

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ANALISI DI VARIABILI CLIMATICHE

Attività di ricerca per lo sviluppo di metodologie di analisi di dati pluvio-disdrometrici e elaborazione di immagini telerilevate da satelliti meteorologici e di uso generale per analizzare e modellizzare le dinamiche climatologiche ed ambientali di medio e vasto raggio

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ANALISI DI VARIABILI CLIMATICHE

Attività di ricerca per lo sviluppo di metodologie di analisi di dati pluvio-disdrometrici e elaborazione di immagini telerilevate da satelliti meteorologici e di uso generale per analizzare e modellizzare le dinamiche climatologiche ed ambientali di medio e vasto raggio

*Luigi Rossi, Gaetano Pace, Stefano Natali, Simone Mantovani,
Marco Folegnani, Marco Casazza, Clelia Caracciolo*

2006 ENEA
Ente per le Nuove tecnologie
l'Energia e l'Ambiente

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 88-8286-154-6

Autori e organizzazioni di appartenenza

Luigi Rossi (ENEA - Unità CLIM-OSTES)

Gaetano Pace (Advanced Computer Systems ACS SpA)

Stefano Natali, Simone Mantovani, Marco Folegnani (Meteorological and Environmental Earth Observation – MEEO Snc)

Marco Casazza, Clelia Caracciolo (Nubila Sas)

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ANALISI DI VARIABILI CLIMATICHE

Attività di ricerca per lo sviluppo di metodologie di analisi di dati pluvio-disdrometrici e elaborazione di immagini telerilevate da satelliti meteorologici e di uso generale per analizzare e modellizzare le dinamiche climatologiche ed ambientali di medio e vasto raggio

LUIGI ROSSI, GAETANO PACE, STEFANO NATALI, SIMONE MANTOVANI,
MARCO FOLEGNANI, MARCO CASAZZA, CLELIA CARACCILO



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



INDICE

1	INTRODUZIONE.....	7
2	RILEVAMENTO DI DATI CLIMATOLOGICI ATTRAVERSO PLUDIX E CORRELAZIONE CON DATI SATELLITARI.....	9
2.1	OSSERVAZIONE DALLE STAZIONI DI SUPERFICIE	9
2.2	PARAMETRI ANALIZZATI	11
2.3	METODOLOGIA DI ANALISI	14
2.4	RISULTATI OTTENUTI	18
2.5	ANALISI SU TUTTI GLI EVENTI PER STAZIONE E CONCLUSIONI.....	121
2.6	BIBLIOGRAFIA	123
3	RICERCA DI METODI ELABORATIVI DI IMMAGINI METEO (METEOSAT, NOAA, ECC.) PER VALIDARE/RICAVARE MAPPE DI VARIABILI CLIMATICHE	125
3.1	RACCOLTA DATI SATELLITARI PER IL MODELLO DI CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI E STIMA DELLE PRECIPITAZIONI	125
3.2	IDENTIFICAZIONE DEI PERIODI DI ANALISI	126
3.3	PRE-ELABORAZIONE DEI DATI	132
3.4	INTRODUZIONE DEI CANALI SSM/I E DEI DATI MODIS	138
3.5	METODO DI CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI	140
3.6	GENERAZIONE DELLA CLOUD CLASSIFICATION MAP	143
3.7	APPLICAZIONE DEL METODO AI DATI MODIS	144
3.8	APPLICAZIONE DEL METODO AI DATI AVHRR E METEOSAT	147
3.9	METODO DI STIMA DI PRECIPITAZIONE	150
3.10	STIMA DI PRECIPITAZIONE CON IL METODO CTS	152
3.11	CALIBRAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CLASSIFICAZIONE DI NUBE E STIMA DI PRECIPITAZIONE	156
3.12	IL PROGRAMMA CRES	161
4	DSD E RILASCIO ENERGETICO DA EVENTI PRECIPITANTI.....	165
4.1	STIMA DI RILASCIO ENERGETICO AL SUOLO DA EVENTI PRECIPITANTI.....	165
4.2	APPLICAZIONE DEL METODO: DATASET RIADE.....	171
4.3	CONCLUSIONI.....	176
4.4	BIBLIOGRAFIA	177

1 INTRODUZIONE

Il presente documento tecnico riporta una serie di attività che sono state svolte nell'ambito del progetto RIADE riguardo l'analisi meteorologica, attraverso varie metodologie che utilizzano tecniche e tecnologie innovative, sia dal punto di vista strumentale che algoritmico.

Nel capitolo 2 si riporta l'analisi dei dati misurati con il Pluviometro Disdrometro, strumento innovativo per la misura della pioggia, che misura l'intensità della pioggia e la distribuzione dimensionale della precipitazione, allo scopo di ottenere informazioni importanti per lo studio della desertificazione quali ad esempio il rilascio di energia. Si analizzano le misure di 2 strumenti installati nella rete di studio del progetto e si mettono in relazione con i principali dati satellitari per effettuare correlazioni incrociate tra capacità dei satelliti utilizzati in meteorologia e misure puntuali a terra.

Nel capitolo 3, si riporta dell'attività di ricerca per lo sviluppo di metodologie di elaborazione di immagini telerilevate da satelliti meteorologici e di uso generale per analizzare e modellizzare le dinamiche climatologiche ed ambientali di medio e vasto raggio.

Infine nel capitolo 4 si riporta un'analisi tecnica sulla stima del rilascio energetico al suolo da eventi precipitanti, combinando la distribuzione dimensionale delle precipitazioni con misure effettuate da satellite.

2 RILEVAMENTO DI DATI CLIMATOLOGICI ATTRAVERSO PLUDIX E CORRELAZIONE CON DATI SATELLITARI

2.1 Osservazione dalle stazioni di superficie

Una delle descrizioni più complete della pioggia è senza dubbio data dalla sua distribuzione dimensionale (Drop Size Distribution – DSD). Molti studi sulla DSD in diversi regimi climatici ed in diverse parti del mondo sono stati compiuti in passato, dal primo lavoro di Marshall e Palmer del 1948 ad oggi, motivati dalle differenti applicazioni sulla DSD e dalla varietà di strumenti legati alle applicazioni della DSD. In particolare, lo studio della DSD e dei parametri della precipitazione da essa derivabili, ha avuto in questi ultimi anni notevoli sviluppi, per due ordini di motivi: da un lato sono stati proposti nuovi strumenti (basati su una varietà di principi fisici diversi) per misure sempre più affidabili; dall'altro si è vista la necessità di dare informazioni più ricche del semplice rain-rate per la calibrazione di sensori per la precipitazione remoti (radar e/o satelliti).

Riguardo alla strumentazione, bisogna tenere in considerazione che i diversi strumenti di misura della distribuzione dimensionale (chiamati disdrometri) presentano limitazioni intrinseche, derivate dal loro principio di funzionamento e dalla discontinuità spazio-temporale della precipitazione. Inoltre, i frequenti risultati contrastanti tra di essi possono contribuire a divergere la comprensione dei processi fisici coinvolti nella misura di distribuzione dimensionale e nella formazione della precipitazione. Sono pertanto necessari un accurato confronto tra diversi strumenti e tra i metodi utilizzati per la stima della distribuzione dimensionale.

Negli ultimi anni, molto interesse è stato rivolto a livello mondiale al confronto tra disdrometri attraverso campagne sperimentali mirate ed osservazioni multisensore. Williams et. al. (2000), durante la seconda fase del “TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission – ground validation program”, hanno confrontato un classico disdrometro di Joss-Waldvogel (JW) ad impatto elettromeccanico, un disdrometro ottico two-dimensional video disdrometer (2DVD) ed un vertically pointing profiler in Florida, trovando che il disdrometro di JW sottostima significativamente le gocce più piccole ($D < 1,5$ mm) in confronto con altri strumenti. Tokay et. al. (2001) hanno confrontato due 2DVD ed un JW assieme ad otto pluviometri basculanti in Florida, nell'ambito del programma TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Essi hanno trovato che entrambe i tipi di disdrometri sottostimano la pioggia totale, ma l'accordo è migliore tra i 2DVD ed i pluviometri. Come parte della missione TRMM, anche Tokay et. al. (2002) hanno confrontato disdrometri ottici ed a impatto in Brasile, confermando i risultati precedenti.

Un lavoro molto recente è stato presentato dal team del gruppo IIHR-Hydrosience and Engineering dell'University of Iowa, riguardo ad un confronto tra quattro disdrometri non co-locali (JW, spectropluviometro ottico a doppio fascio DBS, POSS e 2DVD) durante l'esperimento XPOW iniziato nell'ottobre 2001 in Iowa (Miriovsky et. al., 2004). Successivamente, Krajewski et. al., (2006) hanno condotto probabilmente lo studio più completo sulla DSD da misure disdrometriche in situ.

L'esperimento DEVEX (Disdrometer Evaluation Experiment) ha fornito un unico dataset ed ha utilizzato quattro disdrometri differenti (un 2DVD, un disdrometro ottico Parsivel, il classico disdrometro di JW ed il recente DBS dual beam spectro-pluviometer), un vertically pointing profiler in banda S e numerosi pluviometri basculanti collocati presso l'Iowa City Municipal Airport, Iowa City, Iowa (US) durante la primavera ed estate 2002. I risultati hanno mostrato un buon accordo tra i disdrometri, dopo l'applicazione di algoritmi di correzione per mitigare le inerenti incertezze sperimentali di ciascun strumento.

Uno strumento di recente realizzazione, PLUDIX, è un radar in banda X a bassa potenza che riceve la radiazione elettromagnetica retrodiffusa dalle idrometeore che cadono, e risale alla loro velocità (e quindi alle loro dimensioni) attraverso l'analisi dello spettro Doppler della radiazione ricevuta (Prodi et al., 2000a). Il PLUDIX, di fatto un radar in banda X a bassa potenza, campiona su un volume di circa 3 m^3 , quindi con una statistica molto più ampia rispetto ai disdrometri classici (ad esempio JW) ed è particolarmente efficace nella stima delle gocce grosse (fino a 7 mm in diametro medio). Inoltre il PLUDIX è un ottimo Present Weather Sensor ed è in grado di rilevare fino a particelle di grandine (alte frequenze dello spettro Doppler) e neve (basse frequenze dello spettro Doppler), oltre a nebbia, precipitazione molto leggera ecc. (Prodi et al., 2000b). Il disdrometro PLUDIX è stato recentemente confrontato sia con il JW in una campagna di misura di 2 anni (2001-2003) presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara, sia con un disdrometro ottico 2DVD in una campagna di misura di 3 mesi (Maggio-Agosto 2003) presso il sito di Cabauw-Utrecht in Olanda (Caracciolo et. al., 2006b).

Sono state inoltre effettuate misure simultanee di rainfall-arte e di distribuzione dimensionale per entrambi i database (Italia e Olanda); il confronto ha mostrato un ottimo accordo tra le coppie di disdrometri. In particolare, riguardo alla DSD, nel range diametrico intermedio (1-3 mm), che tutti i disdrometri rilevano, l'andamento delle DSD è simile, con il PLUDIX che è in grado di rilevare le gocce più grosse.

Le stime della distribuzione dimensionale (DSD) delle gocce di pioggia sono inoltre importanti per il remote sensing della precipitazione, sia da radar meteorologici al suolo come pure da piattaforme satellitari. In particolare, aumentare la comprensione della variabilità a piccola scala della DSD e pertanto delle caratteristiche della precipitazione, ha notevoli implicazioni sull'interpretazione delle tecniche di stima di precipitazione basate sugli strumenti di remote sensing e sulla loro incertezza. Le misure di DSD possono quindi essere utili per calibrare le tecniche di stima di precipitazione da dati satellitari e da radar.

Va rimarcato che in passato un notevole numero di studi sono stati rivolti alla precipitazione convettiva tropicale, tralasciando i fenomeni alle medie latitudini, che hanno caratteristiche peculiari, non riconducibili agli eventi tropicali con un mero esercizio di scala. Infatti solo pochi lavori hanno focalizzato l'attenzione sulla pioggia continentale alle medie latitudini (ad esempio Waldvogel, 1974; Ulbrich, 1983; Zawadski et. al., 1994). La maggior parte degli studi riguarda le piogge tropicali (tra i più importanti: Willis, 1984; Zawadski and Agostinho Antonio, 1988; Willis and Tattlemann 1989; Tokay and Short 1996; Testud et. al., 2001). Inoltre, di particolare importanza è la discriminazione tra precipitazione convettiva e stratiforme (C/S), di cui anche in questo caso gli studi alle medie latitudini scarseggiano.

Tra i lavori più interessanti c'è da citare Tokay and Short (1996), che hanno dimostrato l'eccellente rappresentatività della distribuzione gamma nel descrivere la DSD, se osservata con sufficiente accuratezza. Questi autori hanno applicato un metodo discriminante tra precipitazione stratiforme e convettiva ad eventi tropicali avvenuti durante l'esperimento TOGA-COARE nel 1992-1993, utilizzando un disdrometro JW. Il loro metodo discriminante si basa sul fatto che passando da precipitazione convettiva a precipitazione stratiforme vi è uno shift da valori alti a valori bassi nel parametro N_0 (intercetta) della distribuzione dimensionale esponenziale $N(D)=N_0\exp(-\Lambda D)$, (piogge vicino a 5 mm/h), indicando uno shift da uno spettro dominato da gocce piccole-medie, ad uno dominato da gocce grosse.

Essi hanno inoltre trovato che gli eventi convettivi sono caratterizzati da spettri con poche gocce grosse ed un gran numero di gocce piccolo-medie e quindi da elevati valori di N_0 , m e Λ (parametri della distribuzione gamma $N(D)=N_0 D^m \exp(-\Lambda D)$), mentre gli eventi stratiformi sono caratterizzati da spettri dominati da un numero elevato di gocce grosse, che forniscono valori più piccoli per tutti e tre i parametri.

Testud et. al. (2001) hanno proposto un approccio per la normalizzazione della DSD indipendente da qualunque assunzione riguardo la sua forma matematica, o da qualunque postulato riguardo la relazione tra i suoi momenti. Nel lavoro di Testud et. al. (2001) è stato inoltre rivisto lo schema di classificazione della pioggia convettiva/stratiforme considerato da Tokay e Short (1996) ed un nuovo metodo basato sull'approccio di normalizzazione è stato proposto, durante l'esperimento TOGA COARE nell'Oceano Pacifico da novembre 1992 a febbraio 1993, utilizzando una sonda bi-dimensionale su aereo. Il secondo obiettivo è stato perseguito applicando i metodi di discriminazione convettivo-stratiforme di Testud et. al. (2001) e Tokay et. al. (1996) a differenti condizioni meteorologiche verificatesi a Ferrara (Italia) (Caracciolo et. al., 2006a), utilizzando un disdrometro di JW installato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università, per testarne la loro validità alle medie latitudini. Sono stati analizzati più di due anni di dati, per un totale di circa 1900 minuti di pioggia e 40 differenti eventi meteorologici.

È stato trovato che i classici metodi discriminanti C/S non caratterizzano correttamente la precipitazione in un sito, Ferrara, abbastanza rappresentativo della climatologia italiana; pertanto, per descrivere le caratteristiche peculiari della precipitazione alle medie latitudini un nuovo metodo discriminante C/S è stato implementato. Tale metodo si è rivelato discriminare correttamente la pioggia C/S per la regione analizzata e pertanto si suppone possa essere utilizzato come valida alternativa ai metodi classici, anche per altre regioni alle medie latitudini.

