	16,6	6,6	1103				860	860
S125	17,0	6,4	1086				840	760
S126	17,1	6,8	2390				1940	1840

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>
1S	110,00	50,00	630,00	10,75	1,00	533,14	765,39	192,89	57,58	0,00	0,00	0,00
2S	562,00	136,00	185,00	15,25	0,05	294,47	258,24	1813,18	0,00	0,00	0,00	0,00
5S	576,00	154,00	205,00	13,50	0,12	367,31	501,55	1626,12	0,00	0,00	0,00	0,00
11S	180,00	48,00	265,00	10,25	0,04	413,81	397,38	291,40	40,82	0,00	0,00	0,00
16S	164,00	50,00	255,00	14,00	0,03	429,30	402,56	211,87	49,18	0,00	0,00	0,00
26S	48,00	34,00	375,00	19,00	0,20	206,13	518,43	19,67	0,00	54,46	0,00	0,00
29S	168,00	66,00	380,00	13,50	0,05	331,66	775,38	147,60	34,15	0,00	0,00	0,00
31S	175,00	180,00	1440,00	63,00	1,50	285,17	2689,24	185,96	53,39	53,76	0,00	0,00
34S	22,00	14,00	821,64	19,00	0,40	412,60	781,80	223,42	0,00	66,37	0,00	0,00
36S	146,00	26,00	76,00	3,50	0,06	365,19	178,44	50,75	34,17	8,06	0,00	0,00
39S	156,00	40,00	145,00	5,75	0,07	435,66	296,52	100,11	36,24	0,00	0,00	0,00
41S	174,00	36,00	130,00	6,00	0,15	430,54	266,22	89,20	37,37	0,00	0,00	0,00
43S	134,00	38,00	175,00	5,00	0,06	440,79	276,98	89,10	30,07	0,00	0,00	0,00
48S	165,00	210,00	1420,00	55,50	5,80	371,96	2547,14	249,01	0,00	0,00	0,00	0,00
56S	148,00	70,00	460,00	14,00	0,05	337,86	767,12	231,31	223,31	0,00	0,00	0,00
57S	470,00	230,00	540,00	18,50	0,70	387,46	1097,16	1213,98	0,00	0,00	0,00	0,00
58S	130,00	56,00	150,00	14,50	0,10	303,68	281,52	122,97	99,40	0,00	0,00	0,00
64S	128,00	74,00	230,00	5,50	0,34	319,06	475,95	183,30	38,67	0,00	14,20	0,00
69S	200,00	38,00	100,00	3,75	0,11	425,41	206,01	203,43	33,13	0,00	6,06	0,00
71S	160,00	185,00	260,00	7,75	0,10	582,74	585,25	248,54	548,60	0,00	0,00	0,00
72S	136,00	20,00	155,00	3,75	0,18	310,09	238,57	90,44	162,40	3,08	0,00	0,00
73S	111,50	27,00	67,00	3,70	0,07	326,75	122,47	61,42	24,26	0,00	0,00	0,00
75S	298,00	82,00	235,00	6,50	1,60	398,31	493,74	561,24	81,77	0,00	0,00	0,00
76S	188,00	70,00	165,00	6,25	0,19	370,31	384,12	240,08	23,40	0,00	9,12	0,00
79S	110,00	14,00	100,00	2,80	0,04	420,00	149,29	58,28	86,33	3,42	0,00	0,00
80S	168,00	17,00	60,00	4,50	0,18	419,00	110,22	41,04	74,94	0,00	3,58	0,00
81S	148,00	24,00	67,00	4,20	0,07	369,03	120,70	95,86	34,37	0,00	2,51	0,00
84S	164,00	26,00	160,00	2,25	0,06	470,26	256,08	146,22	55,59	0,00	0,00	0,00
86S	145,00	61,00	415,00	10,50	0,12	246,42	941,25	131,51	0,00	0,00	0,00	0,00
87S	150,00	32,00	90,00	5,30	0,06	484,35	179,79	36,00	19,00	4,76	0,00	0,00

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>
90S	148,00	18,00	62,00	2,90	0,08	393,38	108,27	42,81	53,56	3,85	0,00	0,00
98S	156,00	30,00	156,00	2,70	0,10	427,75	276,84	90,34	57,41	0,00	0,00	0,00
100S	161,00	28,00	62,00	3,90	<0,02	431,82	122,16	51,25	39,00	0,00	4,18	0,00
101S	174,00	28,00	80,00	17,50	0,05	501,01	178,20	63,71	31,26	0,00	0,00	0,00
112S	94,00	24,00	82,00	7,80	0,07	185,80	214,34	28,59	8,61	2,47	0,00	0,00
114S	152,00	32,00	65,00	4,00	0,03	452,32	138,10	38,29	38,09	0,00	0,00	0,00
120S	130,00	44,00	108,00	5,75	0,15	497,50	239,55	41,86	20,50	0,00	0,00	0,00
122S	96,00	42,00	42,00	2,70	0,39	335,72	85,46	56,63	22,90	3,46	0,00	0,00
125S	166,00	28,00	122,00	4,00	0,12	463,40	249,94	99,64	58,66	0,00	0,00	0,00
128S	104,00	44,00	82,00	12,50	> 10	556,11	151,17	10,51	0,00	5,02	0,00	6,13
130S	164,00	44,00	135,00	4,75	0,10	475,38	280,71	51,30	34,49	0,00	0,00	0,00
139S	180,00	135,00	560,00	20,50	0,11	472,70	1073,14	168,30	61,22	0,00	0,00	0,00
140S	154,00	22,00	84,00	4,30	0,02	427,97	151,01	68,70	79,33	3,81	0,00	0,00
143S	150,00	36,00	78,00	3,40	0,03	456,16	152,24	45,78	34,46	0,00	5,35	0,00
157S	126,00	82,00	256,00	6,00		522,79	467,02	102,35	62,08	0,00	0,00	0,00
165S	135,00	90,00	630,00	24,00		166,58	1263,36	143,51	64,04	0,00	0,00	0,00
167S	107,00	110,00	540,00	20,00	0,16	201,17	1234,24	123,85	10,64	16,59	0,00	0,00
173S	60,00	14,00	204,00	11,75	0,03	398,50	213,12	57,52	0,00	0,00	0,00	0,00
174S	38,00	14,00	168,00	12,75		312,65	177,04	37,77	0,00	0,00	4,40	0,00
178S	143,00	140,00	590,00	16,00		18,32	1273,88	193,58	98,56	34,93	14,52	0,00
180S	63,00	60,00	262,00	9,50		162,73	517,56	72,26	6,72	0,00	5,53	0,00
181S	22,00	16,00	160,00	6,60		85,85	253,97	30,87	19,82	8,34	3,99	0,00
192S	32,50	23,50	124,00	5,20		114,04	226,34	28,27	25,12	0,00	0,00	0,00
197S	97,00	60,00	225,00	9,00	0,06	222,96	478,75	81,00	51,00	9,82	6,47	0,00
201S	38,00	16,00	215,00	12,50	0,07	144,79	379,58	26,76	0,00	7,67	6,54	0,00
205S	71,50	50,00	190,00	12,75		76,88	365,18	71,48	133,28	10,35	0,00	0,00
206S	91,00	95,00	390,00	12,25		131,98	888,94	97,25	14,76	15,64	13,12	0,00
210S	428,00	112,00	230,00	22,75	0,13	362,66	442,90	1248,18	23,02	0,00	0,00	0,00
1C	84,00	42,00	570,00	25,00	8,80	658,68	707,56	148,23	23,28	0,00	0,00	0,00
4C	305,00	66,00	330,00	11,50	0,04	333,21	784,22	147,34	309,22	0,00	0,00	0,00

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>
15C	190,00	110,00	660,00	20,25	<0,02	517,64	1183,32	300,99	49,03	0,00	0,00	0,00
18C	194,00	62,00	250,00	12,00	0,04	511,44	633,62	222,90	62,94	0,00	0,00	0,00
20C	158,00	32,00	180,00	7,50	0,06	463,40	295,50	125,57	91,87	0,00	0,00	0,00
21C	98,00	62,00	470,00	15,00	0,04	489,75	573,06	276,22	0,00	42,66	0,00	0,00
28C	166,00	28,00	142,00	5,75	0,03	441,70	275,82	105,21	67,04	0,00	0,00	0,00
29C	56,50	12,50	69,00	4,00	0,09	168,93	106,47	38,74	21,92	9,76	0,00	0,00
32C	154,00	46,00	210,00	5,75	0,07	342,51	236,06	229,48	278,23	0,00	0,00	0,00
33C	134,00	20,00	126,00	5,80	2,80	412,60	165,82	102,74	28,85	0,00	0,00	0,00
43C	90,00	54,00	860,00	30,50	0,12	339,41	1453,00	135,53	0,00	0,00	0,00	0,00
47C	114,00	20,00	126,00	6,00	0,03	379,28	165,59	60,40	82,70	0,00	0,00	0,00
49C	244,00	72,00	134,00	7,75	1,60	604,43	472,46	38,42	0,00	11,75	0,00	0,00
52C	84,00	27,00	105,00	2,60	0,08	420,00	166,00	70,11	55,54	3,79	0,00	0,00
59C	148,00	20,00	48,00	3,10	0,05	381,84	91,46	73,82	10,25	0,00	6,11	0,00
60C	182,00	52,00	175,00	7,50	0,20	399,78	385,18	162,40	21,40	0,00	0,00	0,00
62C	148,00	36,00	170,00	6,75	0,07	388,25	342,52	120,68	24,38	6,04	0,00	0,00
63C	94,00	24,00	190,00	7,50	0,07	506,79	167,59	96,08	9,85	5,56	0,00	0,00
66C	274,00	26,00	122,00	45,00	0,07	466,50	305,78	125,26	339,62	0,00	0,00	0,00
71C	160,00	50,00	195,00	6,75	0,20	284,46	449,16	133,92	31,28	0,00	0,00	0,00
74C	106,00	12,00	80,00	3,20	0,08	343,40	111,79	41,29	23,20	2,73	0,00	0,00
77C	132,00	40,00	126,00	2,40	0,09	398,50	194,99	67,09	39,84	4,54	0,00	0,00
81C	90,00	22,00	90,00	5,20		426,69	115,10	40,34	51,49	0,00	0,00	0,00
90C	200,00	64,00	330,00	9,00	0,04	561,04	560,06	163,45	27,81	0,00	0,00	0,00
93C	98,00	104,00	670,00	30,00	0,04	249,52	1420,94	179,35	0,00	0,00	0,00	0,00
98C	58,00	42,00	420,00	20,75	0,04	472,70	440,07	116,94	19,24	27,94	0,00	0,00
107C	58,00	33,00	385,00	20,30	0,02	239,61	590,83	93,58	9,77	0,00	0,00	0,00
112C	40,00	33,00	325,00	18,00	0,05	134,54	562,69	74,42	4,65	8,47	0,00	0,00
115C	58,00	56,00	310,00	8,25	0,40	384,36	447,38	195,11	452,54	0,00	0,00	0,00
118C	122,00	74,00	610,00	14,25	0,05	561,04	873,02	279,54	62,42	0,00	0,00	0,00
121C	114,00	22,00	136,00	3,20	0,04	419,00	119,21	109,80	12,69	3,61	0,00	0,00
126C	58,00	32,00	360,00	17,50	0,07	475,80	432,21	90,64	0,00	0,00	0,00	0,00

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>
135C	130,00	42,00	430,00	9,25	0,06	590,49	445,76	225,68	82,33	0,00	0,00	0,00
142C	46,00	30,00	540,00	38,50	0,07	461,85	654,22	85,37	26,74	0,00	0,00	0,00
145C	85,00	126,00	820,00	69,00	0,18	597,11	1272,14	211,38	235,10	21,26	14,27	0,00
152C	26,00	37,00	140,00	8,00	0,02	89,69	290,39	38,39	11,04	5,67	3,58	0,00
S1	94,00	8,50	32,00	2,60		270,37	61,33	16,90	17,56	0,00	0,00	0,00
S3	122,00	19,00	57,00	1,70		385,69	110,11	45,76	7,45	3,27	0,00	0,00
S6	24,00	17,00	92,00	7,00		52,54	142,90	24,51	20,28	0,00	0,00	0,00
S11	51,00	28,00	122,00	17,90		88,41	320,75	44,54	2,30	10,88	4,62	0,00
S16	25,00	24,00	90,00	13,10		17,94	169,30	49,95	40,38	0,00	0,00	0,00
S17	16,50	11,00	44,50	2,30		42,28	70,37	21,59	22,92	0,00	0,00	0,00
S25	41,00	30,00	168,00	9,30		117,88	303,65	50,85	14,60	0,00	0,00	0,00
S27	25,00	16,00	83,00	5,00		83,29	141,69	20,81	8,06	0,00	0,00	0,00
S31	34,00	25,00	148,00	8,00		84,57	263,19	36,87	0,00	0,00	0,00	0,00
S30	40,00	17,00	116,00	5,50		144,79	213,86	28,50	2,79	4,83	2,18	0,00
S36	9,00	7,00	43,50	2,70		37,16	61,27	14,97	5,51	0,00	0,00	0,00
S46	69,00	59,00	410,00	1,60		156,33	753,04	92,50	0,00	0,00	0,00	0,00
S49	31,00	19,00	196,00	13,90		103,79	152,16	29,71	22,27	0,00	0,00	0,00
S50	25,00	20,00	122,00	13,50		79,44	234,51	41,32	13,32	9,52	4,80	0,00
S109	107,00	7,00	25,50	3,20		280,62	55,72	19,17	38,67	0,00	0,00	0,00
S112	36,00	24,00	96,00	6,20		84,57	222,81	38,05	4,56	4,86	2,79	0,00
S118	131,00	13,50	40,50	2,80		342,12	73,65	54,91	43,05	0,00	0,00	0,00
S123	130,00	27,00	59,00	3,60		404,91	121,46	47,90	28,73	4,67	0,00	0,00
S124	124,00	28,00	71,00	4,80		440,79	127,99	44,52	19,34	4,67	0,00	0,00
S125	118,00	32,00	72,00	4,40		443,35	112,87	44,11	23,17	0,00	0,00	0,00
S126	134,00	72,00	215,00	17,50		322,90	479,78	123,30	24,04	0,00	0,00	0,00

Sample	SiO2	Fe	Li	Mn	Zn	Pb	Cd	Classificazione
1S	55,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
2S	13,20	0,01	0,07	0,06	0,01	0,10	0,01	solfato-alcalino-terrosa
5S	17,30	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	solfato-alcalino-terrosa
11S	12,29	0,00	0,01	0,01	0,08	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
16S	12,75	0,00	0,01	0,02	0,01	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
26S	1,04	0,02	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	cloruro-alcalina
29S	14,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
31S	7,28	0,03	0,98	0,14	0,00	0,10	0,01	cloruro-alcalina
34S	9,10	0,00	0,65	0,02	0,02	0,00	0,00	cloruro-alcalina
36S	17,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
39S	12,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
41S	11,83	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
43S	13,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
48S	10,47	0,14	0,00	0,50	0,01	0,00	0,01	cloruro-alcalina
56S	24,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
57S	16,84	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	cloruro-alcalino-terrosa
58S	10,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
64S	8,65	0,00	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
69S	10,47	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
71S	15,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
72S	14,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
73S	8,65	0,03	0,00	0,00	0,02	0,10	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
75S	16,84	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
76S	8,19	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10	0,01	cloruro-alcalino-terrosa
79S	8,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
80S	10,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
81S	8,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
84S	12,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
86S	10,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	cloruro-alcalina
87S	10,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
89S	10,47	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,00	solfato-alcalino-terrosa
90S	10,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa

Sample	SiO <sub>2</sub>	Fe	Li	Mn	Zn	Pb	Cd	Classificazione
98S	54,17	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
100S	10,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
101S	10,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
112S	8,65	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
114S	12,29	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
120S	15,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
122S	7,28	0,00	0,00	0,01	0,02	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
125S	21,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
128S	13,20	0,03	0,00	0,11	0,01	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
130S	14,57	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
139S	62,81	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
140S	18,21	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
143S	11,83	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
157S	53,26	0,01	0,02	0,00	0,00	0,10	0,01	cloruro-alcalino-terrosa
165S	48,70	0,03	0,05	0,00	0,02	0,00	0,01	cloruro-alcalina
167S	60,54	0,02	0,02	0,00	0,51	0,10	0,01	cloruro-alcalina
173S	35,50	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalina
174S	88,30	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,01	bicarbonato-alcalina
178S	47,79	0,02	0,03	0,01	0,06	0,00	0,01	cloruro-alcalina
180S	54,17	0,02	0,02	0,00	0,00	0,10	0,01	cloruro-alcalina
181S	60,54	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
192S	57,35	0,00	0,01	0,00	0,02	0,10	0,01	cloruro-alcalina
197S	61,90	0,00	0,01	0,00	0,03	0,10	0,01	cloruro-alcalina
201S	42,79	0,02	0,02	0,11	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalina
205S	88,30	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalina
206S		0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	cloruro-alcalina
210S	14,57	0,00	0,12	0,02	0,01	0,10	0,00	solfato-alcalino-terrosa
1C	29,13	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
4C	46,88	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
10C	28,22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00	cloruro-alcalina
15C	30,50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
18C	25,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa

Sample	SiO <sub>2</sub>	Fe	Li	Mn	Zn	Pb	Cd	Classificazione
21C	31,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
28C	22,30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
29C	12,29	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
32C	22,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
33C	12,75	0,01	0,00	0,02	0,01	0,20	0,01	bicarbonato-alcalino-terrosa
43C	49,16	0,01	0,06	0,24	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
47C	20,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
49C	18,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
52C	15,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
59C	6,83	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
60C	10,92	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	cloruro-alcalino-terrosa
62C	10,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
63C	15,93	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalina
66C	10,47	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
71C	9,56	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
74C	9,56	0,01	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
77C	15,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
81C	15,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
90C	11,83	0,00	0,00	0,02	0,01	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
93C	10,01	0,12	0,02	0,16	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalino-terrosa
98C	41,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
107C	67,37	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
112C	93,31	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	cloruro-alcalina
115C	35,50	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalina
118C	37,32	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalina
121C	14,57	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
126C	28,22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,20	0,00	cloruro-alcalina
131C	10,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	bicarbonato-alcalino-terrosa
135C	32,32	0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,00	cloruro-alcalina
142C	76,93	0,00	0,01	0,00	0,02	0,10	0,00	cloruro-alcalina
145C	62,36	0,03	0,03	0,01	0,08	0,10	0,01	cloruro-alcalina

Sample	SiO <sub>2</sub>	Fe	Li	Mn	Zn	Pb	Cd	Classificazione
152C	71,01	0,02	0,01	0,00	0,06	0,00	0,01	cloruro-alcalina
S1	13,20	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S3	23,67	0,04	0,01	0,01	0,00	0,10	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S6	51,44	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S11	111,97	0,04	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S16	104,69	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalina
S17	37,32	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S25	58,26	0,00	0,01	0,00	0,01	0,10	0,00	cloruro-alcalina
S27	50,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	cloruro-alcalina
S31	67,82	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S30	55,53	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S36	45,52	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S46	70,55	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S49	79,66	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S50	101,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S109	15,48	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S112	51,44	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalina
S118	21,39	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S123	25,95	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S124	20,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S125	16,39	0,07	0,00	0,02	0,00	0,20	0,00	bicarbonato-alcalino-terrosa
S126	15,48	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	cloruro-alcalino-terrosa

**Tabella 10.4 - Risultati analitici del campionamento di giugno 2005**

Sample	T °C	pH	EC 18°C	OD	rH	caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
1S	24,6	7,2	3070	3,84	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	2240	2140
16S	21,2	7,1	2200	3,50	24,6	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1400	1280
26S	23,4	8,7	2230	1,31	23,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1240	1160
31S	23,8	6,9	7100	2,20	22,1	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	4340	4080
34S	23,6	8,2	2610	1,61	23,2	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1500	1500
36S/37S	21,3	6,6	1371	7,27	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	900	840
39S	18,9	7,1	1820	5,41	0,0	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1220	1080
41S	21,5	6,7	1720	5,36	26,6	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1080	980
43S	17,8	6,6	1670	4,02	24,6	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1040	980
48S	25	6,5	8260	0,38	19,3	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	5240	4660
56S	22,7	6,7	3010	2,26	22,4	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1820	1700
58S	20,9	7,0	1368	4,06	23,9	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	840	780
69S	22,2	6,8	1405	6,53	25,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	920	840
71S	21	6,9	3420	2,08	22,4	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	2480	2120
72S	18,8	6,6	1470	6,50	22,9	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	1080	900
73S	22,3	6,9	898	4,65	23,9	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	520	460
75S	19,3	7,1	3420	5,81	24,6	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	2820	2540
79S	24,4	6,9	1590	2,33	24,8	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1060	960
81S	20,8	6,7	1105	4,85	23,8	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	700	660
89S	20	6,4	1880	1,99	23,9	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1380	1340
90S	21,1	6,8	1121	5,66	23,7	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	660	580
98S	23,4	7,5	1500	5,23	24,6	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	900	880
101S	21,8	6,6	1357	4,76	23,7	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	800	780
120S	23,5	7,1	792	1,91	24,2	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	440	400
125S	21,1	6,6	1610	3,92	22,4	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	980	860
128S	24,2	6,8	1346	1,36	22,7	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	760	720
139S	22,5	6,8	3980	2,19	22,2	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	2740	2280
143S	18,6	6,7	1369	6,52	23,9	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	760	740
165S	21,9	7,0	4630	4,19	24,5	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	3180	2820
167S	23	6,5	4050	5,51	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	2740	2280
174S	23,3	6,6	1860	6,74	24,0	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1240	1180
178S	22,6	6,4	4580	5,31	23,3	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	3620	3240

Sample	T °C	pH	EC 18°C	OD	rH	caratterizzazione rH	RF 110	RF 180
192S	19,5	6,2	1092	6,06	23,4	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	780	680
197S	20	6,6	2060	6,39	23,8	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1640	1520
200S	24,4	6,9	1249	4,42	25,0	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	700	680
205S	20,4	6,0	1870	5,60	25,2	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1300	1100
18C	20,8	6,6	3330	2,36	23,8	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	2220	2020
21C	21,8	6,7	3110	1,39	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1940	1780
29C	24	6,8	489	5,70	23,3	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	380	340
32C	22	7,3	2185	2,37	23,9	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1500	1420
47C	17	6,9	1424	7,20	24,4	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	980	960
63C	21,2	7,3	780	3,71	24,5	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	460	380
66C	21,6	6,3	1890	3,24	23,8	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1320	1220
77C	20,8	6,6	1441	1,84	24,3	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	840	820
81C	22,8	6,4	1225	4,11	24,5	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	680	580
93C	22	6,9	4880	1,67	19,4	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	3040	2840
107C	23,5	7,5	2280	6,00	23,3	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1360	1300
115C	21,9	7,6	1282	5,71	23,5	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	840	760
121C	20,3	6,9	1248	5,66	24,2	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	960	940
131C	22,2	7,0	1235	5,71	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	720	660
145C	22,7	6,8	5160	2,68	24,7	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	3100	3060
S11	24,7	7,0	1510	8,06	24,0	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	1000	880
S16	21,1	6,0	797	6,01	22,7	mezzo riducente,acque grezze normali,anossia	600	540
S109	18,2	7,2	800	7,48	24,1	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	560	500
S124	20,4	6,9	1328	8,00	24,3	mezzo ossidante,acque chiarificate,condizioni aerobiche	780	740

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>	F
1S	226,00	152,00	250,00	32,25	0,14	404,10	364,92	874,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16S	170,00	66,50	195,00	15,75	0,11	419,80	351,44	246,31	28,59	0,00	0,00	0,00	0,00
26S	9,00	46,80	410,00	28,25	1,60	215,40	636,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40
31S	154,00	165,00	980,00	45,50	1,00	382,00	1964,10	293,56	0,00	0,00	16,86	0,00	0,00
34S	30,00	35,40	470,00	30,75	0,10	442,10	467,23	180,62	3,27	0,00	8,87	0,00	2,77
36S/37S	136,00	36,20	98,00	5,10	0,26	502,78	172,45	49,29	29,28	0,00	4,15	0,00	0,00
39S	152,00	52,60	135,00	12,00	0,05	454,40	345,19	104,87	32,39	0,00	0,00	0,00	0,00
41S	160,00	47,40	150,00	10,50	0,00	453,20	281,66	95,14	31,32	0,00	0,00	0,00	0,00
43S	152,00	47,40	125,00	10,00	0,06	468,50	273,82	91,67	25,32	0,00	0,00	0,00	0,00
48S	146,00	231,00	1200,00	65,00	>10	388,90	2692,26	357,48	0,00	0,00	35,37	0,00	0,00
56S	154,00	77,00	300,00	14,00	0,22	399,30	587,34	206,96	88,65	0,00	0,00	0,00	0,00
58S	94,00	53,40	105,00	6,70	0,03	258,10	225,12	120,46	33,73	0,00	0,00	0,00	0,00
69S	158,00	42,80	86,00	4,85	0,07	418,20	147,13	174,45	35,69	0,00	2,82	0,00	0,00
71S	174,00	192,00	245,00	15,25	0,04	623,70	545,21	319,00	291,38	0,00	0,00	0,00	0,00
72S	180,00	23,40	86,00	5,50	0,08	322,80	181,49	84,30	136,25	0,00	0,00	0,00	0,00
73S	98,00	27,40	62,00	4,60	0,08	325,40	109,90	40,50	13,42	0,00	2,79	0,00	0,00
75S	325,00	125,50	240,00	10,50	0,06	404,60	631,84	693,36	70,50	0,00	0,00	0,00	0,00
79S	176,00	26,60	115,00	5,90	0,03	412,90	254,54	68,70	66,16	0,00	5,16	0,00	0,00
81S	120,00	29,40	70,00	4,30	0,33	377,60	111,89	88,30	30,18	0,00	3,41	0,00	0,00
89S	275,00	42,20	104,00	6,00	0,07	453,50	166,02	392,94	68,76	0,00	0,00	0,00	0,00
90S	145,00	31,80	60,00	3,20	0,07	424,00	104,60	38,84	44,73	0,00	3,27	0,00	0,00
98S	154,00	37,80	125,00	3,20	0,06	464,00	226,34	82,48	29,36	0,00	7,42	0,00	0,00
101S	180,74	36,20	70,00	17,50	0,08	570,80	138,91	47,45	31,64	0,00	4,37	0,00	0,00
120S	69,00	27,40	58,00	6,00	0,07	259,10	116,34	23,16	7,92	0,00	3,00	0,00	0,00
125S	162,00	35,60	135,00	5,25	0,05	472,90	288,57	60,64	32,47	0,00	0,00	0,00	0,00
128S	106,00	68,20	82,00	9,20	0,02	541,70	143,52	32,48	15,80	0,00	4,76	0,00	0,00
139S	150,00	160,00	400,00	33,00	0,06	469,30	1046,52	150,55	17,09	0,00	0,00	0,00	0,00
143S	130,00	53,40	78,00	5,10	0,05	489,90	165,84	48,83	32,91	0,00	4,12	0,00	0,00
165S	148,00	93,50	570,00	33,00	0,06	177,00	1375,50	160,28	0,00	0,00	15,26	0,00	0,00

Sample	Ca	Mg	Na	K	N-NH <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Br	PO <sub>4</sub>	F
167S	102,00	128,00	520,00	25,50	0,20	222,00	1167,50	125,79	0,00	0,00	13,90	0,00	6,53
174S	31,50	7,65	330,00	29,00	0,06	469,00	363,43	65,03	0,00	0,00	8,68	0,00	0,00
178S	164,00	176,00	550,00	28,50	0,13	166,90	1427,72	239,25	138,68	0,00	15,04	0,00	0,00
192S	37,50	33,00	130,00	11,30	0,07	122,90	255,20	31,83	23,64	0,00	3,66	0,00	0,00
197S	102,00	70,00	225,00	10,25	0,03	239,30	480,14	84,90	54,36	0,00	0,00	0,00	0,00
200S	46,00	21,00	145,00	7,25	0,02	177,30	284,52	37,68	4,09	0,00	4,50	0,00	0,00
18C	285,00	72,00	320,00	13,25	0,00	519,80	682,86	271,23	56,90	0,00	0,00	0,00	0,00
21C	130,00	68,00	410,00	22,75	0,04	517,40	626,60	286,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29C	37,03	11,20	49,00	5,40	0,04	116,53	109,70	22,62	4,98	0,00	0,00	0,00	5,59
32C	166,00	72,50	195,00	8,50	0,04	269,30	225,99	315,20	235,75	0,00	0,00	0,00	3,38
47C	120,00	27,20	114,00	19,10	0,12	383,20	187,23	57,49	105,24	0,00	3,44	0,00	0,00
63C	72,00	15,20	68,00	5,60	0,09	269,40	100,45	35,88	4,37	0,00	0,00	0,00	0,00
66C	247,50	27,70	94,00	9,75	0,07	532,00	220,46	82,44	164,78	0,00	0,00	0,00	0,00
77C	126,00	53,20	96,00	5,40	0,04	441,50	211,60	69,83	30,64	0,00	0,00	0,00	0,00
81C	148,00	28,80	110,00	6,80	0,22	461,40	141,02	42,30	58,16	0,00	0,00	0,00	0,00
93C	104,00	135,00	720,00	33,50	0,06	267,70	1376,06	190,71	0,00	0,00	18,06	0,00	0,00
107C	53,00	39,40	370,00	20,75	0,10	248,80	586,34	77,68	7,72	0,00	6,97	0,00	0,00
115C	61,00	37,20	160,00	27,00	0,07	446,40	100,79	77,00	88,56	0,00	0,00	0,00	0,00
121C	121,94	29,60	112,00	5,60	0,07	478,90	112,90	105,39	10,92	0,00	3,79	0,00	0,00
131C	132,00	41,80	68,00	5,40	0,00	464,80	160,90	45,60	27,42	0,00	3,84	0,00	0,00
145C	88,00	138,00	780,00	56,00	0,16	574,20	1258,02	204,36	180,72	0,00	16,08	0,00	0,00
S11	55,00	39,60	185,00	16,50	0,24	99,00	439,05	51,32	3,97	0,00	6,83	0,00	0,00
S16	19,25	23,40	92,00	12,80	0,29	22,00	200,65	50,18	22,57	0,00	4,04	0,00	0,00
S109	121,00	9,15	45,00	3,20	0,17	291,70	80,44	22,30	58,86	0,00	0,00	0,00	0,00
S124	136,00	38,60	94,00	8,00	0,30	468,70	171,80	56,04	36,07	0,00	5,97	0,00	0,00

Sample	SiO <sub>2</sub>	Fe	Li	Mn	Zn	Ni	Pb	Cu	Classificazione
1S	9,04	0,00	0,17	0,03	0,00	0,00	0,10	0,00	Solfato-Alcalino-Terrosa
16S	12,58	0,24	0,02	0,05	0,15	0,00	0,10	0,04	Cloruro-Alcalino-Terrosa
26S	0,99	0,37	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
31S	5,68	2,61	0,18	0,19	0,02	0,00	0,10	0,02	Cloruro-Alcalina
34S	5,27	0,79	0,25	0,04	0,05	0,00	0,10	0,01	Cloruro-Alcalina
36S/37S	15,82	0,02	0,01	0,05	0,11	0,00	0,00	0,00	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
39S	10,95	0,06	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	Cloruro-Alcalino-Terrosa
41S	9,33	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,10	0,02	Cloruro-Alcalino-Terrosa
43S	10,55	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalino-Terrosa
48S	8,52	0,61	0,02	0,47	0,02	0,06	0,10	0,02	Cloruro-Alcalina
56S	14,61	0,73	0,01	0,04	0,01	0,00	0,10	0,00	Cloruro-Alcalino-Terrosa
58S	9,33	0,04	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,03	Cloruro-Alcalino-Terrosa
69S	9,33	0,07	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
71S	7,71	0,03	0,00	0,04	0,04	0,00	0,10	0,01	Cloruro-Alcalino-Terrosa
72S	10,53	0,29	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,03	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
73S	3,25	0,02	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
75S	11,36	0,15	0,03	0,07	0,01	0,03	0,10	0,02	Cloruro-Alcalino-Terrosa
79S	8,30	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalino-Terrosa
81S	6,90	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
89S	5,27	0,01	0,00	0,04	0,03	0,03	0,00	0,02	Solfato-Alcalino-Terrosa
90S	8,93	0,00	0,02	0,06	0,01	0,08	0,00	0,03	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
98S	30,72	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
101S	10,14	0,00	0,02	0,05	0,01	0,10	0,00	0,03	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
120S	9,41	0,24	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	Cloruro-Alcalino-Terrosa
125S	16,81	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
128S	13,36	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
139S	48,13	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	Cloruro-Alcalino-Terrosa
143S	11,77	0,01	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
165S	41,31	0,02	0,06	0,00	0,11	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
167S	54,25	0,07	0,03	0,00	0,21	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
174S	47,66	0,02	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	Cloruro-Alcalina
178S	42,65	0,03	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
192S	50,46	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	Cloruro-Alcalina
197S	53,06	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	Cloruro-Alcalino-Terrosa

Sample	SiO <sub>2</sub>	Fe	Li	Mn	Zn	Ni	Pb	Cu	Classificazione
200S	1,76	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	Cloruro-Alcalina
205S	77,27	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	Cloruro-Alcalina
18C	22,93	0,06	0,04	0,02	0,03	0,00	0,10	0,03	Cloruro-Alcalino-Terrosa
21C	29,26	0,02	0,07	0,03	0,00	0,06	0,10	0,03	Cloruro-Alcalina
29C	12,79	1,12	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	Cloruro-Alcalino-Terrosa
32C	18,26	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,10	0,01	Solfato-Alcalino-Terrosa
47C	13,79	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
63C	6,90	0,18	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
66C	6,90	0,47	0,00	0,03	0,02	0,05	0,10	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
77C	14,50	0,05	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
81C	11,84	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
93C	10,14	0,25	0,03	0,21	0,01	0,00	0,00	0,03	Cloruro-Alcalina
107C	61,59	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
115C	24,13	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalina
121C	12,58	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
131C	7,56	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
145C	56,91	0,00	0,04	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	Cloruro-Alcalina
S11	82,36	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	Cloruro-Alcalina
S16	84,39	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01	Cloruro-Alcalina
S109	10,95	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa
S124	13,93	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	Bicarbonato-Alcalino-Terrosa

## **CAPITOLO 11 CARATTERIZZAZIONE DEGLI ACQUIFERI**

### **11.1 Rapporti tra tettonica e geometrie degli acquiferi**

L'acquifero più importante della Nurra è costituito dalla successione carbonatica mesozoica. Il suo spessore non è ben conosciuto. Tuttavia, a meno di elisioni erosive recenti e antiche, dovrebbe raggiungere i 1000 m di spessore. Il serbatoio principale deve essere ricondotto alle zone in cui l'assetto e la storia strutturale della regione ha consentito la conservazione del massimo spessore di questa successione.

Le vulcaniti che affiorano con grandi spessori nella parte meridionale dell'area poggiano anch'esse sui carbonati mesozoici. La profondità non è conosciuta, e sicuramente verso sud deve essere molto elevata. Lo spessore massimo esposto è di 720 m a Pedra Etori; considerando che tutta la successione vulcanica costituita da flussi piroclastici sovrapposti immerge verso NE, non si può escludere che lo spessore delle vulcaniti superi il chilometro di spessore quantomeno nei limiti sud orientali dell'area di studio.

I due sistemi, carbonatico e vulcanico, hanno potenzialità di immagazzinamento molto diverse. Soprattutto le vulcaniti mostrano un maggior numero di acquiferi sovrapposti, anche se l'immersione verso NE porta le piezometriche ad abbassarsi notevolmente in questa direzione e, verosimilmente, a far confluire i flussi nel sistema dei carbonati mesozoici.

Nel distretto della Nurra, in particolare nelle formazioni vulcaniche, sono riconosciute delle manifestazioni idrotermali, riferibili al Miocene Superiore, che possono essere descritte come prodotti di interazione acqua-roccia.

Queste hanno generato estesi depositi di bentonite, zeolite e caolinite, che attualmente vengono coltivati. Come si descriverà in dettaglio nel capitolo dedicato alla geochimica, tali fenomeni influenzano le caratteristiche chimiche delle acque sotterranee in alcune zone dell'acquifero delle vulcaniti.

### **11.2 Unità e complessi idrogeologici. Il bacino idrogeologico**

Da un punto di vista idrogeologico le formazioni litostratigrafiche, già descritte nel Capitolo 4 sono state raggruppate in 5 Unità Idrogeologiche principali che a loro volta sono state suddivise in 7 Complessi Idrogeologici o acquiferi.

Agli acquiferi individuati sono stati attribuiti i valori di permeabilità desunti dalla letteratura scientifica e verificati con prove di pompaggio in regime transitorio.

A parte il modesto acquifero ospitato nei sedimenti quaternari, che possiede una permeabilità per porosità, gli altri sono caratterizzati da una permeabilità secondaria per fessurazione e per carsismo, che in alcuni casi coesistono.

Come già descritto, nell'area esistono anche dei circuiti sotterranei estremamente condizionati da strutture tettoniche, le quali talvolta costituiscono delle zone preferenziali di drenaggio e talaltra costituiscono dei limiti laterali stagni.

Vengono di seguito elencate le Unità ed i Complessi Idrogeologici riconosciuti.

### 11.2.1 Unità idrogeologica del Paleozoico

Cme (P) – *Complesso metamorfico (Acquifero del Paleozoico):*

$$K=1 \times 10^{-11}$$

L'infiltrazione nelle metamorfiti deve ritenersi molto modesta ed i flussi, generalmente sub superficiali, ospitati in esse, a causa dell'immersione assiale delle strutture varisiche verso est, tendono anch'essi a confluire nel sistema carbonatico.

### 11.2.2 Unità idrogeologica del Mesozoico

Tale Unità è stata suddivisa nei seguenti complessi idrogeologici:

Csc (T) – *Complesso sedimentario composito del Trias (Acquifero del Trias):*

$$K=1 \times 10^{-6}$$

Cc (G) – *Complesso calcareo del Giura (Acquifero del Giura):*

$$K=1 \times 10^{-4}$$

Csm (C) – *Complesso calcareo marnoso del Cretaceo (Acquifero del Cretaceo):*

$$K=1 \times 10^{-5}$$

La copertura carbonatica mesozoica è stata deformata a più riprese da fasi tettoniche che hanno comportato:

- emersione ed erosione che ne hanno condizionato gli spessori in aree differenti;
- la generazione di geometrie e strutture che possano aver consentito la formazione di falde sospese, la conservazione degli spessori primari e l'ispessimento di questi dovuto a raccorciamenti;
- la formazione di diaframmi impermeabili al flusso laterale costituiti da faglie.

D'altra parte faglie e bassi strutturali (graben e fosse tettoniche di modesta estensione) possono aver avuto, al contrario, il ruolo di dreni. Inoltre le *damage zones* legate alle principali faglie trascorrenti possano essere sede di circolazione profonda che ha dato luogo a circuiti termo-minerali come ad esempio a S'Abbalughente a Romana, ai limiti sud-orientali dell'area, e del Rio Sette Ortas dove un circuito idrotermale è stato intercettato dal collegamento Temo-Cuga.

Lo spessore dei carbonati diminuisce verso NW a causa di un primo evento erosivo legato alla tettonica mesocretacica, che ha generato un alto strutturale in questa direzione. Infatti a Sa Campana un lembo di Cretaceo superiore poggia sulle dolomie dell'Oxfordiano.

La tettonica plicativa ad assi N 50 ha generato un'ampia sinforme tra Sa Ginestra e Tuttubella dove si conserva gran parte del Cretaceo superiore. In quest'area quindi gli spessori della successione carbonatica sono molto elevati. Un'altra importante sinforme si conserva tra Brunestica e Fertilia bordata verso sud dalla faglia di Su Zumaru Mamuntanas. È questa l'area in cui lo spessore del sistema carbonatico è da ritenersi massimo e quindi massima è la capacità del serbatoio.

In definitiva il sistema carbonatico può essere suddiviso nelle seguenti zone:

- un'area nord occidentale costituita da terreni del Giura ripiegati da una coppia anticlinale (Cugiareddu) – sinclinale (Monte Alvaro) con immersioni assiali a NE e che quindi drenano i flussi verso Porto Torres al di sotto dei carbonati miocenici;

- un'area di basso strutturale costituita dalle sinformi di Monte Nurra–Sa Ginestra e dalla sinclinale Olmedo–Calich, che costituiscono un basso strutturale dove si concentra la maggior possibilità di immagazzinamento;
- un graben (bacino di pull-apart) interposto tra queste due sinclinali riempito da successioni clastiche del Miocene superiore e vulcaniti, che può rappresentare una zona di accumulo;
- un'area a sud della faglia di Su Zumbaru dove il sistema carbonatico diminuisce di spessore per erosione (al Cretaceo medio?) ed è sepolto sotto modesti spessori di vulcaniti (area tra Surigheddu e Valverde), dove lo spessore degli acquiferi e la capacità di immagazzinamento è limitata.

### 11.2.3 Unità idrogeologica delle vulcaniti terziarie

Cpi (OM) – *Complesso piroclastico (Acquifero dell'Oligo-Miocene)*:

$$K=1 \times 10^{-8}$$

Le vulcaniti terziarie sono costituite essenzialmente da una successione di flussi piroclastici (ignimbriti) con sottili intercalazioni di *surge* e *pell*. L'immersione generale delle coltri ignimbritiche è verso i quadranti nord orientali. Tale giacitura non condiziona l'andamento generale del deflusso sotterraneo, come evidenziato dalle isopieze relative a questo sistema.

L'andamento delle isopieze sembra seguire il massimo gradiente topografico che ha orientazione NNW e lungo il quale si realizza il passaggio in affioramento dalle vulcaniti al sottostante sistema carbonatico mesozoico.

Localmente, in corrispondenza di faglie, in particolare nel settore nord-orientale di questo sistema (tra Putifigari e il Cuga), possono essere presenti circuiti preferenziali con elevata portata.

### 11.2.4 Unità idrogeologica del Miocene

Cmc (Mc) – *Complesso marnoso-calcareo (Acquifero del Miocene)*:

$$K=1 \times 10^{-8}$$

I depositi marini miocenici affiorano ai limiti orientali dell'area di studio. Nello studio, questo acquifero è stato tenuto in considerazione, in quanto, nel suo limite laterale occidentale, il bacino idrogeologico lo taglia parzialmente. Questo determina un limitato drenaggio delle acque circolanti nell'acquifero del Miocene verso l'area d'indagine (tavola 2).

Comunque, per la nostra area, tale acquifero non costituisce un acquifero importante, mentre è da considerarsi strategico per la zona del sassarese, dove raggiunge spessori importanti.

### 11.2.5 Unità idrogeologica del Quaternario

Csr (Q) - *Complesso sedimentario recente (Acquifero del Quaternario)*:

$$K=1 \times 10^{-6} \leq K \leq 1 \times 10^{-4}$$

I depositi travertinosi e alluvionali, con le loro notevoli permeabilità, consentono ai flussi di passare al di sotto nel sistema carbonatico.

Laddove alla base di questi depositi si trovino paleosuoli o livelli ricchi di argille, possono raccogliersi falde non molto produttive che alimentano, laddove incisioni fluviali mettono a nudo il contatto stratigrafico che rappresenta il letto impermeabile di queste falde, sorgenti di contatto (es. Fontana di Riu Su Mattone). Queste falde, molto superficiali, in virtù del modesto spessore degli acquiferi, sono spesso sfruttate con pozzi scavati.

Le informazioni di carattere geologico-strutturale, unitamente alle informazioni idrogeologiche ed idrochimiche hanno permesso di ricostruire il modello concettuale degli acquiferi presenti nell'area d'indagine. L'insieme di tali elaborazioni ha, inoltre, consentito di ricostruire il bacino idrogeologico, che in alcune zone si discosta da quello idrografico superficiale. Il bacino idrogeologico, rappresentato in Allegato 1 e 2, è condizionato nella parte settentrionale, meridionale e parzialmente occidentale da strutture (anticlinali e faglie) e nella porzione orientale da spartiacque sotterranei individuati dalle piezometriche. In particolare, nella zona a sud di Alghero, il bacino idrogeologico si estende fino alla linea di costa, mentre a ovest coincide con il bacino idrografico, ad eccezione della zona di Monte Doglia, dove il suo andamento è condizionato dalla presenza di una faglia con direzione N-S. Nella parte nord, dall'analisi delle curve isopiezometriche, si è riconosciuto uno spartiacque sotterraneo: questo segue in gran parte l'asse dell'anticlinale che presenta al nucleo il complesso sedimentario del Trias. Ad est il bacino si estende verso il sassarese: questo andamento è dovuto alla presenza di un pull-apart, che comporta il richiamo di flussi idrici sotterranei dall'unità idrogeologica del Miocene. A sud il limite del bacino idrogeologico è determinato da una faglia, a carattere regionale, che si estende in direzione NE-SW.

### **11.3 Isopiezometriche degli acquiferi**

Come è stato già descritto, per l'intera durata del Progetto sono state effettuate delle campagne di misura al fine di monitorare le acque sotterranee.

I dati relativi alle quote piezometriche sono stati utilizzati per l'elaborazione delle isopiezometriche. In generale, si può affermare che non si evidenziano sostanziali modifiche sull'andamento generale delle linee preferenziali di flusso e sulle cadenti piezometriche. In Allegato 2 sono riportate le elaborazioni relative al monitoraggio eseguito nel dicembre 2004.

### **11.4 Regime, classificazione, curve di svuotamento e di esaurimento delle sorgenti**

Al fine di stimare le potenzialità degli acquiferi, in termini di volumi d'acqua immagazzinata, sono state periodicamente monitorate le portate di 23 sorgenti, di cui 4 (S1, S3, S109 e S118) sono appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso marnoso-calcareo (cmc) del Miocene (Mc); 15 (S6, S11, S16, S17, S22, S25, S26, S27, S29, S31, S36, S46, S49, S50 e S112) appartengono all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico (cpi) dell'Oligo-Miocene (OM); 3 appartengono (S123, S124, S125) all'acquifero ospitato nel complesso sedimentario recente (csr) del Quaternario (Q) e 1 (S126) all'acquifero ospitato nel complesso sedimentario composito (csc) del Trias (T). In tabella 11.1 sono riportate le sorgenti monitorate.

**Tabella 11.1 - Sorgenti della rete di monitoraggio**

<b>ID RIADE</b>	<b>UTM EST</b>	<b>UTM NORD</b>	<b>Quota (m)</b>	<b>Captazione</b>	<b>Comune provincia</b>	<b>Località</b>	<b>Unità Idrogeologica</b>	<b>Uso</b>
S1	458590	4496232	121	captata	Ittiri (SS)	Cantoniera Seredda	Cmc (Mc)	civile
S3	463948	4492522	390	captata	Ittiri (SS)	Giundali	Cmc (Mc)	civile
S6	452291	4485340	337	captata	Villanova (SS)	Monte Pittigunni	Cpi (OM)	zootecnico
S11	448706	4489210	78	captata	Alghero (SS)	Valverde	Cpi (OM)	zootecnico
S16	448616	4483775	404	captata	Villanova (SS)	Pianu Cubaddu	Cpi (OM)	civile zootecnico
S17	449449	4484135	369	captata	Villanova (SS)	Sa Conca Gaddina	Cpi (OM)	zootecnico
S22	451535	4490253	136	captata	Putifigari (SS)	Sa Bala E Sos Laccos	Cpi (OM)	zootecnico
S25	451926	4489589	205	captata	Putifigari (SS)	Sos Coroneddos	Cpi (OM)	civile
S26	450898	4490864	182	captata	Putifigari (SS)	Serra Leltincana	Cpi (OM)	civile
S27	455508	4488660	288	captata	Putifigari (SS)	Seddonai	Cpi (OM)	irriguo
S29	455582	4488427	285	captata	Putifigari (SS)	Seddonai	Cpi (OM)	civile
S31	454652	4490118	251	captata	Putifigari (SS)	Sa Marchesa	Cpi (OM)	civile
S36	454031	4488859	351	captata	Putifigari (SS)	Pagliaresu	Cpi (OM)	civile
S46	454323	4494374	174	captata	Uri (SS)	S'ena Su Chercu	Cpi (OM)	zootecnico
S49	449095	4492077	52	captata	Alghero (SS)	Caraf	Cpi (OM)	irriguo
S50	447460	4491511	53	captata	Alghero (SS)	Monte Rizzu	Cpi (OM)	zootecnico
S109	462145	4494545	380	captata	Ittiri (SS)	Funtana Iventi	Cmc (Mc)	zootecnico
S112	459012	4490486	362	captata	Ittiri (SS)	Rodadu	Cpi (OM)	zootecnico
S118	462768	4493589	363	captata	Ittiri (SS)	Caneddu	Cmc (Mc)	irriguo
S123	446143	4501128	24	captata	Sassari (SS)	Su Mattone	Csr (Q)	civile
S124	446398	4500957	23	captata	Olmedo (SS)	Pischina De Sa Uda	Csr (Q)	civile
S125	446808	4500980	42	captata	Olmedo (SS)	Pischina De Sa Uda	Csr (Q)	zootecnico
S126	439873	4507940	72	captata	Olmedo (SS)	Abbaia	Csc (T)	zootecnico

Il monitoraggio è stato realizzato a partire dal febbraio 2004, effettuando rilievi periodici con cadenze quindicinali per tutto il periodo di esaurimento e cadenze mensili alla ripresa delle precipitazioni durante le fasi di ricarica. Ciascuna misura è consistita nel rilevamento della portata della sorgente e nella misura speditiva di pH, conducibilità elettrica e temperatura dell'acqua.

La misura delle portate è stata effettuata con metodo volumetrico, utilizzando un cronometro ed un contenitore graduato, considerando due volumi differenti, 6 ed 8 litri, per il rilevamento delle portate più elevate, ed un beker graduato (500 ml) per le portate più piccole. Le misure sono state effettuate sempre con la medesima modalità di esecuzione con un numero di ripetizioni da 3 a 10: la portata è stata calcolata come media aritmetica delle misure eseguite.

Le misure speditive *in situ* di conducibilità elettrica, temperatura e pH, sono state effettuate attraverso uno strumento portatile Water Proof – Hanna instruments (mod. HI 98130). Gli strumenti, prima del loro utilizzo, sono stati opportunamente tarati utilizzando delle soluzioni a pH e conducibilità standard (pH 4,1 e 7 CE a 25 °C 12,88 mS/cm).

## 11.5 Interpretazione dei risultati

I dati rilevati nel monitoraggio sono stati utilizzati per elaborare le curve di svuotamento e di esaurimento, il variogramma e le classificazioni secondo Meinzer e secondo Rv % di ciascuna sorgente.

### 11.5.1 Studio delle curve di svuotamento e delle curve di esaurimento

La curva di svuotamento può essere analizzata ed interpretata, nella sua fase di esaurimento, mediante l'ausilio di modelli capaci di simulare e rappresentare l'idrogramma sorgivo di svuotamento.

Il modello matematico qui utilizzato è quello esponenziale di Maillet [1911]. La curva di esaurimento è una retta costruita riportando in ascissa normale i tempi ed in ordinata logaritmica le portate: essa esprime la velocità di svuotamento dell'acquifero, secondo la formula

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

dove :

$Q_t$  = portata al tempo  $t$ , ossia alla fine del periodo di esaurimento espressa in l/s;

$e$  = numero di Nepero;

$t$  = durata del periodo di esaurimento espressa in giorni;

$\alpha$  = coefficiente di esaurimento ( $d^{-1}$ ) o pendenza della retta;

$Q_0$  = portata al tempo 0, ossia all'inizio del periodo di esaurimento espressa in l/s.

Il metodo di Maillet è un modello matematico di tipo esponenziale che deve essere risolto innanzitutto per  $\alpha$ .

$$\ln Q_t = \ln(Q_0 e^{-\alpha t})$$

$$\alpha t = \ln Q_0 - \ln Q_t$$

$$\alpha = \ln(Q_0 / Q_t) / t$$

L'integrazione da 0 ad  $\infty$  di  $Q_t$  consente di calcolare il volume  $W_0$ , riserva regolatrice o volume di acqua sotterranea immagazzinato nel serbatoio che alimenta la sorgente al tempo  $t = 0$ , corrispondente all'inizio del periodo di esaurimento. Dalla scomposizione del diagramma di efflusso sono noti la portata  $Q_0$ , all'inizio della fase di esaurimento, e la durata  $t$  della fase di esaurimento. Noti questi parametri è possibile stimare le riserve.

*Immagazzinamento dinamico  $W_0$* : rappresenta il volume d'acqua immagazzinato nell'acquifero all'inizio del periodo di esaurimento

$$W_0 = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

$$W_0 = Q_0 \cdot 86.400 / \alpha \quad \text{espresso in m}^3$$

*Riserva dinamica  $W_d$* : rappresenta il volume d'acqua immagazzinato nell'acquifero nel corso di una ricarica annuale

$$W_d = Q_0 \cdot 86.400 / \alpha e^{\alpha t} \quad \text{espresso in m}^3$$

Il fattore moltiplicativo 86400 ha lo scopo di omogeneizzare l'espressione e rappresenta il numero di secondi contenuti in un giorno. Il coefficiente di esaurimento  $\alpha$ , precedentemente calcolato risolvendo l'espressione di Maillet, rappresenta, in termini analitici, la pendenza della curva di esaurimento, ovvero in senso idrodinamico, la riduzione della portata nell'unità di tempo nella fase di esaurimento.

Nel diagramma di esaurimento i valori di portata sono riferiti in campo semilogaritmico, mentre la linea di tendenza è la funzione di tipo esponenziale del modello di Maillet (curva di esaurimento), interpolazione dei valori di portata rilevati in campagna.

Altri interessanti fattori idrogeologici derivanti dall'analisi delle curve di svuotamento sono elencati di seguito.

*Capacità di svuotamento annuo del sistema  $\Delta W$* : rappresenta il volume d'acqua sotterranea defluito dalla sorgente nell'intervallo di tempo  $t-t_0$  (fase di esaurimento). Esso può offrire un'importante informazione in previsione di una condizione siccitosa prolungata e assume un notevole significato se viene riferito all'anno idrogeologico medio

$$\Delta W = \int_0^t Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

$$\Delta W = W_0 - W_d \quad \text{espresso in m}^3$$

*Tasso di rinnovamento medio  $T_{rin}$* : rappresenta, in termini percentuali, i volumi di riserva regolatrice rinnovati durante l'anno idrogeologico medio (definito tra i 2 minimi assoluti consecutivi) per effetto dell'infiltrazione efficace

$$T_{rin} = (\Delta W / W_0) * 100 \quad \text{espresso in \%}$$

Se  $T_{rin}$  è prossimo al 100%, il volume della riserva regolatrice è trascurabile ed è nulla la capacità di autoregolazione del sistema; di contro, valori bassi di  $T_{rin}$  denotano la presenza di ingenti riserve regolatrici e una notevole capacità di compensazione, ossia una scarsa sensibilità del sistema a periodi anche lunghi di siccità.

*Tempo di rinnovamento  $t_{mr}$* , indica il tempo di permanenza delle acque di infiltrazione all'interno dell'acquifero, ossia il tempo necessario perché tutto il volume della risorsa sia rinnovato

$$T_{mr} = ( W_0 / \Delta W ) \quad \text{espresso in anni}$$

I valori di  $T_{rin}$  e  $t_{mr}$  hanno significato solo se vengono riferiti a valori medi annuali.

*Tempo di autosostentamento della portata  $DT_t$* , o *delay time*: fornisce l'intervallo di tempo, in giorni, nel quale il volume della riserva ancora presente nell'acquifero, potrebbe fornire una portata mediamente uguale a quella misurata alla fine dell'esaurimento, nell'ipotesi di cessazione di ogni ricarica attiva

$$DT_t = W_0 e^{-\alpha t} / Q_t \quad \text{espresso in giorni}$$

Di seguito vengono riportate le elaborazioni (diagrammi di efflusso, le curve di esaurimento e i fattori idrogeologici ottenuti applicando il modello di Maillet) eseguite per le sorgenti della rete di monitoraggio relative agli anni 2004 e 2005: le precipitazioni riportate nei diagrammi di efflusso sono i totali giornalieri di pioggia espressi in mm e sono relative alle stazioni di Olmedo e Putifigari. I dati pluviometrici sono stati forniti dal SAR.

Ai fini dell'applicazione del modello, la durata della fase di esaurimento è stata individuata dall'interpretazione grafica del diagramma di efflusso, assumendo come punto di inizio della fase di esaurimento l'inizio della fase di magra del regime sorgivo, individuabile dall'osservazione dell'elaborato grafico. La conclusione della fase di esaurimento è individuata nell'inizio della fase di ricarica: tale è contraddistinto, da una netta risalita del diagramma di efflusso.

L'andamento esponenziale dello svuotamento della sorgente, in alcuni casi, è disturbato da valori di portata che, per effetto di errori di misura, difetti della struttura di captazione e possibili influenze esterne sul sistema idrogeologico che alimenta la sorgente, si scostano in diversa misura dalla retta esponenziale di *best fitting*. In virtù di questo, le curve di esaurimento sono state costruite senza considerare, dove presenti, le misure considerate *non sicure*. Le portate di inizio e fine esaurimento, fondamentali sia per il calcolo del coefficiente di esaurimento, che dei volumi di immagazzinamento, sono state determinate in modo analitico risolvendo l'equazione della curva di esaurimento (tale equazione, determinata dal software utilizzato per la costruzione della curva di esaurimento, è rappresentata sull'elaborato grafico relativo alla fase di esaurimento). Tali portate, dunque, non rappresentano valori realmente misurati in campagna, ma valori di portata calcolati dalla retta rappresentativa.

Di seguito vengono riportati, relativamente alle sorgenti monitorate, gli idrogrammi, le curve di esaurimento relative al 2004-2005 e le tabelle con i calcoli.

Sorgente S1 (Cantoniera Sredda, Ittiri)

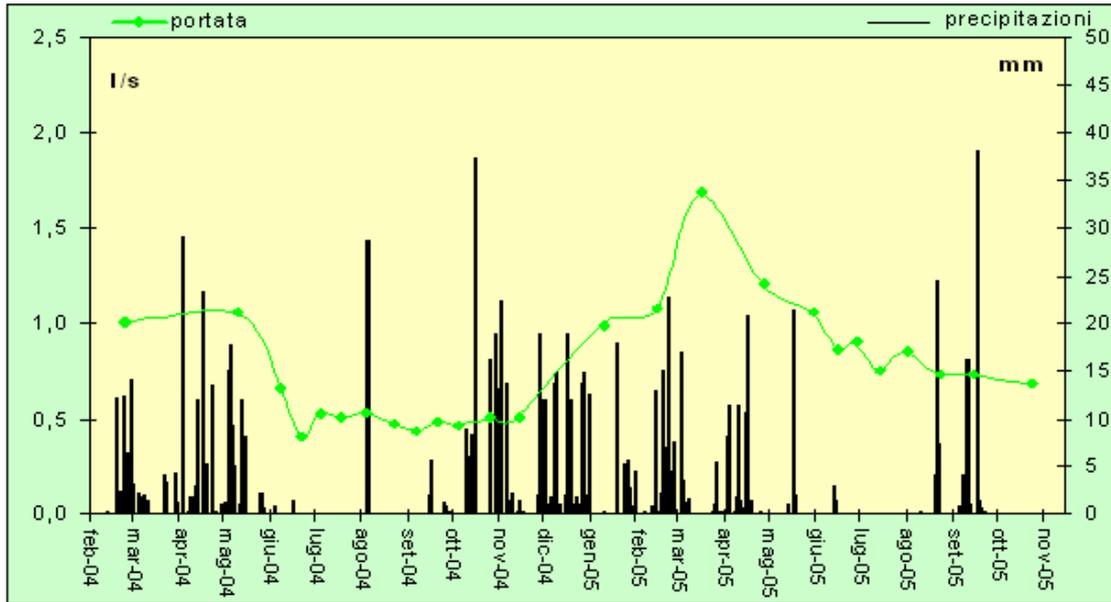


Figura 11.1 - Diagramma di efflusso sorgente S1; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

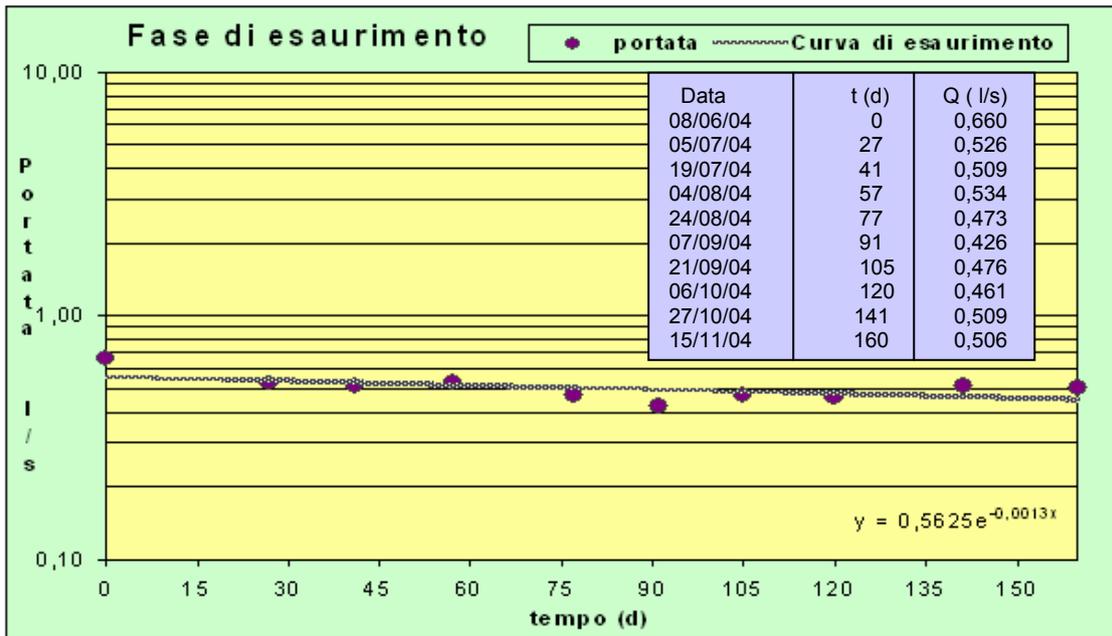
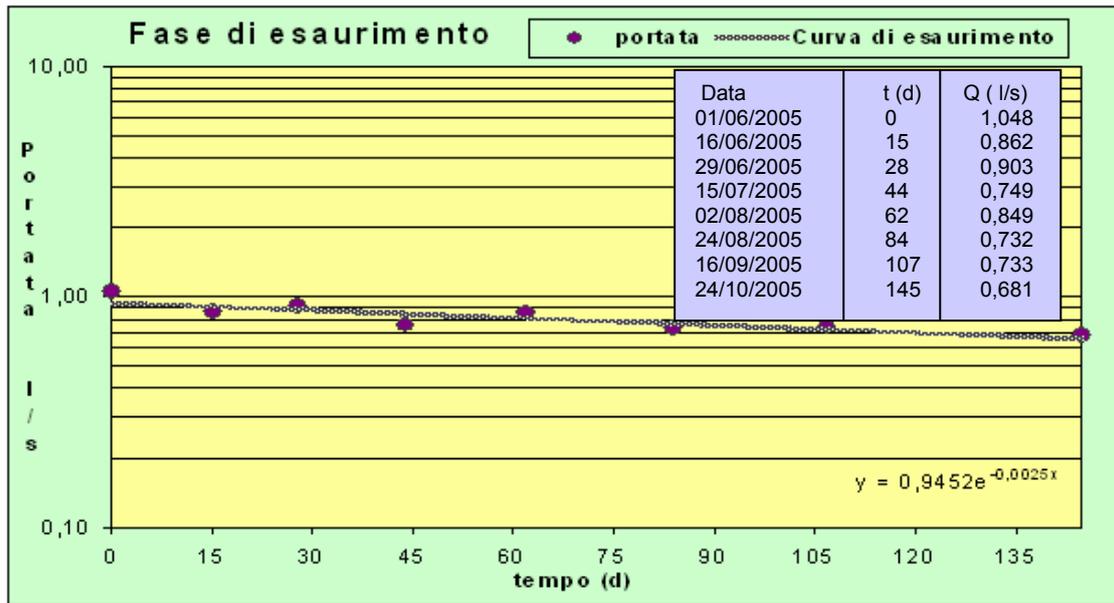


Figura 11.2 - Curva di esaurimento sorgente S1 fase 08/06-15/11/2004



**Figura 11.3 - Curva di esaurimento fase 01/06-24/10/2005**

**Tabella 11.2 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio delle curve di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S1 (Cantoniera Seredda, Ittiri)</b>			
<b>fase 08/06-15/11 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	a =	0,001300006	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	160	d
Qo calcolato	Qo =	0,563	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,457	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	37384,435	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	30363,829	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	ΔW =	7020,607	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	769,23	d
<b>fase 01/06-24/10 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	α =	0,002500001	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	145	d
Qo calcolato	Qo =	0,945	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,658	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	32666,096	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	22733,398	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	ΔW =	9932,698	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	400,00	d
<b>fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,426	l/sec
portata massima assoluta	Qmax =	1,686	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed =	0,762	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	165,321	%
capacità di svuotamento media	ΔW =	8476,652	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	35025,266	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	rin =	24,20	%
tempo di rinnovamento	trin =	4,13	anno

Sorgente S3 (Funtana Giundali, Ittiri)

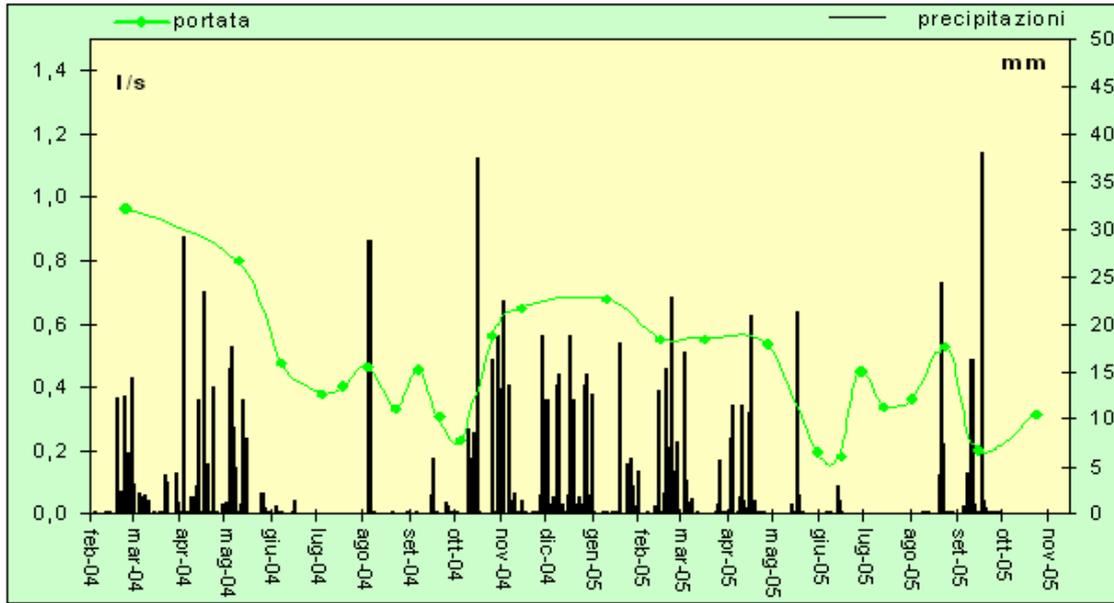


Figura 11.4 - Diagramma di efflusso sorgente S3; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

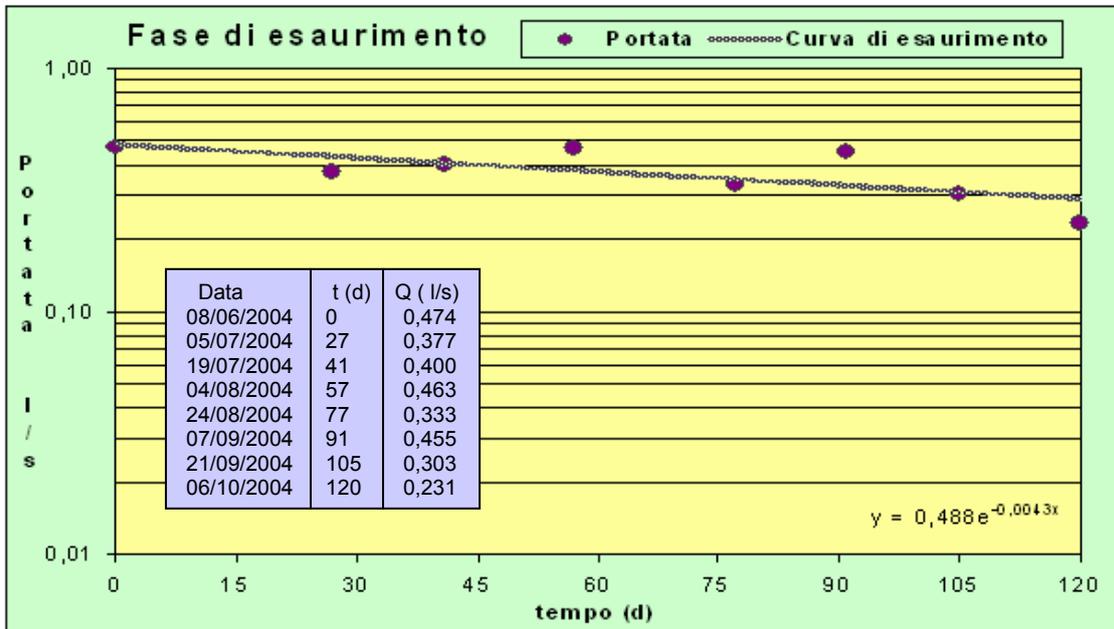
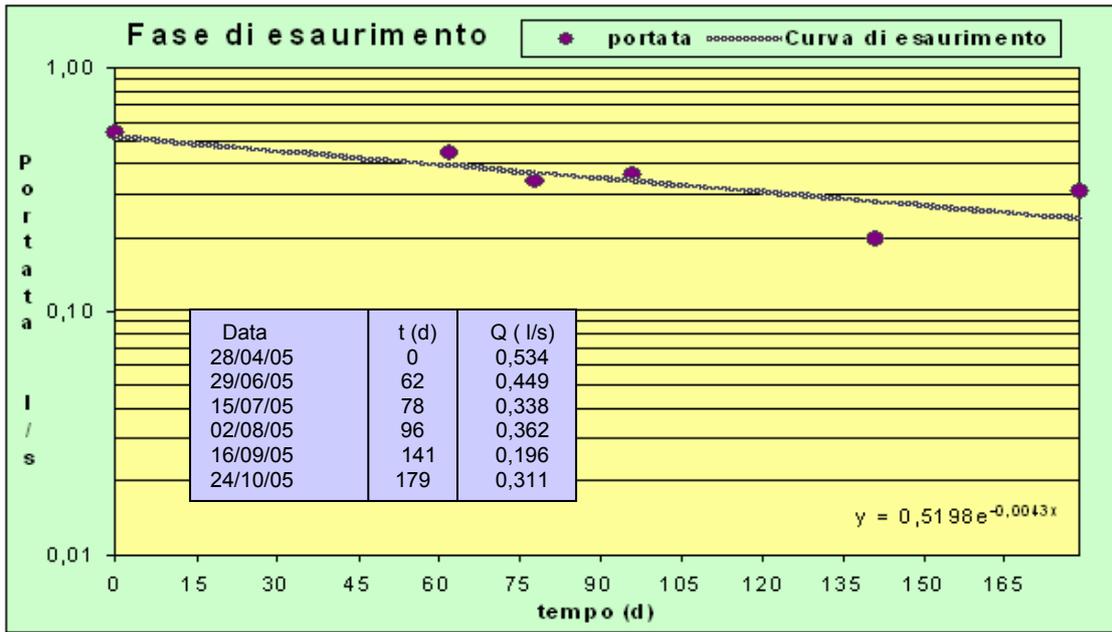


Figura 11.5 - Curva di esaurimento sorgente S3 fase 08/06-06/10/2004



**Figura 11.6 - Curva di esaurimento sorgente S3 fase 28/04-24/10/2005**

**Tabella 11.3 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S3 (Funtana Giundali, Ittiri)</b>			
<b>fase 08/06-06/10 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,004300253	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t = 120	d	
Qo calcolato	Qo =	0,488	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,291	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	9804,818	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	5852,331	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	3952,487	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	232,54	d
<b>fase 28/04-24/10 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,004300009	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	179	d
Qo calcolato	Qo =	0,520	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,241	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	10444,331	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	4837,279	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	5607,051	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	232,56	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,180	l/sec
portata massima assoluta	Qmax =	0,959	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed =	0,459	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	169,878	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W =$	4779,769	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	10124,574	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin =	47,21	%
tempo di rinnovamento	trin =	2,12	anno

Sorgente S6 (Monte Pittigunni, Villanova Monteleone)

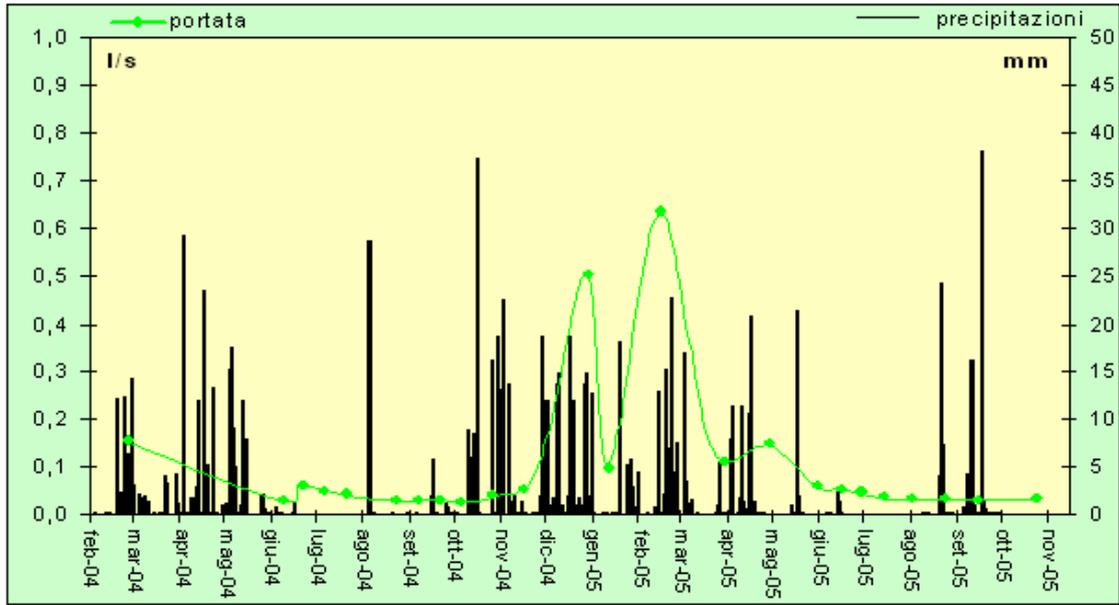


Figura 11.7 - Diagramma di efflusso sorgente S6; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

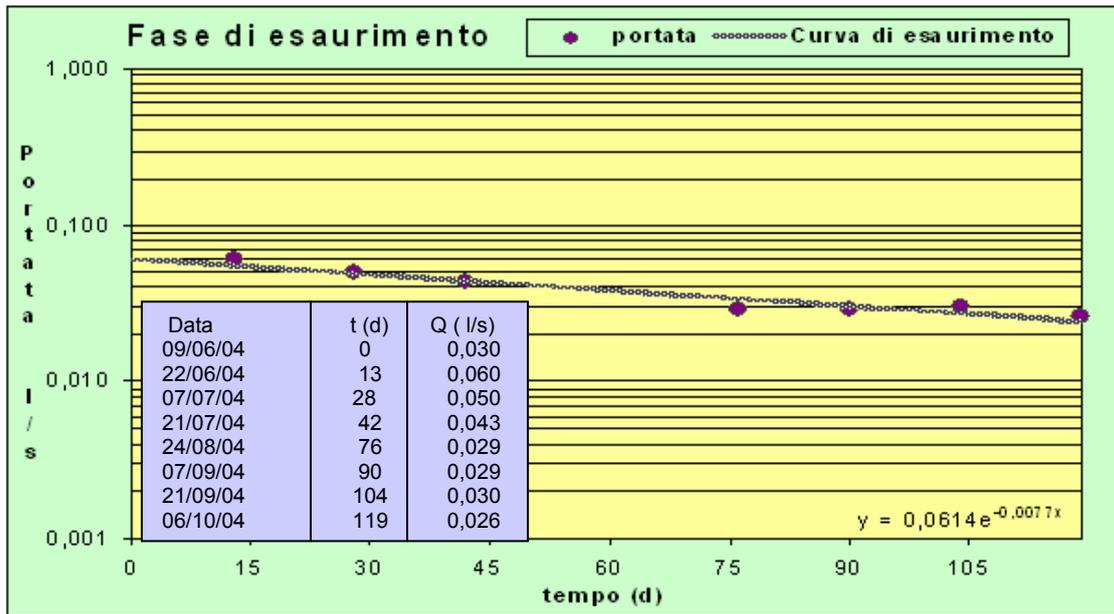


Figura 11.8 - Curva di esaurimento sorgente S6 fase 09/06-06/10/2004

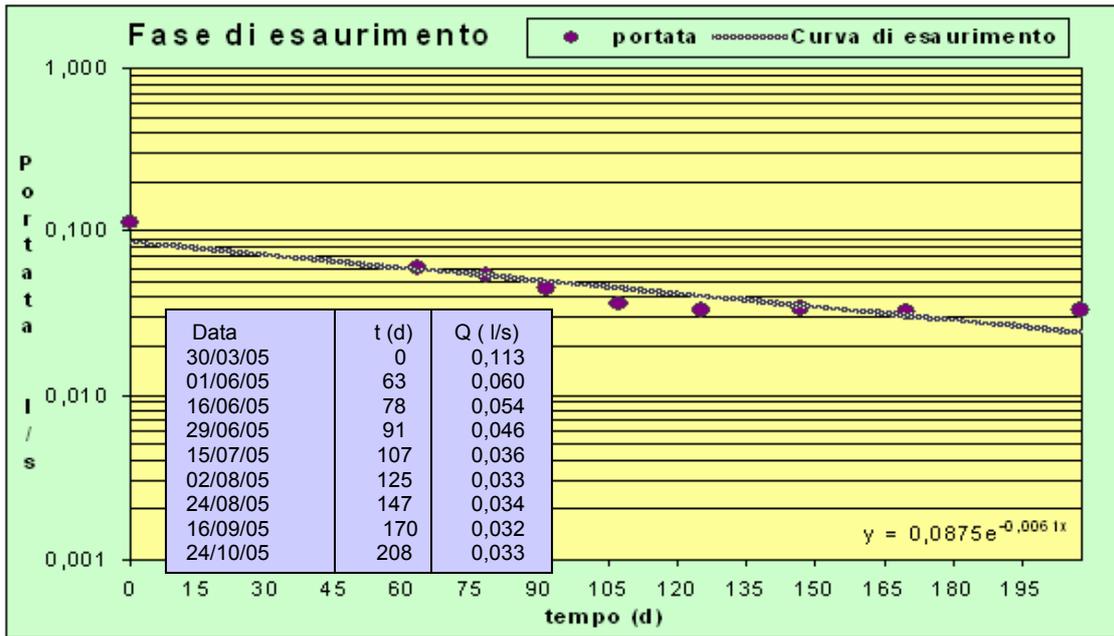


Figura 11.9 - Curva di esaurimento sorgente S6 fase 30/03-24/10/2005

**Tabella 11.4 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S6 (Monte Pittigunni, Villanova Monteleone)</b>		
<b>fase 09/06-06/10 2004</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,007700025$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 119$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,061$	l/sec
Q t calcolato	$Q_t = 0,025$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 688,954$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 275,576$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 413,377$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DT_t = 129,87$	d
<b>fase 30/03-24/10 2005</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,0061$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 208$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,088$	l/sec
Q t calcolato	$Q_t = 0,025$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 1239,344$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 348,462$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 890,882$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DT_t = 163,93$	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>		
portata minima assoluta	$Q_{min} = 0,026$	l/sec
portata massima assoluta	$Q_{max} = 0,636$	l/sec
portata media monitoraggio	$Q_{med} = 0,099$	l/sec
coefficiente di variabilità	$R_v = 644,322$	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W = 652,130$	$m^3$
Wo medio	$W_o = 964,149$	$m^3$
tasso di rinnovamento	$Tr_{in} = 67,64$	%
tempo di rinnovamento	$tr_{in} = 1,48$	anno

Sorgente S16 (Pianu Cubadu, Villanova Monteleone)

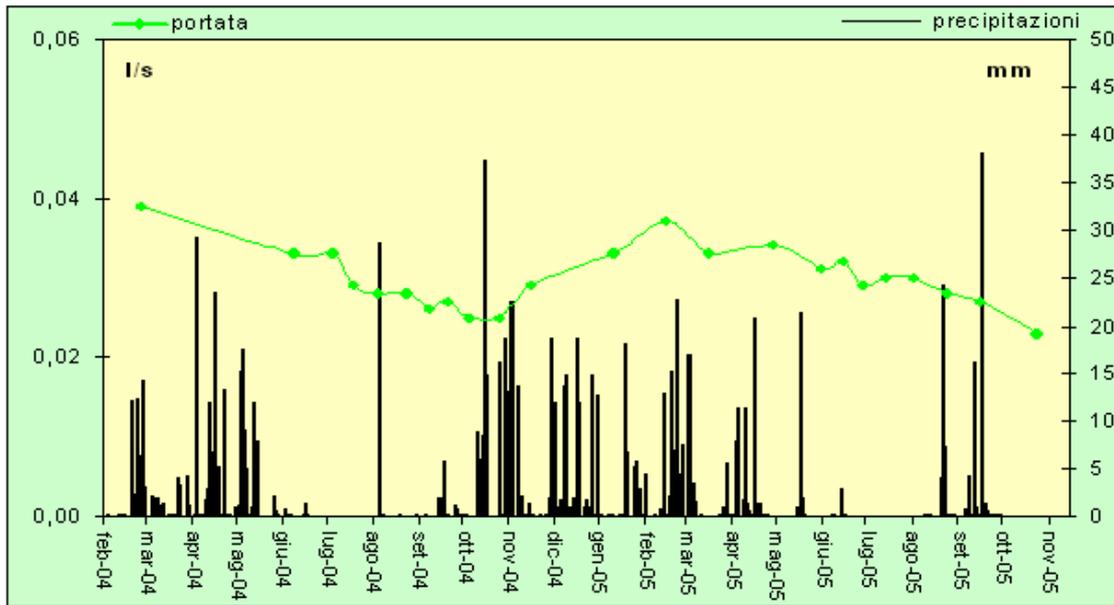


Figura 11.10 - Diagramma di efflusso sorgente S16; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

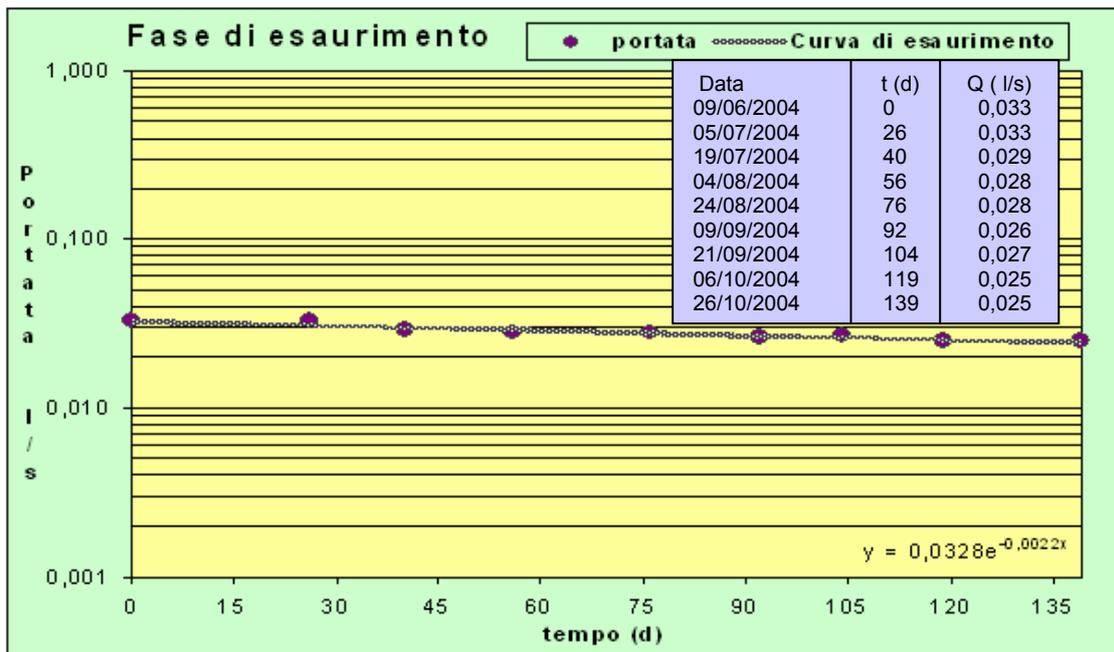


Figura 11.11 - Curva di esaurimento sorgente S16 fase 09/06-26/10/2004

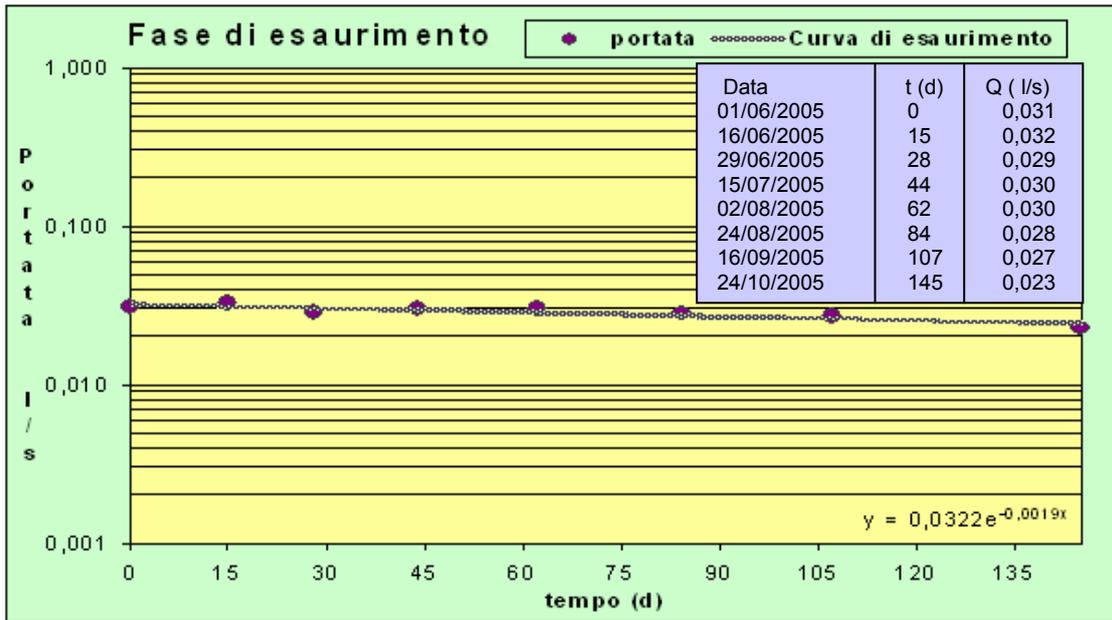


Figura 11.12 - Curva di esaurimento sorgente S16 fase 01/06-24/10/2005

**Tabella 11.5 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S16 (Pianu Cubadu, Villanova Monteleone)</b>		
<b>fase 09/06-26/10 2004</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,002200004$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 139$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,033$	l/sec
Q t calcolato	$Q_t = 0,024$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 1288,143$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 948,759$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 339,385$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DT_t = 454,54$	d
<b>fase 01/06-24/10 2005</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,001900027$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 145$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,032$	l/sec
Q t calcolato	$Q_t = 0,024$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 1464,232$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 1111,627$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 352,604$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DT_t = 526,31$	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>		
portata minima assoluta	$Q_{min} = 0,025$	l/sec
portata massima assoluta	$Q_{max} = 0,039$	l/sec
portata media monitoraggio	$Q_{med} = 0,030$	l/sec
coefficiente di variabilità	$R_v = 46,734$	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W = 345,995$	$m^3$
Wo medio	$W_o = 1376,188$	$m^3$
tasso di rinnovamento	$Tr_{in} = 25,14$	%
tempo di rinnovamento	$tr_{in} = 3,98$	anno

Sorgente S17 (Sa Conca Gaddina, Villanova Monteleone)

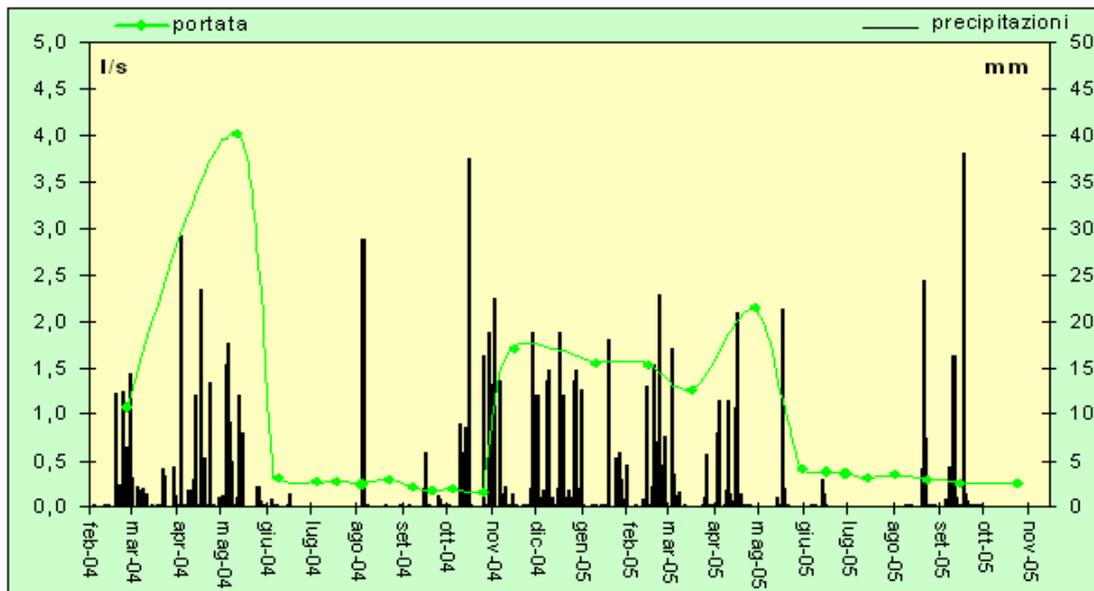


Figura 11.13 - Diagramma di efflusso sorgente S17; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

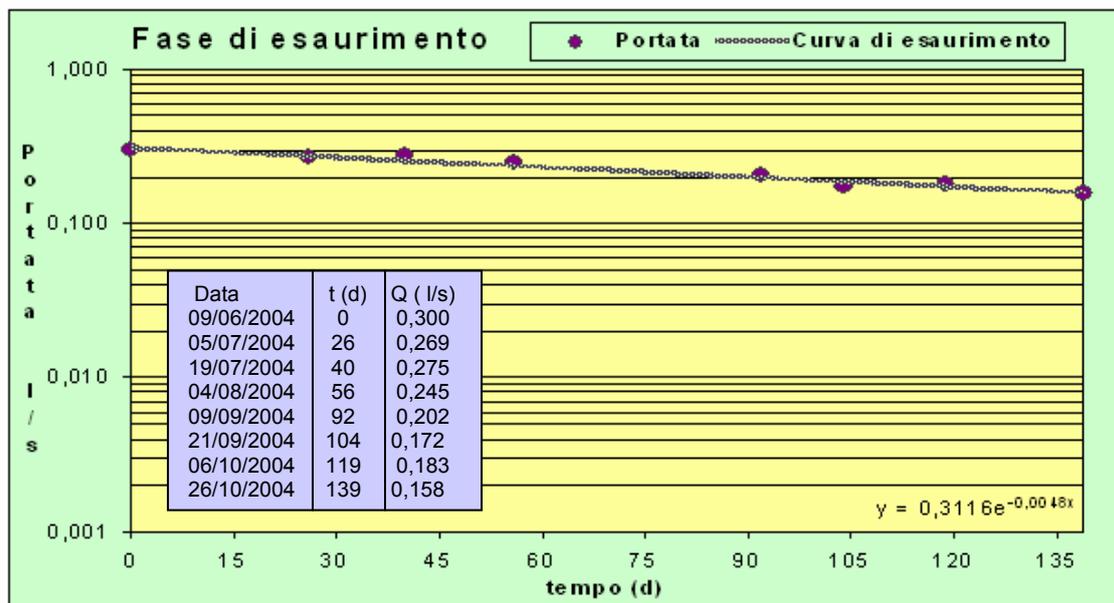
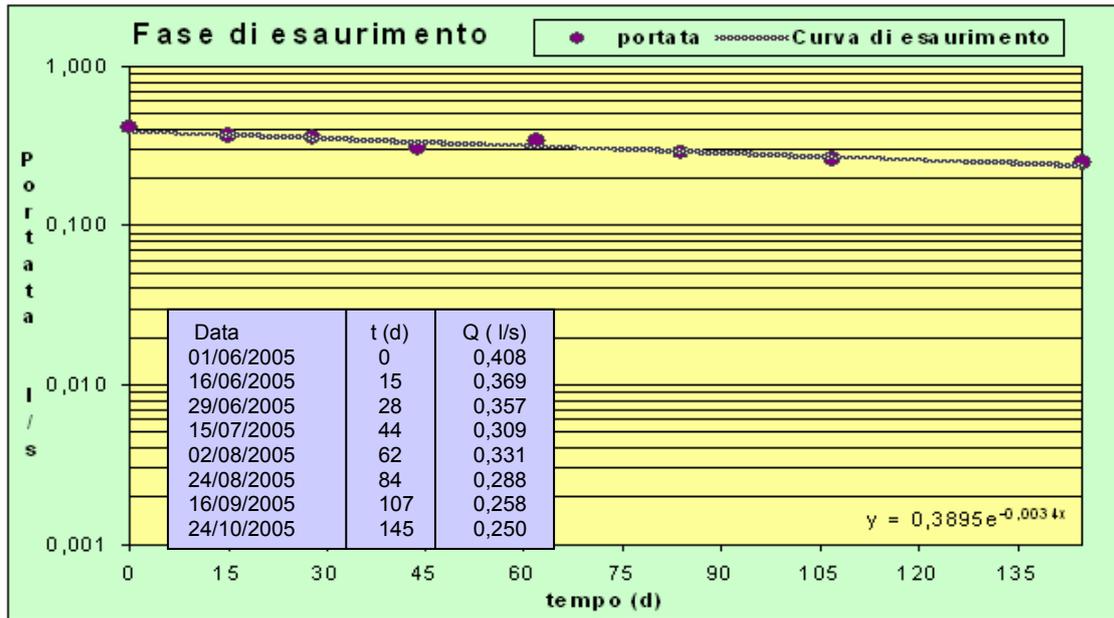


Figura 11.14 - Curva di esaurimento sorgente S17 fase 09/06-26/10/2004



**Figura 11.15 - Curva di esaurimento sorgente S17 fase 01/06-24/10/2005**

Per la sorgente S17 occorre precisare che, data l'impossibilità di accedere direttamente all'opera di captazione della sorgente, le misure sono state effettuate poco più a valle della captazione, dopo una breve condotta di derivazione. Inoltre la portata misurata rappresenta in realtà una portata parziale. La portata totale è derivata in parte alla sezione di misura ed in parte ad un serbatoio utilizzato dal proprietario del fondo in cui è ubicata la sorgente.

Ai fini dell'applicazione del modello di Maillet, ciò implica che il volume di immagazzinamento dinamico qui calcolato rappresenta una percentuale del volume realmente immagazzinato, mentre il coefficiente di esaurimento non subisce alcuna modifica.