2.2 Parametri analizzati

Nello studio delle precipitazioni, grande importanza ricopre la distribuzione dimensionale delle idrometeore (DSD - Drop Size Distribution), indicata con $N(D)$. Essa è definita come la densità volumetrica delle gocce di pioggia per unità di diametro delle gocce stesse ($1/m^3/mm$). La conoscenza della DSD è importante soprattutto per:

- comprendere i *processi microfisici* coinvolti nella crescita e nella formazione delle nubi e delle precipitazioni (quali collisione-coalescenza, break-up);

- rappresentare correttamente le molteplici interazioni tra le **diverse categorie di nubi e di particelle precipitanti** (drizzle, pioggia convettiva, stratiforme, ...);
- derivare alcuni importanti **parametri atmosferici** e/o radar, quali LWC (Liquid Water Content, contenuto di acqua liquida delle nubi), Z (parametro di riflettività radar) e R (rainfall-rate, precipitazione).

È importante fornire alcune definizioni dei parametri citati.

Il **LWC** è definito come l'efficienza con cui il vapor d'acqua si converte in acqua di nube. Esso è pari a:

$$LWC = (\pi\rho_w)/6 \int_{0,\infty} N(D)D^3 dD \quad (g/m^3)$$

D₀ è il diametro equivolometrico medio, ovvero il diametro per cui:

$$LWC/2 = (\pi\rho_w)/6 \int_{0,D_0} N(D)D^3 dD \quad (g/m^3)$$

Esso si misura in mm.

Z è il fattore di riflettività radar ed è definito come la somma della sesta potenza del diametro delle gocce per unità di volume ($(\sum_i D_i^6)/V$) e si esprime come:

$$Z = \int_{0,\infty} N(D)D^6 dD \quad (mm^6/m^3 \text{ o } dBZ)$$

Infine **R**, ovvero il rainfall-rate è espresso come:

$$R = \pi/6 \int_{0,\infty} N(D)D^3 v(D) dD \quad (m/s \text{ o } mm/h).$$

Se espresso in mm/h, R va moltiplicato per $3,6 \times 10^{-3}$. **v(D)** è la velocità terminale delle gocce di pioggia e, se espressa in m/s vale: $9,65 - 10,3 \exp(-0,6D)$ (Atlas et. al., 1973), con D espresso in mm. Di particolare importanza in idrologia ed in radar-meteorologia è il legame tra Z ed R del tipo $Z=AR^b$; i valori dei due coefficienti riflettono infatti il tipo di precipitazione (convettiva o stratiforme). Generalmente un alto valore di A associato ad un basso b è rappresentativo di precipitazioni convettive alle medie latitudini, mentre un basso valore di A associato ad un alto b caratterizza la precipitazione stratiforme alle medie latitudini (per le regioni tropicali è esattamente il contrario). Inoltre il coefficiente A è proporzionale al valore medio di D_0 considerato per quel particolare evento, mentre un alto valore di b rispecchia una grossa variazione di D_0 nel periodo considerato.

2.2.1 Modelli di distribuzione dimensionale

Un modello di DSD ampiamente utilizzato è quello di Marshall e Palmer (d'ora in avanti MP) (1948):

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D) \quad (mm^{-1}m^{-3})$$

dove $\Lambda = 3,67/D_0 = 4,1R^{-0,21}$ è detto parametro di slope (1/mm) ed $N_0 = 8000 m^{-3}mm^{-1}$. D_0 è il diametro equivolometrico medio = $0,9R^{0,21}$ (mm). Se rappresentiamo in una scala semilogaritmica la distribuzione dimensionale, l'equazione sopra si riduce all'equazione di una retta in cui Λ è la pendenza ed N_0 l'intercetta. Questo modello di DSD ad un parametro conduce al corrispondente legame tra R e Z: $Z=200R^{1,6}$, ricavato da MP per precipitazione stratiforme.

Dal lavoro di Marshall e Palmer nel 1948, sono state effettuate molte ricerche riguardanti la DSD. Si è infatti trovato che tale modello non descrive sufficientemente bene la precipitazione naturale. La formula è infatti valida per precipitazione stratiforme ed il parametro N_0 è assunto costante. Pertanto spesso si utilizza la cosiddetta DSD a due parametri in cui N_0 è variabile ed è utilizzato come fattore di scala:

$$N(D) = N_0 \exp(-AD) \quad (mm^{-1}m^{-3})$$

dove $A = 3,67/D_0$.

Un ulteriore approccio è stato proposto da Ulbrich nel 1983. Egli ha trovato che risultati migliori sono ottenuti se si assume un modello gamma di DSD a tre parametri del tipo:

$$N(D) = N_0 D^m \exp[-(3,67+m)D/D_0] = N_0 D^m \exp[-AD] \quad (mm^{-1}m^{-3})$$

con m fattore di shape (forma) o di curvatura, che può essere positivo o negativo ed N_0 ha ora le unità di misura di $(1/mm^{1+m}/m^3)$. Quando $m=0$ la distribuzione gamma si riduce alla MP. La distribuzione gamma è stata introdotta per tenere conto della forma della DSD per alti valori di R , caratterizzata da un deficit di gocce piccole e da una concavità della DSD per gocce grosse.

Per calcolare N_0 , A ed il parametro di shape m è stato utilizzato il metodo dei momenti. L' n -esimo momento della DSD, M_n per definizione vale:

$$M_n = \int_0, \infty N(D) D^n dD = N_0 \Gamma(m+n+1)/A^{m+n+1}$$

Utilizzando i momenti M_3 , M_4 , M_6 , Tokay e Short (1996) hanno ottenuto un sistema di tre equazioni in tre incognite, appunto N_0 , A ed m .

$$M_3 = \int_0, \infty N(D) D^3 dD = N_0 \Gamma(m+4)/A^{m+4}$$

$$M_4 = \int_0, \infty N(D) D^4 dD = N_0 \Gamma(m+5)/A^{m+5}$$

$$M_6 = \int_0, \infty N(D) D^6 dD = N_0 \Gamma(m+7)/A^{m+7}$$

Da cui:

$$m = [11G - 8 + (G^2 + 8G)^{1/2}] / 2(1-G), \text{ con } G = M_4^3 / (M_3^2 M_6)$$

$$N_0 = A^{m+4} M_3 / \Gamma(m+4)$$

$$A = (m+4)/D_m, \text{ con } D_m = M_4/M_3$$

La DSD che si osserva al suolo è legata ai processi microfisici all'interno delle nubi e caratterizza i differenti processi precipitanti. L'interazione collisionale delle gocce di pioggia e la loro coalescenza e break-up sono stati riconosciuti essere per molto tempo i processi principali che determinano la forma della DSD (Srivastava, 1967). Mentre la coalescenza incrementa il numero di gocce grosse, il break-up incrementa il numero di gocce più piccole. All'equilibrio tra i due processi si è trovato che la DSD assume una forma di equilibrio. Si è inoltre visto che il legame tra i parametri della DSD, e di conseguenza la sua forma, variano secondo il tipo di precipitazione.

In particolare, i parametri della distribuzione dimensionale ed i parametri da essa derivati, possono, a priori, differenziare tra precipitazione convettiva e stratiforme; la ragione della differente DSD tra i due tipi di pioggia risiede nei differenti processi

microfisici che avvengono in nube e che sono alla base della formazione dei due tipi di precipitazione che si osservano al suolo. Il primo ad occuparsene è stato Waldvogel nel 1974. Egli nel suo lavoro ha descritto un metodo per rappresentare le variazioni temporali degli spettri delle gocce in modo semplice e chiaro.

La parametrizzazione utilizzata è basata su una DSD esponenziale a due parametri che fitti quella reale misurata da disdrometro. I due parametri N_0 e Λ della distribuzione esponenziale si ricavano dal LWC e Z, che a loro volta sono ottenuti dal numero di gocce misurate mediante disdrometro:

$$N_0 = (1/\pi)(6!/\pi)^{4/3}(LWC/Z)^{4/3}(LWC)$$

$$\Lambda = (6!/\pi)^{1/3}(LWC/Z)^{1/3}$$

Waldvogel ha trovato che ogni qual volta la situazione cambia da stratiforme a convettiva, vi è un improvviso aumento del parametro N_0 della DSD associato ad un calo del parametro Λ , ovvero un improvviso spostamento da uno spettro a gocce piccole ad uno a gocce grosse. Una possibile spiegazione di tale comportamento risiede in una modifica dei meccanismi di precipitazione all'interno delle nubi, dentro e sopra il livello di melting.

2.3 Metodologia di analisi

Lo studio climatologico della DSD è stato realizzato mediante l'applicazione di un algoritmo di discriminazione Convettivo/Stratiforme ricavato dall'analisi dei parametri di una distribuzione esponenziale DSD che fitti la distribuzione reale misurata da PLUDIX per ciascuna delle tre stazioni (Licata, Surigheddu, Rotondella), basato sui recenti studi effettuati da Caracciolo et. al., 2006a. Per ogni evento è stato mostrato il risultato dell'applicazione dell'algoritmo ed una completa analisi microfisica utilizzando i parametri della DSD ed i parametri integrali della precipitazione (Z , R , N_T , $Z-R$, D_0). Inoltre è presentato uno studio statistico complessivo di tutti gli eventi analizzati, applicando l'algoritmo alla casistica generale, per identificare la prevalenza degli eventi convettivi su quelli stratiformi o viceversa e valutandone l'impatto stagionale.

Sono stati osservati i dati PLUDIX per la stazione di Surigheddu da ottobre 2003 a aprile 2005 (19 mesi). Tutti gli eventi di precipitazione avvenuti sono:

- ottobre 2003: 4; 17; 18; 20; 22; 24; 27; 28; 30; 31
- novembre 2003: 1; 2; 13; 15; 21; 24; 25; 26; 27; 28
- dicembre 2003: 3; 10; 11; 19; 21; 22; 23; 28; 30; 31
- gennaio 2004: 1; 2; 20; 23; 27; 28; 29
- febbraio 2004: 21; 26; 27; 28; 29
- marzo 2004: 6; 8; 23; 29
- aprile 2004: 3; 12; 13; 16; 25
- maggio 2004: 3; 4; 5; 6; 7; 12; 15

- giugno 2004: 16
- luglio 2004: No RAIN
- agosto 2004: 17
- settembre 2004: 5; 25
- ottobre 2004: 10; 13; 14; 15; 26; 30
- novembre 2004: 1; 2; 7; 26; 27; 29
- dicembre 2004: 17; 19; 20; 26; 28; 29
- gennaio 2005: 24; 25; 27; 28
- febbraio 2005: 14;15;19;20;21;24
- marzo 2005: 5
- aprile 2005: 3

per un totale di 93 eventi di precipitazione.

La tipologia degli eventi raccolti (selezionati come $R > 0.2$ mm/h) è la seguente: eventi soprattutto stratiformi, di lunga durata e bassa-moderata intensità. Per il mese di luglio 2004 il PLUDIX ha registrato totale assenza di eventi precipitativi. Soprattutto nei mesi da Febbraio a Giugno 2004 (primaverili) si osserva una presenza prevalente di fenomeni convettivi, ovvero di eventi temporaleschi di breve durata e notevole intensità (massima rainfall-rate RR registrata 200 mm/h), tipici di questo periodo dell'anno. Inoltre si può osservare il caratteristico trend di diminuzione degli eventi di precipitazione nel periodo estivo, tipico, soprattutto, delle aree dell'Italia meridionale.

Come illustrato nel report satellitare, tra i vari eventi sopra indicati, si è operata una ulteriore scelta, basata sul fatto che i passaggi dei satelliti che montano i sensori SSMI e MODIS non sono costanti sopra l'Italia. Di tali eventi sono stati quindi scelti i più significativi (in totale 10 eventi) e tra questi sono stati scelti quelli per cui si avevano a disposizione contemporaneamente i dati Modis, Meteosat e SSMI, ovvero:

- 11 dicembre 2003: durante la mattinata, di moderata/debole intensità
- 23 gennaio 2004: dalle 08:00 alle 15:00, $R_{max}=10$ mm/h
- 21 febbraio 2004: dalle 12 alle 13:00 (picco ~ 80 mm/h).
- 6 marzo 2004: dalle 11 alle 12:00. $R_{max}=5$ mm/h
- aprile 2004: dalle 14 alle 15:00. $R_{max}=\text{oltre } 200$ mm/h
- maggio 2004: verso le 11 di mattina. $R_{max} = 200$ mm/h
- maggio 2004: verso le 6 del mattino. $R_{max}=100$ mm/h
- 16 giugno 2004: verso le 14:00 del pomeriggio. $R_{max}=200$ mm/h
- 25 gennaio 2005: dalle 3 alle 9 di mattina, con picco di 80 mm/h
- 19 febbraio 2005: tra le 10 e le 11 di mattina con picco di 20 mm/h

Di tali eventi, le cui caratteristiche indicate sono riferite ai dati forniti dalla stazione di Surigheddu, sono stati poi presi in considerazione anche i dati PLUDIX delle altre due stazioni (Trisaia e Licata). Di questi stessi eventi è stata effettuata un'approfondita analisi satellitare, come indicata nel report corrispondente.

In questo report, a titolo esemplificativo è mostrata l'analisi per questi eventi per le tre stazioni (sezioni 4 e 5). Al termine di questa analisi è mostrato il risultato dell'applicazione del metodo discriminante C/S a tutto il database delle tre stazioni analizzato (paragrafo 6), che comprende, per la stazione di Surigheddu, l'elenco mostrato sopra per i 19 mesi e per le altre due stazioni i seguenti eventi:

ROTONDELLA:

- ottobre 2003: 15, 18
- novembre 2003: 7, 22, 25, 26
- dicembre 2003: 10, 12, 17, 22, 31
- gennaio 2004: 3, 21, 27, 28, 29, 30
- febbraio 2004: 12, 16
- marzo 2004: 7, 23, 24
- aprile 2004: 16, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 27
- maggio 2004: 1, 6, 9, 13, 24
- giugno 2004: 3, 6
- luglio 2004: 14
- agosto 2004: no rain
- settembre 2004: 17, 26, 27, 28
- ottobre 2004: 12
- novembre 2004: 11, 12, 13
- dicembre 2004: 6, 9, 10, 15, 17, 30, 31
- gennaio 2005: 3, 19, 22, 26, 27
- febbraio 2005: 3, 14, 21, 26
- marzo 2005: 12, 19, 28, 31
- aprile 2005: 2, 22, 24

Per un totale di 69 eventi di precipitazione.

La tipologia degli eventi raccolti (selezionati come $R > 0,2$ mm/h) è la seguente: eventi soprattutto stratiformi, di lunga durata e bassa-moderata intensità. Per il mese di agosto 2004 il PLUDIX ha registrato totale assenza di eventi precipitativi. Soprattutto nei mesi di maggio e giugno 2004 si osserva una presenza prevalente di fenomeni convettivi intensi e di eventi temporaleschi di breve durata e notevole intensità. Da notare il caratteristico trend di diminuzione degli eventi di precipitazione nel periodo estivo, tipico, soprattutto, delle aree dell'Italia meridionale.

LICATA

- dicembre 2003: 8, 12, 15, 16, 17, 24, 25, 26, 27
- gennaio 2004: 2, 3, 4, 17, 21
- febbraio 2004: 21, 26, 27, 28, 29
- marzo 2004: 9, 11, 23, 24, 27, 29
- aprile 2004: 1, 2, 11, 13, 15, 16, 18, 28, 30
- maggio 2004: 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12, 17, 20, 23
- giugno 2004: 5, 15, 23, 27, 28, 29, 30
- luglio 2004: 1, 5, 8, 9, 11, 14, 17, 20, 28
- agosto 2004: no rain
- settembre 2004: no rain
- ottobre 2004: 25
- novembre 2004: 3
- dicembre 2004: 7, 9, 11, 16, 17, 18, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30
- gennaio 2005: 4, 8, 9, 11, 16, 27, 28, 29, 30
- febbraio 2005: 1, 5, 6, 10, 12, 13, 15, 18, 21, 22, 26, 27
- marzo 2005: 1, 6, 8, 11, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 31

per un totale di 107 eventi di precipitazione.

La tipologia degli eventi raccolti (selezionati come $R > 0,2$ mm/h) è la seguente: eventi soprattutto stratiformi, di lunga durata e bassa-moderata intensità, soprattutto nei mesi da dicembre a marzo 2005, che sono stati i più piovosi. Per i mesi di agosto e settembre 2004 il PLUDIX ha registrato totale assenza di eventi precipitativi. Soprattutto nei mesi da aprile a luglio 2004 si osserva una presenza prevalente di fenomeni convettivi intensi e di eventi temporaleschi di breve durata e notevole intensità. Da notare il caratteristico trend di diminuzione degli eventi di precipitazione nel periodo estivo, tipico, soprattutto, delle aree dell'Italia meridionale.

2.4 Risultati ottenuti

2.4.1 Evento 11-12-2003

2.4.1.1 Analisi meteosat

Si riporta l'analisi fornita dal satellite geostazionario Meteosat alle **11:21 ora locale IR RGB**, estratta dal report satellitare.

Con il canale Meteosat IR è possibile discriminare in base alla temperatura di brillanza le nubi più fredde (rosso) e più calde (blu). Dall'immagine alle 11:21 si può notare un MCS (Mesoscale Convective System) tra la Sicilia e l'Africa, sistema convettivo alla mesoscala, ben sviluppato, generatosi sul Mediterraneo, con la caratteristica V-shape. Le nubi più fredde (più profonde) sono associate a pioggia più intensa, mentre le nubi più calde non sono associate a precipitazione.

Dall'osservazione delle immagini satellitari in confronto con la precipitazione rilevata dalle stazioni di PLUDIX, si deduce che il sistema è ancora in formazione quando transita sulla Sardegna (la stazione di Surigheddu rileva infatti nelle ore notturne dell'11-12-2003 una precipitazione di circa 2,5 mm/h). Il sistema si sviluppa poi spostandosi verso sud-est, producendo sulla stazione di Rotondella tra le 09:20 e le 10:20 ora locale una precipitazione convettiva molto intensa accompagnata da grandine. Il sistema raggiunge la Sicilia ma non la stazione di Licata, in cui il PLUDIX rileva tra le 11:00 e le 12:00 una precipitazione moderata.

La tecnica NAW conferma che all'MCS è associata una precipitazione convettiva di 8 mm/h. Ricordiamo infatti che la NAW ha solo 3 soglie di precipitazione (0, 2 e 8 mm/h) e che suppone che alla zona con precipitazione intensa di 8 mm/h possa essere assegnato un valore convettivo, mentre alla zona di precipitazione moderata di 2 mm/h un valore stratiforme (la zona a 0 mm/h corrisponde ad assenza totale di precipitazione).

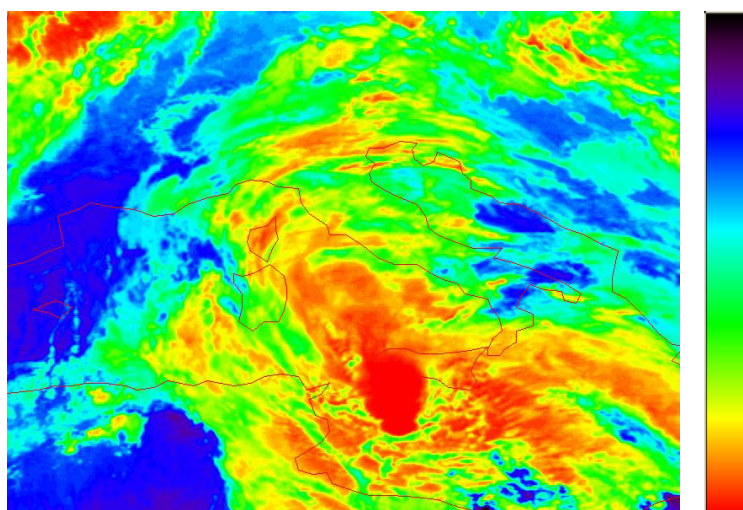


Figura 1 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (11/12/2003 – 11:21 LT)

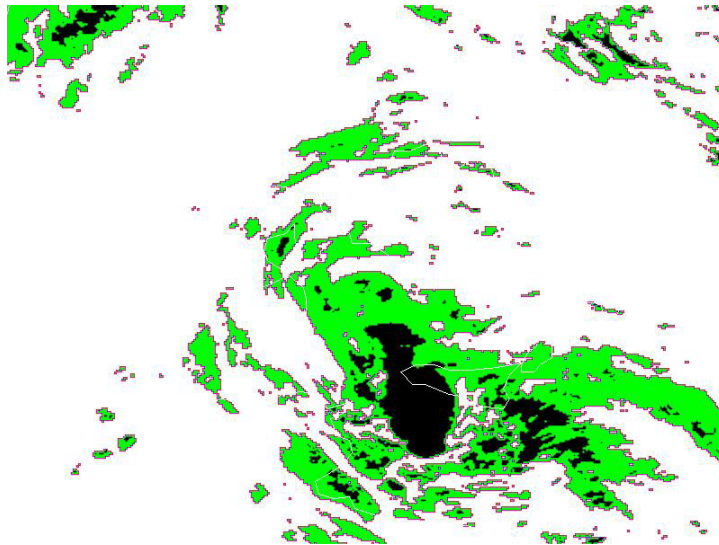


Figura 2 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (11/12/2003 – 11:21 LT). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

L'apparente discordanza con i valori forniti da PLUDIX è inoltre dovuta al fatto che la tecnica satellitare non fornisce un valore puntuale di precipitazione (come PLUDIX) ma un valore medio di precipitazione su un'area avente le dimensioni del pixel satellitare.

2.4.1.2 Analisi pludix nei 3 siti

L'output di PLUDIX è visualizzato in Visual Basic, come in Figura 3, Figura 4 e Figura 5. L'episodio di pioggia è analizzato in dettaglio. Nella prima finestra in alto (1) è visualizzato lo spettro di potenza relativo al minuto corrente (l'asse y è in dB – 10dB/divisione; l'asse x è in Hz – 100 Hz/divisione; 1 divisione = 1 minuto). L'asse x spazia tra 0 e 1023 Hz. Questa curva è divisa in tre parti, di cui solo quella intermedia, gialla, rileva la presenza di pioggia (frequenza tra 200 e 600 Hz). Le altre due zone rilevano la presenza di neve (0-200 Hz) e grandine (oltre 600 Hz). La finestra 2 mostra lo spettro di potenza suddiviso per bande diametrali (21 bande diametrali. L'asse y è sempre in dB); in finestra 3 è mostrato il logaritmo della distribuzione dimensionale $N(D)/m^3$ in funzione del diametro (la retta evidenziata in blu rappresenta la pendenza della legge empirica di Marshall e Palmer per quella intensità di precipitazione. Le altre rette evidenziate in giallo rappresentano invece la Marshall-Palmer relativa ai valori fissi di precipitazione di 0.01, 0.1, 1, 10, 100 mm/h); in finestra 4 è mostrato l'andamento in funzione del tempo dell'intensità di precipitazione (l'asse y è in mm/h, l'asse x è tale che 1 divisione = 1 minuto).

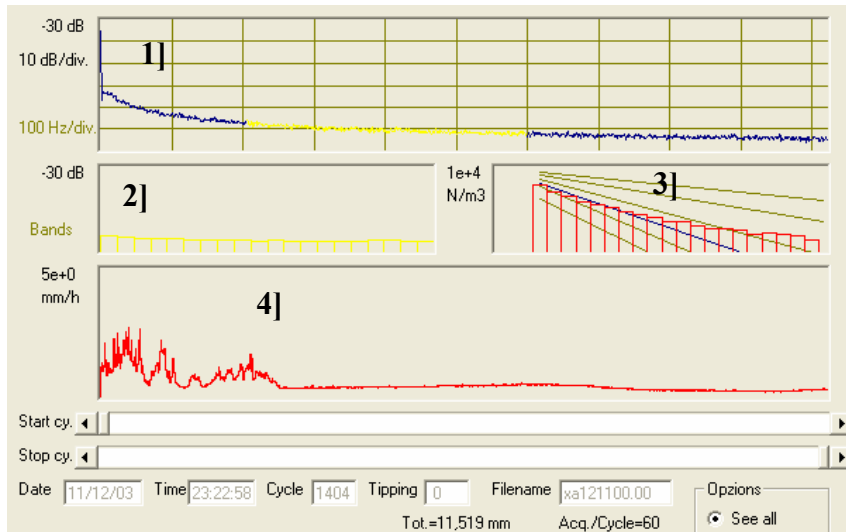


Figura 3 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

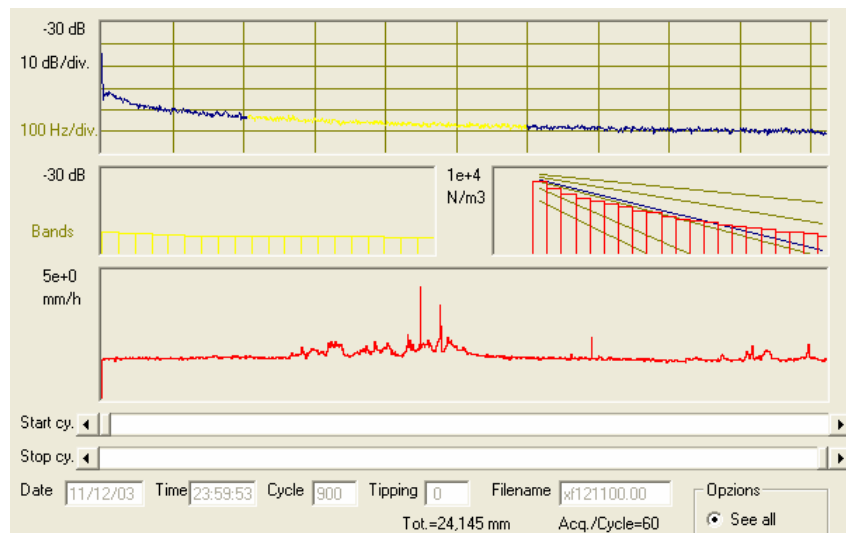


Figura 4 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

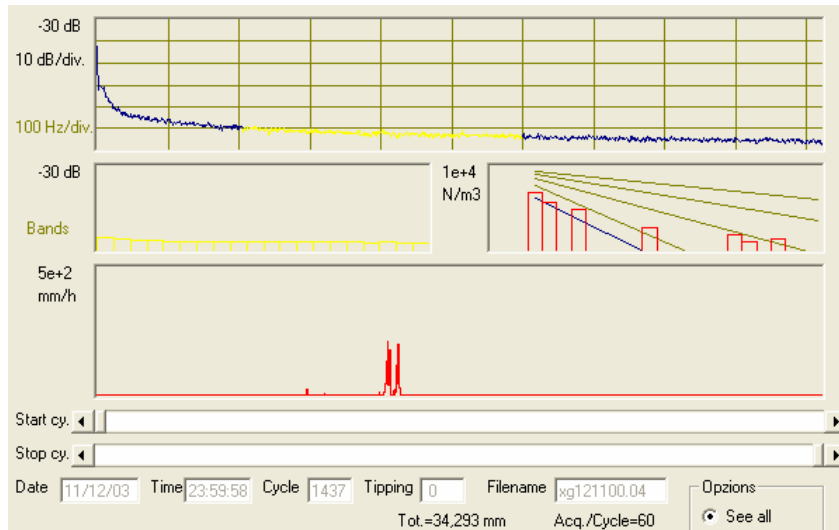


Figura 5 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

Stazione di Surigheddu

Osserviamo ora le Figure 6 e 7 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ), da cui è possibile identificare che l'evento, per la stazione di Surigheddu, è stratiforme.

Valori di $R < 2,0$ mm/h sono rappresentativi di precipitazione stratiforme, mentre valori di $R > 10$ mm/h sono rappresentativi di precipitazione convettiva. Il range 2-10 mm/h è quello di più difficile interpretazione: infatti in tale intervallo possono cadere sia eventi di debole convezione (shallow convective) che eventi stratiformi caratterizzati al suolo dalla presenza di grosse gocce (heavy stratiform), formatesi per meccanismi di forte aggregazione in nube. Tali eventi possono portare a spettri al suolo caratterizzati da gocce più grosse di piogge convettive caratterizzate da valori analoghi di rainfall-rate. In tale range si ricorre alla riflettività radar: se $Z < 38$ dBZ l'evento può essere considerato stratiforme, se $Z > 38$ dBZ, l'evento è convettivo.

È comunque importante puntualizzare che i metodi di discriminazione basati su questa analisi, come evidenziato da Caracciolo et. al., 2006a, sono utili per distinguere bene tra precipitazione weak-stratiform e strong-convection, ma devono essere affiancati da misure da radar polarimetrico per meglio discriminare l'intervallo intermedio, di cui comunque si traggono utili informazioni mediante l'analisi disdrometrica combinata dei parametri integrali della precipitazione e dei parametri della distribuzione dimensionale, come mostrato in seguito.

Per questo evento i valori di R si trovano sempre sotto i 2,5 mm/h ed i valori di Z sono sempre inferiori a 30 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 12. Il legame Z-R non si discosta significativamente dal valore di $Z = 200R^{1,6}$ di MP per precipitazioni stratiformi alle medie latitudini.

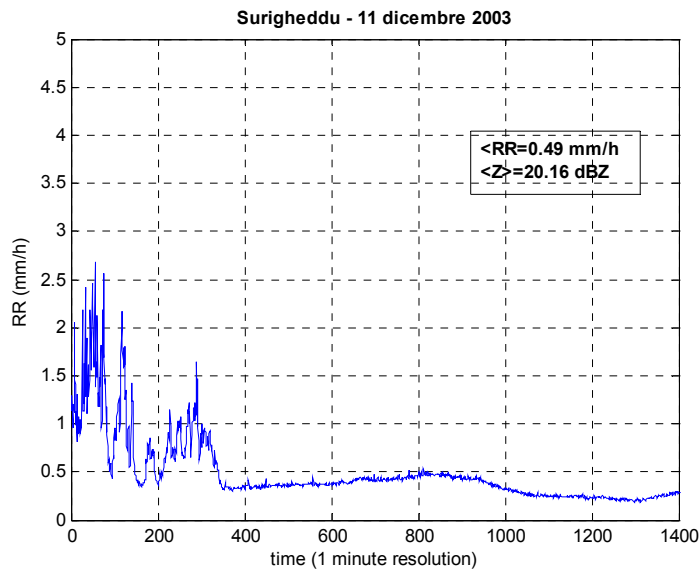


Figura 6 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

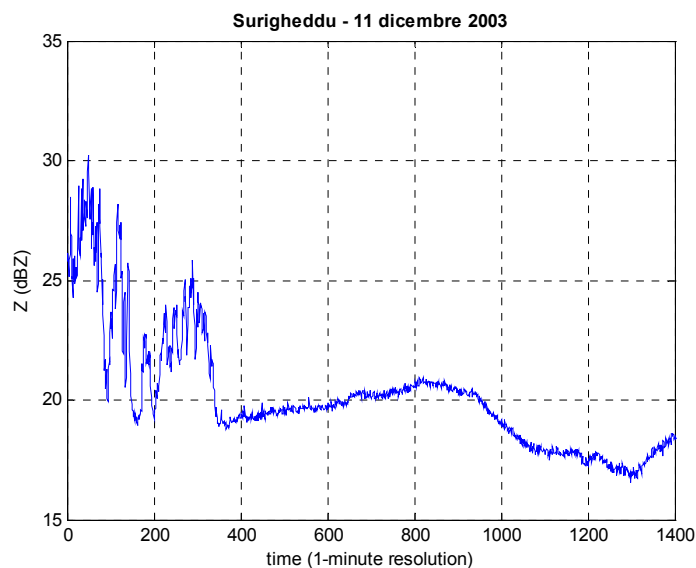


Figura 7 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

Un altro parametro utile per la caratterizzazione dell'evento è N_T ($1/\text{mm}^3$), momento di ordine zero della distribuzione dimensionale, Figura 8, da cui si evince che il numero di gocce per questo evento è molto basso ($<300 / \text{mm}^3$). Questo grafico è utile osservarlo in combinazione con la Figura 10, che rappresenta il diametro equivolumetrico D_0 (mm) per l'evento considerato. Da questi grafici infatti si evince che l'evento è caratterizzato da un numero ridotto di gocce di piccole dimensioni ($<1,25$ mm), indice di precipitazione stratiforme.