**Tabella 11.6 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S17 (Sa Conca Gaddina, Villanova Monteleone)</b>			
<b>fase 09/06-26/10 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,004800003	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	139	d
Qo calcolato	Qo =	0,312	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,160	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	5608,796	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	2878,102	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	2730,694	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DT t =	208,33	d
<b>fase 01/06-24/10 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,003400093	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	145	d
Qo calcolato	Qo =	0,390	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,238	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	9897,612	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	6045,274	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	3852,338	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	294,11	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin=	0,158	l/sec
portata massima assoluta	Qmax=	4,000	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed=	0,745	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv=	515,849	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W =$	3291,516	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	7753,204	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin=	42,45	%
tempo di rinnovamento	trin=	2,36	anno

Sorgente S25 (Sos Coroneddos, Putifigari)

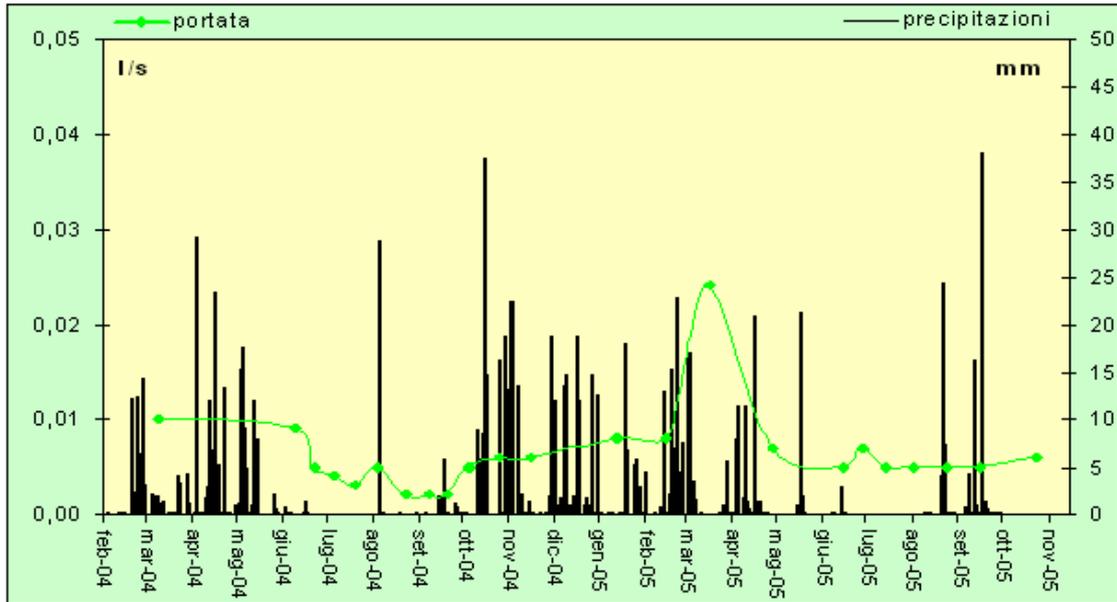


Figura 11.16 - Diagramma di efflusso sorgente S25; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

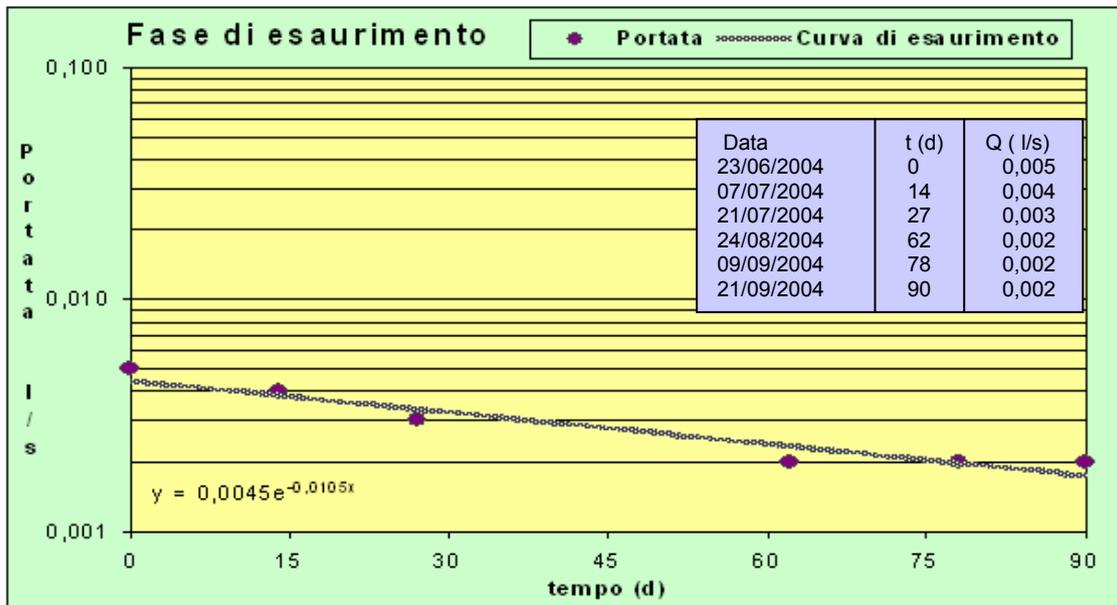


Figura 11.17 - Curva di esaurimento sorgente S25 fase 23/06-21/09/2004

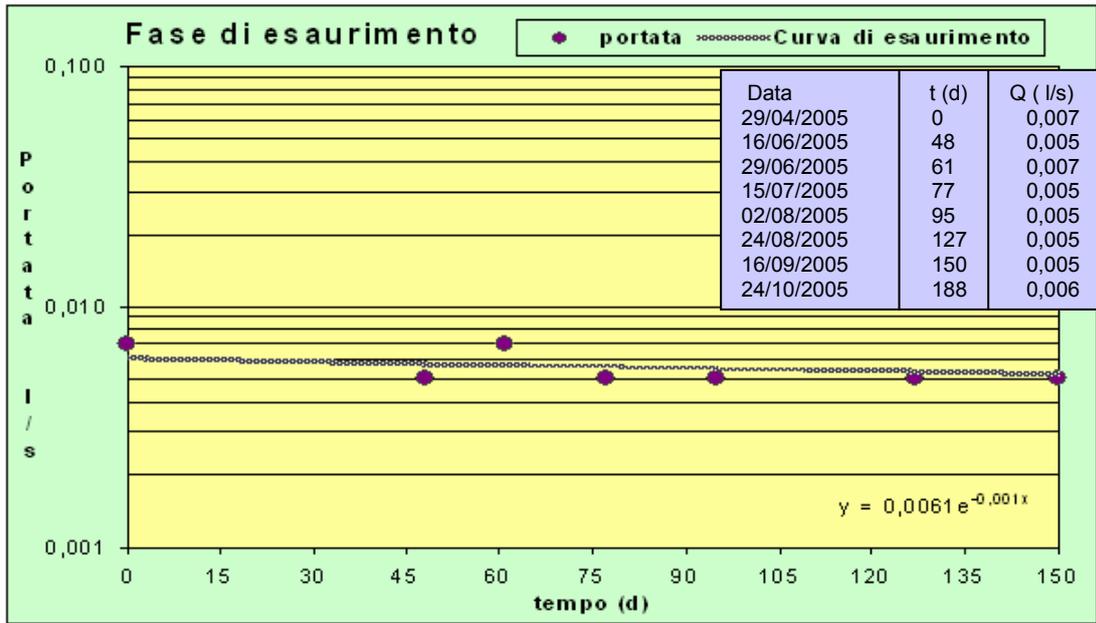


Figura 11.18 - Curva di esaurimento sorgente S25 fase 29/04-24/10/2005

**Tabella 11.7 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S25 (Sos Coroneddos, Putifigari)</b>		
<b>fase23/06-21/09 2004</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,010500369$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 90$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,005$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,002$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 37,027$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 14,391$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 22,636$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DTt = 95,23$	d
<b>fase29/04-24/10 2005</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,001000052$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 188$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,0061$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,005$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 527,012$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 436,685$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 90,327$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DT t = 999,95$	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>		
portata minima assoluta	$Q_{min} = 0,002$	l/sec
portata massima assoluta	$Q_{ma} = 0,024$	l/sec
portata media	$Q_{med} = 0,006$	l/sec
coefficiente di variabilità	$R_v = 347,368$	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W = 56,482$	$m^3$
Wo medio	$W_o = 282,020$	$m^3$
tasso di rinnovamento	$Trin = 20,03$	%
tempo di rinnovamento	$trin = 4,99$	anno

Sorgente S27 (Seddonai, Putifigari)

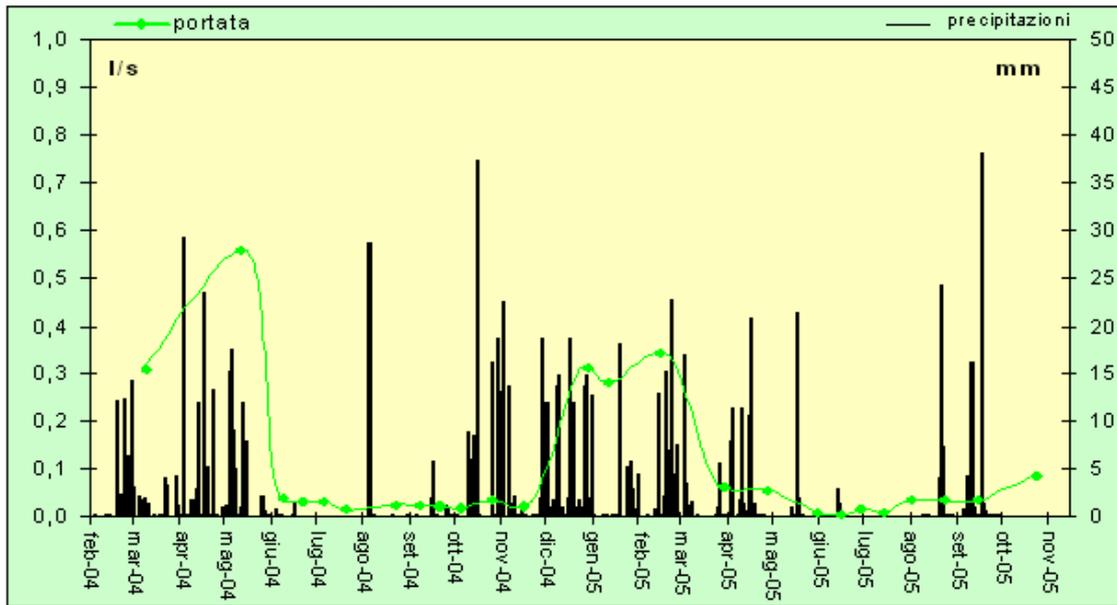


Figura 11.19 - Diagramma di efflusso sorgente S27; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

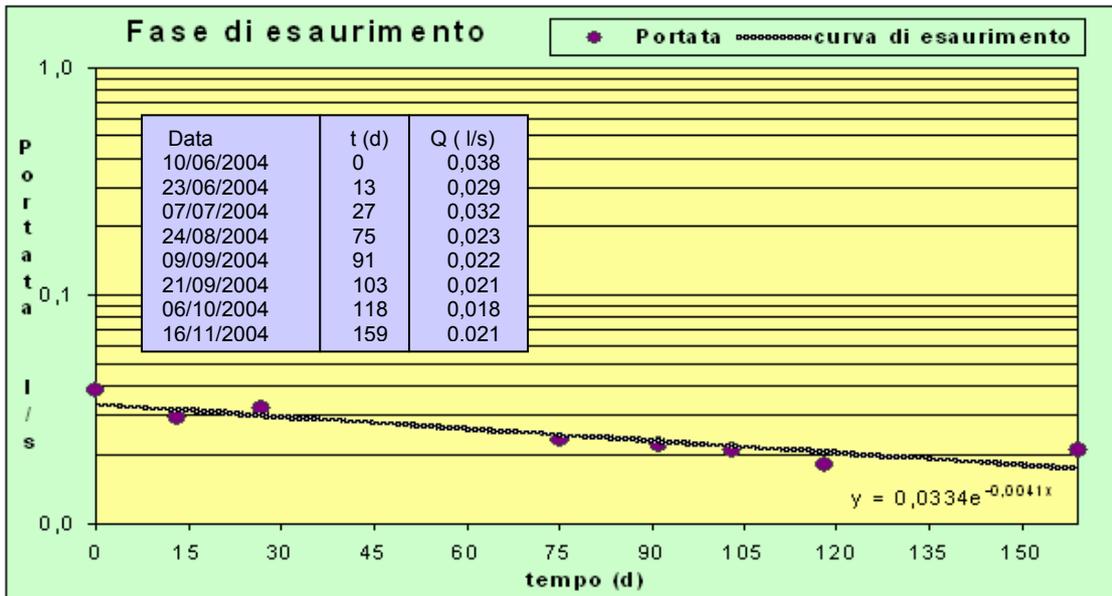


Figura 11.20 - Curva di esaurimento sorgente S27 fase 10/06-16/11/2004

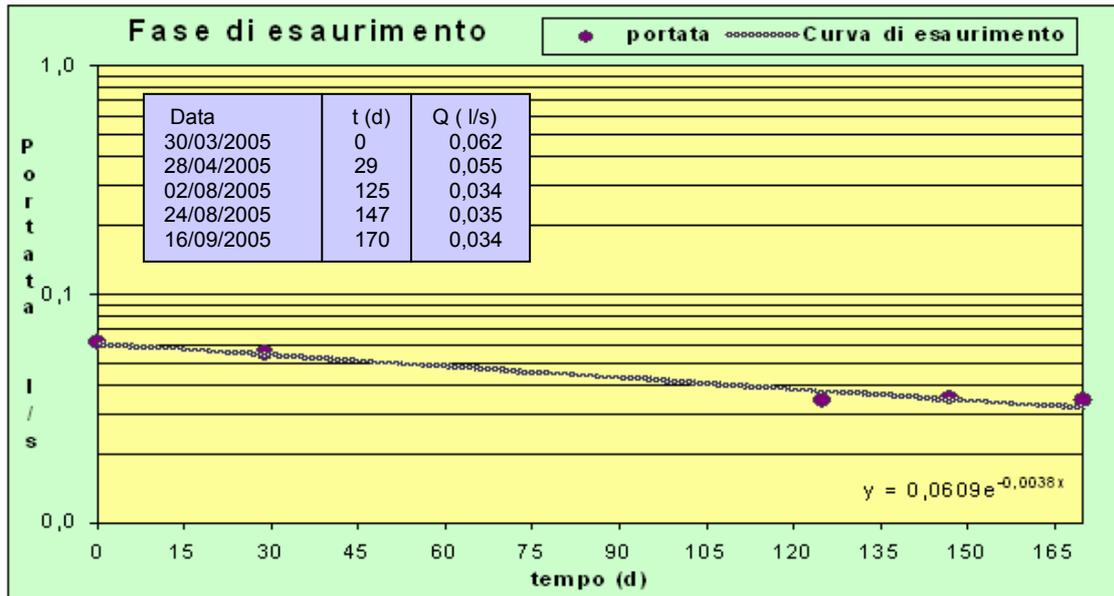


Figura 11.21 - Curva di esaurimento sorgente S27 fase 30/03-16/09/2005

Tabella 11.8 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005

Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente: S27 (Seddonai, Putifigari)		
fase 10/06-16/11 2004		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,004101168$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 159$	d
Qo calcolato	$Q_0 = 0,033$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,017$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_0 = 703,643$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 366,567$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 337,076$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DTt = 243,83$	d
fase 30/03-16/09 2005		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,003890579$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 170$	d
Qo calcolato	$Q_0 = 0,062$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,032$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_0 = 1376,864$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 710,637$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 666,228$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DTt = 257,03$	d
Fattori idrogeologici medi		
portata minima assoluta	$Q_{min} = 0,008$	l/sec
portata massima assoluta	$Q_{max} = 0,558$	l/sec
portata media monitoraggio	$Q_{med} = 0,096$	l/sec
coefficiente di variabilità	$R_v = 575,555$	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W = 501,652$	$m^3$
Wo medio	$W_0 = 1040,254$	$m^3$
tasso di rinnovamento	$Trin = 48,22$	%
tempo di rinnovamento	$trin = 2,07$	anno

Sorgente S109 (Funtana Iventi, Ittiri)

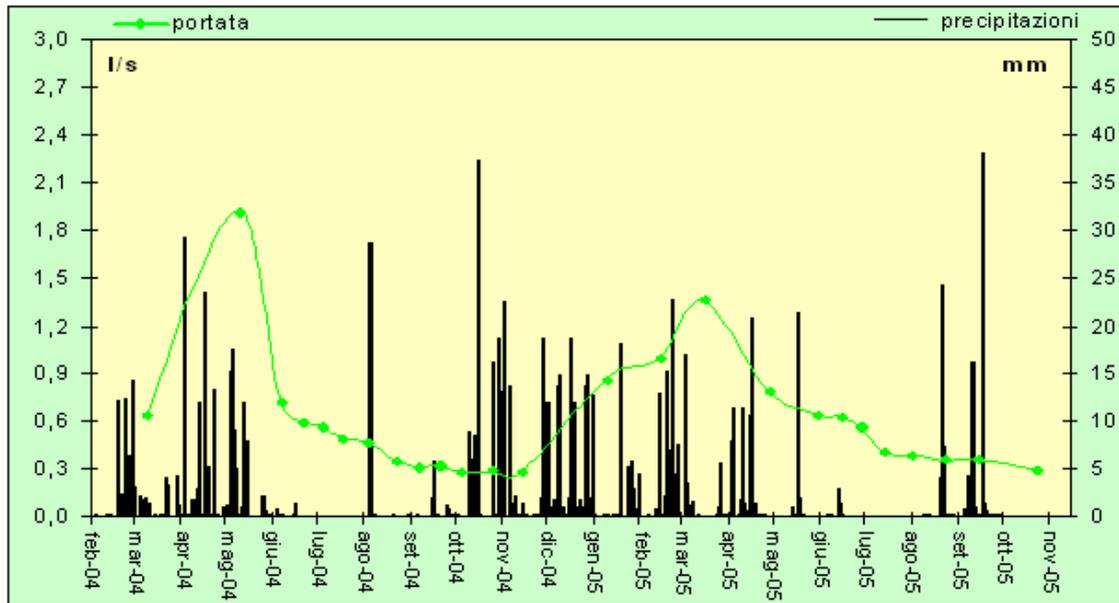


Figura 11.22 - Diagramma di effluo sorgente S109; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

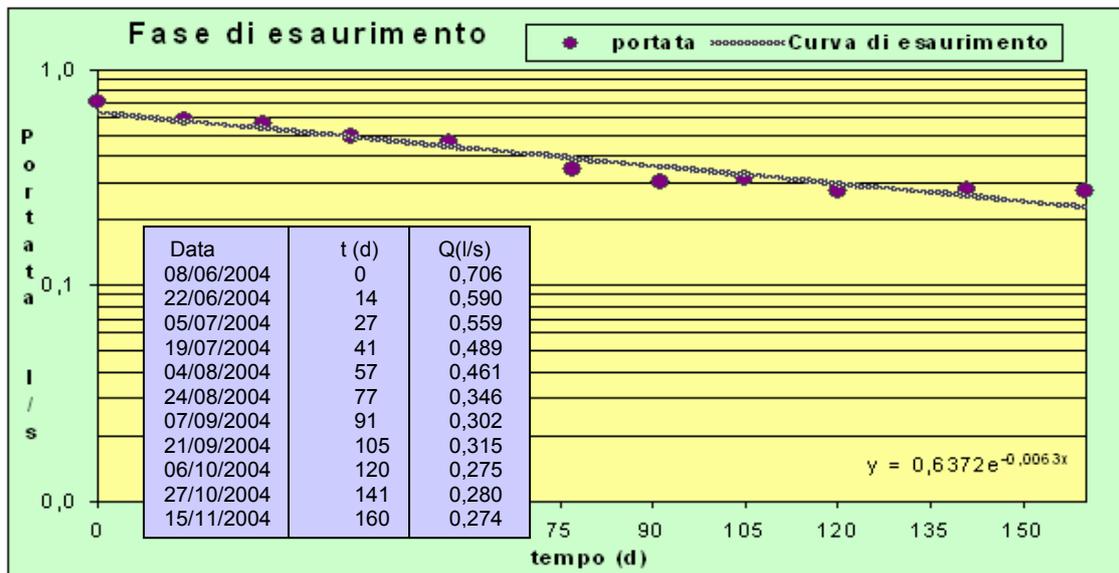
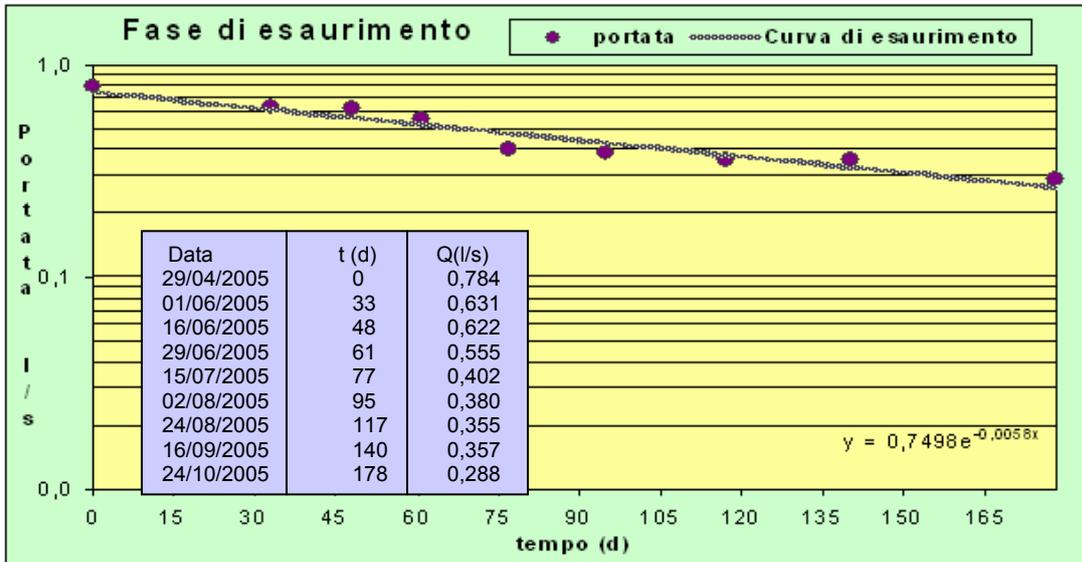


Figura 11.23 - Curva di esaurimento sorgente S109 fase 08/06-15/11/2004



**Figura 11.24 - Curva di esaurimento sorgente S109 fase 29/04-24/10/2005**

**Tabella 11.9 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S109 (Funtana Iventi, Ittiri)</b>		
<b>fase 08/06-15/11 2004</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,0063$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 160$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,637$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,233$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 8738,743$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 3189,166$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 5549,576$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DTt = 158,73$	d
<b>fase 29/04-24/10 2005</b>		
coefficiente di esaurimento	$\alpha = 0,005800003$	$d^{-1}$
durata fase esaurimento	$t = 178$	d
Qo calcolato	$Q_o = 0,750$	l/sec
Q t calcolato	$Q t = 0,267$	l/sec
riserva accumulata al t0	$W_o = 11169,428$	$m^3$
volume defluito esaurimento	$W_d = 3977,975$	$m^3$
capacità di svuotamento	$\Delta W = 7191,453$	$m^3$
tempo autosostentamento	$DTt = 172,41$	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>		
portata minima assoluta	$Q_{min} = 0,274$	l/sec
portata massima assoluta	$Q_{max} = 1,905$	l/sec
portata media monitoraggio	$Q_{med} = 0,588$	l/sec
coefficiente di variabilità	$R_v = 277,287$	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W = 6370,515$	$m^3$
Wo medio	$W_o = 9954,086$	$m^3$
tasso di rinnovamento	$Trin = 64,00$	%
tempo di rinnovamento	$trin = 1,56$	anno

Sorgente S123 (Su Mattone, Olmedo)

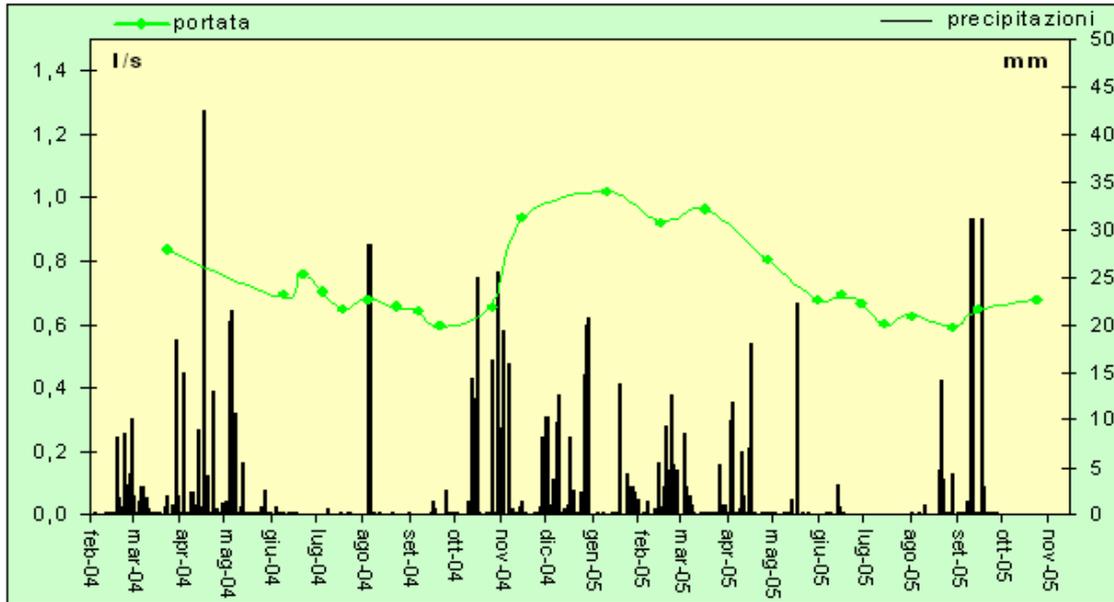


Figura 11.25 - Diagramma di efflusso sorgente S123; precipitazioni stazione di Olmedo (SAR)

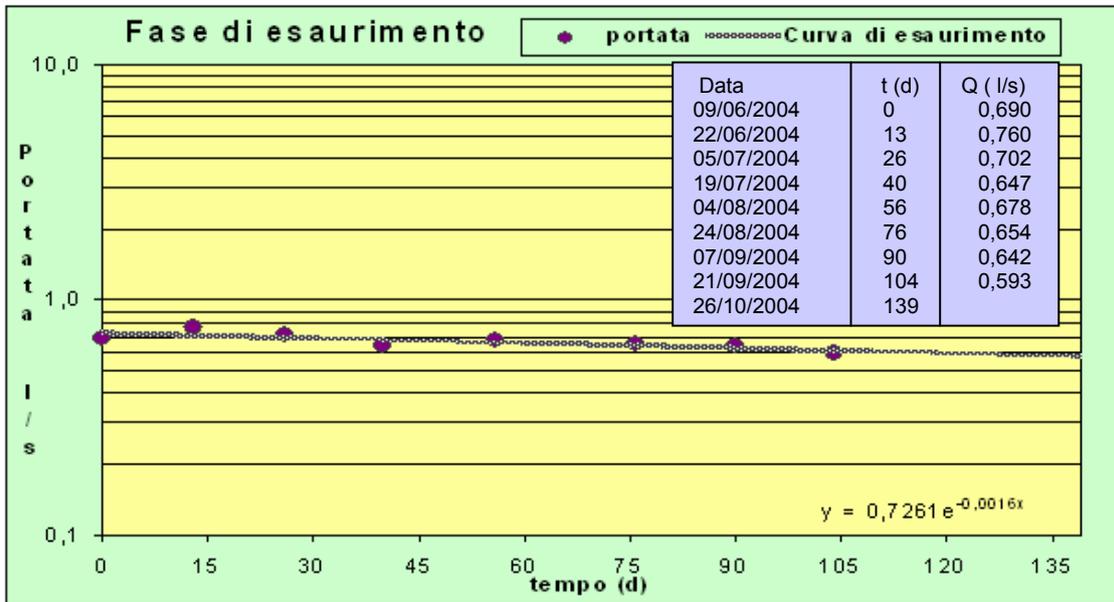


Figura 11.26 - Curva di esaurimento sorgente S123 fase 09/06-26/10/2004

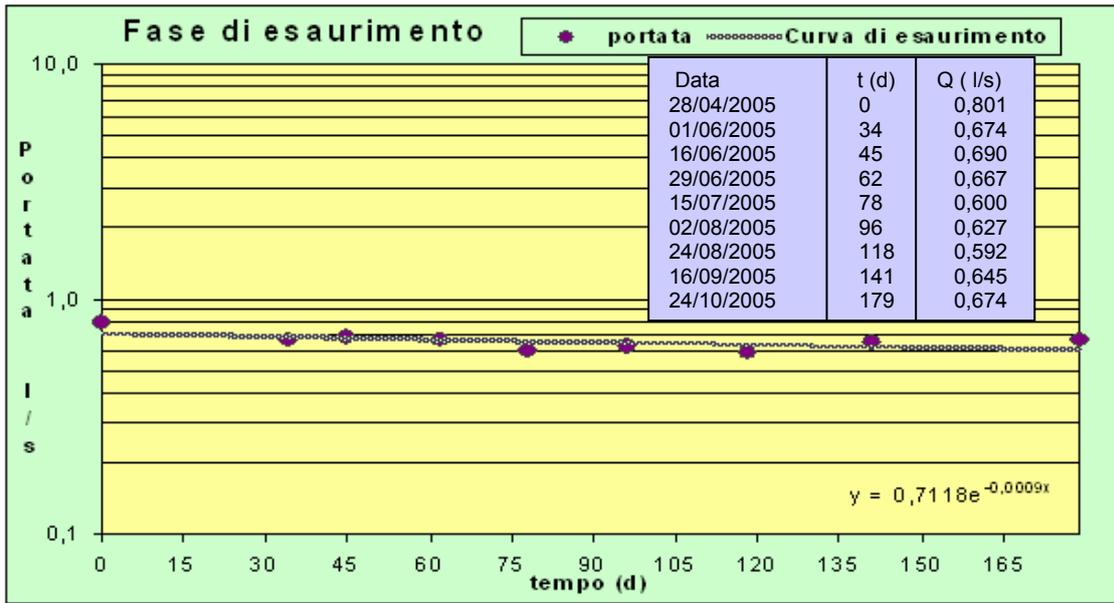


Figura 11.27 - Curva di esaurimento sorgente S123 fase 28/04-24/10/2005

**Tabella 11.10 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S123 (Su Mattone, Olmedo)</b>			
<b>fase 09/06-26/10 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,001600001	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	139	d
Qo calcolato	Qo =	0,726	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,581	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	39209,377	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	31390,783	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	7818,594	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	625,00	d
<b>fase 28/04-24/10 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,000900001	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	179	d
Qo calcolato	Qo =	0,712	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,606	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	68332,727	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	58165,219	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	10167,508	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	1111,11	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,592	l/sec
portata massima assoluta	Qmax =	1,016	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed =	0,724	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	58,560	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W =$	8993,051	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	53771,052	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin =	16,72	%
tempo di rinnovamento	trin =	5,98	anno

Sorgente S124 (Pischina de sa Uda, Olmedo)

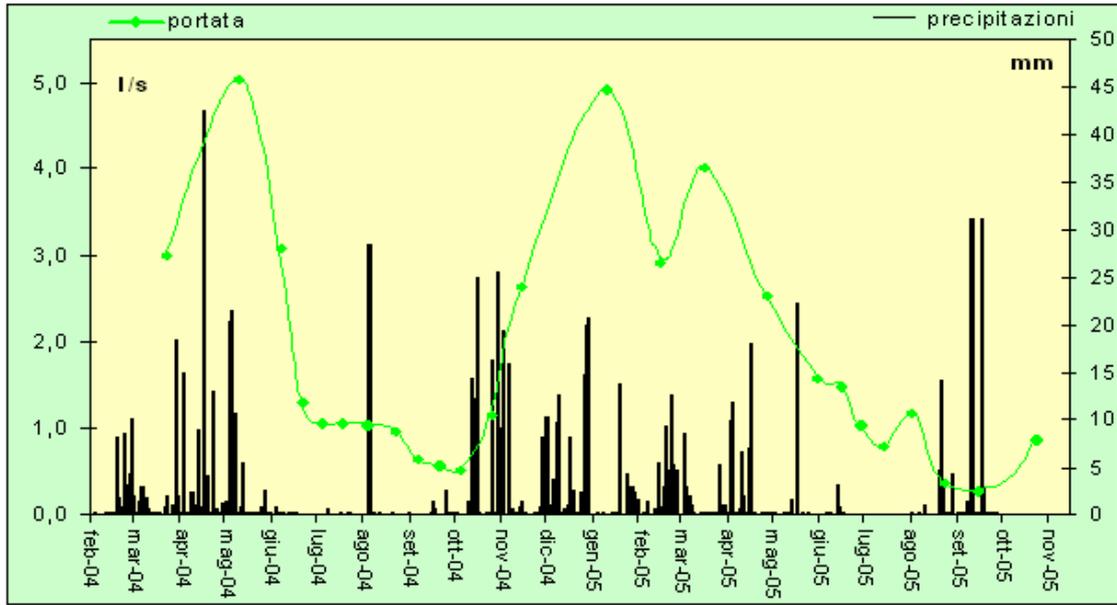


Figura 11.28 - Diagramma di efflusso sorgente S124; precipitazioni stazione di Olmedo (SAR)

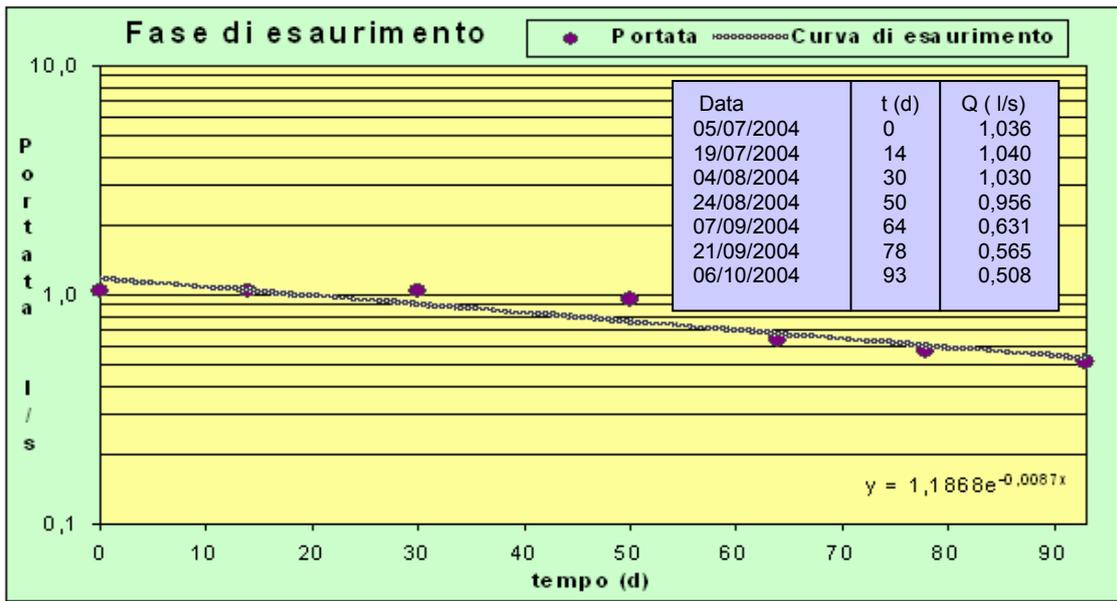
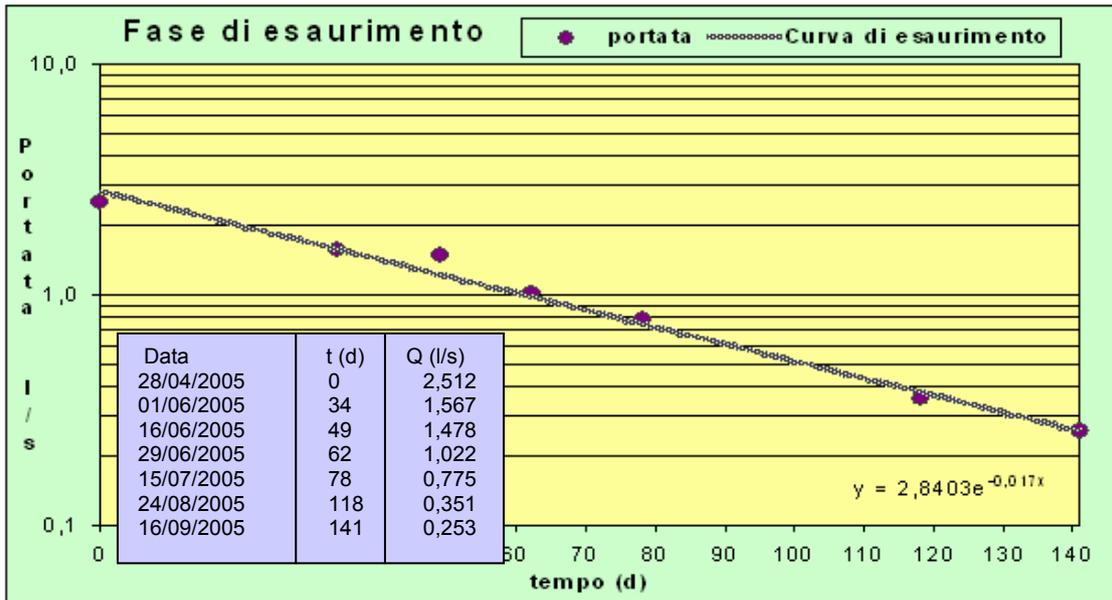


Figura 11.29 - Curva di esaurimento sorgente S124 fase 05/07-06/10/2004



**Figura 11.30 - Curva di esaurimento sorgente S124 fase 28/04-16/09/2005**

**Tabella 11.11 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S124 (Pischina de sa Uda, Olmedo)</b>			
<b>fase 05/07-06/10 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,008708813	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	93	d
Qo calcolato	Qo =	1,187	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,528	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	11774,225	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	5238,252	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	6535,973	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	114,83	d
<b>fase 28/04-16/09 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,01700001	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	141	d
Qo calcolato	Qo =	2,840	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,258	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	14435,399	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	1313,461	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	13121,937	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	58,82	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,253	l/sec
portata massima assoluta	Qmax =	5,010	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed =	1,747	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	272,264	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W =$	9828,955	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	13104,812	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin =	75,00	%
tempo di rinnovamento	trin =	1,33	anno

Sorgente S125 (Pischina de sa Uda, Olmedo)

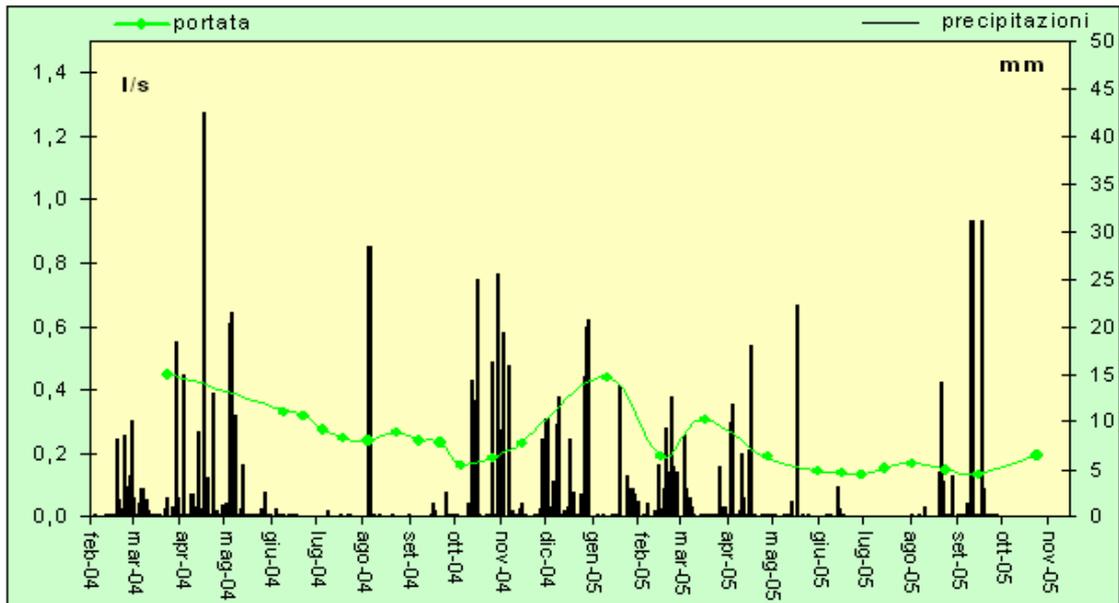


Figura 11.31 - Diagramma di efflusso sorgente S125; precipitazioni stazione di Olmedo (SAR)

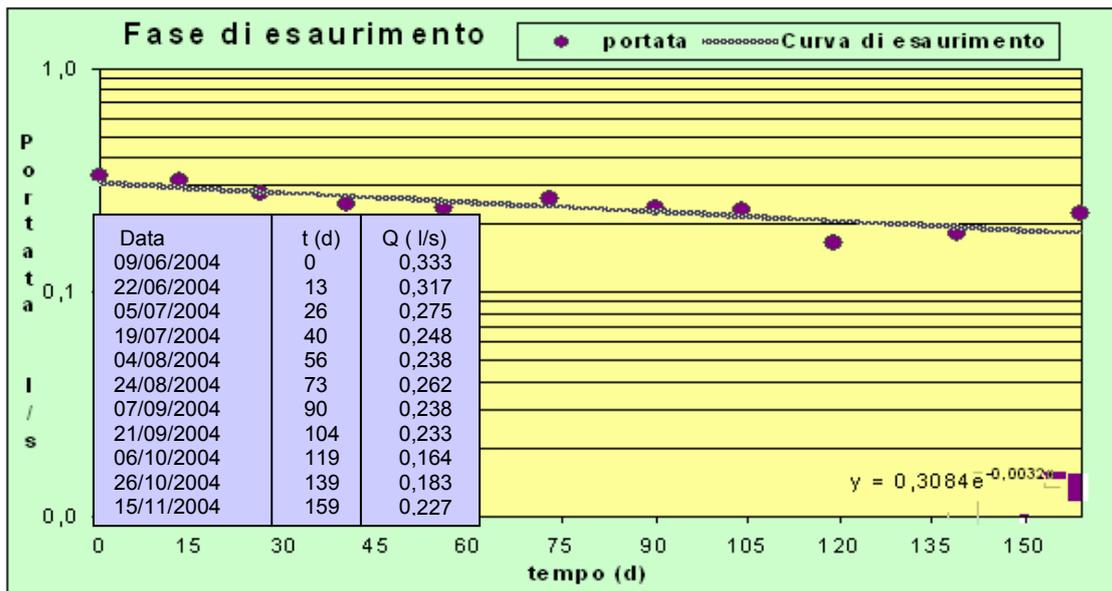
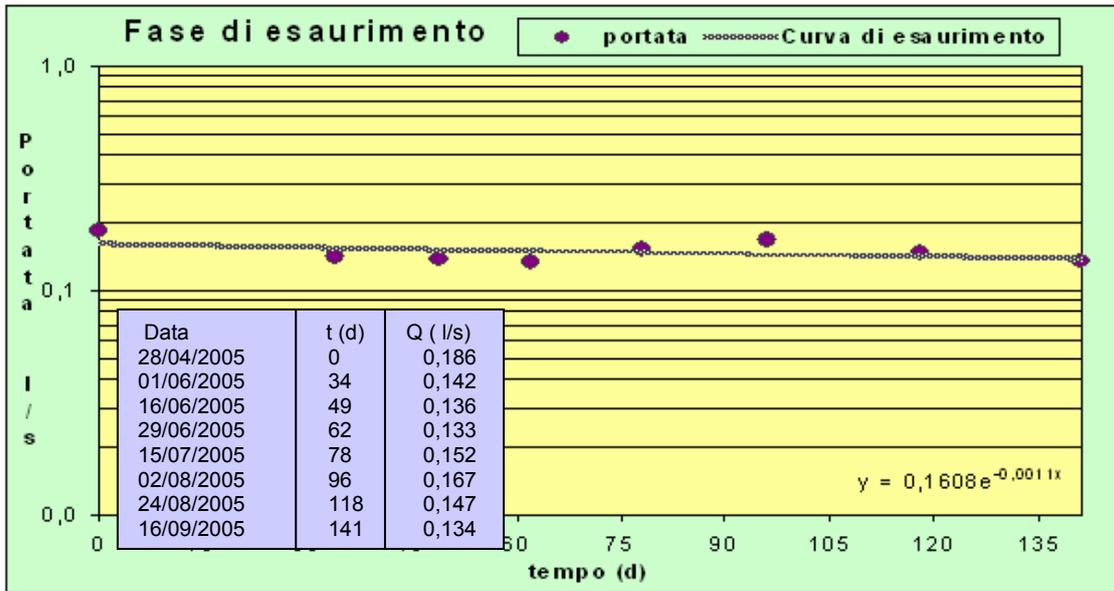


Figura 11.32 - Curva di esaurimento sorgente S125 fase 09/06-15/11/2004



**Figura 11.33 - Curva di esaurimento sorgente S125 fase 28/04-16/09/2005**

**Tabella 11.12 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S125 (Pischina de sa Uda, Olmedo)</b>			
<b>fase 09/06-15/11 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,003200007	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	159	d
Qo calcolato	Qo =	0,308	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,185	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo=	8326,782	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd=	5006,177	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W=$	3320,605	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt=	312,50	d
<b>fase 28/04-16/09 2005</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha =$	0,001100041	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	141	d
Qo calcolato	Qo =	0,161	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,138	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	12629,642	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	10815,062	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W =$	1814,580	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	909,06	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,133	l/sec
portata massima assoluta	Qmax=	0,450	l/sec
portata media monitoraggio	med =	0,229	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	138,717	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W =$	2567,592	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	10478,212	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin =	24,50	%
tempo di rinnovamento	trin =	4,08	anno

Sorgente S126 (Abbaia, Sassari)

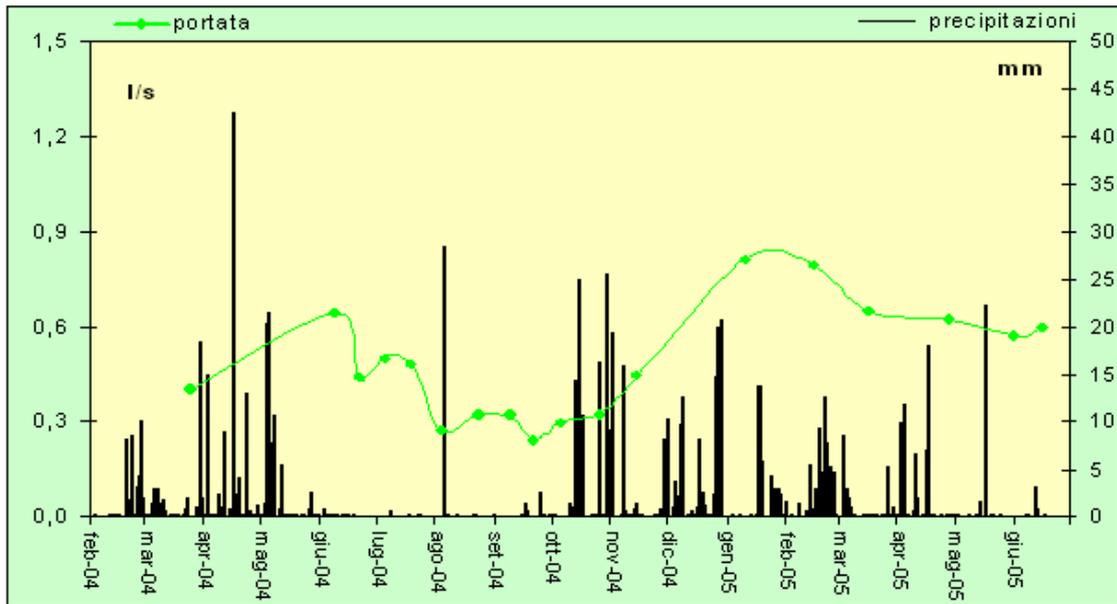


Figura 11.34 - Diagramma di efflusso sorgente S126; precipitazioni stazione di Olmedo (SAR)

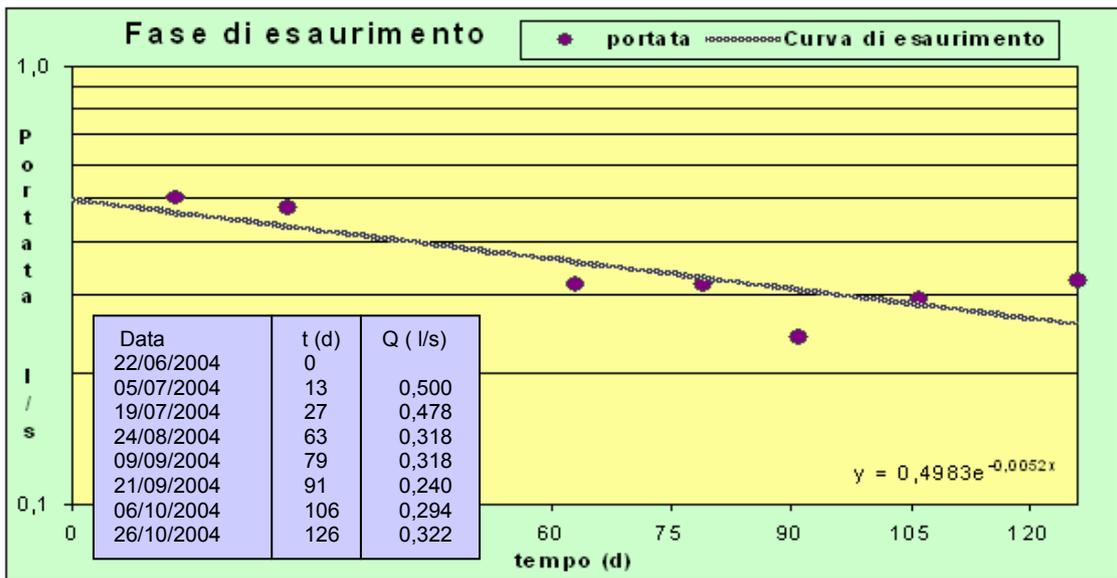
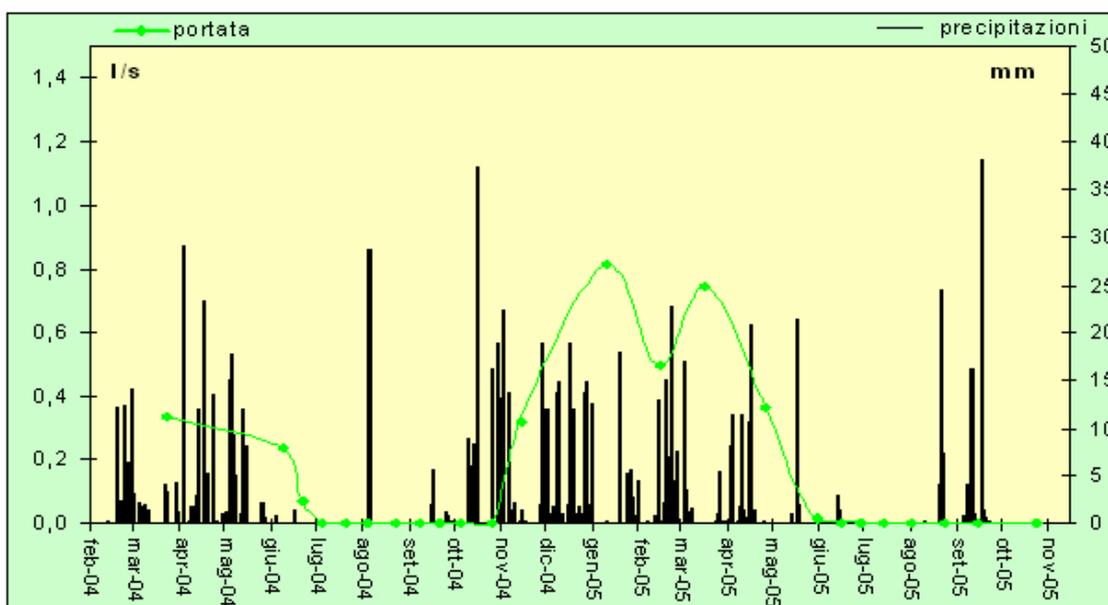


Figura 11.35 - Curva di esaurimento sorgente S126 fase 22/06-26/10/2004

**Tabella 11.13 - Fattori idrogeologici ottenuti dallo studio della curva di esaurimento 2004-2005**

<b>Studio idrogeologico: modello di Maillet [1911] Sorgente S126 (Abbaia, Sassari)</b>			
<b>Fase 22/06-26/10 2004</b>			
coefficiente di esaurimento	$\alpha$ =	0,003200007	d <sup>-1</sup>
durata fase esaurimento	t =	159	d
Qo calcolato	Qo =	0,308	l/sec
Q t calcolato	Q t =	0,185	l/sec
riserva accumulata al t0	Wo =	8326,782	m <sup>3</sup>
volume defluito esaurimento	Wd =	5006,177	m <sup>3</sup>
capacità di svuotamento	$\Delta W$ =	3320,605	m <sup>3</sup>
tempo autosostentamento	DTt =	312,50	d
<b>Fattori idrogeologici medi</b>			
portata minima assoluta	Qmin =	0,240	l/sec
portata massima assoluta	Qmax =	0,809	l/sec
portata media monitoraggio	Qmed =	0,482	l/sec
coefficiente di variabilità	Rv =	117,941	%
capacità di svuotamento media	$\Delta W$ =	5152,496	m <sup>3</sup>
Wo medio	Wo =	25273,157	m <sup>3</sup>
tasso di rinnovamento	Trin =	20,39	%
tempo di rinnovamento	trin =	4,91	anno



**Figura 11.36 - Diagramma di efflusso sorgente S118; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)**

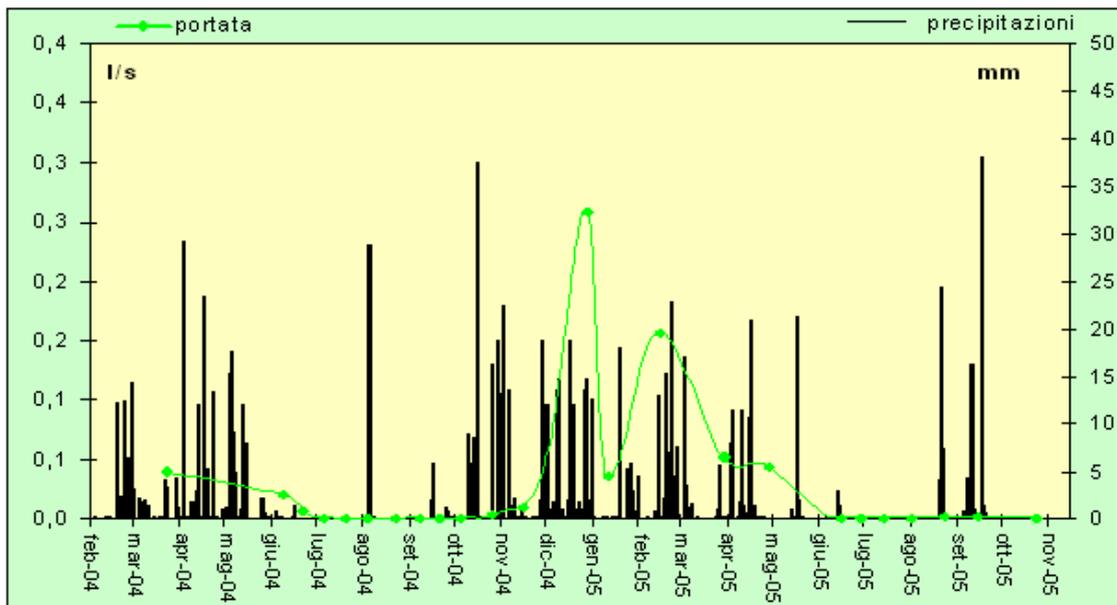


Figura 11.37 - Diagramma di efflusso sorgente S36; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)

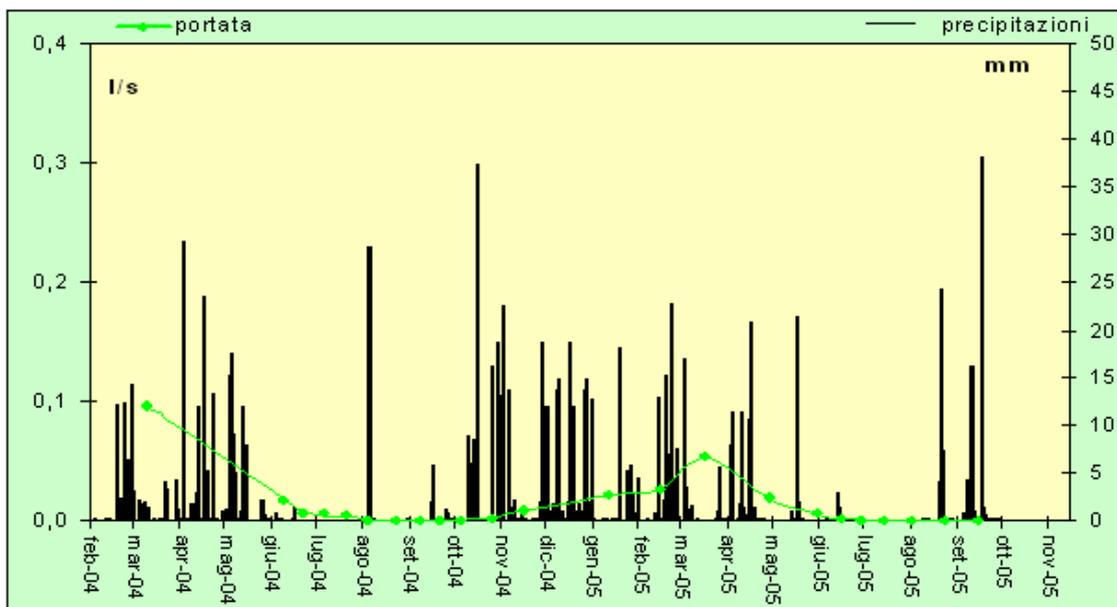
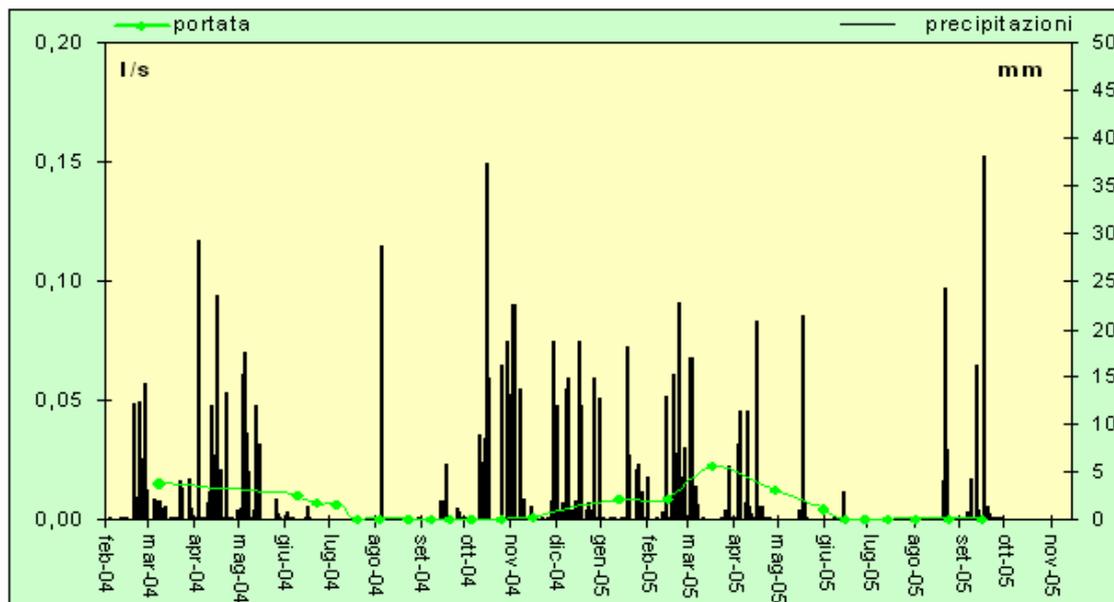


Figura 11.38 - Diagramma di efflusso sorgente S26; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)



**Figura 11.39 - Diagramma di efflusso sorgente S22; precipitazioni stazione di Putifigari (SAR)**

Per le sorgenti S11, S29, S31, S46, S49, S50 e S112, non è stato possibile calcolare i fattori idrogeologici derivati dall'applicazione del modello di Maillet. Infatti a causa di problemi relativi all'efficienza ed alla tipologia dell'opera di captazione non è possibile individuare un regime sorgivo indisturbato: condizione indispensabile per l'applicazione del modello di calcolo.

In tabella 11.14 sono riportati i volumi ottenuti dallo studio delle curve di esaurimento degli anni 2004 e 2005.

**Tabella 11.14 - Volumi ottenuti dallo studio delle curve di esaurimento degli anni 2004 e 2005**

ID RIADE	Wo 2004 m <sup>3</sup>	Wd 2004 m <sup>3</sup>	DW 2004 m <sup>3</sup>	Wo 2005 m <sup>3</sup>	Wd 2005 m <sup>3</sup>	DW 2005 m <sup>3</sup>
S1	37384,435	30363,829	7020,607	32666,096	22733,398	9932,6981
S3	9804,818	5852,331	3952,487	10444,331	4837,279	5607,051
S6	688,954	275,576	413,377	1239,344	348,462	890,882
S16	1288,143	948,759	339,385	1464,232	1111,627	352,604
S17	5608,796	2878,102	2730,694	9897,612	6045,274	3852,338
S25	37,027	14,391	22,636	527,012	436,685	90,327
S27	703,643	366,567	337,076	1376,864	710,637	666,228
S109	8738,743	3189,166	5549,576	11169,428	3977,975	7191,453
S123	39209,377	31390,783	7818,594	68332,727	58165,219	10167,508
S124	11774,225	5238,252	6535,973	14435,399	1313,461	13121,937
S125	8326,782	5006,177	3320,605	12629,642	10815,062	1814,580
S126	8279,436	4299,805	3979,631			
Totale m <sup>3</sup>	131844,38	89823,738	42020,64	164182,7	110495,1	53687,61

## **11.6 Regime e classificazione delle sorgenti monitorate**

Per definire il regime delle sorgenti e valutare qualitativamente l'estensione del bacino idrogeologico di alimentazione sono stati costruiti i variogrammi relativi a ciascuna sorgente. Questi riportano in ascissa i tempi espressi in giorni e in ordinate sia le portate misurate espresse in l/s, sia le precipitazioni totali giornaliere, espresse in mm. In aggiunta all'idrogramma classico portata-precipitazioni sono stati diagrammati i valori della conducibilità elettrica espressi in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (CE 25 °C), misurati in campagna durante il monitoraggio. Questo per verificare eventuali variazioni di CE in funzione dei tempi di ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche.

Il variogramma della sorgente mostra la risposta delle portate in funzione delle precipitazioni; dalla sua osservazione è possibile prevedere l'estensione del bacino di alimentazione e quindi la sua capacità di immagazzinamento. Per esempio, se le sorgenti sono alimentate da un bacino di modeste dimensioni e scarse capacità di immagazzinamento si osserverà un aumento immediato delle portate dopo una precipitazione di una certa entità; mentre se il bacino è più esteso e quindi con maggiori capacità di immagazzinamento si osserverà una portata più o meno costante, indipendente dagli apporti pluviometrici.

Nelle seguenti elaborazioni vengono rappresentati i dati di portata e conducibilità rilevate durante il monitoraggio (febbraio 2004-ottobre 2005) e le precipitazioni relative alle stazioni di Olmedo e Putifigari. In relazione alla risposta delle portate alle precipitazioni, possono essere individuate 3 diverse tipologie di sorgenti.

### *11.6.1 Sorgenti che rispondono in modo immediato alle precipitazioni*

Sono le sorgenti S3 (figura 11.41), S25 (figura 11.50), S123 (figura 11.44), S124 (figura 11.45), S125 (figura 11.46) e S126 (figura 11.47). L'efflusso sorgivo è fortemente caratterizzato dall'andamento delle piogge; si può osservare come le variazioni di portata rispondono in modo rapido alle precipitazioni.

### *11.6.2 Sorgenti che presentano una risposta ritardata alle precipitazioni*

Sono le sorgenti S1 (figura 11.40), S6 (figura 11.48), S16 (figura 11.42), S17 (figura 11.49), S27 (figura 11.51) e S109 (figura 11.43). Anche il loro efflusso è caratterizzato dall'andamento pluviometrico, seppure in modo non immediato, come osservato nella prima tipologia, ma ritardato soprattutto nel passaggio dalla fase di esaurimento alla fase di ricarica. Questo fatto potrebbe significare la presenza di un esteso bacino di alimentazione, in un primo momento indipendente dalle precipitazioni, per esempio a causa di una bassa trasmissività dell'acquifero o di una distanza rilevante del serbatoio dalle aree di ricarica attiva.

In relazione alla risposta della conducibilità ed alla variazione delle portate si assiste, in generale, nella fase di esaurimento ad un tendenziale incremento della conducibilità elettrica. Diversamente, nelle fasi di ricarica e decremento possono essere individuate 2 tipologie di comportamento.

### *11.6.3 Sorgenti in cui, nelle fasi di ricarica e decremento, la conducibilità varia in modo conforme alla portata*

Sono le sorgenti S1 (figura 11.40), S3 (figura 11.41), S109 (figura 11.43), appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso marnoso-calcareo del Miocene (cmc-Mc), la sorgente S16 (figura 11.42), appartenente all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico dell'Oligo-Miocene (cpi-OM), le sorgenti S123 (figura 11.44), S124 (figura 11.45), S125 (figura 11.46) appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso sedimentario recente del Quaternario (csr-Q) e la sorgente S126 (figura 11.47) nell'acquifero ospitato nel complesso sedimentario composito del Trias (csc-T). Esse presentano una singolare manifestazione dell'andamento della conducibilità (CE 25 °C) in risposta alla variazione delle portate: dai relativi diagrammi, in tali sorgenti, si può rilevare come la conducibilità aumenta e diminuisce parallelamente alla portata nei periodi di ricarica e decremento. Questo comportamento è del tutto antitetico ai fenomeni di diluizione e concentrazione dell'acqua sotterranea, in conseguenza rispettivamente all'aumento ed alla diminuzione delle portate. La spiegazione di questo fenomeno può essere data ipotizzando un modello concettuale di circolazione delle acque in almeno 2 formazioni geologiche differenti. È plausibile che, con l'innalzamento della falda nella fase di ricarica, si verifichi il contatto del corpo idrico con formazioni che trasmettono una sensibile variazione del chimismo dell'acqua e che influenzano anche la CE.

### *11.6.4 Sorgenti in cui, nelle fasi di ricarica e decremento, la conducibilità varia in modo inverso alla portata*

Sono le sorgenti S6 (figura 11.48), S17 (figura 11.49), S25 (figura 11.50) e S27 (figura 11.51), appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico dell'Oligo-Miocene (cpi-OM). In queste sorgenti, CE 25° C e portata, hanno un andamento decisamente opposto, a conferma dell'effetto di diluizione e concentrazione imposto rispettivamente dall'incremento (fase di ricarica) e dalla diminuzione (decremento) delle portate.

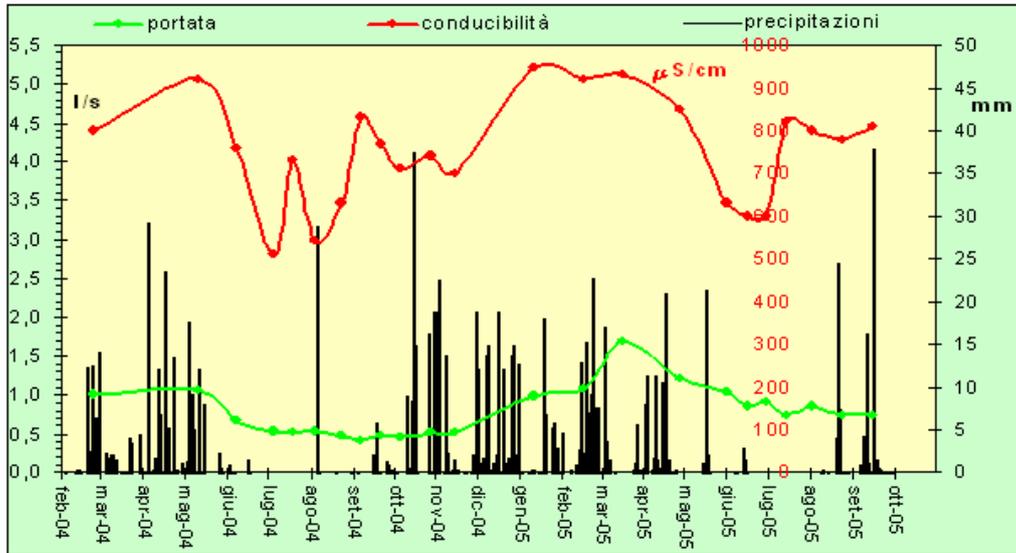


Figura 11.40 - Sorgente S1 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

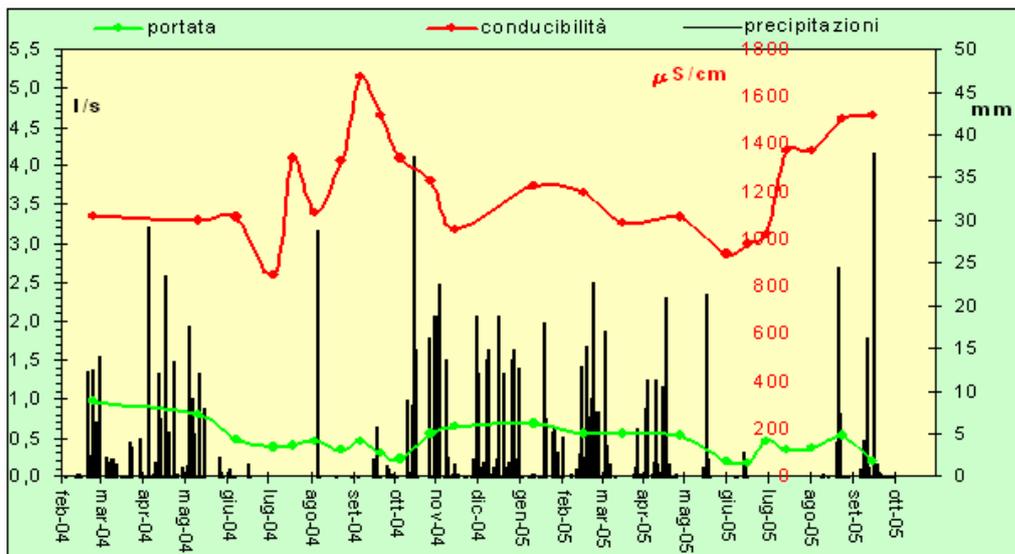


Figura 11.41 - Sorgente S3 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

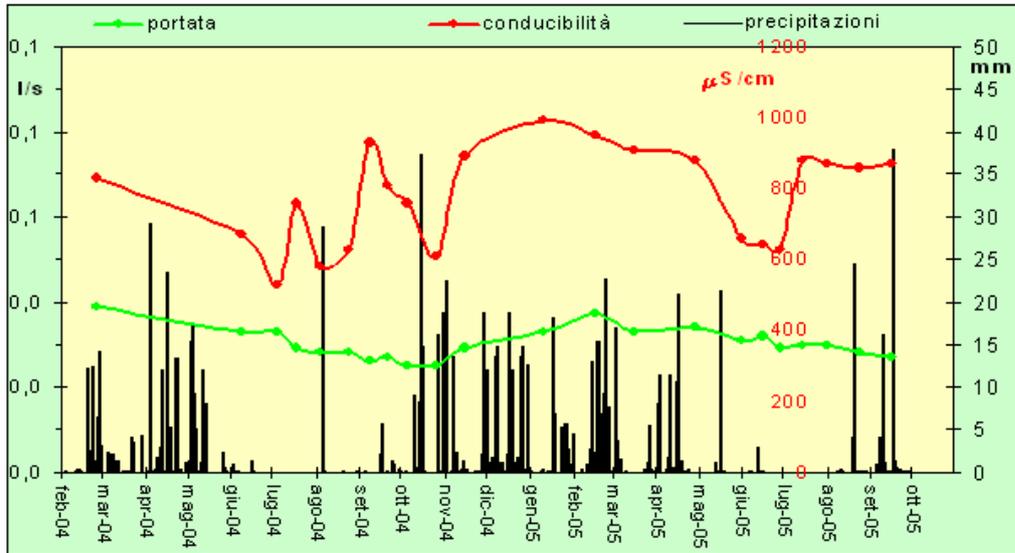


Figura 11.42 - Sorgente S16 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

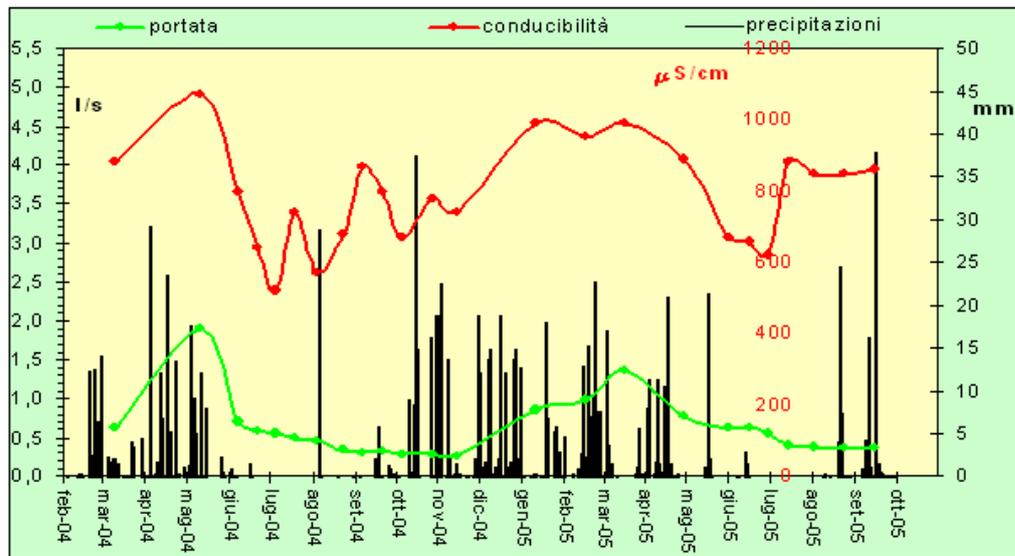


Figura 11.43 - Sorgente S109 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

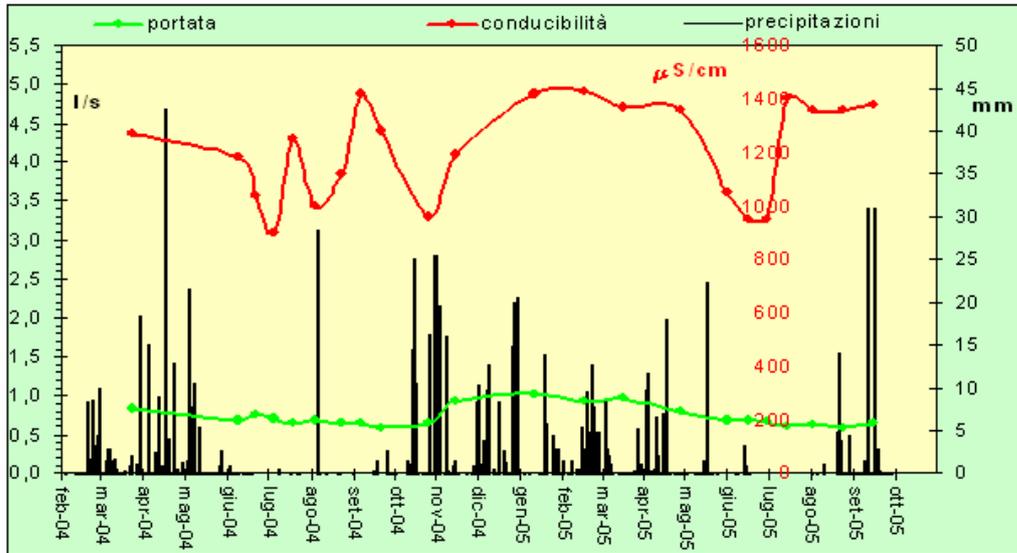


Figura 11.44 - Sorgente S123 (precipitazioni della stazione di Olmedo - SAR)

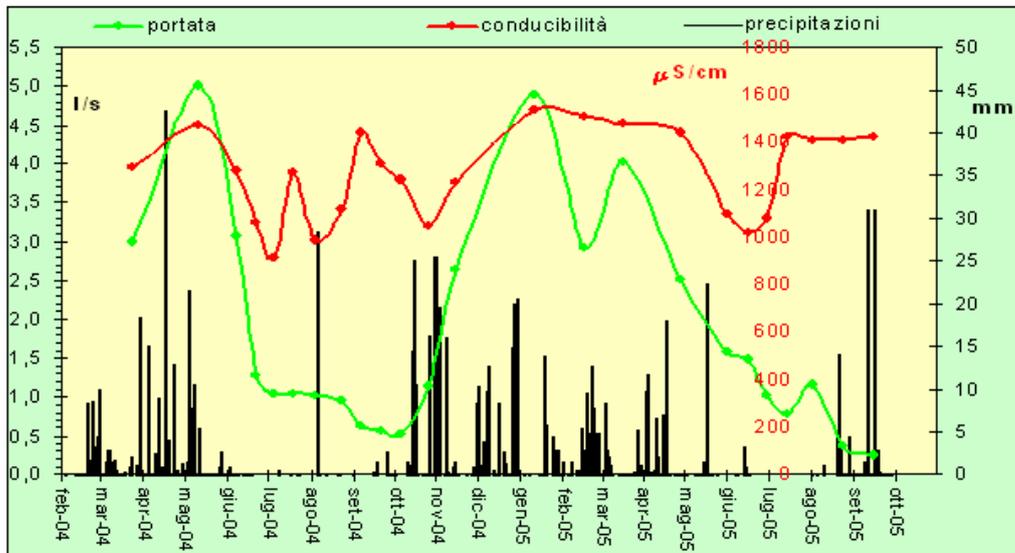


Figura 11.45 - Sorgente S124 (precipitazioni della stazione di Olmedo - SAR)

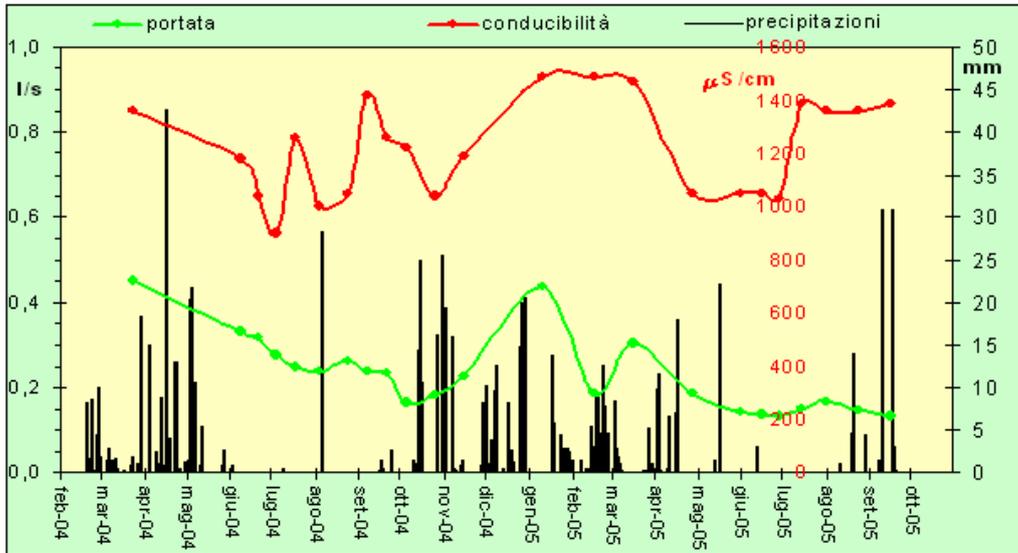


Figura 11.46 - Sorgente S125 (precipitazioni della stazione di Olmedo - SAR)

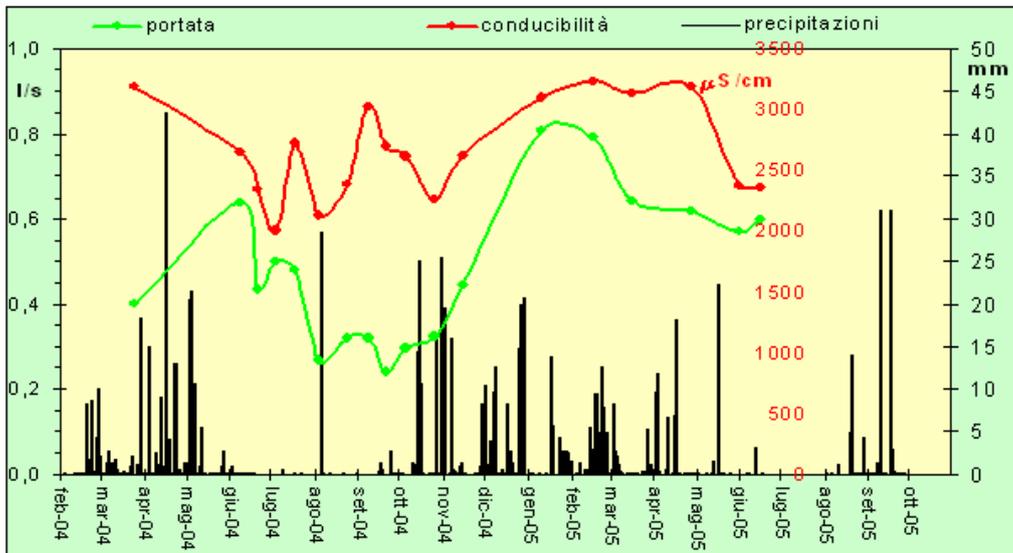


Figura 11.47 - Sorgente S126 (precipitazioni della stazione di Olmedo - SAR)

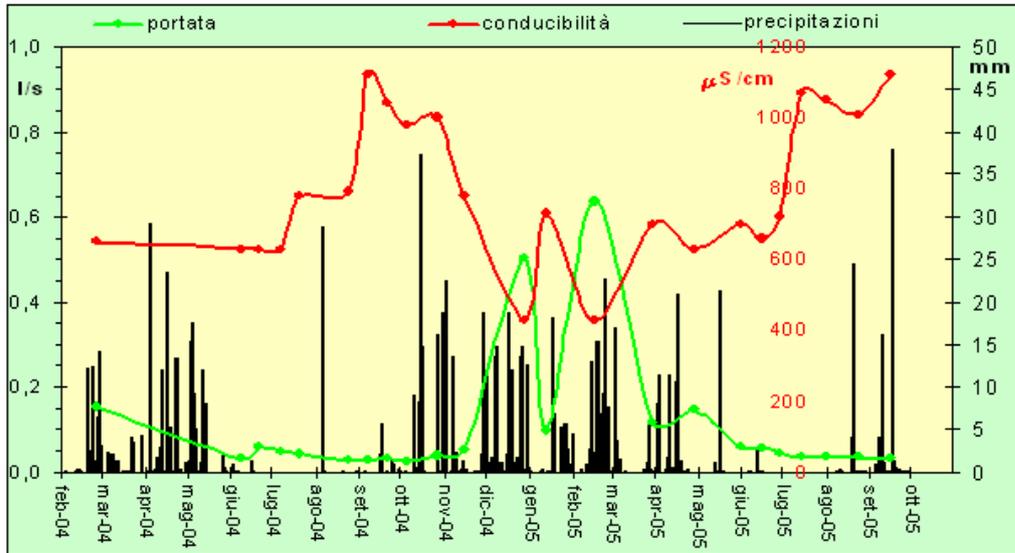


Figura 11.48 - Sorgenti S6 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

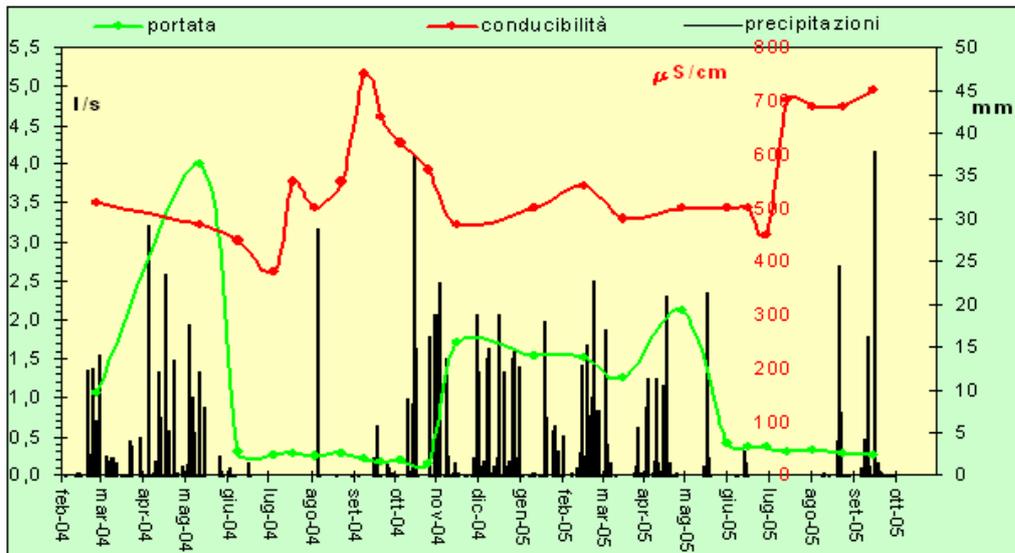


Figura 11.49 - Sorgente S17 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

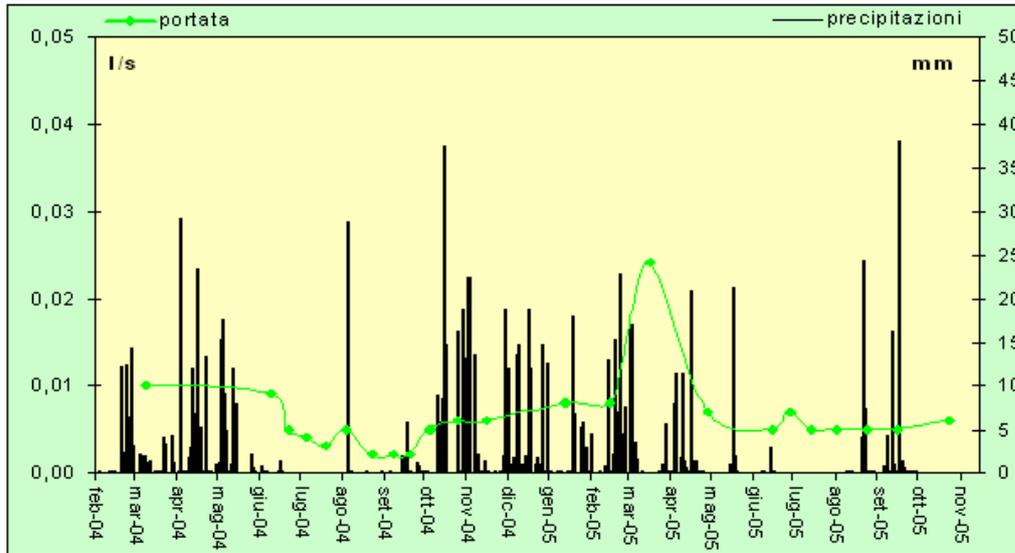


Figura 11.50 - Sorgente S25 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

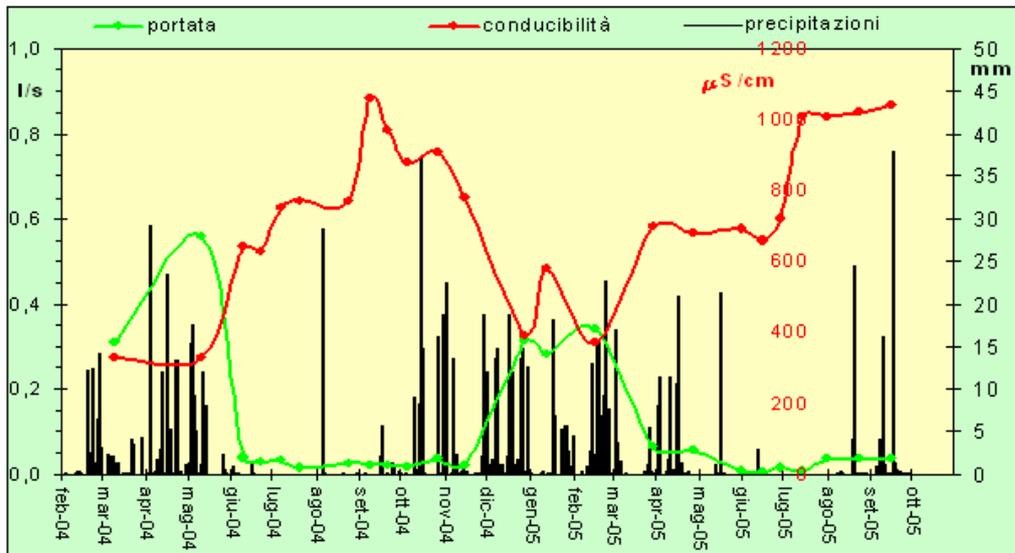


Figura 11.51 - Sorgente S27 (precipitazioni della stazione di Putifigari - SAR)

Il regime delle portate ha, inoltre, permesso di classificare le sorgenti in funzione dell'indice di variabilità  $R_v$  %, che è calcolato mediante la seguente formula:

$$R_v = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{med}}} \%$$

In funzione di  $R_v$  le sorgenti possono essere classificate come:

- sorgenti costanti  $R_v \leq 0,25$ ;
- sorgenti subvariabili  $0,25 \leq R_v \leq 1,00$ ;
- sorgenti variabili  $R_v \geq 1,00$ ;
- sorgenti semiperenni: si estinguono in via di eccezionali periodi siccitosi;
- sorgenti temporanee o discontinue: si estinguono una volta all'anno.

È stata inoltre applicata la classificazione proposta da O. E. Meinzer [1927], che prevede 8 classi in funzione dei valori di portata media, calcolati sull'intero periodo di osservazione.

- Classe 1  $Q_{\text{med}} > 10 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 2  $Q_{\text{med}} 10 \div 1 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 3  $Q_{\text{med}} 1 \div 0,1 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 4  $Q_{\text{med}} 10,1 \div 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 5  $Q_{\text{med}} 0,01 \div 0,001 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 6  $Q_{\text{med}} 0,001 \div 0,0001 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 7  $Q_{\text{med}} 0,0001 \div 0,00001 \text{ m}^3/\text{sec}$ ;
- Classe 8  $Q_{\text{med}} < 0,00001 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Le classificazioni relative alle sorgenti monitorate sono riportate in tabella 11.15.

**Tabella 11.15 - Classificazione in funzione del regime delle portate e delle portate medie delle sorgenti monitorate**

Sorgente	Regime delle portate $R_v$ %	Portata media l/s
S1	variabile	Classe 6 0,781
S3	variabile	Classe 6 0,459
S6	variabile	Classe 6 0,102
S16	sub-variabile	Classe 7 0,030
S17	variabile	Classe 6 0,766
S22	temporanea	Classe 7 0,004
S25	temporanea	Classe 7 0,006
S26	temporanea	Classe 7 0,012
S27	variabile	Classe 7 0,096
S36	temporanea	Classe 7 0,027
S109	variabile	Classe 6 0,601
S118	temporanea	Classe 6 0,147
S123	sub-variabile	Classe 6 0,726
S124	variabile	Classe 5 1,784
S125	variabile	Classe 6 0,230
S126	variabile	Classe 6 0,482

## 11.7 Bilancio idrogeologico e potenzialità degli acquiferi

In generale, le risorse idriche competenti ad una data area, sono costituite dalle precipitazioni efficaci, che equivalgono al deflusso totale. Questo è la somma di due quantità: la risorsa idrica sotterranea e la risorsa idrica superficiale. La quantificazione delle risorse idriche non può prescindere dalla identificazione nello spazio del sistema idrologico (bacino idrografico, bacino idrogeologico, acquifero) e l'intervallo di tempo di riferimento (anno idrologico). Le quantità che compongono il bilancio sono espresse come portate in  $m^3/anno$  o come spessori di lama d'acqua in  $mm/anno$ .

In particolare, quando si effettuano calcoli sulle potenzialità idriche globali di un acquifero e quindi sui volumi totali di acqua potenzialmente disponibili, bisogna tenere inoltre conto di grandezze quali la geometria del serbatoio, la porosità efficace dell'idrostruttura, l'andamento delle piezometriche (min. e max) ecc.. Si parla dunque di riserve permanenti (o riserve geologiche) e riserve regolatrici. Se poi l'acquifero ha spessori importanti, qualora lo si volesse sfruttare in modo intensivo, si dovrebbero mobilitare acque profonde, che potrebbero avere una qualità di base man mano peggiore, con conseguente rischio di degrado quali-quantitativo delle RIS.

Nell'area in studio, gli acquiferi individuati hanno spessori stimati che variano fra i 100 ed 800 m, non si hanno peraltro informazioni dettagliate sulla qualità delle RIS che circolano in profondità e si è anche in presenza di acquiferi costieri, con un reale pericolo d'intrusione marina. Si è deciso dunque, in modo prudenziale, di impostare il calcolo, relativo alla valutazione quantitativa delle RIS, considerando esclusivamente i volumi d'acqua che sono rinnovati mediamente ogni anno e che corrispondono alla ricarica attiva.

La quantificazione della ricarica attiva degli acquiferi costituisce un fattore fondamentale nella pianificazione del corretto sfruttamento delle RIS, soprattutto in funzione delle situazioni di possibile degrado qualitativo e quantitativo. Tale quantificazione necessita comunque di una gran mole di dati rilevati per tempi lunghi, peraltro difficilmente reperibili, che tenga conto sia degli apporti naturali che di quelli artificiali.

Come si è più volte messo in evidenza, per l'area in studio non esistono tutti i dati storici necessari per impostare un bilancio di precisione. In questi casi, la stima delle RIS viene eseguita mediante l'applicazione di metodi inversi, che comunque permettono una valutazione sufficiente a quantificarne l'importanza per eventuali ulteriori approfondimenti.

La metodologia di valutazione, applicata per l'area in studio, si basa sulla tecnica del *bilancio idrogeologico inverso* [Civita et al. 1995], che consiste in un modello numerico implementato nel GIS. In questo modo, la ricarica attiva media annua di un determinato intorno territoriale (una struttura idrogeologica, un acquifero ed un bacino idrogeologico) si calcola partendo dalla piovosità efficace e dalle condizioni idrogeologiche che vengono conglobate nel coefficiente di infiltrazione potenziale, determinato in base alle caratteristiche litologiche superficiali (in caso di assenza di suolo) e/o alle caratteristiche idrauliche del suolo (se questo è potente).

Il calcolo è stato effettuato in ambiente GIS, discretizzando il territorio con un grigliato regolare di celle quadrate ( $250 \times 250$  m) georiferite e realizzando dei tematismi in formato *GRID*, a cui è associato un data base, per ogni singola grandezza considerata per il bilancio.

### 11.7.1 Calcolo dei componenti del bilancio idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico riveste una notevole importanza il calcolo del bilancio e la stima della cosiddetta ricarica attiva media (riserve regolatrici) relativa a ciascuna unità idrogeologica individuata. Per fare questo si è reso necessario elaborare specifici strati informativi relativi alle principali grandezze climatiche ed alle caratteristiche litologiche dell'area in studio.

Il calcolo del bilancio è stato riferito ad un limite fisico ben preciso rappresentato dal bacino idrogeologico che, come è noto, è caratterizzato da spartiacque sotterranei che possono differire da quelli topografici delimitanti il bacino idrografico.

Per la delimitazione del bacino idrogeologico si sono seguiti dei criteri che hanno tenuto conto dei principali lineamenti tettonici e delle curve isopiezometriche, elaborate considerando le quote piezometriche rilevate sui pozzi censiti sia all'interno che all'esterno del bacino idrografico.

Dalla figura 11.52 si possono notare le differenze tra il bacino idrogeologico e quello idrografico.

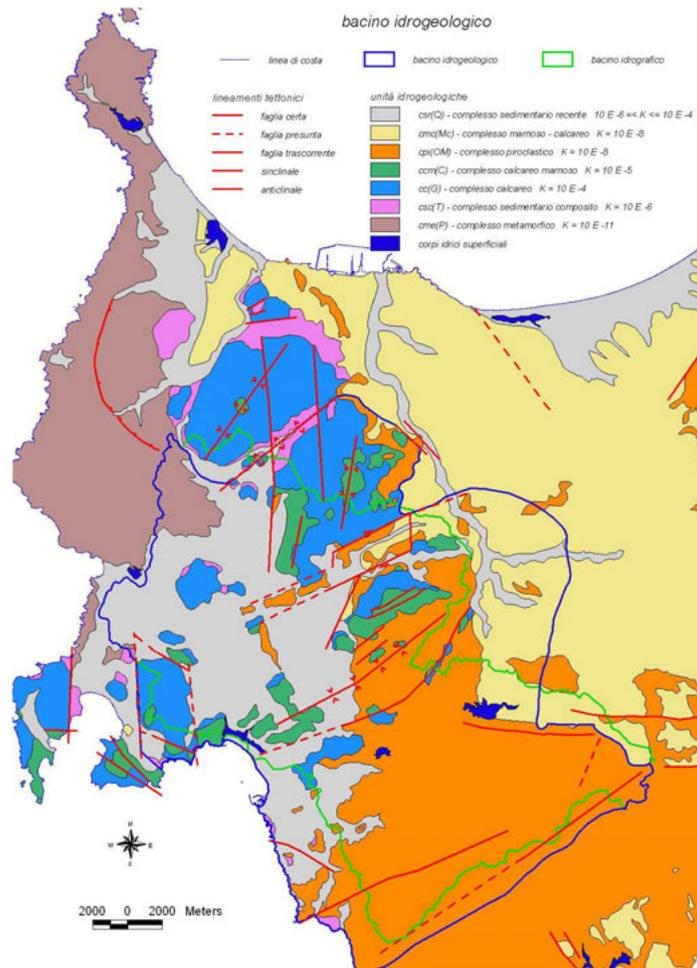
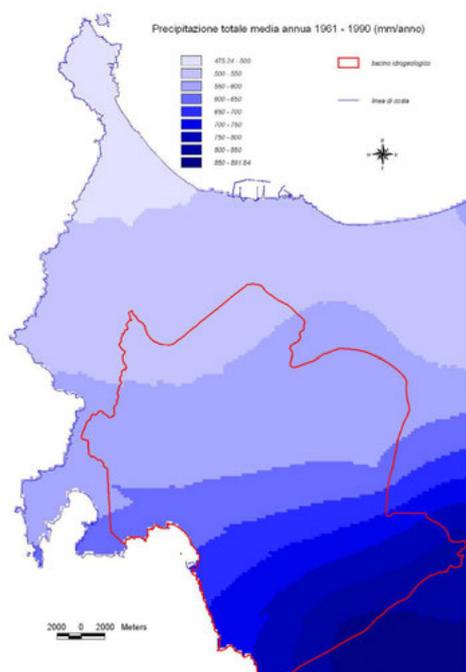


Figura 11.52 - Bacino idrogeologico

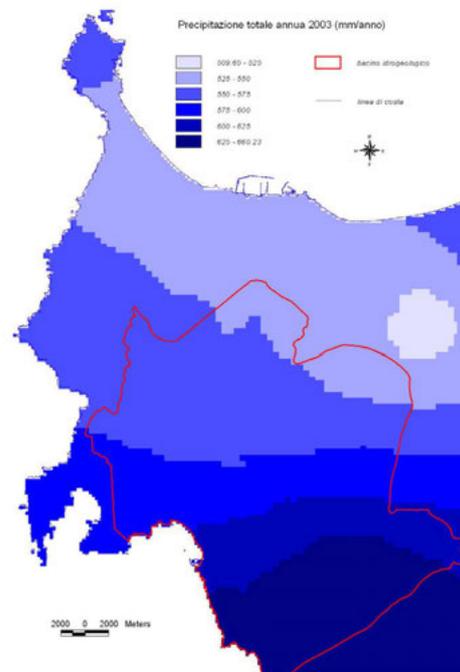
Per il calcolo del bilancio si è partiti dai dati di precipitazione totale media annua e di evapotraspirazione reale media annua, relativi al trentennio climatico di riferimento 1961-1990<sup>1</sup>, al 2003, al 2004 e al 2005. Tali dati sono stati forniti ed elaborati dal S.A.R. (Servizio Agrometeo Regionale-Sardegna); la spazializzazione è stata effettuata considerando celle quadrate con dimensioni di 250 x 250 m.

Nelle figure 11.53 (a,b,c,d) sono riportate le precipitazioni totali annue relative ai diversi periodi sopra citati.

Si può notare come le altezze di pioggia aumentino gradualmente verso sud, nel passaggio dalla piana della Nurra all'altopiano ignimbrico, al crescere della quota topografica, con un gradiente che differisce a seconda del periodo considerato. Nel caso del trentennio, le precipitazioni variano in un *range* più ampio rispetto a quello del 2003 e del 2004; questo è compreso mediamente tra i 475 e i 900 mm/anno.

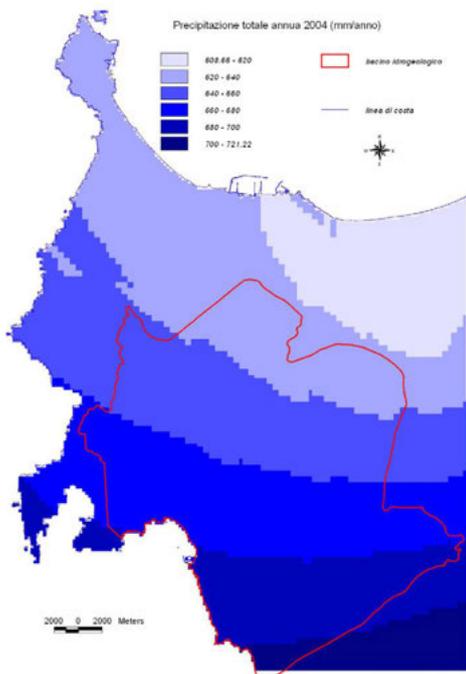


**Figura 11.53a - Precipitazione totale media annua 1961-1990 (mm/anno)**

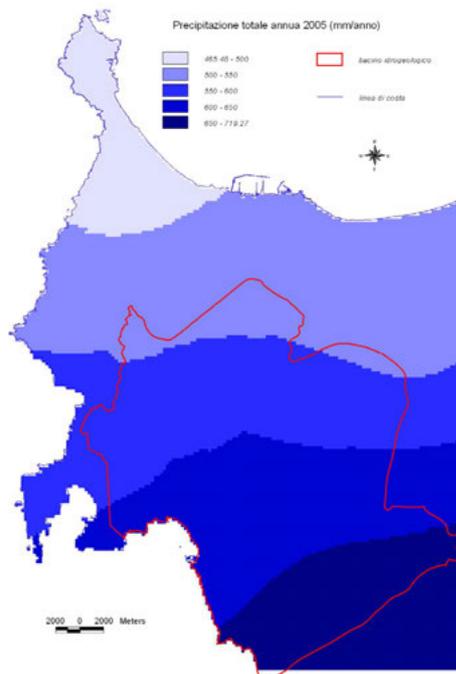


**Figura 11.53b - Precipitazione totale annua 2003 (mm/anno)**

<sup>1</sup> Il periodo preso in considerazione, il 1961-1990, corrisponde al trentennio più recente indicato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO) quale riferimento convenzionale per le analisi ed i confronti climatici [Climatological normals CLINO for the period 1961-1990, pubblicazione del WMO n. 847 del 1996].



**Figura 11.53c - Precipitazione totale annua 2004 (mm/anno)**



**Figura 11.53d - Precipitazione totale annua 2005 (mm/anno)**

In particolare, nel 2003, ma anche nel 2004 e nel 2005, il valore massimo di precipitazione è inferiore rispetto a quello del trentennio, ovvero rispettivamente 660, 721 e 719 mm/anno, mentre i valori minimi, che sono stati sempre registrati nella piana, sono maggiori nel 2003 e nel 2004 (risultano mediamente compresi tra i 509 mm/anno del 2003 ed i 608 mm/anno del 2004); nel 2005 il valore minimo è pari a 465 mm/anno e quindi molto prossimo a quello del trentennio.

Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale è stato utilizzato il metodo di Turc, secondo la relazione seguente:

$$ETr = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0.5}} \quad (\text{mm/anno})$$

in cui

- ETr      evapotraspirazione reale (mm);
- P        precipitazioni medie annue (mm);
- L        funzione della temperatura, dato da:  
 $L = 300 + 25 \times Tc + 0.05 \times Tc^3$
- Tc       temperatura media annua corretta (°C).

Anche nel caso riguardante i valori di evapotraspirazione reale, si può affermare che essi aumentano in corrispondenza dell'altopiano. Come si può osservare nelle figure 11.54 (a,b,c,d) vi sono forti analogie tra la spazializzazione relativa al 2003 e quella riferita al 2004: si notano soltanto delle differenze al centro della piana dove per il 2004 si hanno valori leggermente superiori.

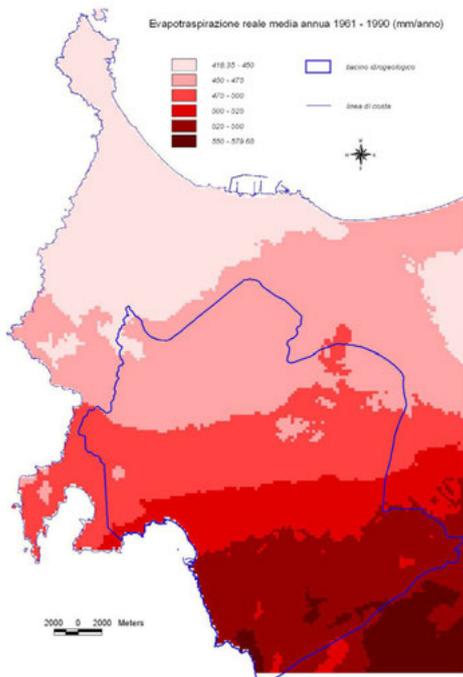
Si discostano un po' da questi andamenti quelli relativi al trentennio 1961-1990 e al 2005, per i quali si ha un range di valori di evapotraspirazione reale più ampio, con quelli minimi in corrispondenza della parte nord-occidentale della piana (418-450 mm/anno per il trentennio e 411-430 mm/anno per il 2005) e quelli massimi a sud del bacino idrogeologico (550-579 mm/anno per il trentennio e 490-516 mm/anno per il 2005).

La precipitazione efficace annua, relativa al trentennio 1961-1990, al 2003, al 2004 ed al 2005 è stata calcolata come differenza tra le precipitazioni annue e l'evapotraspirazione reale. I risultati di questo calcolo sono riportati nelle figure 11.55 (a,b,c,d).

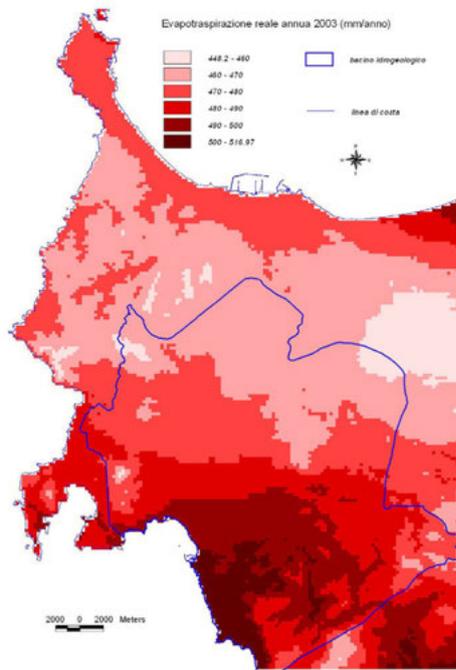
$$Q = P - ET_r \quad (\text{mm/anno})$$

in cui

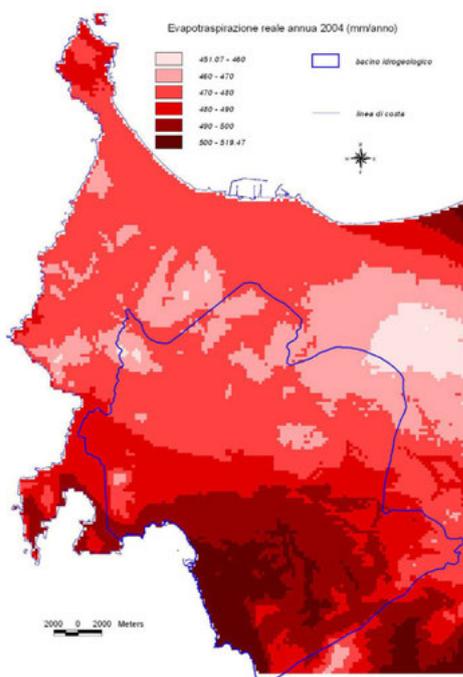
- Q precipitazione efficace annua (mm);
- P precipitazione totale annua (mm);
- ET<sub>r</sub> evapotraspirazione reale annua (mm).



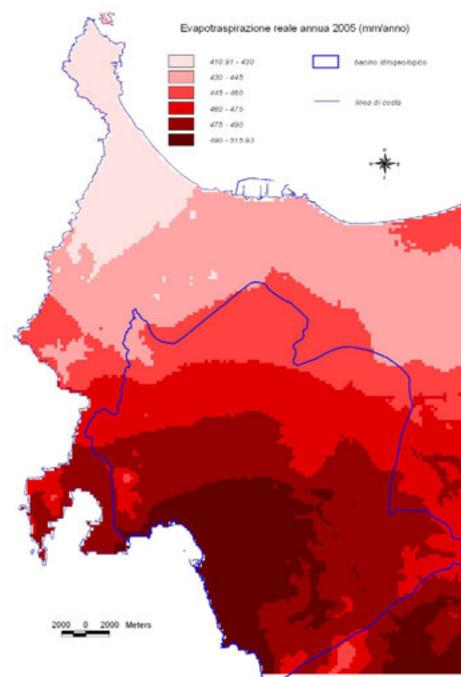
**Figura 11.54a - Evapotraspirazione reale media annua 1961-1990 (mm/anno)**



**Figura 11.54b - Evapotraspirazione reale annua 2003 (mm/anno)**



**Figura 11.54c - Evapotraspirazione reale annua 2004 (mm/anno)**



**Figura 11.54d - Evapotraspirazione reale annua 2005 (mm/anno)**

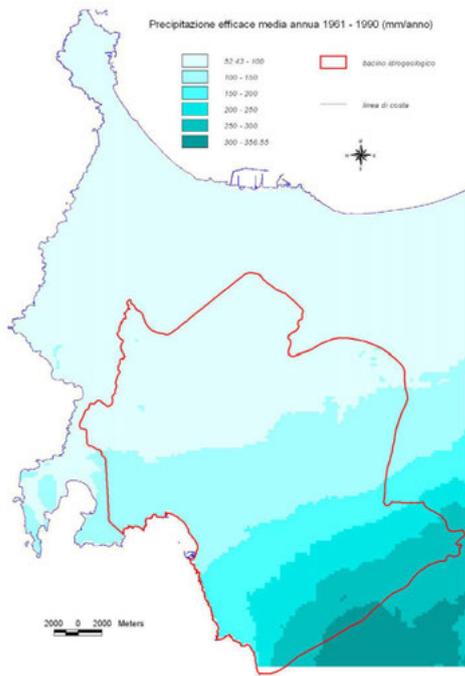
Come del resto era prevedibile, visto i dati di partenza, anche le precipitazioni efficaci assumono i valori maggiori, per i tre periodi di riferimento, in corrispondenza dell'altopiano e quelli minimi nella piana. Nel caso del trentennio, le precipitazioni efficaci nella piana sono comprese tra i 50 e i 200 mm/anno, mentre nel 2003 e nel 2005 non superano i 125 mm/anno.

Diversa è la situazione nel 2004, dove sono più alti i valori minimi: infatti le precipitazioni efficaci variano tra i 150 e i 200 mm/anno.

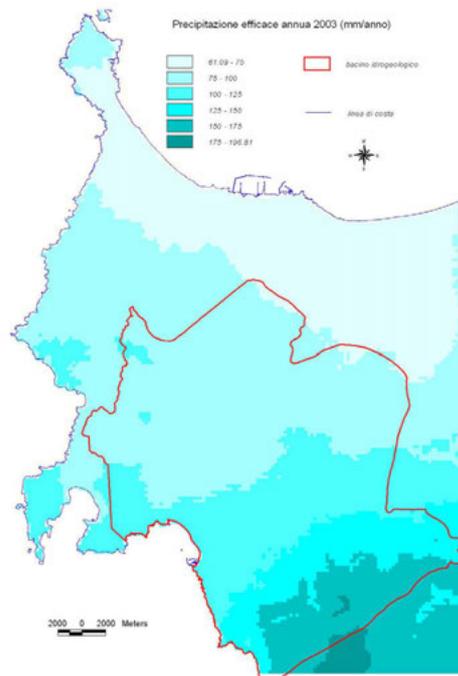
Per quanto riguarda l'altopiano, nel caso del periodo di riferimento 1961-1990, i valori sono compresi tra i 200 e i 350 mm/anno, mentre nel 2003 e nel 2005 variano tra i 125 mm/anno fino a raggiungere circa 200 mm/anno al limite sud del bacino idrogeologico; nel 2004, nella porzione maggiore dell'altopiano, sono compresi tra i 175 e i 200 mm/anno e, solo in prossimità del limite inferiore del bacino, variano tra i 200 e i 225 mm/anno.

Per il calcolo dell'infiltrazione efficace si è fatto riferimento alle metodiche descritte in Civita, 2005.

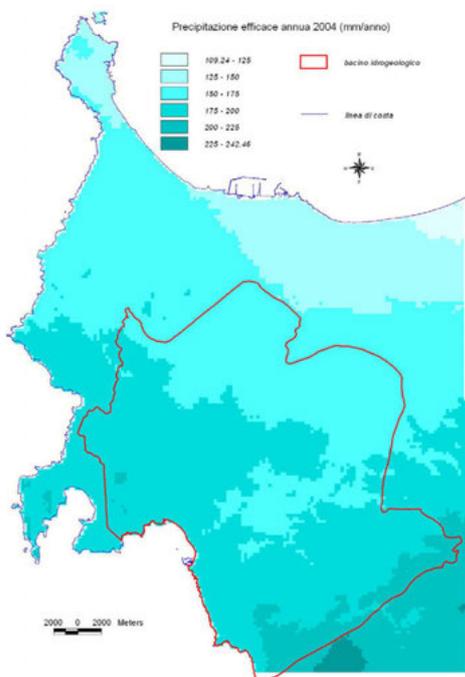
Utilizzando come base la carta idrogeologica si è attribuito un valore del coefficiente di infiltrazione potenziale  $X_i$  per ciascuna unità idrogeologica individuata (figura 11.56). In corrispondenza dei corpi idrici superficiali si è attribuito il coefficiente di infiltrazione potenziale relativo alla litologia sottostante.