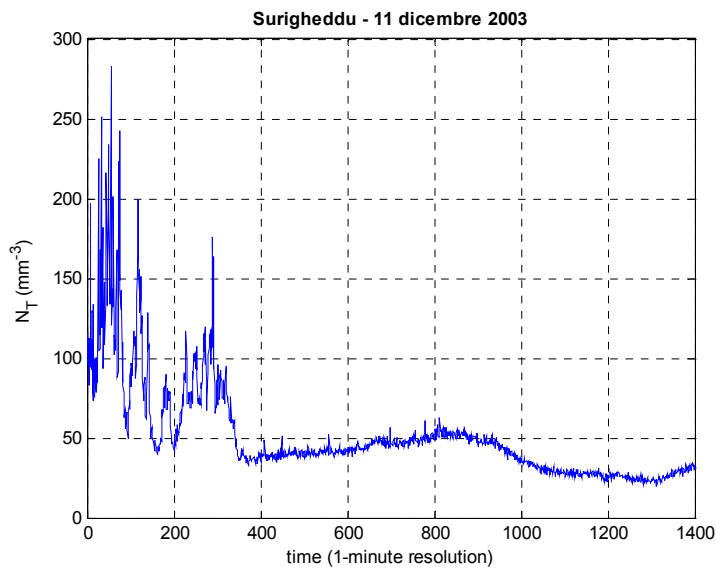


Figura 8 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

Informazioni maggiori rispetto ad N_T , sono fornite dalla distribuzione dimensionale, che fornisce il numero di gocce rapportate al diametro delle gocce stesse, indicando quindi la predominanza di gocce piccole o grosse. Sono state realizzati tre tipi diversi di analisi della distribuzione dimensionale, mostrate nelle Figure 9, 11 e 13.

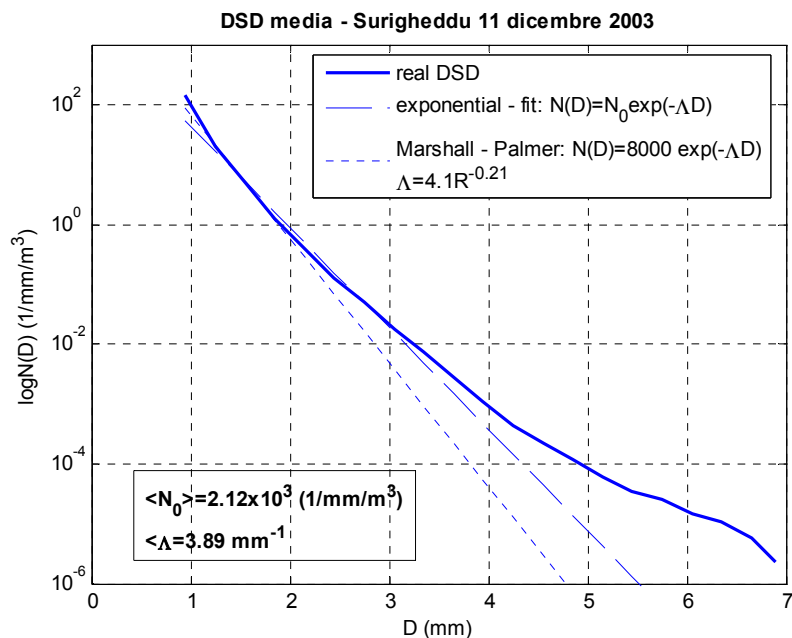


Figura 9 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

In Figura 9 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale.

Generalizzando a tutti gli eventi analizzati, come si potrà osservare anche in seguito, è stato trovato che gli eventi sono descritti bene da una distribuzione esponenziale a due parametri (Waldvogel, 1974) e che una distribuzione gamma di Ulbrich, 1983, (i cui valori medi sono mostrati in tabelle da 1 a 10) non descrive con sufficiente accuratezza gli eventi precipitanti. Analizzando gli spettri della DSD ottenuti per pioggia convettiva e stratiforme, Caracciolo et. al. (2006a) hanno trovato che, contrariamente ai risultati ottenuti da Tokay e Short (1996) per regioni tropicali, passando da precipitazione convettiva a stratiforme i valori medi dei parametri N_0 , m e Λ aumentano, indice di una distribuzione dimensionale piùpiccata, con predominanza di gocce piccole sulle grosse. I parametri medi di una distribuzione gamma per gli eventi considerati in questa analisi riflettono abbastanza bene questo trend. Inoltre, generalmente la distribuzione di MP sembra rappresentare bene la distribuzione reale nelle categorie di pioggia leggera o moderata, mentre sottostima la parte alta della distribuzione negli altri casi. Dato che una distribuzione gamma di Ulbrich, 1983 non descrive con sufficiente accuratezza gli eventi precipitanti analizzati, per discriminare gli eventi convettivi da quelli stratiformi è stato applicato un metodo discriminante basato sui parametri N_0 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$) e Λ ($1/\text{mm}$) di una distribuzione esponenziale a due parametri che fitti la distribuzione reale.

Per l'evento in questione, la distribuzione di MP tende a sottostimare la DSD reale soprattutto nel range diametrale 3-5 mm. Si è pertanto analizzata l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale (Figura 11), i cui valori medi sono riportati in Figura 9. Dall'analisi si osserva che i valori di N_0 sono sempre <10000 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a 4 mm^{-1} .

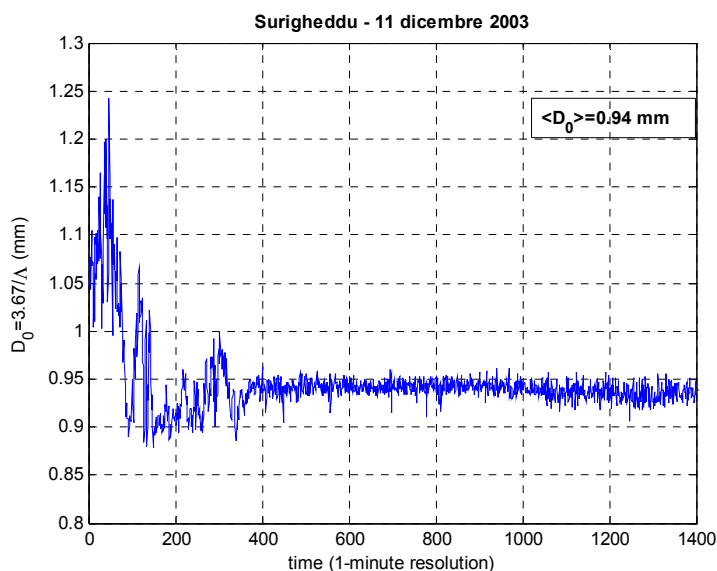


Figura 10 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

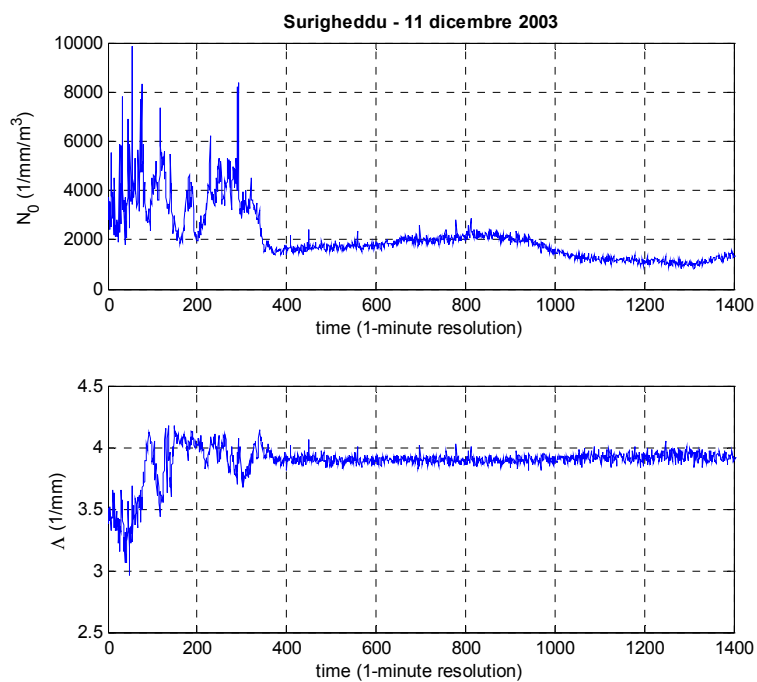


Figura 11 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

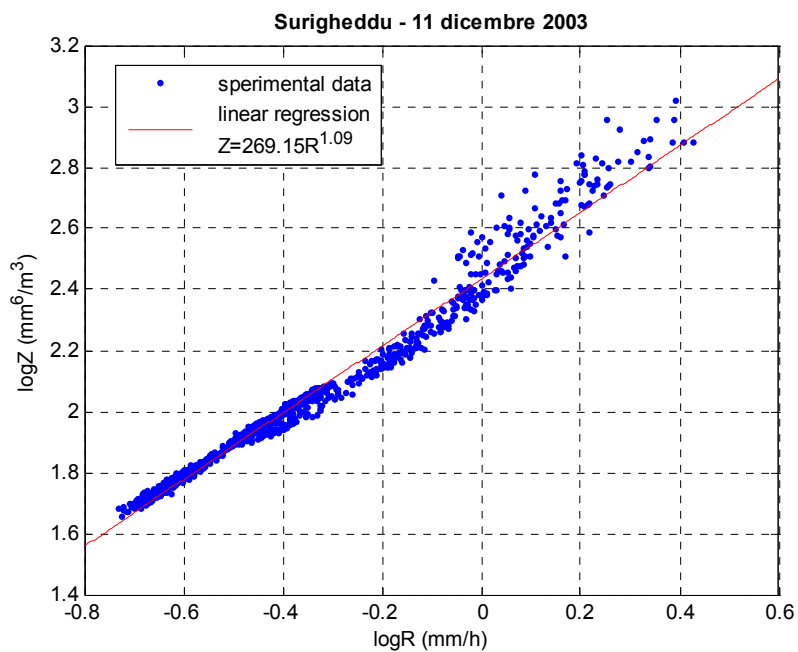


Figura 12 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

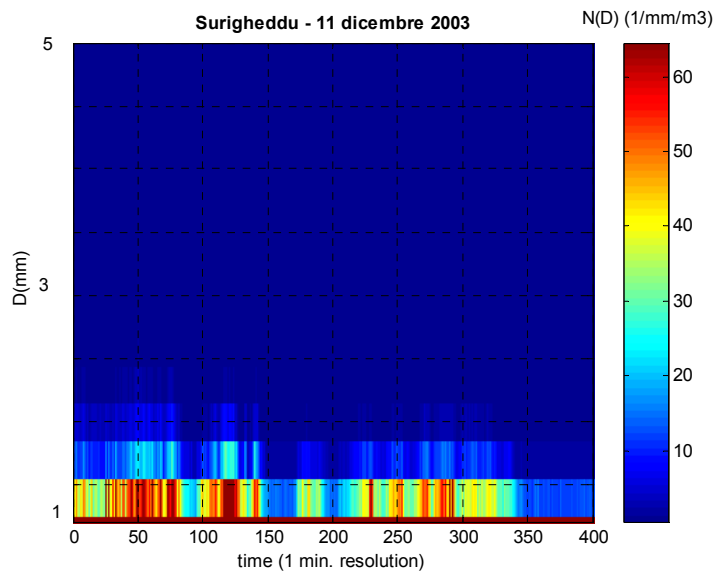


Figura 13 - Evoluzione temporale della DSD ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (11/12/2003)

La Figura 13 mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, che conferma l'analisi precedente. Infatti si ha una predominanza di poche gocce di piccole dimensioni, per tutta la durata dell'evento precipitante.

Stazione di Rotondella

La stazione di Rotondella rileva un episodio convettivo. Osserviamo infatti le Figure 14 e 15 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile identificare due showers convettivi aventi valori di $R > 20$ mm/h e valori di Z superiori a 35 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 20. Il legame Z - R per gli episodi convettivi fornisce elevati valori di A e di b , indice di presenza di gocce con elevati valori di D_0 , il quale subisce grosse variazioni, come confermato dalla Figura 19. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 16, si evince inoltre che il numero di gocce per il secondo episodio convettivo è molto alto (dell'ordine di $10^4 / \text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 21, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può osservare che il secondo episodio convettivo è caratterizzato numerose gocce, anche di grosse dimensioni, ma anche dalla presenza di gocce di dimensioni più ridotte, probabilmente dovute al break-up.

In Figura 17 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per tutta la giornata alla DSD media per l'episodio convettivo, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole che quella delle gocce più grosse.

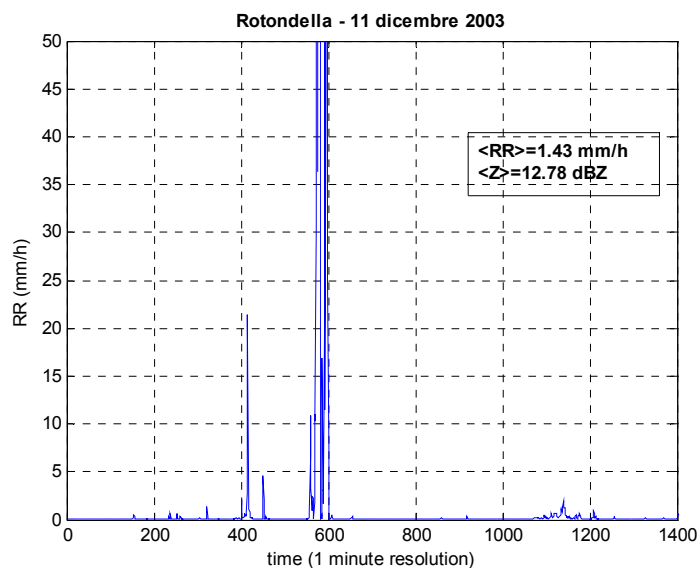


Figura 14 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

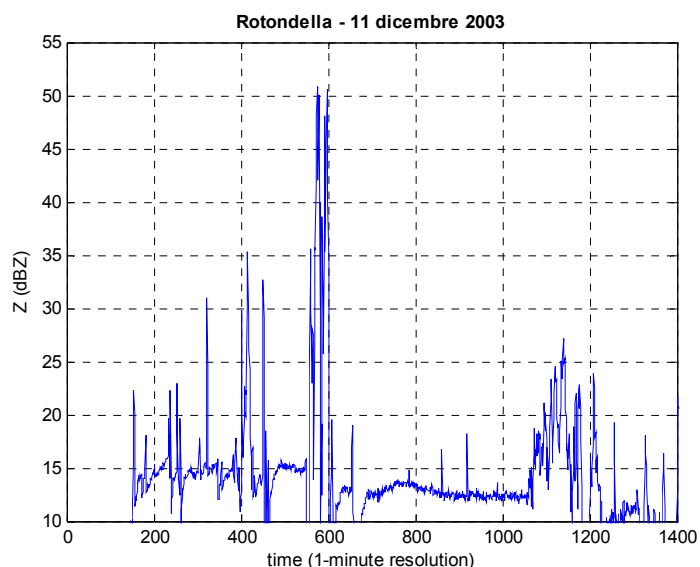


Figura 15 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

Osservando i valori medi di N_0 e Λ si può infatti notare che il primo aumenta di un fattore 10, mentre Λ non subisce grosse variazioni, con tendenza alla diminuzione. Questo è anche confermato dalla Figura 18, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva inoltre che i valori di N_0 sono dell'ordine di 10^5 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione convettiva (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a 4 mm^{-1} .

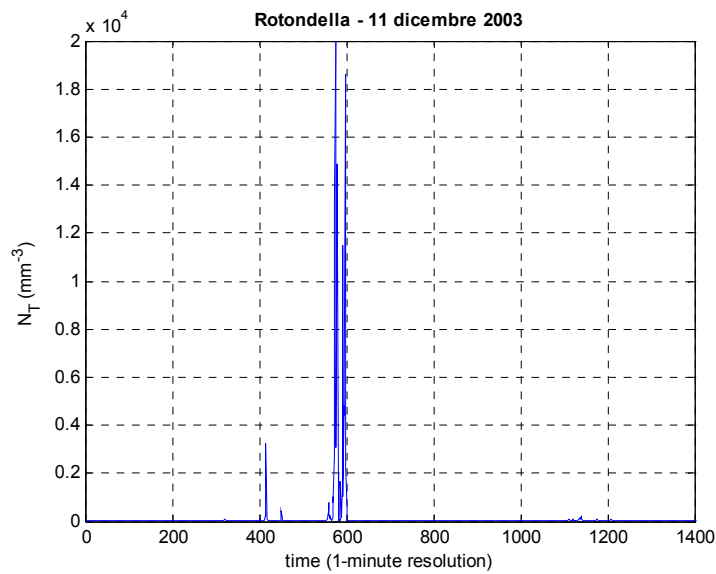


Figura 16 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

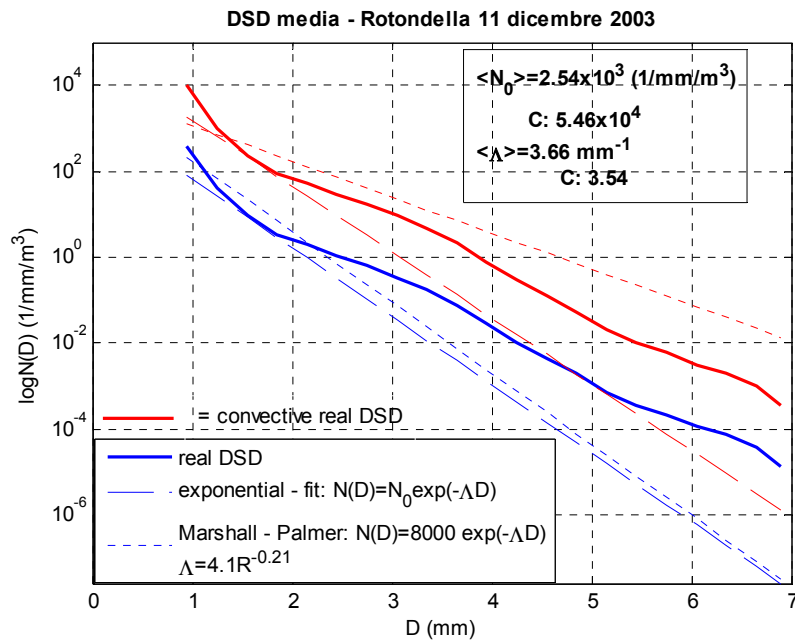


Figura 17 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

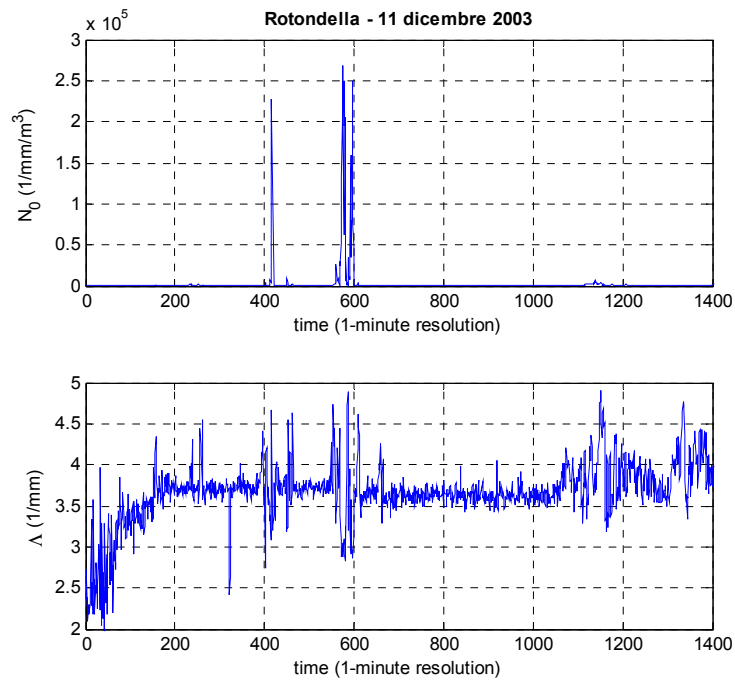


Figura 18 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

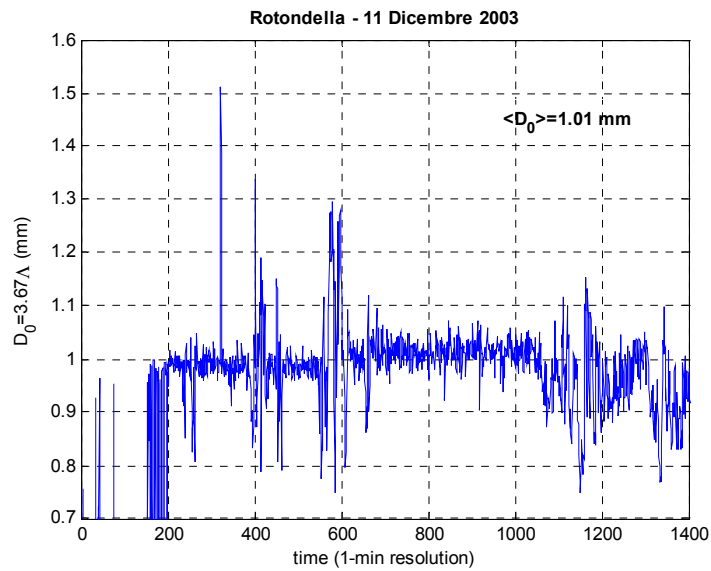


Figura 19 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

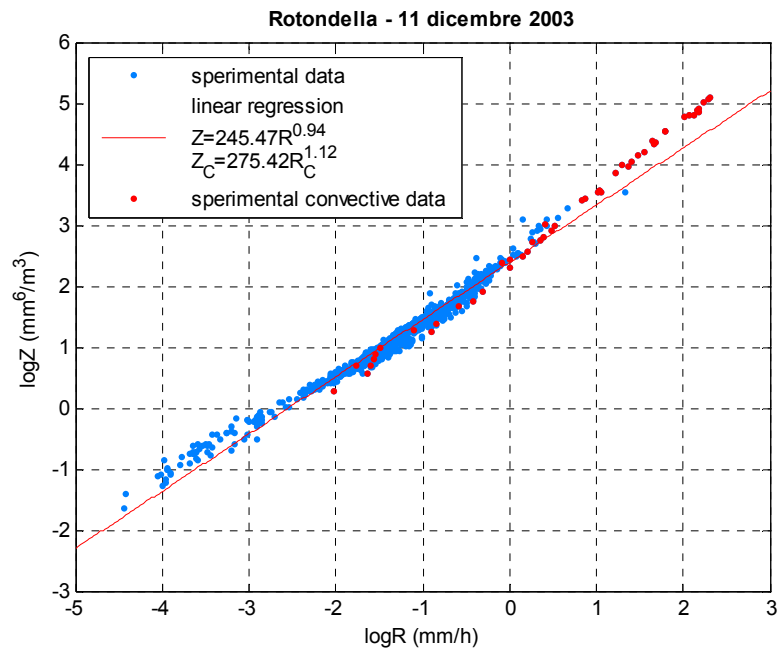


Figura 20 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

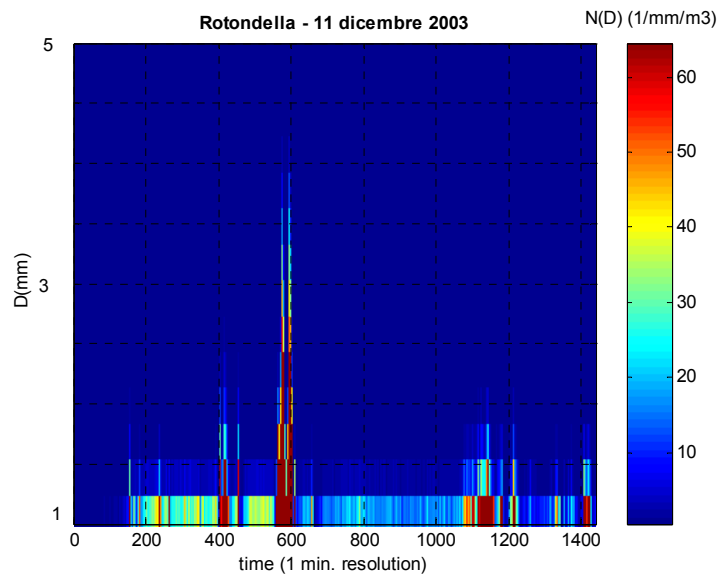


Figura 21 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (11/12/2003)

Stazione di Licata

La stazione di Licata rileva un episodio stratiforme. Osserviamo infatti le Figure 22 e 24 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici si nota che la rainfall-rate è sempre inferiore a 4,5 mm/h e Z è sempre inferiore di 31 dBZ, indice di precipitazione stratiforme. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 29. Il legame Z - R non si discosta significativamente dai valori di A e b di MP per piogge stratiformi alle medie latitudini. Il basso valore di b (e circa uguale ad 1) è inoltre indice di valori di D_0 pressochè costanti, come confermato dalla Figura 27. Il valore medio di D_0 è basso e pari a 0,96 mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 25, si evince inoltre che il numero di gocce è molto basso ($<400/\text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 23, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può inoltre osservare l'evento è caratterizzato da poche gocce di piccole dimensioni.

In Figura 26 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Sia la MP che la distribuzione esponenziale a due parametri fittano con sufficiente accuratezza la distribuzione reale nell'intervallo diametrale 1-4 mm. La Figura 28, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, rivela che i valori di N_0 sono <10000 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a $3,8 \text{ mm}^{-1}$.