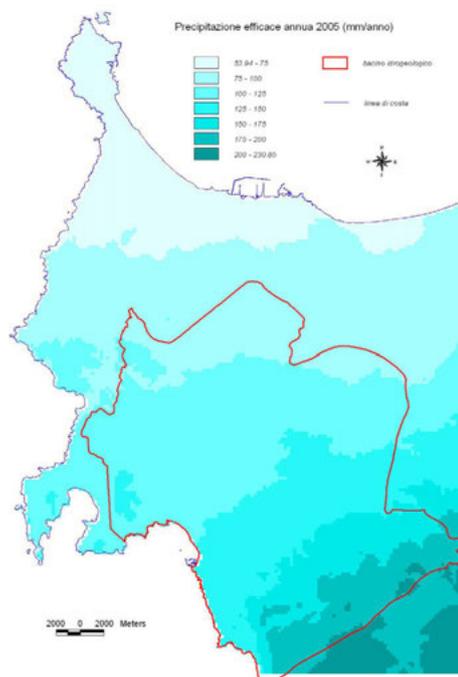
**Figura 11.55a - Precipitazione efficace media annua 1961-1990 (mm/anno)**



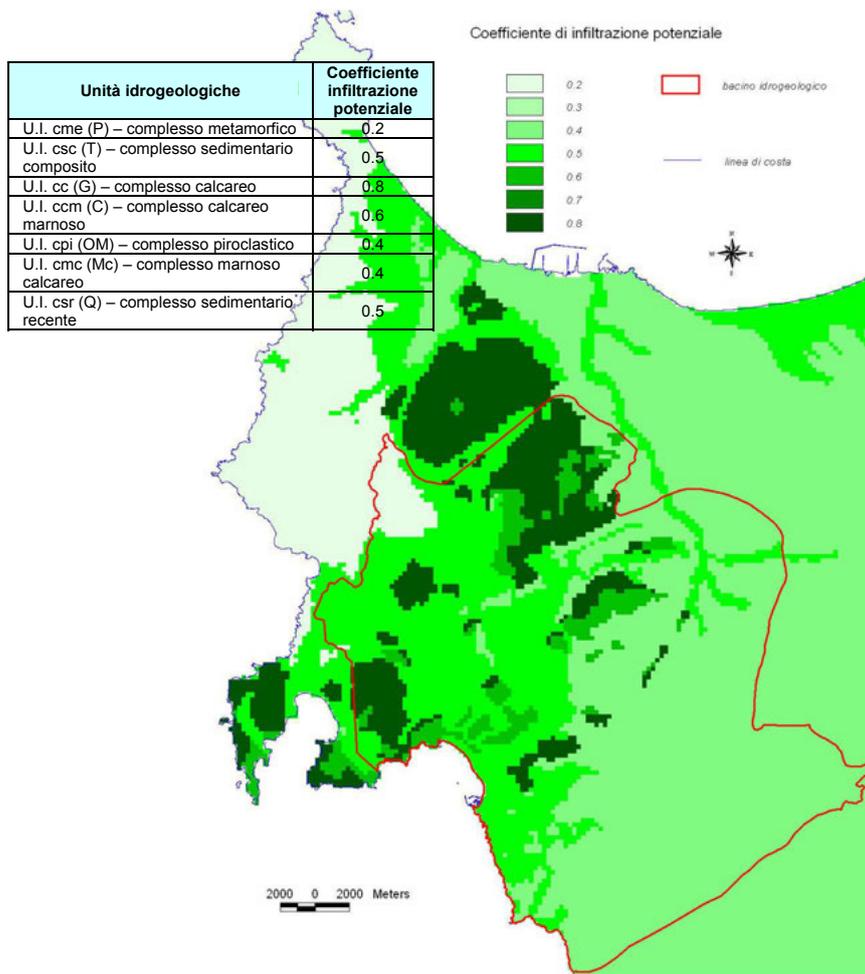
**Figura 11.55b - Precipitazione efficace annua 2003 (mm/anno)**



**Figura 11.55c - Precipitazione efficace annua 2004 (mm/anno)**



**Figura 11.55d - Precipitazione efficace annua 2005 (mm/anno)**



**Figura 11.56 - Coefficienti di infiltrazione potenziale**

Una volta attribuiti i coefficienti di infiltrazione potenziale, si è calcolata l'infiltrazione efficace annua in riferimento al trentennio 1961-1990, al 2003, al 2004 e al 2005, come riportato nelle figure 11.57 (a,b,c,d).

$$I_{eff} = Q \times X_i \quad (\text{mm/anno})$$

in cui

- $I_{eff}$     infiltrazione efficace annua (mm)
- $Q$         precipitazione efficace annua (mm)
- $X_i$         coefficiente di infiltrazione potenziale

Le differenze tra i valori di infiltrazione efficace, relativi ai diversi periodi di riferimento considerati nel nostro studio, sono evidentemente dovute alle variazioni della precipitazione efficace, ovvero dell'unica grandezza variabile, dato che i coefficienti di infiltrazione potenziali dipendono dalle litologie presenti nel bacino idrogeologico. Come scritto in precedenza, nel 2003, nel 2004 e nel 2005, nell'altopiano si è verificata una generale diminuzione delle precipitazioni efficaci rispetto al trentennio di riferimento. Questo ha comportato che anche i valori di infiltrazione efficace abbiano seguito lo stesso andamento.

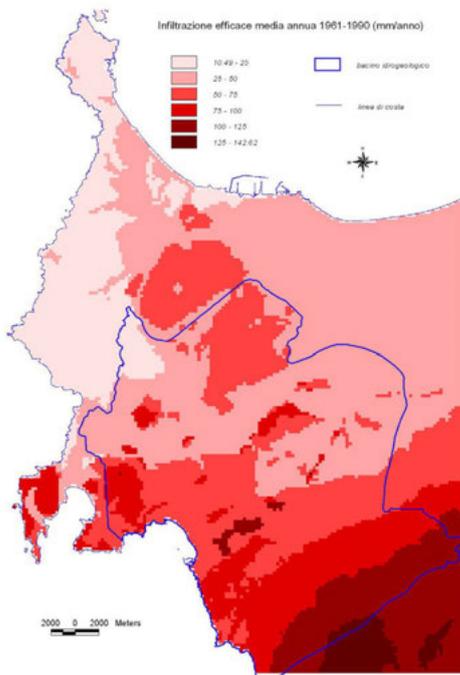
Nelle figure 11.57 (a,b,c,d) si nota che, in corrispondenza dell'altopiano vulcanico, l'infiltrazione efficace varia tra 50 e 140 mm/anno per il trentennio 1961-1990; mentre è compresa tra 40 e 80 mm/anno nel 2003 e nel 2005 e 50 e 100 mm/anno nel 2004. Per quanto riguarda la piana, non vi sono sostanziali differenze tra il trentennio, il 2003 e il 2005; per il 2004, invece, si hanno i valori massimi di infiltrazione efficace, fino a 170 mm/anno circa, verso nord, in corrispondenza degli affioramenti carbonatici del Giura.

Infine, sono stati ricavati i valori dei coefficienti di ruscellamento superficiale  $X_r$ , come complemento a 1 dei rispettivi coefficienti di infiltrazione potenziale (figura 11.58):

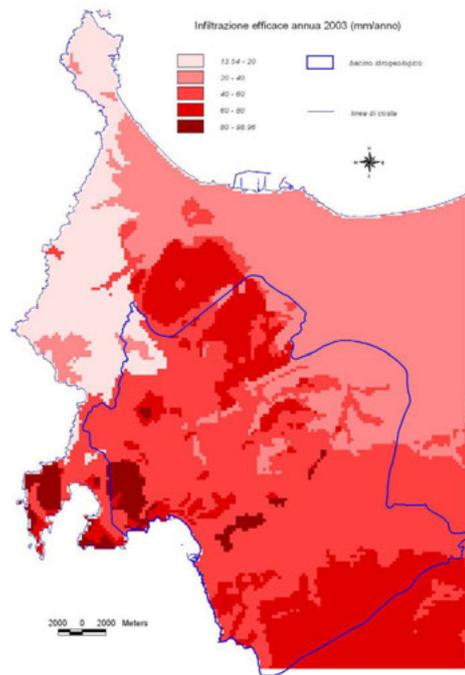
$$X_r = 1 - X_i$$

in cui:

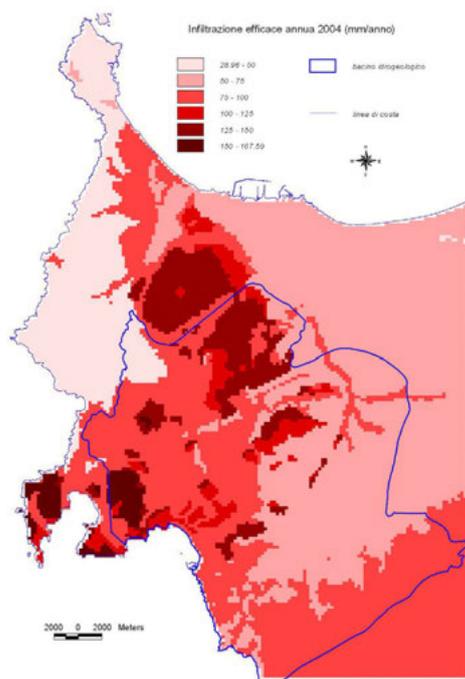
- $X_r$         coefficiente di ruscellamento superficiale;
- $X_i$         coefficiente di infiltrazione potenziale.



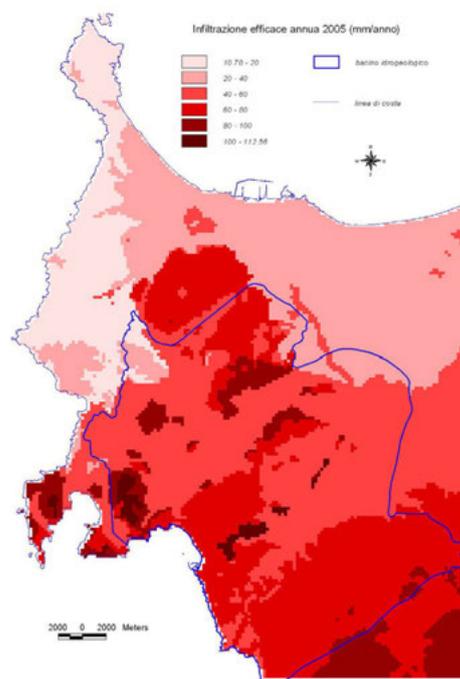
**Figura 11.57a - Infiltrazione efficace media annua 1961-1990 (mm/anno)**



**Figura 11.57b - Infiltrazione efficace annua 2003 (mm/anno)**



**Figura 11.57c - Infiltrazione efficace annua 2004 (mm/anno)**



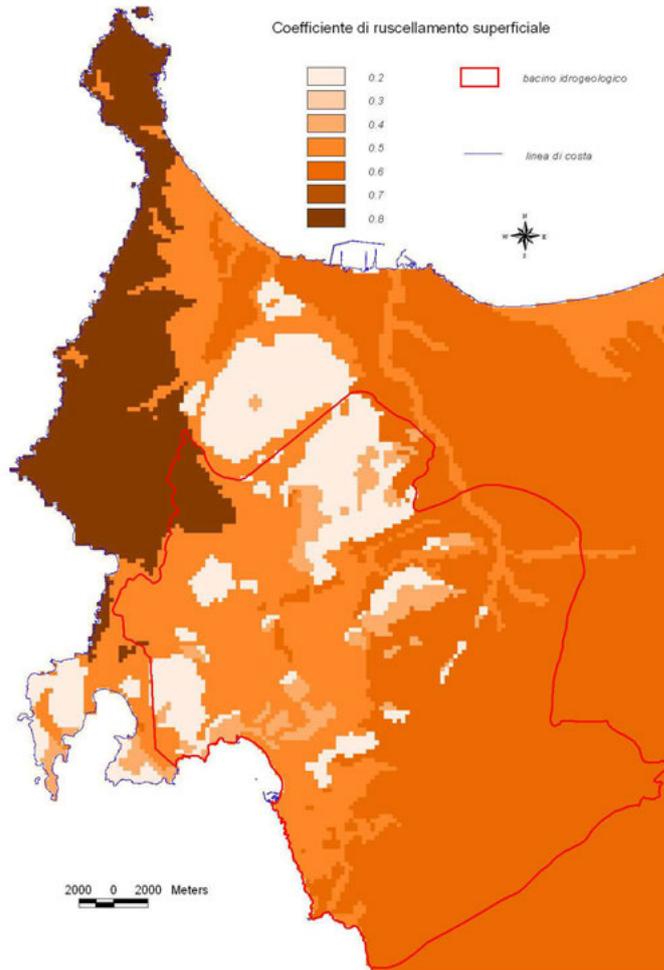
**Figura 11.57d - Infiltrazione efficace annua 2005 (mm/anno)**

Analogamente al calcolo dell'infiltrazione efficace, si è determinato il ruscellamento superficiale annuo relativo al trentennio di riferimento 1961-1990, al 2003, al 2004 e al 2005 con la seguente formula:

$$R = Q \times X_r \quad (\text{mm/anno})$$

in cui

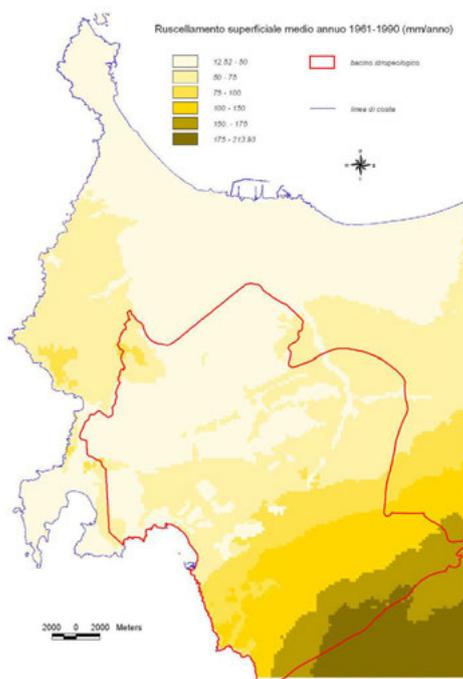
R            ruscellamento superficiale annuo (mm);  
 Q            precipitazione efficace annua (mm);  
 X<sub>r</sub>          coefficiente di ruscellamento superficiale.



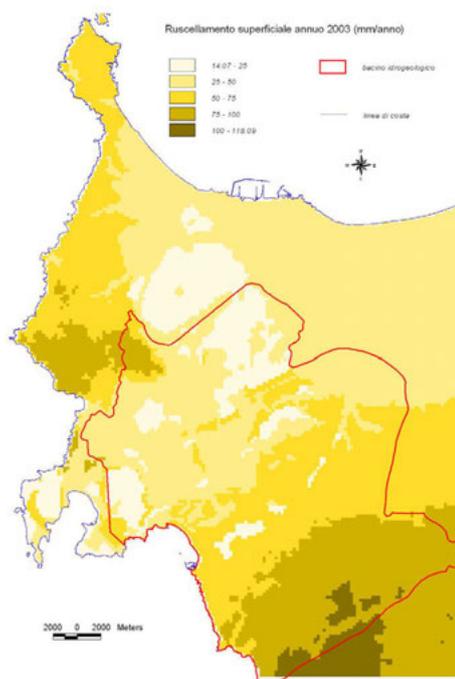
**Figura 11.58 - Coefficiente di ruscellamento superficiale**

Nelle figure 11.59 (a,b,c,d) sono riportati i risultati del calcolo del ruscellamento superficiale relativi ai diversi periodi di riferimento.

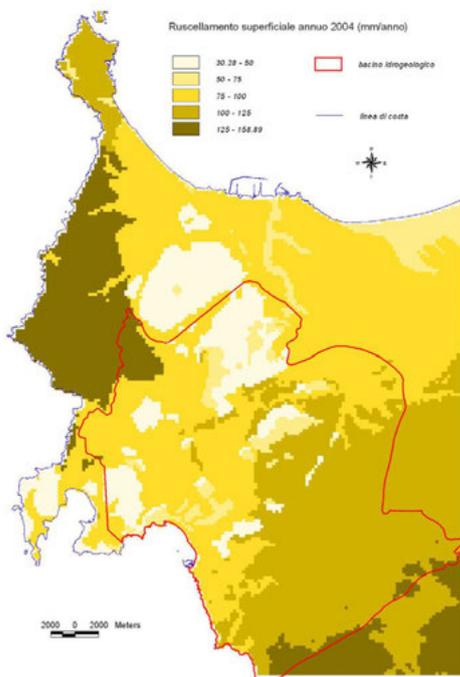
Dalle figure 11.59 (a,b,c,d) possiamo vedere che nella piana, per il trentennio di riferimento, i valori medi annui oscillano tra 12 e 75 mm/anno. Lo stesso *range* di valori si ripete nel 2005, mentre sono generalmente minori per il 2003. Nel 2004, in buona parte della piana, tali valori sono compresi tra 75 e 100 mm/anno, con punte che raggiungono 125 mm/anno verso est. Nell'altopiano, i valori maggiori si hanno per il periodo 1961-1990, i quali oscillano tra 75 e 213 mm/anno. Nel 2003 e nel 2005 si raggiungono mediamente valori, rispettivamente, pari a 120 e 140 mm/anno circa, al limite sud del bacino idrogeologico. Nel 2004 si hanno punte massime pari a circa 160 mm/anno.



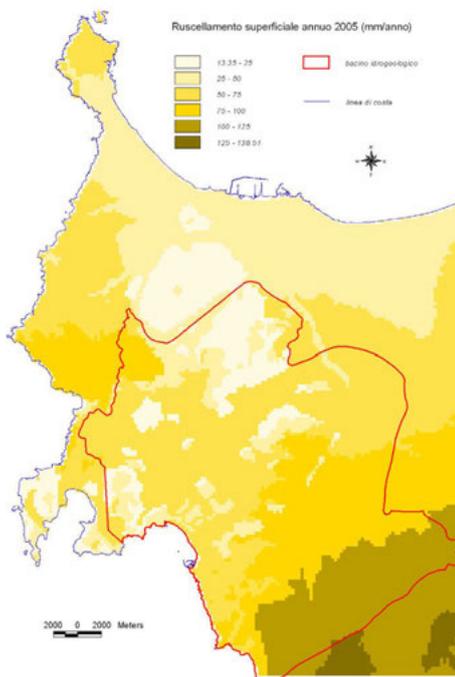
**Figura 11.59a - Ruscamento superficiale medio annuo 1961-1990 (mm/anno)**



**Figura 11.59b - Ruscamento superficiale annuo 2003 (mm/anno)**



**Figura 11.59c - Ruscamento superficiale annuo 2004 (mm/anno)**



**Figura 11.59d - Ruscamento superficiale annuo 2005 (mm/anno)**

Nella tabella 11.16 sono riportati i valori annui, relativi ai diversi periodi di riferimento considerati, degli elementi che sono stati utilizzati per il bilancio.

Si può notare che per ciascuno di essi i valori relativi al 2003 e al 2005, anche se per quest'ultimo in misura minore, sono inferiori rispetto a quelli del trentennio 1961-1990, mentre aumentano nel 2004. L'unica grandezza che rimane praticamente costante è l'evapotraspirazione reale; quelle che invece presentano le maggiori variazioni sono le precipitazioni totali ed efficaci, per le quali nel 2004 si ha un incremento di circa 50 mm/anno rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990.

**Tabella 11.16 - Valori medi annui degli elementi presi in considerazione per il bilancio idrogeologico**

<b>Elementi del bilancio (mm/anno)</b>	<b>1961-1990 (media annua)</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Precipitazione totale	607,24	575,46	652,07	577,67
Evapotraspirazione reale	482,19	475,69	478,87	462,47
Precipitazione efficace	126,34	99,73	173,11	115,43
Infiltrazione efficace	55,28	44,23	77,34	51,38
Ruscellamento superficiale	71,07	55,51	95,77	64,06

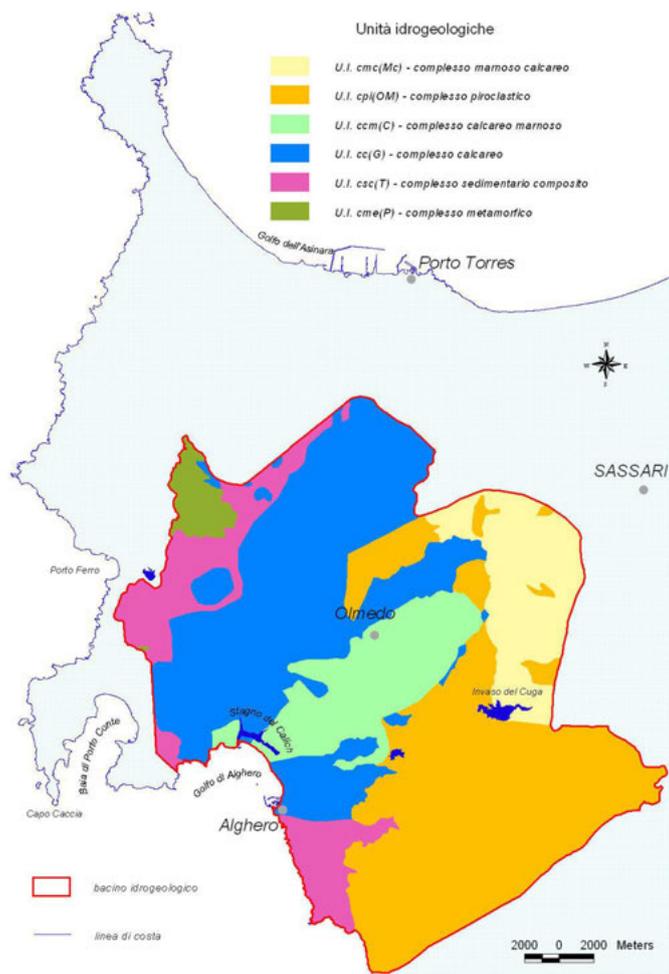
### *11.7.2 Calcolo delle riserve regolatrici*

Uno degli obiettivi di questo lavoro è quello di valutare le riserve regolatrici immagazzinate per ciascuna unità idrogeologica individuata, ovvero i volumi idrici rinnovabili annualmente a seguito del processo di infiltrazione delle acque meteoriche.

Un passaggio fondamentale è stato quello di delimitare, da un punto di vista spaziale, l'estensione planimetrica di ciascuna unità idrogeologica compresa nel bacino idrogeologico individuato.

Il modello spaziale è stato elaborato sulla base di tutti i dati acquisiti durante la fase sperimentale del progetto. In particolare sono state fondamentali le elaborazioni effettuate incrociando i dati stratigrafici con i rilievi geologico-strutturali di terreno e quelli relativi alle prospezioni geofisiche. Tutti questi sono stati integrati dai rilievi idrogeologici, che hanno permesso di ricostruire sia le direzioni di flusso delle acque sotterranee che gli spartiacque sotterranei. Ulteriore conferma si è avuta dal modello idrogeochimico, che ha sostanzialmente convalidato il modello concettuale e le aree di ricarica degli acquiferi.

In figura 11.60 è rappresentata la distribuzione spaziale delle varie unità idrogeologiche all'interno del bacino idrogeologico.



**Figura 11.60 - Distribuzione spaziale delle unità idrogeologiche**

In caso di sovrapposizione di più acquiferi si è considerato quello di maggior importanza dal punto di vista idrogeologico.

La procedura di calcolo delle riserve regolatrici è stata eseguita in ambiente GIS, mediante tecniche di overlay mapping. Come già specificato, i tematismi di base e quelli derivati sono in formato *GRID* con celle quadre 250 x 250 m di lato.

Nelle figure 11.61 (a,b,c,d) sono rappresentati i risultati del calcolo, per i diversi periodi di riferimento, relativi ai volumi, espressi in m<sup>3</sup>, delle riserve regolatrici per ciascuna cella appartenente ad ogni unità idrogeologica.

Mediante questa procedura è possibile, oltre a valutare i volumi di acqua sotterranea rinnovabili annualmente, stimare la ricarica media degli acquiferi per unità di superficie.

Nella tabella 11.17 sono riportati i volumi totali annui delle riserve regolatrici, per ciascuna unità idrogeologica, relativamente al trentennio di riferimento 1961-1990, al 2003, al 2004 e al 2005.

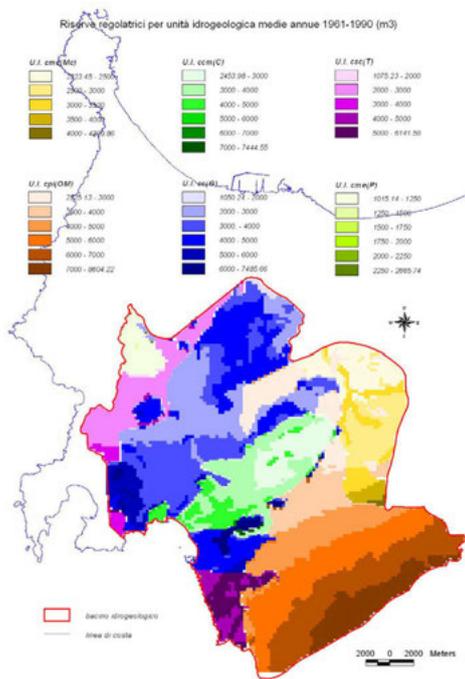


Figura11.61a - Riserve regolatrici medie annue per unità idrogeologica 1961-1990 (m<sup>3</sup>)

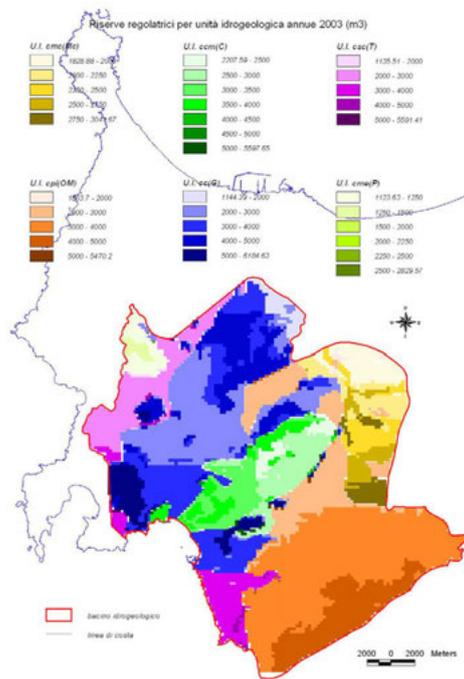


Figura 11.61b - Riserve regolatrici per unità idrogeologica 2003 (m<sup>3</sup>)

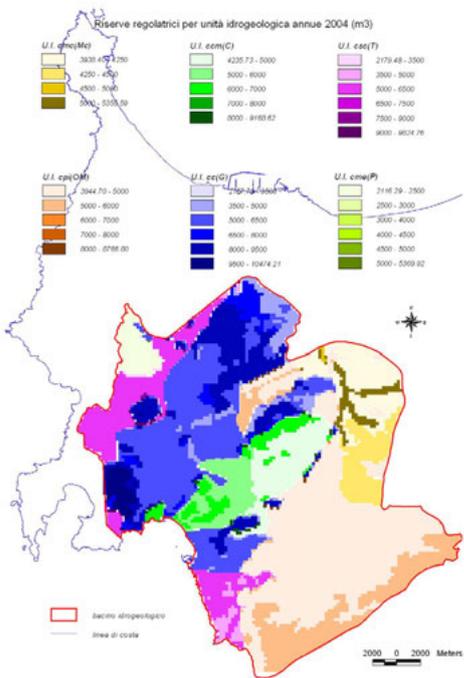


Figura11.61c - Riserve regolatrici per unità idrogeologica 2004 (m<sup>3</sup>)

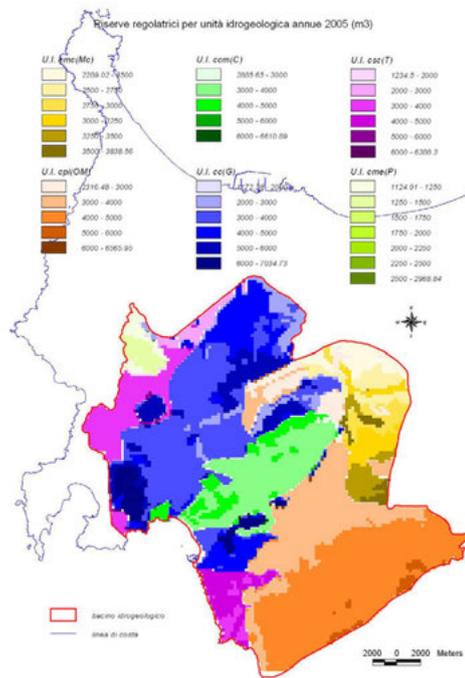


Figura11.61d - Riserve regolatrici per unità idrogeologica 2005 (m<sup>3</sup>)

**Tabella 11.17 - Riserve regolatrici, espresse in m<sup>3</sup>, per ciascuna unità idrogeologica relative ai periodi di riferimento**

Unità idrogeologiche	1961-1990	2003	2004	2005
cme(P) - complesso metamorfico	228739,86	246706,84	458094,29	266366,82
csc(T) - complesso sedimentario composito	3473303,32	3001686,45	5279983,34	3403945,29
cc(G) - complesso calcareo	11264766,24	10525715,24	19713341,58	12379228,44
ccm(C) - complesso calcareo marnoso	3650683,44	3200106,01	5572788,44	3884339,54
cpi(OM) - complesso piroclastico	16577742,40	10815989,50	14990298,22	12870855,76
cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	2664432,15	219042,66	4144197,43	2809941,15

Come si può notare le riserve regolatrici più cospicue sono quelle relative all'unità del Giura e dell'Oligo-Miocene, in virtù anche della loro maggiore estensione areale.

Se analizziamo i valori in funzione dei periodi temporali di riferimento, notiamo che, rispetto al trentennio 1961-1990, le riserve diminuiscono nel 2003 per tutte le unità idrogeologiche, poiché tale periodo è caratterizzato in generale da minori valori di precipitazione efficace e quindi anche di infiltrazione efficace. Invece, nel 2004 le riserve s'incrementano, rispetto al trentennio, di circa il 50% per l'unità del Trias, del Cretaceo e del Miocene, del 75% per quella del Giura e del 100% per l'unità del Paleozoico; mentre per l'unità dell'Oligo-Miocene si ha un decremento di circa il 10%. Questo è giustificato in quanto, come già sottolineato in precedenza, rispetto al trentennio, nel 2004 le infiltrazioni efficaci sono maggiori nella piana, con i valori più elevati in corrispondenza degli affioramenti del Giura, mentre sono inferiori sull'altopiano ignimbrico dell'Oligo-Miocene. Nel 2005 le riserve, sostanzialmente, non si discostano da quelle stimate per il trentennio, ad eccezione dell'unità dell'Oligo-Miocene per la quale si ha un decremento del 20%, sempre dovuto alla riduzione dei valori di infiltrazione efficace in corrispondenza dell'altopiano ignimbrico.

In conclusione, in tabella 11.18 e nelle figure 11.62 (a,b,c,d) sono riportate le riserve regolatrici totali per tutto il bacino idrogeologico, relative ai tre periodi di riferimento.

**Tabella 11.18 - Riserve regolatrici totali relative ai tre periodi di riferimento**

Periodo	Riserve regolatrici nel bacino idrogeologico (m <sup>3</sup> )
1961-1990	37932413,92
2003	30065157,17
2004	50309425,02
2005	35626865,46

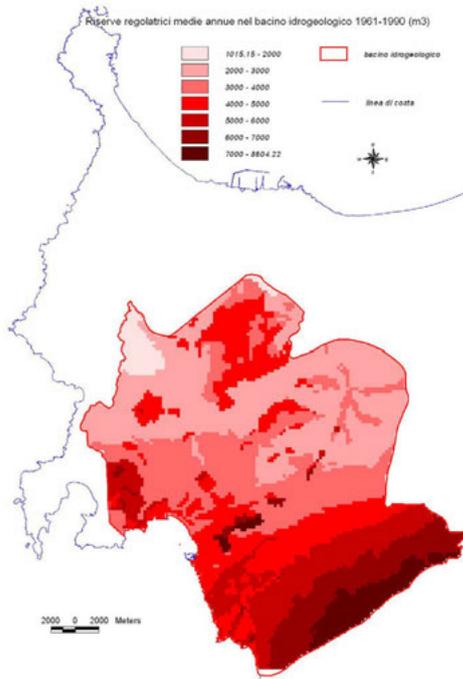


Figura 11.62a - Riserve regolatrici medie annue nel bacino idrogeologico 1961-1990 (m<sup>3</sup>)

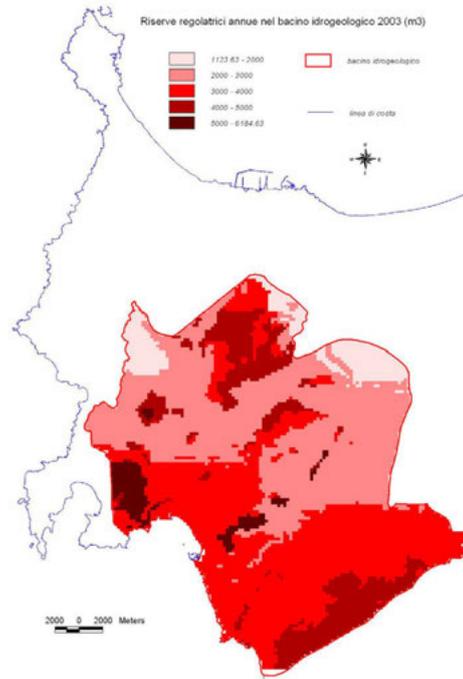


Figura 11.62b - Riserve regolatrici annue nel bacino idrogeologico 2003 (m<sup>3</sup>)

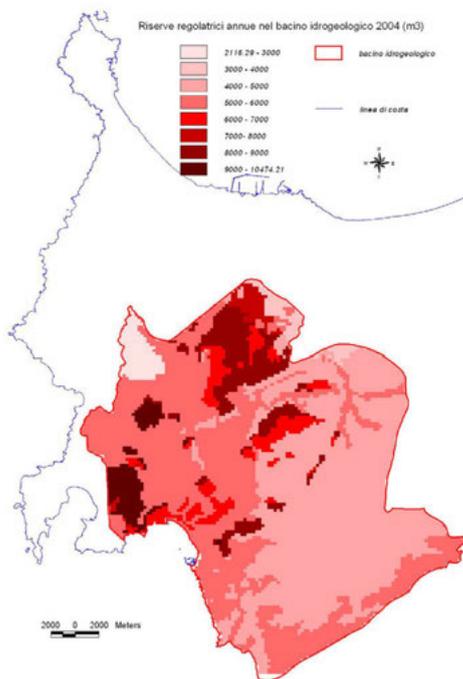


Figura 11.62c - Riserve regolatrici annue nel bacino idrogeologico 2004 (m<sup>3</sup>)

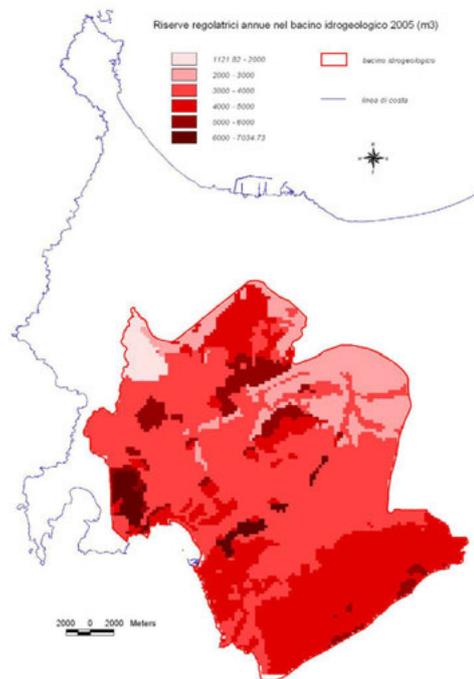


Figura 11.62d - Riserve regolatrici annue nel bacino idrogeologico 2005 (m<sup>3</sup>)

Si vuole inoltre precisare che i volumi relativi alle riserve regolatrici, valutate per l'area in studio, non rappresentano in realtà il totale delle risorse idriche sotterranee disponibili, in quanto non sono stati considerati i volumi totali, ovvero la geometria spaziale degli acquiferi.

Tale approccio prudenziale è dettato dal fatto che, allo stato attuale, non sono conosciuti con precisione i parametri idrogeologici ed idrogeochimici che condizionano la circolazione di acque profonde in termini di produttività e qualità.

### 11.7.3 Rendimento unitario medio degli acquiferi

Il rendimento unitario medio di un acquifero, espresso in m<sup>3</sup>/anno per km<sup>2</sup>, è stato calcolato attraverso la formula:

$$R_a \text{ (m}^3\text{/a)} / A_a \text{ (km}^2\text{)}$$

dove:

R<sub>a</sub> rappresenta la ricarica attiva (riserve regolatrici);

A<sub>a</sub> rappresenta la superficie affiorante dell'acquifero.

Nella tabella 11.19 sono riportati i valori, dei tre periodi considerati, del rendimento unitario medio per ogni acquifero appartenente al bacino idrogeologico in studio.

**Tabella 11.19 - Rendimento unitario medio degli acquiferi**

Unità idrogeologiche	Sup. affiorante (km <sup>2</sup> )	Rendimento unitario medio (m <sup>3</sup> /anno per km <sup>2</sup> )			
		1961-1990	2003	2004	2005
cme(P) - complesso metamorfico	13,12	17.434,44	18.803,88	34.915,72	20.296,05
csc(T) - complesso sedimentario composito	59,83	58.052,87	50.170,26	88.249,76	56.895,09
cc(G) - complesso calcareo	188,76	59.677,72	55.762,42	104.436,01	65.582,52
ccm(C) - complesso calcareo marnoso	64,52	56.582,20	49.598,67	86.373,04	60.206,81
cpi(OM) - complesso piroclastico	199,53	83.083,96	54.207,33	75.128,04	64.504,85
cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	60,34	44.156,98	36.394,48	68.680,77	46.568,71

#### 11.7.4 Verifica del ruscellamento superficiale stimato con il ruscellamento superficiale misurato

Al fine di validare il modello di calcolo applicato nell'area in studio, sono state fatte delle verifiche con i dati sperimentali rilevati strumentalmente sulle sezioni chiusura dei sottobacini monitorati. Così come descritto nel Capitolo 8, i dati relativi al monitoraggio dei deflussi superficiali, coprono un intervallo di tempo relativo ad un unico anno: da dicembre 2004 a novembre del 2005.

Nelle tabelle 11.20 e 11.21 sono riportate le portate misurate nelle sezioni di chiusura, rispettivamente, del sottobacino *Aeroporto* e *Cuga*.

Dopo aver calcolato la portata media annua espressa in m<sup>3</sup>/anno, per ciascun sottobacino, è stato possibile determinare il ruscellamento superficiale annuo come rapporto tra la portata media annua e l'area della superficie del sottobacino (tabella 11.22).

Nelle tabelle 11.23 e 11.24 sono riportati i valori medi, massimi e minimi, espressi in mm/anno, del ruscellamento superficiale annuo stimati per i due sottobacini *Aeroporto* e *Cuga* relativamente ai diversi periodi temporali di riferimento.

**Tabella 11.20 - Portate misurate nella sezione di chiusura del sottobacino *Aeroporto***

Giorno	Livello (m)	Velocità (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> /s)
13/12/2004	0,7836	0,0218	0,86196	0,018790728
10/01/2005	0,8440	0,1660	0,87406	0,145093960
07/02/2005	0,8050	0,2614	0,88550	0,231469700
15/03/2005	0,7946	0,2456	0,87406	0,214669136
06/04/2005	0,7542	0,1924	0,82962	0,159618888
23/05/2005	0,5551	0,1036	0,61061	0,063259196
24/06/2005	0,5684	0,0858	0,62524	0,053645592
28/07/2005	0,5070	0,00		0,00
02/07/2005	0,5100	0,00		0,00

**Tabella 11.21 - Portate misurate nella sezione di chiusura del sottobacino *Cuga***

Giorno	Livello (m)	Velocità (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> /s)
13/12/2004	0,4396	0,4046	0,80459	0,325591770
10/01/2005	0,2833	0,3970	0,51850	0,062416420
07/02/2005	0,2220	0,1270	0,40626	0,059138051
15/03/2005	0,2761	0,4991	0,50536	0,247113346
06/04/2005	0,3060	0,3758	0,55998	0,210347886
23/05/2005				
24/06/2005	0,1833	0,0047	0,33550	0,007224840
28/07/2005	0,1700	0,00	0,31110	0,00
02/07/2005	0,1600	0,00	0,29280	0,00

**Tabella 11.22 - Ruscaldamento superficiale annuo misurato nei sottobacini *Aeroporto* e *Cuga***

Sotto bacino	Periodo misure portate	Portata media (m <sup>3</sup> /s)	Portata media (m <sup>3</sup> /anno)	Area sottobacino (km <sup>2</sup> )	Ruscell. sup. (mm/anno)
Aeroporto	13/12/2004 - 02/07/2005	0,127	3994021,79	54,71	73,00
Cuga	13/12/2004 - 02/07/2005	0,152	4792590,64	91,67	52,28

**Tabella 11.23 - Ruscaldamento superficiale medio, massimo e minimo annuo stimato nel sottobacino *Aeroporto***

Periodo di riferimento	Ruscell.sup medio (mm/anno)	Ruscell.sup max (mm/anno)	Ruscell.sup min (mm/anno)
trentennio 1961-1990	37,53	80,24	15,90
2003	40,63	88,78	16,57
2004	75,32	152,71	32,53
2005	43,13	92,17	17,84

**Tabella 11.24 - Ruscaldamento superficiale medio, massimo e minimo annuo stimato nel sottobacino *Cuga***

Periodo di riferimento	Ruscell. sup. medio (mm/anno)	Ruscell. sup. max (mm/anno)	Ruscell. sup. min (mm/anno)
trentennio 1961-1990	119,12	180,48	24,62
2003	81,32	108,01	21,11
2004	109,70	132,04	34,17
2005	94,55	122,03	25,43

Allo stato attuale, gli scostamenti di valori misurati e stimati sono sicuramente da attribuire ad alcuni fattori di indeterminazione. Per esempio, poiché non è stato possibile avere un dato misurato e registrato in continuo sulle sezioni di monitoraggio delle acque superficiali, sicuramente non sono stati considerati nel calcolo alcuni valori di portata relativi ai periodi di piena. L'arco temporale in cui sono state eseguite le misure sperimentali delle portate è estremamente ridotto, per cui non risulta essere rappresentativo. Dunque la taratura e la validazione dei calcoli avrebbe sicuramente bisogno di un set di dati storici, che attualmente non si dispone.

Si può comunque affermare che il calcolo relativo alle riserve regolatrici sia da considerarsi con un buon grado di precisione e sia, altresì, da ritenersi valido in termini di ordine di grandezza.

Per quanto riguarda i prelievi delle acque sotterranee non è stato possibile effettuare delle stime di dettaglio in quanto, come già scritto, non è stato possibile censire tutti i pozzi presenti nell'area; i quali, peraltro, risultano abusivi per circa l'80% e quindi anche privi di contatori di misura.

## **CAPITOLO 12 VULNERABILITÀ E RISCHIO POTENZIALE D'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI**

### **12.1 Introduzione**

La tutela delle acque, in Italia, viene attualmente contemplata dal decreto legislativo 152/99 che, in seguito alle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000 n° 258 [Gazzetta Ufficiale 2000], definisce la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee, perseguendo come obiettivi la prevenzione, la riduzione dell'inquinamento ed il risanamento dei corpi idrici inquinati, il miglioramento dello stato delle acque e la protezione di quelle destinate a particolari usi (articolo 1, comma 1).

Il decreto recepisce, tra le altre, la Direttiva 91/676/CEE, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, in cui si rileva che i nitrati così originati sono la causa principale dell'inquinamento derivante da fonti diffuse e che, per tutelare la salute umana e le risorse ambientali, nonché per salvaguardare gli usi legittimi dell'acqua, è necessario ridurre ed impedire tale inquinamento idrico. In questa ottica, diviene fondamentale la decisione di prendere provvedimenti sull'uso in agricoltura, sull'accumulo nel terreno di composti azotati e su alcune prassi riguardanti le pratiche agricole. Il recepimento a livello nazionale di tale direttiva, come detto, avviene attraverso il D.Lgs 152/99, che a sua volta attribuisce alle regioni (art. 19) diversi compiti, fra cui quello di designare le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola. La designazione deriva da valutazioni preliminari secondo quanto riportato nell'allegato 7 del decreto.

In Sardegna, è in corso, dal 2002, con coordinamento a cura dell'Ass. Difesa Ambiente, il monitoraggio della qualità delle acque previsto dal D.Lgs.152/99 attraverso il Piano di Tutela delle Acque. Attualmente la rete di monitoraggio regionale delle acque sotterranee, istituita nel 2003, consta di 53 postazioni, distribuite sui 37 complessi acquiferi considerati dal Piano significativi. Inoltre, sono state definite, a scala regionale, la vulnerabilità intrinseca e le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola: queste valutazioni necessiterebbero però di ulteriori approfondimenti.

La Regione Sardegna riporta nella Delibera di Giunta Regionale n. 1/12 del 18.01.2005 lo stato di attuazione della Direttiva 91/676/CEE, secondo quanto indicato dal D.Lgs 152/99. In particolare, viene descritto come, oltre all'individuazione delle zone vulnerabili, debba essere delineato il Programma d'Azione (P.A.), mediante l'applicazione del codice di buona pratica agricola e il successivo programma di monitoraggio della qualità dei corpi idrici al fine di verificarne l'efficacia.

Nello specifico, il Programma d'Azione deve contenere: periodi di divieto di spandimento di fertilizzanti; capacità di stoccaggio per effluenti di allevamento; limitazioni dell'applicazione al terreno di fertilizzanti secondo il Codice di Buona Pratica Agricola e con il rispetto del limite di 170 kg/ha/anno di azoto (N) da effluente zootecnico.

Nella Delibera di Giunta Regionale (n. 1/12 del 18.01.2005), allegato A, viene scritto:

*le considerazioni relative alla Vulnerazione dovuta ai contenuti in nitrati rilevati nelle analisi chimiche delle acque sotterranee, alla Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi ed alla Vulnerabilità legata ai carichi potenziali di nitrati del comparto agricolo e zootecnico permettono, nel loro insieme, di individuare situazioni pericolose per le acque sotterranee. Sono comprese porzioni di territorio occupate dai seguenti complessi acquiferi: Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano, in particolare la Piana di Arborea; Acquifero dei Carbonati Mesozoici della Nurra; Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Cixerri; Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Marina di Sorso; Acquifero delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche del Logudoro. Come riportato nella Delibera, questi sono risultati parziali, che necessitano di indagini di maggior dettaglio. Comunque in generale, il decreto ha delle finalità positive che però sono perseguite con una certa rigidità, derivanti da un'impostazione basata sulle esigenze e sulle caratteristiche dei sistemi agricoli settentrionali e nord-europei, che nelle nostre condizioni rischiano, probabilmente, di non produrre gli effetti desiderati. Inoltre, il Piano di Tutela delle Acque, allo stato attuale, è uno studio a carattere regionale e quindi non di dettaglio.*

In quest'ottica nasce la necessità di approfondire la conoscenza sulla risposta territoriale di metodi che, caratterizzati da una facile applicazione e ricalcando fedelmente l'approccio del D.Lgs 152/99, consentano di indicare gli acquiferi vulnerabili all'inquinamento e le aree a maggior rischio potenziale relativamente all'inquinamento da nitrati. Questo potrebbe risultare particolarmente utile agli enti preposti alla gestione e alla pianificazione territoriale, nonché nelle attività di monitoraggio dei corpi idrici.

Nell'ambito del progetto RIADE, grazie anche al buon dettaglio di informazioni territoriali acquisite, sono stati applicati dei modelli previsionali per la valutazione di fenomeni di inquinamento e, quindi, di degrado qualitativo delle RIS. Questi sono: il modello SINTACS, per la valutazione della vulnerabilità intrinseca ed integrata all'inquinamento degli acquiferi e il metodo sperimentale IPNOA, in grado di definire in maniera più precisa il pericolo d'inquinamento da nitrati di origine agro-zootecnico proveniente da sorgenti diffuse.

## **12.2 La valutazione della vulnerabilità intrinseca ed integrata all'inquinamento degli acquiferi: il modello SINTACS**

### **12.2.1 Generalità**

La protezione delle acque sotterranee presuppone approfondite conoscenze della circolazione idrica nel sottosuolo e della qualità delle acque, le quali sono proprie dell'idrologia, dell'idrogeologia, della geochimica, dell'idrochimica e della microbiologia. È quindi materia specialistica, ma di grande rilevanza sociale. I casi di inquinamento, che si vanno ripetendo con frequenza sempre crescente, man mano che i controlli si fanno più assidui ed approfonditi, dimostrano che solo un'attenta vigilanza, associata ad una politica del territorio sensibile alle esigenze di tutela, può prevenire il degrado degli acquiferi e quindi, indirettamente, offrire sicurezza di approvvigionamento idropotabile alla collettività.

Le fonti di potenziale inquinamento sono di dimensioni e di densità sempre crescenti, non solo rispetto ai secoli passati, allorché la dispersione di liquami urbani nel sottosuolo era frequentemente causa di disastrose epidemie, ma anche rispetto a qualche decina di anni fa, cioè prima dell'ultimo sviluppo produttivo del paese.

La stessa ubicazione dei centri produttivi, avvenuta più sulla base di criteri socio-economici che ambientali, fa crescere il grado di rischio, che, associato ad una elevata vulnerabilità del territorio, richiederebbe una più attenta visione pianificatoria o, quanto meno, più sofisticati sistemi di attenuazione e prevenzione.

Di seguito, per chiarezza, vengono riportate alcune definizioni fondamentali:

- *inquinamento idrico*: s'intende l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze che possono causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque, tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi;
- *vulnerabilità delle acque sotterranee*: indica la facilità con cui le stesse possono essere interessate da fenomeni di inquinamento causati da interventi antropici, mediante infiltrazione o percolazione di inquinanti (inquinanti);
- *Carta della Vulnerabilità Intrinseca ed Integrata all'Inquinamento*: rappresenta la suscettività specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un contaminante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo. La suscettività specifica può evolversi dinamicamente e, seppur entro certi limiti, può variare in seguito a mutamenti ambientali che, il più delle volte, vengono apportati dall'uomo, con l'apertura di cave, interventi sui corsi d'acqua, sfruttamento delle falde ecc.

### 12.2.2 Il modello di calcolo SINTACS

Nell'ambito delle ricerche sulla prevenzione dall'inquinamento delle acque sotterranee si sono evoluti, negli anni '80, diversi metodi di valutazione e di rappresentazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi, quali GOD [Foster 1987; Foster e Hirata 1988] e DRASTIC [Aller et al. 1985], che hanno dimostrato però la loro scarsa adattabilità a situazioni complesse. Pertanto, agli inizi degli anni '90, fu iniziata una ricerca e una sperimentazione per la messa a punto di un nuovo metodo costituito da un sistema a punteggi e pesi, denominato SINTACS [Civita 2000]. In origine questo, era strutturato in maniera simile a DRASTIC e pur mantenendo in parte le stesse caratteristiche, è andato via via differenziandosi con il tempo.

Nella metodica, la vulnerabilità è definita sulla base di una ricostruzione litostratigrafica ed idrogeologica del sottosuolo e dipende perciò principalmente dalla permeabilità e dallo spessore dei materiali sovrastanti gli acquiferi, nonché dal tipo di circolazione idrica (permeabilità per fessurazione, per carsismo e per porosità) e dalle modalità della sua alimentazione. Inoltre, SINTACS è un metodo recepito dalla normativa europea e nazionale (D.Lgs.152/99) ed è quello che più si adatta alle realtà idrogeologiche, climatiche e d'impatto che si riscontrano sul territorio italiano.

I vantaggi dell'utilizzo dei metodi parametrici sono numerosi: la maggiore riproducibilità del risultato, la possibilità di confronto tra situazioni idrogeologiche anche notevolmente diverse e la *standardizzazione* dei parametri presi in esame. I metodi parametrici sono, quindi, particolarmente adatti alla costruzione di carte a basso denominatore di scala.

Va però specificato che i metodi parametrici come SINTACS hanno lo *svantaggio* di richiedere una base-dati idrogeologica notevole, quindi, sono applicabili solo dopo una indagine idrogeologica particolarmente approfondita o in aree in cui siano già disponibili banche dati geologiche-idrogeologiche sufficientemente complete. L'elaborazione della vulnerabilità intrinseca viene in seguito sovrapposta con le informazioni relative alla presenza antropica; ovvero attraverso il censimento di una serie di rilievi sull'uso reale del territorio che, di fatto, comprendono tutte le trasformazioni che l'uomo ha imposto e impone alla superficie del suolo e nel sottosuolo più immediato. Alcune di queste sono classificate come produttori reali e potenziali di inquinamento: si tratta dei centri di pericolo (cdp) o fonti, puntuali o non puntuali, dai quali è potenzialmente generato un impatto tale da compromettere la qualità di base delle acque sotterranee soggiacenti.

La metodica SINTACS prevede l'individuazione di due tipi di vulnerabilità:

- intrinseca o naturale, in funzione delle caratteristiche intrinseche del territorio;
- integrata o indotta, anche in funzione dei fattori antropici (cdp).

Il metodo consiste essenzialmente nella valutazione quantitativa, commutata in un punteggio, di una serie di parametri d'ingresso e in una serie di pesi moltiplicatori che consentono di amplificare l'importanza che si vuole dare ai singoli parametri. Grazie alla strutturazione a parametri e pesi, è possibile distinguere diverse situazioni idrogeologiche e d'impatto, in una valutazione indicativa del grado di vulnerabilità di un sito: questo consente comparazioni tra situazioni molto diverse, anche distanti fra loro, così da offrire indicazioni facilmente interpretabili dalle Pubbliche Amministrazioni.

Gli areali di riferimento possono essere scelti, in funzione della scala operativa e/o del grado di precisione, in celle quadrate, anche di diversa dimensione, per ognuna delle quali si valuta il valore del parametro d'ingresso.

Il metodo prevede la determinazione e la quantificazione dei seguenti sette parametri<sup>2</sup>:

- Soggiacenza
- Infiltrazione efficace
- effetto di autodepurazione del Non saturo
- Tipologia della copertura
- caratteristiche idrogeologiche dell'Acquifero
- Conducibilità idraulica (del mezzo saturo)
- acclività della Superficie topografica.

*La Soggiacenza* è la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano di campagna. A parità di condizioni idrogeologiche dell'insaturo, da essa (cioè dal suo valore assoluto e dalle sue caratteristiche idrogeologiche) dipende il tempo di transito, di un contaminante idrovesicolato, dalla superficie all'acquifero e quindi la durata delle azioni di autodepurazione e attenuazione fra le quali, in particolare, l'azione ossidante dell'atmosfera.

---

<sup>2</sup> Le iniziali dei sette parametri (S-I-N-C-T-A-S) danno l'acronimo al sistema di calcolo della vulnerabilità.

*L'Infiltrazione efficace* regge il trascinarsi in profondità dei contaminanti e la loro diluizione, nell'insaturo e nella zona di saturazione. Il parametro dipende da fattori meteorologici (piovosità e temperatura), antropici (eventuali pratiche irrigue) e da fattori geomorfologici e idrogeologici che sono conglobati nel cosiddetto indice di infiltrazione. Quest'ultimo è determinato in base alle caratteristiche del suolo oppure, in assenza di un suolo significativo, in base alla litologia superficiale.

*L'effetto di autodepurazione del Non saturo.* La zona insatura è quella compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero ed in essa avvengono gli spostamenti prevalentemente verticali dell'acqua. Nel caso di acquiferi artesiani, si prende in considerazione l'intervallo tra la base del suolo e la base del livello confinante superiore. All'interno dello spessore insaturo, fattori fisici (filtrazione e dispersione in particolare) e chimici (reattività chimica dei minerali componenti e processi di biodegradazione e volatilizzazione) operano in sinergia favorendo i processi di attenuazione.

*La Tipologia della copertura.* Il suolo riveste un ruolo importante nella mitigazione dell'impatto di un eventuale inquinante: al suo interno si esplicano processi che possono attenuare l'importanza dell'impatto.

*Le caratteristiche dell'Acquifero.* Si considera acquifero la zona di saturazione all'interno di un determinato complesso idrogeologico e si prendono in considerazione i processi (dispersione, diluizione, assorbimento e reattività chimica) che avvengono al di sotto della superficie piezometrica. Il parametro descrive quindi il comportamento di un contaminante liquido o idrovesicolato quando, dopo aver superato le due *linee di difesa* costituite dalla copertura e dall'insaturo, ha raggiunto la zona satura e si mescola con l'acqua sotterranea per defluire verso i punti di recapito.

*La Conducibilità idraulica* è la capacità di spostamento, attraverso il mezzo saturo, dell'acqua di falda e quindi anche di un contaminante che non ne alteri troppo le caratteristiche di densità.

*L'acclività della Superficie topografica* incide sulla vulnerabilità intrinseca perché da essa dipende la velocità di spostamento e la quantità d'acqua piovana che, a parità di precipitazione, è soggetta a ruscellamento. La metodica SINTACS attribuisce punteggi elevati alle celle con pendenza media e bassi alle aree a forte pendenza.

Per ciascun parametro, attraverso l'uso di appositi diagrammi di confronto, viene assegnato un punteggio, variabile da 1 a 10, crescente con la vulnerabilità.

I punteggi, relativi ai sette parametri cartografati, sono in seguito moltiplicati per un peso correlato a situazioni ambientali e/o antropiche dell'area. In particolare, il sistema SINTACS prevede cinque situazioni ambientali (tabella 12.1), a cui è possibile attribuire il peso correttivo.

**Tabella 12.1 - Stringhe di pesi moltiplicatori previste da SINTACS**

Parametro	Impatto normale	Impatto rilevante	Drenaggio	Carsismo	Fessurato
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	3	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	3	2	2	5	4

In effetti, le linee di pesi sono un potente strumento che permette di modellare la metodologia alla situazione effettiva identificata (scenario), esaltando l'importanza di alcuni parametri rispetto ad altri, ma lasciando un ben calibrato spazio decisionale che va speso sulla base di attente sintesi dei dati e delle osservazioni di campagna [Civita 2000].

La prima stringa, impatto normale, riunisce tutte quelle situazioni, collegate in genere ad aree a scarso gradiente topografico, con insaturo composto prevalentemente da rocce permeabili, ove non sussistono particolari situazioni di impatto antropico e con utilizzo reale del territorio contenuto e scarsamente trasformato. Si tratta di aree sterili, incolte o con colture spontanee o che, comunque, non richiedono uso di fitofarmaci, concimi chimici, se non eccezionalmente e/o in dosi modeste, né pratiche irrigue.

La linea di pesi impatto rilevante serve a modellare situazioni territoriali che favoriscono impatti importanti da fonti diffuse di inquinamento potenziale. Si tratta di territori morfologicamente adatti ad antropizzazione estensiva, con colture che prevedono abbondanti trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici e spargimento di liquami; aree a discarica incontrollata, lagoni, vasche di dispersione, oleodotti e collettori fognari; aree industriali attive e dismesse, aree urbanizzate e assimilabili.

Per le aree soggette a drenaggio è stato identificato uno scenario particolare ove avviene un continuo o, comunque, frequente drenaggio da corpi idrici superficiali a quelli sotterranei soggiacenti. Questa linea di pesi è stata calibrata fondamentalmente sulla forte riduzione, se non sull'annullamento, della soggiacenza, in corrispondenza dei punti (o delle zone) nei quali può sussistere un collegamento tra acquifero e reticolo drenante superficiale, sia naturale che artificiale. Tali zone devono comprendere, oltre alle parti direttamente connesse al suddetto reticolo, le aree abitualmente esondabili dai corsi d'acqua in regime di piena e le aree soggette a esondazione frequente; le aree di irrigazione con grandi volumi d'acqua; le aree di affioramento, continuo o periodico, della superficie piezometrica libera (stagni, paludi). La quarta stringa, carsismo, individua zone ove sussistono condizioni di carsismo profondo e completo. Si tratta di aree estesamente carsificate in superficie ed in profondità, con collegamenti rapidissimi tra superficie e acquifero attraverso punti di perdita dei dreni superficiali, pozzi carsici, inghiottitoi ecc.

La stringa fessurato è applicata ove il sistema idrogeologico è costituito, in prevalenza, da rocce permeabili per fessurazione, non carsificate. In questo tipo di scenario il ruscellamento superficiale può essere scarso in assenza di suolo. I tempi di transito, anche se rilevanti nei primi metri di insaturo, si abbassano e si uniformano in profondità in funzione della conducibilità idraulica dell'insaturo prima e poi del saturo.

### 12.2.3 L'indice di vulnerabilità SINTACS

La determinazione finale dell'indice di vulnerabilità intrinseca SINTACS risulta dalla sommatoria del prodotto dei singoli punteggi per i diversi pesi, secondo la relazione:

$$I_{SINTACS} = \sum_{i=1}^{n=7} (\text{punteggioparametro}_j * \text{peso}_{js})$$

L'indice complessivo può assumere valori compresi tra 26 e 260; tuttavia per la standardizzazione del dato ottenuto, tale scala viene normalizzata a 100:

$$IS_{NO} = \frac{IS_{GR} - IS_{MIN}}{IS_{MAX} - IS_{MIN}} \times 100$$

dove  $IS_{NO}$  è l'indice normalizzato mentre  $IS_{MAX}$  e  $IS_{MIN}$  sono, rispettivamente, i valori massimo e minimo dell'Indice SINTACS grezzo, ossia 260 e 26.

In tabella 12.2 viene riportata la classificazione ufficiale suddivisa per gradi di vulnerabilità.

**Tabella 12.2 - Classi di vulnerabilità previste dal metodo SINTACS**

Classi di vulnerabilità	Intervallo SINTACS grezzo	Intervallo SINTACS normalizzato
Bassissima (Bb)	0-80	0-24
Bassa (B)	81-105	25-35
Media (M)	106-140	36-49
Alta (A)	141-186	50-69
Elevata (E)	187-210	70-79
Elevatissima (Ee)	211-260	80-100

La vulnerabilità intrinseca è dunque un concetto esprimibile grazie ad un indice numerico che consente una valutazione semi-quantitativa sufficientemente oggettiva. La Carta fornisce indicazioni utili per quanto riguarda possibili interventi per il monitoraggio, per la prevenzione di episodi d'inquinamento e per la salvaguardia delle acque sotterranee, fornendo anche una prima valutazione generale del *rischio potenziale*. In tabella 12.3 è associato al grado di vulnerabilità il significato operativo della valutazione.

**Tabella 12.3 - Legenda ufficiale della metodica SINTACS**

	Grado di vulnerabilità	Significato
	Ee - Estremamente elevato	Area vulnerabile alla maggior parte degli inquinanti in varie condizioni di rilascio nell'ambiente; impatto sull'acquifero praticamente immediato
	E - Elevato	Area vulnerabile alla maggior parte degli inquinanti in varie condizioni di rilascio nell'ambiente; impatto sull'acquifero piuttosto rapido
	A - Alto	Area vulnerabile a molti inquinanti, eccetto quelli meno mobili e meno conservativi, in varie condizioni di rilascio nell'ambiente
	M - Medio	Area vulnerabile a molti inquinanti solo se rilasciati nell'ambiente con continuità ed in dosi massicce
	B - Basso	Area vulnerabile solo ad inquinanti conservativi rilasciati nell'ambiente con continuità ed in dosi massicce
	Bb - Estremamente basso	Presenza di una copertura ad elevato potere di confinamento con circolazione idrica praticamente assente

La vulnerabilità integrata viene rappresentata dalla sovrapposizione della vulnerabilità intrinseca con i centri di pericolo (cdp). Questi sono definiti come le attività antropiche che possono generare un impatto negativo sull'ambiente. Dunque la vulnerabilità integrata indica la suscettibilità all'inquinamento considerando anche la presenza di possibili fonti di contaminazione derivanti da attività antropiche, distinte per ubicazione, distribuzione areale e tipologia.

### **12.3 La vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi dell'area in studio**

La caratterizzazione idrogeologica dell'area in studio è stata già descritta nei Capitoli precedenti, soprattutto in funzione dei reciproci rapporti fra i diversi acquiferi riconosciuti. Dunque, il modello SINTACS è stato applicato, sulla scorta del modello idrogeologico concettuale, agli acquiferi soggiacenti, che risultano essere, teoricamente e potenzialmente, estremamente vulnerabili ad ogni sorta di inquinamento. La valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi assume un significato operativo quando è applicata all'acquifero soggiacente.

In particolare, si è assunto che l'acquifero ospitato nei sedimenti quaternari, poiché ha una modesta importanza, in quanto poco spesso, scarsamente produttivo e geometricamente non continuo, sia idraulicamente connesso con il sistema carbonatico mesozoico. Le elaborazioni dei parametri ed il calcolo finale SINTACS vengono riportati di seguito e rappresentati cartograficamente nell'Allegato 3.

#### **12.3.1 Discretizzazione dell'area**

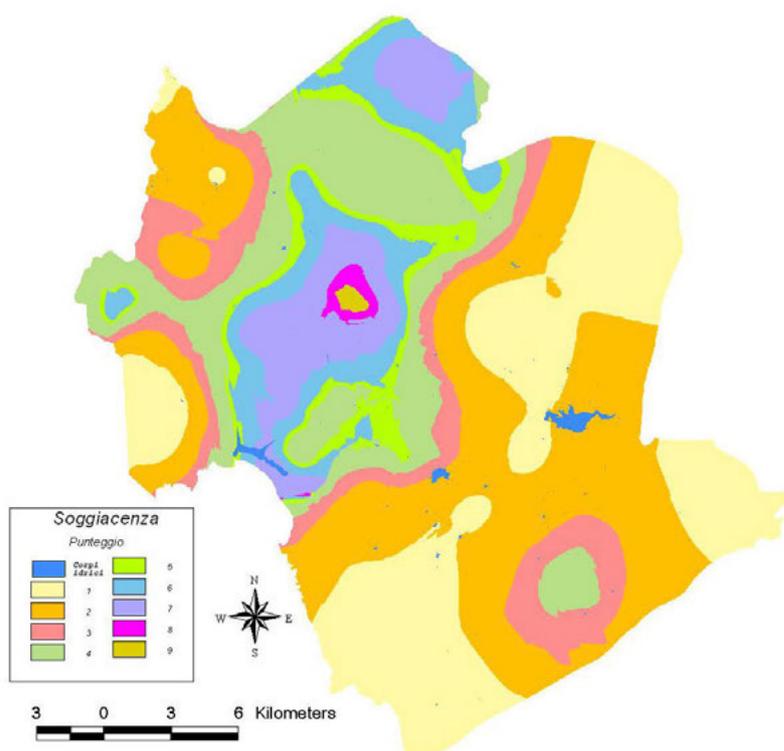
Poiché il dettaglio delle informazioni acquisite durante il Progetto, necessarie per l'applicazione del modello SINTACS, sono di buon dettaglio, la zona in esame è stata discretizzata con una griglia a maglie regolari quadrate, con celle di 25 m di lato. Per ogni cella sono stati determinati i valori di ciascuno dei 7 parametri, che sono poi stati convertiti in punteggi SINTACS e i valori associati alla situazione idrogeologica d'impatto.

Tutte le elaborazioni sono state eseguite in ambiente GIS ed i tematismi sono stati convertiti in formato *grid*, in modo da avere per ogni cella un valore del relativo parametro.

#### **12.3.2 Parametri SINTACS**

##### *Soggiacenza*

Questo parametro è stato ottenuto prendendo in considerazione la quota piezometrica massima misurata durante il monitoraggio, relativo al periodo che va dal 21/10/2003 al 30/06/2005, sui 123 pozzi, distribuiti nei 6 complessi idrogeologici identificati nel bacino idrogeologico. Per la spazializzazione è stato necessario aggiungere, alla rete di monitoraggio iniziale, 55 pozzi fittizi, prevalentemente ubicati nelle zone di bordo del bacino idrogeologico e/o dove non si avevano punti di misura, a cui sono stati attribuiti valori di quota piezometrica media. In figura 12.1 è riportato il tematismo soggiacenza. Le classi di punteggio relative, espresse in metri dal p.c., sono riportate in tabella 12.4.



**Figura 12.1 - Parametro soggiacenza**

**Tabella 12.4 - Intervallo di soggiacenza e relativi punteggi assegnati**

Intervallo di soggiacenza (m da p.c.)	Punteggio SINTACS
0 – 2	10
2 – 3	9
3 – 4	8
4 – 7	7
7 – 9	6
9 – 10	5
10 – 16	4
16 – 25	3
25 – 55	2
> 55	1

### *Infiltrazione*

Il parametro equivale alla piovosità efficace (ricarica attiva media) e alle condizioni idrogeologiche superficiali, che vengono conglobate nel coefficiente di infiltrazione potenziale ( $\chi$ ).

I valori di precipitazione efficace derivano dai dati forniti dal SAR e sono relativi alla media trentennale climatica di riferimento. I è stata valutata mediante la seguente formula:

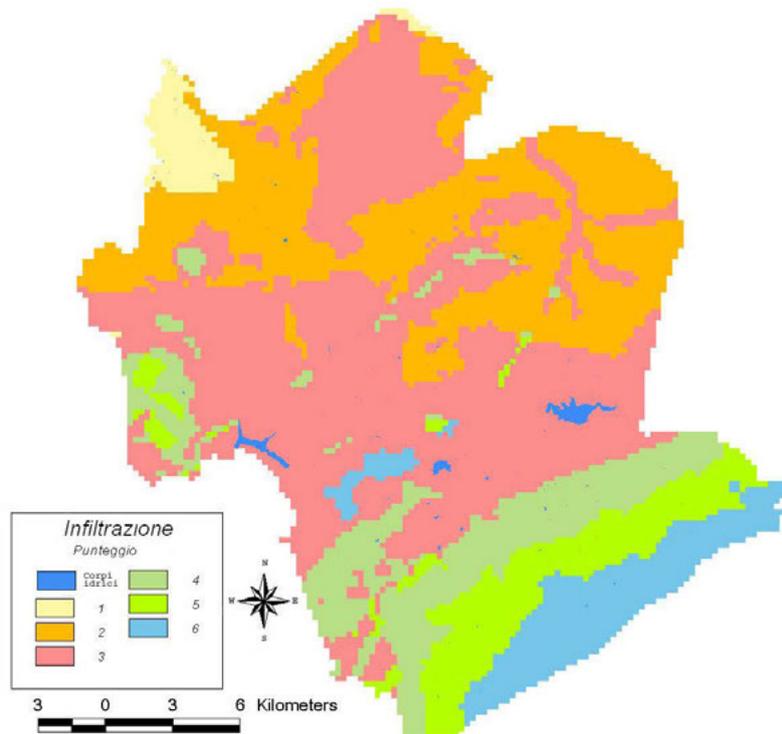
$$\bar{I} = \bar{Q} \cdot \chi \text{ (mm/a)}$$

dove:

$\bar{Q}$  rappresenta il valore delle precipitazioni efficaci medie;

$\chi$  rappresenta l'indice di infiltrazione potenziale, ricavato da valori riportati in letteratura, in funzione dei complessi idrogeologici presenti nella zona. Per il dettaglio di questo calcolo si rimanda al Capitolo 11, relativo al bilancio idrogeologico.

Una volta ottenuto il valore del parametro, si è ricavato il relativo punteggio SINTACS (tabella 12.5). In figura 12.2 è riportato il tematismo Infiltrazione.



**Figura 12.2 - Parametro Infiltrazione**

**Tabella 12.5 - Intervalli di ricarica attiva e relativi punteggi**

<b>Intervallo di ricarica attiva (mm/anno)</b>	<b>Punteggio SINTACS</b>
16-35	1
35-55	2
55-80	3
80-95	4
95-115	5
115-137	6

*Effetto autodepurante del non-saturo*

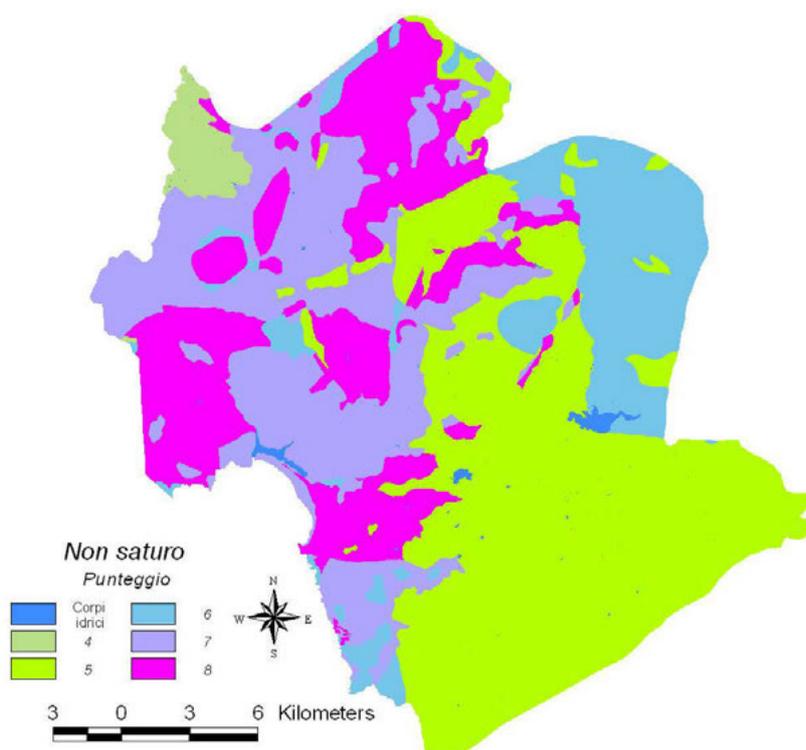
Mentre per i mezzi a permeabilità matriciale la valutazione di questo parametro è abbastanza agevole, più difficile risulta la stima dell'azione di mitigazione dell'insaturo, quando questo comprende rocce fessurate. In questi casi, sono molto importanti la luce delle discontinuità, la loro geometria, l'orientamento, la densità (indice di fatturazione) e interconnessione. L'effetto di autodepurazione del non-saturo si valuta, dunque, a partire dalle condizioni litologiche dello spessore insaturo (litologia, stato di fratturazione, grado di carsismo ecc.).

Per la valutazione del parametro non-saturo sono state raccolte le informazioni relative alla cartografia geologica e le relative sezioni geologiche, realizzate nelle precedenti fasi del progetto, che sono state integrate con quelle stratigrafiche ricavate, prevalentemente, da sondaggi per pozzi.

Per le zone in cui affiorano le rocce che costituiscono i complessi idrogeologici individuati, si è attribuito il punteggio in base alle conoscenze acquisite; per le zone ove il complesso idrogeologico è ricoperto dalle formazioni quaternarie, si è proceduto a stimare gli spessori di queste ultime, al fine di considerarle al momento della attribuzione dei punteggi. A questo scopo, sono state molto utili le numerose stratigrafie effettuate nella zona (Sarda Bauxiti, Ersat, Aeroporto di Alghero-Fertilia e Genio Civile di Sassari). Una volta attribuiti i punteggi alle varie litologie quaternarie, è stata effettuata la media pesata tra i punteggi di queste ultime ed i punteggi dei complessi idrogeologici.

È stato, dunque, attribuito un punteggio alla litologia del parallelepipedo insaturo, avente per base la singola maglia di discretizzazione. La carta relativa a questo parametro è riportata in figura 12.3.

In tabella 12.6 sono riportati i punteggi attribuiti.



**Figura 12.3 - Parametro effetto di autodepurazione del non-saturo**

**Tabella 12.6 - Litotipi e relativi punteggi assegnati**

<b>Litotipi della zona non saturo</b>	<b>Punteggio SINTACS</b>
Q2e – arenarie eoliche	8
Q2s – depositi di conoide alluvionale	7
Q2te – depositi travertinoidi	7
Q3 – alluvioni di fondo valle	7
cmc(MC) – complesso marnoso calcareo	6
cpi(OM) – complesso piroclastico	5
ccm(C) - complesso calcareo marnoso	7
cc(G) – complesso calcareo	8
csc(T) – complesso sedimentario composito	7
cme(P) – complesso metamorfico	4

### Tipologia della copertura

Gli elementi caratterizzanti la copertura del suolo sono stati ricavati dai rilievi pedologici effettuati, nelle prime fasi del progetto, che sono stati riassunti nella cartografia pedologica, con un dettaglio pari a 1:50.000. Nella parte di piana, questi dati sono stati integrati da quelli rilevati nell'ambito del progetto MONIDRI (a cura di R. Napoli: Istituto Nazionale Difesa del Suolo).

Lo spessore effettivo della copertura è stato valutato a partire dalla superficie, comprendendo tutti gli orizzonti sino al contatto con la roccia in posto, dalla quale il suolo si è evoluto. Il parametro è stato valutato utilizzando i seguenti punteggi:

- ai suoli classificati, secondo la classificazione *USDA*, come Suoli Argillosi è stato attribuito il punteggio 1, a prescindere dallo spessore; questo perché anche uno strato di 20 cm di argilla può avere un potere di mitigazione molto elevato sull'impatto degli inquinanti;
- per i suoli con profondità minore di 40 cm si è attribuito, in accordo con il metodo SINTACS, un punteggio di 10; questo perché il potere di mitigazione dell'impatto degli inquinanti di questi suoli è da ritenere irrilevante, data la loro scarsa potenza;
- per i suoli Franco argilloso - Franco sabbioso argilloso si è dato un punteggio di 3 in quanto, nell'area in esame, hanno discreti spessori e la loro tessitura è più vicina al Franco argilloso.

Per le altre tipologie di suolo, si è proceduto ad attribuire i punteggi secondo la classificazione del metodo SINTACS.

In figura 12.4 è rappresentato il parametro in studio. In tabella 12.7 sono riportati i punteggi.

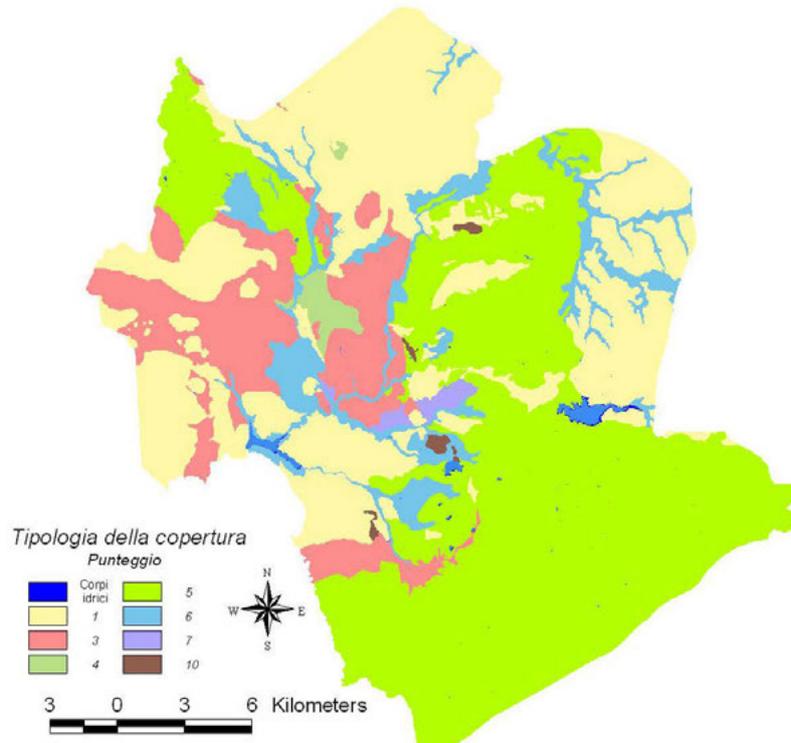


Figura 12.4 - Parametro Tipologia della copertura

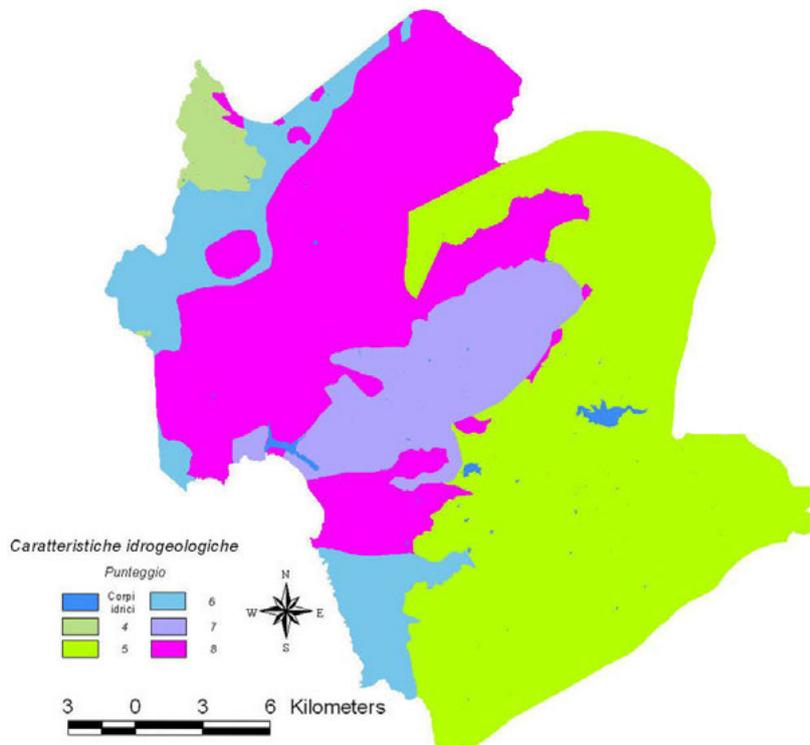
**Tabella 12.7 - Classi di copertura individuate e relativi punteggi**

Tipologia della copertura	Punteggio SINTACS
suolo Argilloso	1
suolo Franco argilloso	3
suolo Franco argilloso – Franco sabbioso argilloso	3
suolo Franco argilloso – Argillo sabbioso	4
suolo Franco limo argilloso	4
suolo Franco sabbioso argilloso	5
suolo Franco	5
suolo Franco – sabbioso	6
suolo Argilloso – sabbioso	7
suolo con profondità < 40 cm	10

*Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del)*

Il parametro in discussione è stato valutato considerando il modello idrogeologico concettuale e le informazioni geologiche ed idrogeologiche rilevate.

Sulla base dei dati disponibili, sono stati individuati i differenti acquiferi. La Carta tematica del parametro acquifero è riportata in figura 12.5. In tabella 12.8 sono riportati i punteggi SINTACS.



**Figura 12.5 - Parametro Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero**

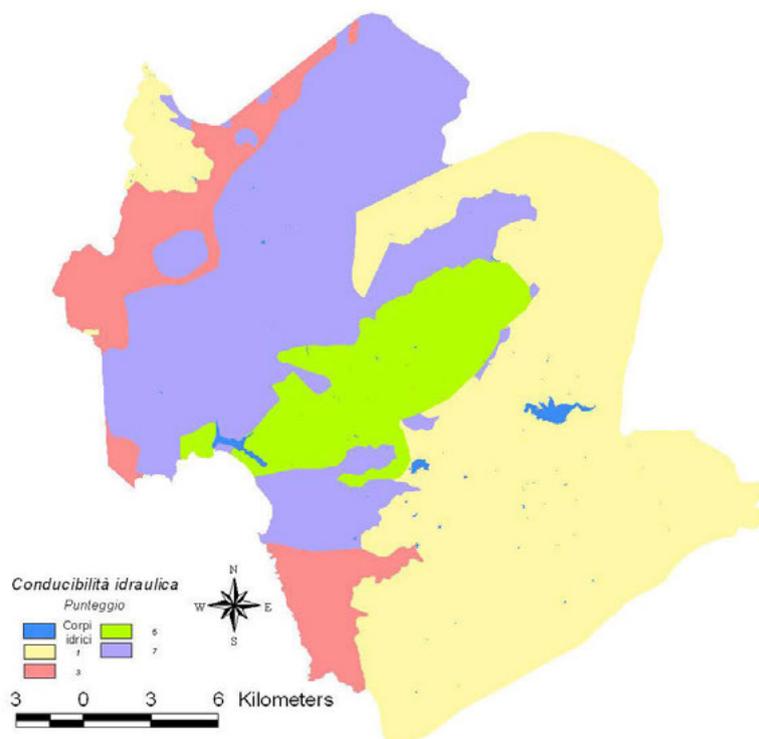
**Tabella 12.8 - Acquiferi e relativi punteggi assegnati**

Tipo di acquifero	Punteggio SINTACS
cme(P) – complesso metamorfico	4
cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	5
cpi(OM) - complesso piroclastico	5
ccm(C) - complesso calcareo marnoso	7
cc(G) - complesso calcareo	8
csc(T) - complesso sedimentario composito	6

*Conducibilità idraulica (dell'acquifero)*

Ai complessi idrogeologici individuati sono stati assegnati dei valori di conducibilità idraulica (espressi in m/s), ricavati da dati di letteratura, che sono stati verificati dai valori calcolati dalle prove di pompaggio, eseguite durante il Progetto.

In base a questi valori sono state distinte varie classi di punteggio SINTACS, riportate in figura 12.6 ed in tabella 12.9.



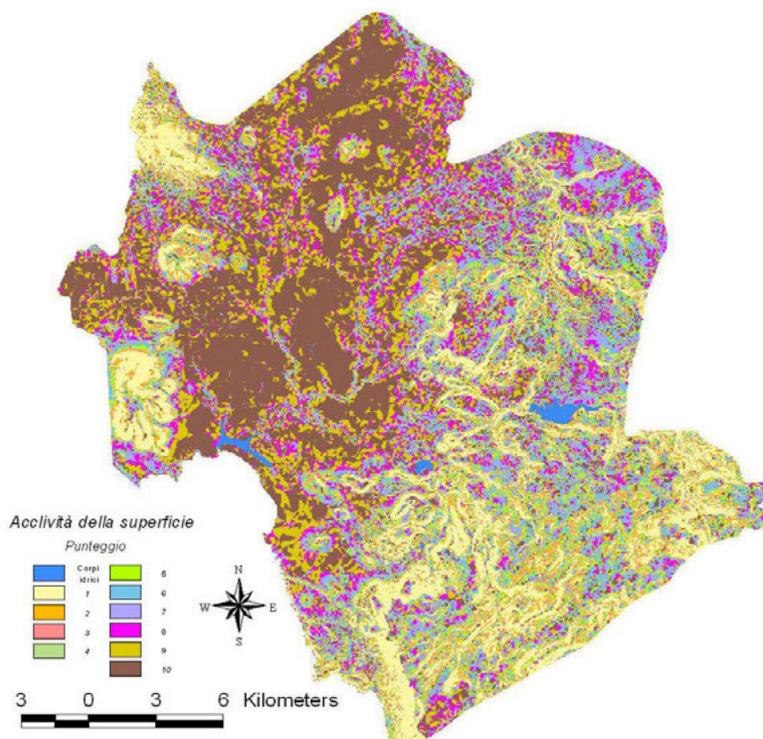
**Figura 12.6 - Parametro Conducibilità idraulica dell'acquifero**

**Tabella 12.9 - Intervalli di conducibilità idraulica e relativi punteggi**

Complesso idrogeologico	Conducibilità idraulica (m/s)	Punteggio SINTACS
cmc(Mc) – complesso marnoso calcareo	$10^{-8}$	1
cpi(OM) – complesso piroclastico	$10^{-8}$	1
ccm(C) – complesso calcareo marnoso	$10^{-5}$	5
cc(G) – complesso calcareo	$10^{-4}$	7
csc(T) – complesso sedimentario composito	$10^{-6}$	3
cme(P) – complesso metamorfico	$10^{-11}$	1

*Superficie topografica (acclività della)*

L'acclività è stata valutata realizzando il modello digitale del terreno, partendo dalla cartografia numerica digitale in scala 1:10000, della Regione Autonoma della Sardegna. Il metodo SINTACS attribuisce i pesi maggiori alle classi di pendenza minore, dando il valore massimo a pendenze che si aggirano tra lo 0-2% e il valore minimo per pendenze attorno al 27%: superata tale pendenza si è attribuito il valore 1, indipendentemente dalla pendenza. In figura 12.7 è rappresentato il parametro superficie topografica e in tabella 12.10 il relativo punteggio.



**Figura 12.7 - Parametro acclività della Superficie topografica**

**Tabella 12.10 - Classi di acclività con i relativi punteggi assegnati**

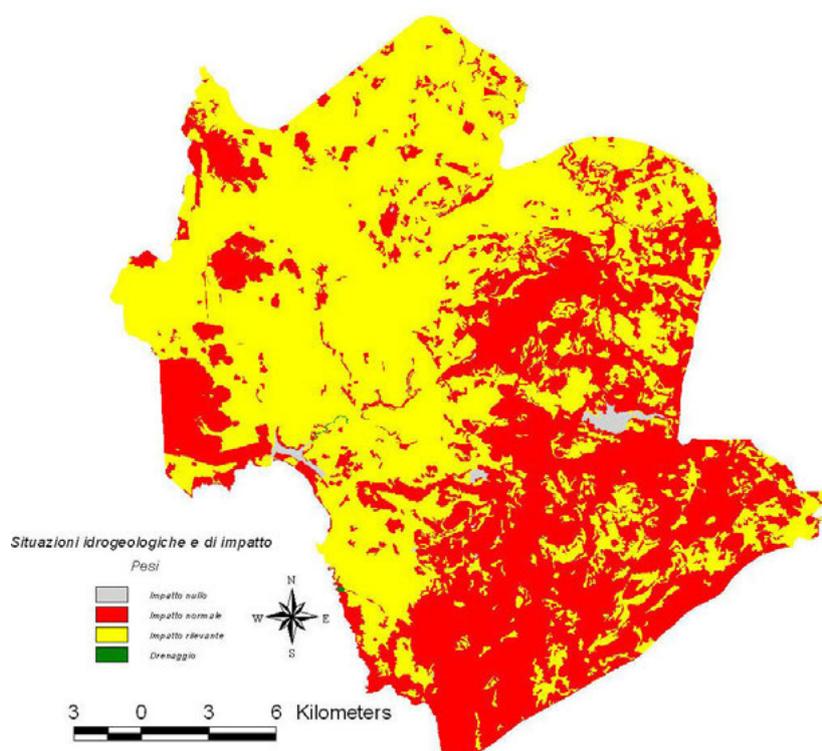
<b>Acclività superficie topografica (%)</b>	<b>Punteggio SINTACS</b>
0 – 2	10
2 – 4	9
4 – 6	8
6 – 9	7
9 – 12	6
12 – 15	5
15 – 18	4
18 – 21	3
21 – 27	2
>27	1

*Situazione idrogeologica e di impatto*

Così come già descritto, il metodo SINTACS prevede cinque linee di pesi (chiamate anche stringhe), a seconda della situazione idrogeologica e di impatto presente nel territorio.

In questo lavoro per l'attribuzione dei pesi moltiplicatori, si è partiti dalla Carta dell'uso suolo, al fine di identificare le zone con impatto normale, impatto elevato e drenaggio. Bisogna specificare che il metodo SINTACS prevede anche altre due classi: fessurato e carsismo. Si è riflettuto molto sulla possibilità di utilizzare queste due stringhe, dato che, nel complesso idrogeologico cc(G), ccm(C) e cmc(Mc) sono stati riconosciuti esempi di carsismo profondo e ben sviluppato (vedi Monte Doglia), e che i complessi cpi(OM) e cme(P) ricadono nella stringa fessurato. In seguito ad attenta analisi, l'antropizzazione della zona è stata considerata più importante, vista l'elevata presenza di attività umane che possono generare inquinamento delle falde e dunque si è optato per le stringhe che esaltano l'attività antropica.

Di seguito, nella figura 12.8 e nella tabella 12.11, vengono elencate le classi di uso del suolo e le situazioni di impatto riconosciute nell'area in esame.



**Figura 12.8 - Situazione idrogeologica e di impatto**

**Tabella 12.11 - Elenco delle le classi di uso del suolo e le situazioni di impatto**

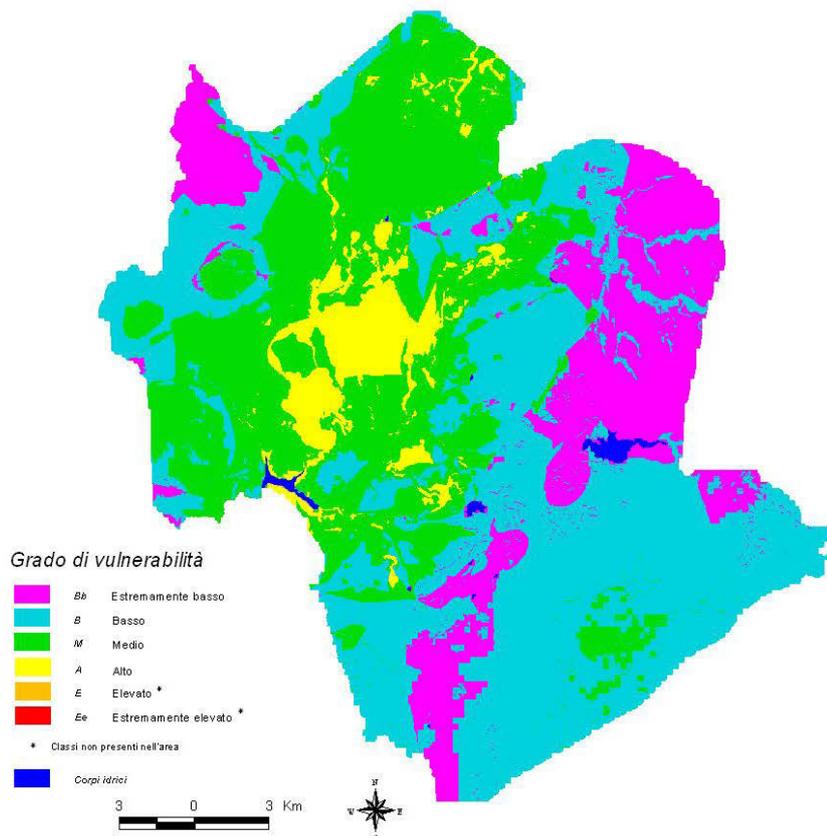
Uso suolo	Impatto
Aree a pascolo naturale	normale
Aree a ricolonizzazione artificiale	normale
Aree a ricolonizzazione naturale	normale
Aree aeroportuali e eliporti	rilevante
Aree agroforestali	rilevante
Aree archeologiche	rilevante
Aree con vegetazione rada >5% e <40%	normale
Aree estrattive	rilevante
Aree portuali	rilevante
Aree prev. Occupate da colture agrarie con presenza di aree naturali importanti	rilevante
Aree ricreative e sportive	rilevante
Aree verdi urbane	rilevante
Bacini artificiali	nessun impatto
Boschi di conifere	normale
Boschi di latifoglie	normale

<b>Uso suolo</b>	<b>Impatto</b>
Boschi misti di conifere e latifoglie	normale
Cantieri	rilevante
Cespuglieti ed arbusteti	normale
Cimiteri	rilevante
Colture in serra	rilevante
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	normale
Colture temporanee associate all'olivo	normale
Fabbricati rurali	rilevante
Fiumi torrenti e fossi	drenaggio
Formazioni di ripa non arboree	normale
Frutteti e frutti minori	rilevante
Gariga	normale
Impianti a servizio delle reti di distribuzione	rilevante
Insedimenti industriali artigianali commerciali e spazi annessi	rilevante
Insedimento di grandi impianti di servizi	rilevante
Lagune laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	nessun impatto
Macchia mediterranea	normale
Oliveti	rilevante
Paludi interne	drenaggio
Pareti rocciose e falesie	normale
Pioppeti saliceti eucalitteti	normale
Prati artificiali	rilevante
Reti ferroviarie e spazi annessi	rilevante
Reti stradali e spazi accessori	rilevante
Seminativi in aree non irrigue	normale
Seminativi semplici e colture orticole in pieno campo	rilevante
Sistemi colturali e particellari complessi	rilevante
Spiagge di ampiezza superiore a 25 m	normale
Sugherete	normale
Tessuto residenziale compatto e denso	rilevante
Tessuto residenziale rado	rilevante
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	rilevante
Vigneti	rilevante
Vivai	rilevante

Dopo aver elaborato i parametri, sempre in ambiente GIS, si è proceduto al calcolo dell'Indice SINTACS grezzo, successivamente convertito in Indice SINTACS normalizzato.

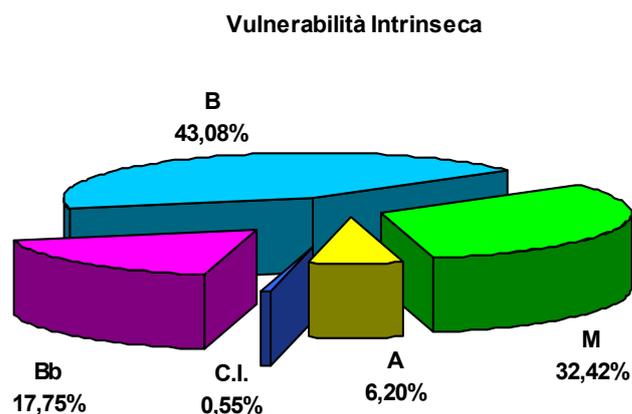
### 12.3.3 La Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi

L'elaborato cartografico finale della vulnerabilità intrinseca è rappresentato nella figura 12.9 e nell'Allegato 3. La classificazione in gradi di vulnerabilità è stata realizzata secondo quanto previsto dalla metodica ufficiale.



**Figura 12.9 - La carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento degli acquiferi**

In figura 12.10 è riportata la distribuzione areale in percentuale, rispetto alla superficie totale del bacino idrogeologico, delle varie classi di vulnerabilità. Le classi alta (A) e media (M) sono distribuite su circa il 38% della superficie. Queste si concentrano nella parte centrale della piana, dove peraltro sono localizzate le principali attività antropiche, perlopiù in corrispondenza del complesso calcareo (Giura) e di quello calcareo-marnoso (Creta). La maggior parte del territorio risulta caratterizzato da vulnerabilità bassa (B), con percentuale pari al 43% dell'area totale. La classe di vulnerabilità molto bassa (Bb) è diffusa su circa il 18% della superficie totale.

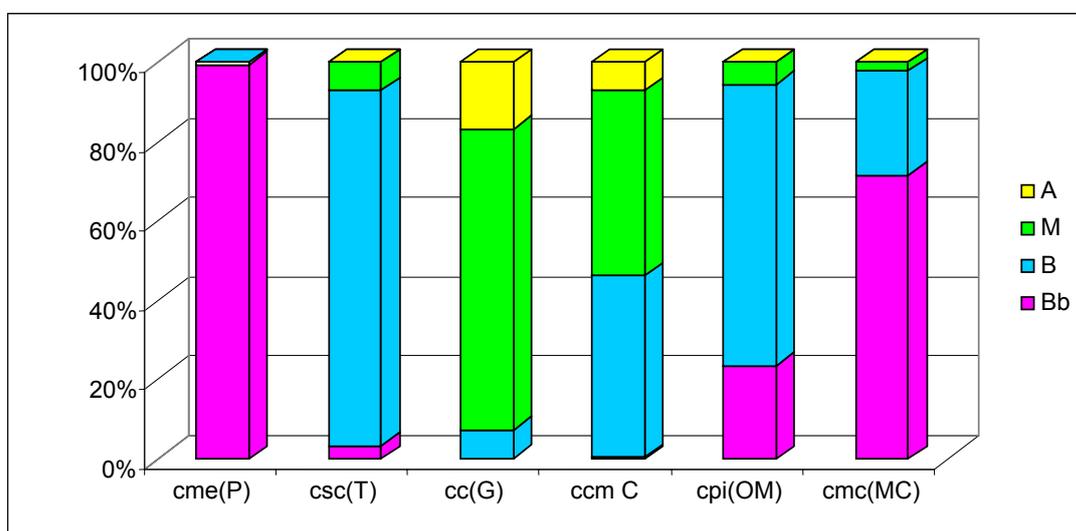


**Figura 12.10 - Frequenza areale delle classi di vulnerabilità SINTACS**

In figura 12.11 è rappresentata la distribuzione percentuale, rispetto alla superficie dei singoli acquiferi, delle classi di vulnerabilità.

Come è stato scritto, l'indice finale SINTACS è il risultato della somma dei punteggi, ottenuti per i singoli parametri che vengono moltiplicati per stringhe di pesi, i quali descrivono ed enfatizzano la situazione idrogeologica e/o d'impatto.

Al fine di mettere in evidenza l'importanza che ciascun parametro assume nella valutazione finale SINTACS, sono state eseguite alcune elaborazioni.



**Figura 12.11 - Distribuzione delle classi di vulnerabilità SINTACS per acquifero**

In figura 12.12 vengono rappresentati i punteggi dei parametri, calcolati per ciascun acquifero, che compaiono con maggior frequenza. In figura 12.13 viene invece riportata, in percentuale, l'estensione areale dei punteggi più frequenti.

Nell'acquifero del Trias, che peraltro presenta una qualità di base delle acque non ottimale, la vulnerabilità è influenzata in particolare dai parametri N, A e S. I primi due, con punteggi abbastanza elevati (7 e 6), sono caratterizzati da una maggiore distribuzione spaziale; mentre S (Slope), pur avendo il punteggio massimo, si estende solo per il 30% dell'area.

Nel complesso calcareo del Giura, che rappresenta l'acquifero più importante dell'area in termini quantitativi e qualitativi, la vulnerabilità risulta influenzata principalmente dai quattro parametri N, A, C, S: i quali hanno punteggi alti e distribuiti su ampie porzioni del territorio. In particolare, il punteggio pari ad 8, per l'effetto di autodepurazione del non saturo (N), si ritrova su circa il 60% dell'area. I parametri caratteristiche idrogeologiche (A) e conducibilità idraulica (C), sia in termini di punteggi (7 ed 8 rispettivamente) che per distribuzione areale (100%), influenzano notevolmente l'indice finale SINTACS; come pure S che è presente su circa il 50% della superficie con il massimo punteggio.

Nell'acquifero del Cretaceo le classi peggiori di vulnerabilità derivano dagli elevati punteggi associati ai parametri S, A ed N, i quali presentano anche una maggiore estensione areale.

I gradi di vulnerabilità estremamente basso e basso che caratterizzano il complesso piroclastico dell'Oligo-Miocene sono imputabili, principalmente, ai parametri N, T, A che presentano punteggi mediamente elevati (5) e si estendono sulla quasi totalità della superficie.

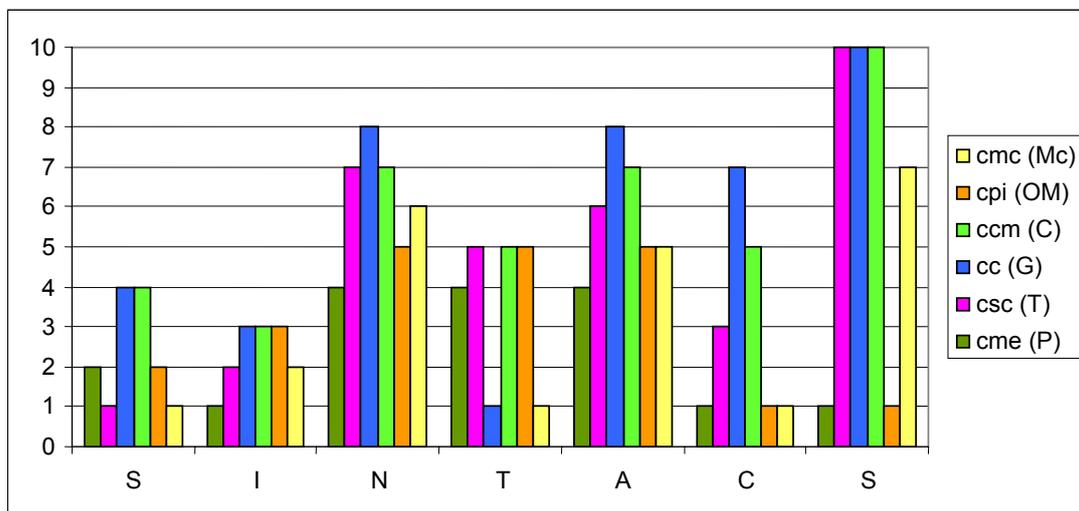
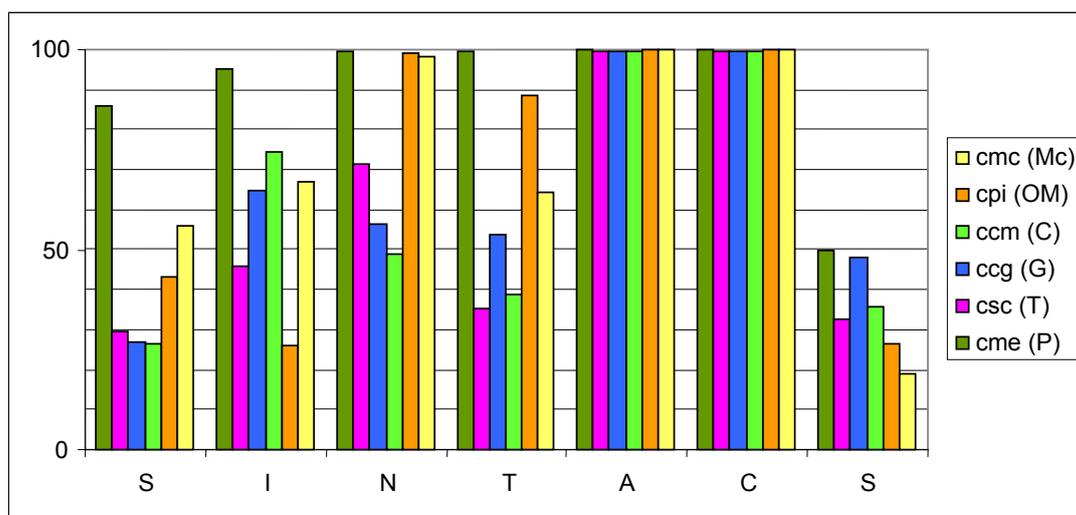
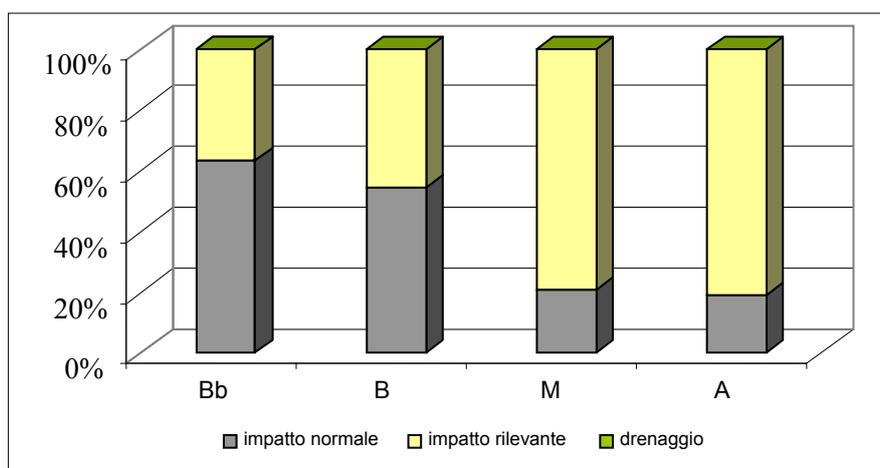


Figura 12.12 - Distribuzione dei punteggi con maggior frequenza



**Figura 12.13 - Distribuzione percentuale dei punteggi più frequenti**

Gli acquiferi ospitati nelle formazioni del Miocene e del Paleozoico, pur avendo un'importanza marginale nell'area di indagine, sono caratterizzati da una vulnerabilità bassa ed estremamente bassa. Questa è influenzata principalmente dai parametri N, A, S nel caso dell'acquifero miocenico e N, T, A per quanto riguarda quello del Paleozoico. Infine, l'influenza esercitata, sul calcolo finale dell'indice SINTACS, dalle stringhe di pesi utilizzate per descrivere le situazioni idrogeologiche e/o d'impatto, è stata schematizzata attraverso la rappresentazione grafica di figura 12.14. Si denota un andamento prevedibile, in quanto le situazioni di impatto normale e rilevante variano passando dal grado di vulnerabilità basso verso quello elevato, secondo un rapporto di proporzionalità inversa. La stringa drenaggio presenta una bassa significatività per via della ridotta estensione.



**Figura 12.14 - Percentuale di distribuzione delle stringhe dei pesi**

## 12.4 La vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi dell'area in studio

### 12.4.1 I centri di pericolo ed inquinanti potenziali

L'inquinamento delle risorse idriche è connesso principalmente, in maniera più o meno diretta, alle attività antropiche. Le attività industriali, agricole, commerciali e domestiche possono dare origine a fenomeni di inquinamento. Altre attività o trasformazioni dell'ambiente, pur non causando un inquinamento diretto, possono favorire la trasmissione dell'impatto alle acque sotterranee. A seconda del punto di penetrazione nel sistema acquifero, tali impatti possono essere classificati in:

- *impatti sulla superficie*, quando si verificano degli sversamenti di prodotti, più o meno idrosolubili, sul suolo o sul reticolo idrografico superficiale;
- *impatti sottosuperficiali*, quando si verificano scarichi di sostanze nel sottosuolo, al di sopra del livello idrostatico dell'acquifero sottostante;
- *impatti in acquifero*, quando si hanno situazioni di accumuli, immagazzinamenti, al di sotto del livello idrostatico dell'acquifero, causate da scavi o estrazioni di materiali etc.