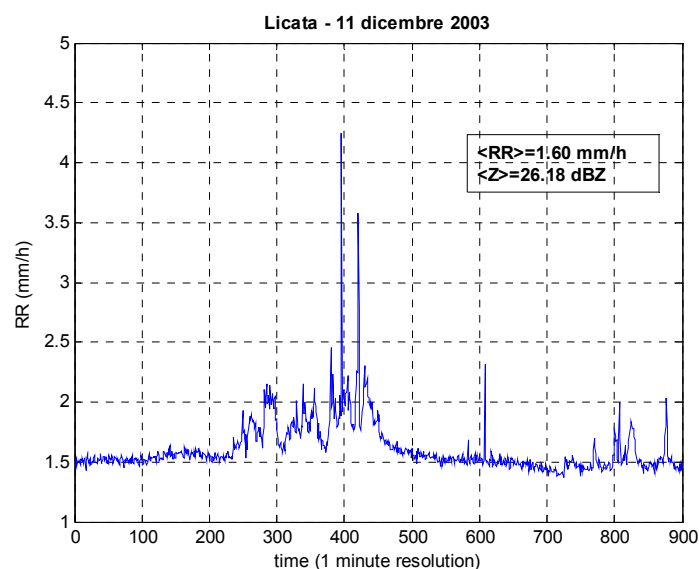


Figura 22 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

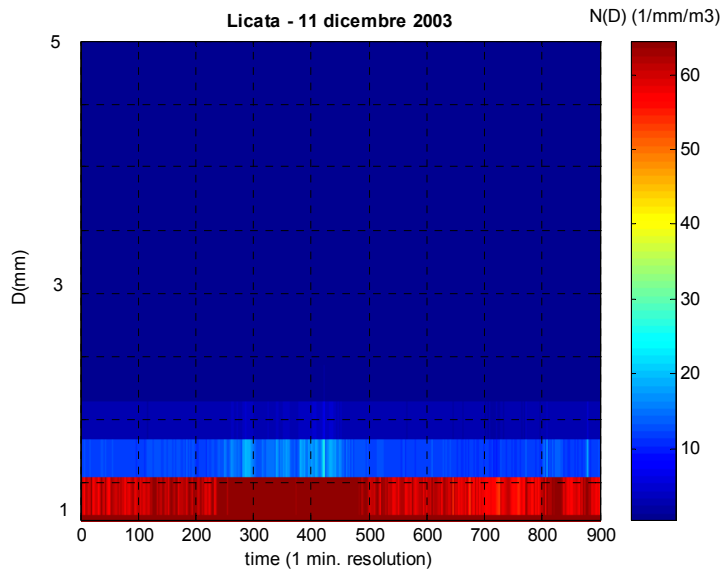


Figura 23 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

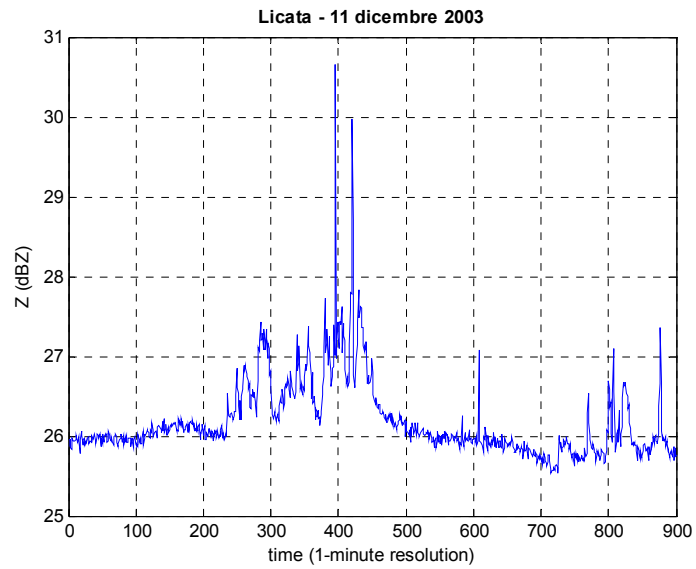


Figura 24 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

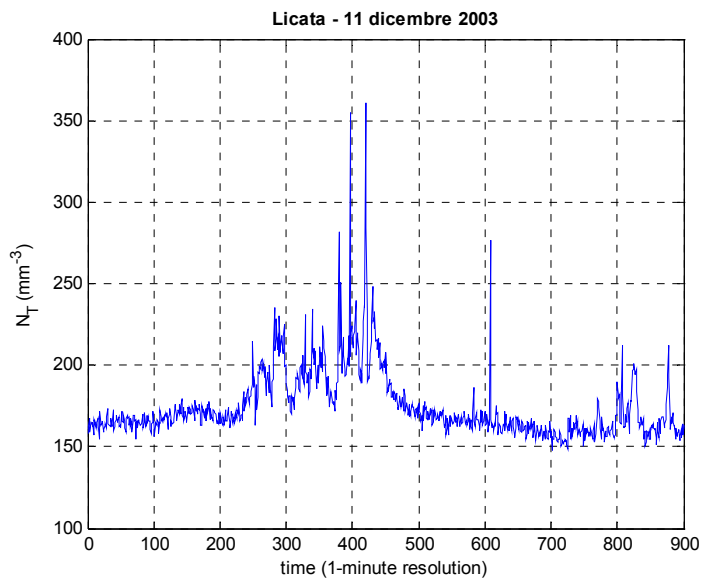


Figura 25 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

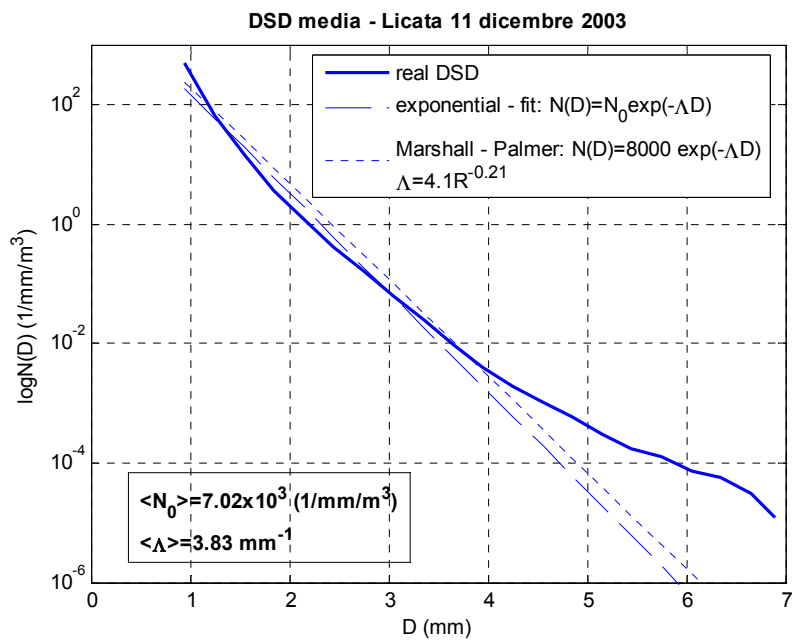


Figura 26 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

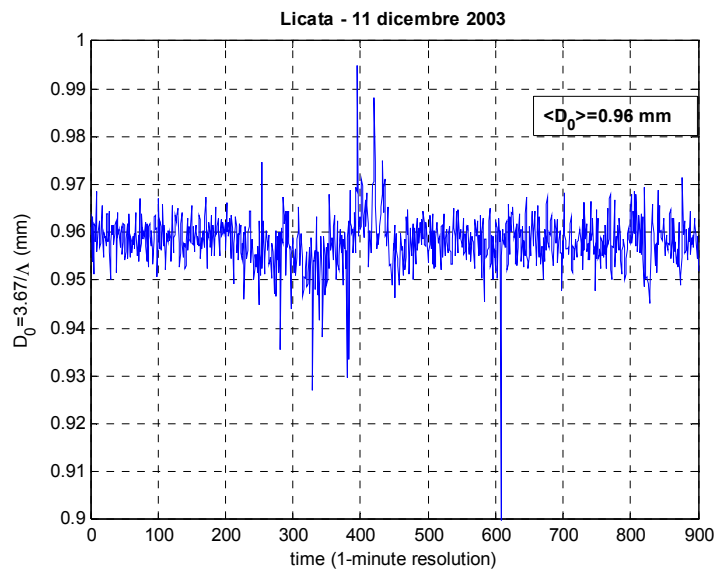


Figura 27 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

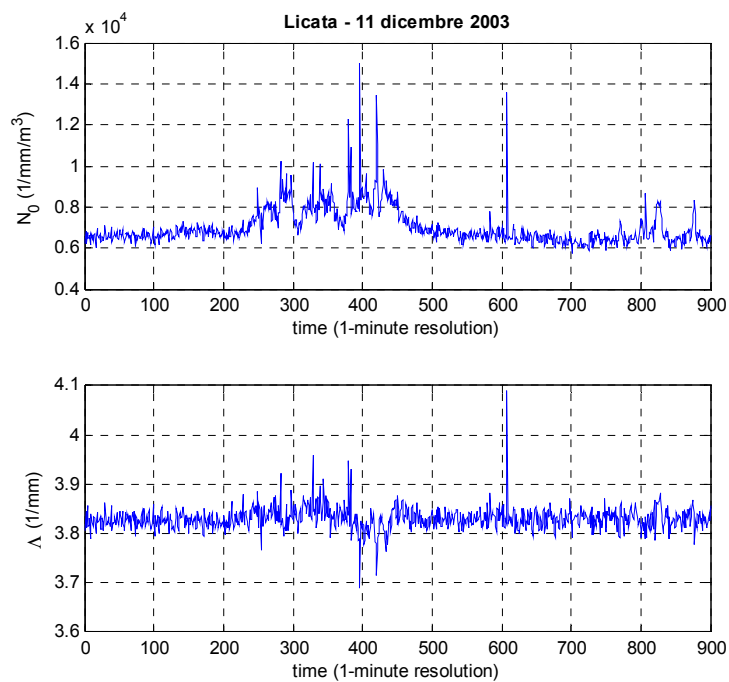


Figura 28 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

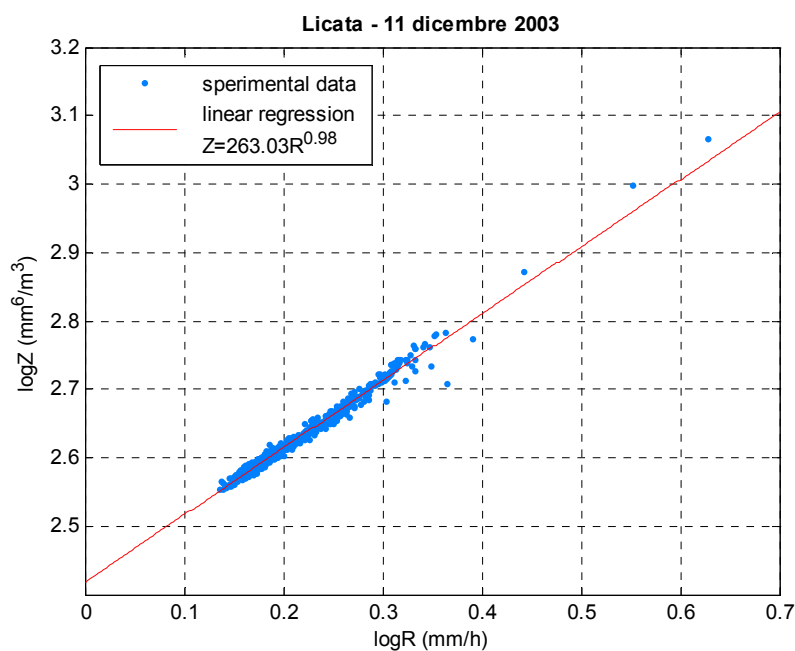


Figura 29 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Licata (11/12/2003)

Stazione 11/12/2003	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4,51	7,48	5,16x10 ⁵
Rotondella	5,58	7,78	3,42x10 ⁷
Licata	3,67	6,70	1,73x10 ⁵

Tabella 1 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento dell'11/12/2003

2.4.1.3 23 Gennaio 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 11:21 LT sono ben visibili sistemi convettivi isolati associati ad un fronte freddo accompagnato da precipitazioni stratiformi sulla Sardegna identificabili dall'immagine NAW. Ciò è confermato da PLUDIX, che rileva, per la stazione di Surigheddu una precipitazione inferiore ai 20 mm/h di tipo stratiforme tra le 8 e le 15 LT, con due picchi distinti. Le stazioni di Licata e Rotondella rilevano totale assenza di precipitazioni, come confermato dalle immagini satellitari.

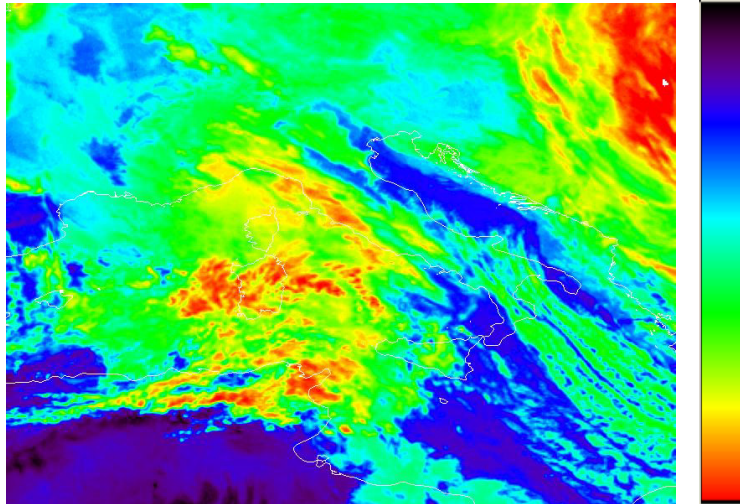


Figura 30 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (23/01/2004)



Figura 31 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (23/01/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

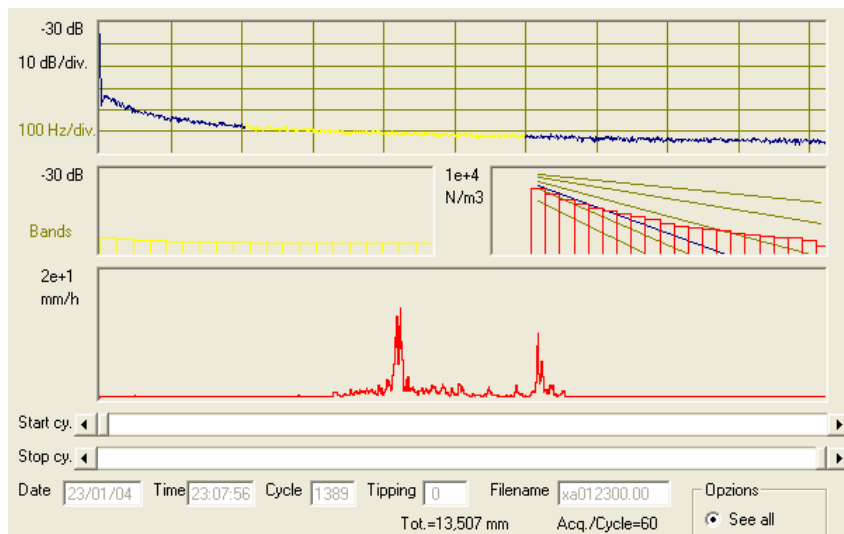


Figura 32 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

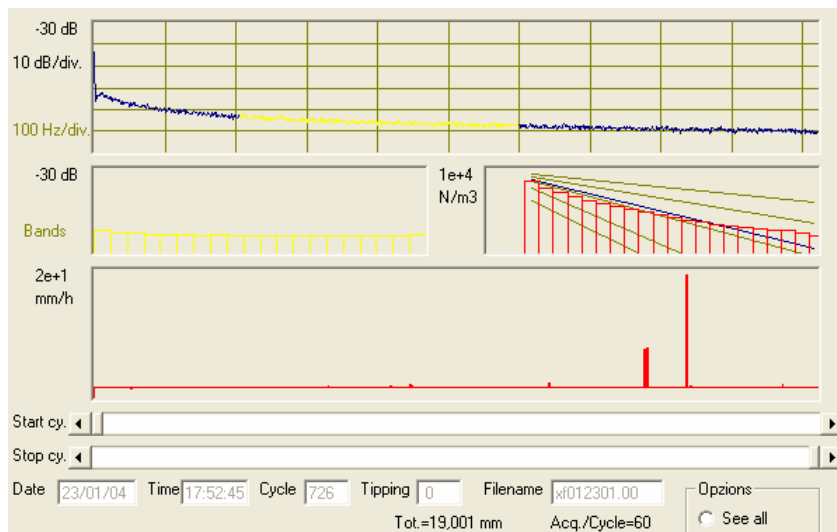


Figura 33 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (23/01/2004)

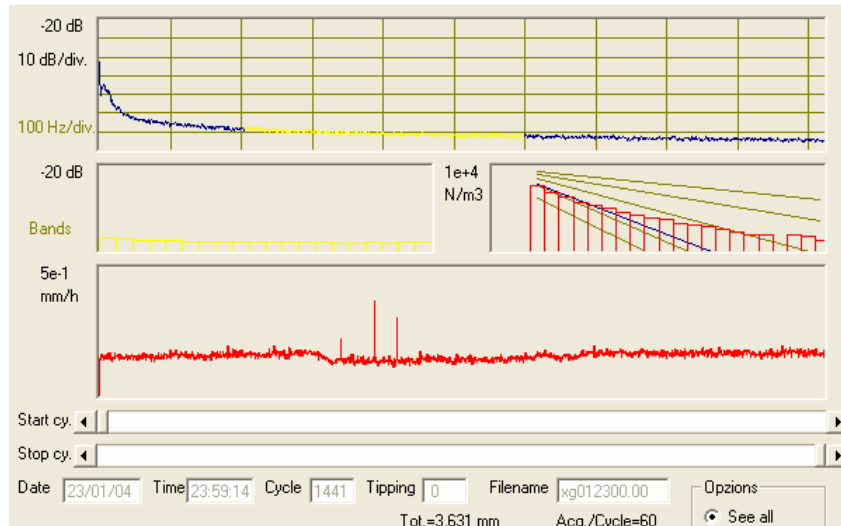


Figura 34 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (23/01/2004)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva un episodio stratiforme, ma comunque caratterizzato da una concentrazione elevata di gocce di medie dimensioni. Osserviamo infatti le Figure 35 e 36 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici si nota che la rainfall-rate supera i 10 mm/h, ma il parametro di riflettività è sempre inferiore a 38 dBZ, indice di precipitazione stratiforme. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 41. Il legame Z - R non si discosta significativamente dai valori di A e b di MP per piogge stratiformi alle medie latitudini. Il basso valore di b (e circa uguale ad 1) è inoltre indice di valori di D_0 pressochè costanti, come confermato dalla Figura 40. Il valore medio di D_0 è basso e pari a 0.94 mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 37, si evince inoltre che il numero di gocce è basso ($<1400/\text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 42, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può inoltre osservare l'evento è caratterizzato da poche gocce di piccole/medie dimensioni.

In Figura 38 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. La MP sottostima la DSD reale nel range 4-6 mm, mentre la distribuzione esponenziale a due parametri descrive con sufficiente accuratezza la distribuzione reale.

La Figura 39, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, rivela che i valori di N_0 sono dell'ordine di 10^4 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974).

Inoltre appena inizia l'episodio di pioggia il parametro N_0 aumenta, e combinatamente Λ (1/mm) diminuisce passando da 4 a 3 mm^{-1} , indice che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro intermedio compreso tra 2 e 5 mm.

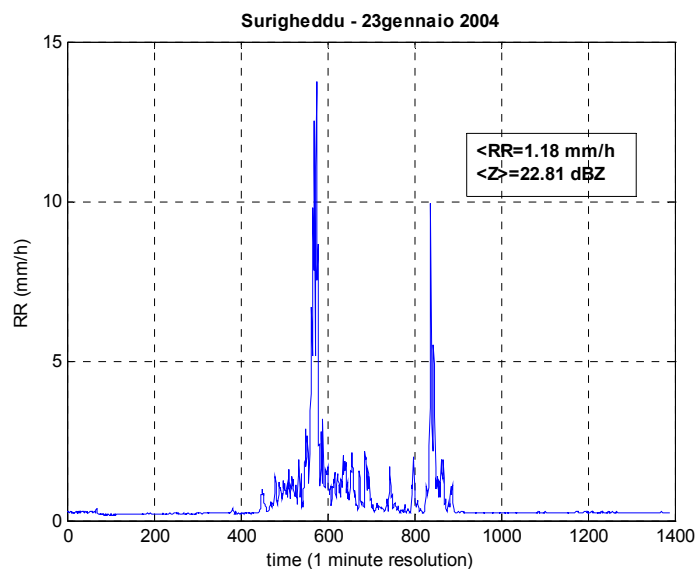


Figura 35 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

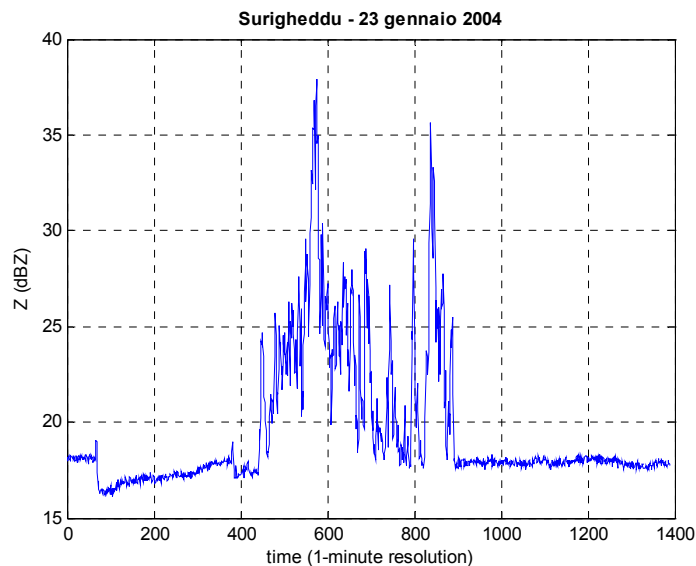


Figura 36 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

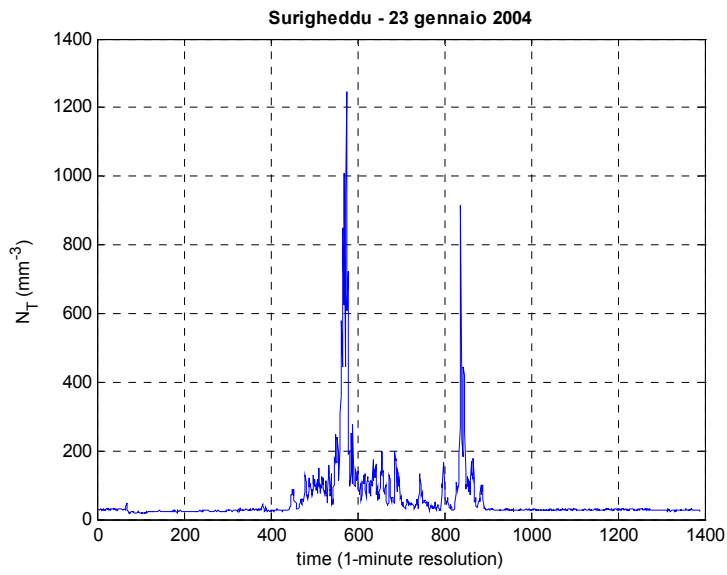


Figura 37 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

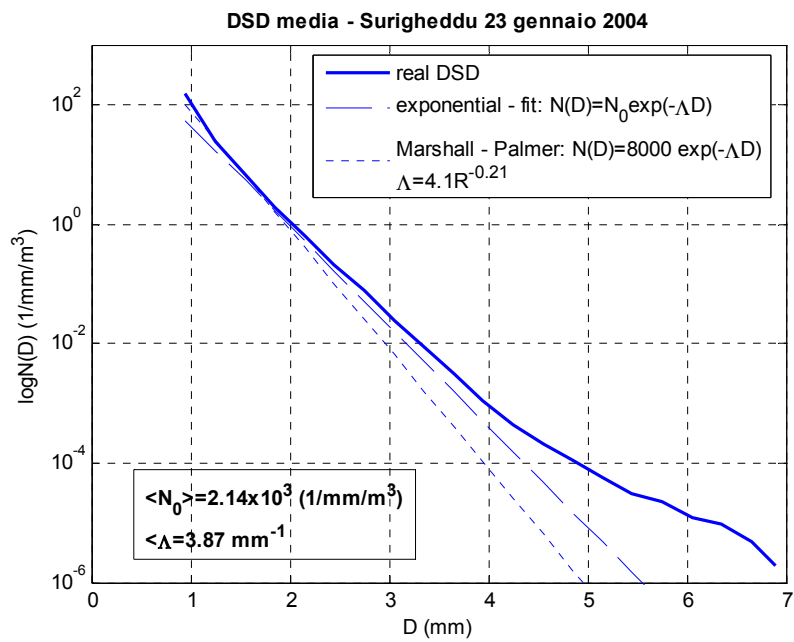


Figura 38 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

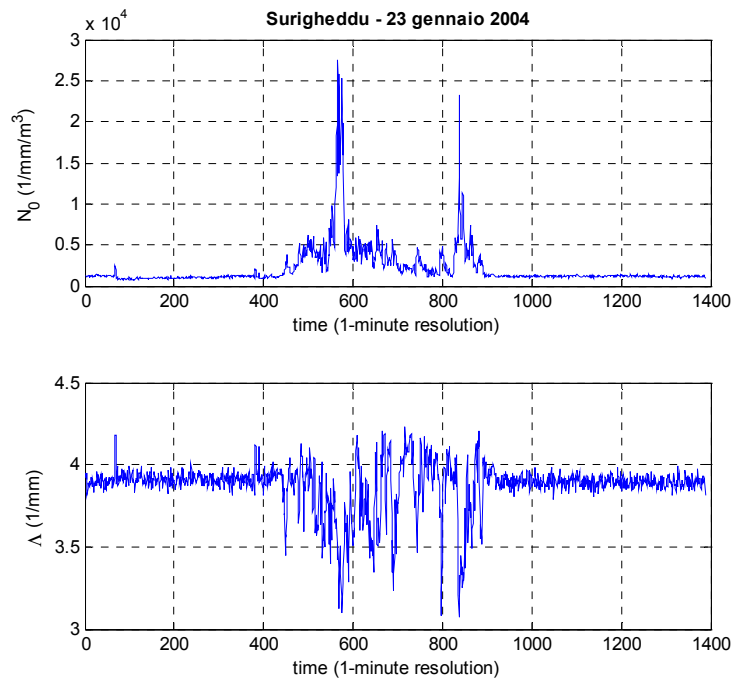


Figura 39 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

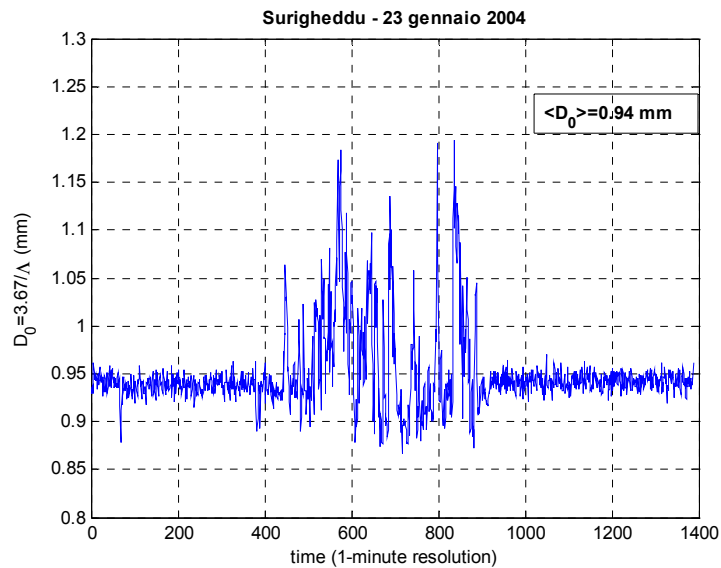


Figura 40 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

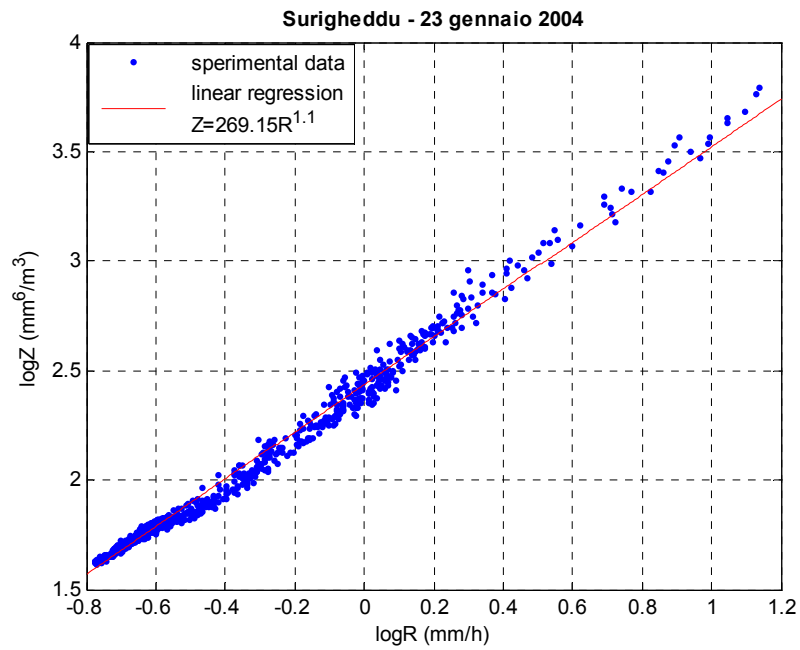


Figura 41 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

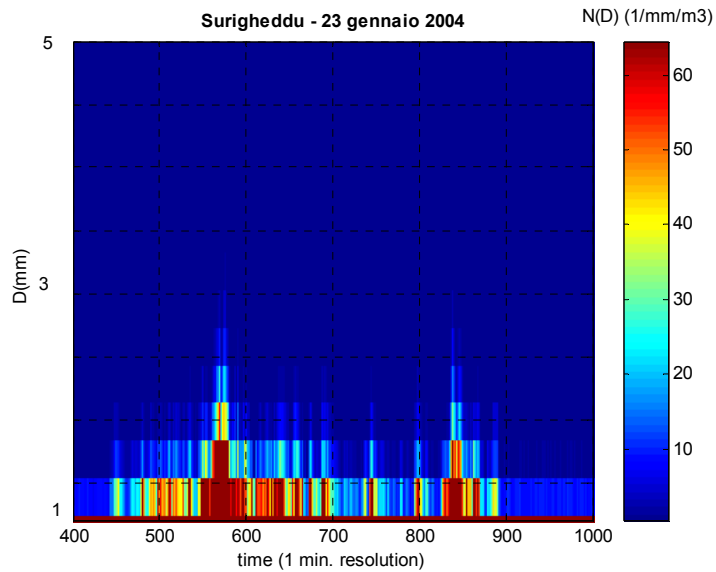


Figura 42 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (23/01/2004)

Stazione 23/01/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4,75	7,64	3,88x10 ⁶
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 2 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 23/01/2004

2.4.1.4 21 Febbraio 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 10:51 LT è ben visibile un ciclone Mediterraneo con un esteso fronte freddo associato a precipitazione intensa, con una estesa zona di bassa pressione ad ovest della Sardegna. Ciò è confermato da PLUDIX, che rileva, per la stazione di Surigheddu una precipitazione convettiva di massimo valore 80 mm/h tra le 12 e le 13 LT. La tecnica NAW conferma che al fronte freddo è associata una poggia stratiforme di 2 mm/h, al cui nucleo convettivo è associata una precipitazione convettiva di 8 mm/h.

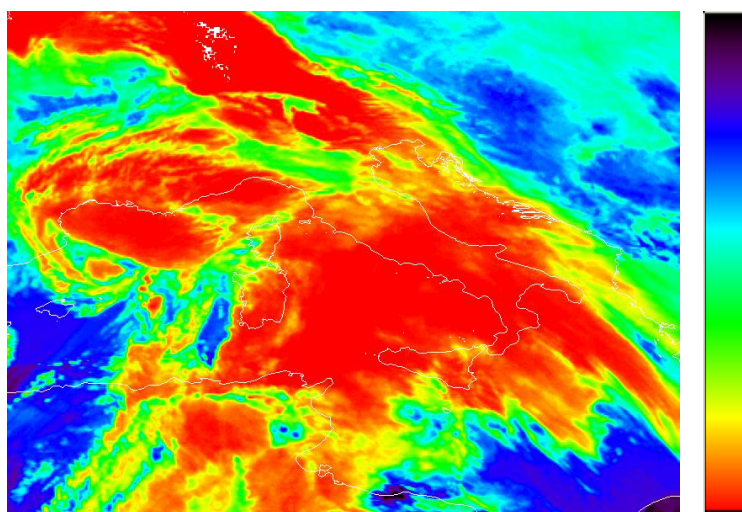


Figura 43 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (21/02/2004)

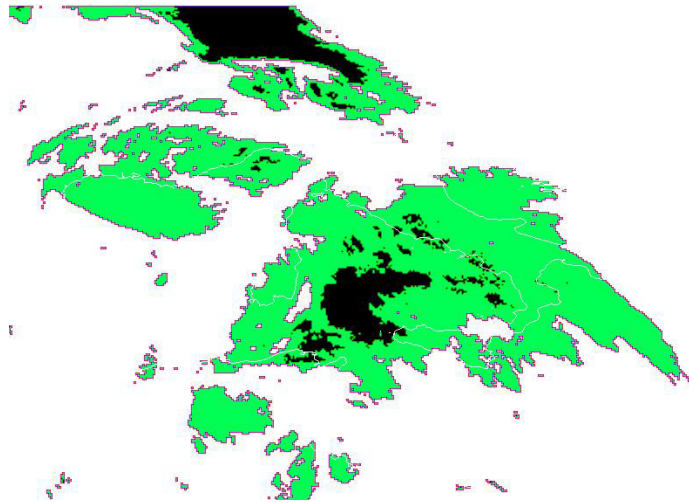


Figura 44 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (21/02/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