Tutte le attività antropiche che, per loro natura, generano o possono generare e/o trasmettere un impatto sui sistemi idrici superficiali e sotterranei, sono considerati centri di pericolo (cdp). I cdp, o come sono chiamati, i produttori reali o potenziali di inquinamento, costituiscono le effettive, possibili o probabili fonti di rilascio di un inquinante nell'ambiente e possono essere classificati, considerando l'aspetto spaziale, in puntuali (pozzi perdenti, depositi di materiali pericolosi) e non puntuali o diffusi (terreni coltivati trattati con fitofarmaci ecc.); considerando il fattore temporale i cdp sono distinti in continui, se creano impatti per lungo periodo (uno stoccaggio definitivo di rifiuti pericolosi) ed occasionali, se l'impatto è circoscritto in un tempo relativamente breve (sversamento accidentale di una sostanza) [Civita M. 1994].

Allo scopo di verificare eventuali fenomeni di degrado delle risorse idriche dell'area in esame, è stato effettuato un censimento delle trasformazioni antropiche del territorio e dei centri di pericolo.

Il censimento è stato realizzato tramite:

- sopralluoghi *in situ* per individuare la presenza di eventuali e visibili cdp;
- osservazione della Carta dell'uso del suolo alla scala 1:25000 (R.A.S. 2003);
- osservazione della Carta dell'uso del suolo alla scala 1:5000 [progetto MONIDRI INEA 2005];
- osservazione da immagini satellitari.

Il censimento dei centri di pericolo ha messo in evidenza diverse fonti di potenziale inquinamento, attribuibili a differenti tipologie di utilizzazione antropica del territorio: queste sono raggruppate nelle categorie sotto elencate:

- attività industriali;
- discariche di rifiuti e attività connesse;
- attività agricole;
- attività zootecniche;
- attività minerarie ed estrattive;
- insediamenti urbani e connessi.

Le informazioni sono state successivamente implementate nel GIS, appositamente costruito, realizzando un database dove i cdp sono stati classificati in base alla tipologia di utilizzazione antropica del territorio (figura 12.15). Ad ogni cdp è stato associato un elenco di sostanze che possono essere rilasciate nell'ambiente e che possono causare un inquinamento delle acque superficiali e sotterranee. L'insieme degli elementi cartografati fornisce un quadro sinottico delle attività, potenzialmente o realmente inquinanti, presenti nell'area in esame.

Si elencano di seguito le principali attività antropiche, riconosciute come cdp, e la loro distribuzione nell'area in studio.

### Attività industriali e artigianali

Il tipo di inquinamento potenzialmente prodotto da un sito industriale dipende dalla sua ubicazione, dal ciclo tecnologico delle materie prime e seconde impiegate, dal prodotto finito, dal tipo di utilizzo dell'acqua nel ciclo di lavorazione, dai rifiuti prodotti, dalla tecnica di smaltimento adottata, dalle emissioni nell'atmosfera ecc.: il tutto anche in funzione anche della dimensione dell'industria, del numero di addetti, dei quantitativi trattati.

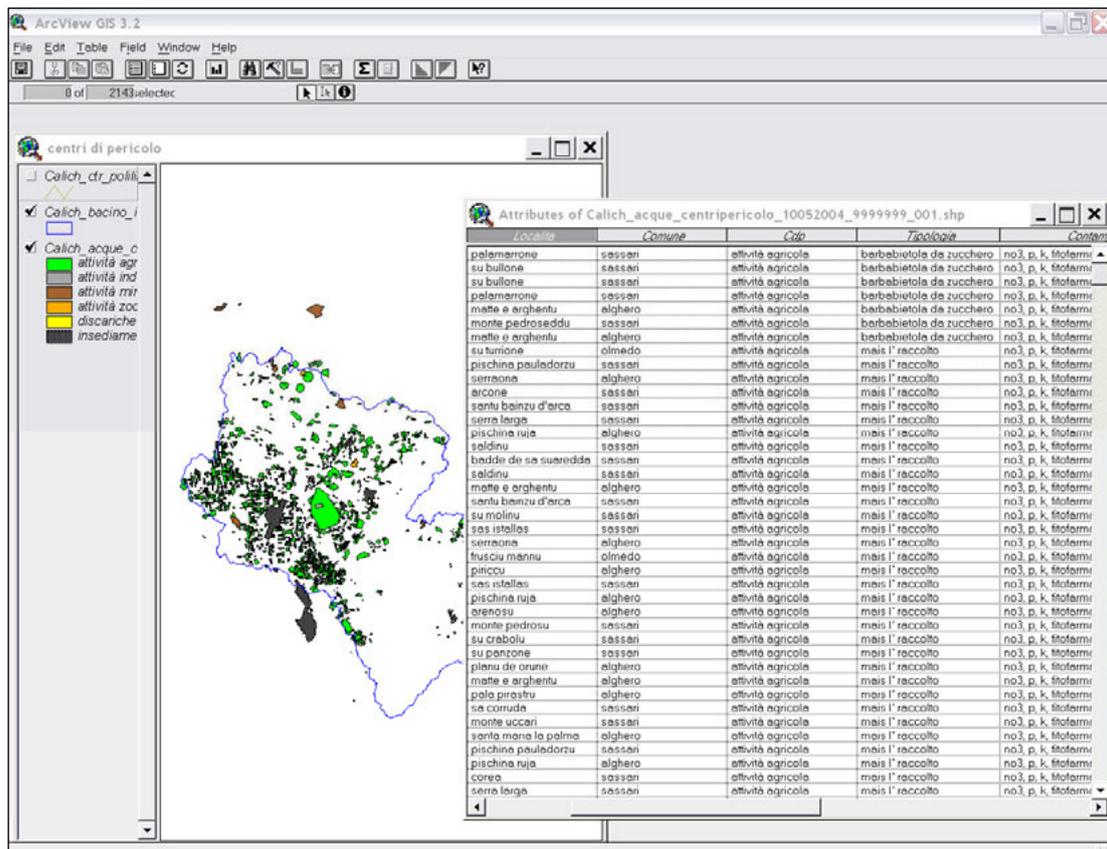


Figura 12.15 - Schermata del GIS con i centri di pericolo

All'interno di un insediamento industriale i processi di inquinamento possono essere generati da:

- stoccaggio inadeguato di materie prime;
- perdite dai serbatoi fuori terra ed interrati;
- perdite dagli impianti di trattamento;
- perdite da sottoservizi e servizi igienici;
- perdite da officine e parcheggi;
- scarichi incontrollati sul suolo di scarti di lavorazione, fanghi, rifiuti solidi e liquidi;
- scarichi liquidi non trattati;
- emissione, accidentale e/o organizzata, nel sottosuolo di rifiuti liquidi;
- ricaduta degli aerosol immessi in atmosfera.

Nel bacino del Calich, l'agglomerato industriale di San Marco (Alghero), gestito dal Consorzio per l'area di Sviluppo Industriale di Sassari-Porto Torres-Alghero, concentra attività produttive di tipo industriale ed artigianale. L'area, estesa su una superficie di 185 ha, di cui il 79% risulta attualmente occupata da stabilimenti industriali, è servita dalla rete fognaria e da un depuratore consortile che scarica le acque depurate nel rio Filibertu.

Allo stato attuale, l'approvvigionamento idrico, civile ed industriale, è garantito dallo sfruttamento delle acque sotterranee, attraverso l'emungimento di acqua dai pozzi. Tuttavia, esiste una condotta industriale, ancora oggi inattiva, collegata ad un serbatoio sito in località Tottubella. Per gli usi civili è presente un collegamento alla condotta dell'Esaf, non ancora attivato.

Sulla base dei dati forniti dal Consorzio, aggiornati al novembre 2003, sono presenti 24 aziende in esercizio, con un totale di 128 addetti fissi.

Nell'agglomerato di San Marco, le attività industriali sono riconducibili prevalentemente alla lavorazione del legno e del sughero (37%), alla fabbricazione di mobili (11%), alla produzione di sostanze chimiche, di fibre sintetiche e artificiali (10%) [www.sitaiweb.it]. Sono presenti anche delle aziende di trasformazione agroalimentari (lavorazione prodotti ittici, produzione di surgelati, oleificio ecc.).

È interessante segnalare quanto riportato nel Piano di Bonifica dei Siti Inquinati, redatto dalla Regione Sardegna (2003), nell'allegato IV Schede dei Siti Industriali, dove si fa riferimento ad un caso di inquinamento da idrocarburi, nell'area di proprietà della ditta APSA. Nel documento si riporta che nell'aprile 2000 sono state condotte delle indagini ambientali, considerando le aree all'interno dello stabilimento potenzialmente a rischio, caratterizzate dalla presenza di serbatoi fuori terra o interrati; la centrale termica dello stabilimento comprende anche il relativo serbatoio per il combustibile BTZ, il deposito fusti vuoti e il serbatoio interrato di gasolio. In corrispondenza del serbatoio interrato di gasolio, sono state rilevate concentrazioni apprezzabili di VOC (Composti Organici Volatili), causate da una perdita del prodotto. Elevati valori di VOC sono stati rilevati anche in corrispondenza delle bocchette di carico dei serbatoi fuori terra contenenti solventi, causati da sversamenti accidentali di prodotto. Le analisi del suolo hanno messo in evidenza valori elevati di idrocarburi.

La lavorazione dei prodotti alimentari, dei legnami e dei filati contribuisce alla formazione di reflui caratterizzati da un'elevata richiesta di ossigeno, dovuta alla presenza di un alto contenuto di sostanza organica.

Le acque di vegetazione, prodotte negli oleifici in notevoli quantità durante il processo di estrazione dell'olio dalle olive, sono caratterizzate da un elevato potere inquinante. Questo sottoprodotto si ottiene in quantità variabili da circa 40 sino a 100 l per quintale di olive lavorate, a seconda del sistema di estrazione [Sciancalepore V. 1998]. Il problema dello smaltimento dei reflui oleari è legato all'elevato contenuto di sostanza organica difficilmente biodegradabile, per la presenza di componenti non ossidabili biologicamente e alla presenza di significative quantità di composti fenolici ad azione biotossica. Il BOD5 (Domanda Biochimica di Ossigeno), il COD (Domanda Chimica di Ossigeno) e il contenuto in fenoli totali, sono i parametri che permettono una rapida valutazione del carico inquinante degli effluenti di un oleificio.

Sempre nel comune di Alghero sono situate due grosse aziende vitivinicole: l'azienda Sella e Mosca e la cantina sociale di Santa Maria la Palma.

Nella tabella 12.12 sono elencate le aziende, con i relativi inquinanti potenzialmente associati al ciclo tecnologico, considerando le materie prime impiegate, il prodotto finito e il tipo di rifiuti e reflui prodotti.

**Tabella 12.12 - Aziende in esercizio nell'agglomerato industriale di S. Marco (Alghero)**

<b>Denominazione</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Inquinanti Potenziali</b>
S.E.L.S.A.	Lavorazione materiale di cava	Solidi sospesi, TDS
KIT CASA	Lavorazione materie plastiche	Idrocarburi, Metalli, Composti organo-alogenati, Solventi organici e clorurati, Cd, Zn
APSA	Vernici industriali	Idrocarburi, Pb, Solventi organici, PCB (bifenili policlorurati)
Monte Nurra	Produzione bitumati	Idrocarburi, Oli minerali
Ennebi Calcestruzzi	Produzione calcestruzzi e manufatti	Solidi sospesi, TDS
Zazzara Pietro	Rettifica motori industriali	Idrocarburi, Oli minerali
Compredil S.R.L.	Fabbricati in ferro e prefabbricati per edilizia	Fe
Spano Giovanni	Porte finestre carpenteria metallica	Ni, Pb, Al, Solventi organici, Vernici
Taulera Legnami	Lavorazione legnami	Solventi organici, Oli, Colle, Resine, Fenoli
Deriu E Lupinu	Prodotti di falegnameria	Solventi organici, Oli, Colle, Resine, Fenoli
Due Mari	Produzione barche in vetroresina	Resine, Solventi organici, Antimuffe
Valverde	Produzione barche in vetroresina	Resine, Solventi organici, Antimuffe
Catalani Frigor	Impianti frigo e condizionatori	CFC, N, Solventi organici
D.P.M.	Nastri per stampanti	
Co.Ma.C Di Salis	Calzaturificio	Solventi, Colle, Vernici, Vari biodegradabili
Talia Di Palomba	Calzaturificio	Solventi, Colle, Vernici, Vari biodegradabili
Eptafil	Produzione filati	Solventi clorurati, Acidi, Basi, Metalli, Tensioattivi, Tinture, Vari biodegradabili
Marecoltura Sarda	Lavorazione prodotti ittici	BOD, COD, N, P, K, Residui inorganici
Algogel	Alimenti surgelati e gelati	BOD, COD, N, P, K, Residui inorganici
Solana	Produzione pane carasau	BOD, COD, N, P, K, Residui inorganici
Oleificio S. Marco	Produzione olio di oliva	BOD, COD, Sostanze fenoliche, N, P, K
Sardinia Crystal	Complementi arredamento, oggetti d'arte	Solventi, Oli, Colle, Resine, Vernici, Vari biodegradabili

### *Discariche di rifiuti e attività connesse*

Rientrano in questa categoria i reflui di scolo, i rifiuti solidi urbani, i rifiuti industriali, i residui di lavorazione e i detriti. Questi materiali possono produrre inquinamento di tipo chimico organico, inorganico e batteriologico. I principali sistemi di smaltimento (discariche controllate, depuratori ecc.), nonostante abbiano la funzione di separare i rifiuti dall'ambiente di produzione e di procedere alla loro trasformazione, ed in questo senso fungono da *preventori e/o riduttori di inquinamento*, possono però talvolta divenire essi stessi dei pericolosi centri di contaminazione [Civita M. 2005]. La composizione idrogeologica e la struttura del sottosuolo influenzano la mobilità dei fluidi percolanti e l'entità dei processi di attenuazione del potenziale inquinante.

Il potenziale inquinante è maggiore nelle discariche incontrollate. Infatti l'inquinamento è connesso con le perdite di percolato: fattore accidentale nelle discariche controllate, fattore normale in quelle incontrollate. Oltre agli inquinanti, che derivano dalla decomposizione di sostanze organiche putrescibili, si aggiungono i prodotti chimici utilizzati nelle attività domestiche ed industriali. Inoltre, la decomposizione della massa organica accumulata nei rifiuti produce grossi quantitativi di CO<sub>2</sub>, che rende i percolati aggressivi, con possibilità di solubilizzazione di metalli pesanti.

Le attività di riciclaggio di rottami metallici (centri di demolizione di macchinari e veicoli) possono costituire un reale cdp, in quanto, durante i processi di smantellamento, si possono verificare sversamenti di fluidi altamente inquinanti contenuti idrocarburi, acidi, oli minerali e metalli pesanti.

Nella tabella 12.13 sono elencati i cdp, appartenenti a questa categoria, identificati nell'area in studio.

Sinteticamente, nell'area in esame, sono presenti 3 discariche di RSU, per le quali i Comuni di competenza hanno effettuato le operazioni di bonifica; 9 impianti di depurazione, localizzati in prossimità dei principali centri abitati e delle borgate; diffusa presenza di fosse settiche nelle località Guardia Grande, Corea e Zirra, prive del sistema fognario. Inoltre, nel territorio di Ittiri si ritrovano: 1 discarica abusiva di autoveicoli e materiali vari; 1 centro autorizzato di demolizione di veicoli; nel comune di Alghero, località Monte Agnese, si trova un'area adibita sino al 1998 alla demolizione di veicoli e attualmente censita come sito contaminato [1°Rapporto Sullo Stato dell'Ambiente-Città di Alghero 2003]. I rifiuti solidi urbani indifferenziati prodotti all'interno del comune di Alghero, sono destinati alla discarica consortile situata in località Scala Erre (Sassari).

Nella tabella 12.14 sono riportate le caratteristiche dei depuratori censiti.

**Tabella 12.13 - Discariche e attività connesse**

<b>Località</b>	<b>Comune</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Inquinanti Potenziali</b>
San Marco	Alghero	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Pedra de Fogu	Olmedo	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Binzas Benzas	Olmedo	impianto sollevamento acque reflue	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Tottubella	Sassari	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
S. Maria la Palma	Sassari	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Ittiri	Ittiri	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Casu Nicola	Putifigari	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Fertilia	Alghero	impianto sollevamento acque reflue	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
S. Agostino	Alghero	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Nuraghe Biancu	Alghero	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
La Corte	Sassari	depuratore	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Guardia Grande, Zirra, Corea	Alghero/Sassari	area sprovvista di rete fognaria	NO3, NO2, NH4 , COD, BOD, P ,B, Tensioattivi ,Cl, SO4, Na, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali
Minadolzu	Ittiri	discarica bonificata di R.S.U.	Cl, SO4, BOD, COD, NH4, NO3, NO2, P, B,Fe, Na, K, metalli pesanti
Scala Cavalli	Uri	discarica bonificata di R.S.U.	Cl, SO4, BOD, COD, NH4, NO3, NO2, P, B,Fe, Na, K, metalli pesanti
S'Ena E Sa Multa	Putifigari	discarica bonificata di R.S.U.	Cl, SO4, BOD, COD, NH4, NO3, NO2, P, B,Fe, Na, K, metalli pesanti
Su Padru	Olmedo	discarica R.S.U.	Cl, SO4, BOD, COD, NH4, NO3, NO2, P, B,Fe, Na, K, Metalli pesanti
Sa Gaipida	Ittiri	discarica abusiva veicoli e materiali vari	Idrocarburi, Acidi, Metalli pesanti, Oli minerali
Funtana Iventi	Ittiri	centro autorizzato demolizione autoveicoli	Idrocarburi, Acidi, Metalli pesanti, Oli minerali
Monte Agnese	Alghero	centro demolizione autoveicoli dismesso	Idrocarburi, Acidi, Metalli pesanti, Oli minerali

**Tabella 12.14 - Depuratori censiti**

Depuratore	Località	Comune	Abitanti Equivalenti	Portata massima In ingresso M <sup>3</sup> /h	Portata Media In Ingresso M <sup>3</sup> /h	Trattamenti	Ricettore Acque reflue	Coordinate scarico
Consorzio A.S.I. Sassari-Porto Torres-Alghero	San Marco	Alghero	12000	360		I, II, III	Riu Filibertu	442328 4499501
comune di Olmedo	Pedras De Fogu	Olmedo	1600	200	40	I, II	Riu Sardinu	446681 4499772
Impianto di sollevamento acque reflue	Binzas Benzas	Olmedo					Riu Medadu	448112 4499507
Depuratore Santa Maria la Palma		Alghero	12900 previsti 3500 residenti 6500 fluttuanti	71		I, II, III	Canale di bonifica	438602 4500602
Impianto di sollevamento acque reflue	Fertilia	Alghero					Suolo	439598 4494363
Depuratore Tottubella	Tottubella	Sassari	1500	20	6	I, II	Canale affluente del Riu Mattone	446125 4503509
Depuratore aeroporto	Nuraghe Biancu	Alghero	3000	130		I, II, III	Rio Oruni	439197 4496809
Depuratore La corte	La Corte	Sassari	350	18	1.25	I, II, III	affluente Riu Don Gavinu	439683 4509348
Depuratore Ittiri	Zeppere	Ittiri	18000		242	I, II, III	Rio Zeppere	464349 4494112
Depuratore Putifigari	Casu Nicola	Putifigari		50		I, II, III	Rio Multas Nieddas	454250 4490998

*Attività agricole*

Pratiche agronomiche quali la concimazione, il diserbo, i trattamenti anticrittogamici e antiparassitari, possono apportare una notevole quantità di composti inquinanti e quindi generare, su vaste aree, un tipo di contaminazione diffusa delle risorse idriche.

Negli ultimi decenni si è assistito ad un incremento generalizzato nell'utilizzazione dei fertilizzanti, come conseguenza della intensivizzazione delle tecniche colturali per l'incremento dei livelli produttivi. Per esempio, nel 1999 in Sardegna, sono stati distribuiti con i fertilizzanti 51,55 kg/ha di azoto, 53,31 kg/ha di anidride fosforica, 11,15 kg/ha di ossido potassico e 4,35 kg/ha di sostanza organica [ISTAT 2002].

Tra gli elementi apportati con le concimazioni, i nitrati, a differenza del P e K, entrambi dotati di scarsa mobilità nel terreno, sono caratterizzati da una maggiore solubilità e quindi, se non prontamente assorbiti dagli apparati radicali, percolano in profondità con le acque di infiltrazione e raggiungono la zona satura dell'acquifero. I fattori climatici (piovosità e temperatura), le caratteristiche pedologiche (tessitura e permeabilità), le tecniche agronomiche (irrigazioni e concimazioni eccessive) possono incrementare i fenomeni di lisciviazione dell'azoto e generare fenomeni di inquinamento diffusi. Una ricerca condotta in Sardegna, nella piana di Arborea, ha messo in evidenza fenomeni di inquinamento da nitrati nelle acque di falda, causati da concimazioni irrazionali, eseguite in suoli molto permeabili con irrigazioni eccessive [Aru A. 2003].

La legge italiana ha fissato il limite di 50 mg/l per i nitrati presenti nelle acque captate per scopi idropotabili, in quanto concentrazioni superiori causano seri problemi per la salute umana.

I prodotti fitosanitari, distribuiti nell'ambiente, presentano un destino differente, a seconda delle caratteristiche chimiche dei principi attivi in essi contenuti e della variabilità dei parametri che influenzano i processi di degradazione (decomposizione chimica, microbiologica e fotodecomposizione). Spesso, durante i processi di decomposizione, si originano dei prodotti intermedi dotati di maggiore tossicità. Le ripercussioni ambientali relative all'uso di fitofarmaci sono a carico, non solo del suolo, che subisce l'impattato in maniera diretta, ma anche delle acque superficiali e sotterranee, della flora e della fauna.

Le pratiche agricole sono anche una fonte non trascurabile di metalli pesanti. Oltre il 10% dei fitofarmaci tradizionalmente utilizzati apportano Cu, Hg, Mn, Pb, e Zn. Gli stessi concimi chimici talvolta contengono notevoli quantità di questi elementi (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb e Zn) derivanti sia dalle materie prime che dai processi industriali [Sequi P. 1989].

La pressione esercitata dall'uso dei pesticidi sulle acque sotterranee può essere quantificata analizzando l'indicatore ricavato dalla quantità di fitofarmaci distribuiti, in relazione alla superficie agricola di un territorio. In Italia, questo indicatore assume il valore di circa 14 kg/ha di superficie arabile e investita a colture permanenti [FAO 1995].

A livello nazionale, nel 1999, i principi attivi (p.a.) contenuti nei prodotti fitosanitari, distribuiti per ettaro di superficie trattabile<sup>3</sup>, sono stati pari a 4,95 kg di fungicidi, 1,13 kg di insetticidi e acaricidi, 0,91 kg di erbicidi e 0,13 kg di altro (compresi biologici ecc.) [ISTAT 2002]. L'analisi sull'utilizzo dei pesticidi, nella coltivazione della vite nel territorio nazionale (nell'annata agraria 1998-99), ha messo in evidenza un impiego di fitofarmaci nella misura di 4,09 kg per ettaro di p.a, di cui 96,6% fungicidi (23,28 kg/ha) e 3,4% insetticidi e acaricidi (0,81 kg/ha).

Tra i fungicidi impiegati, il 61,7% appartiene alla categoria dei composti inorganici a base di zolfo e il 19,78% a base di rame; di questi, le dosi medie utilizzate per ettaro sono rispettivamente 14,87 e 4,76 kg di p.a.; gli azoto-solfo-organici costituiscono il 11,38% dei fungicidi totali impiegati, e sono distribuiti in quantità unitarie medie di 2,74 kg di p.a. per ettaro; fra gli insetticidi ed acaricidi utilizzati in viticoltura, i principi

---

<sup>3</sup> Per Superficie Trattabile, secondo la definizione ISTAT, si intende la superficie investita a seminativi, esclusi quindi i terreni a riposo, e a colture legnose agrarie.

attivi più impiegati sono i fosfororganici (2,77%) con una dose media di 0,67 kg per ettaro. La stessa fonte riporta, per la Sardegna nel 1999, una quantità di principi attivi, contenuta nei prodotti fitosanitari distribuiti per ettaro di superficie trattabile, pari a 2,39 kg/ha di fungicidi, 0,34 kg/ha di insetticidi e acaricidi, 0,24 kg/ha di erbicidi e 0,13 kg/ha di altro.

Per quanto riguarda l'area in studio, l'evoluzione del settore agricolo, verificatasi nell'ultimo decennio, è riassunta nella tabella 12.15, dove si riportano le superfici agricole e il rapporto tra Superficie Totale (ST<sup>4</sup>) e Superficie Agricola Utilizzata (SAU). La variazione nel tempo della SAU, in rapporto alla ST, fornisce indicazioni circa la quota di territorio effettivamente destinata alle attività agricole produttive. Ciò, a sua volta, fa prevedere l'inevitabile impatto antropico derivato, soprattutto in termini di uso agricolo del suolo e di inquinamento ambientale.

Confrontando i dati censuari del 1990 con quelli del 2000, riferiti all'intera superficie dei comuni interessati, è evidente una riduzione della SAU, che passa da circa 97.185 ha a circa 62.235 ha, con una variazione percentuale pari al 32,7%; la ST si riduce, a sua volta, da poco più di 124.921 ha a 84.035 ha, con una variazione percentuale del 36%. Il numero delle aziende è aumentato passando da 8433 a 9184.

**Tabella 12.15 - Aziende e relative superfici totali e superfici agricole utilizzate**

Comune	Numero aziende		Superficie totale in ettari		Superficie sau in ettari		SAU/ST%	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Alghero	1.424	1.715	19.656	10.546	13.661	7.567	69,5%	71,7%
Ittiri	856	725	15.449	9.513	14.357	7.551	92,9%	79,3%
Olmedo	158	279	2.551	2.423	2.113	1.421	82,2%	58,6%
Putifigari	134	114	3.189	3.243	2.630	1.716	82,5%	52,8%
Sassari	4.938	5.469	56.849	36.521	38.933	29.949	68,5%	82%
Uri	475	503	4.681	3.257	3.257	2.650	69,6%	81,3%
Villanova Monteleone	448	379	22546	18.532	22.234	11.381	98,6%	61,4%
<b>Totale</b>	<b>8.433</b>	<b>9.184</b>	<b>124.921</b>	<b>84.035</b>	<b>97.185</b>	<b>62.235</b>		

Fonte: ISTAT IV° e V° Censimento Agricoltura

Il numero di aziende operanti nel settore è rispettivamente aumentato nei Comuni di Alghero, Olmedo, Sassari, Uri e diminuito nei Comuni di Ittiri, Putifigari e Villanova Monteleone. L'indicatore SAU/ST presenta valori molto elevati per i Comuni di Alghero, Ittiri, Sassari e Uri segnalando un uso intensivo del territorio delle imprese agrarie.

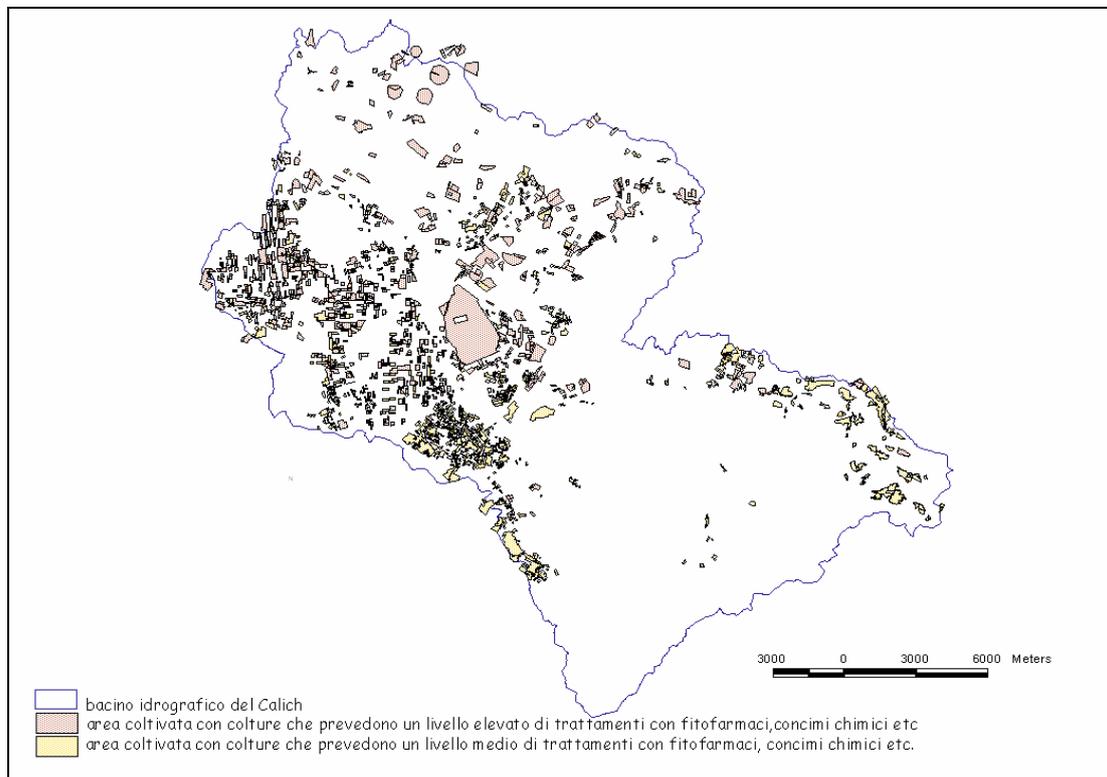
I maggiori impatti si riscontrano nell'area pianeggiante della Nurra, nella zona centro settentrionale del bacino, laddove è praticata un'agricoltura intensiva che presuppone l'uso di tecniche colturali (irrigazione, concimazioni e impiego di fitofarmaci) volte a massimizzare la produttività.

Dalla carta dell'uso del suolo [CASI4 INEA], relativa all'area della Nurra, si rilevano le seguenti estensioni delle colture irrigue:

<sup>4</sup> Per Superficie Totale, secondo la definizione ISTAT, si intende l'intera superficie di proprietà dell'azienda (SAU + Superfici boschive + altre Superfici)

- 1114 ha investiti a vigneto, localizzati soprattutto nel comune di Alghero, dove sono ubicati i vigneti (circa 500 ha) dell'azienda vitivinicola Sella & Mosca;
- circa 200 ha di oliveti condotti in irriguo (su un totale di 1650 ha di oliveti);
- circa 590 ha di terreni investiti a colture orticole da pieno campo a ciclo estivo-autunnale, estivo-primaverile, primaverile-estivo, poliennale, colture ortive e ornamentali in serra;
- circa 2450 ha con colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile-estivo o poliennale (mais, sorgo, prati di leguminose, prati polifiti, erbai e barbabietola da zucchero).

Nella figura 12.16 sono rappresentate le aree agricole, suddivise in base ai trattamenti chimici effettuati: in arancio le superfici investite con colture che prevedono dosi elevate e ripetute di fitofarmaci e concimi (barbabietola da zucchero, mais, vite in irriguo, olivo in irriguo, carciofo, ortive e coltivazioni in serra); in giallo quelle con livelli minori (prati polifiti, sorgo, vigneti e oliveti non irrigui).



**Figura 12.16 - Distribuzione delle aree agricole suddivise in base al livello di interventi colturali praticati**

### Attività zootecniche

Il potenziale d'inquinamento delle attività zootecniche dipende principalmente dalla specie allevata (tabella 12.16), dalla tipologia e dalla consistenza dell'allevamento, dalla quantità di deiezioni prodotte e dai metodi di smaltimento dei reflui. Gli inquinamenti possono derivare da una cattiva gestione della raccolta e dello smaltimento delle deiezioni. I maggiori volumi di inquinanti sono prodotti nelle aziende intensive di suini e bovini; tuttavia anche le aziende zootecniche intensive di ovini e avicoli possono essere delle fonti potenziali di inquinamento.

Generalmente, nell'allevamento dei bovini con stabulazione su paglia, le deiezioni prodotte sono raccolte nella concimaia per la produzione del letame, che è poi utilizzato per la concimazione organica dei terreni. I liquami, prodotti nelle forme di allevamento senza lettiera, vengono accumulati in vasche o lagoni di differente tipologia e, se non idoneamente impermeabilizzati o deteriorati, possono costituire dei cdp puntuali per l'infiltrazione nel sottosuolo dei potenti carichi inquinanti. Altre volte i liquami, prodotti negli allevamenti, sono smaltiti direttamente nella rete idrografica o nel suolo.

La produzione e l'utilizzazione di letame nelle aziende zootecniche intensive può risultare in eccesso rispetto alle esigenze agronomiche delle colture, causando così un surplus di N che non viene utilizzato e lisciviato in profondità. Tuttavia, Aru [Aru A. 2003] in uno studio condotto nella piana di Arborea, dove sono localizzate numerose aziende zootecniche che praticano l'allevamento intensivo di vacche da latte, ha evidenziato che la concimazione organica effettuata con letame e liquami non è direttamente responsabile di fenomeni di inquinamento. Piuttosto, i reflui zootecnici possono rappresentare un rischio quando vengono stoccati in strutture vecchie e deteriorate, o non adeguatamente impermeabilizzate, favorendo un fenomeno di percolazione lento e continuo nel suolo e, quindi, in falda. La composizione degli effluenti zootecnici varia notevolmente in relazione alla specie, alla eventuale diluizione con acque di lavaggio, alle modalità di stabulazione e quindi, alla presenza, al tipo e alla quantità di materiali di lettiera; dipende inoltre dallo stadio fisiologico, dall'alimentazione e dalla produttività degli animali allevati.

I reflui zootecnici possono essere soggetti a particolari trattamenti quali lo stoccaggio prolungato, la separazione solido/liquido, la stabilizzazione che ne modificano, anche in maniera sostanziale, le caratteristiche degli stessi.

**Tabella 12.16 - Principali inquinanti nel letame di allevamenti di bestiame diverso**

Parametri	Bovini (g/kg di peso vivo x d )	Suini (g/kg di peso vivo x d )
Solidi totali	2,5-10	2,3-9,7
BOD5	0,9-1,6	3,5-8,0
COD	5,6-8,4	1,3-4,3
N- tot	0,16-0,38	-
N- NH <sub>4</sub>	0,23	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05-0,12	-

Fonte: Loetr 1974, in Civita 1994

**Tabella 12.17 - Azoto, al netto delle perdite per emissioni di ammoniaca, negli effluenti prodotti, in un anno, dalle varie specie animali**

Specie	Azoto al netto delle perdite (kg/t peso vivo)
bovini in produzione (latte/carne)	112
bovini (rimonta-vitelloni- vitelli)	90
suini	83
avicoli	169

Fonte: G. Bonazzi, in *Liquami zootecnici*, 2001

L'inquinante più importante, presente negli effluenti zootecnici, è costituito dall'azoto organico e ammoniacale, soggetto nella zona insatura ad una rapida ossidazione ad azoto nitrico (il prevalere delle forme ridotte può fungere da indicatore di una fonte inquinante assai prossima e recente).

Nella tabella 12.17 sono indicate le quantità di azoto prodotte in un anno dalle diverse specie animali, al netto delle perdite per volatilizzazione, nei ricoveri, negli stoccaggi e nella fase di spandimento.

Altri inquinanti sono rappresentati dai cloruri, fosfati, batteri e metalli pesanti. I batteri nel suolo, in un'area di spargimento di reflui zootecnici, aumentano inizialmente per poi tendere a diminuire. Gli effluenti zootecnici contengono quantità discrete di metalli pesanti, in particolare rame e zinco; questi possono quindi fungere, per alcune specie, da indicatori di inquinamento. Infatti, il rame e lo zinco sono aggiunti alle razioni come integratori alimentari e promotori di crescita e, a causa dell'inefficienza di assorbimento di alcune categorie di animali, sono in gran parte eliminati con le deiezioni.

I suini e gli avicoli, soprattutto nelle fasi giovanili, necessitano di maggiori addizioni di questi elementi e presentano i maggiori valori di rame e zinco nelle deiezioni per unità di peso vivo (tabella 12.18).

I suini espellono sino all'80% del rame e 97% dello zinco introdotto con la razione. È da segnalare, comunque, una tendenza alla diminuzione delle integrazioni di rame e zinco nei mangimi, anche per le limitazioni imposte dalle attuali normative europee.

**Tabella 12.18 - Rame e zinco negli effluenti, prodotti in un anno, dalle varie specie animali**

Specie	Rame (kg/t peso vivo)	Zinco (kg/t peso vivo)
bovini	0.1-0.3	0.6-2.7
suini	0.5-1.6	1.2-2.0
avicoli	0.1-0.8	0.6-2.8

Elaborazioni da AA. VV. [G. Bonazzi 2001]

**Tabella 12.19 - Aziende zootecniche con bovini, ovini, caprini e suini e relativo numero di capi per comune**

	Bovini				Ovini			
	Aziende		Capi		Aziende		Capi	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Alghero	76	26	1830	767	109	63	15399	7678
Ittiri	10	5	79	27	152	101	38795	28246
Olmedo	4	3	419	228	22	17	4763	6006
Putifigari	20	25	323	285	33	31	6437	8740
Sassari	210	115	7382	6083	548	336	93017	74122
Uri	16	9	223	143	51	43	10102	10981
Villanova Monteleone	265	213	4971	4980	182	142	30573	28427
<b>Totale</b>	<b>601</b>	<b>396</b>	<b>15227</b>	<b>12513</b>	<b>1097</b>	<b>733</b>	<b>199086</b>	<b>164200</b>
	Caprini				Suini			
	Aziende		Capi		Aziende		Capi	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Alghero	8	9	287	244	215	82	993	497
Ittiri	15	15	579	189	89	42	1373	433
Olmedo	2	4	19	186	5	10	69	48
Putifigari	6	2	856	13	30	25	288	401
Sassari	62	39	971	929	703	343	8146	3585
Uri	2	3	11	11	30	13	256	105
Villanova Monteleone	17	10	660	169	254	233	2524	2028
<b>Totale</b>	<b>112</b>	<b>82</b>	<b>3383</b>	<b>1741</b>	<b>1326</b>	<b>748</b>	<b>13649</b>	<b>7097</b>

Fonte: ISTAT IV° e V° Censimento Agricoltura

Nei Comuni compresi nell'area in studio, l'analisi dei dati ISTAT (tabella 12.19) mette in rilievo una comune tendenza alla riduzione del patrimonio zootecnico e del numero di aziende, localizzate prevalentemente nella parte meridionale, cioè la zona collinare, dove esiste una fiorente attività agro-pastorale; le aziende sono generalmente di tipo semi-estensivo e predomina l'allevamento ovino da latte, con il ricorso sistematico al pascolamento per tutto o per gran parte dell'anno. Nella Nurra sono localizzate alcune aziende che praticano l'allevamento semi-intensivo della razza bovina. È presente anche un allevamento di struzzi, con un centinaio di riproduttori.

#### *Attività mineraria ed estrattiva*

Secondo la definizione riportata nel Regio Decreto n. 1443 del 1927, la distinzione tra miniere e cave deriva esclusivamente dal tipo di materiale estratto. Anche per quanto riguarda le estrazioni a cielo aperto, alla categoria delle miniere appartengono l'estrazione di metalli (caolino, bentonite, terra da sbianca, marna da cemento, sali magnesiaci ecc.); a quella delle cave materiali più comuni (torbe, materiali per costruzioni edilizie, stradali ed idrauliche, quarzo e sabbia silicea, pietre molari ecc.).

Le attività estrattive, miniere e cave, rappresentano da sempre una delle cause di degrado ambientale, in quanto modificano, spesso in modo irreversibile, la morfologia dei luoghi; inoltre, possono dare luogo ad alterazioni delle condizioni delle acque sotterranee causando la degradazione delle stesse, sia durante, che dopo, le operazioni di coltivazione. L'impatto delle escavazioni sulle acque sotterranee è generalmente causato dalla asportazione dello strato di suolo e di parte dell'insaturo, che favorisce l'infiltrazione diretta delle acque di dilavamento delle zone circostanti. Inoltre, le acque reflue provenienti dagli impianti di estrazione, spesso acide e con un elevato contenuto di metalli pesanti e solidi sospesi, possono generare fenomeni di inquinamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Anche le miniere abbandonate possono essere fonte di inquinamento, attraverso la lisciviazione e il dilavamento dei residui di lavorazione e delle scorie. Allo stesso modo, le cave inattive costituiscono un grosso pericolo ambientale, soprattutto se trasformate in discariche incontrollate di rifiuti.

Nel territorio in studio, allargando l'indagine al più esteso bacino idrogeologico, sono state censite 7 miniere di bentonite, 5 delle quali in attività, 1 miniera inattiva per l'estrazione del ferro e 1 miniera di bauxite in attività.

Dalla consultazione del Catasto delle cave realizzato dalla Regione Sardegna sono state censite, nella stessa area, 17 cave attive e 79 inattive. Le cave e le miniere, censite nell'area, sono elencate di seguito nella tabella 12.20, dove sono inoltre indicati gli inquinanti potenziali prodotti dalle stesse.

**Tabella 12.20 - Attività minerarie ed estrattive presenti nell'area in studio**

<b>Località</b>	<b>Comune</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Stato</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Inquinanti potenziali</b>
Domo Palamarrone Mannu La Corte	Sassari	Unicalcestruzzi Spa	attiva	cava di inerti	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Nurra	Alghero	Cava Monte Nurra	attiva	cava di calcare	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Doglia	Alghero	Ca.ma.c	attiva	cava di calcare	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Pedra d'Ussi	Sassari	Italcementi Spa	attiva	cava	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Pedra d'Ussi	Sassari	Italcementi Spa	attiva	cava	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Pinghinosu	Sassari		inattiva	cava di materiali per abrasivi (argilla)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Alvaro	Sassari		attiva	cava di inerti	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Domo Elighe Longu	Sassari		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Guardia Grande	Alghero		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (arenaria)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Serra Di Minniu	Sassari		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Badde Agliastru	Sassari		inattiva	cava di inerti	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Giorba	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Sas Carreras 2	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (sabbia)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Doglia 2	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Sas Piccas	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Doglia	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Palamargiu	Olmedo		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Badd'Isarroccia	Olmedo		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione

<b>Località</b>	<b>Comune</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Stato</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Inquinanti potenziali</b>
Badd'iscarrocchia	Olmedo		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Monte Fogheras	Alghero		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
S'iscalitta	Alghero		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Scala Piccada	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati (ignimbrite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Valverde	Alghero		inattiva	cava di inerti per conglomerati ignimbrite	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Scala Cavalli	Uri		inattiva	cava di inerti per conglomerati ignimbrite	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Sa Untulzera	Uri	Sa Untulzera 1	inattiva	cava di inerti per conglomerati ignimbrite	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Sa Untulzera	Uri	Sa Untulzera2	inattiva	cava di inerti per conglomerati ignimbrite	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Sa Untulzera	Uri	Sa Untulzera	inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Sa Untulzera	Uri	Sa Untulzera4	inattiva	cava di inerti per conglomerati ignimbrite	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Casa Iventi	Ittiri	Casa Iventi 2	inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (marna)	Solidi sospesi, TDS, Na, K, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Casa Iventi	Ittiri	Casa Iventi 1	inattiva	cava di inerti per conglomerati (marna)	Solidi sospesi, TDS, Na, K, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Funtana Iventi	Ittiri	Funtana Iventi	inattiva	cava di cantonetti (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Funtana Iventi	Ittiri	Funtana Iventi 6	inattiva	cava di cantonetti (marna)	Solidi sospesi, TDS, Na, K, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Su Padru	Uri	Su Padru	inattiva	cava di cantonetti (ignimbrite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Su Padru	Uri	Su Padru 1	inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (alluvioni)	Solidi sospesi, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Su Padru	Uri	Su Padru 3	inattiva	cava di inerti per conglomerati (alluvioni)	Solidi sospesi, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione
Su Padru	Uri	Su Padru 7 e Su Padru 1	inattiva	cava di cantonetti (ignimbrite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturazione

Località	Comune	Denominazione	Stato	Tipologia	Inquinanti potenziali
Funtana Pintu Canu	Ittiri	Funtana Pintu Canu	inattiva	cava di cantonetti (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Sa Piberi	Ittiri		inattiva	cava di inerti per conglomerati (piroclastite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Ittiri	Ittiri		inattiva	cava di cantonetti (calcare)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Bullone	Putifigari		inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Monte Unturzu	Ittiri	Figliolu	inattiva	cava di materiali per rilevati e riempimenti (ignimbrite)	Solidi sospesi, Silice, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Funtana Iventi	Ittiri		inattiva	cava di cantonetti (calcare marnoso)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
Funtana Iventi	Ittiri		inattiva	cava di cantonetti (calcare marnoso)	Solidi sospesi, TDS, problemi per l'asportazione del suolo e dell'insaturato
S'aliderru	Sassari	Sarda Bentoniti	attiva	miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al
Lampaggiu	Sassari	Sarda Bentoniti	attiva	miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al
Crabileddu	Sassari		inattiva	miniera di ferro	So4, Fe, Al, Mn, Pb, Cu, Ni, Zn, Cd, Cr, TDS
Grascioleddu	Olmedo	Sarda Bauxiti	attiva	miniera di bauxite	Al, Fe, Mn
Multas Nieddas	Putifigari		attiva	miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al
Pedra De Fogu	Uri		attiva	miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al
Terra Ruja	Ittiri	Argilliti S.R.L.		miniera di bentonite, Mn, argille e smectiti	TDS, Silice, Na, Ca, Al, Mn, K
Su Zombari	Uri		attiva	miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al
Domo Demartis	Sassari			miniera di bentonite	TDS, Silice, Na, Ca, Al

### *Insedimenti urbani e connessi*

Gli insediamenti urbani costituiscono nell'insieme un aggregato complesso di diversi cdp. Il potenziale di inquinamento dei centri abitati cresce con la loro estensione e con la densità di popolazione ed è strettamente correlato alla modalità di smaltimento dei rifiuti solidi e liquidi.

I cdp localizzati in un centro urbano possono essere raggruppati, in funzione del tipo di impatto producibile sui sistemi acquiferi, nelle seguenti categorie:

- impianti di fognatura, impianti di trattamento e scarichi;
- serbatoi interrati;
- officine, carrozzerie, autolavaggi, stazioni ferroviarie, impianti aeroportuali e impianti militari;
- cantieri e stoccaggi di materiali da costruzione;
- attività artigianali;
- ospedali;
- insediamenti temporanei (campeggi, baraccopoli e campi-nomadi);
- acque di ruscellamento e lavaggio;
- cimiteri.

L'area in studio comprende gli agglomerati urbani di Olmedo, Putifigari, Ittiri, Uri ed Alghero (tessuto residenziale compatto), le borgate (tessuto residenziale rado) Guardia Grande, Villa Assunta, Tottubella, Santa Maria La Palma e La Corte.

Di seguito si riporta la descrizione dei cdp, relativi agli insediamenti urbani e connessi, dell'area in studio.

### *Impianti di fognatura, impianti di trattamento e scarichi*

Gli impianti fognari convogliano le acque reflue degli insediamenti urbani e produttivi, nei corpi idrici superficiali, direttamente o dopo aver subito dei processi depurativi. Eventuali perdite che si verificano nei collettori fognari sotterranei, in corrispondenza di punti di rottura o di giunti difettosi, presentano un carico inquinante elevato per la presenza di microrganismi, sostanze in sospensione, sostanze organiche ed inorganiche. Il potenziale di inquinamento di questi sistemi dipende dalla composizione dei liquami e dalla capacità di abbattimento degli inquinanti del suolo. Le acque nere possono contenere batteri, virus, fosfati, nitrati, nitriti, azoto ammoniacale, cloruri, metalli pesanti, composti sintetici organici e inorganici, detersivi. I Coliformi totali, i Coliformi fecali, gli Streptococchi fecali o Enterococchi sono degli indicatori biologici di inquinamento fecale. La presenza di Coliformi totali è però un parametro che fornisce solo una indicazione di massima, perché questi batteri non sono di esclusiva derivazione fecale, ma sono diffusi anche nell'ambiente (acque e suolo). I Coliformi fecali e gli streptococchi fecali, invece, sono batteri di esclusiva origine intestinale e la loro presenza nelle acque indica, con certezza, una contaminazione di origine fecale. I movimenti dei batteri nel sottosuolo sono ostacolati e condizionati dall'azione di filtraggio del suolo e dalle condizioni di pH, temperatura, umidità e dal potenziale di ossidoriduzione, che ne influenzano la sopravvivenza (in media 2-3 mesi). I cloruri, presenti in concentrazioni elevate nei liquami domestici, rappresentano un altro indicatore di inquinamento dovuto a scarichi fognari [Zavatti 1984]. Il tricloroetilene e le altre sostanze usate per la pulizia dei servizi igienici e delle fosse settiche possono essere associati alla presenza di questi impianti.

I sistemi di smaltimento *in loco*, se correttamente dimensionati, localizzati e regolarmente sottoposti a manutenzione, possono non costituire un pericolo, ma il loro potenziale di inquinamento diventa preoccupante quando il numero di installazioni supera la naturale capacità di abbattimento del suolo (non più di 10 sistemi puntuali per km<sup>2</sup>) [Civita 1994], soprattutto per quanto riguarda alcuni sali come i cloruri, i nitrati, e i fosfati che non sono rimossi rapidamente. Altro parametro utile per giudicare la pericolosità di questi impianti è la loro vita media (20-40 anni), oltre la quale il sistema diviene un rilevante cdp.

Una peculiarità dell'area in esame è che esiste, nell'agro, una diffusa urbanizzazione, estremamente frazionata, priva di un sistema di depurazione adeguato. In particolare, le borgate di Guardia Grande, Villa Assunta, gli insediamenti abitativi nelle località Zirra e Corea non sono serviti dalla rete fognaria ed utilizzano, per lo smaltimento dei reflui civili, fosse settiche e pozzi neri.

#### *Serbatoi interrati*

I serbatoi interrati per lo stoccaggio delle sostanze ad uso industriale, domestico o commerciale, rappresentano una delle fonti di inquinamento più diffuse delle acque sotterranee; questi infatti possono essere progettati in maniera non adeguata o semplicemente presentare delle rotture o delle corrosioni, generando perdite delle sostanze in essi contenute. Rientrano in questa categoria i distributori di carburanti.

Nell'area in studio sono state censite 4 stazioni di servizio, più quelle presenti all'interno del centro urbano di Alghero.

#### *Officine, carrozzerie, autolavaggi, stazioni ferroviarie, impianti aeroportuali e impianti militari*

Le attività comprese in questa categoria hanno in comune l'impiego e lo stoccaggio di lubrificanti, carburanti, prodotti antigelo, vernici oltre ad altri materiali di tipo organico. Un grosso cdp è rappresentato dall'aeroporto di civile di Alghero, dove si svolgono attività relative alla movimentazione di passeggeri e merci. In quest'area, inoltre, hanno sede la scuola di volo Alitalia e la stazione dei Vigili del Fuoco, con relative officine che si occupano della manutenzione di aeromobili e veicoli. Nell'aerostazione si trova anche un deposito di carburante che possiede un sistema autonomo di depurazione. L'approvvigionamento idropotabile era assicurato, sino al 2001, tramite l'emungimento da un pozzo situato all'interno dell'aeroporto, con un prelievo medio giornaliero di 70 m<sup>3</sup> che, durante la stagione estiva, raggiungeva valori di 150 m<sup>3</sup>. Durante l'esecuzione dei lavori di ampliamento della stazione aeroportuale è stato realizzato un nuovo pozzo, per soddisfare i maggiori consumi, dotato di un sistema di dissalazione ad osmosi inversa, per la potabilizzazione batteriologica e per l'abbattimento dei nitrati e del ferro. In attesa delle autorizzazioni necessarie per lo sfruttamento delle acque dal nuovo pozzo, è stato realizzato l'allaccio all'acquedotto per il prelievo dell'acqua potabile. Inoltre, nell'area in studio, è presente un'area militare.

### *Attività artigianali*

Le attività artigianali possono rilasciare nell'ambiente le sostanze, molto tossiche, utilizzate nel processo produttivo (resine, solventi organici, colle, vernici, fenoli ecc.), soprattutto quando si verificano scarichi non controllati. In questo gruppo rientrano tutte le attività legate alla lavorazione dei metalli del legno, i laboratori fotografici, le lavanderie a secco, i laboratori di analisi cliniche, veterinarie ecc..

Queste attività sono diffuse nei principali centri abitati e nell'agglomerato industriale di San Marco (vedi attività industriali ed artigianali).

### *Ospedali*

Gli ospedali sono produttori di notevoli quantità di rifiuti speciali.

Ai limiti dell'area in esame sono presenti due strutture ospedaliere (Ospedale Civile e Ospedale Marino di Alghero).

### *Insedimenti temporanei (campeggi, baraccopoli e campi-nomadi)*

Gli insediamenti temporanei sono generalmente privi di sistemi di allontanamento e trattamento dei rifiuti e rappresentano quindi una fonte di inquinamento non trascurabile.

All'interno dell'area in studio si evidenzia la presenza di un campo nomadi e di campeggi organizzati.

### *Acque di ruscellamento e lavaggio*

Le acque meteoriche, in prossimità dei centri urbani, generano un ruscellamento superficiale che si arricchisce di solidi in sospensione e di sostanze in soluzione quali metalli, idrocarburi (carburanti, lisciviazione dei bitumi) residui di gomma, sostanze organiche ecc.. Per l'area in esame non è stato possibile rilevare l'effettiva entità del fenomeno.

### *Cimiteri*

I cimiteri possono essere fonte di inquinamento laddove esistano vecchie strutture e qualora non vengano rispettate le norme di salvaguardia per le captazioni. L'inquinamento dovuto alla presenza di sostanze putrescibili, può causare un aumento della durezza, soprattutto in acquiferi calcari, per l'intensa attività batterica con produzione di CO<sub>2</sub> aggressiva, un incremento dell'azoto nelle diverse forme, dei cloruri e dei fosfati.

Nell'area in studio sono presenti i cimiteri di Olmedo, Ittiri, Alghero e Putifigari.

Nella tabella 12.21 si riportano i cdp associati agli insediamenti urbani con l'elenco degli inquinanti potenziali.

## **12.4.2 La carta della Vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi**

La carta della Vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi è stata ottenuta dalla sovrapposizione della vulnerabilità intrinseca sui cdp. L'elaborato cartografico finale della vulnerabilità integrata è rappresentato nella figura 12.17 e nell'Allegato 3. La simbologia utilizzata è quella ufficiale relativa alla legenda unificata GNDICI-CNR

**Tabella 12.21 - Elenco degli insediamenti urbani e delle attività connesse**

Località	Comune	Denominazione	Tipologia	Inquinanti Potenziali
Calich	Alghero	camping Calich	camping	COD, BOD, Cl, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , Tensioattivi, B, P, K, Colif fec, Strept fec, Na, K, Metalli pesanti
Ferilia	Alghero	camping Nurral	camping	COD, BOD, Cl, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , Tensioattivi, B, P, K, Colif fec, Strept fec, Na, K, Metalli pesanti
Fertilia	Alghero		campo nomadi	COD, BOD, Cl, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , Tensioattivi, B, P, K, Colif fec, Strept fec, Na, K, Metalli pesanti
Su Palmargiu	Olmedo	cimitero di Olmedo	cimitero	BOD, COD, Durezza, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Cl, P, m.o.
Ittiri	Ittiri	cimitero di Ittiri	cimitero	BOD, COD, Durezza, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Cl, P, m.o.
Alghero	Alghero	cimitero di Alghero	cimitero	BOD, COD, Durezza, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Cl, P, m.o.
Putifigari	Putifigari	cimitero di Putifigari	cimitero	BOD, COD, Durezza, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Cl, P, m.o.
Olmedo	Olmedo		distributore di carburanti	Idrocarburi, Olii minerali
Monte Pedroseddu	Sassari		distributore di carburanti	Idrocarburi, Olii minerali
Juane Abbas	Sassari		distributore di carburanti	Idrocarburi, Olii minerali
Fertilia	Alghero		distributore di carburanti	Idrocarburi, Olii minerali
Fighera	Alghero		autofficina meccanica	Idrocarburi, Olii minerali
Su Panzone	Sassari		area militare	No <sub>3</sub> , Nh <sub>4</sub> , Cl, Metalli pesanti, BOD <sub>5</sub> , COD, Na, K, Elementi radioattivi, Idrocarburi, Olii minerali
Ittiri	Ittiri	Ittiri centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Putifigari	Putifigari	Putifigari centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Olmedo	Olmedo	Olmedo centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Uri	Uri	Uri centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Alghero	Alghero	Alghero centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Tottubella	Sassari	Tottubella centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
La Corte	Sassari	La Corte centro abitato	tessuto residenziale compatto	Aggregazione di vari cdp
Corea/Zirra/Guardia Grande/Villa Assunta	Sassari/ Alghero		area priva rete fognaria	COD, BOD, Cl, N (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> ), Tensioattivi, B, P, K, Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali, Na, K, Metalli pesanti, Tricloroetilene

# Vulnerabilità integrata

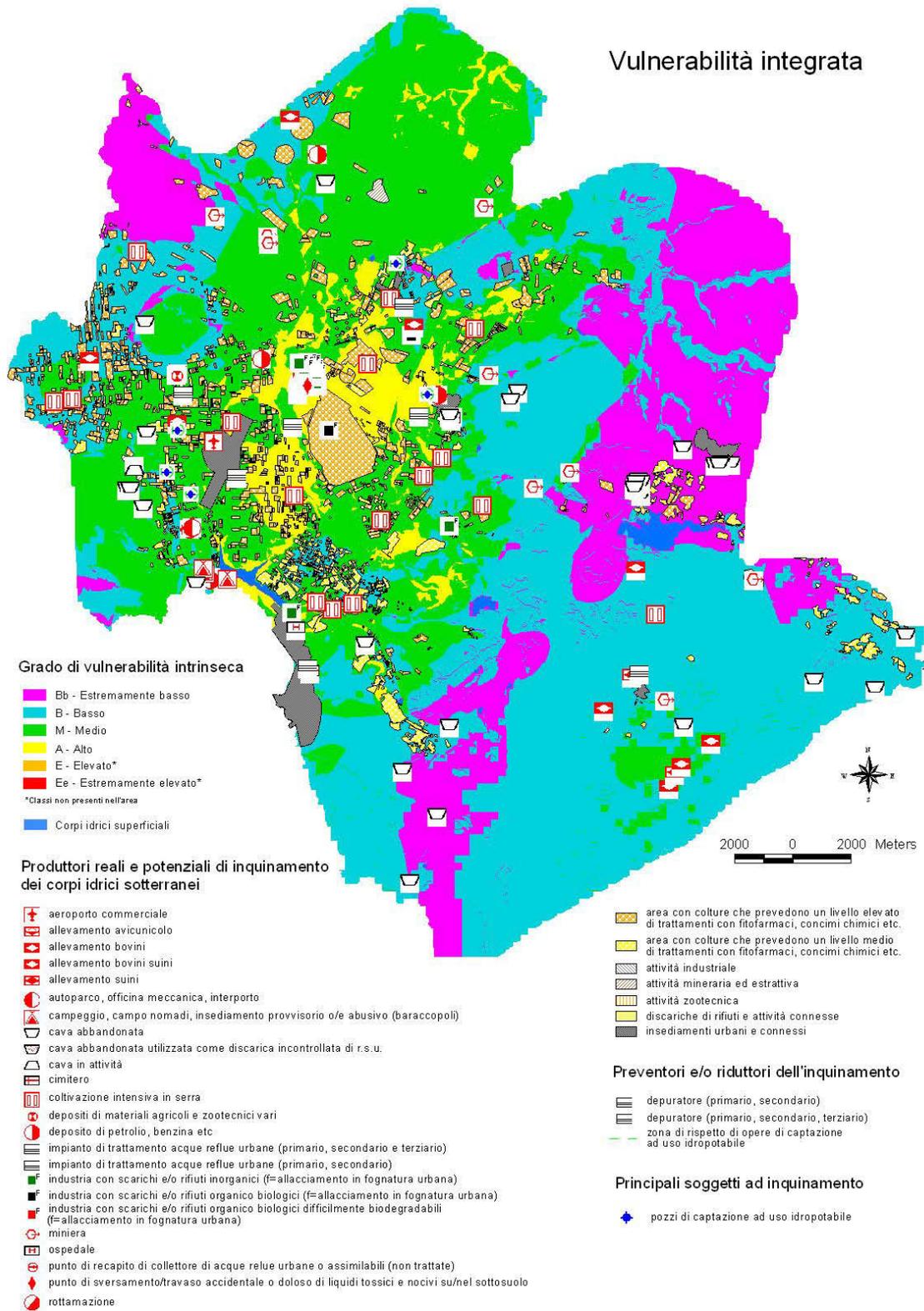


Figura 12.17 - Carta della Vulnerabilità integrata

## 12.5 Valutazione della pericolosità da nitrati di origine agricola: il modello IPNOA

Il metodo IPNOA (indice di pericolosità da nitrati di origine agricola) messo a punto da Trevisan et al. [2002] ricalca l'approccio di quello relativo agli IPA (indice di pericolosità agricola) sviluppato dagli stessi autori [Trevisan et al. 2000]. La fondamentale differenza tra questi metodi sta nella scelta delle unità di uso suolo a cui associare le fonti di inquinamento che, nel caso dell'IPNOA, sono riconducibili esclusivamente alle superfici coltivate, mentre nell'applicazione degli IPA, fanno riferimento anche a territori modellati artificialmente e/o boscati, ambienti naturali ecc. Un'ulteriore differenza deriva dal fatto che nel metodo IPA si considerano gli apporti azotati, fosfatici e l'applicazione di prodotti fitosanitari. Il metodo IPNOA non tiene conto del contributo derivante da fertilizzanti a base di fosforo e di quello, considerato irrilevante, dei prodotti fitosanitari.

Il metodo IPNOA è stato applicato in diversi contesti territoriali del nord e centro Italia [Aquanet 2004; Addeo G. et al. 2005], sia a scala regionale che provinciale. Poiché il metodo in esame non tiene conto delle caratteristiche del suolo, delle strutture idrogeologiche e non fornisce quindi elementi sul rischio reale, la rappresentazione cartografica degli IPNOA di una data area, può essere convenientemente sovrapposta a una mappa di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, elaborata tramite SINTACS, al fine di valutare il *rischio potenziale di inquinamento*.

L'IPNOA è un metodo di tipo parametrico che attraverso l'utilizzo di indici, caratterizzati da un numero di input limitato e facilmente reperibili, consente di ottenere una zonizzazione del territorio in classi di pericolosità crescente.

Il vantaggio di questo sistema parametrico a punteggi e pesi risiede nella semplicità con cui si analizzano gli effetti sinergici dei parametri considerati, anche se non fornisce previsioni quantitative sulle concentrazioni del potenziale contaminante nei vari comparti ambientali.

L'applicazione metodologica, sia nelle attività di gestione e di analisi dei dati, sia nella creazione dei prodotti cartografici, si avvale dei sistemi informativi geografici (GIS).

L'approccio che caratterizza questo metodo consiste principalmente di due fasi:

- individuazione delle categorie di fattori che concorrono alla creazione del pericolo potenziale di contaminazione delle acque sotterranee;
- attribuzione a ciascun fattore di un punteggio in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale.

Le categorie di fattori che caratterizzano la valutazione dell'IPNOA sono riconducibili ai *fattori di pericolo* (FP) ed ai *fattori di controllo* (FC). Attraverso i primi si vanno a definire tutte le attività agricole che, apportando azoto sulla superficie agraria, generano o possono generare un impatto sulle acque sotterranee; con i fattori di controllo, invece, si valuta la capacità di condizionare la reattività e la mobilità dei nitrati in funzione delle condizioni specifiche del sito e delle pratiche agricole adottate.

### 12.5.1 Fattori di pericolo

I fattori di pericolo includono i fertilizzanti organici e non organici ed i fanghi di depurazione. La metodologia si basa sull'assunto che gli apporti al suolo di tali composti non superino la capacità di metabolizzazione da parte della vegetazione e della microflora del terreno.

#### *Fertilizzanti minerali (FPfm)*

L'azoto è presente nel terreno sotto forma organica, ammoniacale e nitrica; questi composti hanno un comportamento ed un valore nutritivo diverso. I concimi azotati minerali, in particolare, si classificano a seconda del tipo e della combinazione dell'azoto in essi presente e quindi del loro comportamento verso il terreno e le piante. Questi tipi di concime possono essere distinti secondo la forma ammoniacale o nitrica. L'azoto ammoniacale è solubile in acqua, ma è ben trattenuto dal potere assorbente del terreno, che lo preserva dalla lisciviazione. Esso è però una forma transitoria, in quanto destinato a essere ossidato ad azoto nitrico. L'azoto nitrico è solubilissimo in acqua e non è trattenuto dal potere assorbente del terreno, perciò può infiltrarsi in profondità trascinato dalle acque percolanti, rappresentando la forma che può provocare inquinamento delle acque di falda.

Normalmente è assai difficile reperire i dati sulle quantità di fertilizzanti impiegati in agricoltura (sia a livello provinciale che comunale). Dunque, nella metodologia IPNOA, il carico di nitrati apportato dai fertilizzanti minerali è stimato tenendo conto delle asportazioni medie di azoto per ciascuna coltura, secondo quanto indicato in letteratura. Quindi si assume che le concimazioni azotate non superino il fabbisogno delle piante.

#### *Fertilizzanti organici (Fpfo)*

I fertilizzanti organici sono utilizzati per migliorare le caratteristiche fisico-chimiche del terreno; possono essere di origine vegetale (residui colturali e sottoprodotti delle industrie alimentari ecc.), di origine animale (reflui zootecnici, sottoprodotti della lavorazione delle carni e della pelle etc.) e di origine mista (letame, compost ecc.).

Il letame è ottenuto dalla fermentazione delle deiezioni, prodotte dagli animali in stabulazione, mescolate con la lettiera. La composizione varia con la specie allevata, con la tecnica di allevamento e con la tecnica di produzione del letame stesso.

Il liquame è costituito dalle deiezioni degli animali e spesso anche dalle acque di lavaggio, utilizzate per la pulizia degli ambienti zootecnici. Anche i liquami presentano un'estrema variabilità in termini di composizione.

Nel metodo IPNOA, la valutazione della quantità di azoto apportata dalle deiezioni animali è ottenuta con le seguenti fasi (figura 12.18):

- determinazione del carico zootecnico;
- determinazione della superficie agricola utilizzabile (SAU);
- determinazione del contenuto di azoto per tipo di refluo;
- calcolo del carico di azoto per ettaro di SAU.

### Fanghi di depurazione (FPfd)

I fanghi di depurazione derivano dai processi di trattamento delle acque reflue civili e industriali, cedono al terreno elevate quantità di azoto, paragonabili a quelle apportate dai fertilizzanti chimici.

I fanghi che possono essere utilizzati in agricoltura derivano da:

- impianti di depurazione civili;
- cicli di lavorazione e reflui degli impianti di depurazione delle industrie agroalimentari;
- impianti di potabilizzazione.

Generalmente, per ridurre gli impatti, la quantità di fanghi utilizzata dovrebbe essere inferiore a 20 t/ha annue.

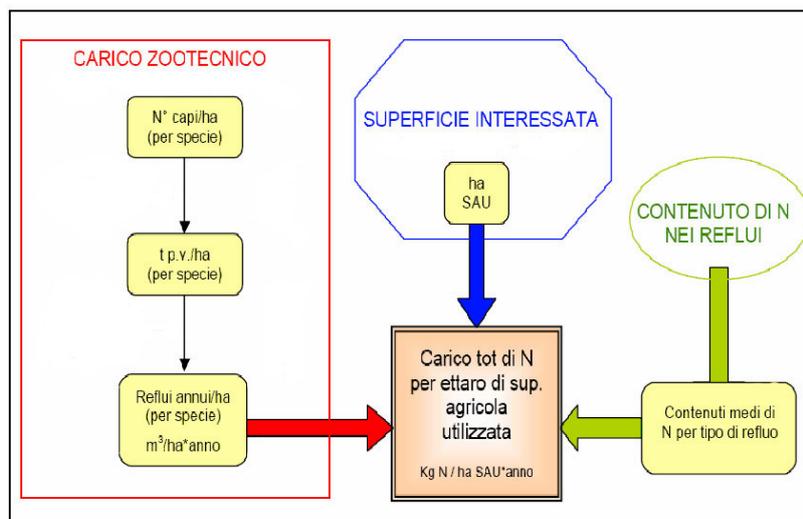


Figura 12.18 - Schema procedurale di calcolo del carico di azoto da fertilizzazione organica [Aquanet 2004: modificato]

In Italia, l'articolo 3 del D.Lgs. 99/92 disciplina l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, ponendo le seguenti condizioni:

- devono essere sottoposti a trattamento;
- devono essere idonei a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno;
- non devono contenere sostanze tossiche e nocive e/o persistenti, e/o bioaccumulabili in concentrazioni dannose per il terreno, per le colture, per gli animali, per l'uomo e per l'ambiente in generale.

Il calcolo del carico di azoto dei fanghi di depurazione considera:

- la composizione e le caratteristiche dei fanghi;
- i luoghi di utilizzazione dei fanghi (localizzazione e superficie) colture in atto e quelle previste;
- caratteristiche chimico-fisiche dei suoli;
- l'uso del suolo.

Nella tabella 12.22 sono riportati i pesi da attribuire a ciascun livello dei fattori di pericolo.

**Tabella 12.22 - Classificazione dei fattori di pericolo**

<b>Apporto di N da fertilizzanti Minerali (kg/ha)</b>	<b>Classe di pericolo FPfm</b>
0	1
1 – 25	2
26 – 100	3
100 – 180	4
> 180	5
<b>Apporto di N da fertilizzanti organici e reflui zootecnici (kg/ha)</b>	<b>Classe di pericolo FPfo</b>
0	1
1 – 150	2
151 – 300	3
300 – 500	4
> 500	5
<b>Apporto di N da fanghi di depurazione (kg/ha)</b>	<b>Classe di pericolo FPfd</b>
0	1
1 – 150	2
151 – 500	3
500 – 1500	4
> 1500	5

### 12.5.2 Fattori di controllo

Nel metodo IPNOA sono considerati fattori di controllo (FC) gli elementi che regolano il pericolo di perdite di nitrati dai suoli.

La lisciviazione degli elementi fertilizzanti dipende dai fattori, pedologici (FCa), climatici (FCc), agronomici (FCpa) e dalla tecnica di irrigazione (FCi).

#### *Contenuto di azoto nel suolo (FCa)*

Nel calcolo della concimazione azotata è importante considerare il contenuto di azoto totale di un terreno e la quota parte di questo elemento che può essere resa in forma prontamente disponibile per le piante; questa quantità è variabile e dipende dalle condizioni climatiche e pedologiche.

Il metodo IPNOA classifica i suoli sulla base del reale contenuto di azoto [Giardini 1992], assegnando a ciascuna tipologia di terreno un punteggio, calcolato considerando che il pericolo di perdite azotate per lisciviazione è maggiore nei suoli eccessivamente dotati di questo elemento.

#### *Clima (FCc)*

Tra i parametri climatici che possono influenzare il processo di lisciviazione dell'azoto dal suolo, i più importanti sono la temperatura, la quantità e la distribuzione delle piogge, che regolano il processo di infiltrazione dell'acqua nel suolo.

La metodologia stabilisce una classificazione delle precipitazioni e delle temperature, rapportate ad una classe di riferimento cui viene attribuito il valore unitario.

Il rischio di inquinamento delle falde, causato dalle attività agricole, sarà più elevato in quelle aree caratterizzate da maggiore piovosità e da temperatura più basse rispetto a quelle di riferimento.

#### *Pratiche agricole (FC<sub>pa</sub>)*

Il processo di lisciviazione dell'azoto dal suolo può essere influenzato dalla tecnica di concimazione (tipo, dose, periodo e modalità di distribuzione) e dalle altre pratiche colturali (lavorazioni, inerbimento ecc.).

Le lavorazioni del terreno comprendono le varie manipolazioni meccaniche eseguite per migliorarne la fertilità e creare le condizioni favorevoli per accogliere le colture [Bonciarelli F., 1998]. Esse contribuiscono a modificare le proprietà dei suoli, migliorarne la porosità, incrementare l'infiltrazione dell'acqua e ridurre le perdite per evaporazione.

Questo fattore di controllo considera il tipo di lavorazione e la modalità di distribuzione del concime, ponendo come situazione di riferimento ( $FC_{PA}=1$ ) la lavorazione tradizionale associata alla distribuzione uniforme del concime su tutta la superficie. La localizzazione del concime in prossimità della pianta e la concimazione fogliare sono delle tecniche a basso impatto che riducono il pericolo di contaminazione da nitrati degli acquiferi e avranno quindi un punteggio inferiore all'unità. Alla fertirrigazione è attribuito invece un impatto negativo e di conseguenza il valore del fattore risulta maggiore di uno.

Per quanto riguarda le lavorazioni, il punteggio massimo è attribuito a quelle tradizionali, che rappresentano la condizione di riferimento, alla quale sono rapportate le altre tecniche; queste ultime sono responsabili di un impatto minore e hanno, di conseguenza, un punteggio più basso.

#### *Irrigazione (FC<sub>i</sub>)*

L'irrigazione è una pratica agricola che consiste nell'apportare acqua al terreno nei periodi in cui si verifica un deficit idrico, quando le perdite per evapotraspirazione sono maggiori della riserva idrica del terreno. L'irrigazione può favorire il trasporto delle sostanze inquinanti verso l'acquifero. I fattori che condizionano questo processo sono il volume irriguo, la durata d'adacquamento e l'efficienza di irrigazione caratteristica del sistema di distribuzione<sup>5</sup>. Il metodo di irrigazione per sommersione, che consiste nel ricoprire il terreno con una cospicua quantità d'acqua per un periodo più o meno lungo, favorisce l'infiltrazione di notevoli quantitativi di acqua. Nell'irrigazione per scorrimento, l'acqua scorre sulla superficie sottoforma di un sottile velo liquido e man mano si infiltra. Questa tecnica, pur possedendo un minore impatto rispetto alla precedente, presenta comunque una significativa efficacia sul trasporto di un inquinante. Il sistema d'irrigazione per aspersione è caratterizzato da un'elevata efficienza irrigua e ha una azione trascurabile nei confronti del processo di infiltrazione e trasporto degli inquinanti. Nel metodo per aspersione (irrigazione a pioggia), gli irroratori distribuiscono l'acqua sotto forma di una minuta pioggia.

Nella tabella 12.23, sono rappresentati i fattori di controllo, secondo quanto riportato dalla metodologia, con le classi ed i punteggi relativi.

---

<sup>5</sup> Efficienza dell'irrigazione: rapporto tra la quantità d'acqua necessaria a una coltura e la quantità d'acqua effettivamente somministrata.

**Tabella 12.23 - Classificazione dei fattori di controllo**

<b>Contenuto di azoto nel suolo (%)</b>		<b>Punteggio IPNOA FCa</b>
>0,5		1,04
0,22 – 0,5		1,02
0,15 – 0,22		1,00
0,1 – 0,15		0,98
<0,1		0,96
<b>Precipitazioni (mm/anno); T(°C)</b>		<b>Punteggio IPNOA FCc</b>
>1200; 6 – 15		1,10
1050 – 1150; 13		1,08
950 – 1100; 14 – 16		1,06
800 – 1000; 12		1,04
600 – 1000; 15 – 16		1,02
600 – 800; 12 – 13		1,00
500 – 900; <16		0,98
600 – 700; 13 – 14		0,96
< 600; 15 – 17		0,94
<b>Pratiche agronomiche</b>		<b>Punteggio IPNOA FCpa</b>
Fertirrigazione		1,04
Distribuzione concimazione su tutta la superficie	Lavorazione tradizionale	1,00
Distribuzione concimazione via fogliare		0,98
Distribuzione concimazione localizzata	Lavorazione minima	0,96
	Non lavorazione	0,94
<b>Irrigazione</b>		<b>Punteggio IPNOA FCi</b>
Sommersione		1,06
Scorrimento		1,04
Aspersione		1,02
No irrigazione		1,00

Le variabili considerate sono classificate, come previsto dai metodi parametrici, secondo un peso che caratterizza l'incidenza (positiva, negativa o neutra) dei fattori coinvolti nel fenomeno. Tale elaborazione, oltre ad attenuare gli eventuali errori di stima e la soggettività delle misure, consente anche di rappresentare graficamente i risultati ottenuti. Dalla combinazione dei pesi attribuiti si ricava inizialmente il valore dell'indice IPNOA non normalizzato (grezzo).

La stima del pericolo di inquinamento da nitrati di origine agricola è determinata dal prodotto della somma dei pesi dei fattori di pericolo per il prodotto dei pesi dei fattori di controllo, secondo la seguente equazione:

$$IPNOA_g = (FP_{fm} + FP_{fo} + FP_{fd}) \times (FC_a \times FC_c \times FC_{pa} \times FC_i)$$

dove:

FP<sub>fm</sub> = fattore di pericolo determinato dai fertilizzanti minerali;

FP<sub>fo</sub> = fattore di pericolo determinato dai fertilizzanti organici;

FP<sub>fd</sub> = fattore di pericolo determinato dai fanghi di depurazione;

FC<sub>a</sub> = fattore di controllo rappresentato dal contenuto di azoto nel suolo;

FC<sub>c</sub> = fattore di controllo rappresentato dal clima;

FC<sub>pa</sub> = fattore di controllo rappresentato dalle pratiche agronomiche;

FC<sub>i</sub> = fattore di controllo rappresentato dall'irrigazione.

Nella formula, dal punto di vista teorico matematico, i fattori di pericolo sono quelli che contribuiscono in maggior misura al valore dell'IPNOA grezzo. I valori dell'indice IPNOA<sub>g</sub> sono suddivisi, sulla base dei percentili delle 135125 possibili combinazioni, in 6 classi [Padovani e Trevisan 2002]. Ad ogni classe è assegnato un giudizio del grado di pericolo, come riportato nella tabella 12.24.

**Tabella 12.24 - Classi e giudizi di pericolo IPNOA**

Valore IPNOA <sub>g</sub>	Classe	Pericolo Potenziale
2,54 – 3,18	1	Improbabile
3,19 – 5,88	2	Molto basso
5,89 – 7,42	3	Basso
7,43 – 9,31	4	Moderato
9,32 – 11,10	5	Alto
11,11 – 17,66	6	Elevato

L'applicazione dell'indice IPNOA non è finalizzata ad una stima quantitativa dei nitrati presenti in falda, ma a fornire una graduatoria delle porzioni di territorio caratterizzate da un differente pericolo di contaminazione. Generalmente, al fine di validare il modello proposto, si procede al confronto con i dati analitici, se disponibili, dei valori di nitrati misurati nelle acque sotterranee secondo quanto riportato nella seguente tabella 12.25 [Addeo et al. 2005].

**Tabella 12.25 - Classi di rischio IPNOA**

Concentrazione dei nitrati (mg/l)	Classe di rischio prevista
0 – 5	1 – 2
5 – 25	2 – 3
25 – 50	4
>50	5

## 12.6 Valutazione del rischio potenziale di inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola

Nel concetto di rischio sono presenti diverse componenti: l'evento che può accadere, il suo contesto ambientale, il danno che esso può produrre e l'incertezza relativa all'evento stesso. Inoltre, il rischio esprime il valore economico della perdita di risorse naturali, di attività economiche, di infrastrutture, sino ad arrivare alla perdita di vite umane. Può pertanto essere definita la funzione:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Valore economico}$$

Poiché una valutazione corretta dell'aspetto economico legato alle risorse idriche risulta di difficile determinazione, in questo lavoro, si è considerato esclusivamente il rischio potenziale. Il rischio potenziale di contaminazione delle acque sotterranee si ottiene attraverso l'utilizzo congiunto dei metodi IPNOA e SINTACS. Dalla sovrapposizione dei due modelli si possono individuare le aree soggette al rischio potenziale di contaminazione da nitrati.

Dunque, il rischio potenziale è calcolato come prodotto fra le classi di pericolosità e quelle di vulnerabilità della risorsa, secondo la seguente relazione:

$$R_{pot} = I_p \times I_v$$

dove

$I_p$  = indice IPNOA

$I_v$  = indice SINTACS

Il risultato è sintetizzato in sei classi di rischio che sono normalizzate secondo quanto riportato nella tabella 12.26.

**Tabella 12.26 - Classificazione delle classi di rischio**

Classe di rischio	Punteggio di rischio $R_{pot} = I_p \times I_v$	Grado di rischio potenziale
1	1-2	Molto basso
2	3-4	Basso
3	5-6	Moderato
4	7-10	Alto
5	11-18	Elevato
6	19-36	Estremamente elevato

## 12.7 Valutazione della pericolosità d'inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola, mediante l'IPNOA, nell'area in studio

### 12.7.1 Determinazione dei fattori di pericolo e di controllo

Il metodo IPNOA, così come descritto precedentemente, si basa su 7 fattori; per ciascuno dei quali bisogna disporre di uno specifico strato informativo per effettuare, attraverso operazioni di overlay matematico, il calcolo finale dell'indice di pericolosità. Per l'area in studio, la creazione degli strati informativi, relativi ai fattori di pericolo e di controllo, è avvenuta tramite l'acquisizione di dati, sia rilevati durante le fasi del progetto e sia provenienti da diverse *fonti*. La valutazione IPNOA è stata effettuata per l'area compresa all'interno del bacino idrogeologico.

L'uso del suolo rappresenta l'informazione essenziale da cui sono stati ricavati alcuni fattori di pericolo e di controllo ed è stato ricostruito attraverso l'integrazione di due strati informativi. Il primo, coincidente con l'area della piana, ha un dettaglio di rilievo pari a 1:5000: questo è stato derivato dallo studio realizzato nel 2005 dall'INEA, nell'ambito del progetto MONIDRI. Per la restante parte del bacino idrogeologico, si è utilizzata la carta di uso del suolo in scala 1:25000 della Regione Sardegna. L'applicazione della metodologia ha richiesto, inoltre, l'utilizzo di informazioni fornite dagli enti di assistenza agricola locali (Ersat, APA). In particolare, sono stati acquisiti i dati relativi agli apporti dei fertilizzanti minerali, il numero, l'ubicazione e la consistenza degli allevamenti a conduzione intensiva, le modalità di concimazione, le tecniche di lavorazione e i sistemi d'irrigazione.

Lo strato informativo relativo al clima è stato derivato dai dati e dalle elaborazioni, che sono stati forniti dal Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (SAR), riguardanti le serie storiche del trentennio climatico di riferimento (1961-1990).

I dati pedologici derivano da 103 profili, realizzati nell'ambito dei progetti RIADE e MONIDRI ed in parte rilevati durante recenti tesi di laurea [Tesi Cacciotto 2005; Tesi Tontini 2005]. Dunque, tutte le informazioni, una volta georiferite, sono state implementate in un GIS, secondo i formati compatibili per le elaborazioni. Questa fase si è resa necessaria per poter arrivare alla creazione di layer in formato *Grid*, specifici per ciascun fattore, con cui predisporre l'operazione finale di overlay.

Poiché le informazioni acquisite durante il Progetto, necessarie per l'applicazione del modello IPNOA sono di buon dettaglio, la zona in esame è stata discretizzata con una griglia a maglie regolari quadrate, con celle di 75 m di lato. Per ogni cella sono stati determinati i valori di ciascuno dei parametri, che sono poi stati convertiti in punteggi IPNOA.

Si vuole precisare che, per le unità di uso suolo non interessate da attività agricole, quali le aree urbane e naturali, si è considerato un punteggio pari a zero.

Di seguito vengono descritti singolarmente, per l'area in studio, tutti i fattori considerati per l'applicazione del metodo IPNOA. L'elaborato grafico completo è contenuto nell'Allegato 4.

#### *Fattori di pericolo*

La valutazione dei fattori di pericolo ha riguardato principalmente il *carico di azoto di origine minerale* (FPfm) ed *organica* (FPfo). Infatti, nell'agricoltura locale, l'apporto dei *fanghi di depurazione* (FPfd) non risulta una pratica consolidata, per cui, sulla base di quanto indicato dalla metodica, a tale fattore è stato attribuito un punteggio unitario (apporto nullo).

La valutazione delle classi di pericolo, relative all'apporto di azoto da *fertilizzanti minerali*, è stato ricavato sulla base delle quantità mediamente impiegate per ciascuna coltura, che risultano variabili in funzione delle tecniche agronomiche.

Il contributo derivante da *fertilizzanti organici*, conseguenti all'attività di allevamento, è stato determinato sulla base delle informazioni raccolte presso l'Associazione Provinciale Allevatori locale (APA). Tali informazioni si sono rese necessarie al fine di individuare ed ubicare le aziende che praticano forme di allevamento intensive e che producono e distribuiscono i reflui zootecnici. Il numero esiguo di aziende di questo tipo, presenti nell'area studio, ci ha consentito di delimitare, su base topografica (anche grazie all'ausilio di foto aeree), le superfici interessate dallo smaltimento dei reflui che avviene, comunque, sempre all'interno dell'azienda in cui vengono prodotti. Dal tipo e quantità di refluo si è ricavato, secondo quanto previsto dalla metodologia, l'azoto apportato sulla superficie considerata e quindi, all'attribuzione dei corrispondenti punteggi. A questi dati è stato necessario, in alcuni casi, incrociare quelli relativi alla fertilizzazione minerale. Questo è avvenuto in corrispondenza di quelle unità di uso suolo per cui l'apporto organico risulta inferiore rispetto alle quantità previste. Alle superfici non soggette a fertilizzazione organica è stato attribuito il punteggio uno.

In particolare, il fattore di pericolo FPfm, come mostrato in figura 12.19 e 12.20, presenta una evidente rilevanza della classe di pericolo 3, che risulta distribuita sul 42% del bacino.

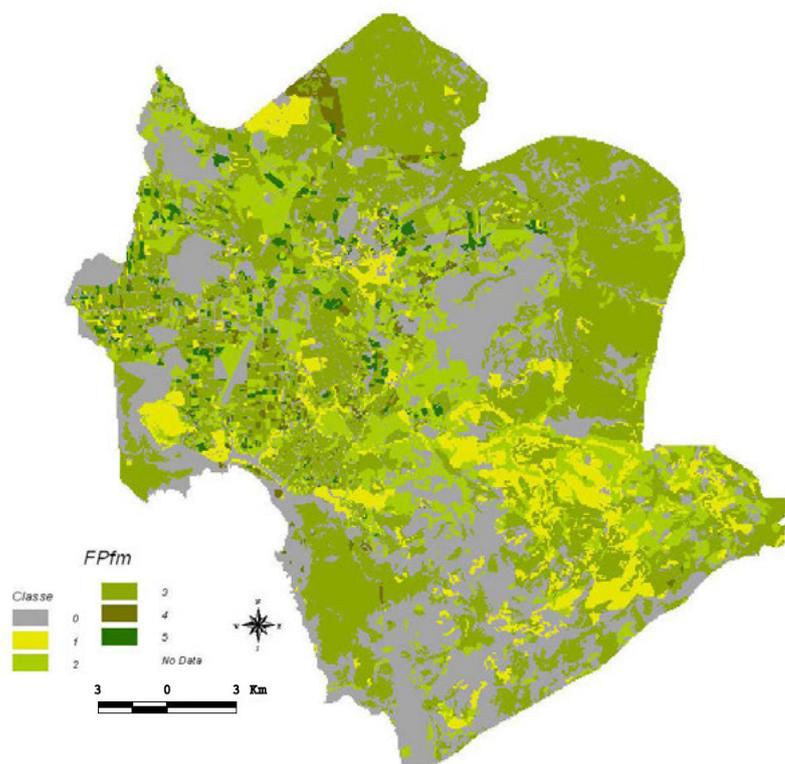


Figura 12.19 - FPfm dell'area in studio

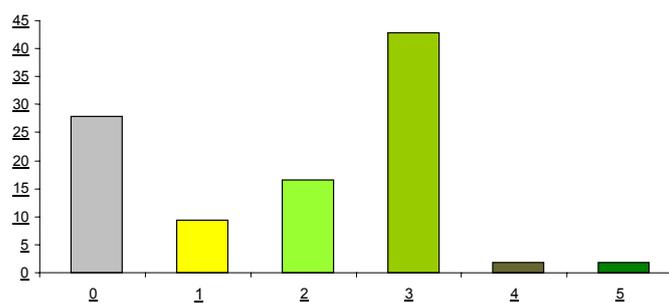


Figura 12.20 - Grafico e tabella di sintesi delle classi FPfm

FPfm	km <sup>2</sup>	(%)	Classe
	163,9	28,0	0
	54,3	9,3	1
	97,4	16,6	2
	250,5	42,7	3
	10,0	1,7	4
	10,0	1,7	5

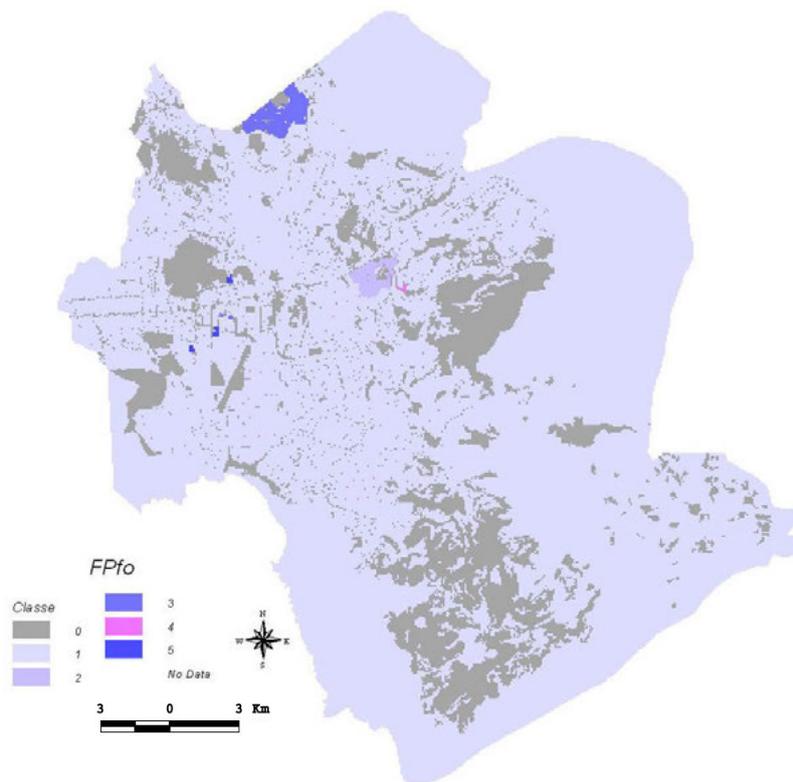
Questa è attribuita alle colture agrarie moderatamente esigenti in termini di apporto di fertilizzanti minerali azotati. Sono incluse fra queste i seminativi non irrigui, i prati di leguminose e, tra le colture orticole, le carote. Tra le colture arboree rientrano praticamente tutti i frutteti, oltre all'olivo e alla vite. La seconda classe, che occupa una buona superficie dell'area in esame, presenta dei valori molto bassi di fertilizzazione poiché interessata da colture di prati pascoli (con tale termine vengono indicate superfici di origine naturale). Non è infrequente l'intervento antropico, seppur ridotto ad una semplice azione di infittimento della vegetazione pabulare per stabilizzare la resa quantitativa ai fini del pascolamento che, comunque, non va a richiedere grossi input in termini di fertilizzanti.

Le colture orticole e quelle cerealicole, nello specifico il mais, vanno ad interessare rispettivamente le classi con punteggio pari a 4 e 5, con piccole percentuali di superficie occupata rispetto a quella totale. Gli ampi intervalli, stabiliti per la determinazione di questo fattore di pericolo, non ci consentono di differenziare la variabilità esistente negli apporti di fertilizzanti tra le medesime colture eseguite con pratiche agricole differenti, come per esempio nel caso di oliveti e vigneti condotti con o senza irrigazione.

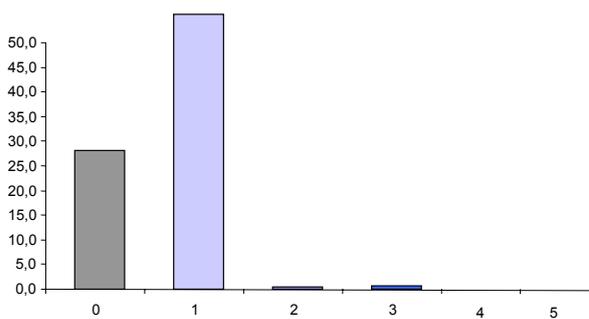
L'apporto di fertilizzanti di origine organica (FPfo) è, come riportato nelle figure 12.21 e 12.22, concentrato nelle aree delimitanti le aziende che praticano allevamento intensivo. Nella procedura di calcolo di tale fattore è stato assunto che la quantità di reflui prodotta, da ogni singolo allevamento e in funzione del numero e specie di capi, venga distribuita sulla superficie aziendale disponibile. Infatti, la metodica necessita di informazioni di un certo dettaglio, che possono essere raccolte con buona precisione, per essere trasformate in punteggi, solo per gli allevamenti a stabulazione fissa.

Per il resto dell'area, si è deciso di attribuire la classe 1 che viene attribuita per le superfici su cui l'apporto è nullo. Infatti, l'attività di allevamento prevalente nella zona è di tipo semi-estensivo; questo non presuppone raccolta dei reflui, in quanto le deiezioni vengono rilasciate dagli animali prevalentemente durante il pascolamento, non incidendo in maniera significativa sul carico di azoto al suolo. Inoltre, le informazioni raccolte presso gli enti di assistenza agricola, testimoniano la difficoltà nel reperire fertilizzanti organici di origine zootecnica.

Sul territorio interessato da attività agricola non avviene smaltimento di fanghi di depurazione (FPfd): dunque al corrispondente fattore di pericolo è stata attribuita la classe pari a 1.



**Figura 12.21 - FPfo dell'area in studio**



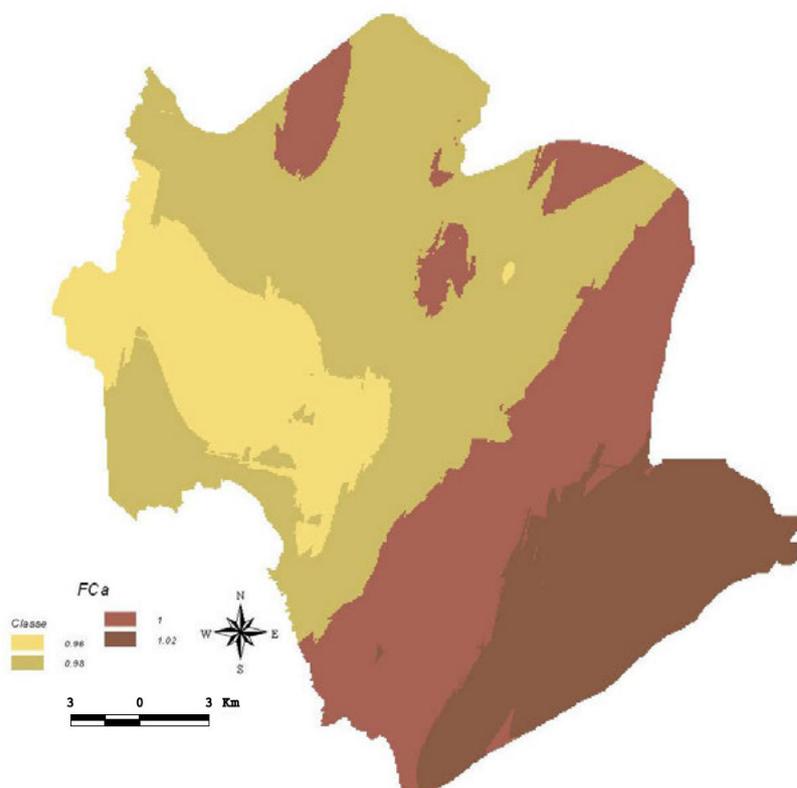
FPfo	km <sup>2</sup>	(%)	Classe
	145,0	28,0	0
	365,0	70,9	1
	2,0	0,4	2
	3,3	0,6	3
	0,1	0,0	4
	0,2	0,0	5

**Figura 12.22 - Grafico e tabella di sintesi delle classi FPfo**

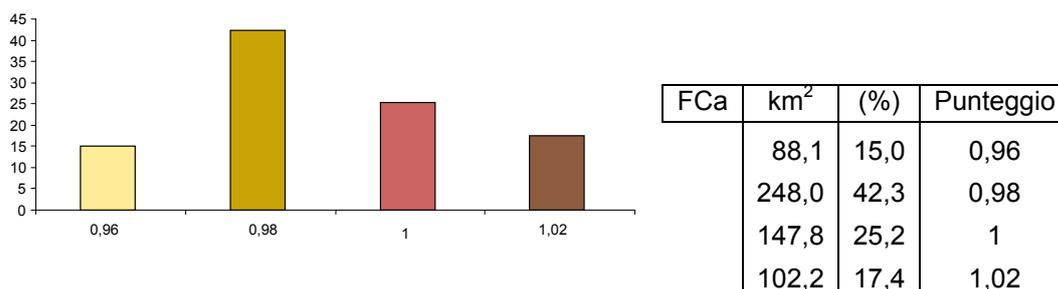
### *Fattori di controllo*

Per la definizione del fattore di controllo FCa, contenuto di azoto nel terreno, sono stati utilizzati i dati analitici relativi ai rilievi pedologici precedentemente citati, rilevati nell'area in studio. Dai dati è stato estrapolato, per il solo strato arabile, il contenuto totale di azoto (metodo Kieldhal), che è stato poi spazializzato, attraverso tecniche di interpolazione geostatistiche (figura 12.23 e 12.24).

Il 42% del bacino risulta mediamente dotato in termini di azoto (FCa 0,98); tale percentuale comprende i suoli ricadenti sui paesaggi delle formazioni calcaree del Mesozoico, che caratterizzano la porzione dell'area occupata da colture agrarie riconducibili principalmente a mais, erbai e seminativi irrigui. Le aree ben dotate di azoto (FCa 1) occupano circa il 25%: queste si ritrovano in corrispondenza di coperture vegetali sia agricole (seminativi non irrigui) che semi-naturali (prati-pascoli) e principalmente su suoli facenti parte delle formazioni effusive dell'Oligo-Miocene e, in parte, di quelle sedimentarie del Cenozoico. Le restanti parti sono aree interessate da dotazioni di azoto ricche (FCa 1,02) e povere (FCa 0,96), le quali si equivalgono in termini areali. La classe più elevata si ritrova su superfici occupate da boschi, macchia e pascoli naturali. Le aree povere in azoto coincidono con quelle in cui è concentrata una attività agricola intensiva, quale quella orticola.



**Figura 12.23 - FCa dell'area in studio**



**Figura 12.24 - Grafico e tabella di sintesi delle classi FCa**

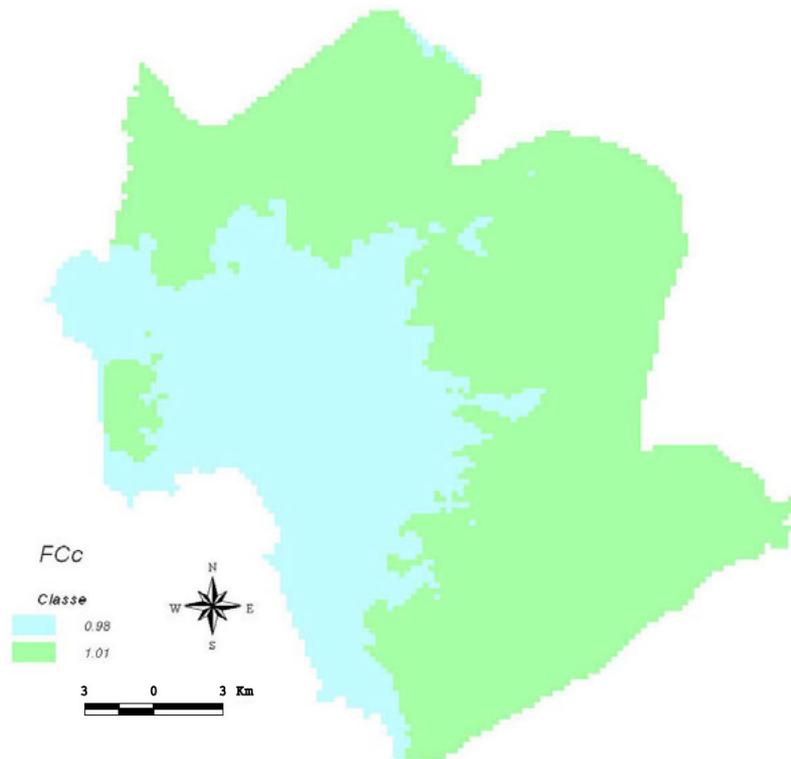
Il fattore di controllo FCc, rappresentato dal clima, è stato valutato in seguito alla spazializzazione dei dati termo-pluviometrici. Al fine di classificare ambiti climatici, riconosciuti per l'area in studio, ma non previsti dal metodo IPNOA (tabella 12.23) è stato necessario introdurre una classe integrativa.

La creazione del nuovo intervallo deriva dalla modifica del *range* di temperatura della regione climatica indicata come *Peninsulare ionica* lasciando, invece, invariati i valori di precipitazione.

L'attribuzione del punteggio alla classe da noi inserita è avvenuta sulla base del ragionamento proposto dagli autori nella metodologia. Infatti, considerando il clima della regione padana meridionale (con FCc=1) come clima di riferimento, la metodica discrimina come potenzialmente più pericolose le zone caratterizzate da una maggiore piovosità e/o da valori di temperatura media annua inferiori (rispetto a quella di riferimento), a cui sono assegnati punteggi sempre superiori a 1. Viceversa, aree con minore piovosità e/o temperature superiori a quella di riferimento risultano potenzialmente meno pericolose. Dunque, al *range* da noi proposto (precipitazione tra i 500-900 mm/anno e temperature tra i 14 e i 16 °C) si è deciso di assegnargli una nuova classe, introducendo il punteggio FCc pari a 1,01. In sintesi, il bacino in studio ricade in due zone (classi) climatiche (figura 12.25), che derivano dalle indicazioni previste della metodica e dall'integrazione della stessa proposta attraverso l'introduzione di una nuova classe.

I fattori di controllo relativi alle pratiche agronomiche (FCpa), così come quelli delle tecniche di irrigazione (FCi), derivano da informazioni fornite dai tecnici dell'ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura) di Sassari e Alghero. Le pratiche agronomiche includono le voci modalità di lavorazione e distribuzione del concime. A queste viene assegnato un punteggio complessivo, che prevede l'abbinamento tra specifiche modalità di lavorazione e distribuzione del concime (tabella 12.23).

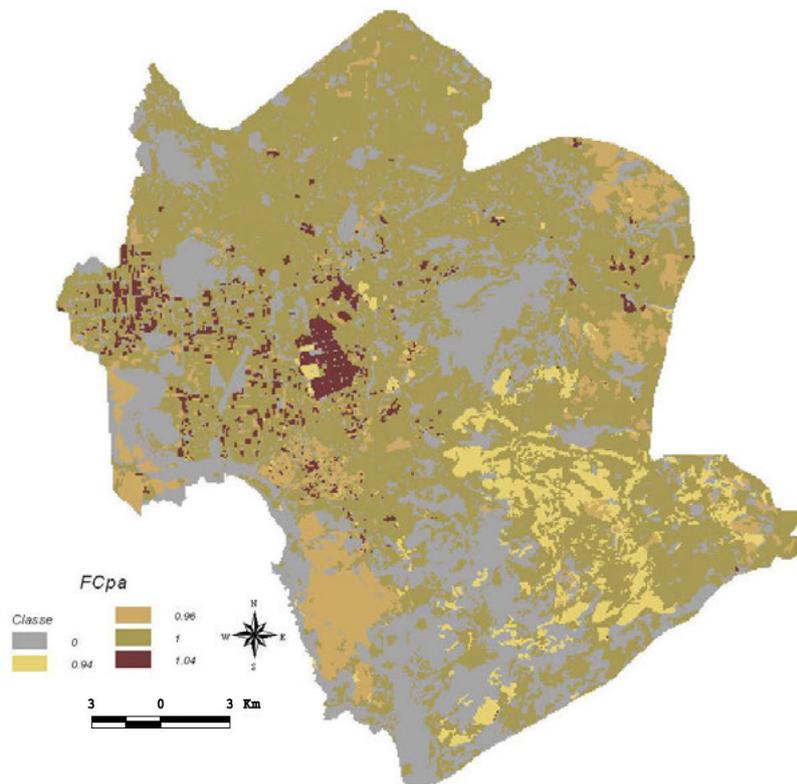
Nell'area in esame, non sempre si sono avute le combinazioni previste dal modello IPNOA: anche in questo caso, è stata apportata una modifica alla metodica. In particolare, nella tabella 12.23, si riscontra che il punteggio attribuito ad Fcpa preveda l'abbinamento delle lavorazioni tradizionali con una distribuzione del concime su tutta la superficie.



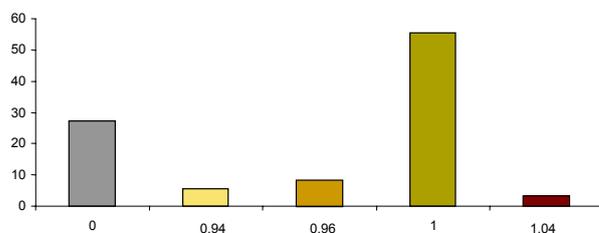
**Figura 12.25 - FCc dell'area in studio**

Questo, però, non corrisponde esattamente ad alcune situazioni riconosciute nell'area, dove per la maggior parte delle colture orticole, a fronte di una lavorazione tradizionale, la distribuzione del concime risulta per lo più localizzata o avviene tramite fertirrigazione. In questi casi, si è deciso di mantenere invariati i punteggi, scegliendo quello più elevato tra quelli risultanti dall'incrocio delle pratiche agronomiche.

Il layer relativo al FCpa (figure 12.26 e 12.27) evidenzia come quelle più ricorrenti vadano ascritte a lavorazione di tipo tradizionale e distribuzione del concime su tutta la superficie, per via dell'elevata presenza di colture seminative che prevedono l'adozione di tali pratiche.



**Figura 12.26 - FCpa dell'area in studio**

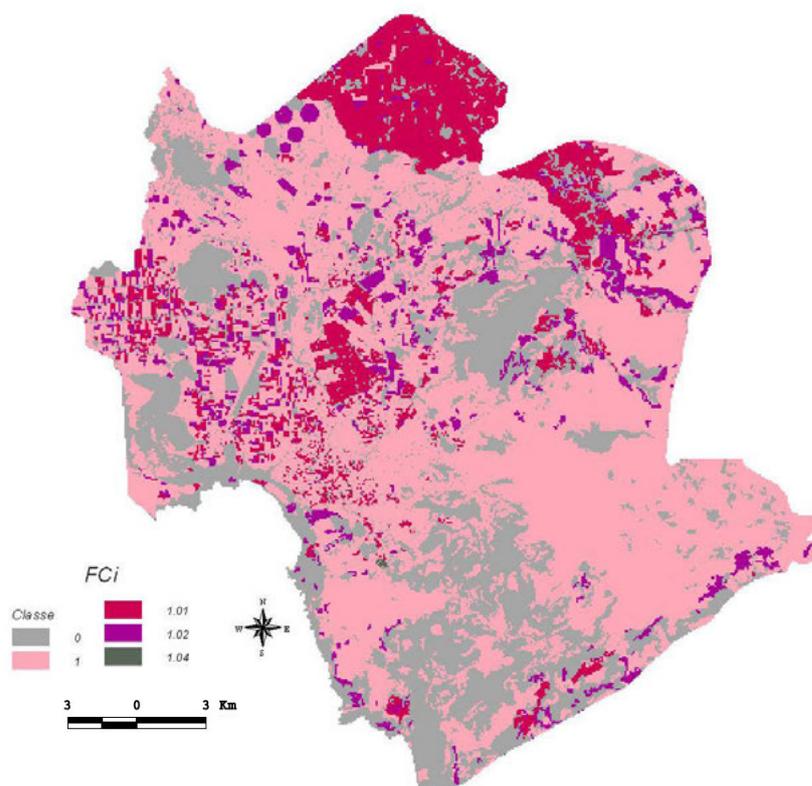


**Figura 12.27 - Grafico e tabella di sintesi delle classi FCpa**

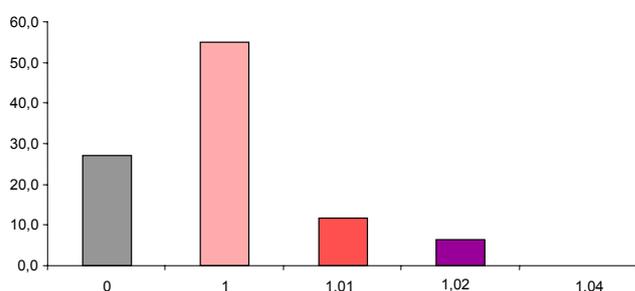
FCpa	km <sup>2</sup>	(%)	Punteggio
0	159,3	27,9	0
0,94	33,2	5,0	0,94
0,96	49,6	8,5	0,96
1	325,6	55,6	1
1,04	18,4	3,1	1,04

Sul 3% della superficie totale si fa ricorso alla fertirrigazione, a cui è stato attribuito il punteggio più elevato: questa è prevalentemente occupata da colture orticole ed arboree. L'attribuzione delle classi al fattore di controllo irrigazione (FCi) è avvenuta sulla base della pratica irrigua maggiormente impiegata per ciascun tipo di coltura (figure 12.28 e 12.29).

Anche in questo caso, le classi indicate dalla metodologia non hanno consentito di caratterizzare le situazioni locali: per esempio, non viene indicata una voce relativa all'irrigazione localizzata. Per questa tipologia di irrigazione, ampiamente utilizzata nell'area per colture arboree e buona parte di quelle orticole, si è deciso di attribuire il valore 1,01.



**Figura 12.28 - FCI dell'area in studio**



FCi	km <sup>2</sup>	(%)	Punteggio
	158,6	27,9	0
	321,9	54,6	1
	67,9	11,2	1,01
	37,0	6,1	1,02
	0,7	0,1	1,04

**Figura 12.29 - Grafico e tabella di sintesi delle classi FCI**

Il bacino è interessato per il 54% da colture non irrigue. L'irrigazione localizzata, riscontrabile per la maggior parte delle colture arboree ed orticole, interessa l'11%. Il sistema di irrigazione per aspersione viene impiegato su circa il 6% della superficie utilizzata per colture cerealicole e seminativi irrigui. Infine, una modesta percentuale dell'area è interessata da pratiche irrigue per scorrimento, ascrivibili a quelle unità di uso suolo in cui le attività agricole vengono condotte ad esclusivo interesse familiare.

### 12.7.2 Il calcolo IPNOA. La Carta di Pericolosità d'inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola

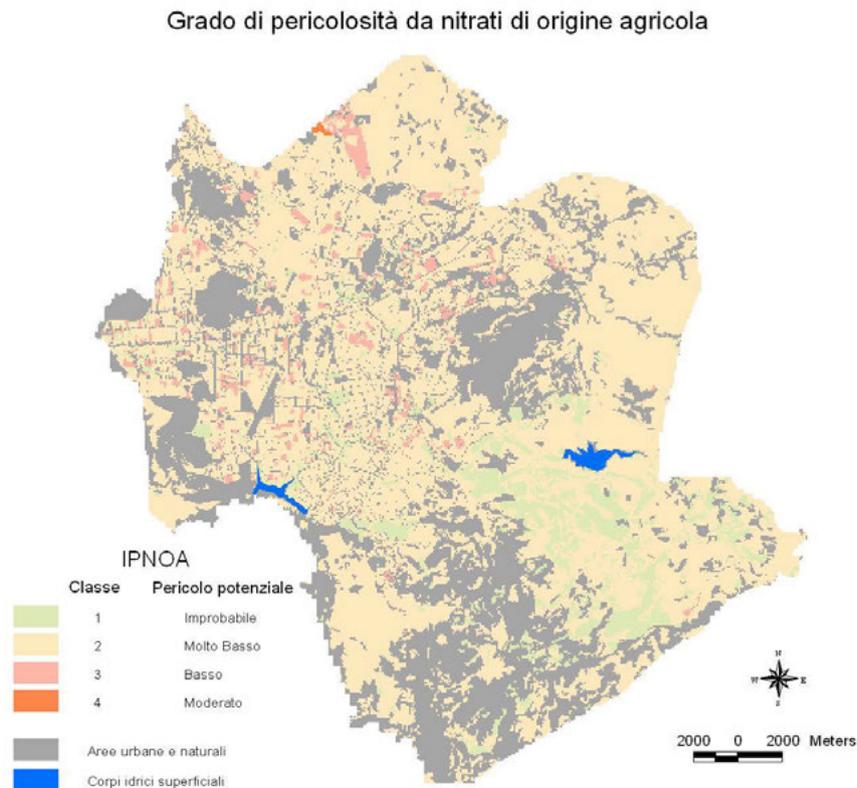
Per la valutazione del pericolo potenziale di inquinamento da nitrati di origine agricola (IPNOA) si è applicata la seguente formula:

$$IPNOA_g = (FP_{fm} + FP_{fo} + FP_{fd}) \times (FC_a \times FC_c \times FC_{pa} \times FC_i)$$

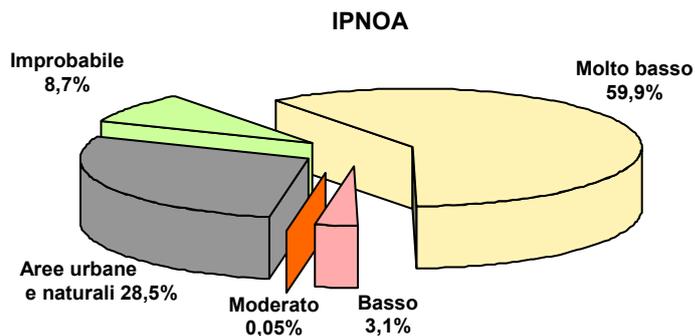
che fornisce l'indice IPNOA grezzo.

Attraverso una successiva classificazione, l'indice grezzo è stato convertito nelle 6 classi finali, secondo quanto riportato in tabella 12.25.

L'elaborato finale IPNOA per l'area in studio è rappresentato in figura 12.30 e nell'Allegato 4. Nel grafico di figura 12.31, sono riportate le superfici, espresse in percentuale sul totale dell'area in studio, relative alle classi IPNOA. I risultati evidenziano che sono presenti solo le prime quattro delle sei classi previste dalla metodica: non compaiono le classi di pericolo Alto ed Elevato.



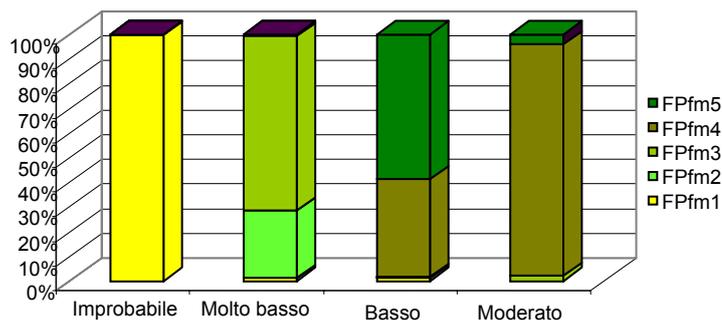
**Figura 12.30 - Carta di pericolosità d'inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola dell'area in studio**



**Figura 12.31 - Frequenza areale delle classi IPNOA**

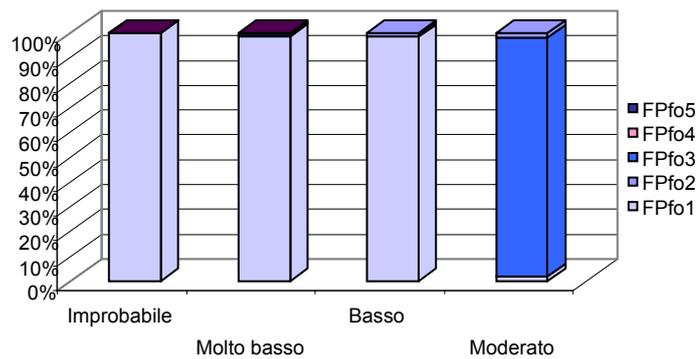
Al fine di valutare il peso dei singoli fattori (potenzialmente) più rilevanti sul risultato finale è stata eseguita una elaborazione statistica dei risultati. L'elaborazione è stata effettuata utilizzando delle statistiche incrociate, attraverso cui si sono poste in relazione le classi dei singoli fattori rispetto a quelle del pericolo potenziale.

In figura 12.32 viene rappresentato graficamente la distribuzione dei valori di fertilizzanti minerali per ciascuna classe finale prevista dall'IPNOA. È evidente la diretta proporzionalità esistente fra le grandezze in esame. La classe FPfm, con punteggio 4, aumenta dal pericolo Basso a quello Moderato. I carichi di azoto relativi a questa classe, che caratterizzano principalmente le colture orticole, sono anche quelli che presentano influenza maggiore sull'esistenza di pericolo Moderato, che peraltro occupa una piccolissima percentuale dell'area studio. La classe FPfm 5, che rappresenta il valore più alto, influenza maggiormente il pericolo potenziale Basso. In questa situazione emerge che le colture con maggiore apporto in termini di fertilizzazione minerale interessano circa il 90% delle superfici appartenenti al pericolo Basso.



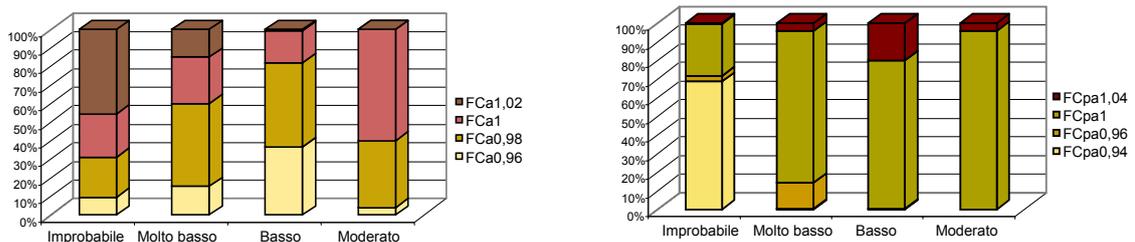
**Figura 12.32 - Distribuzione dei FPfm rispetto all'IPNOA**

La fertilizzazione organica influisce sulla classe IPNOA Moderato, in maggior parte, con il valore di FPfo 3 (figura 12.33). La classe FPfo prevalente è quella con apporto nullo; mentre, i valori 4 e 5, seppur presenti, non mostrano una elevata significatività, per via delle ridotte dimensioni delle superfici coinvolte da tali apporti.



**Figura 12.33 - Distribuzione dei FPfo rispetto all'IPNOA**

Tra i fattori di controllo sia per il FCa che per il FCpa, si nota un progressivo incremento delle classi che possiedono classe di valore uno (figura 12.34). In corrispondenza, quindi, delle aree ad IPNOA Moderato si presentano suoli ben dotati in azoto, su cui si effettuano lavorazioni di tipo tradizionale con distribuzione del concime su tutta la superficie.



**Figura 12.34 - Distribuzione di FCa e FCpa rispetto all'IPNOA**

Tra i fattori di controllo, il FCc e il FCi (figura 12.35) sono quelli che maggiormente influiscono sul pericolo potenziale Moderato. La componente climatica ricade sulle superfici interessate da IPNOA Moderato, nel 90% dei casi, con la classe di punteggio 1,01. Il FCi influisce prevalentemente sulla pericolosità dell'area con due tipi di irrigazione, che presentano valori di classe superiori ad uno: la pratica irrigua localizzata (FCi 1,01), che tende a diminuire passando dal pericolo Molto Basso a quello Moderato e l'irrigazione per aspersione (FCi 1,02) che, per le stesse classi di pericolo, aumenta progressivamente.

Il confronto tra i fattori FCi, FCa ed FCpa evidenzia, in corrispondenza della classe di pericolo Moderato, l'influenza che il fattore irrigazione esercita sul valore IPNOA. Infatti le lavorazioni tradizionali e la distribuzione del concime su tutta la superficie, che prevedono classi di punteggio uno per le colture cerealicole e alcune orticole, necessitano di pratiche irrigue per aspersione. Lo stesso ragionamento può essere effettuato per le colture orticole che prevedono irrigazione localizzata. Questi tipi colturali sono quelli che presentano il più elevato valore di FPfm.

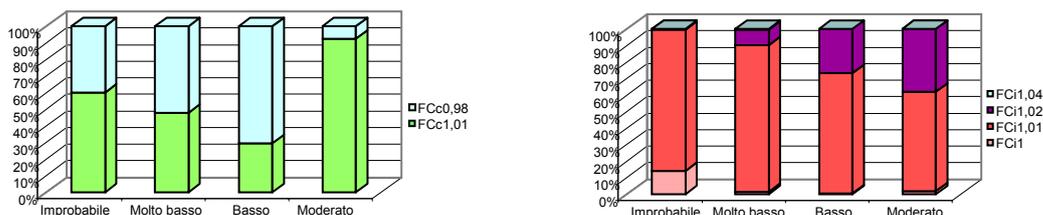


Figura 12.35 - Distribuzione di FcC e FcI rispetto all'IPNOA

## 12.8 Valutazione del Rischio Potenziale di Inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola nell'area in studio

L'utilizzo congiunto degli indici IPNOA e SINTACS consente di valutare il rischio potenziale di contaminazione delle acque sotterranee da nitrati di origine agricola. Dalla sovrapposizione dei due modelli, infatti, si possono individuare le aree a differente rischio di contaminazione da nitrati. Il rischio potenziale è calcolato come prodotto fra le classi di pericolosità e quelle di vulnerabilità della risorsa, secondo la seguente relazione:

$$R_{pot} = I_p \times I_v$$

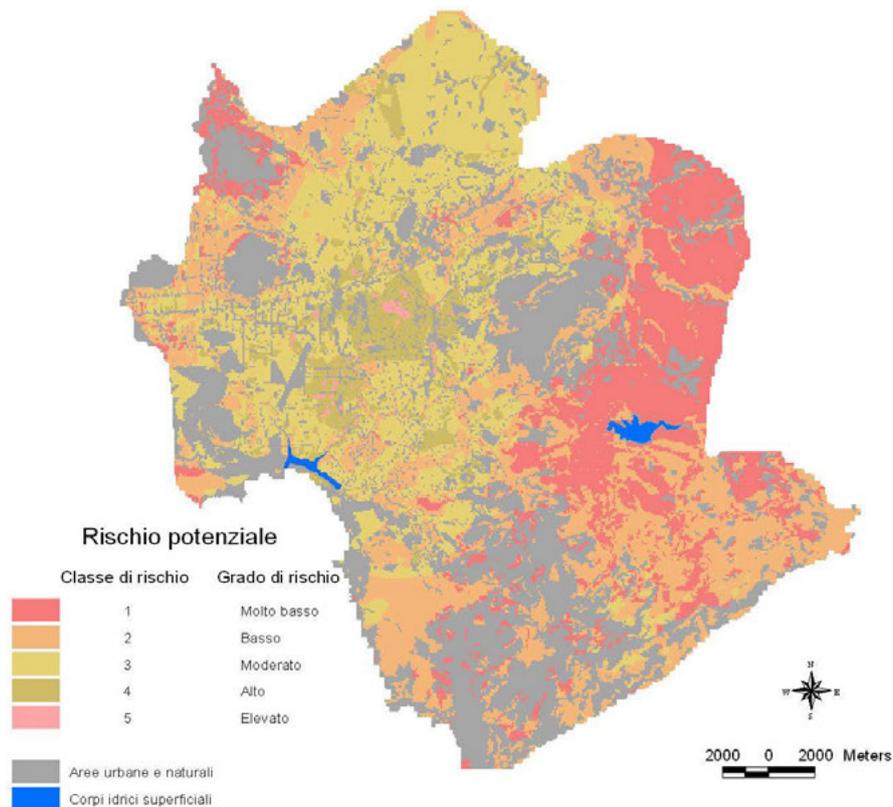
dove

$I_p$  = indice IPNOA

$I_v$  = indice SINTACS

L'elaborazione cartografica del rischio potenziale del bacino idrogeologico è rappresentata nella figura 12.36 e nell'Allegato 4. L'area è stata discretizzata con una griglia a maglie regolari quadrate, con celle di 25 m di lato. Le classi di rischio sono distinte in base al punteggio normalizzato (tabella 12.26).

### Rischio potenziale da nitrati di origine agricola

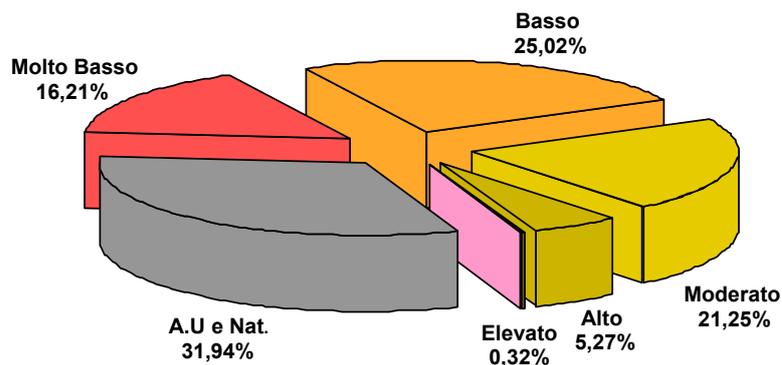


**Figura 12.36 - Carta del Rischio Potenziale di inquinamento degli acquiferi da nitrati di origine agricola**

All'interno del bacino sono state individuate cinque classi di rischio: le frequenze areali sono riportate in figura 12.37. Da questa si evince un'equivalente distribuzione del grado di rischio Basso e Moderato pari, rispettivamente, al 25 e 21% della superficie del bacino.

Le aree a rischio potenziale Alto ed Elevato, presenti in percentuali molto minori, si concentrano maggiormente nella parte centrale della piana. In corrispondenza di questa porzione del bacino si riscontra alta vulnerabilità intrinseca (figura 12.9), a dimostrazione dell'influenza che l'indice SINTACS esercita sul rischio potenziale, e Basso o Moderato pericolo dovuto agli apporti azotati.

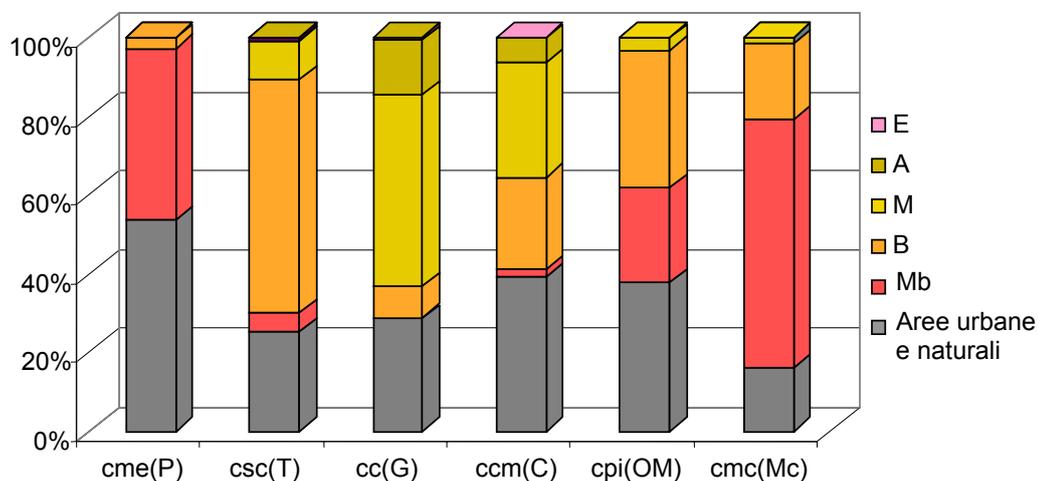
Le aree ricadenti nelle classi di rischio più basse sono distribuite principalmente sulla parte orientale del bacino, seguendo, in linea di massima, le zone in cui ad una bassa o estremamente bassa vulnerabilità intrinseca viene associata una pericolosità giudicata improbabile o molto bassa (classe 1 e 2).



**Figura 12.37 - Frequenza areale del Rischio Potenziale di contaminazione da nitrati di origine agricola**

Dalla figura 12.38 è possibile notare la distribuzione per acquifero delle classi di rischio. I complessi calcareo del Giura e calcareo marnoso del Cretaceo, mostrano ampie porzioni areali interessate da grado di rischio potenziale moderato e anche, in percentuale molto minore, il grado alto.

Le aree a rischio di contaminazione più basse, invece, si ritrovano principalmente in corrispondenza degli acquiferi ricadenti nelle formazioni del Miocene e del Paleozoico.



**Figura 12.38 - Distribuzione per acquifero del Rischio Potenziale**

### 12.8.1 Validazione e verifica del modello applicato

Per la validazione del modello proposto si è fatto un confronto fra i dati analitici, rilevati durante le attività di monitoraggio di pozzi e sorgenti, ed il grado di rischio valutato per le superfici su cui questi punti d'acqua sono ubicati. I valori di concentrazione del parametro  $\text{NO}_3^-$  (mg/l), per la convalida del rischio potenziale stimato, vengono riportati nella tabella 12.27 secondo quanto indicato nel D.L. 258/2000. La classificazione si basa sulla delimitazione di campi di valori che individuano tre classi di qualità delle acque sotterranee rispetto al valore guardia (VG = 5 mg/l) ed alla concentrazione massima ammissibile (CMA = 50 mg/l).

**Tabella 12.27 - Classificazione in classi di qualità del parametro  $\text{NO}_3^-$**

Concentrazione di nitrati (mg/l)	Classe di qualità
0 - 5	1 - 2
5 - 50	3 - 4
> 50	5

Sulla base delle indicazioni riportate in tabella 12.27, una corretta valutazione del rischio potenziale di contaminazione da nitrati di origine agricola, deve tener conto della distribuzione delle classi di qualità in funzione dei valori di concentrazione, dell'ubicazione dei centri di pericolo e delle direzioni di flusso delle acque sotterranee dei vari acquiferi. I valori di concentrazione derivano dall'analisi dei campioni d'acqua prelevati da pozzi e sorgenti in occasione dei monitoraggi di dicembre 2004 e giugno 2005: sono stati considerati sia i risultati di ogni singolo periodo che la loro media. Nelle figure 12.39, 12.40 e 12.41 si riportano le cartografie tematiche relative.

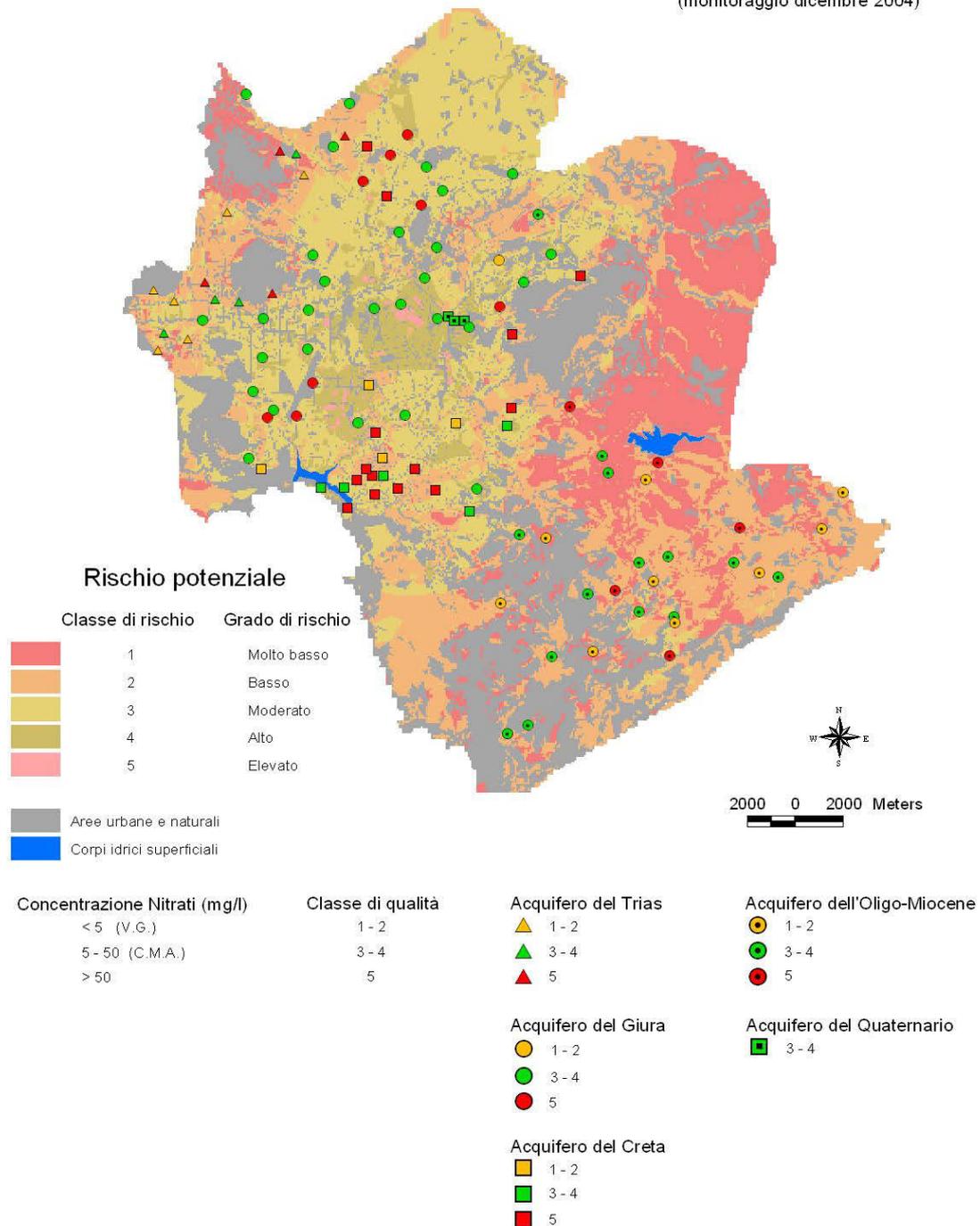
Come riportato dalle carte tematiche, l'attività antropica manifesta la sua maggiore influenza nella zona di piana del bacino. Premettiamo che non è semplice individuare un andamento generale dell'inquinamento da nitrati, per via della mancanza di dati analitici distribuiti su più anni. Ciò nonostante possiamo evidenziare delle tendenze in corrispondenza di alcuni degli acquiferi considerati.

In particolare, nella zona di piana del bacino occupata dagli acquiferi del Trias e del Giura, caratterizzati da valori medio alti, è possibile riscontrare un maggiore contenuto in nitrati per i punti d'acqua posti a valle dei centri di pericolo. La stessa cosa non può essere affermata per l'acquifero del Cretaceo, per il quale la distribuzione della concentrazione elevata di nitrati risulta omogenea, non consentendo l'individuazione di un andamento caratteristico.

Una particolare situazione si riscontra nella parte a nord dell'acquifero del Giura in cui sono presenti elevate concentrazioni di nitrati senza che vi siano a monte, della direzione di flusso delle acque sotterranee, significativi centri di pericolo. L'acquifero dell'Oligo-Miocene, nella parte meridionale del bacino, presenta valori in nitrati generalmente medio bassi. Infatti tale zona non è interessata da attività antropiche intensive. I valori più elevati si trovano in corrispondenza degli allevamenti di tipo semi estensivo, identificati come centri di pericolo.

## Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità

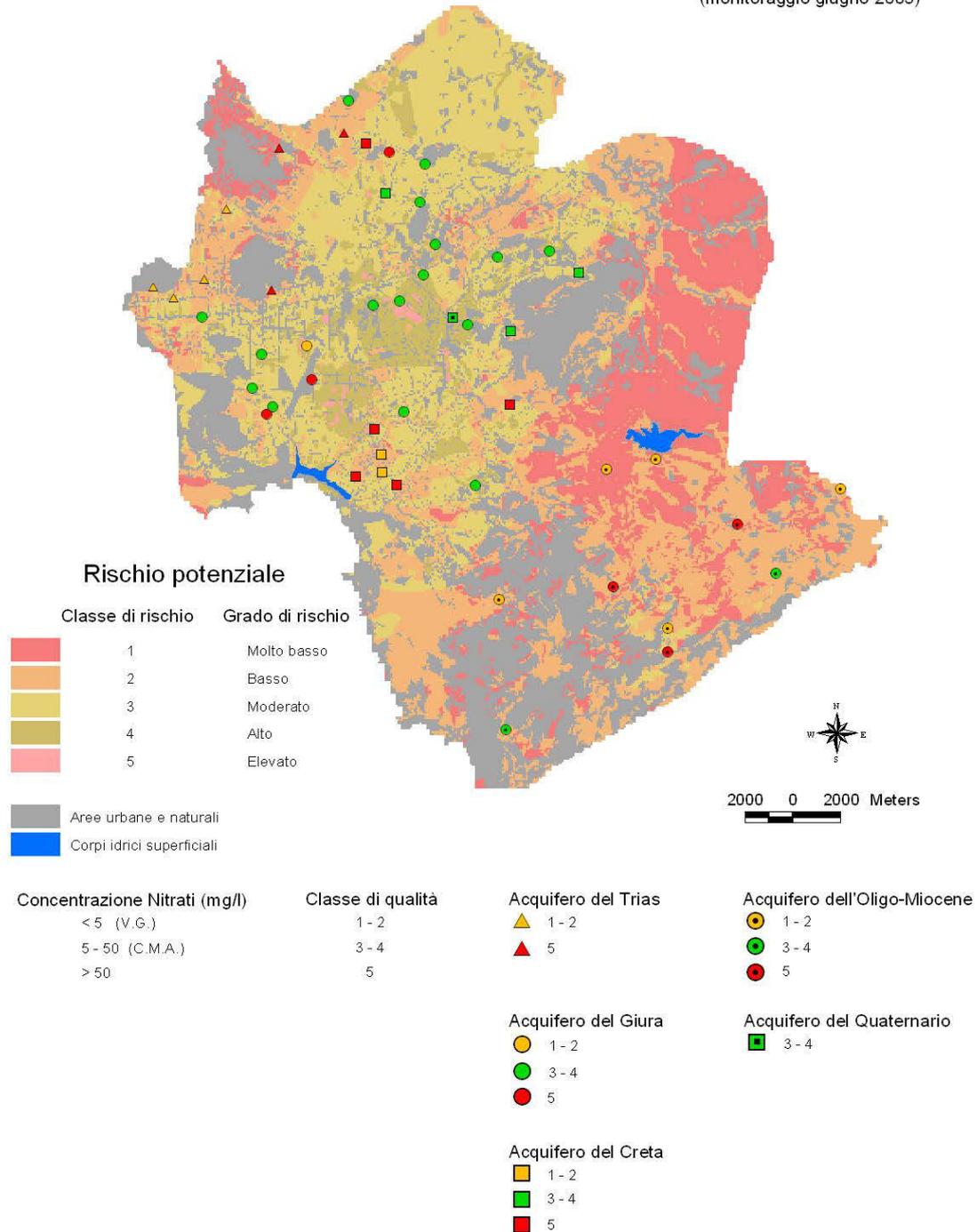
(monitoraggio dicembre 2004)



**Figura 12.39 - Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità delle acque sotterranee (monitoraggio dicembre 2004)**

## Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità

(monitoraggio giugno 2005)



**Figura 12.40 - Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità delle acque sotterranee (monitoraggio giugno 2005)**

## Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità

(valori medi monitoraggio dicembre 2004 - giugno 2005)

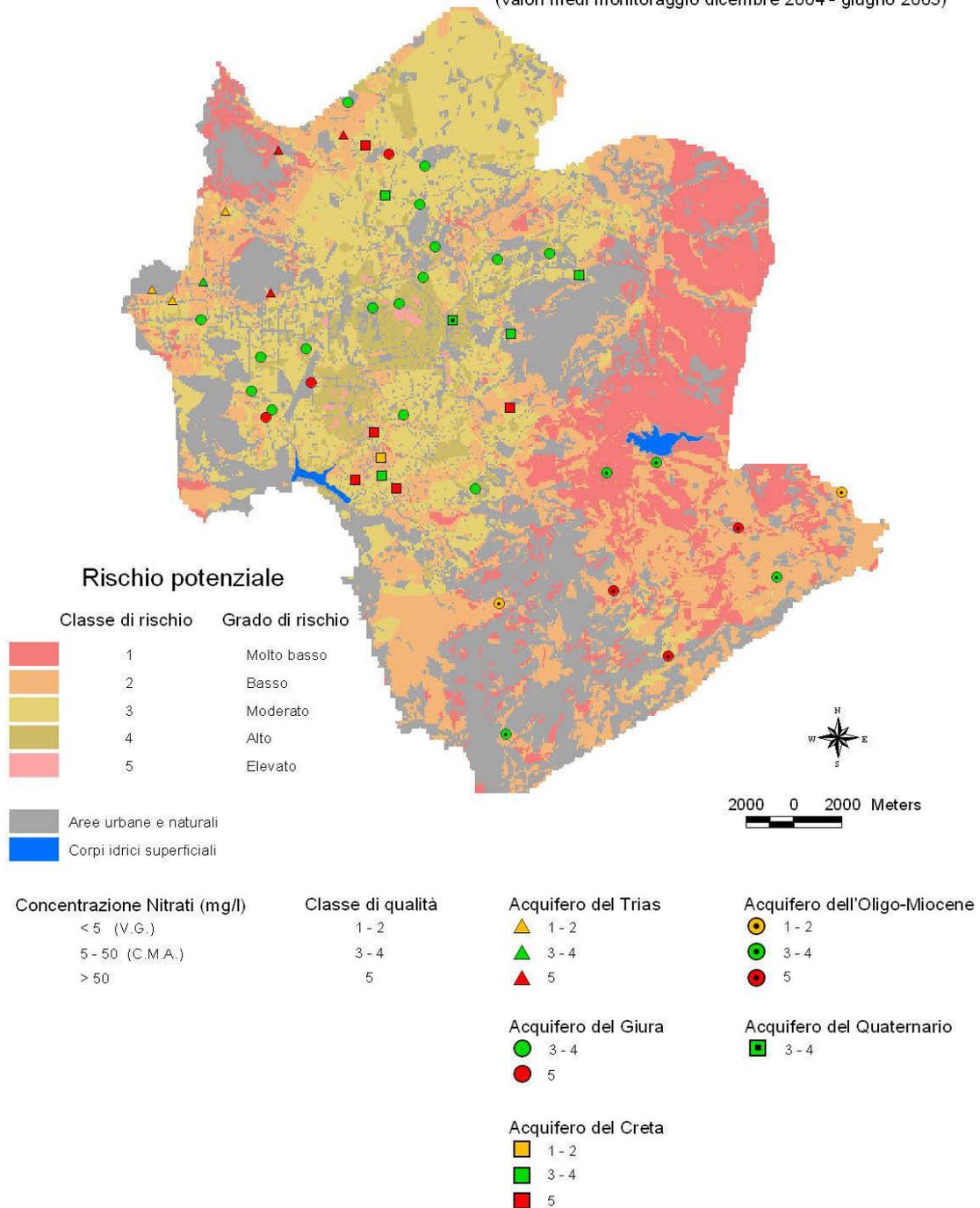


Figura 12.41 - Rischio potenziale di contaminazione da nitrati e classi di qualità delle acque sotterranee (valori medi monitoraggio dicembre 2004-giugno 2005)

## **CAPITOLO 13**

### **STATO QUALITATIVO DELLE RISORSE IDRICHE**

La problematica della disponibilità della risorsa idrica non può essere, in modo riduttivo, basata esclusivamente a considerazioni di tipo quantitativo, che escludano il concetto di qualità e di prevenzione dai fenomeni di inquinamento.

L'importanza della tematica è evidenziata dall'attenzione del legislatore nei confronti della gestione della qualità delle acque e dei suoi risvolti sulla qualità della vita umana, a partire dalle prime leggi sulla bonifica, R.D. 1775/33.

Attualmente la normativa di riferimento è composta da leggi e decreti che dettano norme sull'utilizzo e sulla tutela. Fra queste, oltre al recente Decreto Ronchi, le più importanti sono:

- il Decreto del Presidente della Repubblica del 24 maggio 1988, n. 236 *Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano* ai sensi dell'art. 15 della Legge 16 aprile 1987, n. 183, che fissa i Valori Guida (VG) e la Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) dei parametri chimico-fisici più importanti per definire la qualità delle acque destinate al consumo umano;
- il DLgs 11 Maggio 1999, n. 152 (e successive modificazioni) *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*. Il DLgs 11 maggio 1999, n. 152 recepisce e disciplina le normative europee in materia di inquinamento idrico, stabilendo dei criteri di caratterizzazione e classificazione dei corpi idrici.

Lo stato qualitativo delle risorse idriche dell'area in studio è stato valutato partendo dai dati chimici analitici ed applicando delle metodiche di classificazione differenti. Tali sono, seppure in una fase avanzata, ancora in via di sperimentazione e quindi passibili di miglioramento, altre sono già codificate e recepite dalle normative vigenti.

Di seguito vengono descritte le metodiche che sono state utilizzate per la classificazione delle risorse idriche ed i risultati derivanti dalle analisi eseguite sulla rete di monitoraggio. Infatti, come si è già descritto nei Capitoli 9 e 10, per l'area è stata appositamente realizzata una rete di monitoraggio ottimale, in funzione di criteri di tipo idrogeologico ed in funzione dei centri di pericolo individuati.

Le metodiche proposte potranno essere vantaggiosamente adoperate dagli enti gestori per valutare i parametri soggetti a variazioni che determinano un peggioramento e/o un miglioramento della qualità delle Risorse Idriche.

#### **13.1 La qualità di base delle acque sotterranee**

Per la classificazione della qualità di base delle acque sotterranee è stato applicato un metodo che prende in considerazione la destinazione d'uso della risorsa idrica, distinguendo l'utilizzo per il consumo umano e per quello irriguo [Civita et al. 1993, 2005]. Queste classificazioni utilizzano, per ciascun uso dell'acqua, diversi parametri e indicano i rispettivi valori che individuano le diverse classi di qualità. La metodica consiste nella creazione di un diagramma che visualizza, in maniera chiara, per ogni campione di acqua analizzato, l'appartenenza ad una determinata classe di qualità.

In realtà, una classificazione basata su parametri che possono variare nel tempo, in funzione di situazioni naturali o antropiche, determina una *fotografia* dello stato qualitativo, riferita ad un periodo ben definito: ovvero quello del campionamento. Quindi, al fine di seguire l'evoluzione spazio-temporale dello stato qualitativo delle RIS (Risorse Idriche Sotterranee) è fondamentale operare attraverso un monitoraggio.

### 13.1.1 Valutazione della qualità di base delle acque destinate al consumo umano

I parametri presi in considerazione, per la qualità di base delle acque destinate al consumo umano, sono suddivisi in due gruppi:

- gruppo 1, comprende i parametri chimico-fisici durezza TH (f°), conducibilità elettrica CE a 20°C (µS/cm), cloruri (mg/l), solfati (mg/l) e nitrati (mg/l);
- gruppo 2, comprende le sostanze indesiderabili NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l), Fe<sup>2+</sup> (mg/l) e Mn<sup>2+</sup> (mg/l).

Nella tabella 13.1 sono riportati gli intervalli dei valori che individuano le classi di qualità ottima (A), intermedia (B) e scadente (C), relative a ciascun gruppo.

I valori utilizzati per indicare i limiti delle diverse classi sono stati calcolati prendendo spunto dai valori guida (VG) e dalle concentrazioni massime ammissibili (CMA) indicati dal DPR 236/88.

**Tabella 13.1 - Schema di classificazione della qualità delle acque sotterranee**

CLASSE	Gruppo 1					Gruppo 2			Giudizio
	Parametri chimico-fisici					Sostanze indesiderabili			
	TH (f°)	CE <sub>(20°C)</sub> µS/cm	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Fe <sup>2+</sup> mg/l	Mn <sup>2+</sup> mg/l	
A	15 <sup>(1)</sup> -30	<1000	<50	<50 <sup>**</sup>	<10	<0,05	<0,05	<0,02	<b>Ottima</b>
B	30 <sup>(1)</sup> -50	1000-2000	50-200	50 <sup>**</sup> -250	10-50	0,05-0,5	0,05-0,2	0,02-0,05	<b>Media</b>
C	>50	2000	>200	>250	>50	>0,5	>0,2	>0,05	<b>Scadente</b>

Note: <sup>(1)</sup> Valore minimo consigliato

\*Valore indicativo intermedio tra Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) e Valore Guida (VG) (DPR 236/88).

\*\* Valore doppio rispetto al VG.

La qualità di base è individuata dalla combinazione delle 2 classi determinate, in entrambi i gruppi, dal parametro compreso in quella peggiore.

Le possibili combinazioni delle 6 classi di qualità, tre per ogni gruppo (A1, B1, C1, A2, B2 e C2), danno origine a 9 classi di qualità di base finale; ad ognuna delle quali è associato un giudizio di qualità, secondo quanto riportato nella tabella 13.2.

**Tabella 13.2 - Giudizio d'uso della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso umano**

CLASSE	GIUDIZIO D'USO
A1A2	OTTIMA
B1A2	
C1A2	BUONA
A1B2	ACCETTABILE
B1B2	
C1B2	
A1C2	MEDIOCRE
B1C2	SCADENTE
C1C2	

Per rendere più semplice l'interpretazione dei risultati, viene prevista la costruzione di un diagramma (figura 13.1), costituito da 8 assi in scala logaritmica, uno per ogni parametro, sul quale vengono riportati i valori analitici dei campioni; i singoli valori, rappresentati da un punto sull'asse logaritmico, sono uniti da una semiretta che consente di valutare agevolmente la classe di qualità, l'elemento che la determina, i parametri al limite di una classe e quelli che causano variazioni della qualità nel tempo. Inoltre, la rappresentazione grafica consente un agevole confronto tra diversi campioni di acque sotterranee.



Una elevata concentrazione del sodio, nel complesso di scambio del suolo, ha effetti negativi perché favorisce il rigonfiamento delle argille, con una conseguente perdita della struttura ed una diminuzione della permeabilità dello stesso.

L'indice RSC (Residual Sodium Carbonate) è determinato attraverso la formula:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

dove le concentrazioni degli elementi sono espresse in meq/l. Quando l'indicatore RSC assume un valore positivo significa che si è in presenza di un eccesso di ioni bicarbonato, rispetto al calcio e al magnesio. Gli ioni bicarbonato saranno quindi legati agli altri ioni alcalini, in particolare sodio e potassio; viceversa, un valore negativo di RSC indica un eccesso di calcio e magnesio, che saranno legati ad altri anioni quali i solfati e i cloruri.

Il TDS (Total Dissolved Solid) è ottenuto dalla somma delle concentrazioni, espresse in mg/l, di tutti gli ioni in soluzione più la silice.

$$TDS = [ ]^+ + [ ]^- + SiO_2$$

I valori guida relativi a ciascun parametro, riportati nella tabella 13.3, costituiscono i limiti delle tre classi di qualità dell'acqua destinata all'uso irriguo. Anche in questo caso, ad ogni classe di qualità è associato un giudizio sull'utilizzo più appropriato:

- 1<sup>a</sup> qualità: acque adatte per quasi tutti i suoli, senza particolari accorgimenti;
- 2<sup>a</sup> qualità: acque da usare soltanto su suoli con buon drenaggio e bassa capacità di scambio cationico;
- 3<sup>a</sup> qualità: acque inutilizzabili o da usare soltanto in casi speciali, su terreni molto permeabili, con colture molto tolleranti e con elevati volumi d'adacquamento.

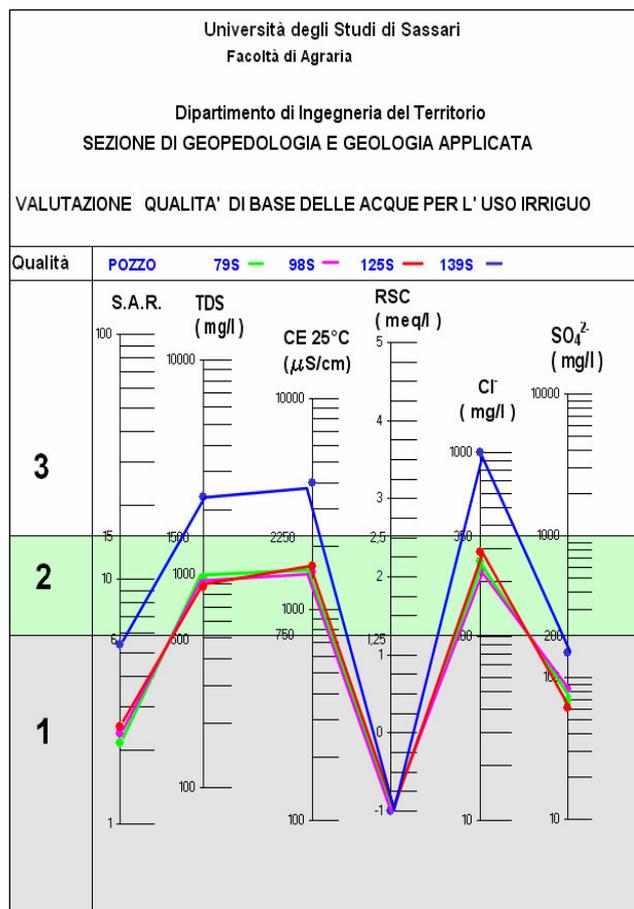
Analogamente a quanto fatto per le acque destinate al consumo umano, i valori analitici dei parametri considerati sono riportati su un diagramma (figura 13.2) formato da cinque assi, in scala logaritmica, dei parametri SAR, TDS, conducibilità, cloruri e solfati, e da un asse, in scala decimale, del RSC. Per ciascun parametro, le soglie minima e massima, individuano le tre classi di qualità. Per ogni campione, la classe di qualità per l'uso agricolo sarà individuata da quella propria del parametro peggiore. Nel diagramma, per facilitare l'interpretazione della classe di qualità per l'uso irriguo, una semiretta unisce i singoli valori dei parametri di ciascun campione, rappresentati da un punto su ogni asse.

**Tabella 13.3 - Parametri e valori guida per la classificazione delle acque per uso irriguo**

Parametri	1 <sup>a</sup> qualità	2 <sup>a</sup> qualità	3 <sup>a</sup> qualità
TDS	mg/l <500		500* -1500** >1500
SAR	<6		6* -15** >15
Conducibilità Elettrica	μS/cm(25°C) <750		750* -2500** >2500
Cloruri	mg/l <100		100* -350** >350
RSC	meq/l <1,25		1,25* -2,5** >2,5
Solfati	mg/l <200		200* -1000** >1000

Fonte: CSWQCB, 1963

\*Limite inferiore; \*\*Limite superiore



**Figura 13.2 - Diagramma per la rappresentazione grafica della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso irriguo**

### **13.2 Valutazione, per l'area in studio, della qualità di base per il consumo umano delle acque sotterranee**

La valutazione, per l'area in studio, della qualità di base per il consumo umano delle acque sotterranee, è stata effettuata per due diversi periodi: il primo è relativo ai campionamenti eseguiti sulla rete di monitoraggio preliminare; il secondo è relativo ai prelievi effettuati sulla rete di monitoraggio definitiva. I dati relativi alle analisi chimiche sono riportati nel Capitolo 10, nei data base e nei grafici della qualità contenuti nel DVD allegato. Di seguito vengono riportati e discussi i risultati.

#### **13.2.1 Rete di monitoraggio preliminare**

Nel mese di dicembre del 2004 è stato effettuato, sulla rete di monitoraggio di 97 pozzi e 21 sorgenti, un rilievo idrogeologico di dettaglio.

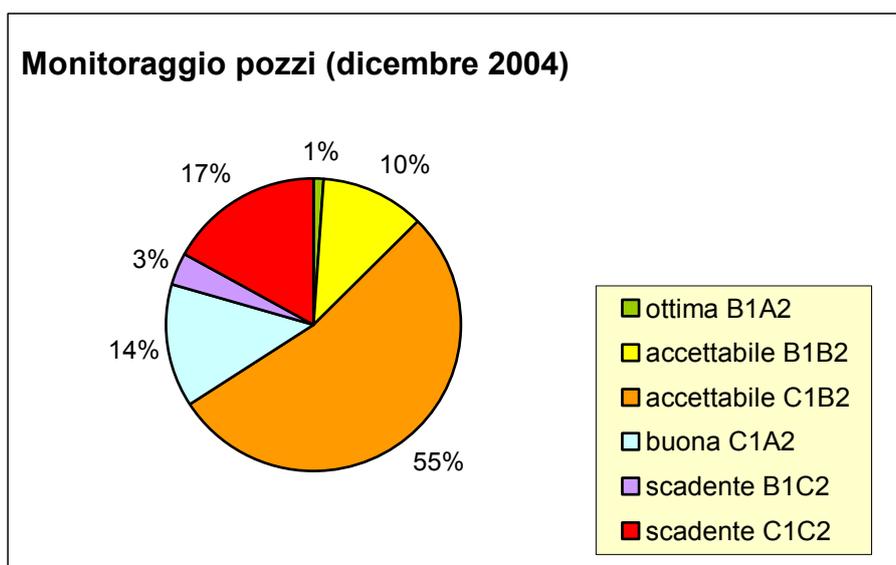
Per ogni punto d'acqua, oltre all'esecuzione delle misure speditive in situ (temperatura, pH e livello piezometrico), sono state campionate le acque sotterranee.

In laboratorio sono stati misurati i parametri relativi a: conducibilità elettrica, salinità, ossigeno disciolto, potenziale di ossido riduzione, residuo fisso, durezza totale, bicarbonati, nitrati, nitriti, cloruri, solfati, bromuri, fosfati, silice, ammoniaca, sodio, potassio, calcio, magnesio, ferro, litio, zinco, manganese, piombo e cadmio.

Non è stato possibile applicare il modello per la valutazione della qualità di base per il consumo umano ai campioni di acqua delle sorgenti, in quanto mancavano i dati sui contenuti di ammoniaca; per lo stesso motivo, sono state classificate le acque di 87 pozzi, su i 97 campionati.

In figura 13.3 è riportato il grafico che mostra la distribuzione, nelle varie classi, degli 87 pozzi analizzati in questa fase: il 66% sono caratterizzati da una qualità accettabile (C1B1 55%, B1B2 10%), 1% ottima (B1A2 ), 14% buona (C1A2) e il 20% scadente (B1C2 3%, C1C2 17%).

Questa classificazione è stata applicata anche sui gruppi di campioni prelevati dallo stesso acquifero. In questo modo è stato possibile definire, sulla base della distribuzione dei campioni nelle varie classi, lo stato qualitativo dei singoli acquiferi, riferito a dicembre 2004.



**Figura 13.3 - Qualità di base delle acque per il consumo umano nella rete di monitoraggio preliminare**

#### 13.2.1.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)

L'acquifero ospitato nelle formazioni del Trias (dolomie, marne, gessi, argille, calcari dolomitici ecc.) è caratterizzato da valori di conducibilità elettrica elevati, generalmente superiori a 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , elevate concentrazioni di cloruri, solfati, nitrati ed ammoniaca. È l'acquifero peggiore dal punto di vista qualitativo: su 17 campioni analizzati, il 47% appartengono alla classe scadente (C1C2), mentre il 53% ricade nella classe accettabile (C1B2) (figura 13.4).

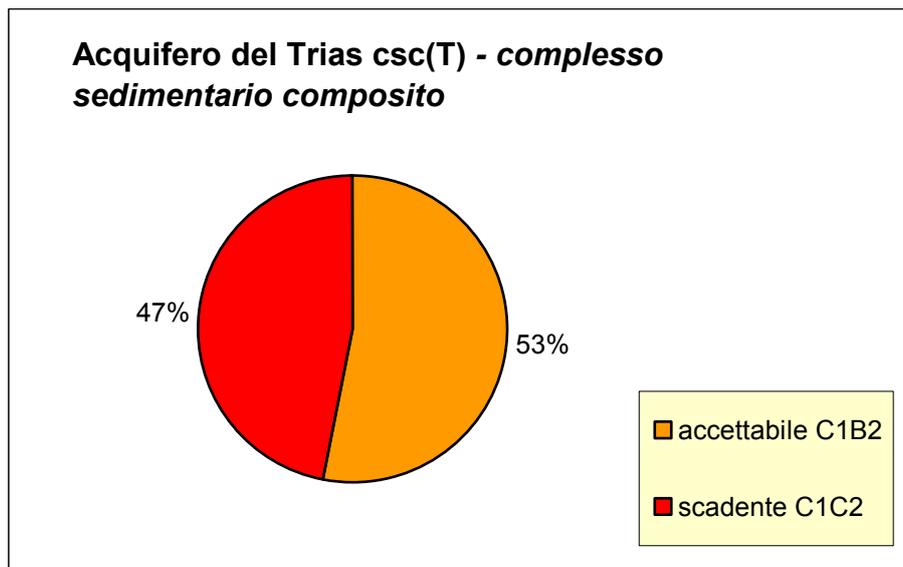


Figura 13.4 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del Trias (dicembre 2004)

### 13.2.1.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)

L'acquifero ospitato nelle formazioni del Giura (calcari, calcari dolomitici, marne ecc.) presenta valori di conducibilità elettrica bassa, compresa tra 1000 e 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ed ha complessivamente un buono stato di qualità: su un totale di 41 campioni, il 2% è risultato di ottima qualità, il 69% accettabile, il 20% buona e solo il 9% scadente (figura 13.5). La classe C1 è determinata per lo più dai cloruri e dalla durezza ed, in qualche caso, dalla presenza di nitrati in concentrazioni elevate. La classe C2 è poco frequente ed è determinata per lo più dall'ammoniaca.

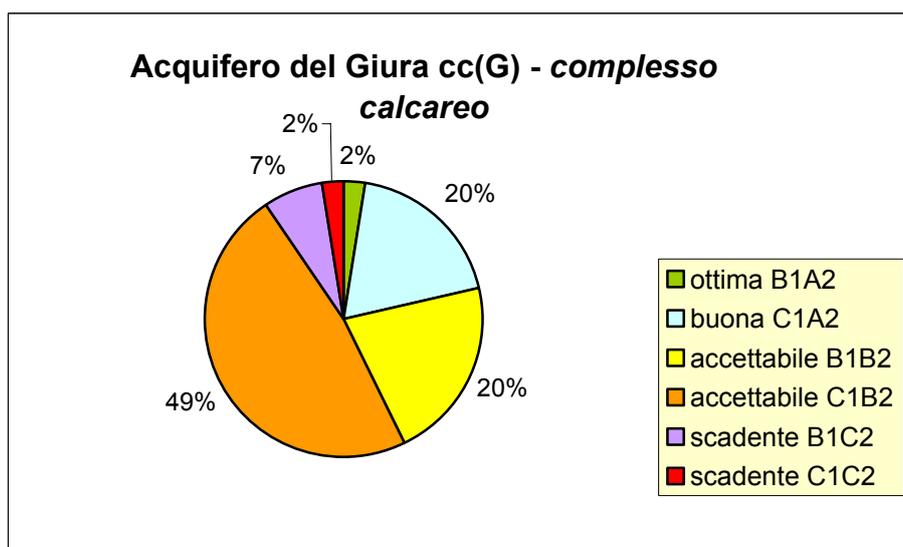
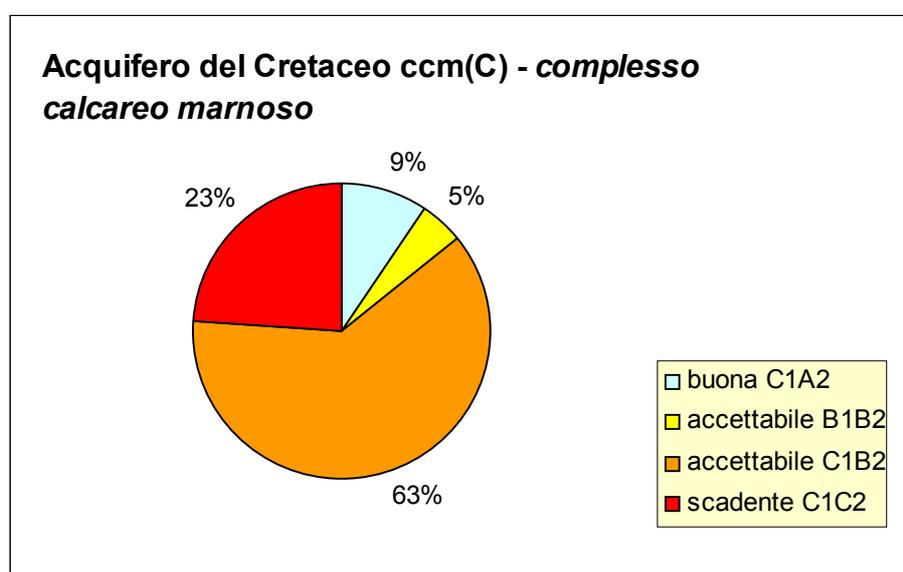


Figura 13.5 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del Giura (dicembre 2004)

### 13.2.1.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)

L'acquifero ospitato nei calcari del Cretaceo (ccm(C)-complesso calcareo marnoso) è caratterizzato da valori di conducibilità elettrica intermedia, compresa tra 2000 e 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; presenta una situazione più critica, rispetto al precedente, in quanto sui 22 punti di acqua campionati, il 23% è risultato scadente, il 63% accettabile ed il restante 9% di buona qualità, come illustrato in figura 13.6.

La presenza della classe C2 è dovuta, nella maggior parte dei casi, al superamento della soglia dell'ammoniaca ed in qualche caso del manganese. L'appartenenza alla classe C1 dei campioni è causata dal frequente superamento del valore limite della conducibilità e della concentrazione dei cloruri e, talvolta, della durezza.

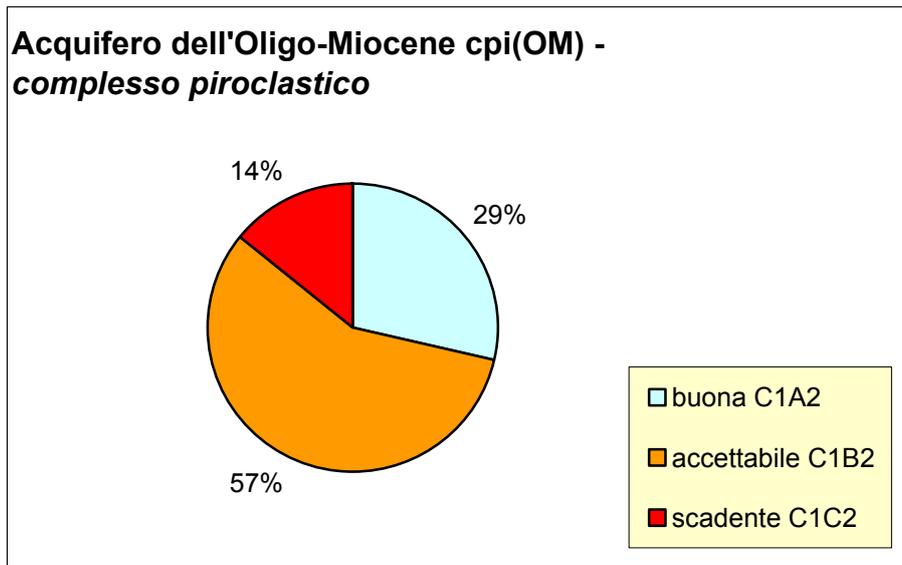


**Figura 13.6 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del Cretaceo (dicembre 2004)**

### 13.2.1.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)

L'acquifero, ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico (rioliti, riodaciti, tuffi ecc.), è caratterizzato, in alcune aree, da elevati valori della conducibilità elettrica e da un'elevata concentrazione dei cloruri, che sono responsabili, in tutti i 7 campioni analizzati, della presenza della classe C1. La classe più rappresentata è quella accettabile (57%), mentre il 14% appartiene alla classe scadente e il 29% a quella buona (figura 13.7).

Non è stato possibile applicare il modello per la valutazione della qualità di base per il consumo umano, ai campioni di acqua delle sorgenti, in quanto mancavano i dati sui contenuti di ammoniaca, necessari per l'elaborazione della qualità di base per il consumo umano.

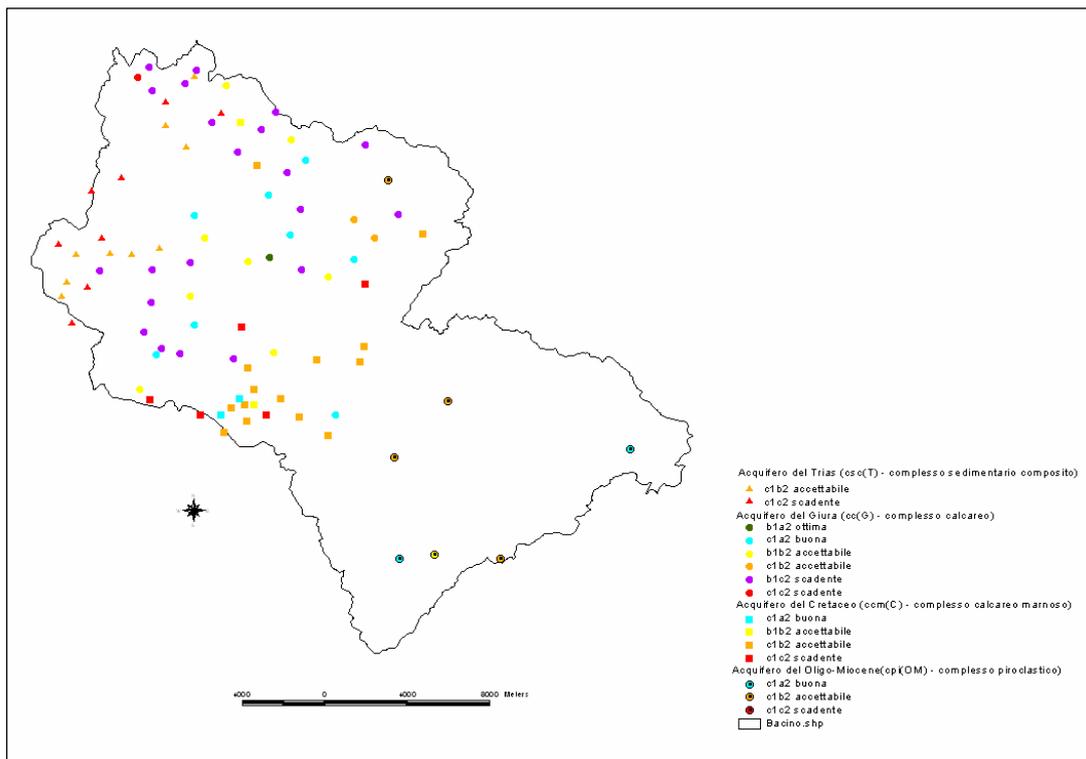


**Figura 13.7 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del complesso piroclastico oligo-miocenico (dicembre 2004)**

#### 13.2.1.5 Distribuzione della qualità di base per il consumo umano nella rete di monitoraggio preliminare

Il quadro sinottico della qualità di base per il consumo umano, per le acque campionate nella rete di monitoraggio preliminare, permette di evidenziare la distribuzione delle classi all'interno del bacino idrografico. Nella porzione Nord e Nord-Ovest dell'area in studio, in corrispondenza dell'acquifero ospitato nelle formazioni del Trias, caratterizzato da un'alta conducibilità ed un elevato contenuto di solfati, è presente un'elevata concentrazione delle classi peggiori.

Anche nell'area occidentale, in prossimità del confine del bacino idrografico, si nota un gruppo di campioni, attribuiti all'acquifero del Cretaceo, appartenenti alle classi scadenti. Nella restante parte del bacino le acque sono state classificate, perlopiù, come buone o accettabili (figura 13.8).



**Figura 13.8 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità di base per il consumo umano relativa alla rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

### 13.2.2 Rete di monitoraggio definitiva

Uno degli obiettivi della ricerca del WP 4.4 è stato quello di ottimizzare la rete di osservazione delle risorse idriche sotterranee, in modo da evitare la ridondanza dei dati, e nel contempo poter monitorare gli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa. La scelta dei punti di prelievo della rete di monitoraggio definitiva ha portato alla selezione di 51 pozzi e 4 sorgenti, dai 118 individuati per la costituzione della rete di monitoraggio preliminare (Capitolo 9).

Nel giugno 2005, i campioni raccolti in questa fase del monitoraggio, sono stati analizzati per la determinazione dei seguenti parametri: conducibilità elettrica, salinità, ossigeno disciolto, potenziale di ossido riduzione, residuo fisso, durezza totale, bicarbonati, nitrati, nitriti, cloruri, solfati, bromuri, fosfati, silice, ammoniaca, sodio, potassio, calcio, magnesio, ferro, litio, zinco, manganese, piombo, rame e nichel.

I risultati analitici dei 51 pozzi campionati sono stati utilizzati per definire lo stato qualitativo per il consumo umano in corrispondenza della rete di monitoraggio definitiva. La ripartizione percentuale dei campioni, nelle diverse classi di qualità di base per l'uso umano, è riportata nel grafico della figura 13.9.

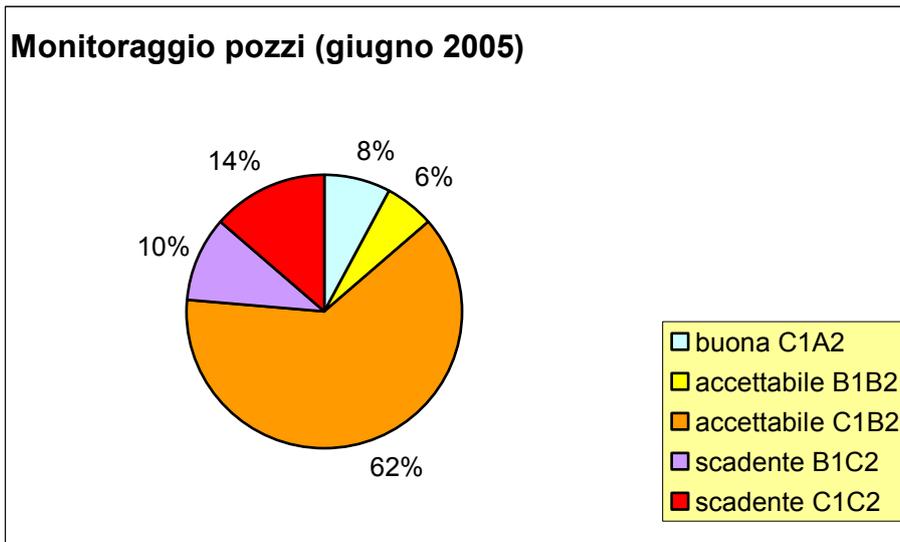


Figura 13.9 - Qualità di base delle acque per il consumo umano nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)

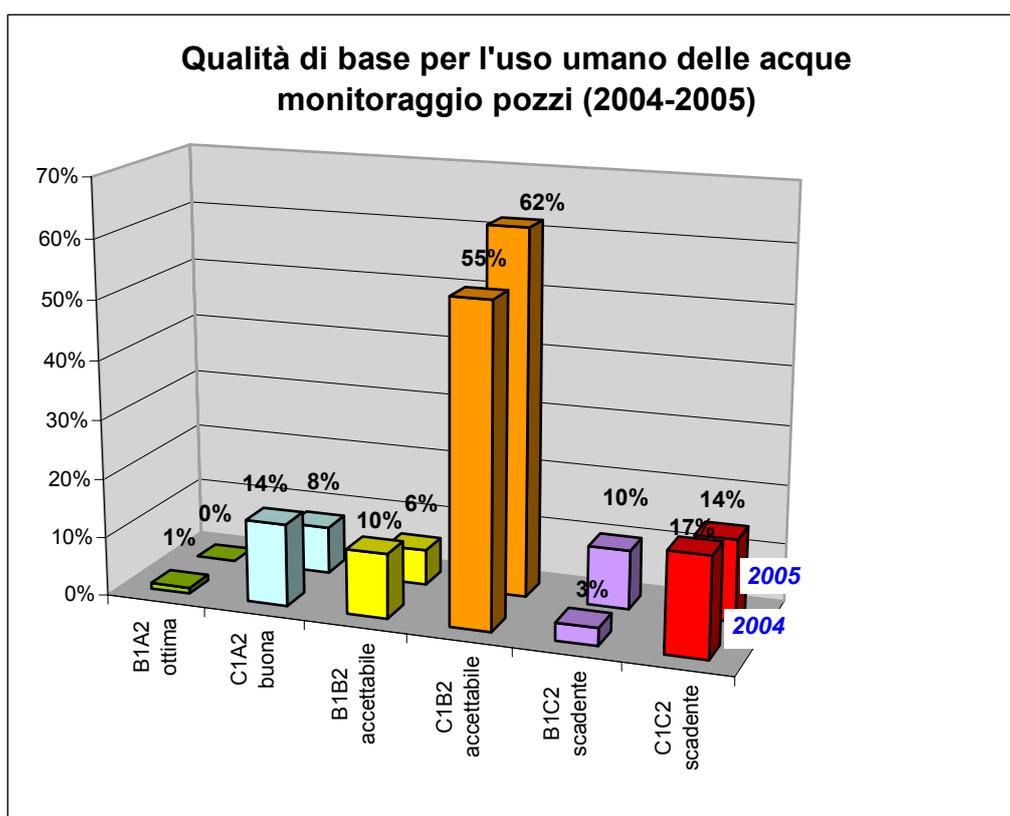


Figura 13.10 - Confronto della qualità di base per l'uso umano delle acque relative ai campionamenti 2004 e 2005

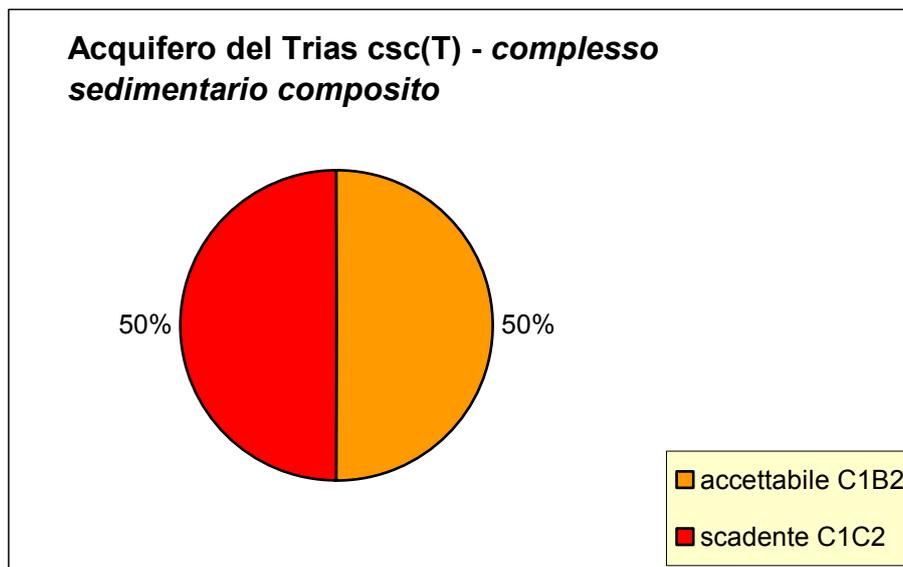
Rispetto al monitoraggio precedente, non esiste più la classe di qualità ottima B1A2; la buona C1A2 si è ridotta dal 14% all'8%, l'accettabile B1B2 è passata dallo 0% al 6%, la C1B2 è aumentata dal 55% al 62% e, congiuntamente, si è manifestato un aumento delle classi scadenti B1C2, con un passaggio dal 3% al 10%, che ha determinato, nonostante la classe C1C2 sia diminuita dal 17% al 14%, un peggioramento qualitativo generale.

Questa situazione è rappresentata, in maniera chiara, nella figura 13.10, dove è indicata la distribuzione nelle diverse classi, con le relative percentuali, dei campioni prelevati nel giugno 2005 e nel dicembre 2004.

Anche per il campionamento del giugno 2005, è stata fatta una classificazione relativa ad ogni singolo acquifero. I dati e le elaborazioni vengono esposti di seguito.

### 13.2.2.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)

Le condizioni dell'acquifero, ospitato nelle formazioni del Trias (dolomie, marne, gessi, argille, calcari dolomitici ecc.), sono rimaste sostanzialmente invariate, permanendo la metà dei campioni nella classe scadente (C1C2) (figura 13.11), per le elevate concentrazioni dello ione manganese, ed in alcuni casi, dello ione ammonio.



**Figura 13.11 - Qualità di base per il consumo umano dell'acquifero del Trias (giugno 2005)**

### 13.2.2.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)

Nel campionamento della rete di monitoraggio definitiva, sono stati analizzati 23 campioni prelevati dall'acquifero ospitato nella formazione del Giura. Rispetto al campionamento precedente, l'analisi ha dato un risultato peggiore; infatti, anche se c'è stato un aumento della classe accettabile (C1B2), allo stesso tempo sono diminuite le classi buona (C1A2) e accettabile (B1B2); mentre sono aumentate le classi peggiori (C1C2 e B1C2) (figura 13.12). In particolare, la presenza della classe C2 è determinata dalla concentrazione dello ione manganese.

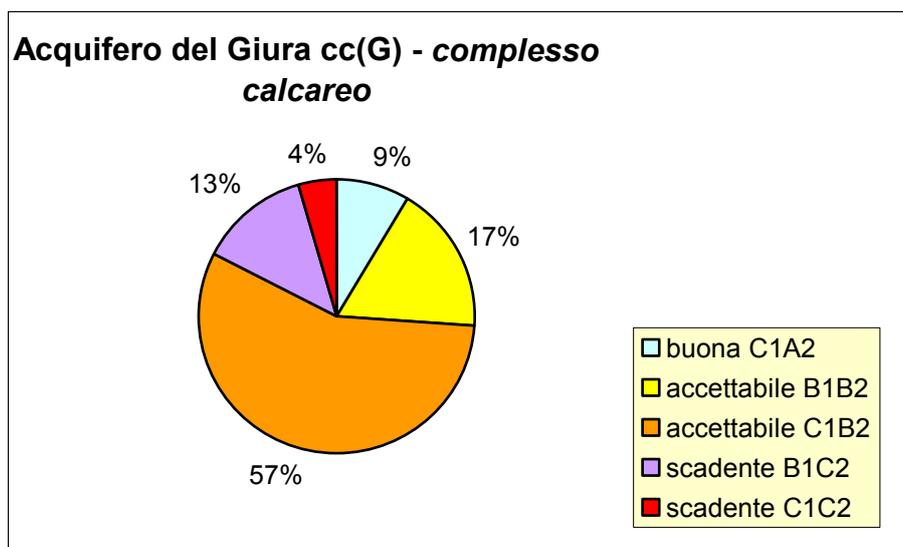
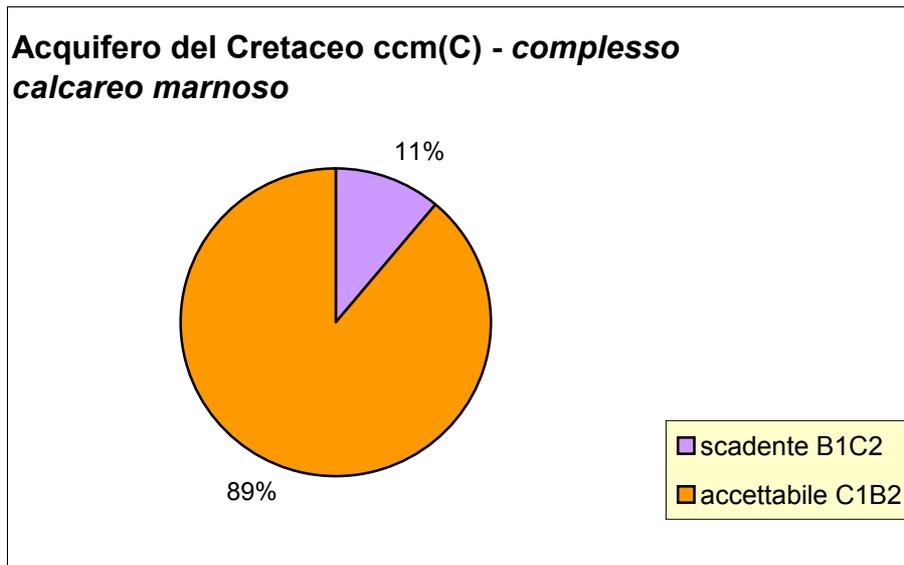


Figura 13.12 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del Giura (giugno 2005)

### 13.2.2.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)

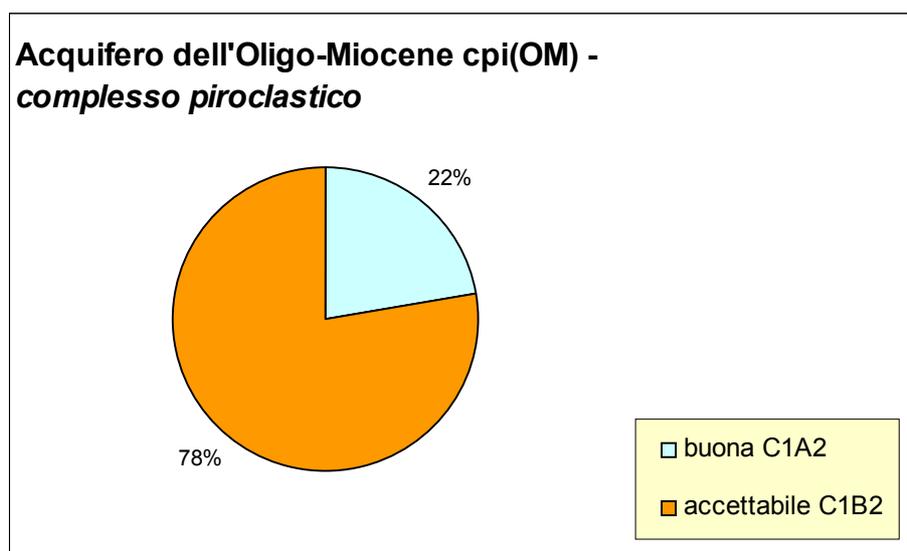
Per quanto riguarda l'acquifero ospitato nei calcari del Cretaceo (figura 13.13), su 9 campioni analizzati, solo uno appartiene alla classe scadente (B1C2); questo a causa di una concentrazione di manganese superiore al limite massimo ammissibile. Il resto dei campioni appartiene alla classe accettabile (B1B2). In questo caso, rispetto al campionamento precedente, le condizioni qualitative dell'acquifero sono migliorate.



**Figura 13.13 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del Cretaceo (giugno 2005)**

#### 13.2.2.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)

L'acquifero ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico (rioliti, riodaciti, tuffi ecc.), ha mostrato, nell'ultimo campionamento, un netto miglioramento; infatti, nei 9 campioni analizzati è scomparsa la classe di qualità scadente C1C2 e c'è stato un incremento percentuale della classe buona C1A2 (figura 13.14). Tuttavia, si sono riscontrati, in alcuni campioni, elevati livelli di nitrati.



**Figura 13.14 - Qualità di base per il consumo umano: acquifero del complesso piroclastico oligo-miocenico (giugno 2005)**

#### 13.2.2.5 Distribuzione della qualità di base per il consumo umano nella rete di monitoraggio definitiva

Dal quadro sinottico della qualità di base per il consumo umano, per le acque campionate nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005), si può notare come la situazione qualitativa sia rimasta più o meno invariata, permanendo una concentrazione delle classi scadenti soprattutto nella porzione Nord e Nord-Ovest, in corrispondenza dell'acquifero triassico (figura 13.15).

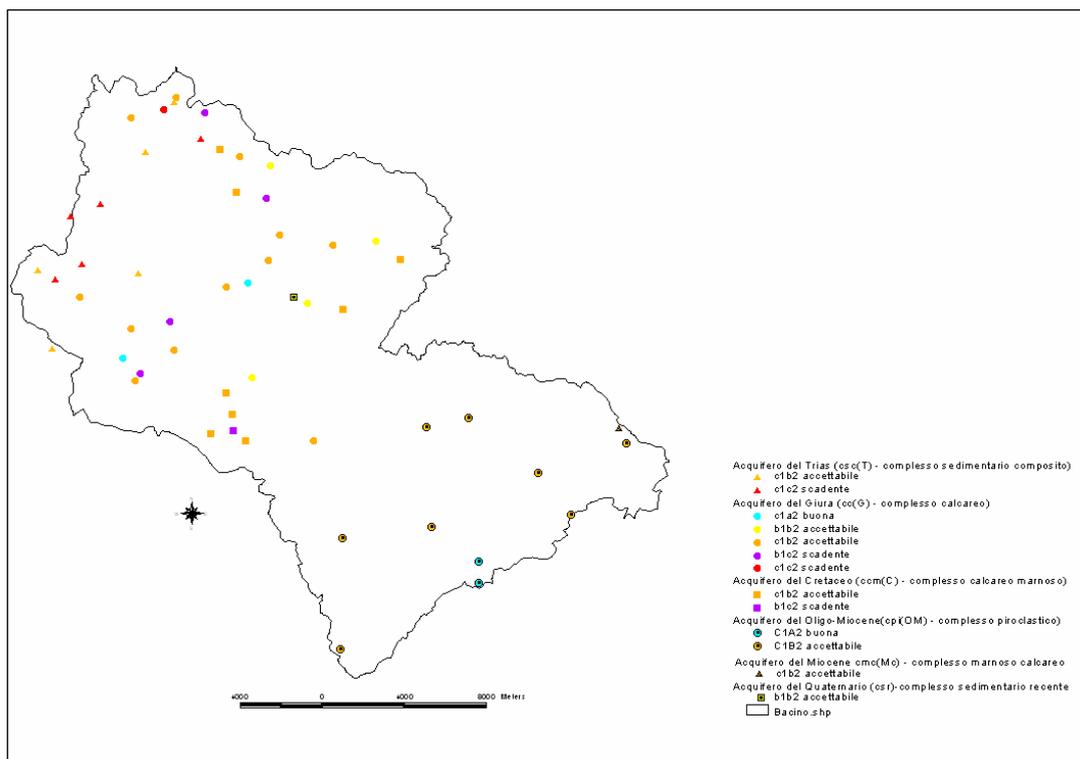
In questa fase inoltre, sono stati elaborati i risultati analitici delle 4 sorgenti campionate: S11, S16, S109 e S124.

La sorgente S11, appartenente all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico cpi(OM), ha una classe di qualità per il consumo umano accettabile (C1B2): in questo caso la classe C1 è dovuta alla presenza di un elevato contenuto di cloruri.

La S16, appartenente all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico cpi(OM), presenta una qualità di base accettabile (C1B2), causata da una concentrazione dei cloruri di poco superiore della soglia massima.

Anche la sorgente S109 appartiene all'acquifero del complesso piroclastico oligo-miocenico. L'acqua di questa sorgente è caratterizzata da una classe di qualità per il consumo umano C1B2: in particolare, la classe C è determinata dal contenuto di nitrati, mentre la B dalla concentrazione del manganese che, peraltro, è uguale al valore limite previsto dalla normativa.

La sorgente S124 è alimentata dall'acquifero del Quaternario (csr)-complesso sedimentario recente: l'acqua campionata possiede una qualità di base per il consumo umano accettabile (B1B2).



**Figura 13.15 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità di base per il consumo umano relativa alla rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

### **13.3 Valutazione, per l'area in studio, della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso irriguo**

La classificazione, per la valutazione della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso irriguo, anche in questo caso, è stata sviluppata utilizzando i dati analitici relativi al campionamento della rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004) e definitiva (giugno 2005).

#### **13.3.1 Rete di monitoraggio preliminare**

La classificazione della qualità di base per l'uso irriguo è stata applicata a tutti i 97 campioni della rete di monitoraggio preliminare, in quanto sono state determinate tutte le analisi necessarie per l'applicazione della metodica.

Complessivamente, in questa fase del monitoraggio, le acque campionate presentano una situazione caratterizzata dalla completa assenza della classe di 1<sup>a</sup> qualità (acque adatte per l'utilizzo irriguo in quasi tutti i suoli, senza particolari accorgimenti), da una più o meno equa distribuzione dei campioni nelle due classi di 2<sup>a</sup> qualità (acque da usare soltanto su suoli con buon drenaggio e bassa capacità di scambio cationico) e di 3<sup>a</sup> qualità (acque inutilizzabili o da usare soltanto in casi speciali su terreni molto permeabili, su colture molto tolleranti e con grandi volumi di acqua).

Questo risultato è da mettere in relazione con l'elevata concentrazione dei cloruri, che a sua volta determina un incremento dei valori dei sali disciolti e, quindi, della conducibilità elettrica della soluzione. La ripartizione dei campioni nelle due classi è rappresentata in figura 13.16.

La classificazione è stata applicata anche sui gruppi di campioni prelevati dallo stesso acquifero. In questo modo è stata possibile definire, sulla base della distribuzione dei campioni nelle varie classi, la qualità delle acque sotterranee dei singoli acquiferi, riferita al dicembre 2004.

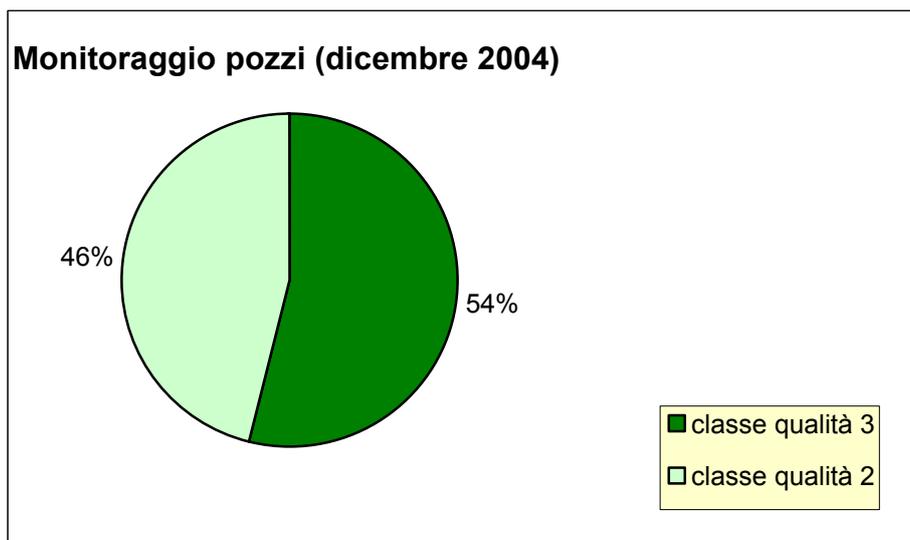


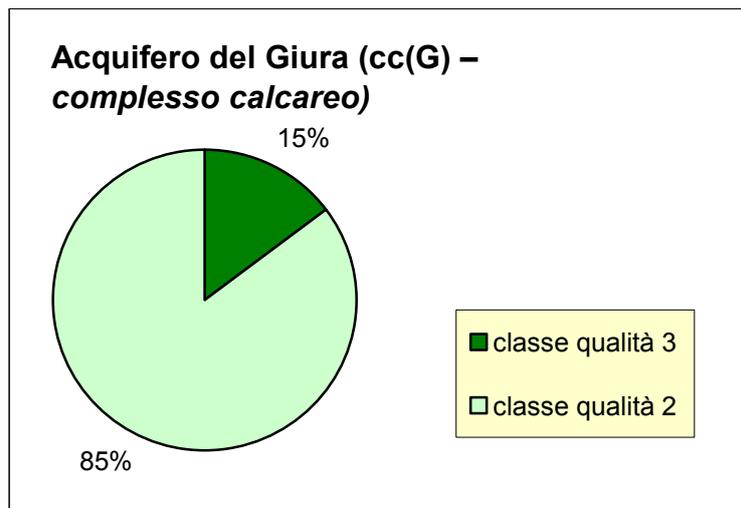
Figura 13.16 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio preliminare dei pozzi (dicembre 2004)

#### 13.3.1.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)

L'acquifero ospitato nelle formazioni del Trias (dolomie, marne, gessi, argille, calcari dolomitici ecc.) ha dato, anche in questa classificazione, i risultati peggiori. Tutti i 17 campioni analizzati appartengono alla classe di 3<sup>a</sup> qualità. Il campione 39S, si distingue dagli altri, per l'elevato valore del RSC.

#### 13.3.1.2 Acquifero del Giura (cc(G) - complesso calcareo)

I 41 campioni prelevati dai pozzi intestati nell'acquifero del Giura appartengono per il 15% alla classe peggiore (3<sup>a</sup>) ed il restante 85% alla classe di 2<sup>a</sup> qualità (figura 13.17). Tutti i campioni analizzati presentano un andamento dei valori dei parametri simile, con valori più o meno elevati di cloruri, conducibilità elettrica e TDS; l'unica eccezione è data dal 63C, che mostra un valore positivo ed elevato dell'RSC, differenziandosi dagli altri campioni, caratterizzati da un valore negativo.



**Figura 13.17 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del Giura (dicembre 2004)**

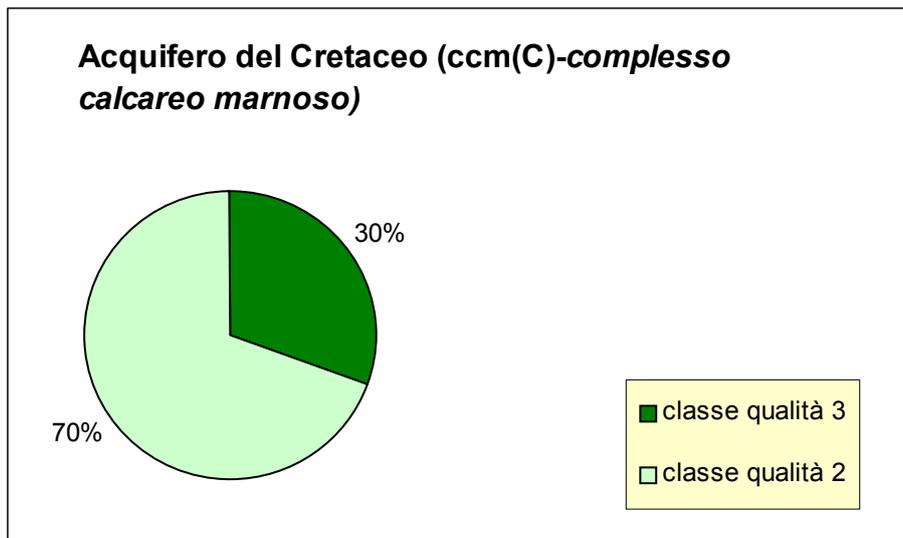
Il valore positivo del parametro RSC sta a significare che si è in presenza di un eccesso di ioni bicarbonato, rispetto al calcio ed al magnesio, che saranno quindi legati agli altri ioni alcalini, in particolare sodio e potassio.

#### 13.3.1.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)

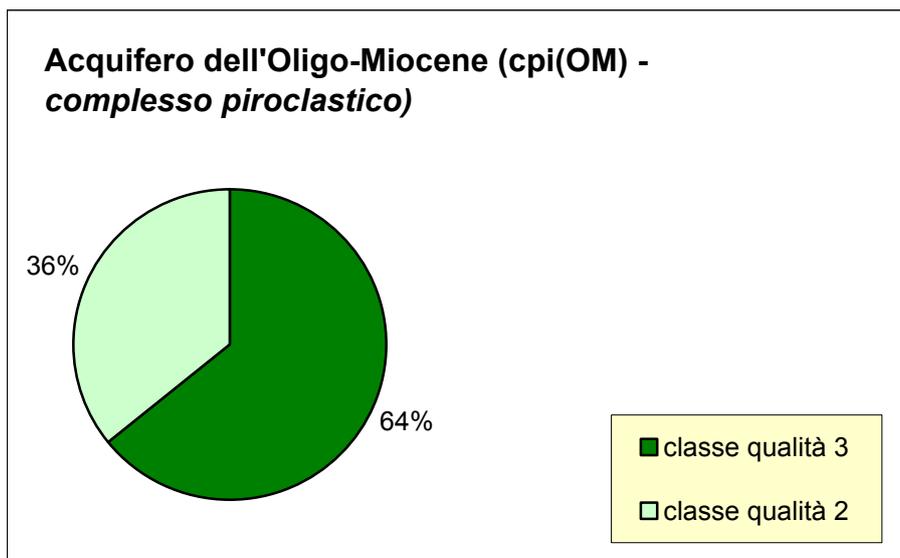
La qualità delle acque sotterranee dell'acquifero ospitato nelle formazioni del Cretaceo è risultata inferiore rispetto all'acquifero precedente. Questo è attribuibile ad una diffusa ed elevata concentrazione dei cloruri, della conducibilità, dei sali disciolti ed anche, in qualche caso del parametro SAR. Su un totale di 23 campioni analizzati, il 30% appartengono alla classe 3<sup>a</sup> ed il 70% alla 2<sup>a</sup> (figura 13.18). I campioni 1C, 98C, 126C e 142C, si differenziano dagli altri per il valore positivo e superiore alla soglia di 1,25 del parametro RSC.

#### 13.3.1.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)

Le acque sotterranee dell'acquifero piroclastico oligo-miocenico (rioliti, riolaciti, tufi ecc.), hanno mostrato un risultato non buono in quanto, più della metà dei 16 campioni (65%), appartengono alla classe di 3<sup>a</sup> qualità (figura 13.19). Il 173S e 174S si contraddistinguono dagli altri campioni dell'acquifero per il valore positivo dell'RSC.



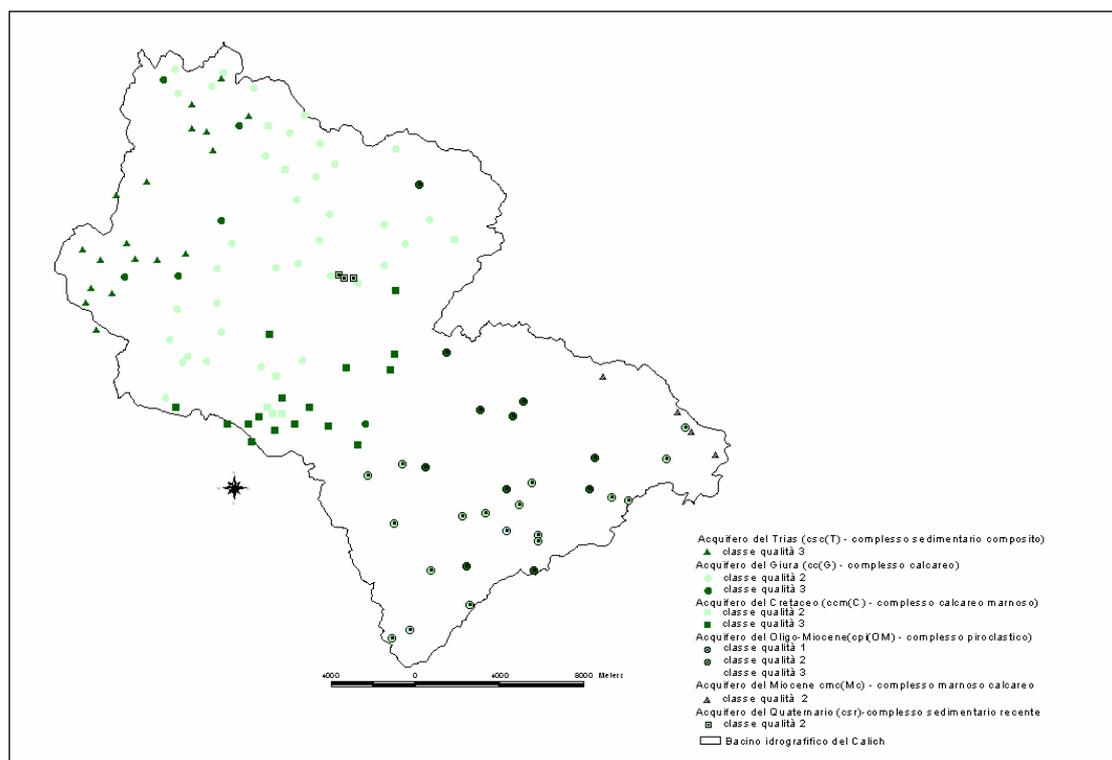
**Figura 13.18 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del Cretaceo (dicembre 2004)**



**Figura 13.19 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del complesso piroclastico oligo-miocenico (dicembre 2004)**

### 13.3.1.5 Distribuzione della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio preliminare

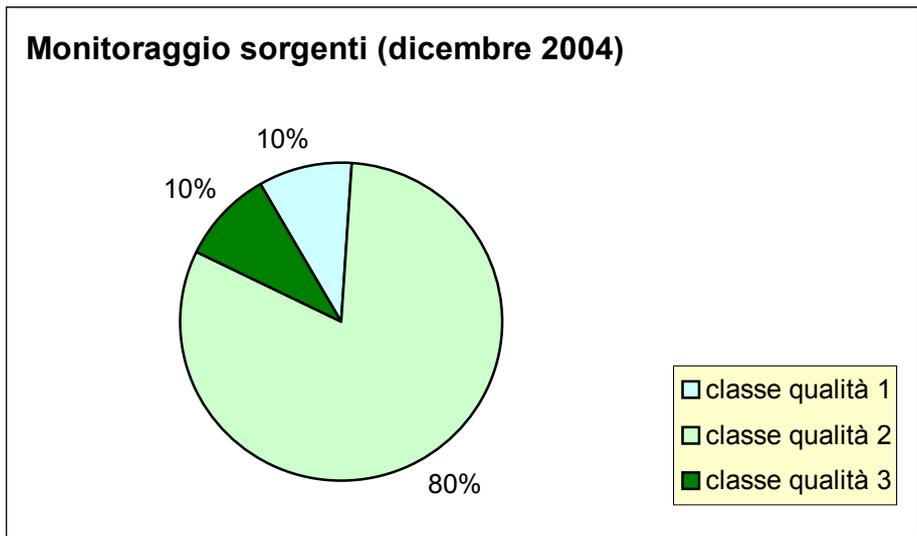
Dal quadro sinottico della qualità di base per l'uso irriguo (figura 13.20), si può osservare che all'interno dell'area esiste una fascia centrale dove sono localizzati i campioni di acqua sotterranea appartenente alla classe di 2<sup>a</sup> qualità, mentre le acque di 3<sup>a</sup> qualità si trovano nella restante parte.



**Figura 13.20 - Distribuzione delle classi di qualità, nell'area in studio, delle acque destinate all'uso irriguo relativa alla rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

La classificazione per l'uso irriguo delle sorgenti ha prodotto un risultato qualitativamente elevato in quanto, su un totale di 21 campioni, il 10% appartiene alla classe di 1<sup>a</sup> qualità, l'80% in classe di 2<sup>a</sup> qualità e solo il 10% si trova in classe di 3<sup>a</sup> qualità (figura 13.21). In particolare, 13 sorgenti sono state attribuite all'acquifero dell'Oligo-Miocene e di queste, 9 sono state classificate in classe di 3<sup>a</sup>, 2 in classe di 1<sup>a</sup> qualità e 1 in classe di 3<sup>a</sup> qualità.

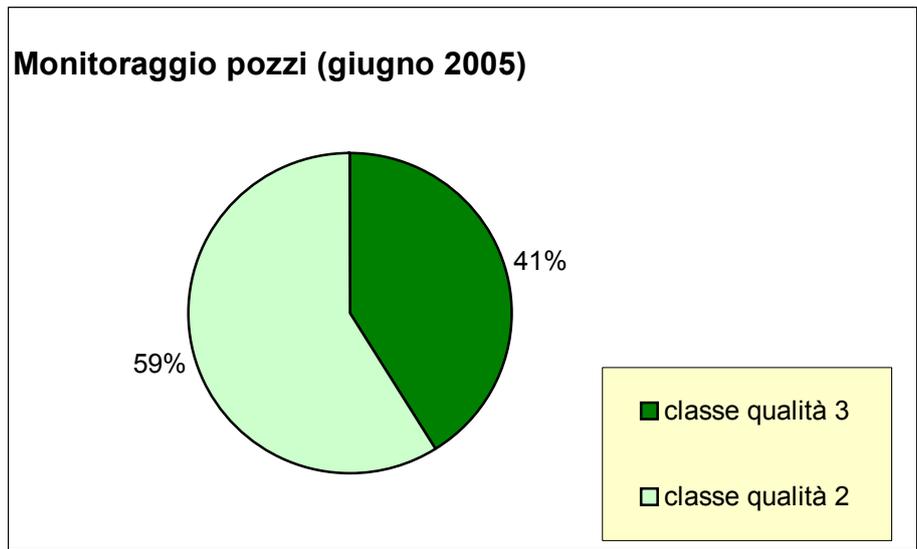
Nell'acquifero del Miocene, le acque delle 4 sorgenti campionate sono state attribuite alla classe di 2<sup>a</sup> qualità, così come quelle delle 3 sorgenti alimentate dall'acquifero del Quaternario. Infine, la sorgente ubicata nell'acquifero del Trias, ha un'acqua appartenente alla classe di 3<sup>a</sup> qualità.



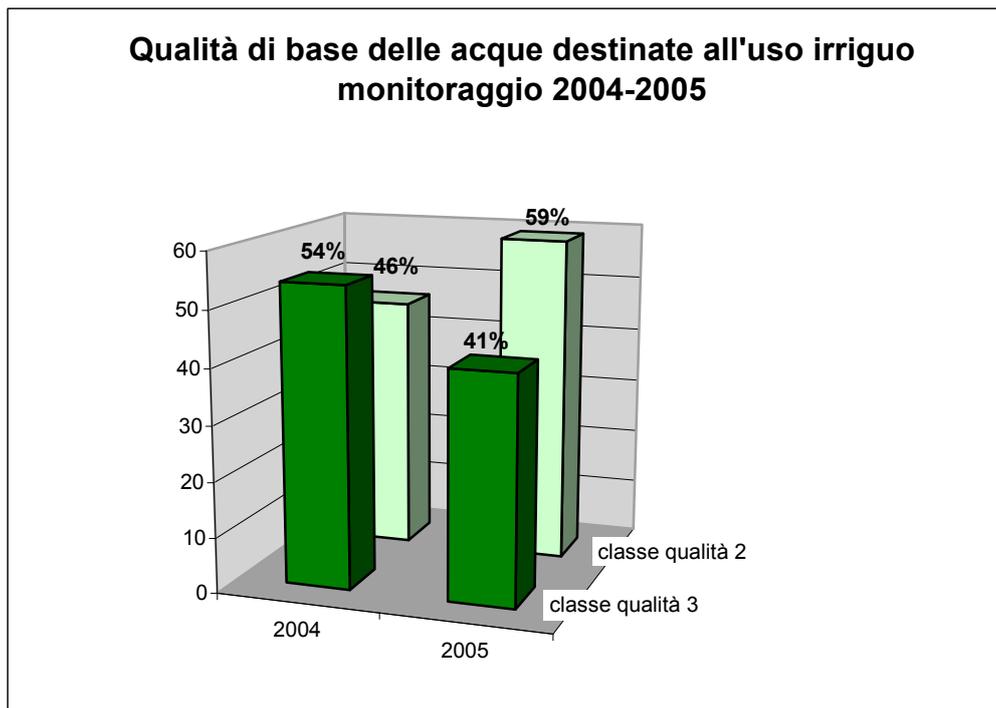
**Figura 13.21 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo delle sorgenti nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

### 13.3.2 Rete di monitoraggio definitiva

Nel monitoraggio relativo al giugno del 2005, sono stati campionati 51 pozzi. L'appartenenza a ciascuna classe, espressa in percentuale, è riportata in figura 13.22. Anche nella rete di monitoraggio definitiva manca la classe di 1<sup>a</sup> qualità (acque adatte per l'utilizzo irriguo in quasi tutti i suoli, senza particolari accorgimenti).



**Figura 13.22 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio definitiva dei pozzi (giugno 2005)**



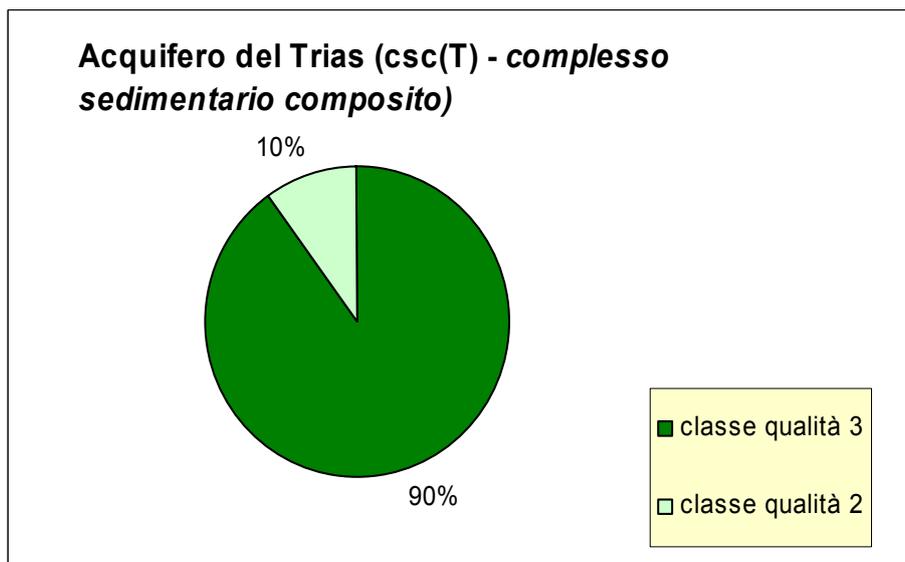
**Figura 13.23 - Confronto della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo relative ai campionamenti 2004 e 2005**

Rispetto al campionamento precedente, come si può notare dalla figura 13.23, si è manifestata una diminuzione della classe peggiore di 3<sup>a</sup> qualità (acque inutilizzabili o da usare soltanto in casi speciali su terreni molto permeabili, su colture molto tolleranti e con grandi volumi di acqua), che passa dal 54% al 41% e un rispettivo aumento della classe di 2<sup>a</sup> qualità (acque da usare soltanto su suoli con buon drenaggio e bassa capacità di scambio cationico).

La determinazione della qualità di base delle acque sotterranee destinate all'uso irriguo, relative ai singoli acquiferi, ha fornito una serie di risultati commentati nei paragrafi successivi.

#### 13.3.2.1 Acquifero del Trias (csc(T) - complesso sedimentario composito)

L'acquifero ospitato nelle formazioni del Trias (dolomie, marne, gessi, argille, calcari dolomitici ecc.) ha confermato i risultati negativi ottenuti nel campionamento precedente in quanto, su 10 campioni analizzati, solo uno, il 66C, ricade nella classe di 2<sup>a</sup> qualità (figura 13.24). Il campione 34S, si distingue dagli altri, per l'elevato valore del RSC.

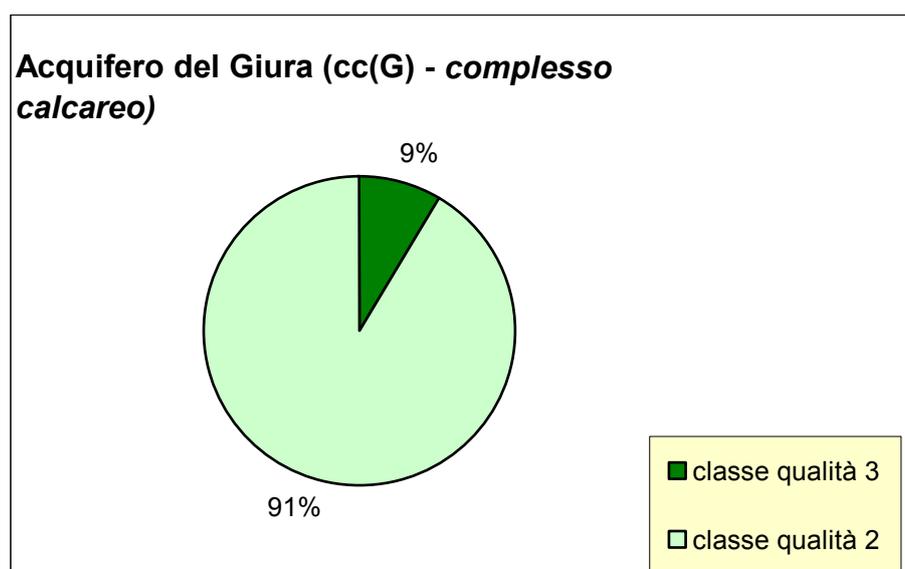


**Figura 13.24 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del Trias (giugno 2005)**

### 13.3.2.2 Acquifero del Giura (cc(G) – complesso calcareo)

I 23 campioni, prelevati dall'acquifero ospitato nelle formazioni del Giura, hanno mostrato un profilo qualitativo buono e superiore a quello del campionamento precedente: i campioni che appartengono alla classe di 2<sup>a</sup> qualità passano dall'85% al 91% (figura 13.25).

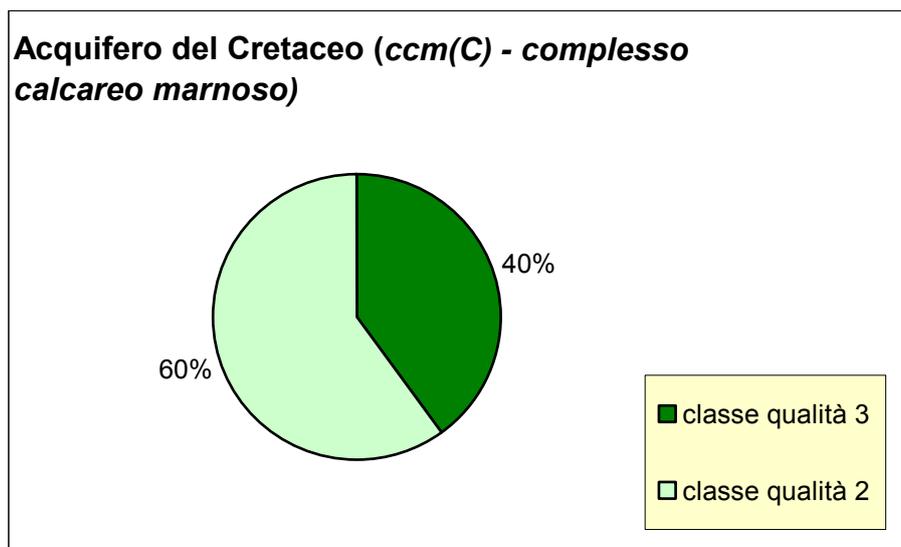
Tutti i campioni analizzati presentano un andamento dei valori dei parametri simile, ad eccezione del 16S e del 107C, che hanno una concentrazione di cloruri superiore alla soglia massima e ricadono, per questo motivo, nella classe di 3<sup>a</sup> qualità.



**Figura 13.25 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del Giura (giugno 2005)**

### 13.3.2.3 Acquifero del Cretaceo (ccm(C) - complesso calcareo marnoso)

Nel monitoraggio definitivo, l'acquifero ospitato nei calcari del Cretaceo ha mostrato un peggioramento della qualità delle acque per l'uso irriguo; si è infatti verificato un incremento della classe di 3<sup>a</sup> qualità, che aumenta dal 30%, valore ottenuto nel monitoraggio precedente, al 40% in quello attuale (figura 13.26): su 10 campioni analizzati, 4 appartengono alla classe peggiore. Il campione 115C si differenzia dagli altri per il valore positivo e superiore alla soglia di 1.25 del parametro RSC.



**Figura 13.26 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del Cretaceo (giugno 2005)**

### 13.3.2.4 Acquifero dell'Oligo-Miocene (cpi(OM) - complesso piroclastico)

L'acquifero ospitato nel complesso vulcanico oligo-miocenico (rioliti, riodaciti, tufi ecc.), ha mostrato una qualità peggiore rispetto al campionamento precedente, a causa di un aumento del 10% del numero dei campioni appartenenti alla 3<sup>a</sup> classe (figura 13.27). Il 174S ha un valore positivo ed elevato dell'RSC.

### 13.3.2.5 Distribuzione della qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo nella rete di monitoraggio definitiva

Nella figura 13.28 si può osservare la distribuzione della qualità di base per l'uso irriguo, delle acque sotterranee campionate all'interno del bacino. Complessivamente la distribuzione non si discosta da quella del campionamento precedente in quanto, la classe di 2<sup>a</sup> qualità rimane localizzata nella porzione centrale dell'area.

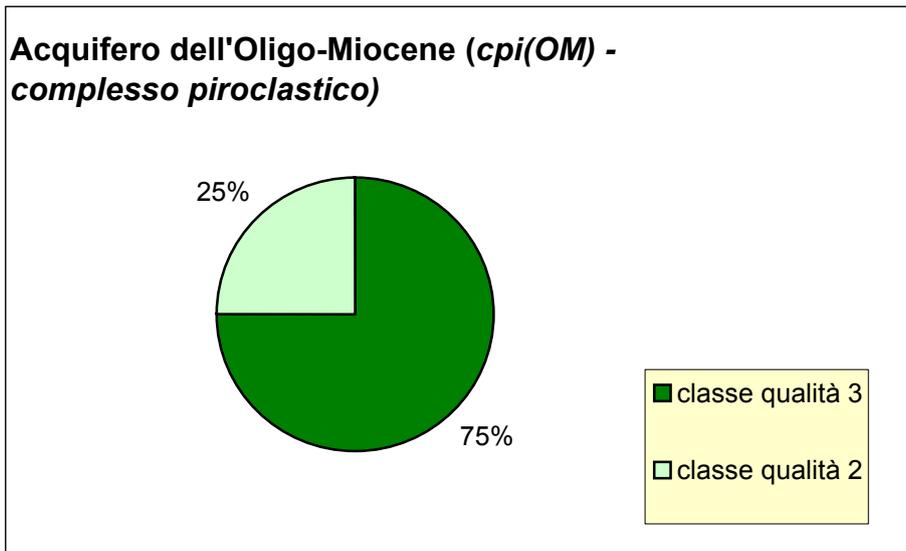


Figura 13.27 - Qualità di base delle acque destinate all'uso irriguo: acquifero del complesso piroclastico oligo-miocenico (giugno 2005)

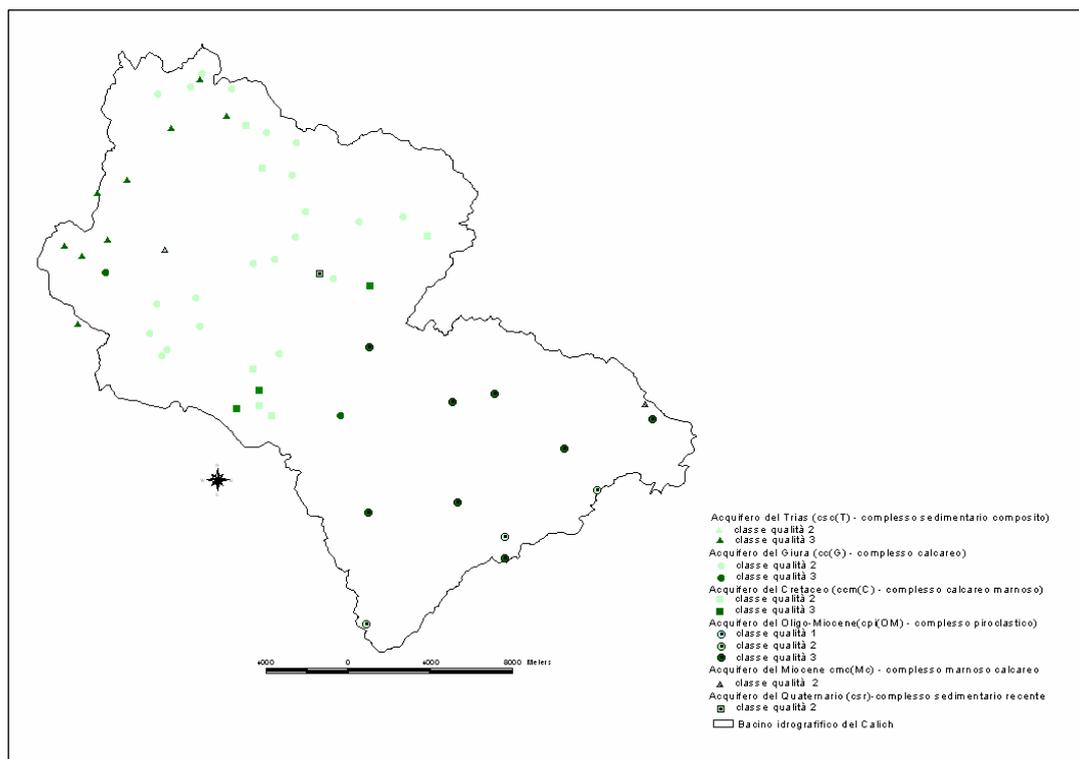


Figura 13.28 - Distribuzione delle classi di qualità, nell'area in studio, delle acque destinate all'uso irriguo relativa alla rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)

L'analisi della qualità di base, per l'uso irriguo, delle acque campionate dalle 4 sorgenti delle reti di monitoraggio definitiva (S11, S16, S109 e S124) ha fornito i seguenti risultati: la sorgente S11, appartenente all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico cpi(OM), è stata classificata in classe di 2<sup>a</sup> qualità; le sorgenti S16 e S109, appartenenti all'acquifero ospitato nel complesso piroclastico oligo-miocenico cpi(OM), sono caratterizzate da acque della 3<sup>a</sup> classe di qualità; infine, la sorgente S124, alimentata dall'acquifero del Quaternario (csr)-complesso sedimentario recente, ricade nella classe di 3<sup>a</sup> qualità. In tutti i casi, la classe di 3<sup>a</sup> qualità è attribuibile ad un contenuto di cloruri delle acque superiore alla soglia massima.

### **13.4 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici secondo il DLgs 152/99**

Solo di recente, anche sul piano della disciplina giuridica, l'acqua viene considerata nella sua unitarietà, come bene primario, fonte elementare di vita, indicatore, con le sue qualità, della qualità dell'ambiente naturale e quindi risorsa da salvaguardare e gestire in modo integrato e coordinato.

Il punto di svolta, nella nostra legislazione, è contenuto nell'art. 1 della cosiddetta legge Galli (n. 36/1994) che, definendo tutte le acque superficiali e sotterranee come pubbliche e come costituenti una risorsa da salvaguardare e utilizzare secondo criteri di solidarietà (primo comma), porta a compimento una lenta evoluzione.

Dalla concezione privatistica dell'acqua come bene illimitato, del quale i singoli potevano usare *a proprio piacimento*, secondo lo schema della proprietà privata (codice civile del 1865), a quella di un bene che, quando sia connesso con le necessità e le utilità sociali, assume natura pubblica (demanio delle acque superficiali e delle acque sotterranee destinate ad usi di pubblico generale, R.D. n. 1775/1933 e art. 822 cod. civ. del 1942); fino all'individuazione dell'acqua come parte del *patrimonio ambientale* (legge n. 36/1994 art. 1, comma 2) e alla sua definizione come risorsa pubblica e di uso collettivo, perché espressione di un valore (*l'ambiente*) da salvaguardare e gestire con la partecipazione e nell'interesse di tutti (anche delle generazioni future, secondo un'impostazione già anticipata dalla legge n. 183/1989, art. 17, sui piani di bacino).

Di qui la necessità di superare le norme settoriali, che fissavano, con una tecnica sostanzialmente passiva, limiti e controlli puntuali e predeterminati indipendentemente dalla verifica della loro efficacia sulla qualità complessiva delle acque. Infatti i due pilastri fondamentali sui quali si basava il sistema di controllo dell'inquinamento idrico, originariamente designato dalla legge Merli (legge 10 maggio 1976, n. 319), erano:

- l'obbligo di presentare domanda di autorizzazione prima di attivare qualsiasi nuovo scarico;
- il rispetto, principalmente da parte degli scarichi provenienti da insediamenti produttivi, di limiti di accettabilità predeterminati, contenuti nella tabella A (più rigorosa) e nella tabella C (meno rigorosa).

Quanto al primo aspetto, l'autorizzazione allo scarico, o più esattamente il procedimento amministrativo che si apriva con la presentazione della domanda di autorizzazione, costituiva l'ambito privilegiato entro il quale la pubblica amministrazione poteva verificare l'esistenza dei requisiti richiesti dalla legge per l'effettuazione degli scarichi.

Il secondo aspetto riguarda la parte più importante della legge che, nel corso degli anni successivi alla sua entrata in vigore, è stata interessata da numerose rivisitazioni: inizialmente pensato solo per gli scarichi da insediamenti produttivi, il regime dei limiti tabellari è stato esteso, dal 1990, anche agli scarichi civili e a quelli delle pubbliche fognature (comprese quelle convoglianti soltanto scarichi civili).

La salvaguardia approntata dalla legge Merli per il bene ambiente riguardava soltanto le potenziali aggressioni del medesimo che si realizzano attraverso uno scarico proveniente da un insediamento. Erano pertanto esclusi dalla disciplina della legge i fenomeni di inquinamento isolati e non collegabili ad una struttura stabile (insediamento civile o produttivo).

Non tutti gli scarichi erano sottoposti alla stessa disciplina, ma differivano in base:

- alla natura degli scarichi (civili, produttivi o di pubblica fognatura);
- al momento della loro apertura (se precedente o no all'entrata in vigore della legge);
- al loro recapito (acque, suolo, fognatura ecc.).

Il fondamentale strumento pianificatorio previsto dalla legge Merli era costituito da *Piani regionali di risanamento delle acque*, sulla base dei quali lo Stato avrebbe dovuto predisporre il *Piano generale di risanamento delle acque*.

La concezione unitaria delle risorse idriche esige, invece, una strategia globale del legislatore che, pur definendo le necessarie gerarchie e i criteri di bilanciamento tra gli interessi economici e vitali che le risorse tendono a soddisfare (per esempio la priorità dell'uso per il consumo umano), persegua, con azione positiva, l'obiettivo di garantire il risparmio e il rinnovo delle risorse e non pregiudicare il patrimonio idrico, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici (art. 1, comma 3, della legge 36/1994).

Si tratta dell'impostazione che ha ispirato la più recente politica comunitaria, in particolare la direttiva n. 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e la n. 91/676/CEE, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole, le quali sono state recepite nella legislazione italiana, dopo otto anni, nel *Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152* (e successive modificazioni), che attualmente rappresenta il riferimento legislativo nell'ambito della tutela del patrimonio idrico dall'inquinamento.

#### 13.4.1 Il DLgs 152/99

In primo luogo, il decreto afferma di definire la *disciplina generale* per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee, perseguendo determinati obiettivi (art. 1, comma 1) e utilizzando determinati strumenti per il raggiungimento di tali obiettivi (art. 1, comma 2).

Per quanto riguarda i primi, riveste notevole importanza la tutela integrata degli aspetti qualitativi e quantitativi della risorsa idrica e la qualità ambientale del corpo idrico come obiettivo da perseguire a scala di bacino idrografico, mirando alla salvaguardia dell'intero ecosistema acquatico a prescindere dalla destinazione d'uso delle acque. La qualità ambientale è intesa come capacità delle acque di mantenere i processi naturali di autodepurazione e di supportare ampie comunità animali e vegetali.

Per ciò che concerne gli strumenti da utilizzare per raggiungere tali fini, rappresenta sicuramente un'innovazione l'introduzione degli *obiettivi di qualità ambientale* per i corpi idrici significativi (ovvero il raggiungimento dello stato di qualità ambientale *BUONO* o *ELEVATO* entro il 2016) e degli *obiettivi di qualità per specifica destinazione* per i corpi idrici destinati alla produzione di acqua potabile, alla balneazione e per essere idonei alla vita dei pesci e dei molluschi.

Un ulteriore aspetto positivo del decreto è costituito dal fatto che esso contiene sette allegati tecnici, che integrano immediatamente i principi e gli istituti fondamentali introdotti dalla nuova disciplina, evitando il rinvio ad un numero indefinito di norme regolamentari e tecniche da emanare successivamente secondo tempi difficilmente rispettati o rispettabili.

Negli allegati tecnici si trovano, da un lato, norme attinenti a discipline di carattere generale, come quelle che classificano, ovvero definiscono giuridicamente determinati aspetti tecnici (per esempio la tipologia degli scarichi; la definizione degli impianti di depurazione; degli acquedotti; dei corpi ricettori; delle operazioni di smaltimento e spandimento dei vari tipi di fango e liquami) e disposizioni, tecniche in senso stretto, e che si riferiscono ad argomenti più specifici e spesso puntuali (criteri relativi al monitoraggio e alla classificazione dei corpi idrici; modalità e procedure tecniche per il trattamento delle acque dei liquami, criteri per l'effettuazione dei prelievi, la conservazione e l'esame dei campioni ai fini dell'effettuazione dei controlli; criteri per la predisposizione di rilevamenti, piani e programmi).

Una parte importante del decreto (Titolo IV) è riservata agli strumenti di tutela previsti dal legislatore che si possono riassumere in:

- piani di tutela delle acque (Capo I);
- sistema di autorizzazioni agli scarichi (Capo II);
- sistema di controlli degli scarichi (Capo III).

In particolare i Piani di tutela delle acque costituiscono piani stralcio di settore del Piano Generale di Bacino, ai sensi dell'art. 17, comma 6-ter della legge 18 maggio 1989, n. 183.

Per l'effettiva operatività dei Piani di tutela sono previste una particolare tempistica e la partecipazione di diversi soggetti: in primo luogo le Regioni con la collaborazione di Autorità di bacino, Province, Autorità d'ambito ed altri enti.

I contenuti dei Piani di tutela devono seguire precise indicazioni che sono riportate in uno dei sette allegati tecnici, precisamente l'Allegato n. 4, il quale è esclusivamente dedicato a tracciare le linee guida per la redazione di tali piani. Sinteticamente, essi devono contenere indicazioni in merito a:

- descrizione generale delle caratteristiche del bacino idrografico, individuazione e caratterizzazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei;
- sintesi delle pressioni e degli impatti significativi esercitati dall'attività antropica sullo stato delle acque superficiali e sotterranee;
- elenco e rappresentazione cartografica delle aree a specifica tutela;
- mappa delle reti di monitoraggio in base ai criteri stabiliti dall'Allegato 1;
- elenco degli obiettivi di qualità definiti per le acque superficiali e le acque sotterranee;

- sintesi del programma o programmi di misure adottati per il raggiungimento degli obiettivi di qualità individuati in precedenza;
- sintesi dei risultati dell'analisi economica per valutare il rapporto tra costi e benefici del piano;
- relazione sugli eventuali ulteriori programmi o piani più dettagliati adottati per determinati sottobacini.

Vengono anche definite le modalità di aggiornamento dei piani medesimi.

La Regione Sardegna ha recentemente approvato il Piano di tutela delle acque che, oltre a prevedere le suddette valutazioni a scala regionale, sviluppa piani più dettagliati per le diverse Unità Idrografiche Omogenee individuate.

Nell'ambito del Progetto RIADE WP 4.4, per individuare i *corpi idrici significativi* presenti nel bacino in studio e stabilirne lo stato di qualità ambientale, ai sensi degli articoli 4 e 5 del presente decreto, ci si è riferiti alle disposizioni contenute nell'Allegato n. 1, che ha come oggetto il *monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale*.

#### **13.4.2 Descrizione dei contenuti dell'Allegato n. 1 del DLgs 152/99**

L'Allegato n. 1 dà, innanzitutto, una definizione dei corpi idrici e fissa i criteri per individuare, tra questi, quelli *significativi*, cioè quelli per i quali dovrà essere svolta l'attività di monitoraggio e classificazione da parte delle autorità competenti (Regioni e Province Autonome) al fine del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale. A questi vanno aggiunti tutti quei corpi idrici che, per valori naturalistici e/o paesaggistici o per particolari utilizzazioni in atto, hanno rilevante interesse ambientale e quelli che, per il carico inquinante da essi convogliato, possono avere una influenza negativa rilevante sui corpi idrici significativi.

I corpi idrici vengono inizialmente distinti in:

- superficiali;
- sotterranei.

A loro volta i corpi idrici superficiali vengono suddivisi in corsi d'acqua, laghi, acque marine costiere, acque di transizione e corpi idrici artificiali e per ciascuna tipologia vengono esplicitati i criteri per l'individuazione di quelli significativi ai fini della classificazione.

##### **13.4.2.1 Definizione dei corpi idrici significativi**

###### **13.4.2.1.1 Corpi idrici superficiali**

###### *Corsi d'acqua*

Per i corsi d'acqua che sfociano in mare il limite delle acque correnti coincide con l'inizio della zona di foce, corrispondente alla sezione del corso d'acqua più lontana dalla foce, in cui con bassa marea e in periodo di magra si riscontra, in uno qualsiasi dei suoi punti, un sensibile aumento del grado di salinità. Tale limite viene identificato per ciascun corso d'acqua.

Vanno censiti tutti i corsi d'acqua naturali aventi un bacino idrografico superiore a 10 km<sup>2</sup>.

Sono significativi almeno i seguenti corsi d'acqua:

- tutti i corsi d'acqua del primo ordine (cioè quelli recapitanti direttamente in mare) il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 200 km<sup>2</sup>;
- tutti i corsi d'acqua naturali di secondo ordine o superiore il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 400 km<sup>2</sup>.

Non sono significativi i corsi d'acqua che per motivi naturali hanno avuto una portata uguale a zero per più di 120 giorni l'anno, in un anno idrologico medio.

#### *Laghi*

Sono considerati laghi le raccolte di acque lentiche non temporanee. Possono essere:

- naturali aperti o chiusi a seconda che esista o meno un emissario;
- naturali ampliati e/o regolati, se provvisti all'incile di opere di regolamentazione idraulica.

Sono significativi i laghi aventi superficie dello specchio liquido pari a 0,5 km<sup>2</sup> o superiore. Tale superficie è riferita al periodo di massimo invaso.

#### *Acque marine costiere*

Sono significative le acque marine comprese entro la distanza di 3000 m dalla costa e comunque entro la batimetrica dei 50 m.

#### *Acque di transizione*

Sono acque di transizione le acque delle zone di delta ed estuario e le acque di lagune, di laghi salmastri e di stagni costieri.

Sono significative le acque delle lagune, dei laghi salmastri e degli stagni costieri. Le zone di delta ed estuario vanno invece considerate come corsi d'acqua superficiali.

#### *Corpi idrici artificiali*

Sono i laghi o i serbatoi, se realizzati mediante manufatti di sbarramento, e i canali artificiali fatta esclusione di quelli appositamente costruiti per l'allontanamento delle acque reflue urbane ed industriali.

Sono significativi tutti i canali artificiali aventi portata di esercizio di almeno 3 m<sup>3</sup>/s e i laghi artificiali o i serbatoi aventi superficie dello specchio liquido almeno pari a 1 km<sup>2</sup> o con volume di invaso almeno pari a 5 Mm<sup>3</sup>. Tale superficie è riferita al periodo di massimo invaso.

#### 13.4.2.1.2 Corpi idrici sotterranei

Sono significativi gli accumuli d'acqua contenuti nel sottosuolo permeanti la matrice rocciosa, posti al di sotto del livello di saturazione permanente. Fra essi ricadono le falde freatiche e quelle profonde (in pressione o no) contenute in formazioni permeabili, e in via subordinata, i corpi d'acqua intrappolati entro formazioni permeabili con bassa o nulla velocità di flusso. Le manifestazioni sorgentizie concentrate o diffuse (anche subacquee) si considerano appartenenti a tale gruppo di acque in quanto affioramenti della circolazione idrica sotterranea.

Non sono significativi gli orizzonti saturi di modesta estensione e continuità all'interno o sulla superficie di una litozona poco permeabile e di scarsa importanza idrogeologica e irrilevante significato ecologico.

## 13.4.2.2 Definizione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici significativi

### 13.4.2.2.1 Corpi idrici superficiali

Lo *stato di qualità ambientale* dei corpi idrici superficiali è definito sulla base dello *stato ecologico* e dello *stato chimico* del corpo idrico.

Lo *stato ecologico* dei corpi idrici superficiali è l'espressione della complessità degli ecosistemi acquatici, della natura fisica e chimica delle acque e dei sedimenti, delle caratteristiche del flusso idrico e della struttura fisica del corpo idrico, considerando comunque prioritario lo stato degli elementi biotici dell'ecosistema.

Lo *stato chimico* è definito in base alla presenza di microinquinanti, ovvero di sostanze chimiche pericolose. La valutazione dello stato chimico dei corpi idrici superficiali è effettuata inizialmente in base ai valori soglia riportati nella direttiva 76/464/CEE e nelle direttive da essa derivate nelle parti riguardanti gli obiettivi di qualità.

Nella tabella 13.4 sono riportati i principali inquinanti chimici organici ed inorganici.

Lo stato di qualità ambientale è definito in relazione al grado di scostamento rispetto alle condizioni di un corpo idrico di riferimento.

Il *corpo idrico di riferimento* è quello con caratteristiche biologiche, idromorfologiche e fisico-chimiche tipiche di un corpo idrico relativamente immune da impatti antropici. Essi sono individuati, anche in via teorica, in ogni bacino idrografico, dalle Autorità di Bacino o dalle Regioni per i bacini di competenza.

**Tabella 13.4 - Principali inquinanti chimici da controllare nelle acque dolci superficiali**

<b>INORGANICI (disciolti) <sup>(1)</sup></b>	<b>ORGANICI (sul tal quale)</b>
Cadmio	Aldrin
Cromo totale	Dieldrin
Mercurio	Endrin
Nichel	Isodrin
Piombo	DDT
Rame	Esaclorobenzene
Zinco	Esaclorocicloesano
	Esaclorobutadiene
	1,2 Dicloroetano
	Tricloroetilene
	Ttriclorobenzene
	Cloroformio
	Tetracloruro di carbonio
	Percloroetilene
	Pentaclorofenolo

(1) se è accertata l'origine naturale di sostanze inorganiche, la loro presenza non compromette l'attribuzione di una classe di qualità definita dagli altri parametri

Per quanto riguarda i corsi d'acqua naturali e i laghi dovranno essere individuati almeno un corpo idrico di riferimento per l'ecotipo montano e per l'ecotipo di pianura. Tale ecotipo serve a definire le condizioni di riferimento per lo stato ambientale *ELEVATO* e per riformulare i limiti indicati nel presente allegato per i parametri chimici, fisici ed idromorfologici relativi ai diversi stati di qualità ambientale.

Gli stati di qualità ambientale previsti per le acque superficiali sono riportati nella tabella 13.5.

**Tabella 13.5 - Definizione dello stato di qualità ambientale per i corpi idrici superficiali**

<b>ELEVATO</b>	<p>Non si rilevano alterazioni dei valori di qualità degli elementi chimico-fisici ed idromorfologici per quel dato tipo di corpo idrico in dipendenza degli impatti antropici, o sono minime rispetto ai valori normalmente associati allo stesso ecotipo in condizioni indisturbate. La qualità biologica sarà caratterizzata da una composizione e un'abbondanza di specie corrispondente totalmente o quasi alle condizioni normalmente associate allo stesso ecotipo</p> <p>La presenza di microinquinanti, di sintesi e non di sintesi, è paragonabile alle concentrazioni di fondo rilevabili nei corpi idrici non influenzati da alcuna pressione antropica</p>
<b>BUONO</b>	<p>I valori degli elementi della qualità biologica per quel tipo di corpo idrico mostrano bassi livelli di alterazione derivanti dall'attività umana e si discostano solo leggermente da quelli normalmente associati allo stesso ecotipo in condizioni non disturbate.</p> <p>La presenza di microinquinanti, di sintesi e non di sintesi, è in concentrazioni da non comportare effetti a breve e lungo termine sulle comunità biologiche associate al corpo idrico di riferimento</p>
<b>SUFFICIENTE</b>	<p>I valori degli elementi della qualità biologica per quel tipo di corpo idrico si discostano moderatamente da quelli di norma associati allo stesso ecotipo in condizioni non disturbate. I valori mostrano segni di alterazione derivanti dall'attività umana e sono sensibilmente più disturbati che nella condizione di <i>buono stato</i>.</p> <p>La presenza di microinquinanti, di sintesi e non di sintesi, è in concentrazioni da non comportare effetti a breve e lungo termine sulle comunità biologiche associate al corpo idrico di riferimento</p>
<b>SCADENTE</b>	<p>Si rilevano alterazioni considerevoli dei valori degli elementi di qualità biologica del tipo di corpo idrico superficiale, e le comunità biologiche interessate si discostano sostanzialmente da quelle di norma associate al tipo di corpo idrico superficiale inalterato.</p> <p>La presenza di microinquinanti, di sintesi e non di sintesi, è in concentrazioni da comportare effetti a medio e lungo termine sulle comunità biologiche associate al corpo idrico di riferimento</p>
<b>PESSIMO</b>	<p>I valori degli elementi di qualità biologica del tipo di corpo idrico superficiale presentano alterazioni gravi e mancano ampie porzioni delle comunità biologiche di norma associate al tipo di corpo idrico superficiale inalterato.</p> <p>La presenza di microinquinanti, di sintesi e non di sintesi, è in concentrazioni da gravi effetti a breve e lungo termine sulle comunità biologiche associate al corpo idrico di riferimento</p>

#### 13.4.2.2.2 Corpi idrici sotterranei

Lo *stato di qualità ambientale* dei corpi idrici sotterranei è definito sulla base dello *stato quantitativo* e dello *stato chimico* del corpo idrico; tale classificazione deve essere riferita ad ogni singolo acquifero individuato. Per le acque sotterranee sono definiti 5 possibili stati di qualità ambientale, come riportato in tabella 13.6.

**Tabella 13.6 - Definizioni dello stato ambientale per le acque sotterranee**

<b>ELEVATO</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile sulla qualità e quantità della risorsa, con l'eccezione di quanto previsto nello stato naturale particolare
<b>BUONO</b>	Impatto antropico ridotto sulla qualità e/o quantità della risorsa
<b>SUFFICIENTE</b>	Impatto antropico ridotto sulla quantità, con effetti significativi sulla qualità tali da richiedere azioni mirate ad evitarne il peggioramento
<b>SCADENTE</b>	Impatto antropico rilevante sulla qualità e/o quantità della risorsa con necessità di specifiche azioni di risanamento
<b>NATURALE PARTICOLARE</b>	Caratteristiche qualitative e/o quantitative che pur non presentando un significativo impatto antropico, presentano limitazioni d'uso della risorsa per la presenza naturale di particolari specie chimiche o per il basso potenziale quantitativo

#### 13.4.2.3 Monitoraggio e classificazione

##### 13.4.2.3.1 Corpi idrici superficiali

Il monitoraggio dei corpi idrici superficiali si articola in due fasi:

- *fase conoscitiva iniziale*, che ha la durata di 24 mesi e ha come scopo la classificazione dello stato di qualità ambientale di ciascun corpo idrico; in base ad esso le autorità competenti definiscono, nell'ambito del piano di tutela, le misure necessarie al raggiungimento e al mantenimento dell'obiettivo di qualità ambientale. Ha altresì lo scopo di raccogliere tutte le informazioni utili alla valutazione dello stato ecologico nonché quelle relative alla contaminazione da microinquinanti;
- *fase a regime*, in cui viene effettuato un monitoraggio volto a verificare il raggiungimento ovvero il mantenimento dell'obiettivo di qualità **BUONO**. L'autorità competente, in relazione allo stato del corpo idrico superficiale può variare la frequenza dei campionamenti e il numero di stazioni della rete di rilevamento.

##### *Corsi d'acqua*

Ai fini della prima classificazione della qualità dei corsi d'acqua vanno eseguite determinazioni sulla matrice acquosa e sul biota; qualora ne ricorra la necessità tali determinazioni possono essere integrate da indagini sui sedimenti e da test di tossicità.

**Tabella 13.7 - Parametri di base (con (o) sono indicati i parametri macrodescrittori utilizzati per la classificazione)**

Portata (m <sup>3</sup> /s)	Ossigeno disciolto (mg/l) ** (o)
pH	BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l) ** (o)
Solidi sospesi (mg/l)	COD (O <sub>2</sub> mg/l) ** (o)
Temperatura (°C)	Ortofosfato (P mg/l) *
Conducibilità (µS/cm (20°C)) **	Fosforo Totale (P mg/l) ** (o)
Durezza (mg/l di CaCO <sub>3</sub> )	Cloruri (Cl <sup>-</sup> mg/l) *
Azoto totale (N mg/l) **	Solfati (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/l)*
Azoto ammoniacale (N mg/l) *(o)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml) (o)
Azoto nitrico (N mg/l) *(o)	

(\*) determinazione sulla fase disciolta

(\*\*) determinazione sul campione tal quale

Le determinazioni sulla matrice acquosa riguardano due gruppi di parametri, quelli di base e quelli addizionali.

I parametri di base, riportati in tabella 13.7, riflettono le pressioni antropiche tramite la misura del carico organico, del bilancio di ossigeno, dell'acidità, del grado di salinità, del carico microbiologico e delle caratteristiche idrologiche del trasporto solido. I parametri definiti *macrodescrittori* e indicati con (o) nella tabella seguente vengono utilizzati per la classificazione. La determinazione dei parametri di base è obbligatoria.

I parametri addizionali sono relativi ai microinquinanti organici ed inorganici, in particolare quelli indicati nella tabella 13.4. Le analisi dei parametri addizionali sono effettuate dove l'Autorità competente lo ritenga necessario e comunque nel caso in cui:

- a seguito delle indagini conoscitive si individuino o si abbiano informazioni pregresse su sorgenti puntuali e diffuse che apportino una o più specie di tali inquinanti nel corpo idrico;
- dati recenti dimostrino livelli di contaminazione, da parte di tali sostanze, delle acque, del biota o segni di incremento delle stesse nei sedimenti.

Le determinazioni sul biota riguardano due gruppi di analisi:

- analisi di base: gli impatti antropici sulle comunità animali dei corsi d'acqua vengono valutati attraverso l'Indice Biotico Esteso (IBE); tale analisi va eseguita obbligatoriamente;
- analisi supplementari: non obbligatorie, da eseguire per approfondire le cause di degrado del corpo idrico; a tal fine possono essere effettuati saggi biologici finalizzati alla evidenziazione di effetti a breve o lungo termine come per esempio test di tossicità o test di crescita algale.

Le analisi sui sedimenti sono da considerarsi analisi supplementari eseguite per avere, se necessario, ulteriori elementi conoscitivi utili a determinare le cause di degrado ambientale di un corso d'acqua. Esse vanno fatte in particolare per ricercare quegli inquinanti che presentano una maggiore affinità con i sedimenti rispetto alla matrice acquosa.

Gli approcci possibili si riconducono a tre soluzioni fondamentali:

- saggi su estratti di sedimento;
- saggi sul sedimento in toto;
- saggi su acqua interstiziale.

Nella tabella 13.8 sono riportati gli inquinanti da ricercare nei sedimenti.

**Tabella 13.8 - Microinquinanti e sostanze pericolose di prima priorità da ricercare nei sedimenti**

INORGANICI E METALLI	ORGANICI
Arsenico	Policlorobifenili (PCB)
Cadmio	Diossine (TCDD)
Zinco	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Cromo totale	Pesticidi organoclorurati
Mercurio	
Nichel	
Piombo	
Rame	

Per ogni corso d'acqua viene definito un numero minimo di stazioni di prelievo in funzione della tipologia del corso d'acqua e della superficie del bacino imbrifero, secondo i criteri riportati in tabella 13.9.

**Tabella 13.9 - Numero stazioni nei corsi d'acqua naturali**

Area del bacino (km <sup>2</sup> )	Numero stazioni	
	Corsi d'acqua di 1° ordine	Corsi d'acqua di 2° ordine
200 - 400	1	
401 - 1000	2	1
1001 - 5000	3	2
5001 - 10.000	5	4
10.001 - 25.000	6	-
25.001 - 50.000	8	-
> 50.001	10	

I punti di campionamento sono fissati ad una distanza dalle immissioni sufficiente ad avere la garanzia del rimescolamento delle acque al fine di valutare la qualità del corpo recettore e non quella degli apporti. In ogni caso deve essere posta una stazione di prelievo nella sezione di chiusura di ogni corpo idrico significativo. La frequenza dei campionamenti può variare tra la fase iniziale del monitoraggio e quella a regime.

Nella fase iniziale, per quanto riguarda le acque, la misura dei parametri chimici, fisici, microbiologici e idrologici di base e di quelli relativi ai parametri addizionali, quando necessari, deve essere eseguita una volta al mese fino al raggiungimento dell'obiettivo di qualità.

Per i sedimenti il campionamento si esegue una volta l'anno durante i periodi di magra (o comunque lontano da eventi di piena), cioè nei periodi favorevoli alla sedimentazione del materiale sospeso.

Nel caso del biota, l'IBE va misurato stagionalmente (4 volte all'anno).

Nella fase a regime la frequenza di campionamento si mantiene inalterata fino al raggiungimento dell'obiettivo di qualità; può essere ridotta dall'autorità competente ma comunque non deve essere inferiore a 4 volte all'anno per i parametri di base e a 2 volte per l'IBE.

La classificazione dello *stato ecologico* dei corsi d'acqua viene effettuata incrociando il dato risultante dai macrodescrittori con il risultato dell'IBE, attribuendo alla sezione in esame o al tratto da essa rappresentato il risultato peggiore tra quelli derivati dalle valutazioni relative ad IBE e macrodescrittori.

Per la valutazione del risultato dell'IBE si considera il valore medio ottenuto dalle analisi eseguite durante il periodo di misura per la classificazione. La tabella di riferimento per la definizione dello stato ecologico è la seguente (tabella 13.10):

**Tabella 13.10 - Stato ecologico dei corsi d'acqua (si consideri il risultato peggiore tra IBE e macrodescrittori)**

	<b>CLASSE 1</b>	<b>CLASSE 2</b>	<b>CLASSE 3</b>	<b>CLASSE 4</b>	<b>CLASSE 5</b>
IBE	>= 10	8 – 9	6 – 7	4 – 5	1, 2, 3
LIVELLO DI INQUINAMENTO MACRODESCRITTORI	480 – 560	240 – 475	120 – 235	60 – 115	< 60

Il livello di qualità relativa ai macrodescrittori viene attribuito utilizzando la tabella 13.11 e seguendo il procedimento di seguito descritto:

- sull'insieme dei risultati ottenuti durante la fase conoscitiva bisogna calcolare, per ciascuno dei parametri riportati in tabella, il 75° percentile;
- si individua la colonna in cui ricade il risultato ottenuto, definendo il livello di inquinamento da attribuire a ciascun parametro e, conseguentemente, il suo punteggio;
- si ripete il calcolo per ogni parametro e si sommano i punteggi ottenuti;
- si individua il livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori in base all'intervallo in cui ricade il valore somma dei livelli ottenuti per ciascun parametro.

**Tabella 13.11 - Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori**

Parametro	LIVELLO 1	LIVELLO 2	LIVELLO 3	LIVELLO 4	LIVELLO 5
100-OD (% sat.) (*)	<   10	<   20	<   30	<   50	>   50
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l)	< 2,5	< 4	< 8	< 15	> 15
COD (O <sub>2</sub> mg/l)	< 5	< 10	< 15	< 25	> 25
NH <sub>4</sub> (N mg/l)	< 0,03	< 0,1	< 0,5	< 1,5	> 1,5
NO <sub>3</sub> (N mg/l)	< 0,30	< 1,5	< 5	< 10	> 10
Fosforo totale (P mg/l)	< 0,07	< 0,15	< 0,30	< 0,6	> 0,6
Escherichia coli (UFC/100 ml)	< 100	< 1.000	< 5.000	< 20.000	> 20.000
Punteggio da attribuire per ogni parametro analizzato (75°percentile del periodo di rilevamento)	80	40	20	10	5
LIVELLO DI INQUINAMENTO DAI MACRODESCRITTORI	480 – 560	240 – 475	120 – 235	60 – 115	< 60

Al fine dell'attribuzione dello *stato ambientale* del corso d'acqua i dati relativi allo stato ecologico andranno rapportati ai dati relativi alla presenza degli inquinanti chimici riportati nella tabella 13.4, secondo lo schema indicato nella tabella 13.12.

Se lo stato ambientale da attribuire alla sezione di corpo idrico risulta inferiore a *BUONO* devono essere effettuati accertamenti successivi finalizzati all'individuazione delle cause del degrado e alla definizione delle azioni di risanamento.

**Tabella 13.12 - Stato ambientale dei corsi d'acqua**

STATO ECOLOGICO =>	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
Concentrazione inquinanti di cui alla Tabella 13.4					
<= VALORE SOGLIA	ELEVATO	BUONO	SUFFICIENTE	SCADENTE	PESSIMO
> VALORE SOGLIA	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	PESSIMO

## Laghi

La definizione dello stato di qualità ambientale dei laghi è basata sulle analisi effettuate sulla matrice acquosa. Qualora vi sia la necessità, tali analisi vanno integrate con determinazioni sui sedimenti e sul biota.

Le determinazioni sulla matrice acquosa riguardano due gruppi di parametri: quelli di base e quelli addizionali.

I parametri di base si distinguono in quelli relativi allo stato trofico che vengono utilizzati per la classificazione (*macrodescrittori*) e altri che servono a fornire informazioni di supporto per l'interpretazione dei fenomeni di alterazione. La determinazione dei parametri di base è obbligatoria. Essi sono indicati in tabella 13.13.

I parametri addizionali sono relativi ai microinquinanti organici ed inorganici, in particolare quelli indicati nella tabella 13.4. Le analisi dei parametri addizionali sono effettuate dove l'Autorità competente lo ritenga necessario e comunque nel caso in cui:

- a seguito delle indagini conoscitive si individuino o si abbiano informazioni pregresse su sorgenti puntuali e diffuse che apportino una o più specie di tali inquinanti nel corpo idrico;
- dati recenti dimostrino livelli di contaminazione, da parte di tali sostanze, delle acque, del biota o segni di incremento delle stesse nei sedimenti.

**Tabella 13.13 - Parametri chimico-fisici di base (con (o) sono indicati i parametri macrodescrittori utilizzati per la classificazione)**

Temperatura (°C)	pH
Alcalinità (mg/l Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Trasparenza (m) (o)
Ossigeno disciolto (mg/l)	Ossigeno ipolimnico (% di saturazione) (o)
Clorofilla a (µg/l) (o)	Fosforo totale (P µg/l) (o)
Ortofosfato (P µg/l)	Azoto nitroso (N µg/l)
Azoto nitrico (N mg/l)	Azoto ammoniacale (N mg/l)
Conducibilità Elettrica Specifica (µS/cm (20°C))	Azoto totale (N mg/l)

Per quanto riguarda il biota e i sedimenti valgono le stesse indicazioni già citate per i corsi d'acqua. La scelta delle stazioni di prelievo, per l'effettuazione dei campionamenti previsti nell'attività di monitoraggio e classificazioni dei laghi, segue i seguenti criteri: per i laghi di superficie inferiore a 80 km<sup>2</sup> è sufficiente un'unica stazione di prelievo fissata nel punto di massima profondità; per i laghi di superficie superiore a 80 km<sup>2</sup> o di forma irregolare il numero di stazioni va individuato caso per caso in funzione delle zone di maggior interesse.

I campioni di acqua vanno prelevati lungo la colonna con queste modalità:

- laghi con profondità ≤ 50 m: un campione in superficie, uno a metà e uno in fondo;
- laghi con profondità > 50 m: un campione in superficie, a 25 m, a 50 m, a 100 m, a multipli di 100 m e uno sul fondo;
- laghi che per peculiarità ambientali o situazioni di influsso antropico necessitano di un maggior dettaglio per la colonna d'acqua superiore: un campione in superficie, a 5 m, a 10 m, a 20 m, a 50 m, a 100 m, a multipli di 100 m e uno sul fondo.

I campionamenti devono essere effettuati semestralmente, una volta nel periodo di rimescolamento ed una in quello di massima stratificazione.

La classificazione dello *stato ecologico* viene effettuata, ai sensi del D.M. 29 dicembre 2003, n. 391 che introduce delle modifiche al DLgs 152/99, valutando lo stato trofico secondo la tabella 13.14a per l'individuazione del livello da attribuire alla *trasparenza* e alla *clorofilla*.

L'attribuzione del livello per l'*ossigeno disciolto* e il *fosforo totale* viene effettuata rispettivamente mediante le tabelle a doppia entrata 13.14b e 13.14c.

Lo stato ecologico è ottenuto sommando i livelli dei singoli parametri, deducendo la classe finale dagli intervalli definiti dalla tabella 13.14d.

**Tabella 13.14a - Individuazione dei livelli per la trasparenza e la clorofilla**

Parametro	LIVELLO 1	LIVELLO 2	LIVELLO 3	LIVELLO 4	LIVELLO 5
Trasparenza (m) (valore minimo)	> 5	<=5	<=2	<= 1,5	<=1
Clorofilla a (µg/l) (valore massimo)	< 3	<= 6	<= 10	<=25	> 25

**Tabella 13.14b - Individuazione del livello per l'ossigeno disciolto (% saturazione)**

Valore minimo ipolimnico nel periodo di massima stratificazione	Valore a 0 m nel periodo di massima circolazione					
	> 80	< 80	< 60	< 40	< 20	
> 80	1					
<= 80	2	2				
<= 60	2	3	3			
<= 40	3	3	4	4		
<= 20	3	4	4	5	5	

**Tabella 13.14c Individuazione del livello per il fosforo totale (µg/l)**

Valore massimo riscontrato	Valore a 0 m nel periodo di massima circolazione					
	< 10	< 25	< 50	< 100	> 100	
< 10	1					
<= 25	2	2				
<= 50	2	3	3			
<= 100	3	3	4	4		
> 100	3	4	4	5	5	

**Tabella 13.14d - Attribuzione della classe dello stato ecologico attraverso la normalizzazione dei livelli ottenuti per i singoli parametri**

Somma dei singoli punteggi	CLASSE
4	1
5 – 8	2
9 – 12	3
13 – 16	4
17 – 20	5

Al fine dell'attribuzione dello *stato ambientale*, i dati relativi allo stato ecologico andranno confermati dagli eventuali dati relativi alla presenza degli inquinanti chimici della tabella 13.4, considerando per questi ultimi la media aritmetica dei dati disponibili nel periodo di misura, secondo lo schema indicato in tabella 13.15.

**Tabella 13.15 - Stato ambientale dei laghi**

STATO ECOLOGICO	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
Concentrazione inquinanti di cui alla Tabella 13.4					
<b>&lt;= VALORE SOGLIA</b>	ELEVATO	BUONO	SUFFICIENTE	SCADENTE	PESSIMO
<b>&gt; VALORE SOGLIA</b>	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	PESSIMO

Nel caso in cui alla sezione del corpo idrico venga attribuito uno stato di qualità ambientale inferiore a *BUONO* devono essere effettuati accertamenti successivi finalizzati all'individuazione delle cause del degrado e alla definizione delle azioni di risanamento.

#### *Corpi idrici artificiali*

Ai corpi idrici artificiali si applicano gli stessi elementi di qualità e gli stessi criteri di misura applicati ai corpi idrici superficiali naturali che più si accostano al corpo idrico artificiale in questione.

#### 13.4.2.3.2 Corpi idrici sotterranei

Per l'attività di monitoraggio e classificazione dello stato di qualità ambientale di un corpo idrico sotterraneo è necessaria una preventiva ricostruzione del modello idrogeologico, in termini di:

- individuazione e parametrizzazione dei principali acquiferi;
- definizione delle modalità di alimentazione-deflusso-recapito;
- identificazione dei rapporti tra acque superficiali ed acque sotterranee;
- individuazione dei punti d'acqua (pozzi, sorgenti ed emergenze);
- determinazione delle caratteristiche idrochimiche;
- identificazione delle caratteristiche di utilizzo delle acque.

Il modello idrogeologico deve essere periodicamente aggiornato sulla base delle nuove conoscenze e delle attività di monitoraggio.

Il monitoraggio delle acque sotterranee è articolato in una fase conoscitiva iniziale ed una fase a regime.

La *fase conoscitiva iniziale* è a sua volta scindibile in due sottofasi: una prima di caratterizzazione sommaria finalizzata ad un'analisi di inquadramento generale tramite la ricerca di un ristretto gruppo di parametri chimici, fisici e microbiologici, volta anche ad individuare aree critiche, potenzialmente soggette a crisi e quelle naturalmente protette; una seconda durante la quale si individueranno i punti d'acqua significativi sia per la classificazione preliminare, sia per eseguire il monitoraggio per la caratterizzazione dell'acquifero.

Il monitoraggio nella *fase a regime* ha come scopo l'analisi del comportamento e delle modificazioni nel tempo dei sistemi acquiferi. Sulla base dei risultati della fase conoscitiva e delle conoscenze acquisite dovrà essere individuata una rete di punti d'acqua ritenuti significativi e rappresentativi delle condizioni idrogeologiche, antropiche, di inquinamento in atto e delle azioni di risanamento intraprese, su cui compiere un sistematico e periodico monitoraggio chimico e quantitativo.

Nella fase iniziale, il monitoraggio *quantitativo* dovrà permettere di caratterizzare i singoli acquiferi in termini di potenzialità, produttività e grado di sfruttamento. Questo tipo di rilevamento si basa su due parametri fondamentali: *livello piezometrico e portate delle sorgenti o emergenze naturali delle acque sotterranee*.

I dati desunti dal monitoraggio dovranno essere elaborati al fine di definire e parametrizzare i seguenti indicatori generali da utilizzare per la classificazione:

- morfologia della superficie piezometrica;
- escursioni piezometriche;
- variazioni delle direzioni di flusso;
- entità dei prelievi;
- variazione delle portate delle sorgenti o emergenze naturali delle acque sotterranee;
- variazioni dello stato chimico indotto dai prelievi;
- movimenti verticali del suolo connessi all'estrazione di acqua dal sottosuolo.

La fase iniziale del monitoraggio *qualitativo* dura 24 mesi ed è, appunto, finalizzata alla caratterizzazione dell'acquifero dal punto di vista qualitativo. Essa è basata su dei parametri base, in particolare alcuni di essi detti *macrodescrittori* che sono quelli utilizzati per la classificazione. Inoltre è prevista l'analisi di parametri addizionali, relativi ad inquinanti specifici, individuati in funzione dell'uso del suolo e delle attività antropiche sul territorio, in considerazione della vulnerabilità della risorsa. I parametri di base sono riportati in tabella 13.16.

**Tabella 13.16 - Parametri di base (con (o) sono indicati i parametri macrodescrittori utilizzati per la classificazione)**

Temperatura (°C)	Potassio (mg/l)
Durezza totale (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Sodio (mg/l)
Conducibilità elettrica (µS/cm (20°C)) (o)	Solfati (mg/l) come SO <sub>4</sub> (o)
Bicarbonati (mg/l)	Ione ammonio (mg/l) come NH <sub>4</sub> (o)
Calcio (mg/l)	Ferro (mg/l) (o)
Cloruri (mg/l) (o)	Manganese (mg/l) (o)
Magnesio (mg/l)	Nitrati (mg/l) come NO <sub>3</sub> (o)

Nella fase a regime, sulla rete di monitoraggio individuata sulla base dei risultati della fase conoscitiva iniziale, vanno proseguite le misure sui parametri di base; si ritiene necessario considerare un periodo iniziale di riferimento di almeno cinque anni per poter definire le tendenze evolutive del corpo idrico.

Per quanto riguarda gli aspetti quantitativi, su un numero ridotto di punti significativi appartenenti alla reti di monitoraggio individuate, le misure dovranno essere eseguite con cadenza mensile su pozzi e piezometri. Le misure sulle sorgenti dovranno essere anche più ravvicinate in ragione dei tempi di esaurimento della sorgente stessa.

Per quanto riguarda le analisi chimiche dovranno essere eseguite, sia nella fase iniziale che in quella a regime, con cadenza semestrale in corrispondenza dei periodi di massimo e minimo deflusso delle acque sotterranee.

Lo stato di qualità ambientale del corpo idrico sotterraneo è definito in base allo stato quantitativo e a quello chimico.

#### *Stato quantitativo*

I parametri e i relativi valori numerici di riferimento, per la classificazione quantitativa dei corpi idrici sotterranei, sono definiti dalle Regioni utilizzando gli indicatori generali elaborati sulla base del monitoraggio che tengono conto delle caratteristiche dell'acquifero (tipologia, permeabilità e coefficienti di immagazzinamento) e del relativo sfruttamento (tendenza piezometrica o delle portate, prelievi per vari usi).

*Un corpo idrico sotterraneo è in condizioni di equilibrio quando le estrazioni o le alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili per lungo periodo (almeno 10 anni): sulla base delle alterazioni misurate o previste di tale equilibrio viene definito lo stato quantitativo.*

Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei è definito da quattro classi così caratterizzate (tabella 13.17).

**Tabella 13.17 - Definizione delle classi che caratterizzano lo stato quantitativo del corpo idrico sotterraneo**

<b>CLASSE A</b>	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo.
<b>CLASSE B</b>	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa e sostenibile sul lungo periodo.
<b>CLASSE C</b>	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali sopraesposti (1).
<b>CLASSE D</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

(1) nella valutazione quantitativa bisogna tener conto anche degli eventuali surplus incompatibili con la presenza di importanti strutture sotterranee preesistenti

#### *Stato chimico*

Le classi chimiche dei corpi idrici sotterranei sono definite secondo il seguente schema (tabella 13.18):

**Tabella 13.18 Definizione delle classi che caratterizzano lo stato qualitativo del corpo idrico sotterraneo**

<b>CLASSE 1</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche;
<b>CLASSE 2</b>	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
<b>CLASSE 3</b>	Impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione;
<b>CLASSE 4</b>	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti;
<b>CLASSE 0 (*)</b>	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della classe 3

(\*) per la valutazione dell'origine endogena delle specie idrochimiche presenti dovranno essere considerate anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque

L'attribuzione di ogni acquifero ad una delle classi chimiche sopra descritte è determinata da 7 parametri di base riportati in tabella 13.19.

**Tabella 13.19 - Classificazione chimica in base ai parametri di base (1)**

	Unità di misura	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 0 (*)
Conducibilità elettrica	µS/cm (20°C)	< 400	< 2500	< 2500	>2500	>2500
Cloruri	mg/l	< 25	< 250	< 250	>250	>250
Manganese	µg/L	< 20	< 50	< 50	>50	>50
Ferro	µg/L	<50	<200	< 200	>200	>200
Nitrati	mg/L di NO <sub>3</sub>	< 5	< 25	< 50	> 50	
Solfati	mg/L di SO <sub>4</sub>	< 25	< 250	< 250	>250	>250
Ione ammonio	mg/L di NH <sub>4</sub>	< 0,05	< 0,5	< 0,5	>0,5	>0,5

(1) se la presenza di tali sostanze è di origine naturale, così come appurato dalle regioni o dalle province autonome, verrà automaticamente attribuita la classe 0

I parametri di base sono integrati da altri parametri addizionali indicati come inquinanti chimici organici ed inorganici e riportati in tabella 13.20.

**Tabella 13.20 - Parametri addizionali**

INQUINANTI INORGANICI	µg/l	INQUINANTI ORGANICI	µg/l
Alluminio	< 200	Composti alifatici alogenati totali	10
Antimonio	< 5	di cui:	
Argento	< 10	- 1,2-dicloroetano	3
Arsenico	< 10	Pesticidi totali (1)	0,5
Bario	< 2000	di cui:	
Berillio	< 4	- aldrin	0,03
Boro	< 1000	- dieldrin	0,03
Cadmio	< 5	- eptacloro	0,03
Cianuri	< 50	- eptacloro epossido	0,03
Cromo tot.	< 50	Altri pesticidi individuali	0,1
Cromo VI	< 5	Acilamide	0,1
Ferro	< 200	Benzene	1
Fluoruri	< 1500	Cloruro di vinile	0,5
Mercurio	< 1	IPA totali (2)	0,1
Nichel	< 20	Benzo (a) pirene	0,01
Nitriti	< 500		
Piombo	< 10		
Rame	< 1000		
Selenio	< 10		
Zinco	< 3000		

(1) In questo parametro sono compresi tutti i composti organici usati come biocidi (erbicidi, insetticidi, fungicidi, acaricidi, algicidi, nematocidi ecc..)

(2) Si intendono in questa classe i seguenti composti specifici: benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)terilene, indeno(1,2,3,-cd)pirene

Ai fini della classificazione chimica si utilizzerà il valore medio, rilevato per ogni parametro di base o addizionale nel periodo di riferimento.

L'attribuzione ad una delle classi di qualità è determinata dal valore di concentrazione peggiore riscontrato nelle analisi dei diversi parametri di base o dei parametri addizionali. Se la presenza di inquinanti inorganici in concentrazioni superiori a quelle riportate in tabella 13.20 è di origine naturale verrà attribuita la classe 0, per la quale non vengono previsti interventi di risanamento. La presenza di inquinanti inorganici o organici con concentrazioni superiori a quelli del valore riportato in tabella 13.20 determina la classificazione in classe 4.

#### *Stato di qualità ambientale*

La sovrapposizione delle classi chimiche (1, 2, 3, 4 e 0) e quantitative (A, B, C e D) definisce lo stato di qualità ambientale del corpo idrico sotterraneo così come indicato nella tabella 13.21.

**Tabella 13.21 - Stato ambientale (quali-quantitativo) dei corpi idrici sotterranei**

STATO ELEVATO	STATO BUONO	STATO SUFFICIENTE	STATO SCADENTE	STATO PARTICOLARE
1 – A	1 – B	3 – A	1 – C	0 – A
	2 – A	3 – B	2 – C	0 – B
	2 – B		3 – C	0 – C
			4 – C	0 – D
			4 – A	1 – D
			4 – B	2 – D
				3 – D
				4 – D

In assenza di serie storiche significative dal punto di vista quantitativo in una prima fase la classificazione sarà basata sullo stato chimico delle risorse, ipotizzando, per la parte quantitativa, una classe C.

### **13.5 La classificazione dei corpi idrici dell'area in studio secondo il DLgs152/99**

La classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici significativi, ubicati all'interno del bacino idrografico sotteso allo Stagno del Calich, ai sensi del DLgs 152/99 e successive modificazioni, è stata ottenuta con modalità differenti a seconda si trattasse di corpi idrici superficiali o sotterranei. In particolare, per quanto riguarda i vari acquiferi individuati nell'ambito del Progetto RIADE W.P. 4.4, la classificazione è stata determinata sulla base dei dati dei parametri macrodescrittori ed alcuni addizionali acquisiti durante le fasi di monitoraggio realizzate durante l'attività di ricerca. Per i corpi idrici superficiali, invece, non è stato possibile eseguire determinazioni sulla matrice acquosa di molti macrodescrittori quali BOD<sub>5</sub>, COD, P totale e Escherichia coli, e sul biota relativamente all'IBE (Indice Biotico Estesio).

Per questo motivo si è fatto riferimento alla classificazione riportata nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Sardegna.

### 13.6 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici superficiali

Nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Sardegna la classificazione dello stato di qualità ambientale riguarda i corpi idrici significativi ricadenti in più bacini idrografici limitrofi raggruppati in sistemi territoriali denominati UIO (Unità Idrografiche Omogenee) che risultano essere:

- *omogenei* per caratteristiche geomorfologiche o idrografiche/idrologiche o per tipologia delle pressioni da attività antropica;
- *interrelati naturalmente* (acquiferi significativamente afferenti su più bacini);
- *interrelati artificialmente* (interconnessioni tra invasi artificiali, schemi acquedottistici e/o irrigui e/o schemi fognario depurativi a cavallo degli spartiacque ecc.)

Per il nostro studio si è fatto riferimento all'UIO denominata *Rio Barca*, dal nome del corso d'acqua che sottende il bacino idrografico più esteso al suo interno. In seguito riporteremo la classificazione dei corpi idrici significativi che ricadono sia in tale unità idrografica che all'interno del bacino idrografico sotteso allo Stagno del Calich.

#### *Corsi d'acqua*

Nell'area in studio vi sono 3 corsi d'acqua del I° ordine, che sfociano nello Stagno del Calich, (tabella 13.22) e 6 del II° ordine (tabella 13.23), tra cui si segnala per importanza il Riu Serra.

**Tabella 13.22 - Corsi d'acqua del I° ordine**

Nome corso d'acqua del I° ordine	Nome Bacino Idrografico	Codice Bacino CEDOC	Area Bacino (km <sup>2</sup> )
Rio Barca	Rio Barca	0191	353,50
Rio de Calvia	Riu de Calvia	0192	44,70
Canale Urune	Canale Urune	0190	114,09

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Come già detto in precedenza sono significativi i corsi d'acqua del I° ordine il cui bacino imbrifero abbia una superficie di 200 km<sup>2</sup>, mentre per quelli del II° ordine o superiore deve essere almeno 400 km<sup>2</sup>.

Dalle tabelle si deduce che l'unico corso d'acqua che rientra nella classificazione è il Rio Barca, la cui asta fluviale però è molto corta (circa 3 km). Per questo motivo vengono monitorati anche i suoi affluenti Riu Serra e Riu Su Mattone.

**Tabella 13.23 - Corsi d'acqua del II° ordine**

Codice Bacino CEDOC	Nome Bacino Idrografico	Codice Corpo Idrico	Nome Corpo Idrico	Lunghezza Asta (km)
0191	Rio Barca	0002	Riu Filibertu	9,78
0191	Rio Barca	0004	Riu Serra	21,59
0191	Rio Barca	0013	Riu Sassu	6,14
0192	Riu de Calvia	0002	Riu Correbuffas	7,00
0190	Canale Urune	0002	Canale su Incontru	2,06
0190	Canale Urune	0003	Canale di Bonifica	7,97

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Le stazioni di prelievo sono ubicate sul Rio Barca, prima della sua immissione nello Stagno del Calich, poco a valle della confluenza del suo affluente Riu Serra, sullo stesso Riu Serra e sul Rio Su Mattone. Purtroppo le informazioni derivanti dal monitoraggio consentono di classificare soltanto una di queste stazioni di monitoraggio, come riportato nella tabella 13.24.

**Tabella 13.24 - Stato ambientale: rete di monitoraggio e classificazione dei corsi d'acqua**

Id Bacino	Nome bacino	Id Corpo Idrico	Nome corpo idrico	Id_ Stazione	Data Inizio Campion.	Data Fine Campion.	LIM	IBE	SECA	Stato qualità ambientale
0191	Rio Barca	CS0001	Rio Barca	01910101	13/03/2002	13/03/2004	3		0	N/D
		CS0004	Riu Serra	01910102	13/03/2002	13/03/2004	2	2	2	BUONO
		CS0014	Riu su Mattone	01910103	13/03/2002	13/03/2004	3		0	N/D

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

#### *Laghi e invasi*

All'interno dell'area in esame sono presenti 4 invasi artificiali, elencati nella tabella 13.25, così denominati nel Piano di Tutela delle Acque.

**Tabella 13.25 - Invasi artificiali**

Codice bacino	Nome bacino	Codice corpo	Denominazione
0191	Rio Barca	LA4021	Trainu Ipirida
0191	Rio Barca	LA4022	Riu Cuga a Nuraghe Attentu
0191	Rio Barca	LA4023	Riu Surigheddu a Sa Misericordia
0191	Rio Barca	LA4067	Riu Sette Ortas a Ponte Valenti

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Ricordiamo che ai sensi del DLgs 152/99, sono significativi ai fini della classificazione dello stato di qualità ambientale gli invasi artificiali aventi una superficie dello specchio liquido pari ad almeno 1 km<sup>2</sup>. Come si può vedere nella tabella 13.26, l'unico invaso che possiede questi requisiti è quello del Cuga a Nuraghe Attentu, il quale ha una superficie dello specchio liquido di 3,1 km<sup>2</sup>.

**Tabella 13.26 - Invasi artificiali significativi**

Cod. Bacino	Cod. corpo idrico	Lago	Comune	Prov.	Sup. lago (km <sup>2</sup> )	Profondità (m)	Volume (Mm <sup>3</sup> )
0191	LA4022	Rio Cuga a Nuraghe Attentu	Uri	SS	3,1	51,2	33,92

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Così come per tutti gli invasi della Sardegna, anche per il Cuga, avendo una superficie inferiore a 80 km<sup>2</sup>, è stata prevista per il monitoraggio una sola stazione di prelievo fissata nel punto di massima profondità. Come esposto in precedenza, lo stato ecologico (SECA) dell'invaso del Cuga scaturisce dalla somma dei punteggi determinati per i diversi parametri macrodescrittori: il SECA ricade in classe 5, dunque lo stato di qualità ambientale risulta essere *PESSIMO* (tabella 13.27).

**Tabella 13.27 - Stato di qualità ambientale dell'invaso del Cuga**

Id Bacino	Nome bacino	Id Corpo Idrico	Nome corpo idrico	Id_ Stazione	Livello Trasparenza	Livello Ossigeno Ipolimnico	Livello Clorofilla a	Livello Fosforo Totale	SECA	Stato qualità ambientale
0191	Rio Barca	LA4022	Rio Cuga a Nuraghe Attentu	1910104	5	2	5	5	5	PESSIMO

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

**Tabella 13.28 - Associazione dei livelli trofici alle classi dello stato ecologico**

STATO ECOLOGICO	LIVELLO TROFICO
CLASSE 1	ULTRAOLIGOTROFIA
CLASSE 2	OLIGOTROFIA
CLASSE 3	MESOTROFIA
CLASSE 4	EUTROFIA
CLASSE 5	IPERTROFIA

Fonte: Relazione Generale, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Sardegna le classi dello stato ecologico dei laghi sono state associate, per maggiore leggibilità, ai livelli trofici corrispondenti secondo lo schema della tabella 13.28.

In generale con il termine eutrofizzazione si intende il fenomeno di arricchimento in nutrienti degli ecosistemi acquatici, tale da alterare l'equilibrio del sistema. Gli stati trofici (classi) possono essere definiti come segue (tabella 13.29).

**Tabella 13.29 - Descrizione dei livelli trofici**

<b>IPERTROFIA</b>	Stato in cui i corpi d'acqua risultano caratterizzati da abbondanti fioriture algali.
<b>EUTROFIA</b>	Stato trofico caratterizzato dalla presenza di elevata produttività biologica (alghe, piante, fitoplancton) provocata da un eccesso di nutrienti, con conseguente sovraccarico dei processi di decomposizione della sostanza organica e diminuzione dei livelli di ossigeno (condizioni di anossia) in profondità (nell'ipolimnio), soprattutto nel periodo di massima stratificazione del lago.
<b>MESOTROFIA</b>	Condizioni intermedie tra quelle oligotrofiche ed eutrofiche.
<b>OLIGOTROFIA</b>	Stato trofico di un lago caratterizzate da bassa produttività biologica per scarsità di nutrienti.
<b>ULTRAOLIGOTROFIA</b>	Stato in cui l'oligotrofia è estrema.

Dalle tabelle 13.27, 13.28 e 13.29 si deduce che l'invaso del Cuga è caratterizzato da uno stato trofico di *IPERTROFIA* e quindi soggetto ad abbondanti fioriture algali. Inoltre nel caso di lago in condizioni eutrofiche o ipertrofiche, nei periodi delle fioriture algali (periodo di massima circolazione, più o meno identificabile con la primavera) si può avere un eccesso di ossigeno in superficie, a causa dei processi di fotosintesi clorofilliana.

### Acque di transizione

Secondo quanto contenuto nell'Allegato 1 al DLgs 152/99, sono acque di transizione le acque delle zone di delta ed estuario e le acque di lagune, di laghi salmastri e di stagni costieri. Nell'area in studio, l'unico corpo idrico appartenente a questa tipologia che risulta essere significativo è lo Stagno del Calich (tabella 13.30).

**Tabella 13.30 - Acque di transizione significative**

Cod. Bacino	Cod. corpo idrico	Nome	Sup. del C.I. (km <sup>2</sup> )	Comuni interessati	Prov
0190	AT5039	Stagno di Calich	0,88	Alghero	SS

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Per la definizione dello stato ambientale delle acque lagunari e degli stagni costieri si valuta il numero di giorni di anossia/anno che coinvolgono oltre il 30% della superficie del corpo idrico misurata nelle acque di fondo secondo lo schema riportato nella tabella 13.31.

**Tabella 13.31 - Classificazione stato ambientale per le acque di transizione**

	STATO BUONO	STATO SUFFICIENTE	STATO SCADENTE
Numero giorni di anossia/anno che coinvolgono oltre il 30% della superficie del corpo idrico	<= 1	<= 10	> 10

Fonte: Allegato n. 1 del DLgs 152/99

Nella Relazione generale del Piano di Tutela delle Acque è stato evidenziato che il solo indicatore previsto dal DLgs 152/99 non è sufficiente a caratterizzare il corpo idrico e le sue eventuali problematiche. Dunque, al fine di una migliore comprensione del fenomeno, si ritiene necessario un monitoraggio continuo dei principali parametri chimico-fisici da attuare mediante rilievi automatici in continuo oppure tramite prelievi ed analisi giornaliere perlomeno nei periodi potenzialmente critici.

#### 13.6.1 Criticità per la qualità ambientale

Nel Piano Tutela delle Acque della Regione Sardegna viene fatto un passo oltre la mera classificazione dello stato di qualità ambientale dei diversi corpi idrici, introducendo il concetto di criticità.

La *criticità* rappresenta quantitativamente una misura della distanza dello stato qualitativo attuale dagli obiettivi di qualità definiti dal DLgs 152/99: maggiore è la distanza, maggiore risulta essere il livello di criticità: ossia un dato corpo idrico è affetto in maniera più significativa di altri da problemi di inquinamento qualitativo.

### *Corsi d'acqua*

L'analisi delle criticità per la qualità ambientale dei corsi d'acqua è stata effettuata rapportando, per ciascun inquinante (BOD<sub>5</sub>, COD, P, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, %O<sub>2</sub> alla saturazione ed Escherichia Coli), il valore derivante dalla classificazione dello stato ecologico<sup>1</sup> e la concentrazione relativa al livello 3 della tabella relativa al livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori (vedi tabella 13.11), contenuta nell'Allegato 1 al DLgs 152/99. Nella tabella 13.32 sono riportati i diversi livelli di criticità definiti per i corsi d'acqua.

**Tabella 13.32 - Livelli di criticità per i corsi d'acqua**

Livello	Colore	Descrizione
A	ROSSO	Il rapporto tra valore derivante dalla classificazione del SECA e livello 3 (Tab.LIM, All.1 DLgs152/99) è superiore a 1
B	ARANCIO	Il rapporto tra valore derivante dalla classificazione del SECA e livello 3 (Tab.LIM, All.1 DLgs152/99) è compreso tra 0.8 e 1
C	GIALLO	Il rapporto tra valore derivante dalla classificazione del SECA e livello 3 (Tab.LIM, All.1 DLgs152/99) è compreso tra 0.5 e 0.8
D	--	Il rapporto tra valore derivante dalla classificazione del SECA e livello 3 (Tab.LIM, All.1 DLgs152/99) è inferiore a 0.5

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Al fine di pervenire ad un'ipotesi sulle possibili cause delle criticità sono stati calcolati i carichi effettivi, che insistono su ciascuna delle stazioni di monitoraggio, suddivisi per fonti puntuali (carichi di tipo civile e industriale) e diffuse (carichi zootecnici e agricoli). Nelle tabelle 13.33 e 13.34, insieme ai valori dei rapporti relativi ai macrodescrittori, viene riportata la percentuale di carico sul totale che compete a ogni singolo comparto che insiste sulla singola stazione, in maniera tale da rendere possibile un'analisi del legame causa – effetto tra carico effettivo e criticità e da mettere in evidenza il peso che ogni comparto esercita, in termini di contributo di inquinante, sulla singola stazione.

Laddove il rapporto tra il 75-esimo percentile delle concentrazioni misurate durante il monitoraggio e la concentrazione massima ammissibile relativa al livello 3 della tabella relativa al livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori, contenuta nell'Allegato 1 al DLgs 152/99, sia maggiore dell'unità è data anche la percentuale ipotetica di abbattimento del carico complessivo necessaria per arrivare ad avere per tale rapporto un valore unitario.

<sup>1</sup> Per la classificazione viene calcolato, ai sensi del D.Lgs. 152/99, il 75-esimo percentile della serie storica di concentrazioni misurate durante il monitoraggio

Tabella 13.33 - Criticità per i corsi d'acqua per i macrodescrittori BOD<sub>5</sub>, COD, P, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>

Id_Bacino	Nome_Bacino	Id_Corpo Idrico	Nomecorpo Idrico	Id_Stazione	LIM	IBE	SECA	Parametro	Percentuale ipotetica di abbattimento	Conc.75%/Conc.Ammissibile 2008	Ripartizione % carichi				
											CIV	IND	ZOO	AGR	
0191	Rio Barca	CS0001	Rio Barca	01910101	3		0	BOD <sub>5</sub>		0,50	8%	84%	8%	0%	
								COD	57%	2,33	7%	49%	44%	0%	
								P		0,38	8%	42%	18%	31%	
								NO <sub>3</sub>		0,98	3%	5%	7%	86%	
								NH <sub>4</sub>		0,08	12%	55%	33%	0%	
								BOD <sub>5</sub>		0,25	27%	0%	73%	0%	
		CS0004	Riu Serra	01910102		2	2	2	COD	53%	2,12	5%	0%	95%	0%
									P		0,36	6%	0%	35%	59%
									NO <sub>3</sub>		0,06	1%	0%	8%	90%
		CS0014	Riu Su Mattone	01910103		3	0	0	NH <sub>4</sub>		0,06	9%	0%	91%	0%
									BOD <sub>5</sub>		0,28	39%	0%	61%	0%
									COD	40%	1,67	8%	0%	92%	0%
									P		0,17	13%	0%	33%	54%
									NO <sub>3</sub>	28%	1,38	2%	0%	6%	92%
							NH <sub>4</sub>		0,08	20%	0%	80%	0%		

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Nella tabella 13.33 si può notare che il parametro per il quale sussistono, in tutte le stazioni di monitoraggio, condizioni di alta criticità è il COD, per il quale il rapporto tra il 75-esimo percentile delle concentrazioni misurate durante il monitoraggio e la concentrazione massima ammissibile, relativa al livello 3 della tabella relativa al livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori, è sempre abbondantemente superiore all'unità. Il carico inquinante relativo a tale parametro proviene quasi totalmente dal comparto zootecnico per le stazioni sul Riu Serra e Riu Su Mattone; mentre, nel caso della stazione sul Rio Barca circa la metà del carico complessivo viene dal comparto industriale.

Per quanto riguarda gli altri parametri descrittivi, cioè % O<sub>2</sub> alla saturazione e Escherichia Coli, (tabella 13.34), quello che presenta condizioni di alta criticità in tutte le stazioni di prelievo è l'ossigeno disciolto, mentre non vi sono livelli di criticità dovuti ad inquinamento batterico.

**Tabella 13.34 - Criticità per i corsi d'acqua per i macrodescrittori % O<sub>2</sub> alla saturazione e Escherichia Coli**

Id Bacino	Nome bacino	Id Corpo Idrico	Nome Corpo Idrico	Id_ Stazione	%O <sub>2</sub> saturazione	Escherichia Coli
0191	Rio Barca	CS0001	Rio Barca	01910101	1,35	0,05
		CS0004	Riu Serra	01910102	2,03	0,22
		CS0014	Riu su Mattone	01910103	1,17	0,12

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

#### *Laghi e invasi*

La definizione delle criticità per la qualità ambientale dei laghi si è basata sulla definizione di livelli di criticità per i quattro parametri necessari alla classificazione dello stato ecologico dei laghi: cioè trasparenza, ossigeno ipolimnico, clorofilla a e Fosforo Totale.

Analogamente a quanto effettuato per i corsi d'acqua, le criticità sono state distinte in livelli (A, B, C, D) e sono state associate ad un colore che ne esplicita la rilevanza: i livelli di criticità sono stabiliti, per singolo macrodescrittore, in funzione della classe del SECA, come esplicitato in tabella 13.35.

**Tabella 13.35 - Livelli di criticità per i laghi**

Livello	Colore	Descrizione
A	ROSSO	Classe 5 della Tab.del SECA, All.1 DLgs 152/99, così come modificata dal Decreto n.391/2003.
B	ARANCIO	Classe 4 della Tab.del SECA, All.1 DLgs 152/99, così come modificata dal Decreto n.391/2003.
C	GIALLO	Classe 3 della Tab.del SECA, All.1 DLgs 152/99, così come modificata dal Decreto n.391/2003.
D	--	Classi 1-2 della Tab.del SECA, All.1 DLgs 152/99, così come modificata dal Decreto n.391/2003.

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

I livelli di criticità dell'unico invaso in monitoraggio all'interno dell'area in studio, ovvero il bacino artificiale del Cuga, sono riportati in tabella 13.36, dove sono indicati anche i carichi di fosforo che insistono sul corpo idrico, come contributo percentuale di ciascun comparto (civile, industriale, agricolo e zootecnico).

**Tabella 13.36 - Criticità per i laghi e carico effettivo di P afferente**

Nome Corpo Idrico	Id_Stazione	SECA	LIVELLI DI CRITICITÀ				Carico effettivo di P (%)			
			Trasparenza	Ossigeno	Clorofilla	Fosforo	P civile	P industriale	P agricolo	P zootecnico
Rio Cuga a Nuraghe Attentu	01910104	5	A	D	A	A	0,0	0,0	62,6	37,4

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

Dalla tabella precedente si evince che la criticità per l'invaso del Cuga è elevata per quanto riguarda i parametri trasparenza, clorofilla a e fosforo totale, mentre il carico di P afferisce da fonti diffuse, principalmente dal comparto agricolo.

Nel Piano di Tutela delle Acque, una volta definiti i livelli di criticità, viene effettuato un approfondimento al fine di evidenziare l'eventuale sussistenza di condizioni di *naturalità* per quanto riguarda lo stato trofico dei laghi. Molti degli invasi sardi attualmente presentano uno stato qualitativo pessimo (ipertrofici) o scadente (eutrofici): per cui è stata effettuata un'analisi al fine di stabilire una metodologia, relativamente semplice ed applicabile su vasta scala, che consenta di stimare con sufficiente precisione il livello trofico naturale di ogni singolo ambiente lacustre, espresso in termini di concentrazione media di fosforo totale dovuta al solo carico geochimico e distinguibile dagli apporti dovuti alle attività antropiche.

A tal fine viene utilizzato l'indice MEI – indice morfoedafico [Vighi e Chiaudiani 1986] – che tiene conto dell'esistenza di una diretta relazione tra parametri morfometrici ed edifici e produttività dei laghi. Tale indice deriva da una stima statistica basata su una correlazione sperimentale di un gruppo di circa 50 laghi europei e nordamericani considerati come sottoposti a trascurabili influenze antropiche. Il fosforo totale stimato rappresenta pertanto quello teoricamente rilasciato dal bacino imbrifero in condizioni naturali. Tale indice serve, quindi, per evidenziare le situazioni eutrofiche che non sono necessariamente conseguenza di contaminazione antropica, in quanto un lago può presentare caratteri di elevata trofia anche per cause naturali, determinate sia dalla conformazione della cuvetta lacustre che dalle caratteristiche morfometriche e geochemiche proprie dei bacini di drenaggio.

L'indice MEI può essere determinato sia utilizzando come dato di base l'alcalinità, sia la conducibilità:

- $MEI_{alcal.} =$  rapporto tra alcalinità (meq/l) e profondità media (m);
- $MEI_{cond.} =$  rapporto tra conducibilità ( $\mu S/cm$ ) e profondità media (m);

Le relazioni empiriche che legano il logaritmo dell'indice morfoedafico di un lago ed il logaritmo del carico di fosforo totale di origine naturale, sono le seguenti:

- $\text{Log [P]} = 1,48 + 0,33 (\pm 0,09) \text{Log } MEI_{alcal.}$
- $\text{Log [P]} = 0,75 + 0,27 (\pm 0,11) \text{Log } MEI_{cond.}$

dove [P] è la concentrazione di fosforo totale in  $\mu g/l$ . Una volta ottenuta tale concentrazione teorica, il livello trofico viene determinato utilizzando le soglie riportate in tabella 13.37.

Sulla base dei risultati ottenuti dall'applicazione del modello empirico, nella tabella 13.38 è riportata, per l'invaso del Cuga, la concentrazione media di fosforo teorica naturale ed il conseguente stato trofico; viene inoltre riportato lo stato trofico attribuito con la classificazione. È stata utilizzata la formula che si basa come dato di input sull'alcalinità, dal momento che questo parametro risulta meno influenzato dagli apporti antropici [Vighi e Chiaudiani 1986].

**Tabella 13.37 - Soglie per la determinazione dello stato trofico dei laghi**

Stato	Ultraoligotrofico	Oligotrofico	Mesotrofico	Eutrofico	Iperotrofico
Conc P ( $\mu g/l$ )	< 10	10 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100

Fonte: Relazione Generale, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

**Tabella 13.38 - Concentrazione di P naturale stimata con l'indice MEI e stato trofico**

Nome lago	Conc P ( $\mu g/l$ ) Alcal.	Stato trofico Alcal.	Stato trofico attuale
Rio Cuga a Nuraghe Attentu	67,59	EUTROFIA	IPERTROFIA

Fonte: UIO Rio Barca, Piano Tutela delle Acque, Regione Sardegna

### *Acque di transizione*

Per quanto riguarda invece le criticità delle acque di transizione, in particolare dello Stagno del Calich, allo stato di redazione del Piano di Tutela delle Acque, non sono state evidenziate criticità significative: per quanto lo stagno presenti condizioni di trofia elevate, il buon ricambio idrico e la forte turbolenza sembrano garantire buoni livelli di ossigenazione, e quindi scongiurare l'instaurarsi di condizioni anossiche. Inoltre dal momento che lo stagno ha una notevole importanza ai fini produttivi, e che una diminuzione della trofia avrebbe sicuramente delle ripercussioni negative sulla produttività ittica, la situazione rilevata dallo studio rappresenta quella ottimale per lo stagno.

## **13.7 Lo stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei dell'area in studio**

L'attività di monitoraggio e classificazione dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei, ai sensi del DLgs 152/99, è stata realizzata in seguito alla ricostruzione del modello idrogeologico concettuale, così come descritto nei Capitoli 4 e 11 della presente relazione. L'interpretazione geologica ed idrogeologica ha permesso il riconoscimento di 7 acquiferi o unità idrogeologiche, che vengono schematicamente riportati in tabella 13.39 e cartograficamente nell'Allegato 2.

**Tabella 13.39 - Corpi idrici sotterranei**

<b>Id_Unità idrogeologica</b>	<b>Unità idrogeologiche</b>	<b>Periodo</b>	<b>Formazioni litologiche</b>
cme(P)	Complesso metamorfico	Paleozoico	Metamorfiti
csc(T)	Complesso sedimentario composito	Trias	Calcari, dolomie e gessi
cc(G)	Complesso calcareo	Giura	Calcari e dolomie con intercalazioni marnose
ccm(C)	Complesso calcareo marnoso	Cretaceo	Calcari e marne
cpi(OM)	Complesso piroclastico	Oligo - Miocene	Ignimbriti saldate e non saldate
cmc(Mc)	Complesso marnoso calcareo	Miocene	Marne, calcari marnosi e calcareniti
csr(Q)	Complesso sedimentario recente	Pleistocene	Depositi travertinoidi

Nel mese di dicembre 2004, è stata effettuato, sulla rete di monitoraggio preliminare delle acque sotterranee, costituita da 97 pozzi e 21 sorgenti, un rilievo idrogeologico di dettaglio. Per ciascun punto d'acqua, oltre all'esecuzione delle misure speditive in situ (temperatura, pH, livello piezometrico per i pozzi e portate per le sorgenti), sono stati prelevati campioni per le analisi chimico-fisiche in laboratorio.

Le determinazioni eseguite in laboratorio su ciascun campione sono relative ai seguenti parametri: conducibilità elettrica, salinità, ossigeno disciolto, potenziale di ossido-riduzione, residuo fisso, durezza totale, bicarbonati, cloruri, solfati, nitrati, calcio, magnesio, sodio, potassio, nitriti, bromuri, fosfati, silice, ammoniaca, ferro, litio, zinco, manganese, piombo e cadmio. Come si può notare, questi sono tutti i parametri macrodescrittori previsti dal DLgs 152/99 e solo alcuni addizionali (nitriti, zinco, piombo e cadmio).

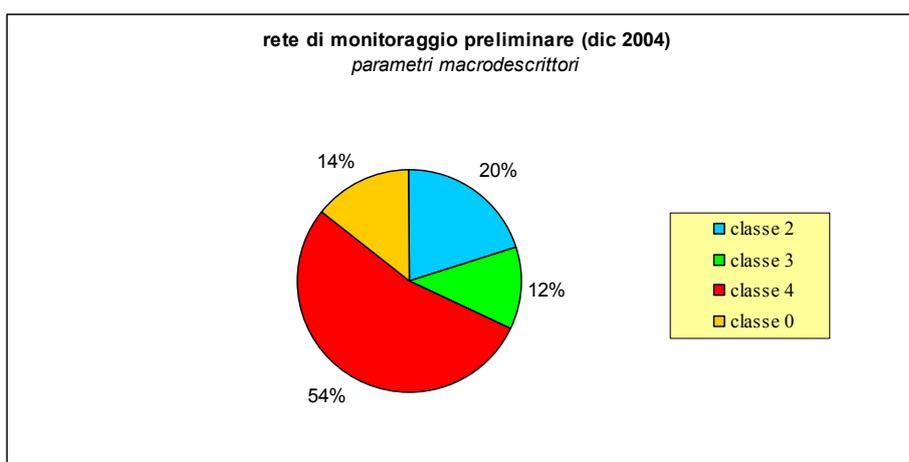
Nel mese di giugno 2005, invece, il campionamento è stato effettuato sulla rete di monitoraggio definitiva costituita da un numero inferiore di punti d'acqua: 51 pozzi e 4 sorgenti. In questa fase, rispetto al campionamento di dicembre, sono stati determinati anche alcuni elementi minori, quali rame e nichel; mentre non è stato possibile determinare il cadmio.

I risultati completi sono contenuti nel Capitolo 10 e nei data-base contenuti nel DVD allegato.

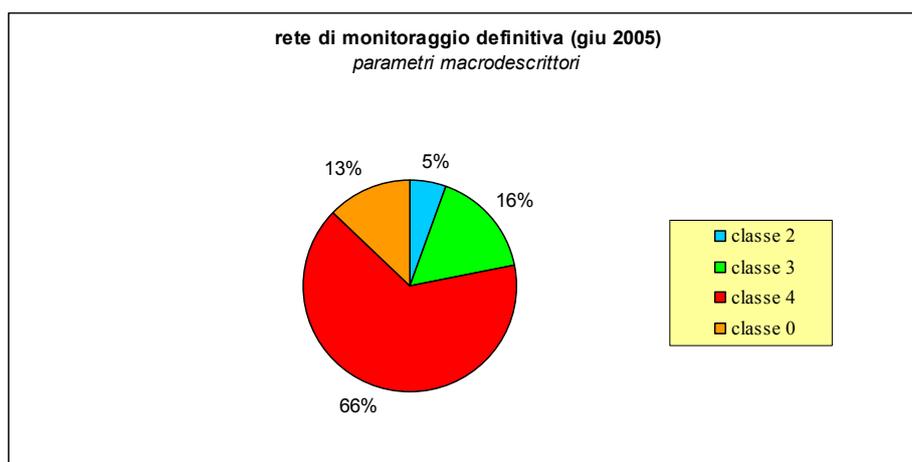
### 13.7.1 *Classificazione dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei*

La classificazione dello stato chimico delle acque sotterranee è stata effettuata considerando inizialmente soltanto i parametri macrodescrittori e successivamente, i parametri addizionali disponibili dalle analisi di laboratorio.

Nelle figure 13.29 (a,b) sono riportati i grafici relativi alla distribuzione percentuale delle diverse classi di qualità, in funzione dei soli parametri macrodescrittori, per i punti d'acqua della rete di monitoraggio preliminare e definitiva. Come si può notare, la classe 4, la più scadente qualitativamente, è di gran lunga la più rappresentata in entrambi i casi, con un incremento dal 54% al 66% nel campionamento di giugno 2005. Il 20% dei campioni della rete di monitoraggio preliminare ricade nella classe 2: il che denota un impatto antropico ridotto e buone caratteristiche idrochimiche. Ma, nel campionamento di giugno 2005, questa percentuale si riduce notevolmente.



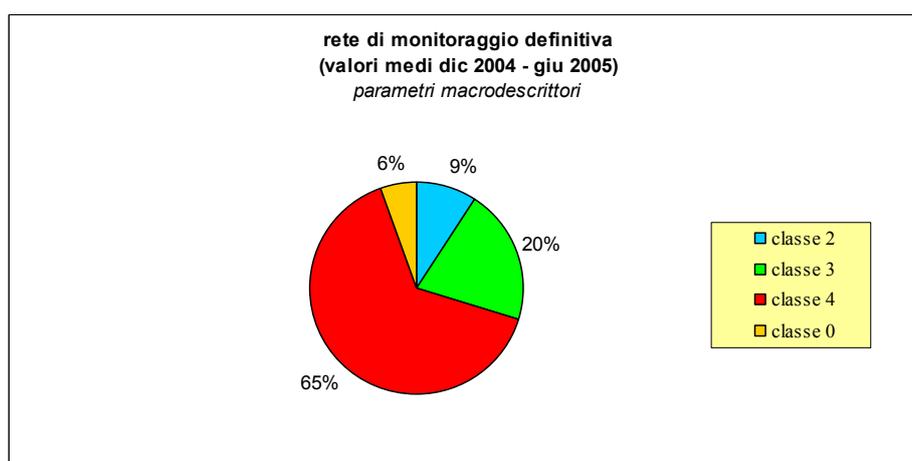
**Figura 13.29a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**



**Figura 13.29b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

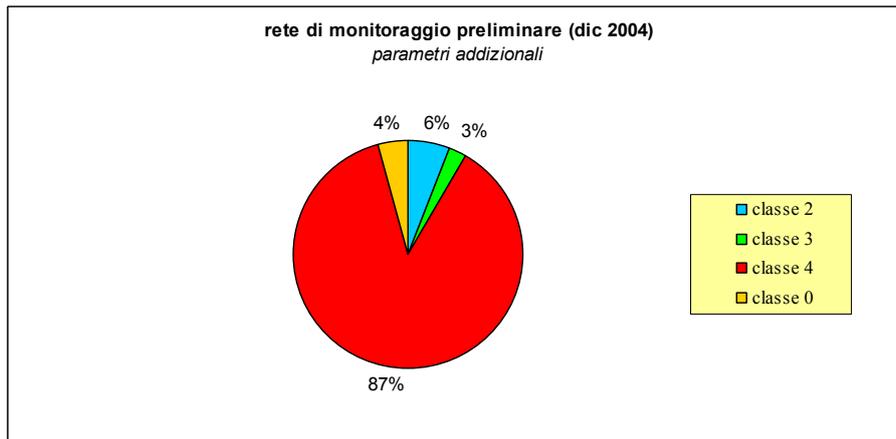
La classe 3, che comprende acque con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione, non subisce grosse variazioni nelle due fasi del monitoraggio. Lo stesso vale per la classe 0, la quale è stata attribuita a quei campioni che presentano concentrazioni più elevate rispetto ai valori propri della classe 3, ma solo per condizioni particolari naturali esistenti (processi di interazione acqua-roccia) e non riconducibili ad impatti antropici significativi.

Per i punti d'acqua costituenti la rete di monitoraggio definitiva, gli unici sui quali sono stati effettuati due campionamenti, è stata applicata la classificazione considerando i valori medi per ciascun parametro determinati nelle due diverse fasi del monitoraggio. In figura 13.29c è riportata la distribuzione percentuale delle diverse classi ottenute utilizzando i valori medi dei soli parametri macrodescrittori: tale si avvicina molto a quella relativa al monitoraggio di giugno 2005.



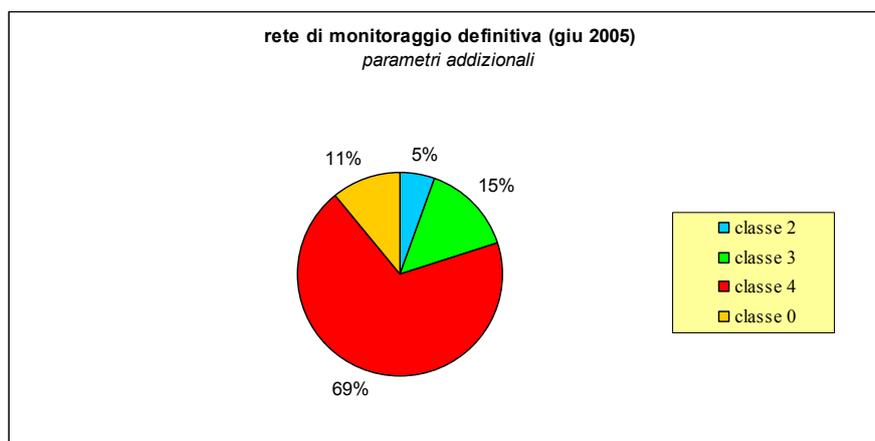
**Figura 13.29c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

Nelle figure 13.30 (a,b) sono riportati i grafici relativi alla classificazione effettuata considerando anche i parametri aggiuntivi che sono stati analizzati. È interessante osservare come variano le distribuzioni percentuali delle varie classi per entrambi i campionamenti. Dalla figura 13.30a si può vedere che, per il campionamento di dicembre 2004, la quasi totalità dei punti d'acqua, appartenenti alla rete di monitoraggio preliminare, ricade in classe 4; mentre le altre classi risultano meno rappresentate. Il superamento della soglia stabilita dal decreto per le concentrazioni di nitriti, piombo e cadmio comporta il passaggio direttamente in classe 4 per quei punti d'acqua che nella classificazione precedente appartenevano a classi qualitativamente superiori.



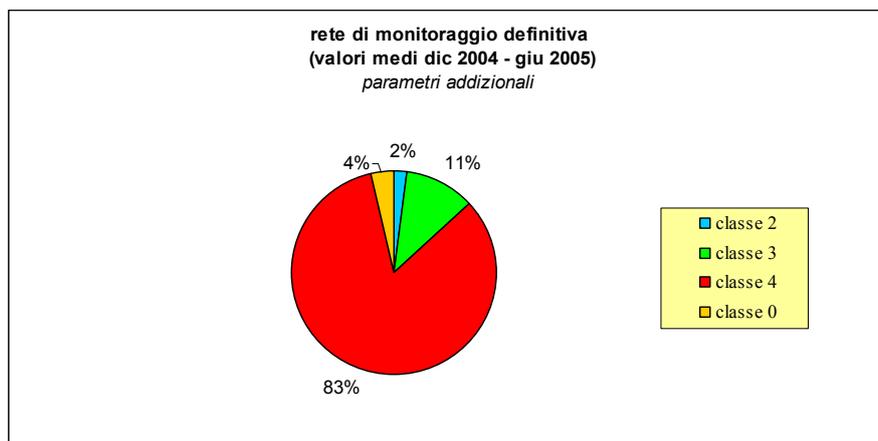
**Figura 13.30a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri aggiuntivi nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

Per quanto riguarda il campionamento di giugno 2005 (figura 13.30b), l'utilizzo dei parametri aggiuntivi non comporta sostanziali variazioni rispetto alla classificazione riferita ai soli macrodescrittori. Questo può essere giustificato dal fatto che per tutti i campioni non si è registrata la presenza di nitriti. Inoltre, poche variazioni sono riconducibili al piombo, l'unico parametro per il quale in alcuni casi viene superato il valore soglia.



**Figura 13.30b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri aggiuntivi nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

Per la classificazione effettuata, considerando i valori medi dei parametri aggiuntivi e dei macrodescrittori, è stato possibile utilizzare soltanto i valori medi relativi a nitriti, zinco e piombo (unici elementi, fra quelli aggiuntivi, che sono stati determinati in entrambe le fasi del monitoraggio). In figura 13.30c è rappresentata la distribuzione ottenuta: l'83% dei campioni ricade in classe 4 a causa, principalmente, delle elevate concentrazioni di nitriti.

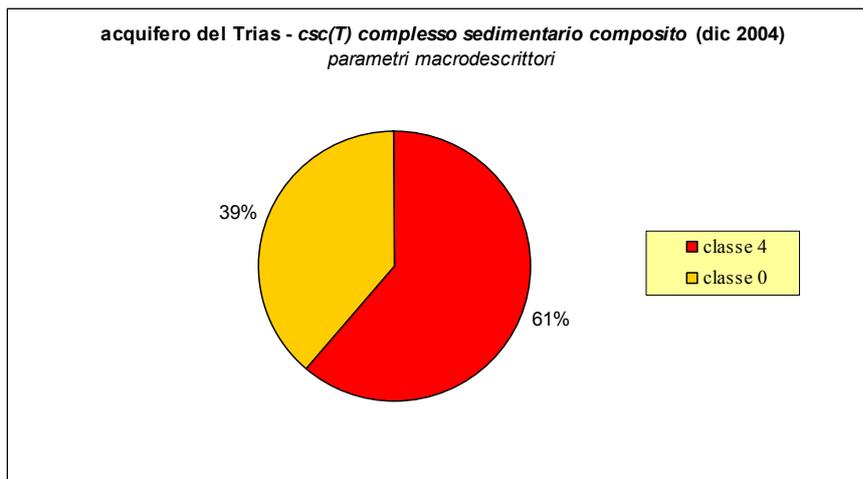


**Figura 13.30c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri aggiuntivi (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

Inoltre, la classificazione sullo stato chimico è stata effettuata anche sui gruppi di campioni prelevati dallo stesso acquifero. In questo modo è stato possibile definire, sulla base della distribuzione dei campioni nelle diverse classi, lo stato chimico degli acquiferi. Bisogna sottolineare che, fra le unità idrogeologiche individuate, non è stato preso in considerazione l'acquifero del Paleozoico in quanto di scarsa importanza produttiva.

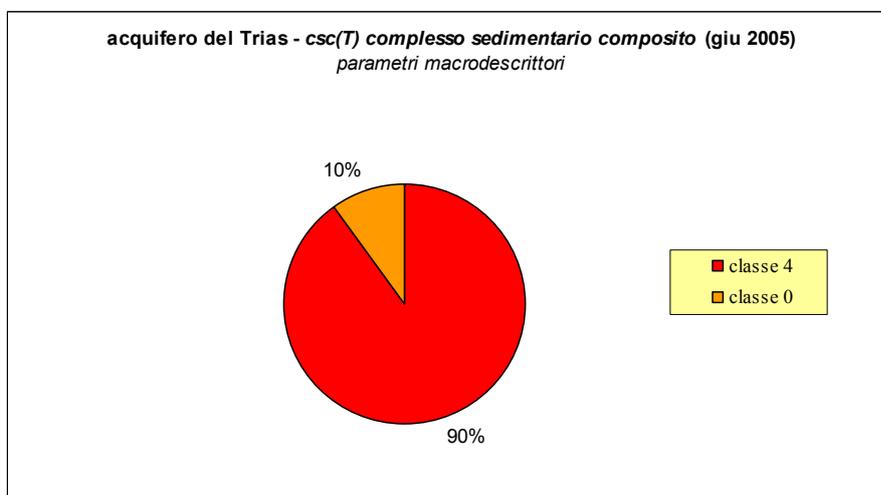
#### 13.7.1.1 Acquifero del Trias – csc(T) complesso sedimentario composito

Appare subito evidente dai grafici che le acque dell'acquifero del Trias (calcari, dolomie e gessi) è rappresentato soltanto dalle classi 4 e 0: ovvero quelle che comprendono acque con caratteristiche idrochimiche scadenti. Questo è dovuto al fatto che i campioni sono caratterizzati, in generale, da elevati valori di conducibilità elettrica (in alcuni casi ben oltre la soglia di 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e con valori fino a 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e di concentrazioni di cloruri e solfati. Valori così elevati indicano una forte mineralizzazione delle acque, dovuta all'interazione acqua-roccia, per la presenza di livelli evaporatici e quindi a fenomeni naturali. Per questo motivo, come si può notare in figura 13.31a, il 39% dei campioni ricade in classe 0. Al restante 61% è stata attribuita la classe 4, in quanto caratterizzati anche da concentrazioni di nitrati, ione ammonio, ferro o manganese superiori alla soglia prevista per la classe 3: in questo caso, per ragioni imputabili ad un impatto antropico rilevante.



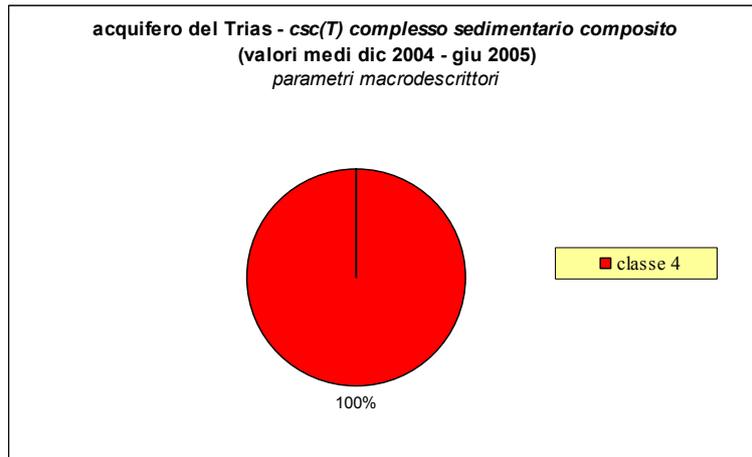
**Figura 13.31a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Trias (dicembre 2004)**

Il grafico relativo al monitoraggio di giugno 2005 è riportato in figura 13.31b. Le variazioni in percentuale della classe 0 è data dalla scelta dei punti di campionamento della rete di monitoraggio definitiva. Infatti, sono stati scelti un numero maggiore di punti che ricadevano in classe 4, in quanto considerati più rappresentativi per valutare fenomeni di inquinamento antropico.



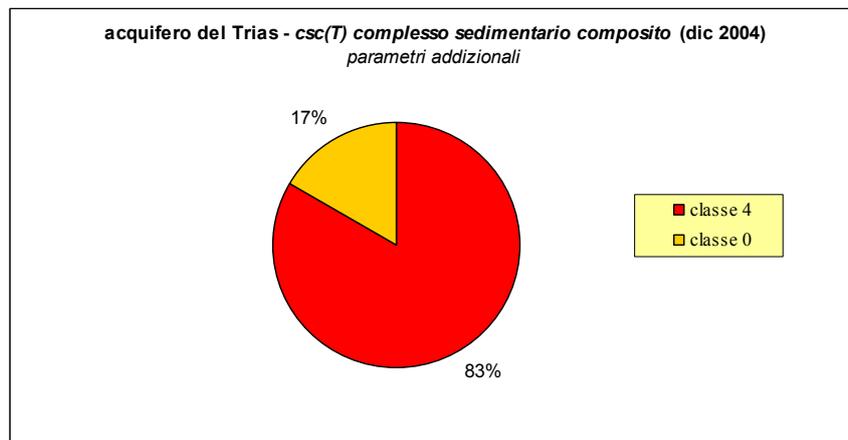
**Figura 13.31b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Trias (giugno 2005)**

In figura 13.31c sono diagrammati i valori medi, relativi ai due periodi, dei parametri macrodescrittori.

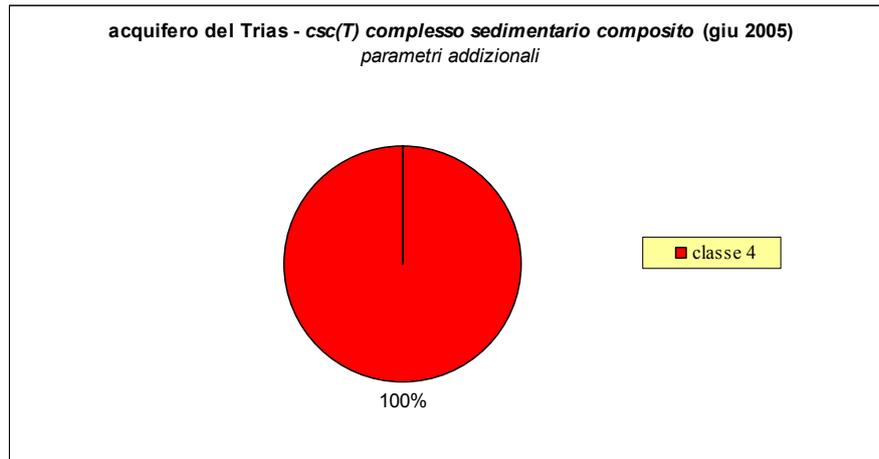


**Figura 13.31c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Trias (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

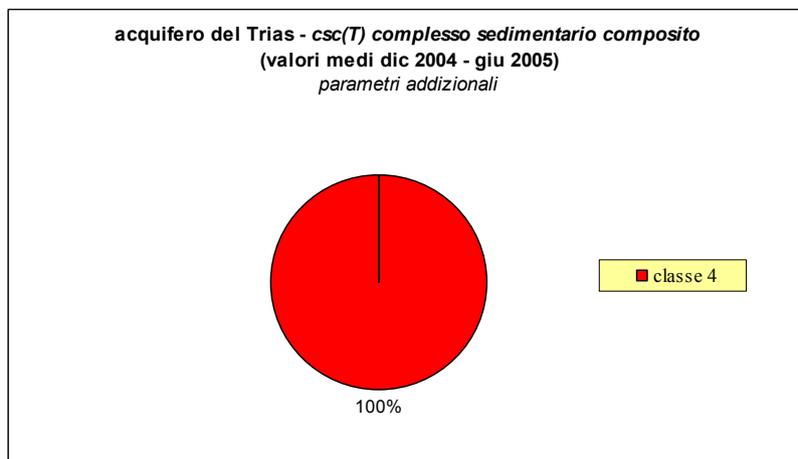
Nelle figure 13.32 (a,b,c) sono riportati i diagrammi relativi, ai due periodi e alle medie di questi, utilizzando i parametri addizionali.



**Figura 13.32a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Trias (dicembre 2004)**



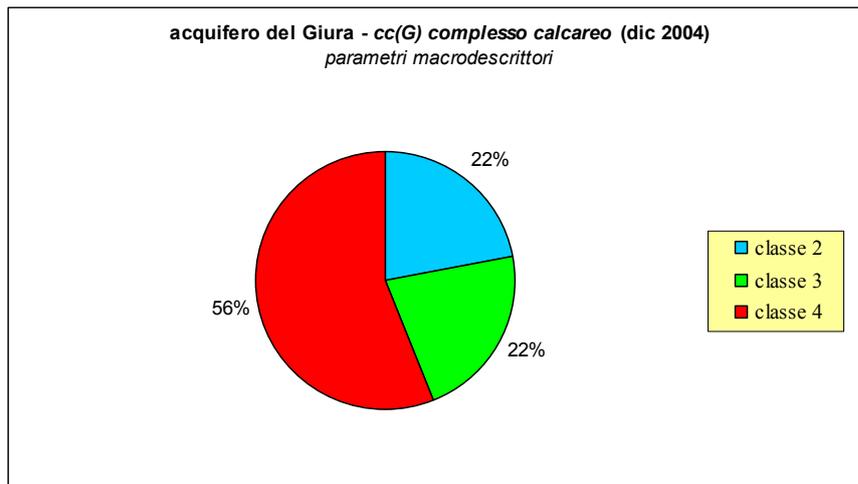
**Figura 13.32b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Trias (giugno 2005)**



**Figura 13.32c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Trias (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

### 13.7.1.2 Acquifero del Giura – cc(G) complesso calcareo

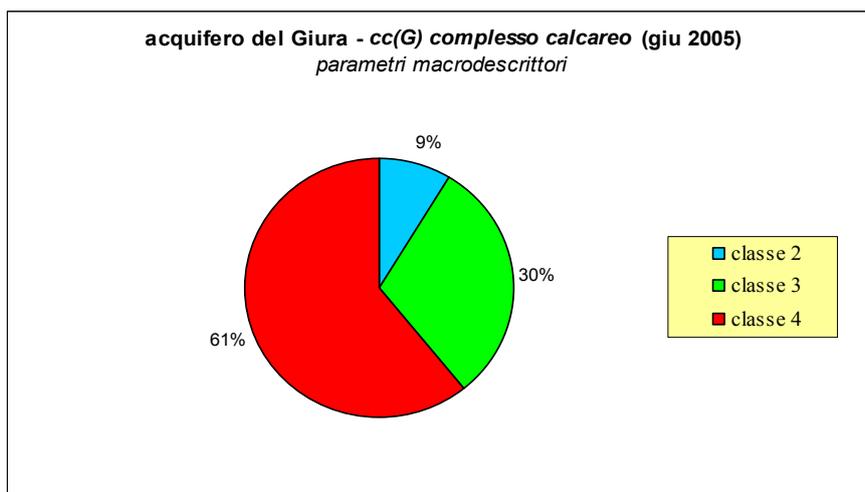
L'acquifero ospitato nelle formazioni carbonatiche del Giura (calcari e dolomie con intercalazioni marnose) è caratterizzato da acque con valori di conducibilità elettrica generalmente compresi tra 1000 e 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e da concentrazioni in cloruri che solo in alcuni casi superano il limite di 250 mg/l (valore soglia per la classe 3). Si può osservare nella figura 13.33a che, nel monitoraggio di dicembre, considerando solo i parametri macrodescrittori, il 22% dei punti d'acqua ricade in classe 2, ovvero con buone caratteristiche idrochimiche e un impatto antropico ridotto; mentre il 22% è caratterizzato da condizioni qualitative ancora buone, ma con alcuni segnali di compromissione (classe 3). Il 56% dei campioni, invece, ricade in classe 4 a causa sia per il superamento del valore soglia dei cloruri sia, più frequentemente, per le concentrazioni dei nitrati maggiori del limite fissato, relativo alla classe 3, di 50 mg/l.



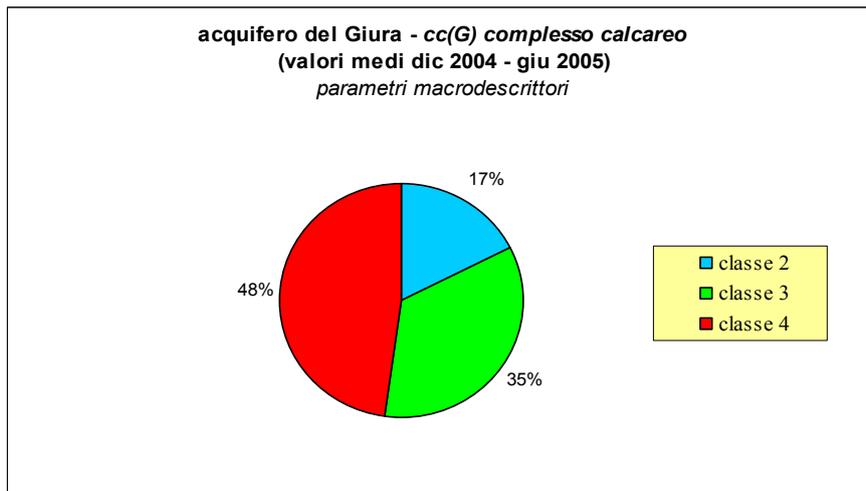
**Figura 13.33a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Giura (dicembre 2004)**

Per quanto riguarda il monitoraggio di giugno 2005 (figura 13.33b), appare evidente, nella distribuzione percentuale, il decremento della classe 2 e quindi la diminuzione del numero di campioni con buone caratteristiche idrochimiche. In questo campionamento si può dire che, oltre alle concentrazioni dei nitrati, incidono negativamente anche quelle del ferro e del manganese.

In figura 13.33c è riportato il diagramma che rappresenta la distribuzione delle classi di qualità considerando i valori medi dei parametri macrodescrittori.



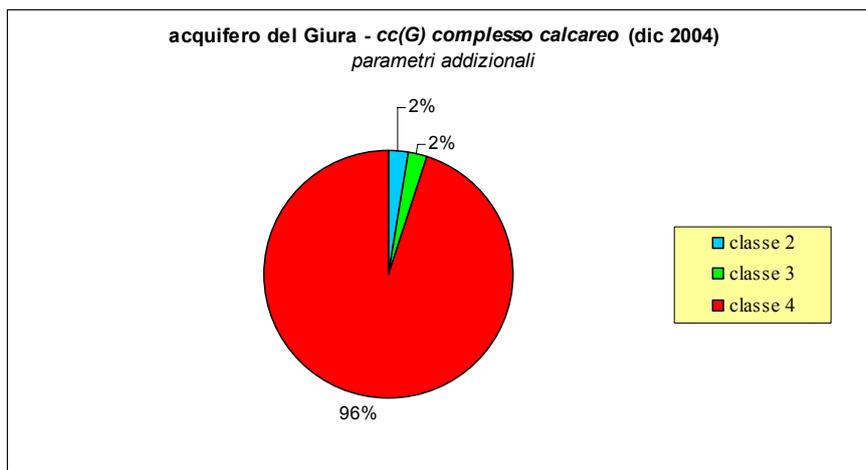
**Figura 13.33b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Giura (giugno 2005)**



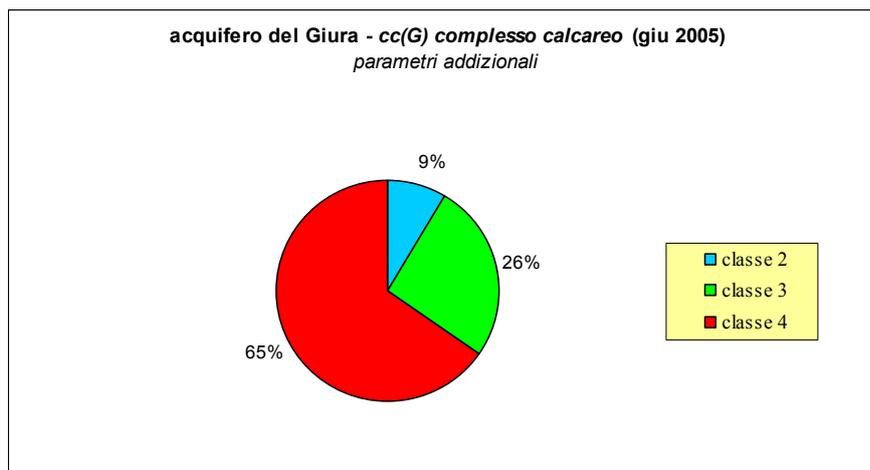
**Figura 13.33c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Giura (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

L'utilizzo dei parametri addizionali ha comportato notevoli variazioni nella classificazione relativa al campionamento eseguito nel dicembre 2004 (figura 13.34a). Quasi tutti i campioni ricadono in classe 4 a causa delle concentrazioni di nitriti, abbondantemente sopra la soglia dei 500 µg/l (fissata dal decreto), e della presenza di piombo e cadmio, con valori superiori ai limiti previsti, rispettivamente pari a 10 µg/l e a 5 µg/l.

Nel campionamento di giugno 2005, invece, i parametri addizionali non incidono sostanzialmente sulla distribuzione percentuale delle classi di qualità se si confronta con la classificazione che utilizza i soli macrodescrittori (figura 13.34b). Questo è dovuto sicuramente al fatto che in questa fase del monitoraggio i nitriti sono risultati assenti, mentre i metalli pesanti non superano quasi mai la concentrazione limite.

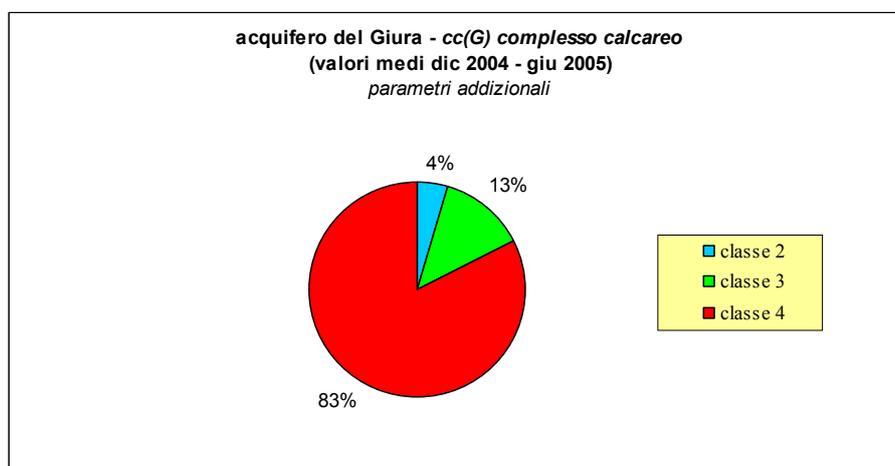


**Figura 13.34a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Giura (dicembre 2004)**



**Figura 13.34b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Giura (giugno 2005)**

La classificazione che deriva dai valori medi dei macrodescrittori e dei parametri addizionali (nitriti, piombo e zinco) delinea una situazione, dal punto di vista qualitativo, comunque critica dato che l'83% dei punti d'acqua riferiti all'acquifero del Giura ricade in classe 4 (figura 13.34c).



**Figura 13.34c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Giura (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

### 13.7.1.3 Acquifero del Cretaceo – ccm(C) complesso calcareo marnoso

Dai diagrammi riportati nelle figure 13.35 (a,b,c) appare chiaramente che l'acquifero ospitato nei calcari marnosi del Cretaceo è caratterizzato da una condizione qualitativa non ottimale.

Infatti, sia nel caso del monitoraggio di dicembre 2004 che in quello di giugno 2005 e, quindi, anche i valori medi, la classificazione effettuata con i macrodescrittori attribuisce per oltre il 90% dei campioni la classe 4 (se si considerano i valori medi si arriva al 100%).

Tale situazione è dovuta al fatto che quasi tutti i campioni hanno concentrazioni di cloruri, in entrambi i campionamenti, comprese tra 250 e 1200 mg/l; mentre in molti casi la concentrazione di nitrati supera il limite di 50 mg/l, con punte massime oltre i 200 mg/l.

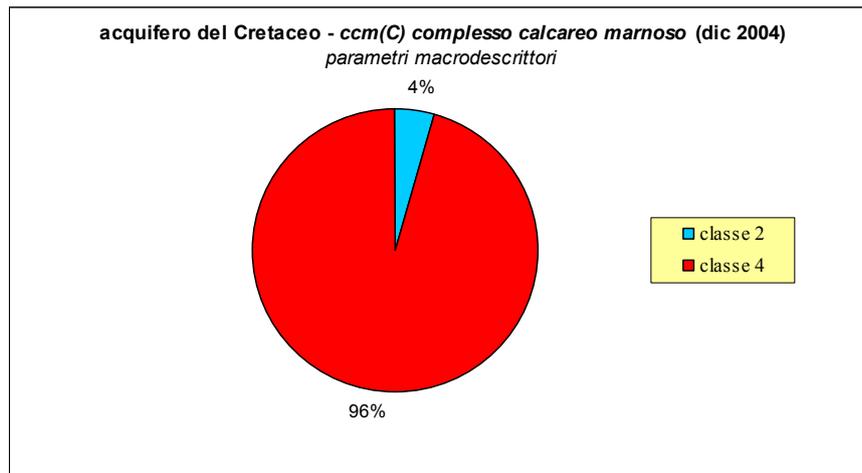


Figura 13.35a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Cretaceo (dicembre 2004)

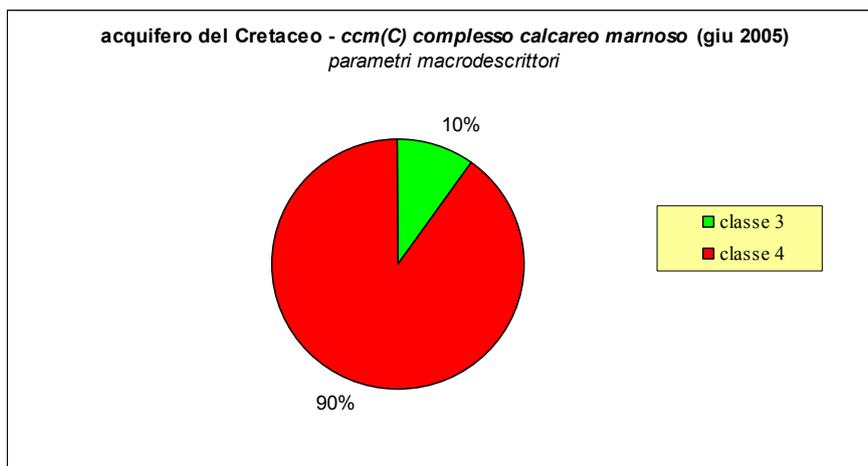
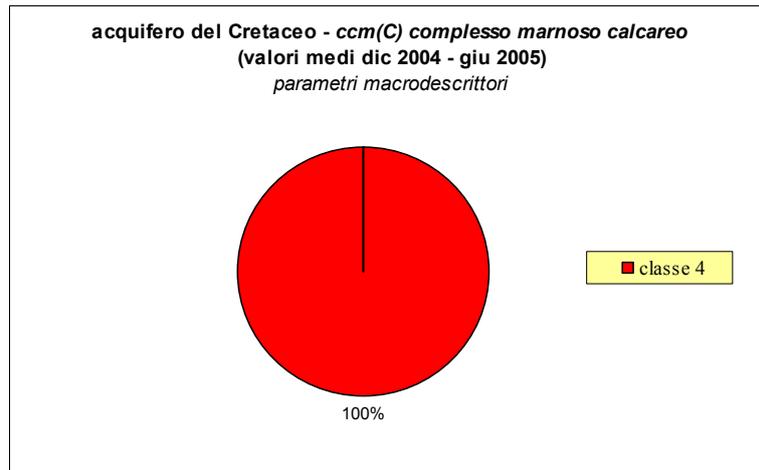


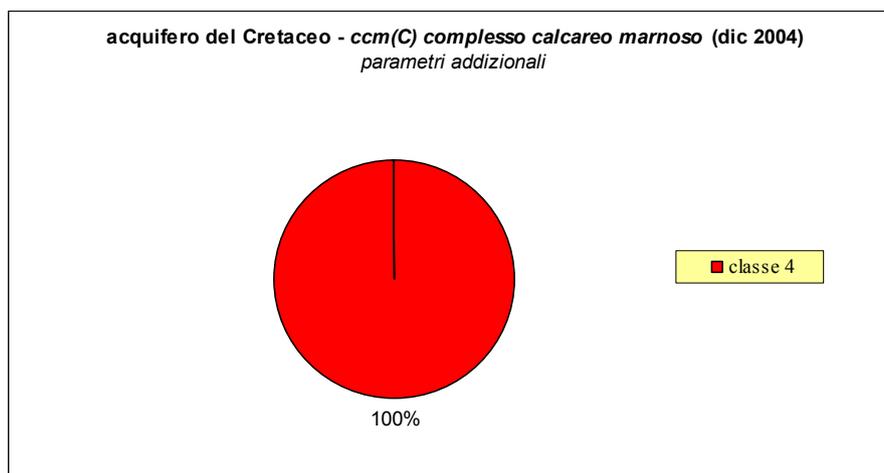
Figura 13.35b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Cretaceo (giugno 2005)



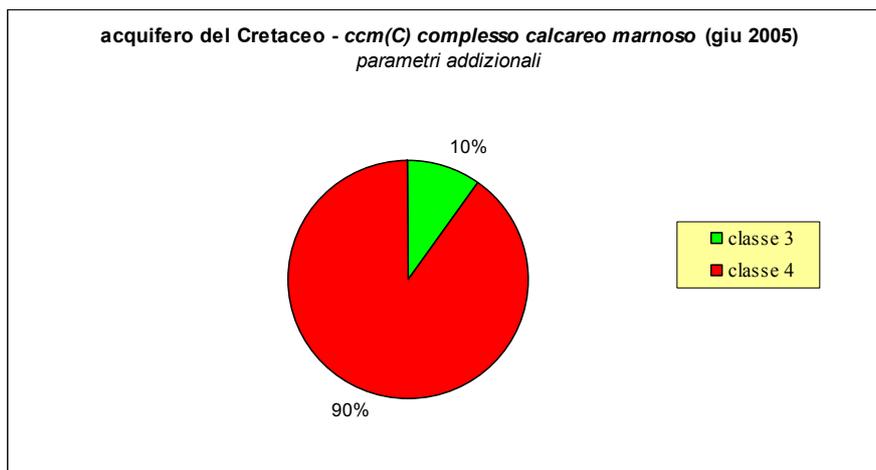
**Figura 13.35c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Cretaceo (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

La classificazione ottenuta utilizzando anche i parametri addizionali (figure 13.36 a,b,c) comporta un ulteriore peggioramento della situazione analizzata precedentemente: sia nel caso del monitoraggio di dicembre 2004, che per i valori medi, l'unica classe rappresentata è quella qualitativamente più scadente.

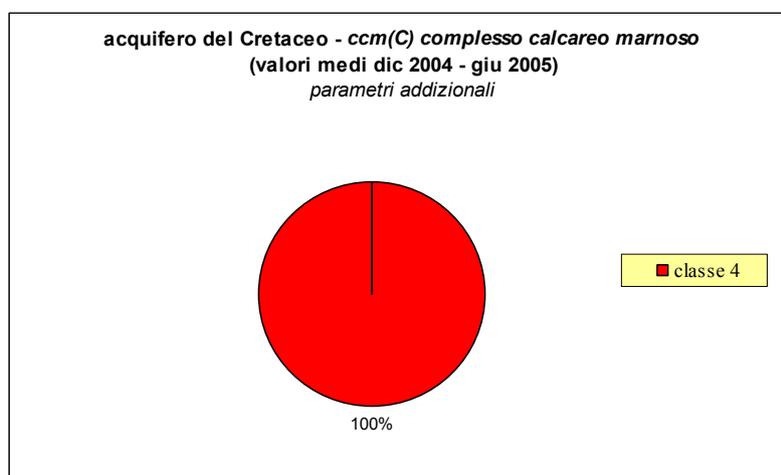
Per il campionamento di giugno 2005, invece, i parametri addizionali non influenzano la classificazione che rimane immutata rispetto a quella ottenuta per lo stesso periodo considerando solo i macrodescrittori.



**Figura 13.36a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Cretaceo ( dicembre 2004)**



**Figura 13.36b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Cretaceo (giugno 2005)**

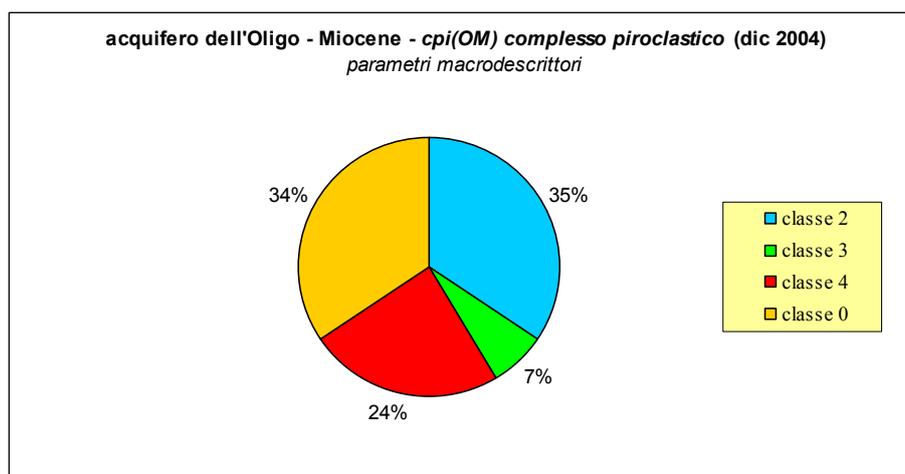


**Figura 13.36c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Cretaceo (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

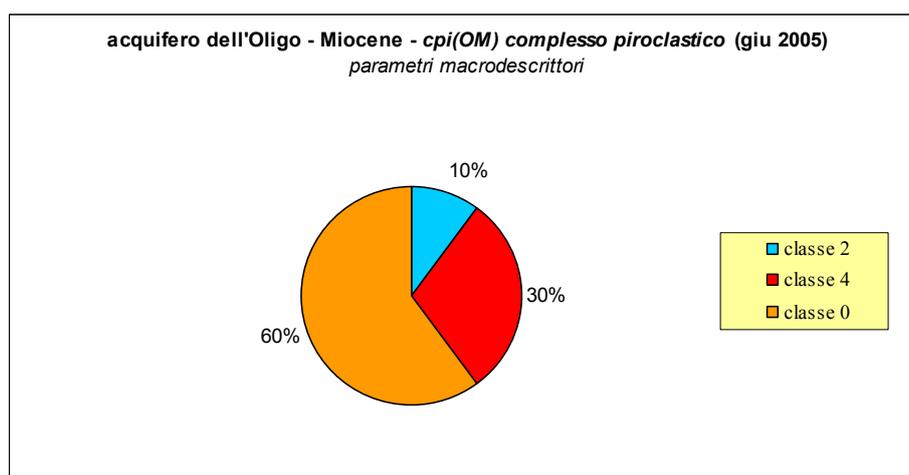
#### 13.7.1.4 Acquifero dell'Oligo–Miocene – *cpi(OM) complesso piroclastico*

L'acquifero ospitato nel complesso piroclastico è caratterizzato, in alcune aree, da elevati valori della conducibilità elettrica, che raggiunge anche i 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; inoltre sono state misurate alte concentrazioni di cloruri, che superano la soglia dei 250 mg/l, fino ad oltre 1000 mg/l. Per tali campioni è stata attribuita, nella classificazione dello stato chimico, la classe 0. Questo perché, così come ampiamente discusso nei capitoli precedenti, si sono riconosciute delle peculiarità idrogeologiche (circuiti idrotermali chiusi) che sembrano escludere, in alcune zone di questo acquifero, fenomeni di inquinamento attuale. Le caratteristiche chimiche sono dunque da attribuire a mineralizzazioni dovute a processi di interazione acqua-roccia.

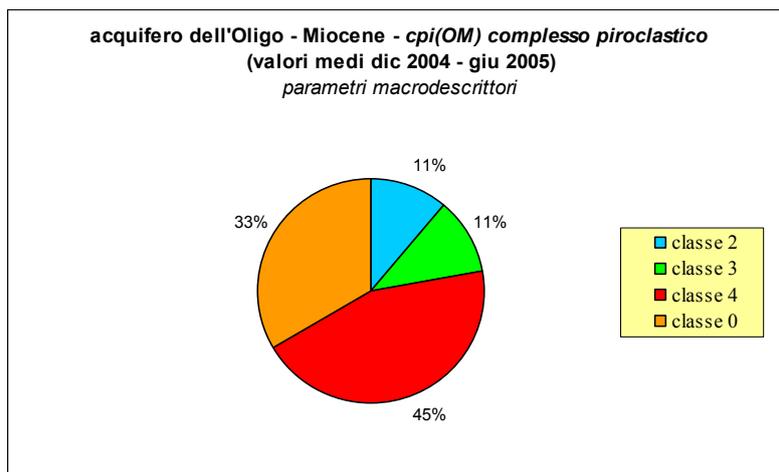
Nelle figure 13.37 (a,b,c) sono riportate le distribuzioni delle classi di qualità, ottenute considerando soltanto i parametri macrodescrittori, per i due campionamenti e i loro valori medi. Come si può notare una buona percentuale è rappresentata dalla classe 0, che nel caso del monitoraggio di giugno prevale nettamente sulle altre; la classe 4, anch'essa presente con buona percentuale, è stata attribuita a quei campioni che, oltre ad avere discrete concentrazioni di cloruri, sono caratterizzati da valori oltre il limite per quanto riguarda nitrati, ione ammonio, ferro o manganese. Dai diagrammi si nota che la classe 2, indicativa di discrete caratteristiche idrochimiche, è presente con una buona percentuale.



**Figura 13.37a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero dell'Oligo-Miocene (dicembre 2004)**

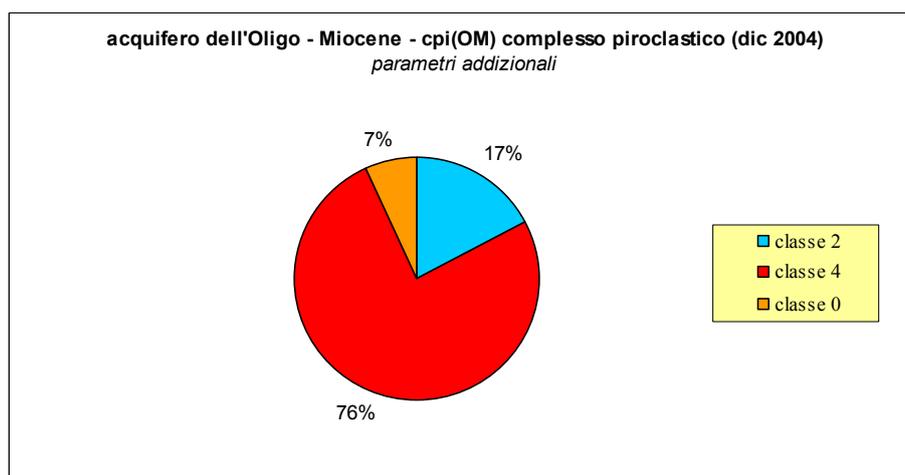


**Figura 13.37b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero dell'Oligo - Miocene (giugno 2005)**

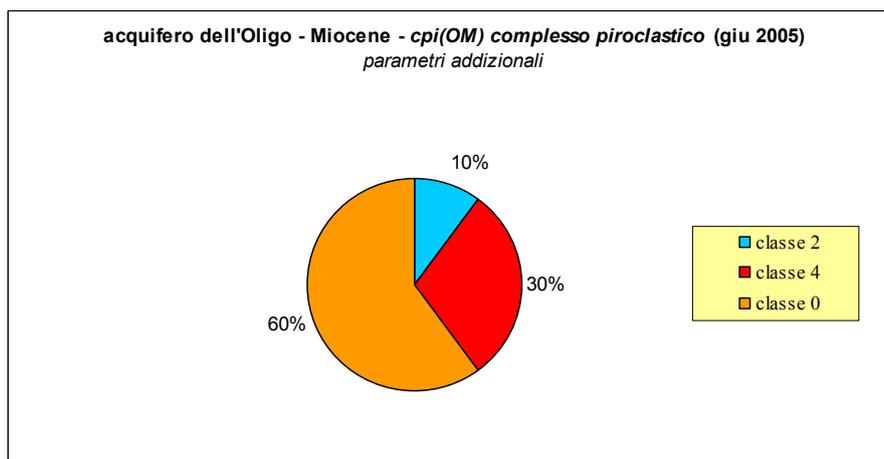


**Figura 13.37c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero dell'Oligo – Miocene (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

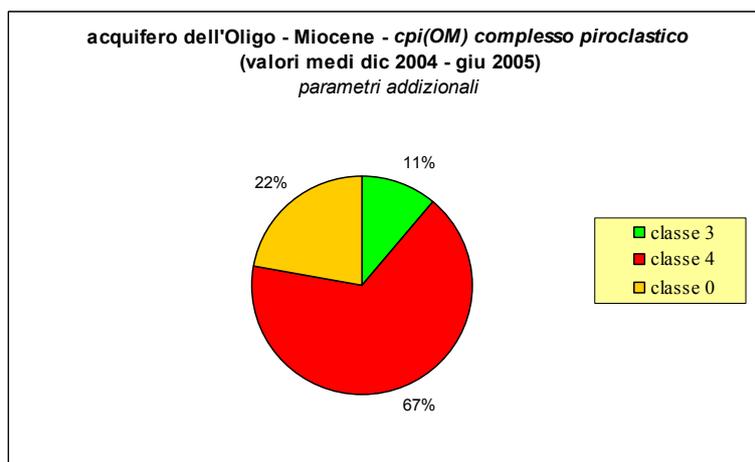
La classificazione, considerando anche i parametri addizionali, comporta delle variazioni importanti nella distribuzione delle classi (figure 13.38 a,b,c) soprattutto per quanto riguarda il campionamento di dicembre 2004 e per la media dei valori tra le due fasi di monitoraggio. Nel primo caso si ha un incremento della percentuale della classe 4 dal 24% al 76%, e nel secondo dal 45% al 67%: questo è dovuto essenzialmente al superamento del valore soglia della concentrazione di nitriti e piombo. Invece, per la classificazione relativa al monitoraggio di giugno 2005, l'utilizzo dei parametri addizionali non ha comportato nessuna variazione percentuale: in questo caso, per l'assenza di nitriti nei campioni analizzati.



**Figura 13.38a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero dell'Oligo - Miocene (dicembre 2004)**



**Figura 13.38b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero dell'Oligo - Miocene (giugno 2005)**

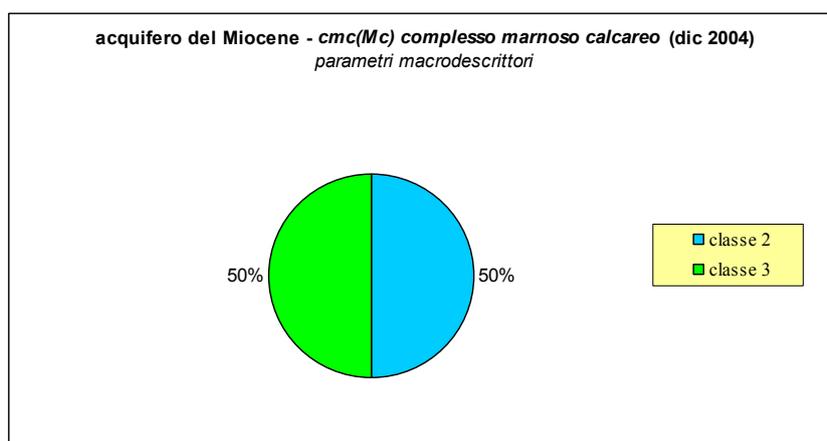


**Figura 13.38c - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero dell'Oligo - Miocene (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

#### 13.7.1.5 Acquifero del Miocene – *cmc(Mc)* complesso marnoso calcareo

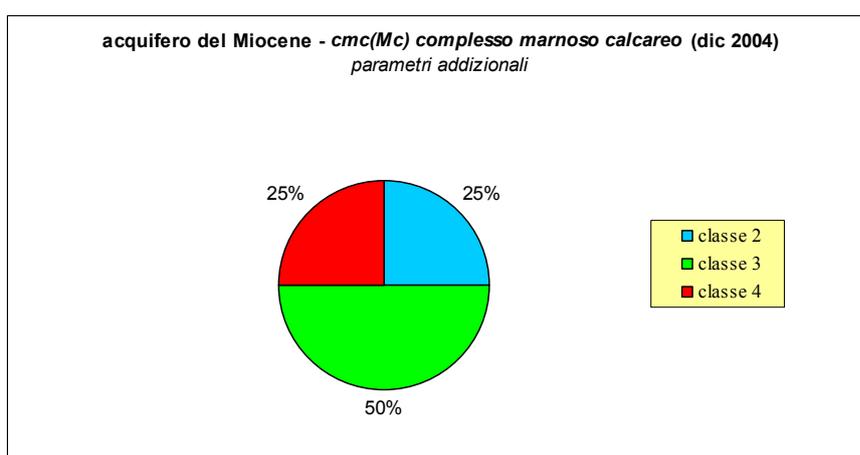
L'acquifero ospitato nei carbonati miocenici (calcarei marnosi, marne e calcareniti) ha un'importanza marginale nell'ambito del nostro studio, in quanto interessa una porzione molto limitata dell'area. Per questo motivo, nella rete di monitoraggio preliminare sono state inserite 4 sorgenti e soltanto una nella rete definitiva.

Nella figura 13.39a è riportata la distribuzione delle classi ottenuta considerando i macrodescrittori per il campionamento di dicembre 2004.



**Figura 13.39a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Miocene (dicembre 2004)**

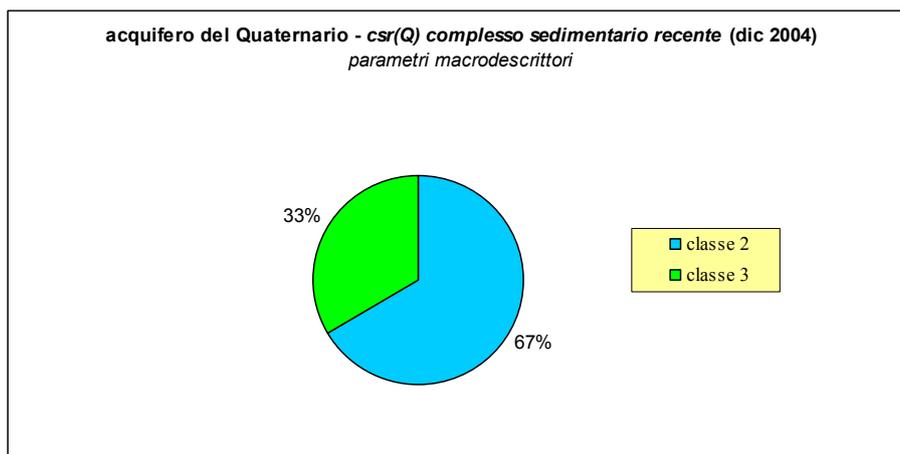
Come si può vedere sono rappresentate solo le classi 2 e 3 che denotano quindi delle buone caratteristiche idrochimiche di queste acque. Questo dipende esclusivamente dalle concentrazioni dei nitrati che per il 50% dei campioni è risultata leggermente elevata. Per quanto riguarda il campionamento di giugno 2005, l'unica sorgente monitorata ricade in classe 4, a causa della concentrazione di nitrati superiore a 50 mg/l. Nella figura 13.39b è rappresentata la classificazione effettuata considerando anche i parametri addizionali. Dal diagramma si nota che compare la classe 4: questo perché per uno dei campioni è stata rilevata una concentrazione di nitriti superiore al valore limite fissato in 500 µg/l. Per quanto riguarda il campionamento di giugno 2005, l'unica sorgente monitorata rimane in classe 4.



**Figura 13.39b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Miocene (dicembre 2004)**

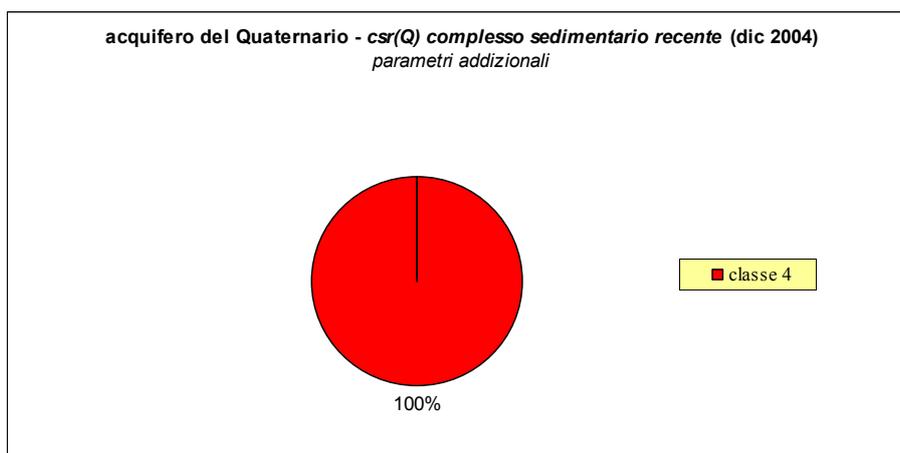
### 13.7.1.6 Acquifero del Quaternario – csr(Q) complesso sedimentario recente

Così come già descritto, anche l'acquifero del Quaternario non riveste un particolare interesse dal punto di vista produttivo. Sono stati comunque prelevati ed analizzati 3 campioni, durante il monitoraggio effettuato a dicembre 2004 e un solo campione durante quello relativo a giugno 2005. La classificazione, utilizzando i macrodescrittori, ha messo in evidenza l'esistenza delle sole classi 2 e 3, con una prevalenza della prima (figura 13.40a).



**Figura 13.40a - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri macrodescrittori per l'acquifero del Quaternario (dicembre 2004)**

L'unica sorgente monitorata nel mese di giugno 2005 ricade in classe 3. Come si può vedere dalla figura 13.40b, l'utilizzo dei parametri addizionali ha comportato una significativa variazione in merito alla qualità dei campioni considerati: infatti si passa dalle classi 2 e 3, descritte precedentemente, alla classe 4 per tutte le sorgenti monitorate. Questo è giustificato dalla presenza di nitriti e, in un solo caso, di piombo oltre i limiti fissati dal DLgs 152/99. La sorgente monitorata in giugno 2005 rimane in classe 3 anche se la classificazione viene eseguita considerando i parametri addizionali.



**Figura 13.40b - Distribuzione delle classi di qualità determinate dai parametri addizionali per l'acquifero del Quaternario (dicembre 2004)**

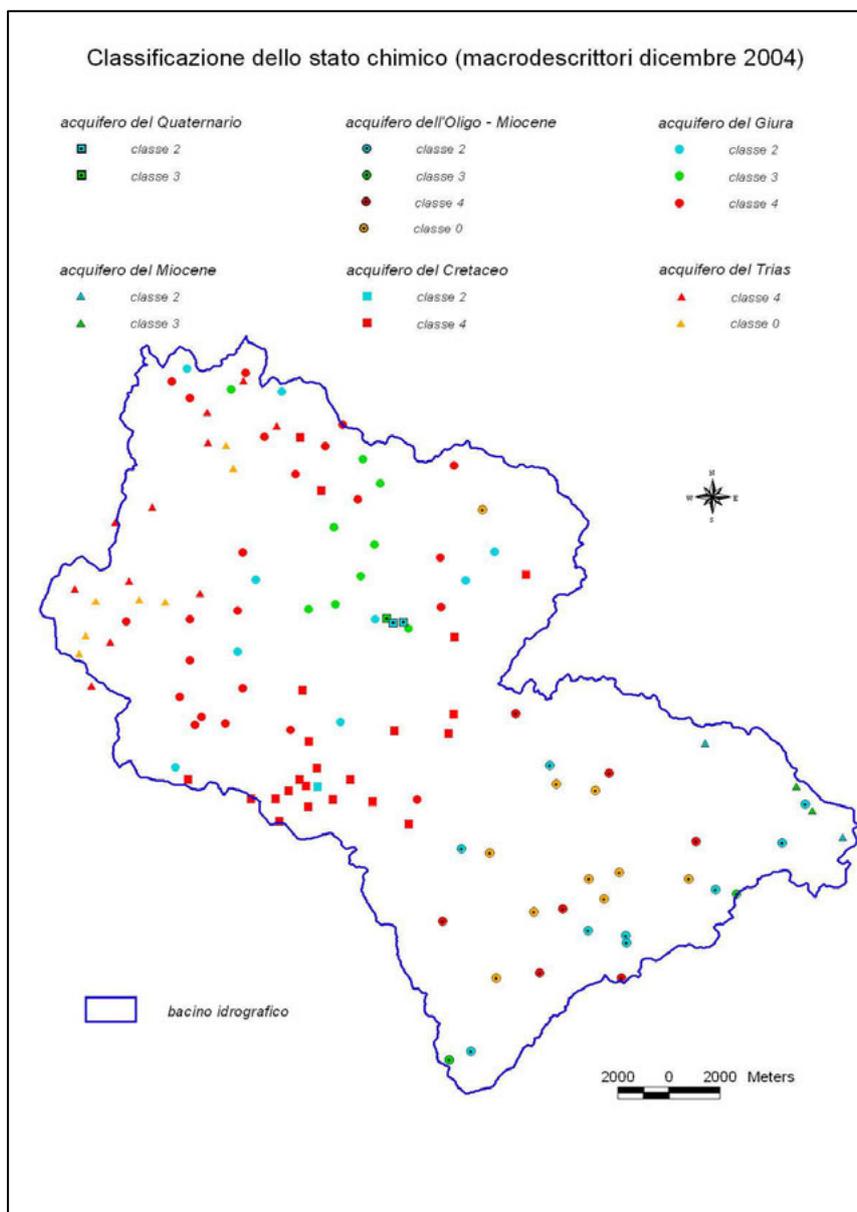
### *13.7.2 Distribuzione areale delle classi di qualità dello stato chimico*

Bisogna precisare che lo scopo ultimo delle classificazioni, in funzione della 152/99, è quello di caratterizzare l'acquifero e non i singoli punti di campionamento. Ma per poter giungere ad una corretta classificazione bisognerebbe avere un set di dati storici che al momento non sono disponibili. Comunque è sicuramente importante ed interessante visualizzare i risultati della classificazione considerando i punti di prelievo, che aiuta ad avere un quadro sinottico della qualità delle acque sotterranee.

La figura 13.41 mostra la distribuzione areale delle classi di qualità dello stato chimico, relative ai diversi punti d'acqua suddivisi per acquifero di appartenenza considerando i parametri macrodescrittori (dicembre 2004).

Si può osservare che nella parte nord e nord-occidentale del bacino è presente la classe 0, in corrispondenza dell'acquifero del Trias. Sempre nella stessa zona, ma anche verso la parte centrale della piana e in prossimità della costa, è molto diffusa la classe 4 che interessa punti d'acqua appartenenti all'acquifero del Trias, del Giura e del Cretaceo. Verso Nord-Est ci sono diversi punti che appartengono alla classe 2 e 3, cioè quelle con caratteristiche idrochimiche migliori.

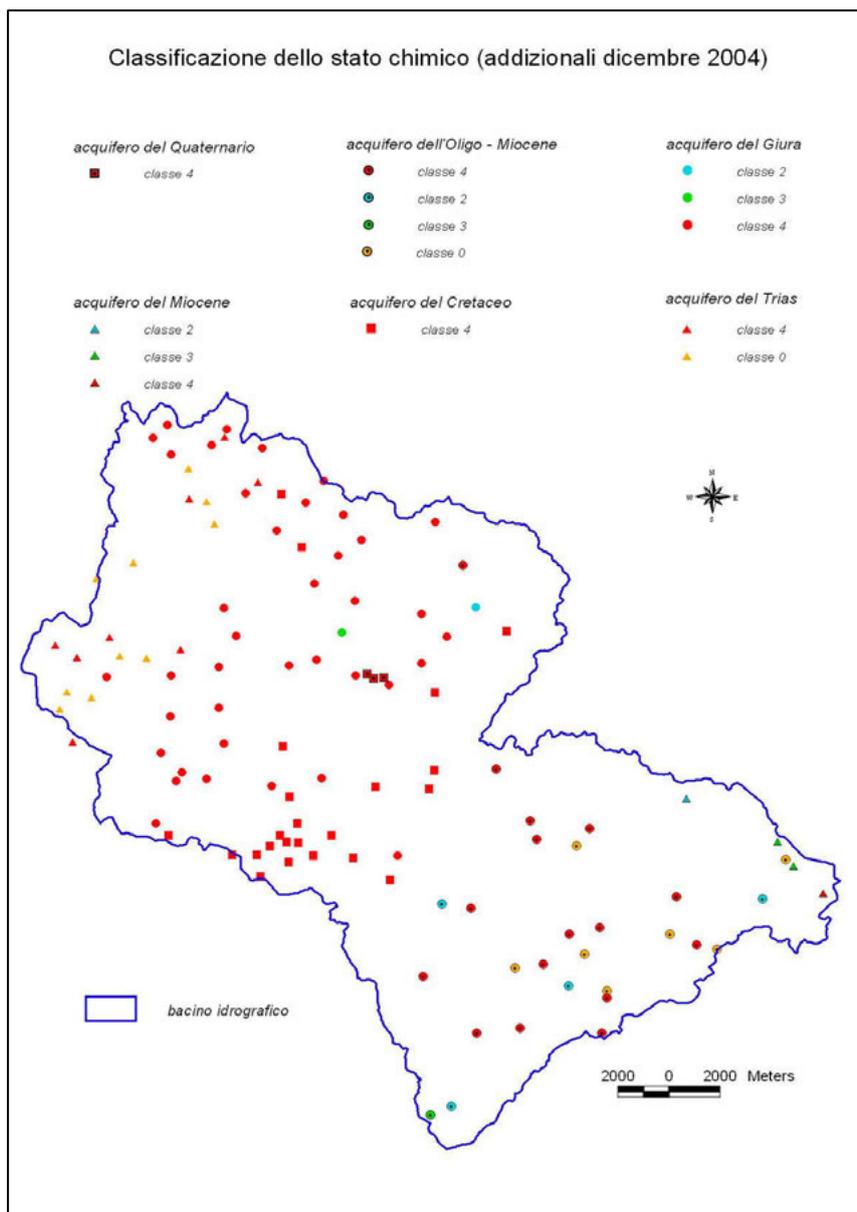
Nella parte del bacino più a Sud, in corrispondenza dell'affioramento del complesso piroclastico, si possono osservare molti punti che ricadono in classe 0, in quanto anche l'acquifero oligomiocenico presenta, in alcune zone, elevati valori di conducibilità elettrica e di concentrazioni in cloruri, riconducibili a condizioni prettamente naturali. In prossimità del limite sud, si concentrano punti d'acqua, (acquifero dell'Oligo-Miocene) che ricadono nelle classi 2 e 3.



**Figura 13.41 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri macrodescrittori nel bacino idrografico del Calich (dicembre 2004)**

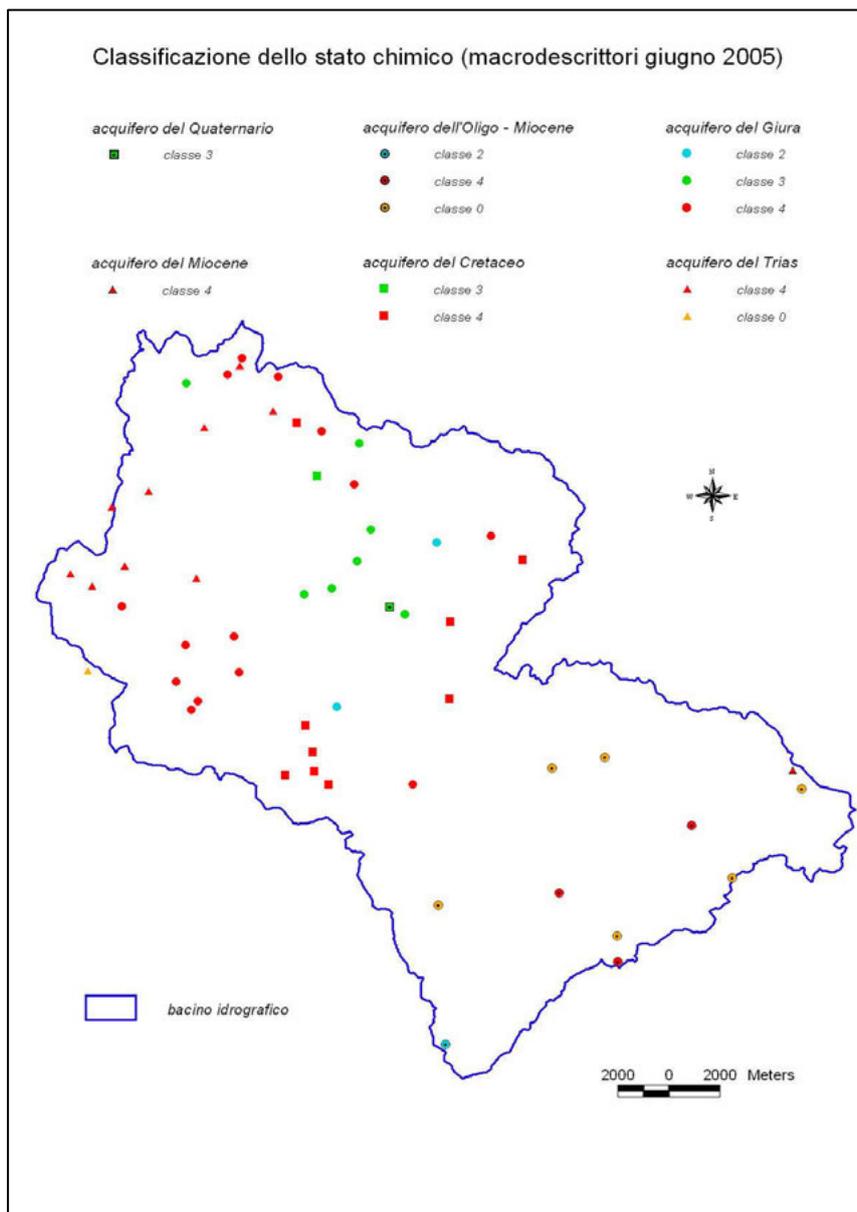
In figura 13.42 è rappresentata la distribuzione delle classi, sempre riferite al monitoraggio di dicembre 2004, ottenute considerando l'insieme dei parametri macrodescrittori e addizionali.

Confrontando tale distribuzione con quella descritta precedentemente (classificazione con i macrodescrittori) si può constatare un peggioramento qualitativo per i punti d'acqua attribuiti all'acquifero del Giura e del Cretaceo, che passano dalle classi 2 e 3 alla classe 4. Questa situazione si ripete anche per alcuni punti dell'acquifero oligo-miocenico, prossimi al limite Sud del bacino.



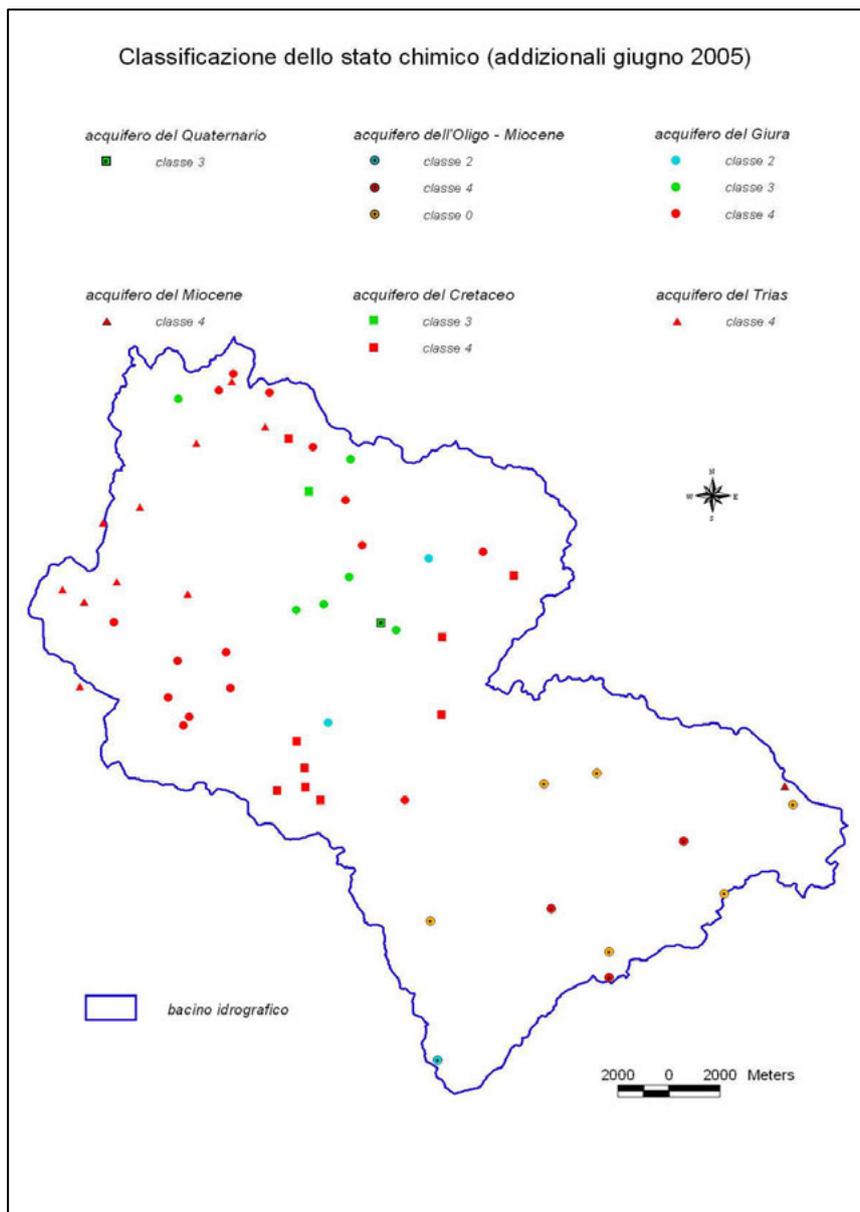
**Figura 13.42 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri addizionali nel bacino idrografico del Calich (dicembre 2004)**

Nel campionamento di giugno 2005, la distribuzione delle classi riferite ai soli macrodescrittori (figura 13.43) mantiene, più o meno, le stesse caratteristiche osservate in precedenza per il monitoraggio di dicembre.



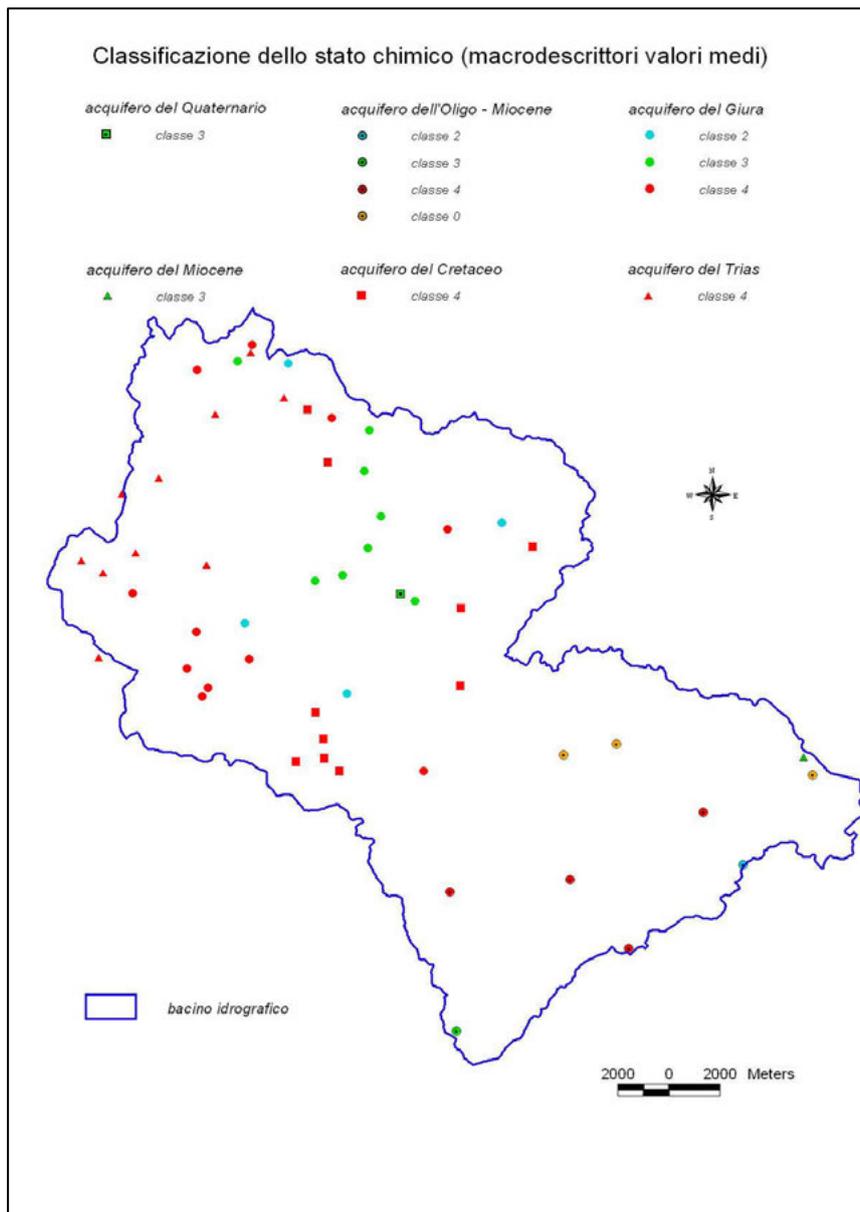
**Figura 13.43 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri macrodescrittori nel bacino idrografico del Calich (giugno 2005)**

La distribuzione spaziale delle classi, ottenute considerando anche i parametri aggiuntivi relativamente al monitoraggio di giugno 2005 (figura 13.44), risulta sostanzialmente identica a quella relativa ai macrodescrittori. Questo è dovuto soprattutto al fatto che i nitriti, che nel monitoraggio di dicembre 2004 hanno condizionato il declassamento di molti punti d'acqua, sono risultati assenti.



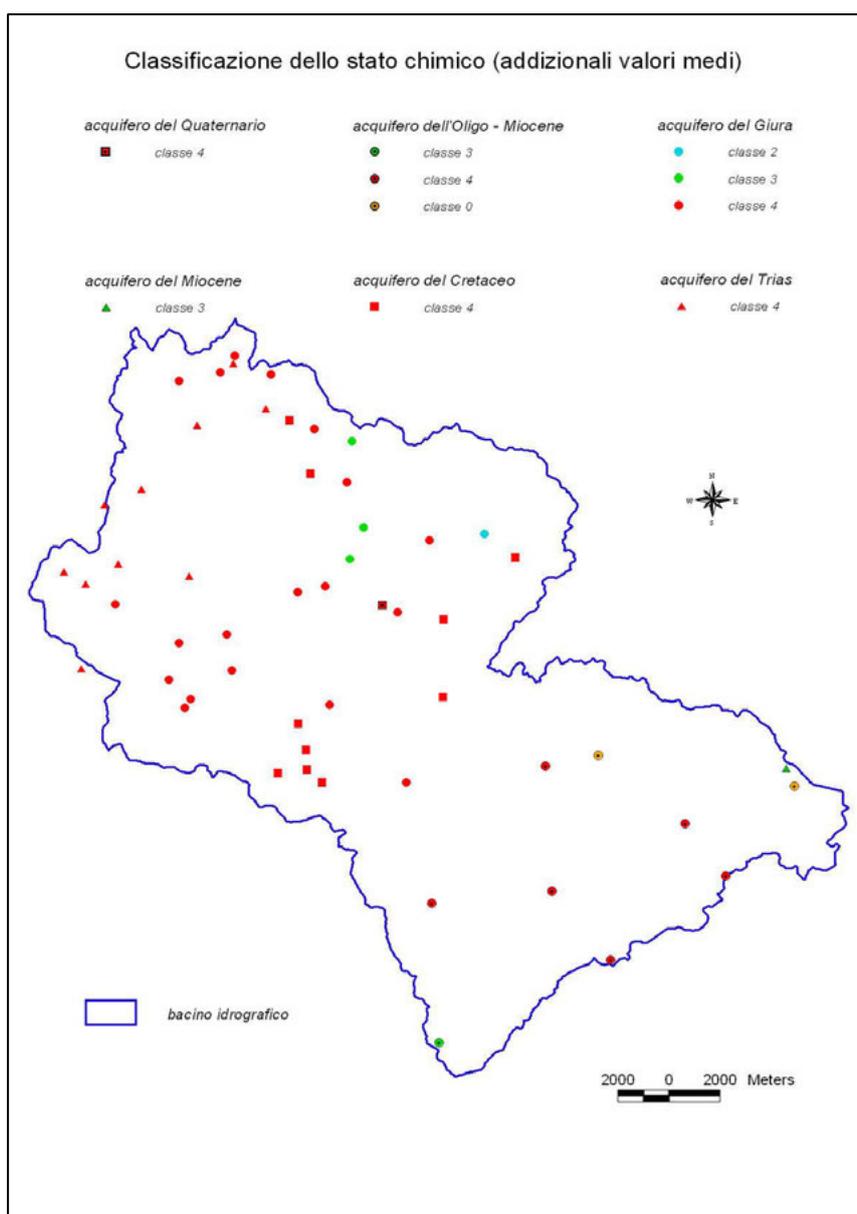
**Figura 13.44 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri addizionali nel bacino idrografico del Calich (giugno 2005)**

Nelle figure 13.45 e 13.46 sono riportate le classificazioni che derivano dai valori medi, rispettivamente per i macrodescrittori ed addizionali.



**Figura 13.45 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri macrodescrittori nel bacino idrografico del Calich (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

Le differenze consistono nel passaggio di alcuni punti d'acqua, ubicati al centro della piana e attribuiti agli acquiferi del Giura e del Cretaceo, dalle classi 2 e 3 alla classe 4.



**Figura 13.46 - Distribuzione delle classi di qualità dello stato chimico determinate dai parametri addizionali nel bacino idrografico del Calich (valori medi dicembre 2004 – giugno 2005)**

A questo punto, pur non avendo un set di dati storici, al fine di determinare lo stato chimico di ciascun acquifero, si è effettuata una classificazione considerando i valori medi delle classificazioni precedenti.

Nelle tabelle 13.40 e 13.41 sono riportate le classificazioni dello stato chimico di ogni acquifero ottenute considerando prima i soli parametri macrodescrittori e successivamente anche quelli addizionali.

**Tabella 13.40 - Stato chimico dei corpi idrici sotterranei riferito ai soli parametri macrodescrittori**

Unità idrogeologiche	Stato chimico
csc(T) complesso sedimentario composito	Classe 4
cc(G) complesso calcareo	Classe 3
ccm(C) complesso calcareo marnoso	Classe 4
cp(OM) complesso piroclastico	Classe 0
cmc(Mc) complesso marnoso calcareo	Classe 3
csr(Q) complesso sedimentario recente	Classe 3

**Tabella 13.41 - Stato chimico dei corpi idrici sotterranei riferito ai parametri macrodescrittori e addizionali**

Unità idrogeologiche	Stato chimico
csc(T) complesso sedimentario composito	Classe 4
cc(G) complesso calcareo	Classe 4
ccm(C) complesso calcareo marnoso	Classe 4
cp(OM) complesso piroclastico	Classe 4
cmc(Mc) complesso marnoso calcareo	Classe 3
csr(Q) complesso sedimentario recente	Classe 4

I risultati finali, pur non esaustivi, denotano sostanzialmente un quadro piuttosto critico con preoccupanti segnali di compromissione, che comunque dovrebbe essere ulteriormente verificato.

Particolare attenzione dovrebbe essere rivolta all'acquifero del Giura, in quanto, essendo il più produttivo con pozzi, anche idropotabili, che forniscono portate medie comprese fra i 40 ed i 120 l/s, risulta essere quello con maggior grado di vulnerabilità all'inquinamento.

### *13.7.3 Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei*

Per quanto riguarda lo stato quantitativo, sulla base dei dati acquisiti durante l'attività di ricerca, si è ritenuto opportuno classificare tutti i corpi idrici sotterranei nella classe B. Questa scelta è stata dettata dal fatto che, durante il monitoraggio, non si sono riscontrati particolari segnali indicativi di un possibile sovrasfruttamento degli acquiferi.

### 13.7.4 Classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei

Nelle tabella 13.42 e 13.43 sono riportate le classificazioni relative allo stato ambientale (quali-quantitativo) degli acquiferi che derivano considerando prima solo i parametri macrodescrittori e successivamente anche i parametri addizionali.

**Tabella 13.42 - Stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei riferito ai soli parametri macrodescrittori**

Unità idrogeologiche	Stato chimico	Stato quantitativo	Stato di qualità ambientale
csc(T) complesso sedimentario composito	Classe 4	Classe B	SCADENTE
cc(G) complesso calcareo	Classe 3	Classe B	SUFFICIENTE
ccm(C) complesso calcareo marnoso	Classe 4	Classe B	SCADENTE
cpi(OM) complesso piroclastico	Classe 0	Classe B	PARTICOLARE
cmc(Mc) complesso marnoso calcareo	Classe 3	Classe B	SUFFICIENTE
csr(Q) complesso sedimentario recente	Classe 3	Classe B	SUFFICIENTE

**Tabella 13.43 - Stato di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei riferito ai parametri macrodescrittori e addizionali**

Unità idrogeologiche	Stato chimico	Stato quantitativo	Stato di qualità ambientale
csc(T) complesso sedimentario composito	Classe 4	Classe B	SCADENTE
cc(G) complesso calcareo	Classe 4	Classe B	SCADENTE
ccm(C) complesso calcareo marnoso	Classe 4	Classe B	SCADENTE
cpi(OM) complesso piroclastico	Classe 4	Classe B	SCADENTE
cmc(Mc) complesso marnoso calcareo	Classe 3	Classe B	SUFFICIENTE
csr(Q) complesso sedimentario recente	Classe 4	Classe B	SCADENTE

In conclusione, lo stato quali-quantitativo che emerge è poco confortante, anche se, al momento, non sembra interessare, con la stessa intensità e allo stesso modo, la totalità delle acque sotterranee. Come già evidenziato, questi risultati derivano da un periodo di osservazione limitato nel tempo, ma che comunque sono serviti per una prima caratterizzazione delle RIS presenti nell'area. Nell'Allegato 5 è riportato il quadro sinottico relativo alle classificazioni quali-quantitative delle Risorse Idriche Sotterranee.

### 13.8 Individuazione di indicatori di qualità ambientale delle acque sotterranee

Il degrado qualitativo delle risorse idriche rappresenta un indicatore fondamentale dei processi di desertificazione e allo stesso tempo costituisce una causa o concausa di desertificazione [Barbieri et al. 2004]. Dunque, sono stati individuati degli indicatori di qualità ambientale, che fossero facilmente utilizzabili alla scala di bacino e che mettessero in risalto, in funzione delle peculiarità del territorio in esame, la presenza di fenomeni di degrado delle risorse idriche sotterranee.

La sovrapposizione dei risultati delle analisi chimiche sulle acque sotterranee e dei cdp ha mostrato una stretta correlazione tra la diffusa presenza di composti azotati (nitrati, nitriti ed ammoniaca) e le attività antropiche presenti nell'area.

Dunque, allo scopo di evidenziare la presenza quantitativa e la diffusione negli acquiferi dei composti azotati, si propone, in questa ricerca, un sistema di classificazione delle acque sotterranee che utilizza un indicatore denominato DSA (Degrado da Sostanze Azotate).

La classificazione, basandosi sulla concentrazione dei parametri  $\text{NO}_3^-$  (mg/l),  $\text{NO}_2^-$  (mg/l),  $\text{NH}_4^+$  (mg/l) e utilizzando il VG (Valore Guida) e la CMA indicati dalla normativa (DPR 236/88 e D. Lgs.n31/01), delimita campi di valori che individuano 3 classi di qualità delle acque sotterranee (tabella 13.44):

- classe a (buona) al di sotto del VG;
- classe b (media) compresa tra il VG e la CMA;
- classe c (scadente) al di sopra della CMA.

**Tabella 13.44 - Schema di classificazione delle acque sotterranee sulla base del Degrado da Sostanze Azotate (DSA)**

	<b>Classe a DSA</b>	<b>Classe b DSA</b>	<b>Classe c DSA</b>
<b>Nitrati</b>	<5	5-50	>50
<b>Nitriti</b>	0	>0-0,5	>0,5
<b>Ammoniaca</b>	<0,05	0,05-0,5	>0,5

L'attribuzione ad una classe viene effettuata considerando il valore di concentrazione peggiore riscontrato nelle acque.

Inoltre, per rappresentare l'entità di superamento della CMA, è stato proposto, per ciascun parametro, un Indice di Degrado (ID), dato dal rapporto tra la concentrazione misurata e la CMA. Il pregio di questo indice è quello di mostrare, in maniera chiara, anche per i non addetti, il grado di inquinamento delle acque in relazione ad un dato parametro: se inferiore ad 1, l'ID indica l'assenza di inquinamento, se superiore ad 1 indica invece la presenza di un degrado, tanto più elevato quanto maggiore è il valore dell'indice.

Il campo di variabilità di questo rapporto è stato quindi suddiviso in diverse classi di qualità, a seconda che l'indice sia compreso entro i limiti (inquinamento nullo, ridotto), oppure superi i limiti (inquinamento significativo, rilevante, molto rilevante) previsti dalla normativa vigente.

L'ID dei nitrati è dato dalla formula:

$$ID_{NO_3^-} = \frac{[NO_3^-] \text{ mg/l}}{CMA}$$

dove CMA= 50 mg/l;

i valori così ottenuti sono stati suddivisi nelle seguenti classi:

ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =0	nullo
ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ≤1	ridotto
ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =1,01-5	significativo
ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ≥5,01	rilevante

L'ID dei nitriti è dato dalla formula:

$$ID_{NO_2^-} = \frac{[NO_2^-] \text{ mg/l}}{CMA}$$

dove CMA= 0,5 mg/l;

i valori così ottenuti sono stati suddivisi nelle seguenti classi:

ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ≤1	ridotto
ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> = 1,01-5	significativo
ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> =5,01-50	rilevante
ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ≥50,01	molto rilevante;

L'ID dell'ammoniaca è dato dalla formula:

$$ID_{NH_4^+} = \frac{[NH_4^+] \text{ mg/l}}{CMA}$$

dove CMA= 0.5 mg/l;

i valori così ottenuti sono stati suddivisi nelle seguenti classi:

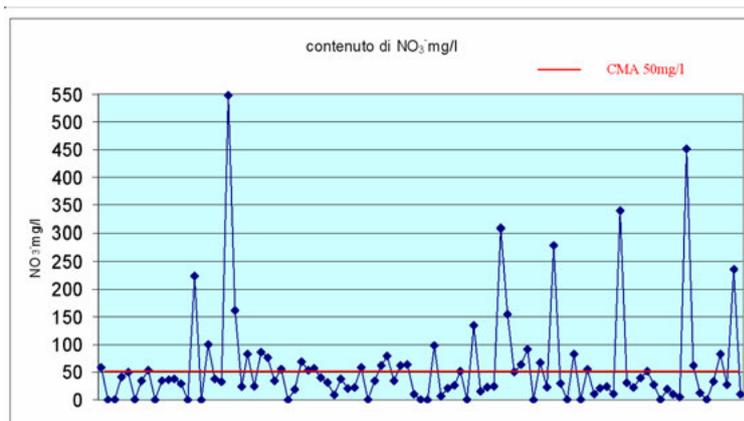
ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> =0	nullo
ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ≤1	ridotto
ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> =1.01-5	significativo
ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ≥5.01	rilevante

### 13.9 Valutazione della qualità delle acque sotterranee dell'area in studio sulla base del DSA e degli ID delle sostanze azotate

La valutazione della qualità delle acque sotterranee dell'area in studio è stata effettuata per due periodi diversi: il primo è relativo ai campionamenti eseguiti sulla rete di monitoraggio preliminare; il secondo è relativo ai prelievi effettuati sulla rete di monitoraggio definitiva. Di seguito vengono riportati e discussi i risultati.

#### 13.9.1 Rete di monitoraggio preliminare

Un'attenta osservazione dei risultati analitici delle acque sotterranee campionate durante il monitoraggio eseguito a dicembre 2004, ha evidenziato che nel 36% dei campioni la concentrazione dei nitrati supera la CMA (Concentrazione Massima Ammissibile, D.P.R. 236/88) pari a 50 mg/l (figura 13.47), e ciò fa presupporre la presenza di un inquinamento antropico di tipo organico (civile o zootecnico) o di tipo agricolo. Inoltre, in diversi campioni le concentrazioni dei nitrati hanno un valore molto elevato.



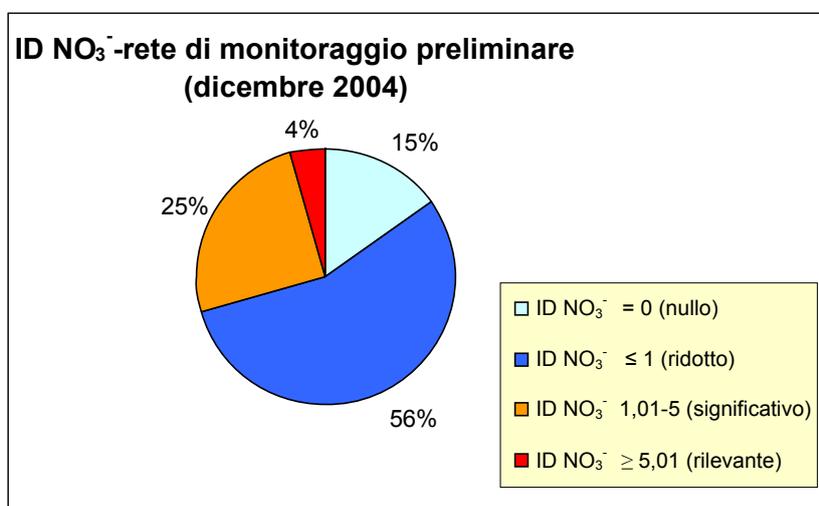
**Figura 13.47 - Concentrazione dei nitrati (mg/l) nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

I campioni d'acqua, prelevati dai pozzi della rete di monitoraggio, sono stati quindi classificati con l'utilizzo degli ID, per verificare il tipo e l'entità dell'inquinamento azotato; i risultati sono riassunti nella tabella 13.45, dove il numero dei campioni con valori fuori norma è indicato in rosso. Poiché la determinazione quantitativa dello ione ammonio non è stata fatta su tutti i 118 punti d'acqua, ma solo su 87 di essi, il numero dei campioni compresi nelle classi dell'ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> è inferiore rispetto a quello degli altri indicatori di inquinamento. Inoltre, dalla tabella 13.45 si rileva che 35 campioni risultano inquinati da nitrati, 40 da nitriti e 11 da ammoniaca.

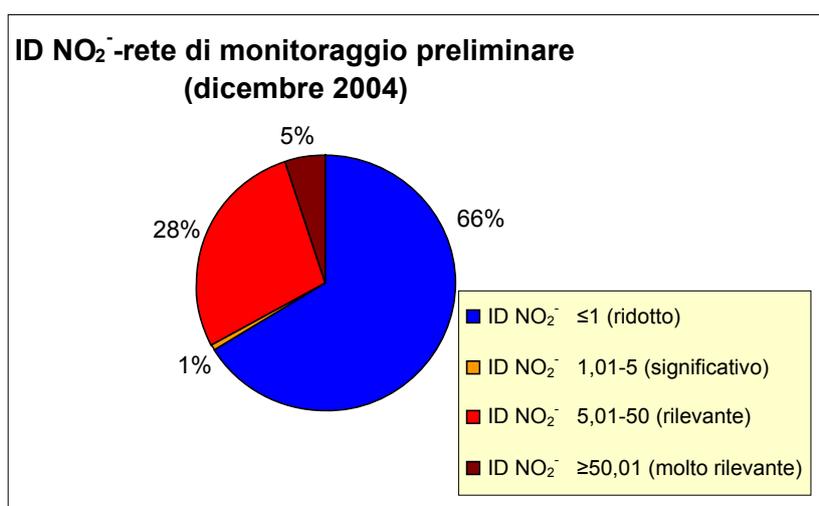
**Tabella 13.45 - Indicatori di Degrado (ID) nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

	ID nullo	ID ridotto	ID significativo	ID rilevante	ID molto rilevante
<b>Nitrati</b>	18	65	30	5	
<b>Nitriti</b>		78	1	33	6
<b>Ammoniaca</b>	2	74	7	4	

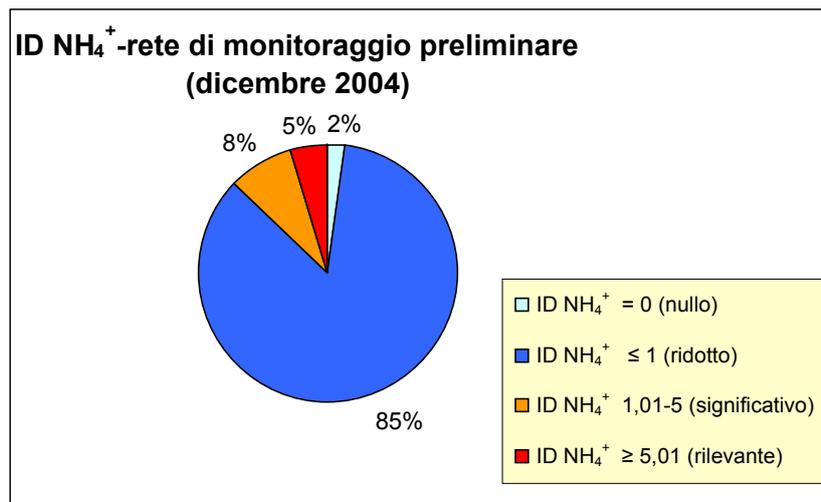
Le figure 13.48, 13.49 e 13.50 rappresentano la distribuzione percentuale dei campioni, dell'intera rete di monitoraggio preliminare, nelle diverse classi dell' ID  $\text{NO}_3^-$ , dell' ID  $\text{NO}_2^-$  e dell'ID  $\text{NH}_4^+$ . L'analisi dei grafici evidenzia un inquinamento da nitrati nel 29% dei campioni, quello da ione ammonio nel 13% e quello da nitriti nel 34%, con concentrazioni anche 133 volte superiori alla CMA.



**Figura 13.48 - ID  $\text{NO}_3^-$  nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**



**Figura 13.49 - ID  $\text{NO}_2^-$  nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**



**Figura 13.50 - ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

La classificazione degli ID è stata utilizzata anche per evidenziare la presenza di inquinanti azotati nelle acque di ogni singolo acquifero; i risultati, relativi a ciascun ID, sono riportati nelle tabelle 13.46, 13.47 e 13.48, dove il numero dei campioni con valori fuori norma è rappresentato in rosso. Tutti gli acquiferi sono interessati da un inquinamento da sostanze azotate più o meno spinto.

La sola analisi degli ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ID NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> non è però in grado di definire lo stato d'inquinamento da sostanze azotate delle acque sotterranee; infatti, bisogna sempre tener presente che alcuni campioni, pur non contenendo nitrati, possono avere una concentrazione elevata di nitriti ed ammoniaca, a causa delle particolari condizioni riducenti delle acque sotterranee. È quindi sempre necessario accoppiare gli ID al DSA, per avere un giudizio complessivo sull'inquinamento da sostanze azotate.

**Tabella 13.46 - ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup> negli acquiferi della rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

Acquifero	ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Nullo	ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ridotto	ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> significati vo	ID NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> rilevante
Acquifero del Trias csc(T)-complesso sedimentario composito	8	4	4	2
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	1	30	10	-
Acquifero del Cretaceo ccm(C)-complesso calcareo marnoso	4	5	11	3
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	5	19	5	-
Acquifero del Miocene cmc(Mc)-complesso marnoso calcareo	-	4	-	-
Acquifero del Quaternario csr(Q)-complesso sedimentario recente	-	3	-	-

**Tabella 13.47- ID NO<sub>2</sub><sup>-</sup> negli acquiferi della rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

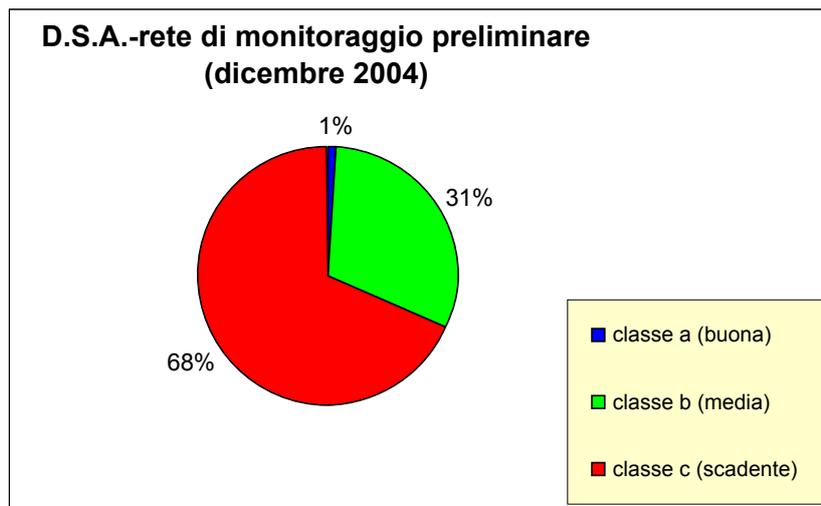
Acquifero	ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ridotto	ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> significativo	ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> rilevante	ID NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> molto rilevante
Acquifero del Trias csc(T)-complesso sedimentario composito	15			3
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	26	1	14	-
Acquifero del Cretaceo ccm(C)-complesso calcareo marnoso	17	-	4	2
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	16	-	12	1
Acquifero del Miocene cmc(Mc)-complesso marnoso calcareo	3	-	1	-
Acquifero del Quaternario csr(Q)-complesso sedimentario recente	1	-	2	-

**Tabella 13.48 - ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> negli acquiferi della rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

Acquifero	IDNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> nullo	IDNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ridotto	ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> significativo	IDNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> rilevante
Acquifero del Trias csc(T)-complesso sedimentario composito	-	11	5	1
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	1	37	-	2
Acquifero del Cretaceo ccm(C)-complesso calcareo marnoso	1	19	2	1
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	-	7	-	-

Per l'applicazione della classificazione DSA è necessario disporre dei dati analitici sulla concentrazione di nitrati, nitriti e ione ammonio delle acque sotterranee; tuttavia in alcuni casi, pur mancando il dato sulla concentrazione di ione ammonio, i campioni sono stati collocati in classe c, a causa della concentrazione dei nitriti o dei nitrati superiore alla rispettiva CMA.

La classificazione DSA è stata applicata all'insieme delle acque sotterranee della rete di monitoraggio preliminare; solo 1 campione appartiene alla classe a (buona), 31 alla classe b (media) e 69 ricadono nella classe c (scadente) (figura 13.51).



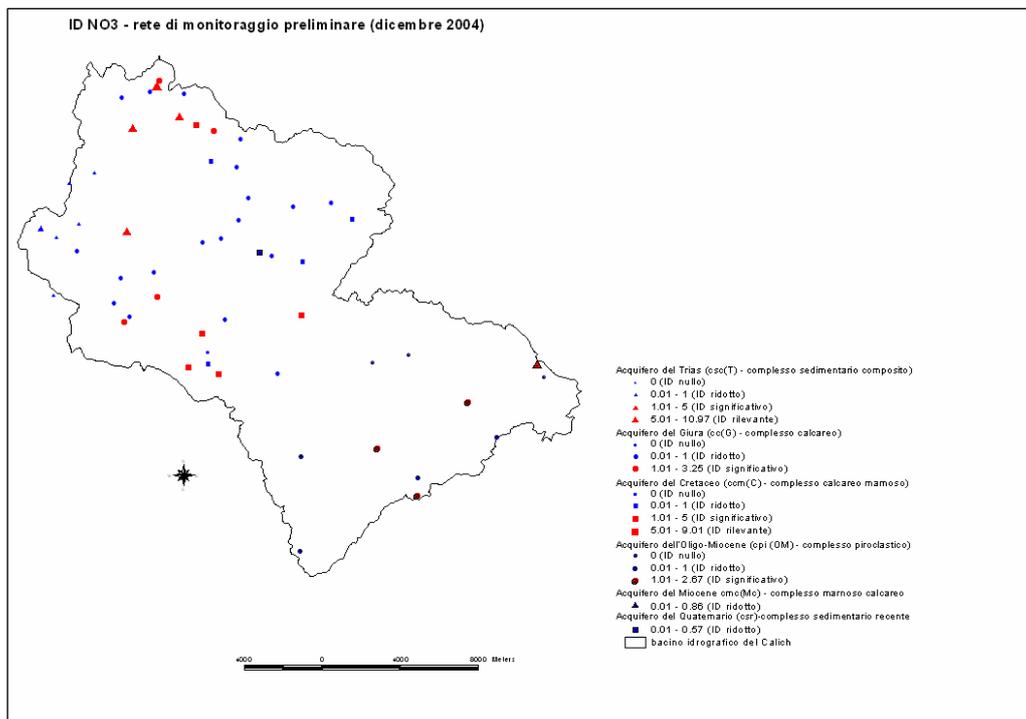
**Figura 13.51 - DSA nella rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

Inoltre, la classificazione DSA è stata utilizzata per valutare lo stato d'inquinamento da sostanze azotate delle acque di ogni acquifero. La tabella 13.49 mostra il numero di campioni appartenenti alle diverse classi di degrado DSA, relativamente ciascuno degli acquiferi, all'interno dell'area in studio. In tutti gli acquiferi si manifesta una netta prevalenza della classe peggiore e solo 1 campione di acqua, del complesso piroclastico oligo-miocenico, appartiene alla classe a.

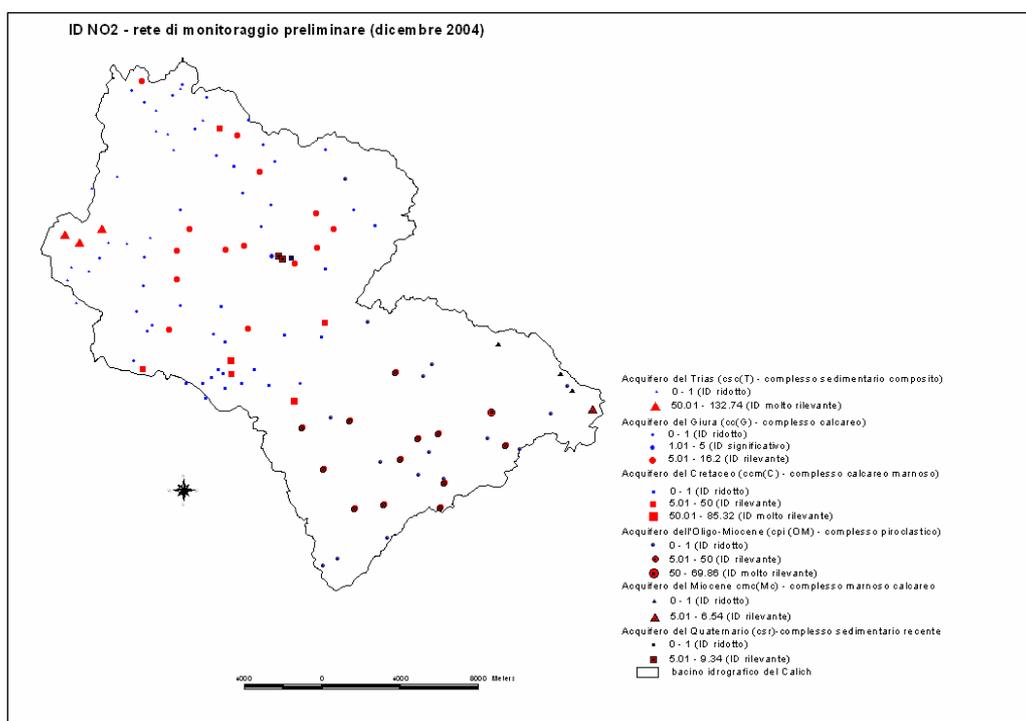
**Tabella 13.49 - DSA negli acquiferi della rete di monitoraggio preliminare (dicembre 2004)**

Acquifero	Classe a DSA	Classe b DSA	Classe c DSA
Acquifero del Trias csc(T)-complesso sedimentario composito	-	7	10
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	-	19	22
Acquifero del Cretaceo ccm(C)-complesso calcareo marnoso	-	4	19
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	1	1	15
Acquifero del Miocene cmc(Mc)-complesso marnoso calcareo	-	-	1
Acquifero del Quaternario csr(Q)-complesso sedimentario recente	-	-	2

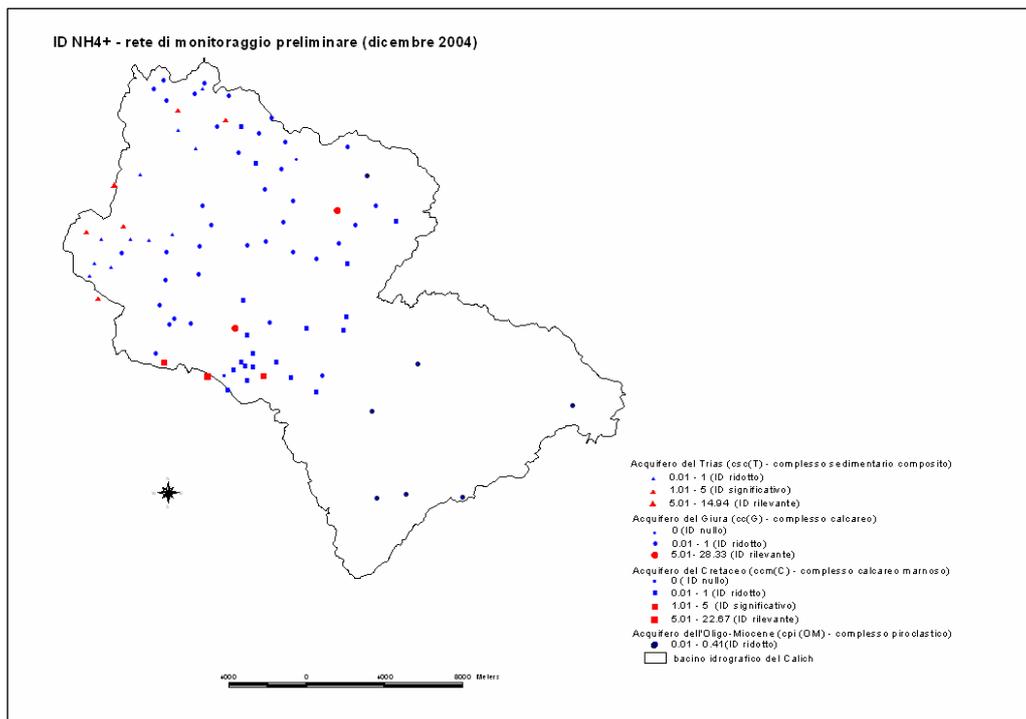
La rappresentazione sinottica relativa alla classificazione delle acque sotterranee dell'area in studio, effettuata sulla base dei parametri DSA e ID, è riportata nelle figure 13.52, 13.53, 13.54 e 13.55.



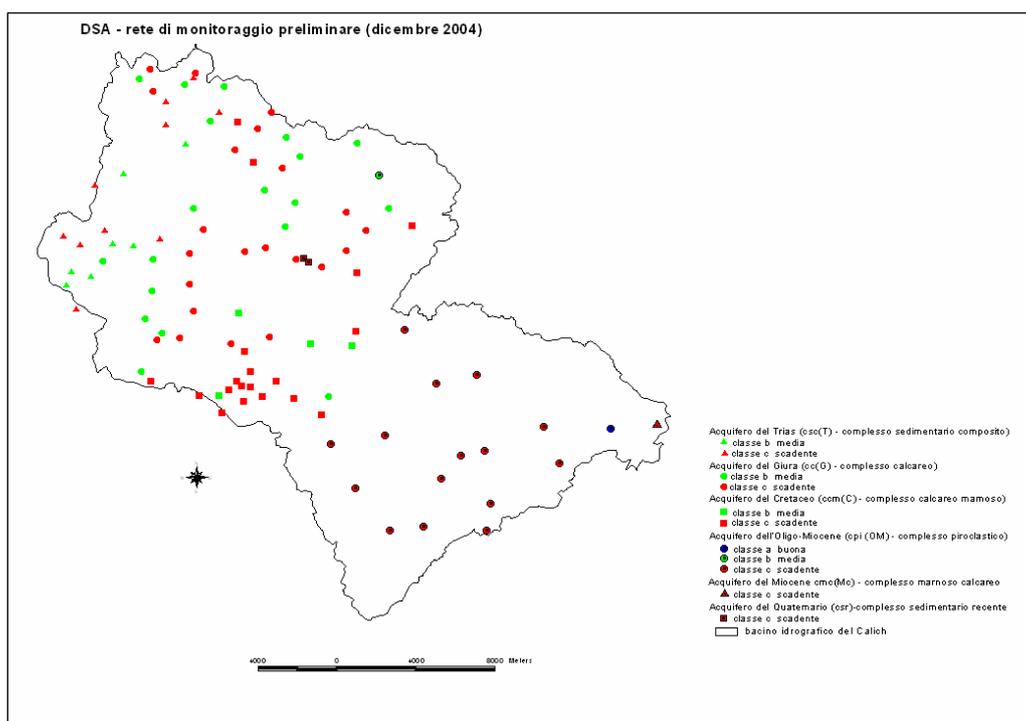
**Figura 13.52 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo l'ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (rete di monitoraggio preliminare dicembre 2004)**



**Figura 13.53 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo l'ID NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (rete di monitoraggio preliminare dicembre 2004)**



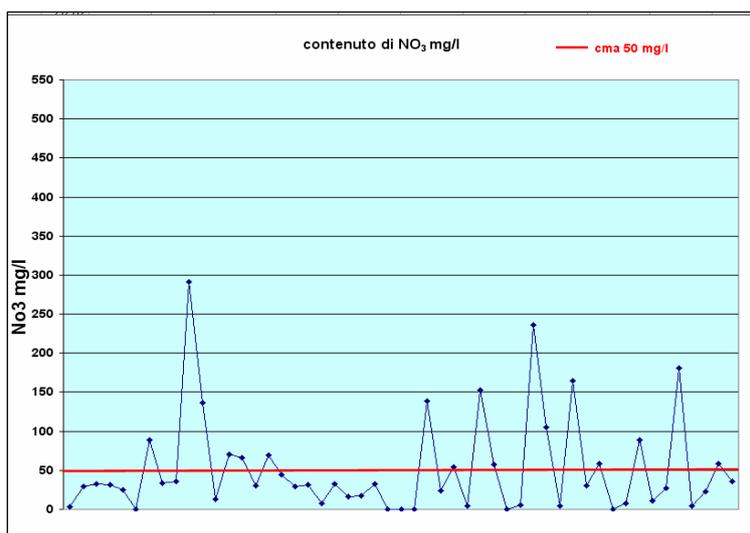
**Figura 13.54 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo l'ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (rete di monitoraggio preliminare dicembre 2004)**



**Figura 13.55 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo il DSA (rete di monitoraggio preliminare dicembre 2004)**

### 13.9.2 Rete di monitoraggio definitiva

La figura 13.56 mostra le concentrazioni dei nitrati, in mg/l, riscontrate nei 55 punti d'acqua della rete di monitoraggio definitiva; da questa si può rilevare che 17 campioni di acqua superano la soglia di 50 mg/l, raggiungendo, in alcuni casi valori elevati, pari a circa 300 mg/l.



**Figura 13.56 - Concentrazione dei nitrati (mg/l) nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

Anche in questo caso le acque analizzate sono state classificate con il metodo degli ID e i risultati sono elencati nella tabella 13.50, dove è indicato il numero dei campioni appartenenti a ciascuna classe ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ID NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Come si può notare dalla tabella, tutti i 55 campioni ricadono nella classe nulla dell'ID NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, per la completa assenza dei nitriti; inoltre, 17 campioni risultano inquinati da nitrati e 5 da ammoniaca.

**Tabella 13.50 - Indicatori di Degrado (ID) nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

	ID nullo	ID ridotto	ID significativo	ID rilevante	ID molto rilevante
<b>Nitrati</b>	9	29	16	1	-
<b>Nitriti</b>	55	-	-	-	-
<b>Ammoniaca</b>	3	47	4	1	-

La distribuzione dei campioni delle acque sotterranee, nella rete di monitoraggio definitiva, all'interno delle classi dell' ID  $\text{NO}_3^-$ , dell'ID  $\text{NH}_4^+$  e della classe DSA è riportata nelle nei rispettivi grafici delle figure 13.57, 13.58 e 13.59. L'ID  $\text{NO}_2^-$  non è rappresentato in quanto tutti campioni sono risultati privi di nitriti. Il 31% dei campioni è caratterizzato da un contenuto in nitrati elevato e solo il 9% è inquinato da ione ammonio.

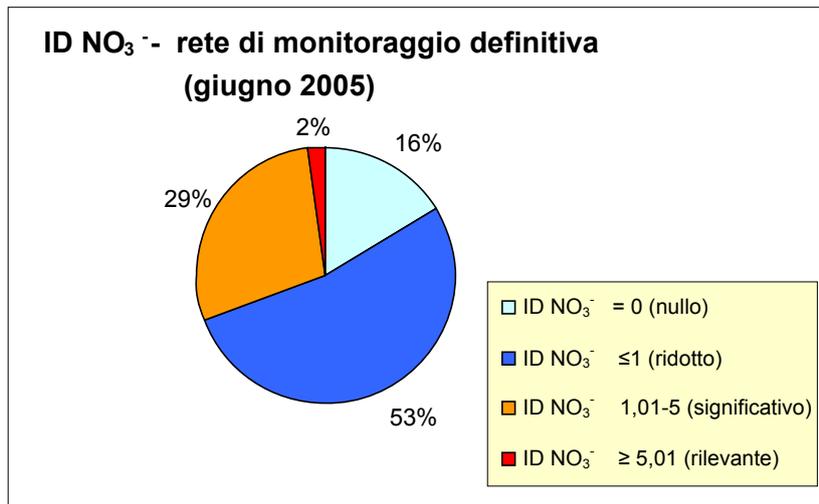


Figura 13.57 - ID  $\text{NO}_3^-$  nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)

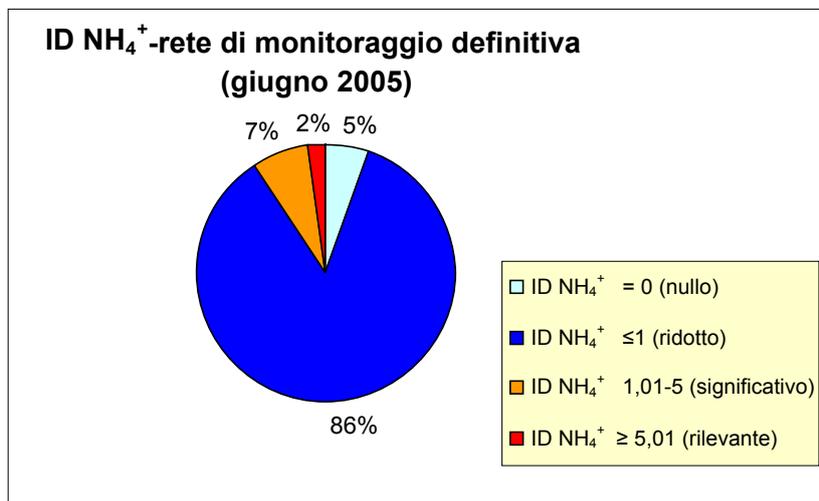


Figura 13.58 - ID  $\text{NH}_4^+$  nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)

La classificazione degli ID è stata applicata anche ad ogni acquifero. Per questi è stato calcolato il numero dei campioni attribuiti a ciascuna classe ID, rispettivamente per l'ID  $\text{NO}_3^-$  e l'ID  $\text{NH}_4^+$ , mentre tutti i campioni analizzati sono stati collocati nella classe nulla dell'ID  $\text{NO}_2^-$  in quanto, come detto prima, privi di nitriti.

Nella tabella 13.51 è riportata la suddivisione dei campioni, di ciascun acquifero, nelle classi ID  $\text{NO}_3^-$ . Nell'acquifero del Trias (csc(T)-complesso sedimentario composito), su 10 campioni analizzati, 3 presentano un inquinamento da nitrati significativo e 1 rilevante. Dall'acquifero del Giura, sono stati prelevati 23 campioni e 4 di questi hanno un ID  $\text{NO}_3^-$  significativo. L'acquifero del Cretaceo presenta, su 10 raccolti, 5 campioni nella classe significativa. Dei 10 punti d'acqua localizzati nell'acquifero dell'Oligo-Miocene 3 hanno mostrato un inquinamento significativo da nitrati. L'unico campione dell'acquifero del Miocene possiede un ID significativo; mentre quello prelevato dall'acquifero del Quaternario presenta un ID ridotto.

**Tabella 13.51 - ID  $\text{NO}_3^-$  negli acquiferi della rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

Acquifero	ID $\text{NO}_3^-$ nullo	ID $\text{NO}_3^-$ ridotto	ID $\text{NO}_3^-$ significativo	ID $\text{NO}_3^-$ Rilevante
Acquifero del Trias csc(T)- complesso sedimentario composito	5	1	3	1
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	-	19	4	-
Acquifero del Cretaceo ccm(C) - complesso calcareo marnoso	1	4	5	-
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	3	4	3	-
Acquifero del Miocene cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	-	-	1	-
Acquifero del Quaternario csr(Q) - complesso sedimentario recente	-	1	-	-

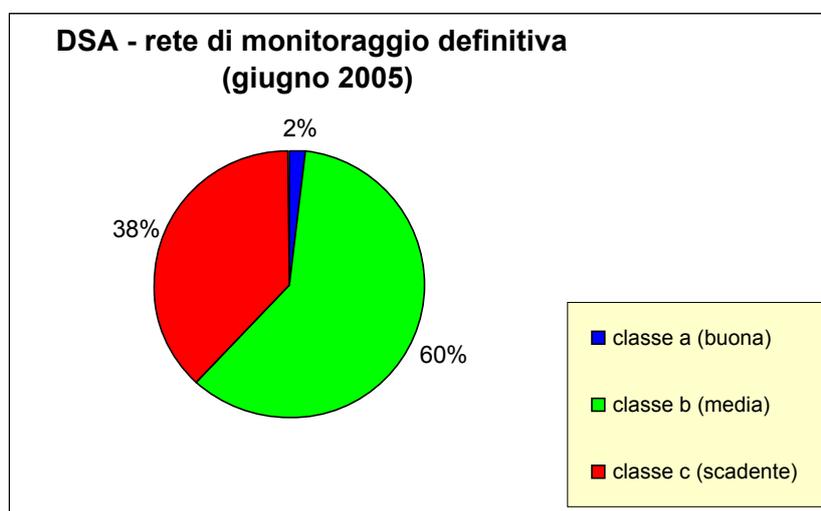
La distribuzione dei campioni nelle classi dell'ID  $\text{NH}_4^+$  è elencata nella tabella 13.52: la quale evidenzia che solo 3 campioni del Trias hanno una concentrazione di ione ammonio elevata.

**Tabella 13.52 - ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> negli acquiferi della rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

Acquifero	ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> nullo	ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ridotto	ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> significativo	ID NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> rilevante
Acquifero del Trias csc(T)- complesso sedimentario composito	-	7	2	1
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	2	21	-	-
Acquifero del Cretaceo ccm(C) - complesso calcareo marnoso	1	9	-	-
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	-	10	-	-
Acquifero del Miocene cmc(Mc) - complesso marnoso calcareo	-	1	-	-
Acquifero del Quaternario csr(Q) - complesso sedimentario recente	-	1	-	-

Fa seguito, per completare l'analisi sul degrado delle acque sotterranee da sostanze azotate, la classificazione DSA, applicata sia all'insieme dei campioni raccolti nella rete di monitoraggio definitiva, sia ai punti d'acqua di ogni singolo acquifero.

La qualità delle acque sotterranee campionate nel giugno 2005 (rete di monitoraggio definitiva) risulta essere migliorata rispetto al monitoraggio precedente; la classe peggiore c si riduce dal 68% al 38%.



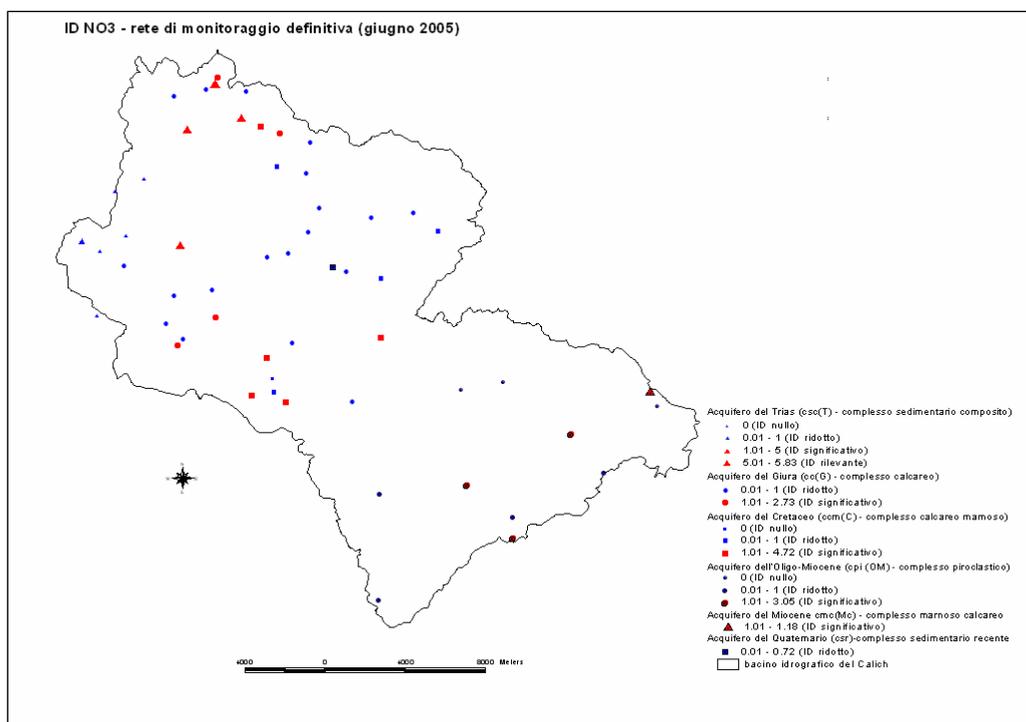
**Figura 13.59 - DSA nella rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

La tabella 13.53 riporta il numero dei campioni, per ciascun acquifero, attribuiti alle classi DSA; da questa si evidenzia che la classe media b risulta la più frequente.

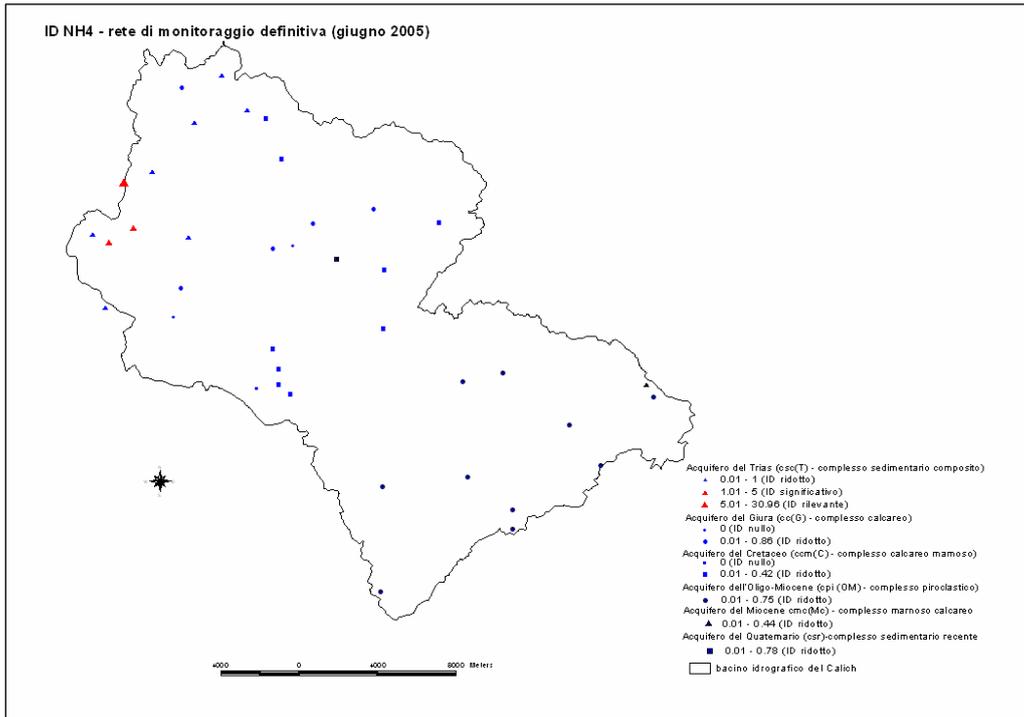
**Tabella 13.53 - DSA negli acquiferi della rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005)**

Acquifero	Classe a DSA	Classe b DSA	Classe c DSA
Acquifero del Trias csc(T)-complesso sedimentario composito	-	2	8
Acquifero del Giura cc(G)-complesso calcareo	-	19	4
Acquifero del Cretaceo ccm(C)-complesso calcareo marnoso	-	5	5
Acquifero dell'Oligo-Miocene cpi(OM)-complesso piroclastico	1	6	3
Acquifero del Miocene cmc(Mc)-complesso marnoso calcareo	-	-	1
Acquifero del Quaternario csr(Q)-complesso sedimentario recente	-	1	-

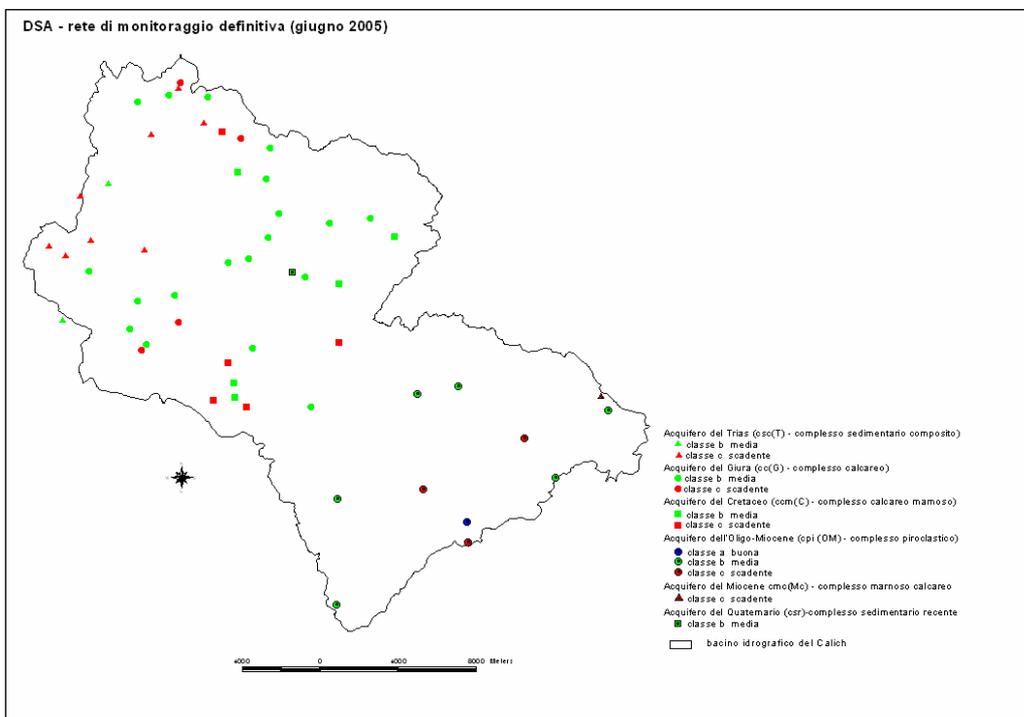
Di seguito si riportano le rappresentazioni sinottiche degli ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e del DSA relative alla rete di monitoraggio definitiva (giugno 2005) nell'area in studio (figure 13.60, 13.61 e 13.62).



**Figura 13.60 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo l' ID NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (rete di monitoraggio definitiva - giugno 2005)**



**Figura 13.61 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo l' ID NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (rete di monitoraggio definitiva - giugno 2005)**



**Figura 13.62 - Distribuzione, nell'area in studio, della qualità delle acque sotterranee secondo il DSA (rete di monitoraggio definitiva - giugno 2005)**

### **13.10 Verifica dei modelli di previsione con i dati sulla qualità delle RIS**

Le figure 13.63, 13.64, 13.65, 13.66 riportano le elaborazioni sulla Vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi sovrapposte ai dati relativi alle classificazione sulla qualità delle acque sotterranee.

La cartografia redatta ha permesso una schematica verifica dei modelli previsionali proposti con gli effetti della pressione antropica apportata sulle RIS. La sovrapposizione dei dati e l'analisi dei risultati ci dà il riscontro di una buona attendibilità dei modelli previsionali adottati.

Riconoscendo la necessità di approfondire le indagini, con analisi più mirate e specifiche, per delineare una più dettagliata conoscenza delle problematiche, le elaborazioni realizzate costituiscono sicuramente un potente strumento, continuamente aggiornabile di gestione, pianificazione e quindi tutela del territorio e delle risorse naturali.

# Vulnerabilità integrata e stato chimico delle acque sotterranee

(D.lgs.152/99)

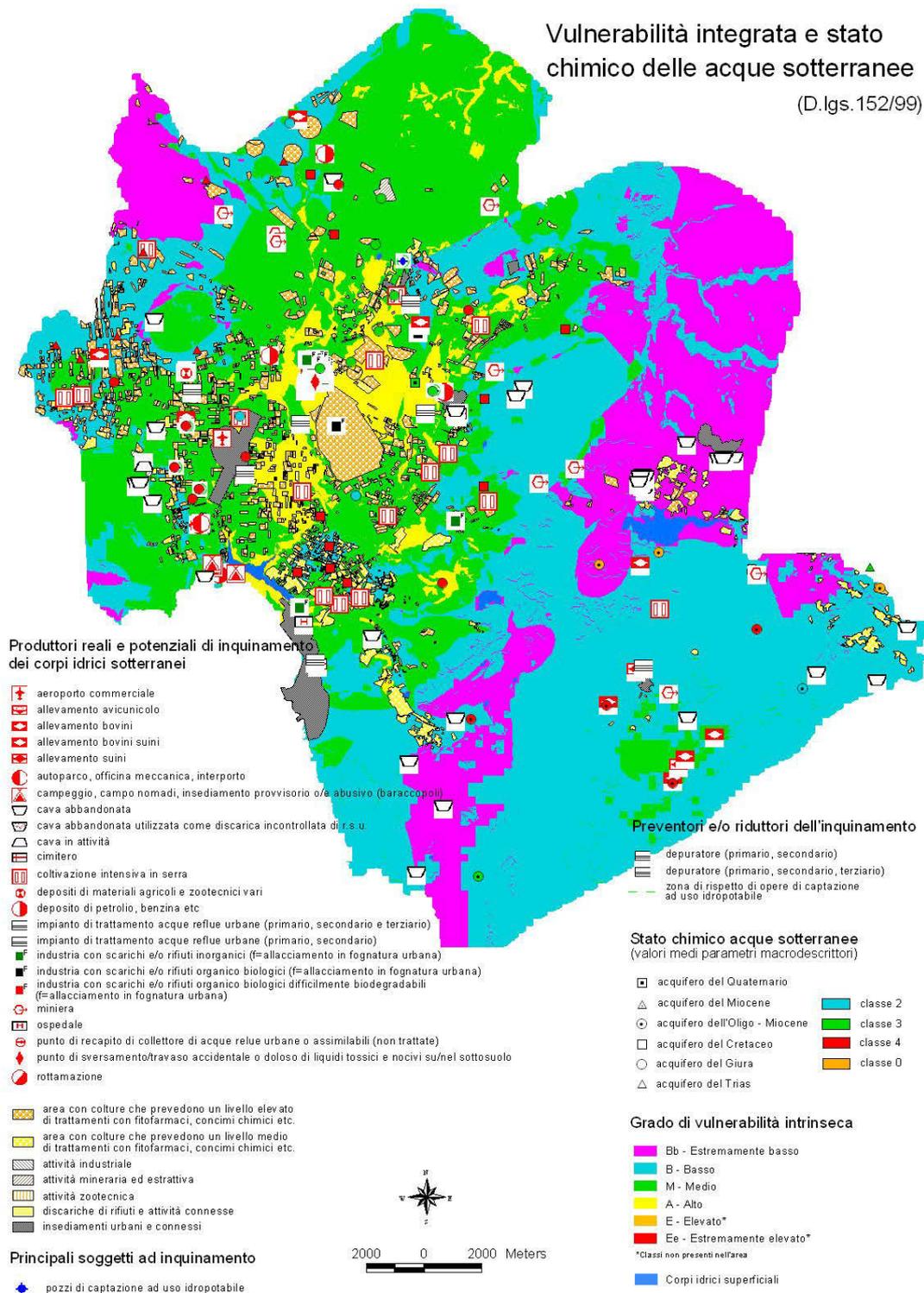


Figura 13.63 - Vulnerabilità integrata e classificazione, ai sensi del DLgs 152/99, dello stato chimico delle acque sotterranee (parametri macrodescrittori)

# Vulnerabilità integrata e stato chimico delle acque sotterranee

(D.lgs.152/99)

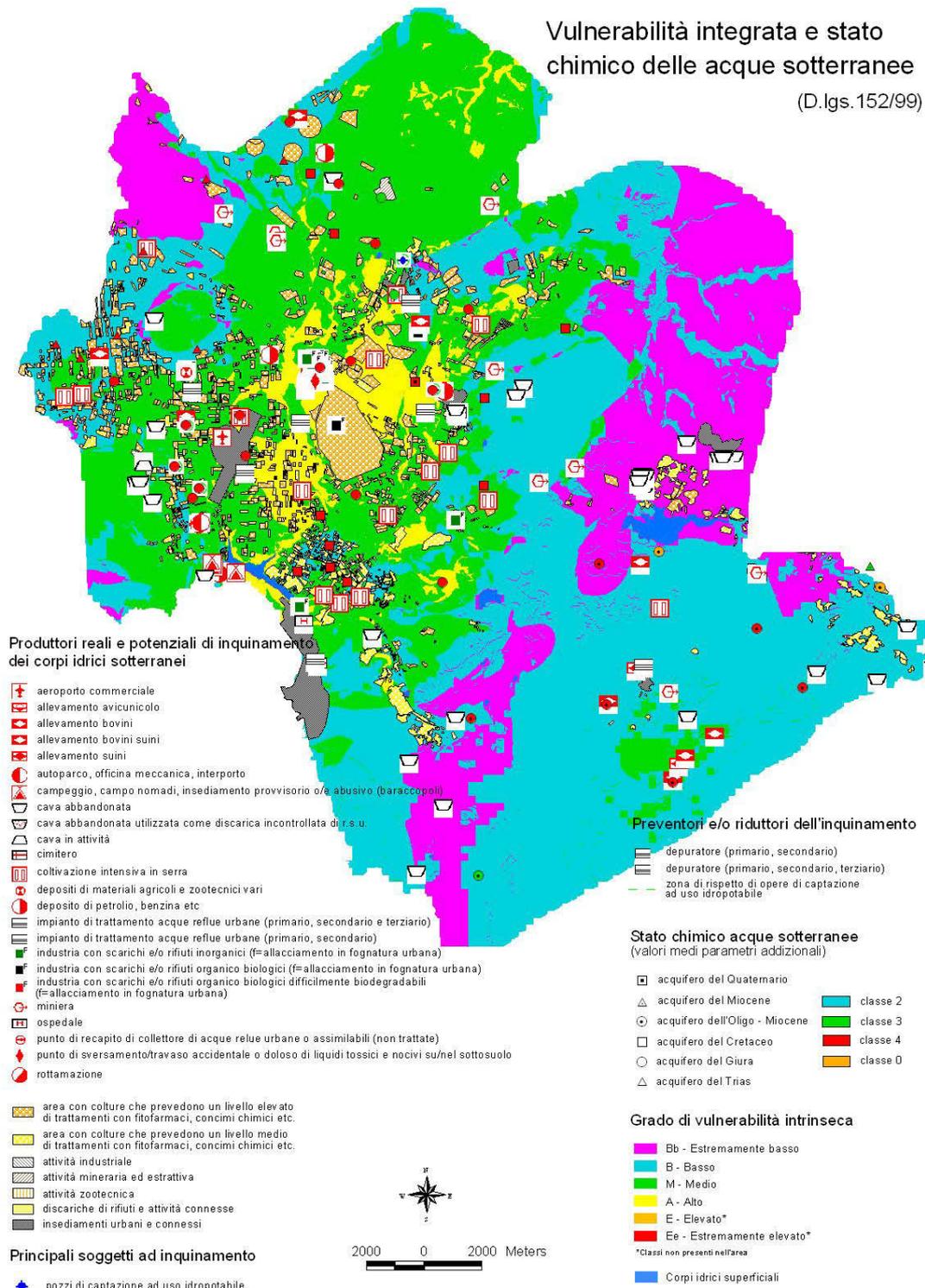


Figura 13.64 - Vulnerabilità integrata e classificazione, ai sensi del DLgs 152/99, dello stato chimico delle acque sotterranee (parametri macrodescrittori e addizionali)

Vulnerabilità integrata e qualità di base per il consumo umano  
(monitoraggio giugno 2005)

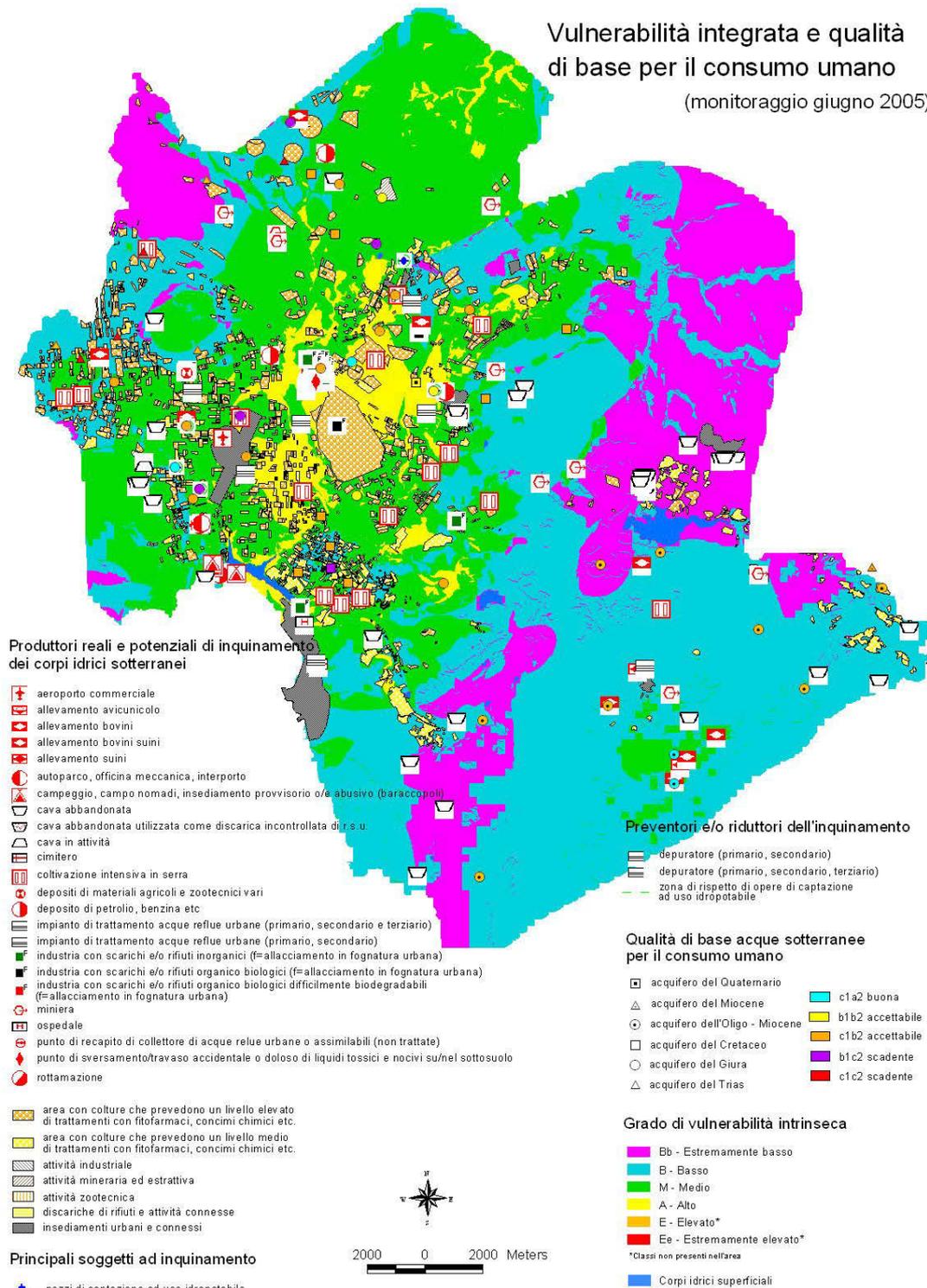


Figura 13.65 - Vulnerabilità integrata e classificazione della qualità di base per il consumo umano delle acque sotterranee

Vulnerabilità integrata e qualità di base per uso irriguo  
(monitoraggio giugno 2005)

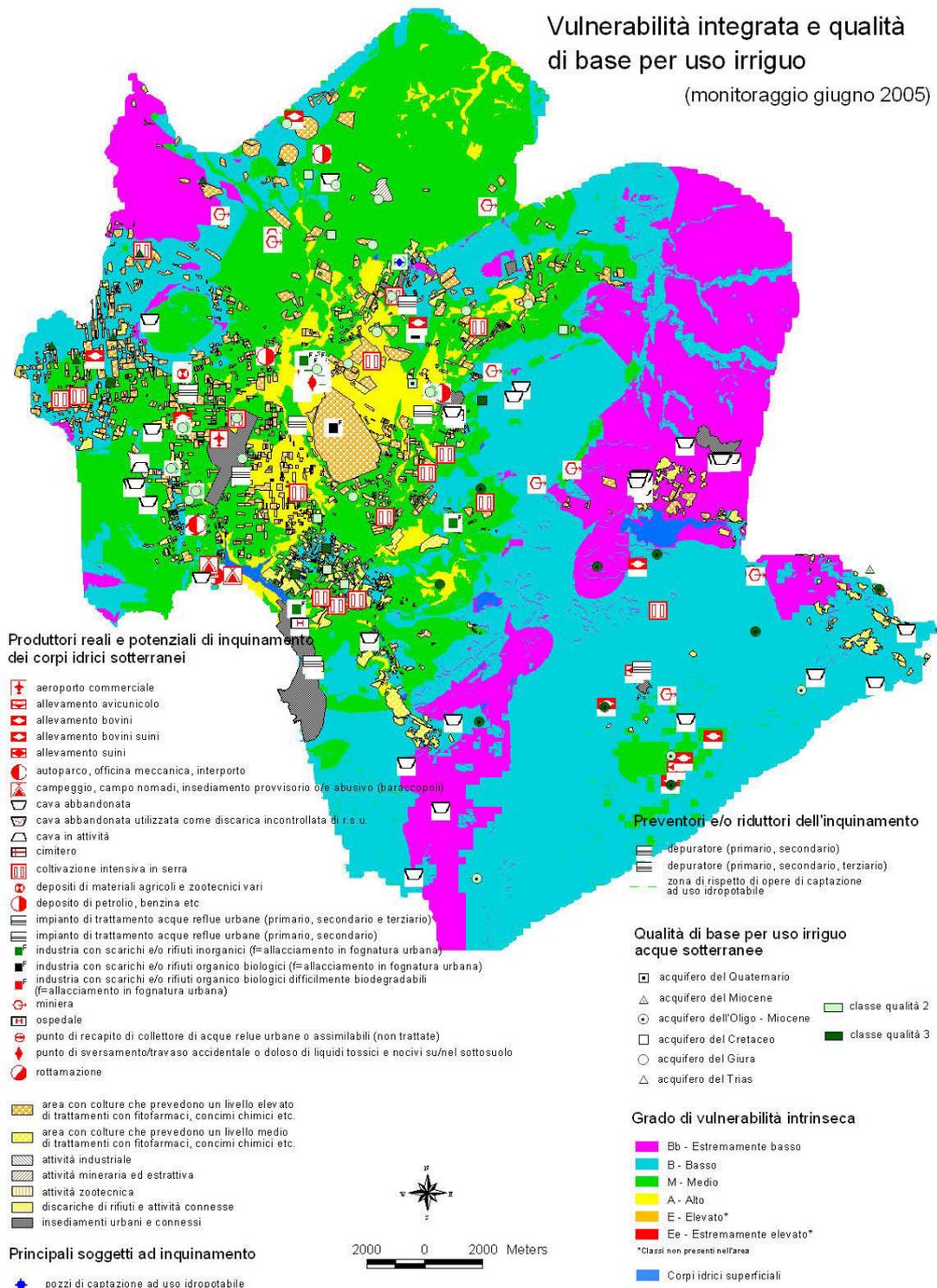


Figura 13.66 - Vulnerabilità integrata e classificazione della qualità di base per l'uso irriguo delle acque sotterranee

## CAPITOLO 14

### STANDARDIZZAZIONE ED ARMONIZZAZIONE DI DATI E METADATI

Il progetto RIADE è una ricerca inerentemente multidisciplinare ed i dati ricavati dalle attività di studio e monitoraggio dei processi di desertificazione sono stati caratterizzati da una forte eterogeneità. Essi sono, infatti, molto diversi fra loro per contenuto, risoluzione, estensione spaziale e temporale, per metodologia di studio e di restituzione. Di tutti i dati raccolti, una buona parte è stata informatizzata e territorializzata, cioè georiferita, per essere poi inserita, e gestita, mediante le tecnologie di GIS avanzate, sviluppate per RIADE.

Durante le fasi del WP4.4, tutti i dati sono stati implementati in un sistema informativo territoriale, che permettesse in seguito l'esportabilità completa di tutti i formati generati. Tutti i dati generati nell'ambito delle attività RIADE stanno confluendo in un unico sistema (RVA - Repository Visualizzatore Analizzatore), che ha come cuore un archivio relazionale centralizzato.

Affinché i dati siano inseribili, fruibili ed efficacemente gestibili è stato necessario standardizzarli ed armonizzarli: ovvero rispettate alcune regole di espressione. Tali regole di espressione sono state stabilite di concerto con i partner del progetto e riportate nelle linee guida scritte dall'ACS (Advanced Computer Systems). Queste sono state interpretate come dei vincoli veri e propri, mentre altre sono semplicemente delle buone regole che, se rispettate, semplificano l'integrazione delle informazioni territoriali.

#### 14.1 Standardizzazione dei dati

Standardizzazione dei dati significa raggiungere un metodo comune per rappresentare le stesse informazioni. Una standardizzazione nei dati facilita l'utilizzo integrato dei dati, senza richiedere un enorme lavoro a posteriori per omogeneizzare le informazioni. Dati non standardizzati non possono essere utilizzati in maniera congiunta, se non solo per ottenere informazioni di carattere qualitativo.

Le regole di standardizzazione ed armonizzazione del nome del file dato sono inderogabili, restrittive e medesime (come nel caso del nome del file metadato, di cui si parlerà in seguito). Per esempio, il nome del file è sempre composto da sette elementi separati da un underscore ("\_"). Errori nella compilazione del nome del file rendono inutilizzabile il dato stesso, anche se questo fosse perfetto nella sua struttura interna.

I dati informatizzati e georeferenziati, prodotti in RIADE, vengono inseriti e gestiti mediante il Sistema RVA (Repository Visualizzatore Analizzatore), per le analisi e visualizzazione mediante tecnologie di GIS avanzate.

L'RVA è stato sviluppato in una serie di moduli che integrano i dati e permettono l'*import/export* verso il sistema, il cui cuore, dal punto di vista GIS, è rappresentato da GRASS (Geographic Resource Analysis Support System).

GRASS è un progetto GIS di Open Source, in grado di gestire dati, sotto forma di cartografia:

- vectorial;
- raster;
- image;
- sites.

Tali tipi di dati possono essere integrati da informazioni alfanumeriche residenti in database relazionali. In un sistema GIS i dati possono essere:

- prodotti all'interno del sistema stesso ed ivi gestiti;
- prodotti all'interno del sistema e esportati verso altri sistemi GIS;
- importati da altri sistemi GIS.

Grass può produrre dati ed esportarli in diversi formati. I formati esportati da GRASS sono sempre leggibili e scambiabili con dati provenienti da altri sistemi GIS, nel rispetto di una delle principali funzionalità di un software GIS. GRASS può importare la maggior parte dei formati proprietari, prodotti da altri sistemi con prodotti analoghi commerciali, ma non supporta, però, tutti i formati. I formati dei dati riconosciuti da GRASS sono:

- Raster: PPM, GEOTIFF, TGA, USGS DEM, DMADTED, PPM/3, GIF, SUN-Raster, ASCII;
- Vectorial: ARC/INFO; DLG; IDRISI; TIGER; ASCII; DXF; MOSS; ArcView (SHAPEFILE);
- Image: ERDAS; NHAP; BIL; SPOT;LANDSAT; MSS; LANDSAT TM; BSQ; Standard Raster Formats;
- Sites: ASCII.

Ai dati vettoriali shapefile sono sempre associati i prodotti che, generati automaticamente dai sistemi GIS, accompagnano uno shape e ne completano l'informazione (.dbf, .shx, .sbn, .prj, .sbn) oltre naturalmente ai formati standard *.mtd* e *.rtf*.

Ai dati raster geotiff è sempre associato il file *tfw* generato automaticamente dai sistemi GIS, oltre naturalmente ai formati standard *.mtd* e *.rtf*.

Nei dati di tipo vettoriale (shape) riveste particolare importanza il file *.dbf*. Infatti, per la compilazione di tutti i file *.dbf* sono state osservate delle regole per la compilazione dei campi e dei valori che essi possono assumere. Tali regole sono le seguenti:

- il nome del campo deve essere univoco;
- il nome del campo va espresso in caratteri sempre maiuscoli (Es. DATA, QUOTA, RILEVATORI);
- non è possibile utilizzare nel nome del campo i seguenti caratteri: accenti; apostrofi; spazi vuoti; " : " (due punti); " - " (trattino);
- se il nome del campo è composto da più parole, bisogna separare le parole con un underscore " \_ " (Es. UTM\_EST, COND\_SITU);
- non vanno indicate mai nel nome del campo le unità di misura. Il riferimento alle unità di misura utilizzate va indicato sempre nella *tabella specifica* che corredata il dato;
- i valori assunti dai campi non sono univoci;
- quando i valori indicati nei campi sono di tipo stringa, è stata utilizzata la seguente convenzione:
  - nomi propri tutto in minuscolo (es. *calich*);
  - nomi generici tutto in minuscolo (es. *irrigazione*);
- quando un campo assume valori di tipo data, è stata riportata secondo la seguente convenzione (se l'ora non è nota o non è rilevante, usare 00:00:00):

dd-mon-yyyy hh24:mm:ss, dove:

dd: giorno del mese (2 cifre);

mon: 3 lettere del mese in inglese (es. jan, feb, mar ecc.);

yyyy: anno (quattro cifre);

hh24: ora da 0 a 23 (2 cifre);

mm: minuto (da 0 a 59);

ss: secondo (da 0 a 59).

È stato inserito un campo, *VALID*, fisso e obbligatorio, il cui scopo è quello di validare o annullare tutti i campi ad esso successivi nel file .dbf associato ad uno shape. I valori che esso può assumere sono fissi e limitati e per esempio corrispondono a:

- si = c'è acqua;
- no = non c'è acqua.

Quando il valore del campo *VALID* è *si* il sistema legge e considera validi, per eventuali operazioni di visualizzazioni e analisi, tutti i successivi campi, e relativi valori, che nel file .dbf sono di seguito compilati. Quando il valore del campo *VALID* è *no* il sistema non legge nessun altro campo successivo, indipendentemente dal fatto che questo sia compilato o no, ed i valori successivi non possono essere visualizzati né usufruiti per successive elaborazioni.

Altro campo obbligatorio è il campo *MULTIMEDIA*, infatti, i dati georeferenziati di RIADE sono spesso corredati da informazioni di altra natura (foto, filmati, schede descrittive, icone classificatrici, grafici ecc.) associati al dato georeferenziato e richiamate a video da una funzione *on-click* per la visualizzazione.

Per un singolo punto (site) è possibile associare una o più informazioni, esse potranno essere espresse anche con formati diversi fra loro per uno stesso punto.

I formati compatibili sono:

- tiff,
- mpg,
- jpg,
- xls,
- htm,
- ppt,
- pdf,
- rtf.

Una volta terminata la standardizzazione di metadati e dati, si è prodotto un elenco di tutti i dati prodotti, i quali saranno poi importati nell'RVA.

L'elenco contiene le seguenti indicazioni:

- il nome del gruppo di lavoro, area geografica, nome del referente e degli altri collaboratori del gruppo;
- la lista dei file, per ciascun dato, divisi per sotto-tematismi, con indicazioni circa il formato principale e tutti i sottoprodotti del formato specifico, incluso nome del documento di tabella delle specifiche;
- la lista completa di tutti i file associati, per ciascun file (foto, filmati, tabelle, grafici ecc.);
- il nome del CD in cui sono stati stampati i file;
- data della consegna.

## 14.2 Standardizzazione dei metadati

I metadati costituiscono, in qualche modo, il curriculum vitae dei dati: ovvero raccolgono le informazioni relative al dove, al quando, al come e da chi i dati sono stati ottenuti. Si tratta quindi di un corredo indispensabile per renderli fruibili correttamente da chiunque, anche a distanza di tempo.

Per quanto riguarda il nome del file metadato, oltre a essere uguale al nome del file dato associato, pertanto sottoposto alle stesse regole di armonizzazione, è sempre composto da sette elementi, separati da un underscore (“\_”). In particolare:

- il nome del file contiene al massimo 64 caratteri per limiti dell’architettura del software;
- per limiti delle librerie di GRASS è necessario che i nomi dei file non contengano mai:
  - accenti;
  - apostrofi;
  - spazi vuoti;
  - “ : ” (due punti);
  - “ - ” (trattino).
- gli elementi che compongono il nome del file sono 7 e sono fissati secondo il seguente ordine obbligatorio:
  - <LUOGO>\_<TEMA>\_<SOTTOTEMA>\_<DATAINIZIO>\_<DATAFINE>\_<CONTATORE>.<FMT>;
  - <LUOGO> = stringa;
  - <TEMA> = stringa;
  - <SOTTOTEMA> = stringa;
  - <DATA\_INIZIO> = ddmmYYYY – data inizio rilevazione/validità;
  - <DATA\_FINE> = ddmmYYYY – data fine rilevazione/validità;
  - <CONTATORE> = *XXX es: 001 previsto per eventuali versioni dello stesso file;*
  - <FMT> = *es. shp,tiff,mpg ecc.;*
- quando i valori indicati nei campi sono di tipo stringa, è stata utilizzata la seguente convenzione:
  - nomi propri (es. nome di città) tutto in minuscolo;
  - nomi generici (es. *irrigazione*) tutto in minuscolo;
- gli elementi di tipo data, sono sempre riportati secondo la seguente convenzione *ddmmYYYY* dove:
  - dd: giorno del mese (*2 cifre es. 22*);
  - mm: mese (*2 cifre es. 04*);
  - yyyy: anno (*quattro cifre es. 2004*);
- nel caso di comprensibili difficoltà a determinare una data, nel nome del file è stato possibile non specificare la data esprimendola con il valore: 9999999.

La funzione dei metadati è quella di permettere, o comunque facilitare, il raggiungimento dei seguenti obiettivi: individuare l’esistenza di un dato; localizzare l’area cui esso si riferisce; analizzare e filtrare, tra una serie di possibili dati, quelli di maggiore attinenza; permettere la ricerca in ambiti disciplinari diversi grazie ai descrittori; ottenere informazioni sulla disponibilità del documento.

Il lavoro necessario per estrarre i metadati, dai dati di origine, è ricompensato dalla loro maggiore *manipolabilità* rispetto ai dati originari.

L'RVA è potenzialmente predisposto per un utilizzo pieno ed efficace dei metadati, ma è sottintesa una compilazione mirata delle etichette che rispecchi la logica del ricercatore.

Le interrogazioni, o estrazioni automatiche di dati selezionati dall'archivio, sono chiamate *query*.

Le *query* sono effettuate unicamente sui file metadata, mediante le etichette ed i loro contenuti. Le etichette sono state quindi scelte con lo scopo di facilitare le interrogazioni.

Uno dei punti di forza di un database relazionale è l'abilità di accettare *query* da utenti che non hanno una totale conoscenza della struttura e del contenuto del sottostante database. Come risultato, una *query* può essere molto complessa ed il sistema deve essere in grado di *risolvere* svariate combinazioni di istruzioni ed identificare i risultati corretti.

La compilazione dei metadati è sotto la responsabilità del fornitore di dati e avviene per:

- etichette;
- termini controllati.

Etichette - Per *etichetta* si intende il nome del campo. Le etichette seguono una sintassi precisa perché devono essere sempre riconosciute automaticamente dal software di lettura. Le etichette sono indicate in inglese, maiuscolo, con parole separate da '\_'. Un errore di trascrizione dell'etichetta produce la non conformità del file e lo rende inutilizzabile.

Termini controllati - Il termine è il valore (stringa e/o numerico) assegnato all'etichetta, scelto in una lista di termini possibili e per questo detto *controllato*. I termini controllati possono essere espressi liberamente, ma devono essere concordati in base ad una logica comune. I termini controllati delle liste possono essere di 3 tipi:

- termine unico, fisso ed obbligatorio;
- termine variabile, compreso in un numero limitato ed obbligatorio di casi;
- termine variabile, individuato da una regola fissa e numero illimitato di casi.

Per quanto concerne il formato dei metadati, essi devono essere scritti in ASCII, con estensione *.mtd*.

I metadati accompagnano tutti i file relativi a dati prodotti in RIADE e sono contrassegnati con lo stesso nome del dato a cui si riferiscono, indipendentemente dall'estensione di quest'ultimo.

In alcuni casi, per poter migliorare l'efficienza dell'RVA, è stato opportuno fissare alcune convenzioni essenziali, le quali sono:

- il valore del *THEME* di un gruppo è sempre uguale e sempre valido per tutti i dati prodotti dallo stesso gruppo;
- il valore di *CREATION DATE* non può mai assumere il valore NA;
- il valore di *START\_VALIDITY\_DATE* può essere = NA se la data non è significativa (Es. il dato relativo al modello digitale del terreno può avere l'etichetta *START\_VALIDITY\_DATE* = NA);
- il valore di *END\_VALIDITY\_DATE* può essere = NA se la data non è significativa (Es. il dato relativo al modello digitale del terreno può avere l'etichetta *END\_VALIDITY\_DATE* = NA).

Per quanto riguarda i valori fissi, unici ed obbligatori, essi sono i seguenti:

- la proiezione adottata è UTM (Universal Transverse Mercator System). Tutti i file prodotti in RIADE hanno rispettato la proiezione adottata. I file non prodotti in RIADE ma raccolti da archivi preesistenti e forniti in altro sistema di riferimento sono stati resi consultabili solo convertendoli nel sistema di coordinate UTM;
- la Zona 33 (32 per la Sardegna). Tutti i file prodotti in RIADE rispettano la zona adottata;
- l'Ellissoide è International 1924. Tutti i file prodotti in RIADE rispettano l'ellissoide adottato;
- il Datum è ED 1950. Tutti i file prodotti in RIADE rispettano il Datum adottato;

Nella compilazione dei metadati sono state rispettate le liste di etichette (fisse e obbligatorie) e di termini le quali devono essere sempre inserite.

La lista di etichette nell'RVA di RIADE è la seguente (tabella 14.1):

**Tabella 14.1 - Lista di etichette inserita nel metadato**

1. DATA_VERSION
2. THEME
3. SUB_THEME
4. CREATION_DATE
5. START_VALIDITY_DATE
6. END_VALIDITY_DATE
7. SPATIAL_REPRESENTATION
8. SCALE
9. RESOLUTION
10. UNIT
11. FORMAT
12. FORMAT_VERSION
13. GEOGRAPHICAL_AREA_3D
14. GEOGRAPHICAL_AREA_NAME
15. SOURCE
16. RESPONSIBLE
17. PROJECTION
18. ELLIPSOID
19. DATUM
20. ZONE
21. ABSTRACT

La lista di etichette è unica e valida per:

- tutti i gruppi di lavoro RIADE;
- tutti i tematismi;
- tutti i dati informatizzati prodotti nell'ambito della ricerca RIADE.

La lista di termini controllati è la seguente (tabella 14.2):

**Tabella 14.2 - Lista dei termini controllati assegnati alle etichette nella compilazione del metadato**

Termini unici, fissi ed obbligatori	Termini variabili compresi in un numero limitato ed obbligatorio di casi	Termini variabili, individuati da una regola fissa e numero illimitato di casi
<p>NA ( valore di annullamento per tutti i campi non applicabili)</p> <p>UTM (per tutti i dati prodotti in RIADE)</p> <p>International 1924 (per tutti i dati prodotti in RIADE)</p> <p>ED 1950 (per tutti i dati prodotti in RIADE)</p> <p>32 /33 (per tutti i dati prodotti in RIADE)</p>	<p>shapefile geotiff mpeg excel autocad</p> <p>1 ( per vectorial) 2 ( per raster) 3 ( per table) 4 ( per tin) 5 ( per blob)</p>	<p>001 (e tutti i progressivi espressi secondo la regola fissa: "Numero progressivo del DataSet nel formato XXX") 10-mar-2003 12:00:00 (e tutte le date espresse secondo la regola fissa: "dd-mon-yyyy hh:mm:ss" dove le tre lettere del mese "mon" devono essere espresse in inglese e l'ora è: - hh24: ora da 0 a 23 (2 cifre); - mm: minuto (da 0 a 59); - ss: secondo (da 0 a 59). ) 10000 (e tutte le scale espresse secondo la regola fissa: Scala di riferimento (acquisizione) espressa con solo denominatore) acque (THEME) suoli (THEME) conoscenze tradizionali (THEME) clima (THEME) vegetazione (THEME) pozzi (SUB_THEME) sorgenti (SUB_THEME) fiumi (SUB_THEME) uso del suolo (SUB_THEME) land cover (SUB_THEME) geologia (SUB_THEME) idrografia (SUB_THEME) topografia (SUB_THEME) gradi centigradi (e tutte le unità di misura espresse secondo la regola fissa: "Le unità di misura devono far riferimento ad una tabella comune, in cui vengono utilizzati gli stessi termini e le stesse abbreviazioni"</p> <p>calich (GEOGRAPHICAL_AREA_NAME) imera (GEOGRAPHICAL_AREA_NAME) anapo (GEOGRAPHICAL_AREA_NAME) murgia (GEOGRAPHICAL_AREA_NAME)</p>

		policoro ... (e tutte le zone di studio espresse secondo la regola fissa: "tutti i caratteri minuscoli, stessa zona stesso nome anche per gruppi diversi "
--	--	---

Di seguito viene riportato un esempio di metadato, relativo al file prodotto all'interno del WP 4.4:

#Area test bacino del Calich (Sardegna)

#Gruppo acque Sardegna

#Referente Giorgio Ghiglieri, NRD - Università di Sassari

#File realizzato dal gruppo acque

DATA\_VERSION = 001

THEME = acque

SUB\_THEME = bacinoidrografico

CREATION\_DATE = 24-jan-2005 09:00:00

START\_VALIDITY\_DATE = NA

END\_VALIDITY\_DATE = NA

SPATIAL\_REPRESENTATION = 1

SCALE = 10000

RESOLUTION = NA

UNIT = NA

FORMAT = SHAPEFILE

FORMAT\_VERSION = Arc version 3.2

GEOGRAPHICAL\_AREA\_3D = 4522069.9808;433980.9020;0;4482654.2811;478489.5953;0

GEOGRAPHICAL\_AREA\_NAME = Bacino idrografico del Calich

SOURCE = gruppo di lavoro acque

RESPONSIBLE = Giorgio Ghiglieri,Università di Sassari

PROJECTION = UTM

ELLIPSOID = International 1924

DATUM = ED 1950

ZONE = 32

ABSTRACT = il file rappresenta l'ubicazione geografica del bacino idrografico del Calich.

## CONCLUSIONI

Nell'ambito dei processi di desertificazione, il deterioramento quali-quantitativo delle risorse idriche costituisce indubbiamente un indicatore del fenomeno, inteso come degrado del sistema bioprodotivo del territorio. La gestione delle risorse idriche, in un ambiente semi-arido e/o siccitoso come quello mediterraneo, necessita dunque di un approccio multidisciplinare ed integrato finalizzato al controllo ed alla conservazione quantitativa e qualitativa della risorsa. Infatti, il degrado qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee costituisce una seria problematica ambientale laddove l'approvvigionamento per gli usi civile, agricolo e industriale, deve fare affidamento anche sullo sfruttamento di queste risorse.

Le risorse idriche superficiali e sotterranee, considerate unitariamente sotto il duplice aspetto qualitativo e quantitativo, costituiscono fattore essenziale e determinante di conservazione e sviluppo di ogni forma di vita e, in quanto tali, risultano assolutamente necessarie al sostentamento e all'armonico sviluppo degli ambienti naturali ed alla crescita socio-economica del territorio. In tal senso il deterioramento quali-quantitativo delle risorse idriche di un territorio, influenzando negativamente sulle condizioni di sviluppo di ogni forma di vita e di organizzazione antropica, costituisce indubbiamente un fondamentale indicatore dei processi di desertificazione, intesi nell'accezione più generale di degrado del sistema bioprodotivo del territorio, dovuto a cause diverse, tra le quali primariamente le variazioni climatiche e le attività umane. D'altra parte, anche nel linguaggio comune, al termine desertificazione viene generalmente associato il concetto di mancanza parziale o totale di risorsa idrica.

Pur trattandosi di un indicatore fondamentale di desertificazione, tuttavia il degrado della risorsa idrica costituisce in realtà una causa o concausa di desertificazione e non un effetto dei processi di desertificazione oggettivamente osservabili, come nel caso della degradazione dei suoli o delle foreste.

Il presente lavoro è inserito in un progetto di ricerca di più ampio respiro denominato RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione). Il progetto RIADE è un progetto cofinanziato dal MIUR (Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca) nell'ambito del Programma Operativo Nazionale di *Ricerca, Sviluppo Tecnologico ed Alta Formazione 2000 – 2006*, la cui partnership è composta da: ACS (Advanced Computer System), ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), NRD–Università di Sassari (Nucleo Ricerca Desertificazione).

L'obiettivo generale del progetto RIADE è quello di sviluppare un sistema informativo integrato e tecnologicamente innovativo per il monitoraggio dei processi di desertificazione localizzati in aree del mezzogiorno d'Italia, in grado di contribuire alla determinazione dei rapporti di causa-effetto nei fenomeni in esame e promuovere interventi di salvaguardia del territorio.

Fra le varie tematiche sviluppate nell'ambito del progetto RIADE, è stata proposta e sperimentata una ricerca multidisciplinare, a scala di bacino idrografico e/o idrogeologico, in ambiente mediterraneo, rivolta ad acquisire le basi di conoscenza necessarie ed indispensabili, ovvero tutti i fattori naturali e antropici che, in minore o maggiore misura, possano far variare gli equilibri naturali, per proporre una gestione integrata e sostenibile della risorsa idrica, anche in riferimento alla recente normativa vigente.

Il presente lavoro è denominato WP 4.4, *Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche. Dall'analisi conoscitiva alle strategie di gestione. I problemi legati all'integrazione di modelli e all'accettabilità delle soluzioni nel contesto del supporto alle decisioni*, ha avuto inizio con lo studio di un'area campione della Sardegna.

I criteri di scelta dell'area pilota, individuata nel bacino idrografico sotteso allo stagno costiero del Calich (Sardegna NO), sono stati dettati dall'esigenza di soddisfare alcune peculiarità quali: presenza di corpi idrici superficiali (fiumi, canali, dighe ecc.), acquiferi superficiali e profondi, agglomerati urbani e attività produttive, che generano quindi usi competitivi della risorsa idrica.

La ricerca è stata impostata e condotta, sviluppando gli obiettivi specifici realizzativi previsti, secondo un approccio multidisciplinare: questo è stato possibile articolando il lavoro in diverse fasi. In particolare, si è posto l'accento sugli aspetti quantitativi e qualitativi delle risorse idriche superficiali e sotterranee appartenenti al sistema fisico dell'area in studio. Per sviluppare il modello concettuale, che dovrà servire ad alimentare l'RVA ed il DSS (implementato in un altro WP del progetto RIADE), sono state utilizzate metodiche tradizionali, integrate sperimentalmente da metodiche innovative sia dal punto di vista concettuale, che operativo.

La protezione delle risorse idriche rappresenta un aspetto di fondamentale importanza nell'area in studio, dove si fa un ampio ricorso allo sfruttamento delle risorse idriche superficiali e sotterranee, per soddisfare le esigenze di approvvigionamento dei diversi settori (civile, idropotabile, industriale, irriguo e zootecnico).

La moltitudine dei centri di pericolo, produttori (reali e potenziali) di inquinamenti (puntuali e diffusi) e sparsi in aree ad elevata pressione antropica, comporta la necessità di individuare, in modo completo e dinamico, le zone a rischio di degrado qualitativo, al fine di disporre di uno strumento di controllo dello stato quali-quantitativo delle risorse idriche, peraltro continuamente aggiornabile.

Il lavoro illustra e propone un processo metodologico di impostazione di una rete di monitoraggio delle risorse idriche, che ottimizza lo sviluppo e l'estensione della rete stessa attraverso la selezione dei punti d'acqua più significativi, sulla base delle condizioni fisiche locali e delle trasformazioni del territorio indotte dall'attività antropica. Per esempio, tenendo conto del modello idrogeologico ricostruito per l'intero bacino del Calich, dei risultati dei rilievi idrogeologici e idrochimici effettuati preliminarmente nei punti d'acqua disponibili e del censimento dei Centri di Pericolo presenti nel territorio, la metodologia proposta ha consentito di ottimizzare la rete di monitoraggio delle acque sotterranee del bacino del Calich, passando dai 447 punti d'acqua rilevati nel censimento preliminare ai 59 della rete di monitoraggio definitiva.

Le indagini finora effettuate nel bacino, che dovranno essere confermate nel tempo, hanno inoltre messo in evidenza diffusi e preoccupanti fenomeni di inquinamento di tipo organico (civile o zootecnico) e/o di tipo agricolo dovuti alla presenza nelle acque sotterranee di eccessive concentrazioni di composti azotati (nitrati, nitriti ed ammoniaci). Per rappresentare efficacemente tale tipologia di inquinamento, la ricerca propone l'adozione di alcuni indicatori di qualità ambientale, quali il parametro di Degrado da Sostanze Azotate (DSA) e l'Indice di Degrado (ID), che sono facilmente rilevabili e utilizzabili alla scala di bacino e mettono in risalto, in maniera chiara e semplice, la presenza dei fenomeni di degrado delle RIS, in funzione delle peculiarità del territorio in esame.

Per completare il panorama dei fenomeni di inquinamento che affliggono le acque nel bacino del Calich, nel futuro dovranno essere eseguite analisi chimiche mirate, in funzione dei centri di pericolo presenti nel territorio e dovranno essere introdotti ulteriori indicatori di qualità ambientale, capaci di rappresentare efficacemente gli eventuali fenomeni di inquinamento prodotti dai cdp censiti. Sarà necessario inoltre operare un'azione di monitoraggio al fine di riconoscere ed interpretare tutti gli aspetti fisici, ecologici e socio-economici legati ai processi di desertificazione, per implementarli, secondo una visione integrata, in un unico modello dinamico (multi-scala e multi-temporale). A questo scopo viene proposto un sistema di supporto alle decisioni che preveda scenari e risposte, anche complessi, sull'uso e sulla tutela delle risorse idriche, in modo da consentire la definizione delle priorità e delle alternative, nonché la valutazione dell'efficacia delle scelte, con lo scopo di capire e mitigare eventuali processi di degrado e di desertificazione.

La ricerca condotta in questo lavoro si ispira dunque alle innovazioni concettuali e metodologiche, introdotte nelle più recenti norme, per attuare una politica ambientale di salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità delle risorse idriche e per un loro uso sostenibile. L'ottica del bacino idrografico consente la gestione integrata della risorsa in tutte le fasi del ciclo di utilizzo delle acque e l'elaborazione coerente dei programmi di misure di prevenzione, tutela e risanamento, sulla base del complesso delle pressioni generate in quel territorio dalle molteplici e specifiche attività umane. I programmi di politica ambientale delle acque devono essere dunque sviluppati a partire da una adeguata conoscenza delle caratteristiche del bacino idrografico, delle pressioni e dell'impatto delle attività umane e di quelli conseguenti, dell'utilizzo idrico anche sotto gli aspetti economici.

L'obiettivo finale di tale lavoro mira ad organizzare specifici piani di intervento e di gestione condivisi con le amministrazioni pubbliche e con gli enti di gestione della risorsa idrica, anche mediante la messa a punto di specifici programmi operativi di monitoraggio, che utilizzino nuove tecnologie e innovativi, efficienti e sintetici indicatori di qualità ambientale, al fine di prevedere e prevenire possibili fenomeni di degrado della risorsa idrica e quindi anche possibili processi di desertificazione.



## **ATTIVITÀ DI FORMAZIONE, DIVULGAZIONE E INTERNAZIONALIZZAZIONE DEL WP 4.4**

Durante le fasi del progetto sono state realizzate attività di formazione rivolte a studenti laureandi dei Corsi di Laurea in Scienze e tecnologie agrarie e in Scienze Geologiche delle Università di Sassari e Cagliari, finalizzate alla preparazione delle tesi di laurea, ed a studenti del Master Universitario I Livello *F-RIADE Formazione alla Ricerca Integrata per l'applicazione di tecnologie e processi innovativi nella lotta alla desertificazione* (A.A. 2003-04), finalizzate allo sviluppo di tirocini e tesi di Master.

Le tesi di laurea realizzate nell'ambito del WP 4.4 sono state:

*Primi risultati della caratterizzazione idrogeologica della piana di Alghero finalizzata all'impostazione di una rete di monitoraggio delle risorse idriche sotterranee per la prevenzione del rischio di desertificazione. Caratterizzazione idrogeologica della Piana di Alghero.* Tesi di laurea di Pietro Cerchi (Corso di Laurea in Scienze e tecnologie agrarie - Facoltà di Agraria-Università di Sassari: A.A 2004/05). Relatore: Dott. Giorgio Ghiglieri.

*Valutazione quali-quantitativa delle risorse idriche sotterranee di un'area a sud di Alghero (SS) nell'ambito delle strategie per la lotta alla desertificazione.* Tesi di laurea di Livio Pertrini (Corso di Laurea in Scienze e tecnologie agrarie Facoltà di Agraria - Università di Sassari: A.A. 2004-05). Relatore: Dott. Giorgio Ghiglieri.

*Valutazione delle risorse idriche superficiali della Nurra: rilievi sperimentali e simulazioni numeriche.* Tesi di Laurea di Gabriele Bacchiddu (Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie - Facoltà di Agraria-Università di Sassari: A.A. 2004-05) Relatore Prof. Marcello Niedda, Correlatori Ing. Fabio Cambula e Dott. Mario Pirastru

*Monitoraggio e applicazione di modelli di previsione per il controllo quali-quantitativo delle risorse idriche sotterranee degli acquiferi della Nurra occidentale al fine di mitigare i fenomeni di desertificazione.* Tesi di Laurea di Antonio Manca (Corso di Laurea in Scienze e tecnologie agrarie - Facoltà di Agraria - Università di Sassari:) Relatore: Dott. Giorgio Ghiglieri (in fase di realizzazione).

*Valutazione della Vulnerabilità intrinseca ed integrata degli acquiferi della Nurra (Sardegna NO).* Tesi di laurea di Marcello Vargiu (Corso di Laurea in Scienze Geologiche – Facoltà di Scienze M.F.N. Università di Cagliari) Relatori Prof. Giulio Barbieri e Dott. Giorgio Ghiglieri (in fase di realizzazione)

Le attività di tirocinio e di tesi di Master sviluppate nell'ambito del WP 4.4 sono state:

Attività di affiancamento per tirocinio teorico-pratico per 5 studenti del Master Universitario I Livello *F-RIADE Formazione alla Ricerca Integrata per l'applicazione di tecnologie e processi innovativi nella lotta alla desertificazione* c/o Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università di Sassari;

*Applicazione della geostatistica al monitoraggio degli acquiferi nell'area della Nurra per una corretta gestione della risorsa idrica* Tesi di Master Dr.ssa Ing. Emanuela Melis (Master Universitario I Livello *F-RIADE Formazione alla Ricerca Integrata per l'applicazione di tecnologie e processi innovativi nella lotta alla desertificazione*: A.A. 2003-04) Relatore: Dott. Giorgio Ghiglieri

Durante il periodo di attività del progetto, i risultati della ricerca sono stati presentati a Convegni nazionali ed Internazionali ed a riviste internazionali di settore.

BARBIERI G., BARBIERI M., CAMBULI P., GHIGLIERI G., VERNIER A., VIGO A. (2004) - Caratterizzazione tipologica dei rapporti tra fenomeni di desertificazione ed acque superficiali e sotterranee, osservati e studiati in Sardegna. - Congresso Internazionale Environnement Identité Méditerranée – EIM 2004 Corte 19-25 Luglio 2004 Actes du Congrès International – Gestion de l'eau - 2.4.2 (CD)

BARBIERI G., GHIGLIERI G., VERNIER A. (2004) Proposta di strategie di gestione sostenibile della risorsa idrica, in ambiente mediterraneo, finalizzata agli interventi per la lotta alla desertificazione (Sardinia NW, Italy) Congresso Internazionale Environnement Identité Méditerranée – EIM 2004 Corte 19-25 Luglio 2004. Actes du Congrès International – Gestion de l'eau - 2.4.1 (CD)

BARBIERI G., GHIGLIERI G., VERNIER A. (2005) -Aquifer vulnerability in the alghero plain for integrated water resources management in nw Sardinia 2nd International Workshop – AVR 05 Aquifer Vulnerability and Risk 05 4° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee Parma 2005 Atti (ID261) ISBN: 88-901342-2-4 © 2005 GEAM All rights reserved Abstract

GHIGLIERI G. (2005) Sustainable water resources management to combat desertification in NW Sardinia (Italy) Side Event United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) 2-11 May 2005 Bonn, Germany

BARBIERI G., GHIGLIERI G., VERNIER A. (2005) – Impostazione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee ed individuazione di indicatori di qualità ambientale per la lotta alla desertificazione 2nd International Workshop – AVR 05 Aquifer Vulnerability and Risk 05 4° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee Parma 2005 – Atti (ID259) ISBN:88-901342-2-4 © 2005 GEAM All rights reserved. Rivista IGEA – Ingegneria e Geologia degli Acquiferi n. 21 2006 ISSN 1121-9041 (Accettata in stampa)

GHIGLIERI G., OGGIANO G., FIDELIBUS D., BARBIERI G., VERNIER A., TAMIRU A. (2006) Geological and structural controls on hydrogeochemistry in the Nurra area, Sardinia (Italy). - Hydrogeology Journal Springer Verlag ISSN 1431-2174 (sottoposto a Hydrogeology Journal)

STRAZZERA E. (2006) Application of the ML Hausman approach to the demand of water or residential use: heterogeneity vs two-error specification. by DRES and CRENoS, University of Cagliari. Paper accettato per la presentazione al III World Congress of Environmental and Resource Economics, Kyoto, Japan, 3-7 July 2006.

Nell'ambito del WP 4.4 si è anche attivata una forma di collaborazione scientifica internazionale con il Prof. Tamiru Alemayehu dell'Università di Addis Abeba (Etiopia) per il trasferimento delle conoscenze acquisite nel corso del progetto RIADE e per l'implementazione di nuove iniziative di cooperazione internazionale. Tale attività è stata supportata da una borsa di studio internazionale dell'ENEA, che ha reso possibile ospitare il Docente per 6 mesi, presso il Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università degli Studi di Sassari.



## BIBLIOGRAFIA

- Allen R. G., Pereira L.S., Raes D, Smith M., (1998) - *Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper n. 56, Roma.
- Aller et al., (1985) - *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*, EPA/600/2-85/018, 163 pp.
- Andersen M. S., Jakobsen V. R., Postma D., (2005) - *Geochemical processes and solute transport at the seawater/freshwater interface of a sandy aquifer*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 69, n. 16, pp. 3979–3994.
- Appelo C.A.J., (1996) - *Multicomponent ion exchange and chromatography in natural systems*. In Lichtner et al (Eds), *Reactive transport in porous media*, *Reviews in Mineralogy*, 34: 193-227.
- Appelo C.A.J. and Postma D., (2005) - *Geochemistry, Groundwater, and Pollution*, 2nd ed., A. Balkema, Rotterdam, 649 pp.
- Appelo C.A.J. and Willemssen A., (1987) - *Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, I. A combined geochemical/mixing cell model*, *Journal of Hydrology*, 94, 313-330.
- Appelo, C.A.J., Beekman, H.E., Griffioen, J., Willemssen A., (1990) - *Geochemical calculation and observations on salt water intrusions. II. Validation of a geochemical model with laboratory experiments*, *Journal of Hydrology*, n 120 (1-4), pp. 225-250.
- Aquilina L., Emblanch C., Fidelibus M. D., Zuppi G. M., (2004) - *Geochemical diagenesis of rock and groundwaters in karstic coastal aquifers*, in Tulipano L. et al. (Eds) Final Report of Action COST 621 “Groundwater management of karst coastal aquifers”. Office for the Official Publications of European Communities, II, EUR 21366, ISBN 92-898-0015-1, Part II, Chap. 3.5: 158-166.
- Ardau F., Balia R., Barbieri G., Barrocu G., Gavaudo’ E., Ghiglieri G., Vernier A., (1999) - *Geophysical and hydrogeological study of a coastal plain affected by salt water intrusion*, SAGEEP, The annual Meeting of The Environmental and Engineering Geophysical Society, February 20-24, 2000, Crystal City Hyatt, Arlington, VA, Conference Proceedings, pp. 223-231.
- Ardau F., Balia R., Barrocu G., Gavaudo E., Ghiglieri G., (2002) - *Recent developments in hydrogeological and geophysical research in the Muravera coastal plain (SE Sardinia, Italy)*, Proceedings 17th Salt Water Intrusion Meeting Delft 2002, pp. 456-460.
- Ardau F., Barbieri G., Barrocu G., Ghiglieri G. (1996) - *Application of isotope techniques to investigate groundwater pollution by seawater intrusion*, CRP on the Application of Isotope Techniques to Investigate Groundwater Pollution - IAEA, Vienna (Austria).
- Ardau F., Ghiglieri G., Vernier A., (1994) - *Salination of coastal aquifer of the Turritana Plain: an important factor conditioning land and use*, atti del 13th convegno SWIM, Villasimius 5-10 Giugno 1994, pp. 335-342

- Arrigoni P.V., (1968) - *Fitoclimatologia della Sardegna*. Webbia 23, Ist. Botanico Univ. Firenze, Fondazione F. Parlatore, pubbl. n. 102, Firenze, pp.1-100.
- Aru A. et al., (1968) - Regione Autonoma della Sardegna, Piano Generale delle Acque, *I suoli delle aree irrigabili della Sardegna*.
- Aru A., Baldaccini P., Loj G., (1989) - *I suoli: caratteristiche che determinano la loro marginalità e la loro valutazione per il pascolo*. in *Sistemi Agricoli Marginali. Lo scenario Margine-Planargia*, a cura di Idda L.-Aru A. et al. 1991.
- Aru A., Baldaccini P. et al., (1992) - Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Programmazione, Bilancio e Assetto del Territorio, Dip. Scienze della Terra Univ. Cagliari, Cagliari-*Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000*.
- Aru A., Tomasi D., (2002) - *Groundwater pollution in an intensive farming area (Arborea, Sardinia)*, atti SWEMP, Ciccu R. (Ed.), Cagliari, Italy, 7-10 ottobre, 2002 pp. 1229-1236.
- Assorgia A., Barbieri G., Fadda A., Ghiglieri G., Perra S., (1993) - *Impiego dei Gamma Ray Logs nell'interpretazione litostratigrafia*, III Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Potenza 28-30 Ottobre 1993, (Geologia Applicata e Idrogeologia Vol XXVIII, pp. 43-49 – ISSN 0435-3870).
- Atea L. et al., (1990) - *Il bacino bauxitico della Nurra (SS). Il progetto di fattibilità della miniera di Olmedo*, Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina, numero 3, anno XXVII.
- AA.VV., (1973) - Cassa per il Mezzogiorno, Servizio Aree e nuclei Industriali, Ufficio Acquedotti della Sardegna, Acquedotto industriale per l'agglomerato di Porto Torres del nucleo di industrializzazione di Sassari (Prog. SAI – SS – 292), - *Planimetria in scala 1:5000*.
- AA.VV., - Cassa per il Mezzogiorno, Servizio Aree e nuclei Industriali, Ufficio Acquedotti della Sardegna. Acquedotto industriale del Coghinas per gli agglomerati di Sassari e Alghero (Prog. SAI – SS – 794), *Piano parcellare*.
- AA.VV., (2001) - Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato dei Lavori Pubblici, Ente Sardo Acquedotti e Fognature, Geocopre s.p.a., Opere Pubbliche s.p.a., *Alimentazione dell'abitato di Alghero dal Coghinas a Truncu Reale, Progetto esecutivo, in scala 1:10000*.
- AA.VV., (2001) - *Liquami zootecnici- Manuale per l'utilizzazione agronomica*, Edizioni Informatore Agrario.
- AA.VV., (2003) - Agenda 21, *1° rapporto sullo stato dell'ambiente-Città di Alghero*, 191 pp.
- AA.VV., (2003) - Provincia di Sassari, Piano Urbanistico Provinciale e Piano Territoriale di Coordinamento, Settore XI - Programmazione e Pianificazione Territoriale, Ufficio del Piano, *Il sistema delle acque, Geografia dell'organizzazione dello spazio*, pp. 9-100.
- Baldaccini P, Dettori B., Ginesu S., Madrau S., Marchi M., Passino A.M., Pietracaprina A., Pulina M.A., (1981) - *Il rilievo integrale dell'area Tottubella (Sardegna nord-occidentale)*, atti Ist. Mineralogia e Geol., Sassari, vol. 2.

- Baldaccini P., Forteleoni G., Ginesu S. et al. , (1983) - *Rapporti tra suoli, loro capacità d'uso ed erosione in un bacino campione sui sedimenti miocenici del Logudoro. Prime osservazioni: S. Maria di Sea (Sassari)*, atti Ist. Geopedologia e Geol. Applic., Sassari, 4, pp. 5-49.
- Baldaccini P., Madrau S., Deroma M.A., (1995) - *I suoli del bacino del rio d'Astimini - Fiume Santo. Valutazione della loro attitudine al miglioramento pascoli. Il ruolo della Pedologia nella Pianificazione e gestione del Territorio*, atti Convegno SISS, Cagliari, pp. 287.
- Baldaccini P., Previtali F., Madrau S. et al., (1995) - *Study of rio d'Astimini basin and problems relating to desertification. Pedological outlines. In Land Use and Soil Degradation. Medalus In Sardinia*, proceedings of the Conference held in Sassari, Italy, 25 May 1994, Aru A., Enne G., Pulina G. editors, Alghero, pp. 77 - 86.
- Balia R., Boi A., Fanni M., Ghiglieri G., (1999) - *Multimethod geophysical survey on a karst area*, atti del 5° Meeting EEGS, Settembre 1999, Budapest (Ungheria).
- Balia R., Gavaudo' E., Ardaù F., Ghiglieri G., (2003) - *Geophysical approach to the environmental study of a coastal plain*, Journal of Applied Geophysics, Elsevier ISSN 0926-9851, September 2003, Volume 68, NO 5, pp. 1446-1459.
- Balia R., Gavaudo' E., Ghiglieri G., (2001) - *Geophysical survey of a karst area – a case study from Sardinia. Italy*, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics 6, 2001, pp. 167-180, ISSN 1359-8155.
- Barbecot F., Marlin C., Gibert E., Dever L., (2000) - *Hydrochemical and isotopic characterisation of the Bathonian and Bajocian coastal aquifer of the Caen area (northern France)*, Applied Geochemistry, 15, pp. 791-805.
- Barbieri G., Barbieri M., Cambuli P., Ghiglieri G., Vernier A., Vigo A., (2004) - *Caratterizzazione tipologica dei rapporti tra fenomeni di desertificazione ed acque superficiali e sotterranee, osservati e studiati in Sardegna*, atti "IV° Congrès International Environnement et Identità en Méditerranée" Corte 19-25 juillet 2004.
- Barbieri G., Fidelibus M.D., Grassi S., Raes H., Vernier A., (1994) - *Hydrogeological and hydrochemical observations on salinization processes in the coastal Campidano Plain (south-eastern Sardinia)*, proceedings of 13<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Cagliari, G. Barrocu (Ed.), Università degli Studi di Cagliari, pp. 137-146.
- Barbieri G., Ghiglieri G.(1992) - *Produttività di alcuni pozzi perforati nelle vulcaniti Mioceniche della Sardegna Sud- Occidentale*, II Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Viterbo 28-31 Ottobre 1992, (Rivista Geologica Romana Vol.XXX, pp. 245-250 – ISSN 0435-3927).
- Barbieri G., Ghiglieri G. (1994) - *Artificial recharge tests in a sandy aquifer*. Proceedings of 25th Congress of the International Association of Hydrogeologists - Water Down Under 94 Water Down Under 94. Volume 2 A - Groundwater Papers, pp. 7-12 IEAust: Barton, 1994 SP: National Conference Publication (NCP 94/10) - Adelaide, South Australia 21-25 Novembre 1994.

- Barbieri G., Ghiglieri G. (1994) - *Overexploitation and salt water intrusion in the alluvial aquifer of the Rio Foxi basin, Villasimius (southern Sardinia)*, 13th SWIM, Villasimius 5-10 Giugno 1994 (atti del convegno 353-361).
- Barbieri G., Ghiglieri G., (1994) - *Vulnerabilità e inquinamento degli acquiferi sabbiosi nell'area industriale di Portovesme (Sardegna sud-occidentale)*, IV Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, 18-21 Ottobre 1994, Riccione.
- Barbieri G., Ghiglieri G., Cau P., Gallo C., Muscas L., (2001) - *Integrazione GIS e software modellistici per l'analisi di qualità ambientale dell'acquifero di Portovesme (Sardegna SW)*, atti del Convegno ASITA 2001, 1, pp. 459-464.
- Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A., (2003) - *Caratterizzazione tipologica dei rapporti tra fenomeni di desertificazione ed acque superficiali e sotterranee, osservati e studiati nelle Regioni dell'Obiettivo 1 Sviluppo del sistema di riferimento per la rappresentazione sistematica delle tipologie riscontrate*, Luglio 2003 (Rapporto di progetto MIUR: RIADE)
- Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A., (2004) - *Proposta di strategie di gestione sostenibile della risorsa idrica, in ambiente mediterraneo, finalizzata agli interventi per la lotta alla desertificazione (Sardinia NW, Italy)*, Actes du Congrès International Environnement Identité Méditerranée – EIM 2004– Gestion de l'eau - 2.4.1 (CD), Corte 19-25 Luglio 2004.
- Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A., (2005) - *Aquifer vulnerability in the alghero plain for integrated water resources management in nw Sardinia*, 2nd International Workshop, AVR 05 Aquifer Vulnerability and Risk 05 4° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee Parma 2005, atti (ID259) ISBN:88-901342-2-4 © 2005 GEAM All rights reserved.
- Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A., Barbieri G., Ghiglieri G., Vernier A., Barbieri M., Carletti A., Demurtas N., Pinna R., Vigo A., (2005) - *Impostazione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee ed individuazione di indicatori di qualità ambientale per la lotta alla desertificazione* 2nd International Workshop, AVR 05 Aquifer Vulnerability and Risk 05 4° Convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee Parma 2005 – Atti (ID259)ISBN:88-901342-2-4 © 2005 GEAM All rights reserved. Rivista IGEA – Ingegneria e Geologia degli Acquiferi n. 21 2006 ISSN 1121-9041
- Barca S., Costamagna L.G., (1997) - *Compressive 'Alpine' tectonics in Western Sardinia (Italy): geodynamic consequences*, C.R. Acad. Sci. Paris, 325, pp. 791-797.
- Barrocu G., Ghiglieri G., Cau P.L., Uras G., (2002) - *Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale del Campidano di Oristano – Atlante delle carte di vulnerabilità delle regioni italiane*, (Pubblicazione CNR-GNDCI n. 2500) Arti Grafiche Nencini, Siena, pp.236-237.
- Barrocu G., Ghiglieri G., Uras G., (1998) - *Rapporto sull'attività scientifica svolta nel decennio 1986-1995 dalla U.O. 4.12 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche CNR* (responsabile Prof. Giovanni Barrocu). Rapporto CNR-GNDCI Linea di Ricerca n. 4 pp 1-26.

- Barrocu G., Ghiglieri G., Uras G., (1999) - *Il GIS per la vulnerabilità degli acquiferi nella pianificazione per la Protezione Civile*. La Regione Sardegna. 3° Convegno Nazionale sulla protezione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre. Supplemento Speciale della Rivista "Quaderni di Geologia Applicata" Pitagora Editrice (pp 1.342-1.348) ISBN 88-371-1149-5 (Pubbl. GNDICI-CNR n. 2000).
- Batteta D., Carletti A., Deroma M., Ghiglieri G., Uras G., (2004) - *Idrogeologia dei carbonati miocenici della piana di Porto Torres (Sardegna settentrionale)*, 32nd International Geological Congress, Firenze 2004 (abstract).
- Bear J., Cheng A.H.-D., Sorek S., Ouazar D. and Herrer I., (Eds.), (1999) - *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices*, Springer, 640 pp. ISBN: 0792355733.
- Beekman H.E., (1991) - *Ion chromatography of fresh- and seawater intrusion*, PhD. Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Bordi, I., Frigio S., Parenti P., Speranza A. and Sutera A., (2001) - *The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns*, Ann. Geofis. 44, 5-6, pp. 979-993.
- Ben-Itzhak LL, Gvirtzman H., (2005) - *Groundwater flow along and across structural folding: an example from the Judean Desert, Israel*, Journal of Hydrology, 312, pp. 51-69.
- Cambula F., (a.a. 1995-1996) - Università degli Studi di Cagliari, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento Ingegneria del Territorio, Sezione di Idraulica *Analisi dello schema di approvvigionamento idrico del comprensorio della Nurra*, tesi di Laurea, 95 pp.
- Carmignani L. et al.. (1995) - *Carta Geologica della Sardegna scala 1:200000*.
- Carmignani L., Cocozza T., Minzoni N., Pertusati P.C., Ricci C.A., (1979) - *È la Corsica il retropaese della catena ercinica della Sardegna*, Mem. Soc. Geol. It., Roma, 20, pp. 47-55.
- Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzaretto A., Lotta D., Oggiano G., (1995) - *Relationship between the Tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica Provençal Domain and the Northern Apennines*, Terra Nova, Oxford, 7, pp.128-137.
- Cartwright I., Weaver T.R., Fulton S., Nichol C., Reid M. and Cheng X., (2004) - *Hydrogeochemical and isotopic constrains on the origins of dryland salinity, Murray basin, Victoria, Australia*, Applied Geochemistry, 19, pp. 1233-1254.
- Cerchi A., Tremolieres P., (1984) - *Nouvelles données sur l'évolution structurale au Mésozoïque et au Cénozoïque de la Sardigne et leur implications géodynamiques dans le cadre méditerranéen*. C R. Acad. Sci. Paris, 298, pp. 889-894.
- Cerri G., Cappelletti P., Langella A., de' Gennaro M., (2001) - *Zeolitization of Oligo-Miocene volcanoclastic rocks from Logudoro (northern Sardinia, Italy)*, Contrib. Mineral. Petrol., 140 (4), pp. 404-421.
- Cerri G., Mameli P., (2004) - *Secondary mineral assemblages within epiklastites of western Logudoro, Sardinia, Italy*, Rocky Mountain (56<sup>th</sup> Annual) and Cordilleran (100<sup>th</sup> Annual)

- Joint Meeting (May 3–5, 2004), in Geological Society of America Abstracts with Programs, 36 (4), 81.
- Cheng, A.H.-D. and Ouazar D., (eds.), (2003) - *Coastal Aquifer Management--Monitoring, Modeling, and Case Studies*, CRC Press, ISBN 1-56670-605-X.
- Clarke G.C., Woodhall D.G., Allen D., Darling G., (1990) - *Geological, volcanological and hydrogeological controls on the occurrence of geothermal activity in the area surrounding near lake Naivasha, Kenya*, Ministry of Energy Report, Kenya, 245 pp.
- Custodio E. and Bruggeman G. A., (Eds.), (1987) - *Groundwater problems in the coastal areas. Studies and reports in hydrology*, n. 45, UNESCO, Paris, ISBN 92-3-102415-9, 595 pp.
- Civita M., (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*, Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, 31, Pitagora Editrice, Bologna, 325 pp.
- Civita M., (2005) - *Idrogeologia applicata ed ambientale*, Casa Editrice Ambrosiana, 794 pp.
- Civita M., De Maio M., (2000) – *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*, Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, 72, Pitagora Editrice, Bologna, 226 pp.
- Costantini E.A.C., (1991) - *La classificazione dei suoli*, in il suolo. Pedologia nella scienza della terra e nella valutazione del territorio, a cura di Cremaschi M. e Rodolfi G., La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- D'Angelo M., Madrau S., (1999) - *Lo studio dei suoli e della copertura delle terre: un contributo alla gestione del territorio*, in Protezione dell'ambiente e delle risorse naturali, a cura di Gutierrez M., Quaderni dell'Istituto di Studi politico-Giuridici dell'Università di Pavia, n. 5, pp. 137 - 165, Cedam.
- D'Angelo M., Madrau S., (1999) - *Lo studio dei suoli e della copertura delle terre: un contributo alla gestione del territorio: Carta della attitudine d'uso delle penisole di Capocaccia e di Punta Giglio (scala 1:50000)*, in Protezione dell'ambiente e delle risorse naturali, a cura di Gutierrez M. Quaderni dell'Istituto di Studi politico-Giuridici dell'Università di Pavia, Cedam.
- Darling W. G., Edmunds W. M., Smedley P. L., (1997) - *Isotopic evidence for palaeowaters in the British Isles*, Applied Geochemistry, 12, pp. 813-829.
- Delitala A.M.S., (2005) - *Decadal variability and trends in different aspects of Sardinia precipitation during the 20th century and associated large-scale features*, Agrometeorological Service of Sardinia, Technical Report.
- Deriu M., (1955) - *Le rocce vulcaniche della regione di Bosa*, Periodico di Mineralogia, 2, pp. 119-310.
- Domenico P.A., Palciauskas V.V., (1973) - *Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional ground-water flow*, Geol. Soc. Am. Bull., 84, pp. 3803-3813.

- Dettoni B., (1974) - Istituto di Mineralogia e Geologia, Università degli Studi di Sassari, *Il Catasto delle sorgenti della Provincia di Sassari: metodo e finalità*.
- Dickinson R.E., Henderson-Sellers A., Rosenzweig C., Sellers P.J., (1991) - *Evapotranspiration models with canopy resistance for use in climate models, a review*, Agric. For. Meteorol., 54, pp.373-388.
- Eschena T., (1977) - *Appunti dalle lezioni di Chimica Agraria. Il Suolo*, Liguori ed., Napoli.  
<http://www.sitaiweb.it>
- Fakir Y., El Mernissi M., Kreuser T., Berjami B., (2002) - Natural tracer approach to characterize groundwater in the coastal Sahel of Oualidia (Morocco) Environmental Geology, 43, pp.197-202.
- FAO , (1976) - *A Framework for Land evaluation*, Soil Bulletin n. 32, Roma.
- FAO, UNESCO, (1989) - Intern. Soil Reference and Information Centre, *Soil Map of the World, Revised legend*, World Soil Resources report n.60, Roma.
- FAO, (1977) - *Guidelines for soil description*, 3rd ed. Roma.
- FAO, (1991) - *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*, F.A.O. Soil Bull. n. 58, Roma.
- FAO, (1997) - *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers, Guidelines for Study, Monitoring and Control*, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Italy, Water Report #11, ISBN: 9251039860 , 152 pp.
- FAO, ISSS, ISRIC, (1998) - *World Reference Base for Soil Resources*, World Soil Resource Report n. 84, Roma.
- FAO, ISRIC, IUSS, (1999) - *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports n. 84, Roma, versione italiana a cura del Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo, 1999, Firenze.
- Fidelibus M.D., (2003) - *Environmental tracing in coastal aquifers: old problems and new solutions*, proceedings of TIAC 2003, Alicante (Spain), II, pp. 79-111.
- Fidelibus M.D., Lambrakis N., Morell I., Zuppi G.M., (2004) - *Role of clay sediments in karst coastal aquifers*, in Tulipano L. et al. (Eds), Final Report of COST Action 621 “Groundwater management of coastal karstic aquifers”, Office for the Official Publications of European Communities, II, EUR 21366, ISBN 92-898-0015-1, Part II, Chap. 3.6, pp.172-180.
- Fidelibus M.D., Tulipano L., (1996) - *Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy)*, 14<sup>th</sup> SWIM, Malmo, Sweden, in Rapportur och meddelanden, Geological Survey of Sweden, 87.
- Fidelibus M.D., Tulipano L., (2005) - *Groundwater temperature as environmental tracer*, proceedings of 7th Hellenic hydrogeological conference, Athens 2005 , V.2, pp. 211-218.

- Filigheddu R., Oggiano G., (1984) - *Contributo alla stratigrafia delle bauxite e del Cretaceo della Nurra mediante lo studio di un livello pollinico*, atti Soc. Sarda. Sc. Nat., 91, pp.1-8, Sassari.
- Forteleoni G., (1981) - *Stratigrafia di alcuni sondaggi della Nurra centrale (Sardegna)*, atti. dell'Istituto di Mineralogia e Geologia-Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Sassari, 1, pp. 1-17.
- Foster S.S.D., (1987) - *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy*, atti Int. Conf. Vulnerab. of Soil and Groundw. to Pollutants, RIVM Proc. And Inf.38, pp. 69-86
- Foster S.S.D., Hirata R., (1988) - *Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data*, Pan. Amer. Cent. for Sanit. Engin. And Envir. Scienc. (CEPIS), Lima, 81 pp.
- Funedda A., Oggiano G., Pasci S., (2000) - *The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia*, Boll. Soc. Geol. It., 119, pp. 31-38.
- Genio Civile di Sassari, (2003) - Ufficio Concessioni per la Ricerca e l'Uso delle Acque Sotterranee, Regione Autonoma della Sardegna, *denunce dei pozzi*.
- Ghiglieri G., (1991-1994) - *Sperimentazione di ricarica artificiale negli acquiferi sabbiosi in un sito inquinato da effluenti industriali (Portovesme, Sardegna sud-occidentale)*. Tesi di Dottorato. Biblioteche Nazionali di Roma e Firenze (Coll.:TDR 1996 00238) – BNI 97-716T
- Ghiglieri G., (1996) - *Vulnerabilità degli acquiferi, cartografia tematica. Relazione finale della attività di ricerca C.N.R.* Biblioteca IRPI CNR Perugia.
- Ghiglieri G., (2004) - *Possibilità di intervento sulle acque sotterranee contaminate: il caso di Portovesme (Sardegna SW)*, Seminario sulla Desertificazione Iglesias, 09 Giugno 2004, Regione Autonoma della Sardegna.
- Ghiglieri G., D'angelo M., Dore M, Madrau S., Musinu S., (2005) - *Approccio multidisciplinare per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico. I bacini del rio Badde Manna e del Rio di Banari (Sardegna NW, Italy)*, Geologia Tecnica e Ambientale ISSN 1722-0025 (in fase di accettazione).
- Ghiglieri G., Dore M., Pulighe G., (2004) - *Valutazione della propensione al dissesto idrogeologico del bacino del rio badu crabili (Nord Sardegna, Italia)*, Congresso Internazionale Environnement Identité Mediterranée – EIM 2004 Corte 19-25 Luglio 2004. Actes du Congrès International 2.2.2 (CD).
- Ghiglieri G., Oggiano G., Fidelibus D., Barbieri G., Vernier A., Tamiru A., (2006) - *Geological and structural controls on hydrogeochemistry in the Nurra area, Sardinia (Italy)*, Hydrogeology Journal Springer Verlag ISSN 1431-2174 (in fase di accettazione).
- Gianelli G., Mekuria N., Battaglia S., Chersicla A., Garofalo P., Ruggieri G., Manganelli M., Gebregziabher Z., (1998) - *Water-rock interaction and hydrothermal mineral equilibria in the Tendaho geothermal system*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 86, pp.253-276.

- Giggenbach W.F., (1981) - *Geothermal mineral equilibria*, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 45, pp. 393-410.
- Giggenbach W.F., (1995) - *Composition of magmatic components in hydrothermal fluids*. In *J.F.H Thompson (ed) Magmas, fluids, and ore deposits*, Mineralogical association of Canada Short course, 23, pp. 247-261.
- Giménez E., Fidelibus M.D., Morell I., (1995) - *Metodología de análisis de facies hidroquímica aplicada al estudio de la intrusión marina en acuíferos detríticos costeros: aplicación a la Plana de Oropesa (Castellón)*, *Hidrogeología*, 11, pp. 55-72.
- Gimenez E., Morell I., (1997) - *Hydrogeochemical analysis of salinization processes in the coastal aquifer of Oropesa, Spain*, *Environ. Geol.*, 29(1/2), pp.118-131.
- Gomis-Yagues V., Boluda-Botella N., Ruiz-Bevi F., (1997) - *Column displacement experiments to validate hydrogeochemical models of seawater intrusions*, Technical note. *Journal of Contaminant Hydrology*, 29, pp. 81-91.
- Hanshaw B.B., Back W., (1979) - *Major geochemical processes in the evolution of carbonates aquifer systems*, *Journal of Hydrology*, 43, pp. 287-312.
- Henley R.H., Elus A.J., (1983) - *Geothermal systems, ancient and modern: a geochemical review*, *Earth Sciences Reviews*, 19, pp.1-50.
- Herman J.S., Back W., (1984) - *Mass transfer simulation of diagenetic reactions in the groundwater mixing zone*, *Geological Society of America Abstracts*, 97<sup>th</sup> Annual Meeting, Reno, Nevada, 16.
- Howard K.W.F., Lloyd J.W., (1983) - *Major ions characterization of coastal saline ground waters*, *Ground Water*, 21 (4), pp. 429-437.
- Kapelj S., Lambrakis N., Morell I., Petalas C., (2003) - *Sources of aquifer salinisation Final Report of Action COST 621 "Groundwater management of karst coastal aquifers"*, Office for the Official Publications of European Communities, II, EUR 21366, ISBN 92-898-0015-1, Part II, Chap. 3.4, pp. 152-157.
- Karamanderesi I.H., Helvacı C., (2003) - *Geology and hydrothermal alteration of the Aydin-Salavati geothermal field. Western Anatolia, Turkey*, *Turkish Journal of earth sciences*, 12, pp.175-198.
- Kosmas, C., Kirkby M. and Geeson N., (1999) - *The MEDALUS project. Mediterranean Desertification and land use*, in *Manual on key indicators of Desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. European Commission, Brussels.
- Jones B.F., Vengosh A., Rosenthal E., Yechieli Y., (1999) - *Chapter 3: Geochemical Investigations*, Bear J., Cheng A.H.D., Sorek S., Ouazar, D., and Herrera, I. (Eds.), *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods and Practises*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 51-72.
- INEA, (2005) - *Progetto MONIDRI, Programma Operativo Risorse Idriche Casi4*.

- INEA, (2006) - *Progetto MONIDRI - Schema di distribuzione della risorsa idrica per uso irriguo del Consorzio di Bonifica della Nurra.*
- ISTAT, (1991) - *Caratteristiche strutturali delle aziende agricole, fascicoli provinciali, Sassari, 4° Censimento generale dell'agricoltura.*
- ISTAT, (2000) - *Caratteristiche strutturali delle aziende agricole, fascicoli provinciali, Sassari, 5° Censimento generale dell'agricoltura.*
- ISTAT, (2002) - *Statistiche dell'agricoltura-anno 1999- annuario ISTAT n. 47.*
- Lambrakis N., Kallergis G., (2001) - *Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece: modelling of groundwater refreshing patterns under natural recharge conditions*, Journal of Hydrology, 245, pp. 19-31.
- Leach T.M., Muchemi G.G., (1987) - *Geology and hydrothermal alteration of the north and west exploration wells in the Olkaria geothermal fields in Kenya*, proceedings of the 9<sup>th</sup> New Zeland geothermal workshop, Geothermal Institute, Aukland, pp. 187-192.
- Longinelli A., Selmo E., (2003) - *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*, Journal of Hydrology, 270, pp. 75-88.
- Liu C. W., Chen J. F., (1996) - *The simulation of geochemical reactions in the Heng-Chun limestone formation, Taiwan*, Appl. Math. Modelling, 20, pp. 540-558.
- Macciocco G., (2003) - *Provincia di Sassari, Piano Urbanistico Provinciale Piano Territoriale di Coordinamento*, 217 pp.
- Madrau S., (1979) - *Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria, Le Terre Rosse della Nurra di Alghero*, Tesi di Laurea, Anno Accademico 1977-78 , Sassari.
- Madrau S., (1985) - *Indagine geomorfologica e pedologica dell'area la Corte (Nurra, Sardegna). Brevi note illustrative della carta pedologica*, Boll. Soc. Sarda Sc. Naturali, vol. XXIV, pp. 37-48, Sassari.
- Madrau S. Deroma M., Dessi G., Goussikpe Y ., (1995) - *Soil properties and trafficability of rio d'Astimini-fiume Santo experimental area*. Land Use and Soil Degradation: Medalus in Sardinia, proceedings of the Conference held in Sassari 25.05.1994, Aru A., Enne G., Pulina G., editors, Alghero (SS), pag. 211-221.
- Madrau S., (1995) - *Caratteristiche pedologiche dell'area intorno al complesso megalitico di Monte Baranta (Olmedo, SS)*, Nuovo Bullettino Archeologico Sardo 5, 1993-95, Delfino Editore, Sassari, pp. 1-21.
- Madrau S., (1996) - *Caratteristiche pedologiche del territorio di Alghero*, in Alghero e il suo volto, Delfino ed., Sassari, 1, pp. 23 -32.
- Madrau S., (1999) - *Lo studio dei suoli e della copertura delle terre: un contributo alla gestione del territorio: Carta dei suoli delle penisole di Capocaccia e di Punta Giglio (scala 1:25000)* in Protezione dell'ambiente e delle risorse naturali, a cura di Gutierrez M., Quaderni dell'Istituto di Studi politico-Giuridici dell'Università di Pavia, n. 5, Cedam.

- Madrau S., Loj G., Baldaccini P., (1999) - *Modello per la valutazione della attitudine al pascolo dei suoli della Sardegna*, Centro Stampa Ersat, Cagliari.
- Madrau S., (2005) - Progetto Riade, *Carta dei suoli Scala 1:50000*.
- Madrau S., - *I suoli come indicatori paleoclimatici. Alcune sequenze di paleosuoli nell' area Fiumesanto (Sassari). Prime osservazioni*, in monografia a cura del prof. S. Ginesu, Università di Sassari, in stampa.
- Majorowicz J.A., Jones F.W., Lam H.L. and Jessop A.M., (1981) - *The variability of heat flow both regional and with depth in Southern Alberta, Canada: the effect of groundwater flow?* Tectonophysics, 106, pp. 1-29.
- Mameli P., (2000) - *Rilevamento e caratterizzazione mineralogica della caolina della Sardegna settentrionale e proposta di impiego in settori non convenzionati*, PhD Thesis., University of Sassari, Italia, 125 pp.
- Mameli P., (2001) - *Occurrence of halite in kaolin of NW Sardinia: genetic implications*, 10th International Symposium on water-rock interaction, R. Cidu (ed.), Balkema Publishers, Lisse, 1, pp.729-733.
- Marceddu E., (1979) - Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria, Tesi di Laurea, Anno Accademico 1978-79, *Prime considerazioni sui suoli con accumuli di carbonati della Sardegna*, Sassari.
- Mark P.S., Mauk J.L., (2001) - *Hydrothermal alteration and hydrologic evolution of the golden cross epithermal Au-Ag Deposit, NewZeland*, Economic Geology, 96, pp. 773-796.
- Marongiu A. (1995) - Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria, Tesi di Laurea, Anno Accademico 1994-95, *Valutazione del rischio ambientale come strumento per limitare i processi di desertificazione. Un esempio nel territorio di Villanova Monte Leone (Sardegna nord-occidentale)*, Sassari.
- Marongiu S., (2006) - DEAR MONIDRI, *Descrizione del Consorzio di Bonifica della Nurra e delle caratteristiche della distribuzione irrigua*, Progetto MONIDRI - INEA, 28 pp.
- Martinez D.E., Bocanegra E.M., (2002) - *Hydrogeochemistry and cation exchange processes in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina*, Hydrogeology Journal, 10, pp.393-408.
- McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J., (1993) - *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17–22, Anaheim, California, pp. 179–184.
- Moretti A. et al., (1959) - *Carta Geologica D'Italia scala 1:100000*, Fogli 192, 179, 180, 193.
- Motroni A., Canu S., Bianco G. and Loj G., (2003) - *Development of a Geographic Information System for assessing and monitoring Environmentally Sensitive Areas to Desertification in Sardinia*, in "Desertification: actors, research, policies", Comitato Nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione, Roma.

- Ministero dei Lavori Pubblici - Servizio Idrografico del Genio Civile, (1951-85) - *Annali idrologici*, PZS, Roma.
- Ng K.C., Jones B., (1995) - *Hydrogeochemistry of of Grand Cayman, British West Indies: implications for carbonate diagenetic studies*, J. of Hydrology, 164, pp. 193-216.
- Niedda M., (2000) - *Simulation of ground-water flow in steep basin with shallow surface soil*, J. Hydraul. Eng., ASCE, 126, 670-678.
- Niedda M., (2004) - *Upscaling hydraulic conductivity by means of entropy of terrain curvature representation*, Water Resources Research (USA), Vol. 40, No. 4, W04206, doi: 10.1029/2003WR002721.
- Niedda M., Cambula F., (2004) - *L'entropia della descrizione topografica del terreno per una relazione di scala della conducibilità idraulica del suolo*, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento.
- Oggiano G., Sanna G., Temussi I., (1987) - *Caractères géologiques et géochimiques de la bauxite de la region de la Nurra*. 'Groupe Français du Crétacé', Sardinia 24-29, Mai, 1987, pp.72-124.
- Onida G., (1982) - Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria, Tesi di Laurea, Anno Accademico 1981-82, *Il rilievo integrale del territorio quale presupposto fondamentale per la ottimizzazione delle sue risorse (Nurra di Portotorres)*, Sassari.
- Park S.C., Yun S.T., Chae G.T., Yoo I.S., Shin K.S., Heo C.H., Lee S.K., (2005) - *Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea*, Journal of Hydrology 313, pp. 182-194.
- Parkhurst D.L., (1995) - *Users guide to PHREEQC – A computer program for speciation, reaction-path, advective transport, and inverse geochemical calculations*, U.S. Geol. Survey Water Resources Invest. Report, pp. 95-4227.
- Philip J., Allemann J., (1982) - *Comparasion entre les plates-formes du Crétacé supérieur de Provence et de Sardaigne*, Cret. Res., 3, pp. 35-45.
- Pietracaprina A., (1964) - *I suoli della Sardegna nord-occidentale*, Studi Sassaesi, Sez. III, vol. XII, fasc. pp. 1-102, Sassari.
- Pietracaprina A. et al., (1980) - Istituto di Mineralogia e Geologia, Facoltà di Agraria, Università di Sassari, *Sintesi monografica delle risorse idriche sotterranee della Sardegna*, Allegati *Carta delle Risorse Idriche della Sardegna*, Schema Idro-Geologico scala 1:250000.
- Pinna M., (1977) - *Climatologia*, Manuali di Geografia n. 5, UTET, Torino.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico, (2001) - *Memorie Descrittive della Carta Geologica D'Italia*, volume LX.
- Progemisa SpA, (1988) - Legge Mineraria 752/82 art. 9, Unità mineraria "Bauxite Nurra", Allegati Cartografici: P.R. Olmedo, P.R. Nuraghe Majore, P.R. Nuraghe Fighera, P.R. Rio Su Mattone.

- Progemisa SpA Miniera di Olmedo, (1988) - *Carta gradienti della Falda*.
- Progemisa SpA Miniera di Olmedo, (1988) - *Carte isofreatiche 1:5000*.
- Progemisa SpA Miniera di Olmedo, (1988) - *Carta paleomorfologia pre-oligocenica*.
- Progemisa SpA Miniera di Olmedo, (1988) - *Carta spessori falda 1:5000*.
- Progemisa SpA Miniera di Olmedo, (1988) - *Idrogeologia del giacimento di olmedo*.
- Pulina M.A., (1995) - *General climatic outlines of the Rio d'Astimini - Fiume Santo basin*, Land Use and Soil Degradation: Medalus in Sardinia, proceedings of the Conference held in Sassari 25/05/1994, Aru A., Enne G., Pulina G., editors.
- Raimondi S., Baldaccini P., Madrau S., (1995) - *Caratteristiche del clima e del pedoclima dei suoli della Sardegna negli anni 1951- 80*, atti Convegno SISS Il ruolo della Pedologia nella Pianificazione e gestione del Territorio, Cagliari, pp. 297-306.
- Raquel Mas G., Bengocha L., Carlos M.L., (2000) - *Hydrothermal alteration at El Humazo Geothermal area, Dumuyo Volcano, Argentina*, proceedings of world geothermal system, Japan, May 28-June 10 2000, pp. 1413-1418.
- Rawls W.J., Ahuja L.R., Brakensiek D.L., Shirmohammadi A., (1993) - *Infiltration and soil water movement*, in Handbook of Hydrology, edito da D.R. Maidment, cap. 5, McGraw-Hill, New York.
- Ravnik D. and Rajver D., (1998) - The use of inverse geotherms for determining underground water flow at the Ombla karst spring near Dubrovnik, Croatia, Journal of Applied Geophysics, 39, pp. 177-190.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica, Direzione Generale della Pianificazione Urbanistica, Territoriale e della Vigilanza Edilizia (2003) - *Il SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale) e la Cartografia della Regione*.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica, Direzione Generale della Pianificazione Urbanistica, Territoriale e della Vigilanza Edilizia, (2003) - *La Carta dell'Uso del Suolo scala 1:25000*.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica, Servizio Informativo e Cartografico, (1998) - *Carta Tecnica Regionale Numerica (CTR) Scala 1:10000*.
- Regione Autonoma della Sardegna-Assessorato Difesa Ambiente, Assessorato Lavori Pubblici, Piano d'Ambito, (2002) - *Commissario Governativo per l'Emergenza Idrica, Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di Sassari-Porto Torres-Alghero Tracciato condotte per uso civile ed uso industriale nell'agglomerato industriale di San Marco (Alghero), in scala 1:25000*.

- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Servizio Tutela delle Acque, (2005) - *Piano di Tutela delle Acque, Allegato Monografie UIO: Barca*.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Servizio Tutela delle Acque, (2005) - *Piano di Tutela delle Acque, Linee generali*.
- Richter B.C., Kreitler C.W., (1993) - *Geochemical techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization*, CRC Press. Inv. FL, (USA), 258 pp.
- RIADE project (2002-2006) - Integrated Research for Applying new technologies and processes for combating Desertification [www.riade.net](http://www.riade.net)
- Runnels D.D., (1969) - *Diagenesis, chemical sediments, and the mixing of natural waters*. Jour. Sed. Petrology, . 39, pp. 1188-1201.
- Sanchez-Martos F., Pulido-Bosch A., Molina-Sanchez L., Vallejos-Izquierdo A., (2002) - *Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions (Lower Andarax, /Southeast Spain)*, the Science of the Total Environment, 297, 43-58.
- Sanford W.E., Konikow L.F., (1989)a - *Porosity development in coastal carbonate aquifers*, Geology, 17, pp. 249-252.
- Sanford W.E., Konikow L.F., (1989)b - *Simulation of calcite dissolution and porosity changes in saltwater mixing zones in coastal aquifers*, Water Resources Research. 25 (4): 655-667.
- Seki Y., (2000) - *Hydrothermal alteration in the Sunagohara formation Okuazu geothermal system, Japan*, proceedings of world geothermal system, Japan, May 28-June 10 2000, pp. 1719-1724.
- Sinclair A. J., (1974) - *Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs*, Journal of Geochemical Exploration, 3, pp. 129-149.
- Smith L. and Chapman D.S., (1983) - *On the Thermal Effects of Groundwater Flow. 1. Regional Scale Systems*, Journal of Geophysical Research, 88 (B1), pp. 593-608.
- Sposito G., (1984) - *The surface chemistry of soils*, Oxford University Press, New York, 234 pp.
- Stigliani W.M., (1994) - *Environmental impact assessment with respect to potential long-term impacts of heavy metals accumulated in soils and sediments*, in "Keeping Ahead: The Inclusion of Long-Term Global Futures in Cumulative Environmental Assessments", R.E. Munn (Ed.), Institute for environmental Studies. Environmental Monograph, n. 11.
- Stuyfzand P.J., (1993) - *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands*, PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, publ. by KIWA Ltd. Research and Consultancy, Nieuwegein, 366 pp.
- Stuyfzand P.J., Stuurman R.J., (1994) - *Recognition and genesis of various hypersaline groundwaters in the Netherlands*, proc. 13th SWIM, Cagliari, 1994, Barrocu G., (Ed.), Università degli studi di Cagliari, pp. 125-136.
- Sanna G., Mussi I., (1986) - *La miniera di bauxite di Olmedo*, L'industria mineraria n. 6.

- Servizio Geologico d'Italia, (1961) - *Carta geologica d'Italia. Fogli 179 Porto Torres*, L.A.C., Firenze.
- Servizio Geologico d'Italia, Regione Autonoma della Sardegna, (1961) - *Carta geologica d'Italia, Foglio 192*, Alghero. L.A.C., Firenze.
- Servizio Geologico d'Italia, (1961) - *Carta geologica d'Italia, Foglio 193, Bonorva*, L.A.C., Firenze.
- Servizio Geologico d'Italia, (1961) - *Carta geologica d'Italia, Foglio 180 Sassari*, Firenze.
- Sequi P., (1989) - *Chimica del suolo*, Patron Editore, 608 pp.
- Silanos L., (1965) - Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria, Tesi di Laurea, anno Accademico 1965-66, *I terreni salsi circostanti lo stagno di Calich, Sassari*.
- Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, U. S. Dept. of Agriculture, (1999) - *Soil Taxonomy. Agriculture Handbook n. 436, 2st ed.*, Washington D.C.
- Starittam P., Argillitti s.r.l, *estratto della carta areofotogrammetrica in scala 1.10000 con localizzazione sondaggi elettrici e carotaggi*.
- Staritta P., (2004) - Argillitti s.r.l., Dati non pubblicati sui sondaggi C44 e C53.
- Staritta P., (2004) - Argillitti s.r.l., *Miniera di "SA PIGADA BIANCA" Planimetria Catastale scala 1.10000*.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., (1957) - *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*, Centerton.
- Tivelli C., (1954) - E.T.F.A.S. Ente per la Trasformazione Fondiaria ed Agraria in Sardegna, Cagliari, Azienda di Rumanedda. *Relazione idrogeologica e sui sondaggi di ricerche*.
- Tulipano, L., (1988) - *Temperature logs interpretation for the identification of preferential flow pathways in the coastal Carbonatic and Karstic Aquifer of the Salento Peninsula (Southern Italy)*, proc. 21th I.A.H. Congress, Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection, Guilin (China), 1988, Geological Publishing House, Beijing, China, XXI (2), pp. 955-961
- Tulipano L., Fidelibus M.D., (1988) - *Temperature of ground waters in coastal aquifers: some aspects concerning saltwater intrusion*, in De Breuck W. (Ed.), proceedings 10th SWIM, Ghent, Belgium, 1988. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 70, pp. 308-316, 1989.
- Tulipano L., Cotecchia V., Fidelibus M.D., (1990) - *An example of multitracing approach in the studies of karstic and coastal aquifers*, proceedings Int. Symp. and Field Seminar on Hydrogeologic Processes in Karst Terranes, Antalya, Turkey, 1990, G. Gunay et al. (Eds), I.A.H.S. Publ. 207, pp. 381-389.
- Tulipano L., Fidelibus M.D., Panagopoulos A., (Eds.) (2005) - *Final Report of Action COST 621, Groundwater management of coastal karstic aquifers*, Office for the Official Publications of European Communities, II, EUR 21366, ISBN 92-898-0015-1, 366 pp.

- Thomas B., Gennessaux M., (1986) - *A two stage rifting in the basin of the Corsica-Sardinia strait*, Marine Geology, 72, pp.225-239.
- Tigistu H., Ranieri G., Tamiru A., Vernier A., Gavaudò E., Barbieri G., Ghiglieri G. (2002) - *Application of geophysical methods for the evaluation of thermal centers and their structural controls in Boku, Nazareth, Main Ethiopian Rift*, Proc. 8th Meeting Environmental and Engineering Geophysics, Aveiro, pp. 173-176, ISBN 9727890717.
- UNCCD, rapporto disponibile sul sito internet della Convenzione alla pagina <http://www.unccd.int/cop/officialdocs/incd/pdf/241inf4eng.pdf>.
- UNEP, (1994) - United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa, UNEP, Geneva.
- Università degli Studi di Sassari-Istituto di Mineralogia e Geologia, Cassa per il Mezzogiorno Roma,(1980) - *Progetto Speciale n.25 Ricerche idriche sotterranee in Sardegna - Pozzi-Stratigrafia, Vol. 38*.
- Università degli Studi di Sassari-Istituto di Mineralogia e Geologia, Cassa per il Mezzogiorno Roma, (1980) - *Progetto Speciale n. 25 Ricerche idriche sotterranee in Sardegna - Sorgenti-Profili geologici delle sorgenti, Vol. 36*.
- U. S. Dept. of Agriculture, (2003) - National Resource Conservation Service, - *Keys to Soil Taxonomy*, 9th ed. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia, USA.
- Viceconte G., (2004) - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Il sistema idrico in Sardegna*, 72 pp.
- Zavatti A., (1984) – *Tecniche di protezione ambientale-Acque sotterranee e uso delle risorse idriche*, Pitagora Editrice Bologna, 417 pp.
- Wambeke Van A., Hasting P., Tolomeo M., (1986) - Cornell University, Department of Agronomy, *Newhall Simulation Model*, Ithaca N.Y. ( rel. 1991).
- Whitaker F. F., Smart P., (1997) - *Groundwater circulation and geochemistry of a karstified bank-marginal fracture system, South Andros Island, Bahamas*. J. of Hydrology. 197, pp.293-315.
- Xu, T., Samper, J., Ayora C., Manzano M., Custodio E., (1999) - *Modeling of non-isothermal multi-component reactive transport in field scale porous media flow systems*, Journal of Hydrology, n. 214, pp. 144-164.
- Vicari L., Zavatti A., (1990) - *Inquadramento idrogeologico e idrochimico della pianura padana emiliano –romagnola. Carta preliminare della vulnerabilità del sistema acquifero*, in Zavatti A. (Ed.), Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, 11, Pitagora Editrice Bologna, pp. 145-177.



Edito dall'ENEA  
Unità Comunicazione  
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma  
*www.enea.it*

Edizione del volume a cura di Giuliano Ghisu  
Copertina: Bruno Giovannetti  
Stampa: Primaprint (Viterbo)  
Finito di stampare nel mese di novembre 2006