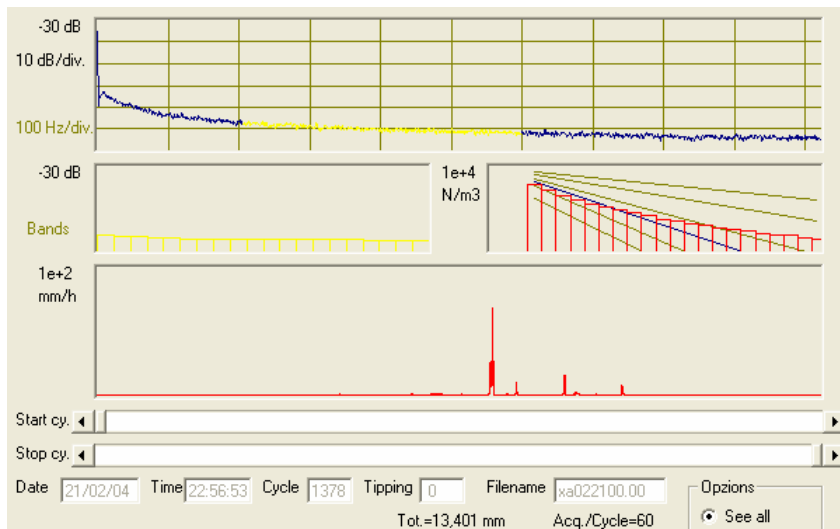


Figura 45 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

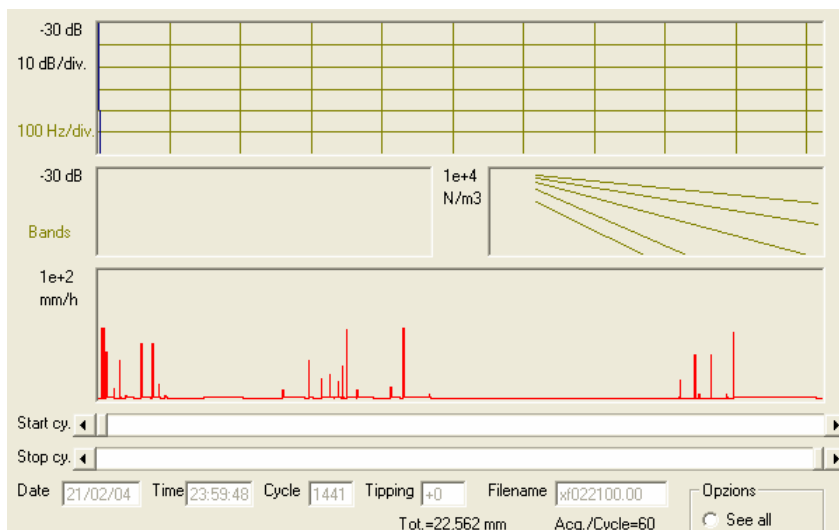


Figura 46 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (21/02/2004)

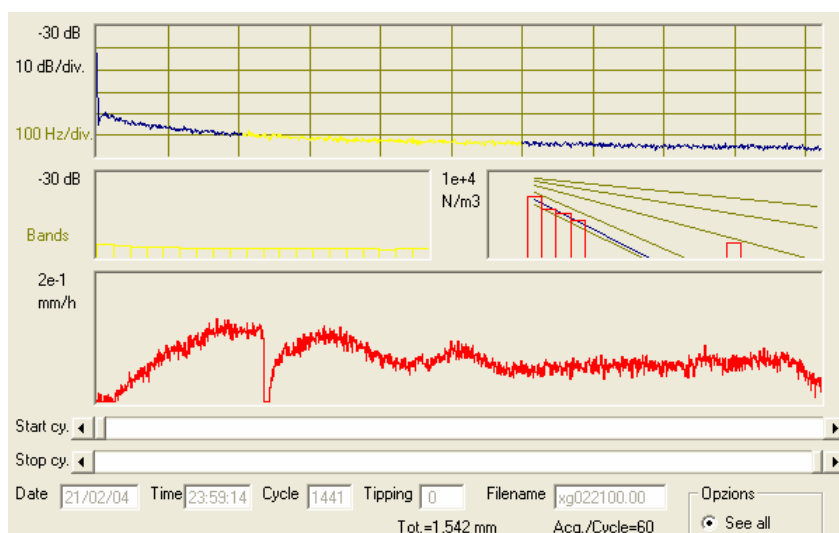


Figura 47 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (21/02/2004)

Stazione di Surigheddu

Poiché le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva diversi episodi convettivi. Consideriamo ad esempio il primo episodio convettivo. Osserviamo le Figure 48 e 49 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile notare che il primo shower convettivo ha valori di R >60 mm/h e valori di Z superiori a 40 dBZ.

Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 53. Il legame Z-R è stato calcolato per tutta la giornata e fornisce valori di $A=263,02$ e $b=1,06$. L'episodio convettivo principale è caratterizzato da gocce con elevati valori di $D_0 (>1,2 \text{ mm})$, come confermato dalla Figura 51. Dal grafico di $N_T (1/\text{mm}^3)$, Figura 52, si evince inoltre che il numero di gocce per tale episodio convettivo è abbastanza alto (dell'ordine di $10^3 /\text{mm}^3$). Contrariamente all'evento del 11/12/2003, anch'esso convettivo (per la stazione di Rotondella), caratterizzato da molte gocce anche di piccole dimensioni, questo evento è caratterizzato da meno gocce ma di dimensioni più grosse, indice che non avviene, o comunque avviene in maniera ridotta, il fenomeno del break-up. Combinando questo grafico con quello di Figura 55, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può infatti osservare che l'episodio convettivo è caratterizzato da numerose gocce, anche di medie/grosse dimensioni.

In Figura 50 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per tutta la giornata di precipitazione, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per tutta la giornata alla DSD media per l'episodio convettivo, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole sia quella delle gocce più grosse; questo si evince dai valori medi di N_0 e di Λ da cui si può notare che il primo aumenta di un fattore 10, mentre Λ non subisce grosse variazioni.

Questo è anche confermato dalla Figura 54, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva inoltre che l'evento convettivo è caratterizzato da elevati valori di N_0 e da bassi valori di Λ , indice appunto che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

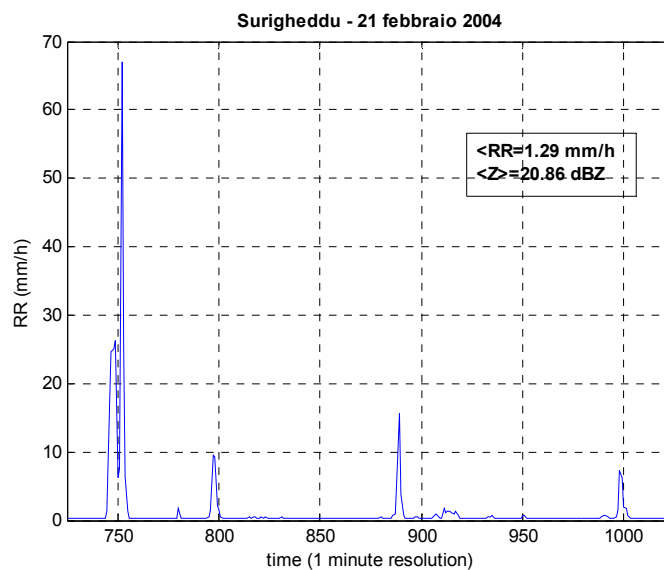


Figura 48 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

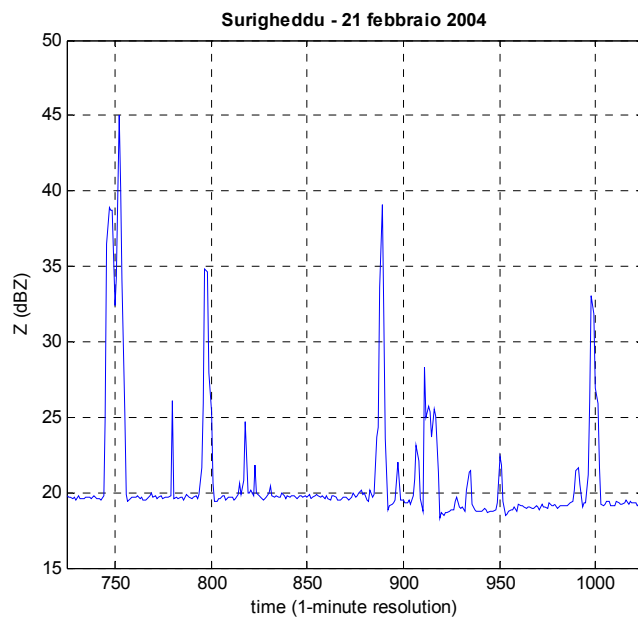


Figura 49 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

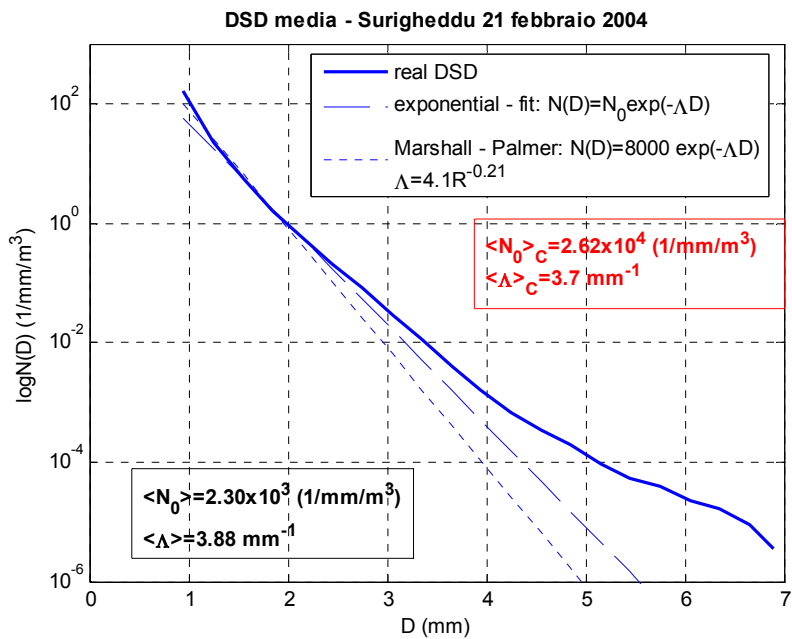


Figura 50 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

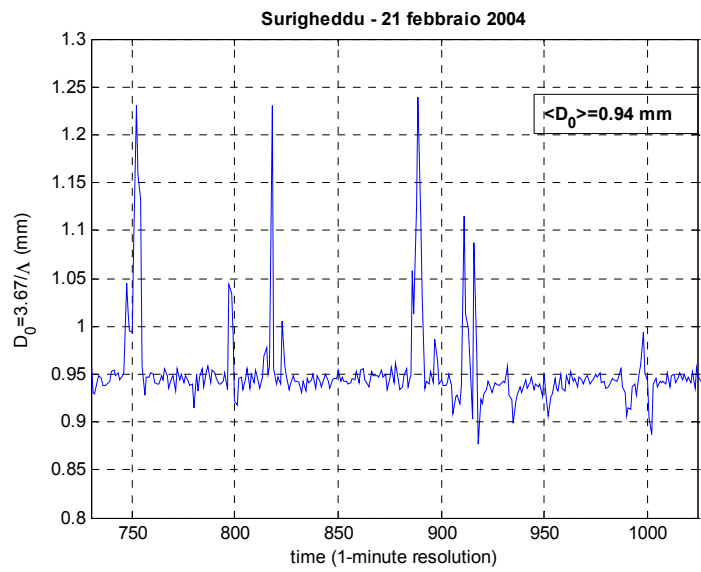


Figura 51 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

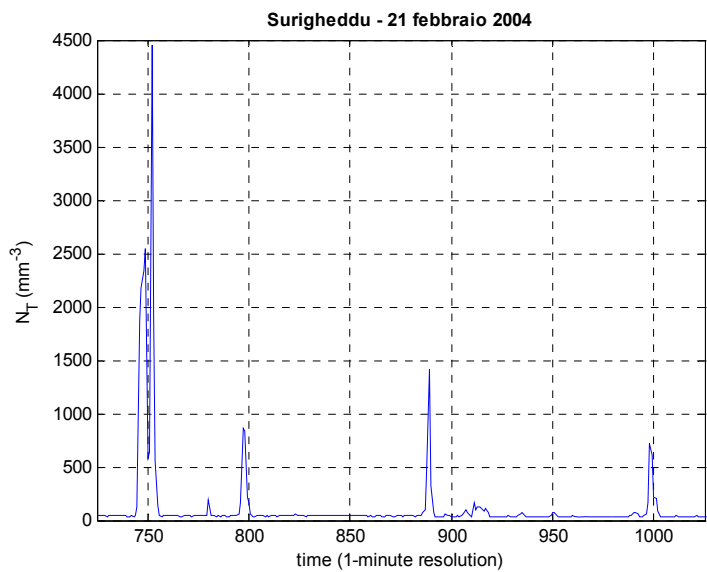


Figura 52 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

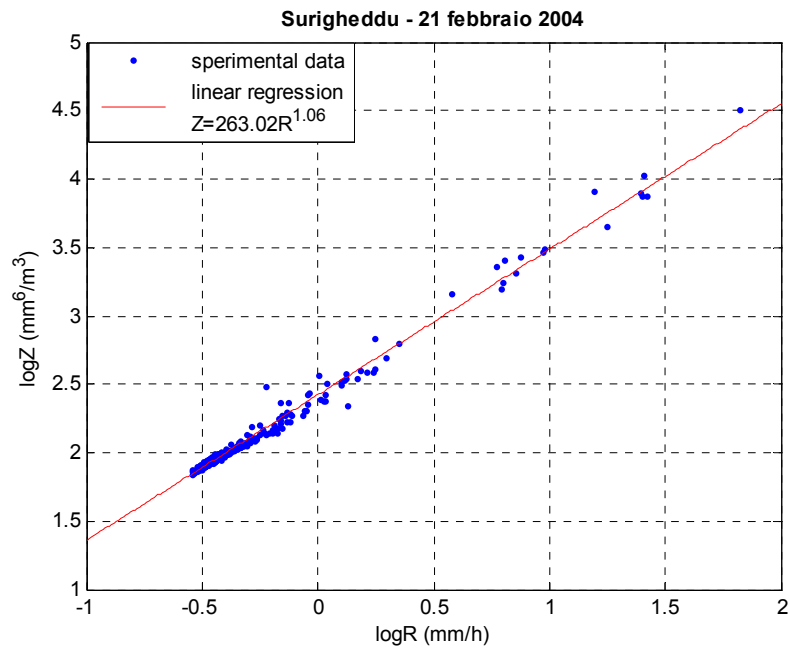


Figura 53 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

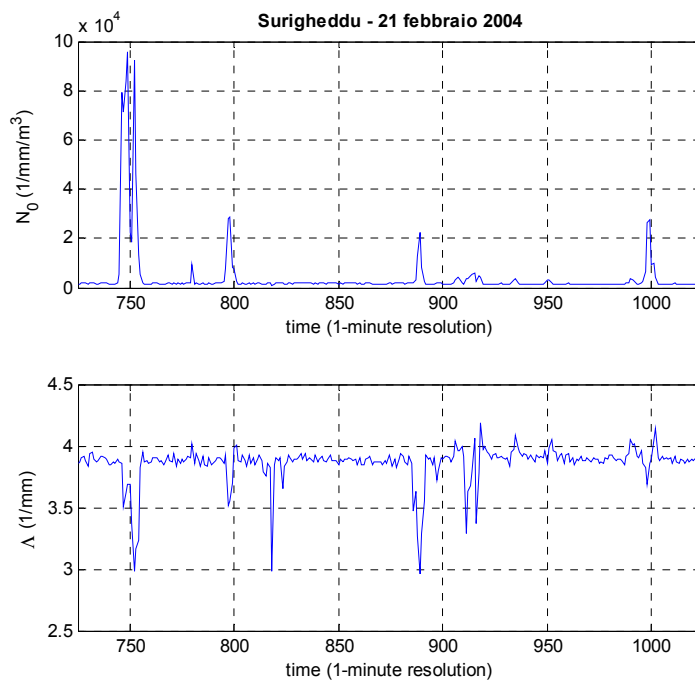


Figura 54 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

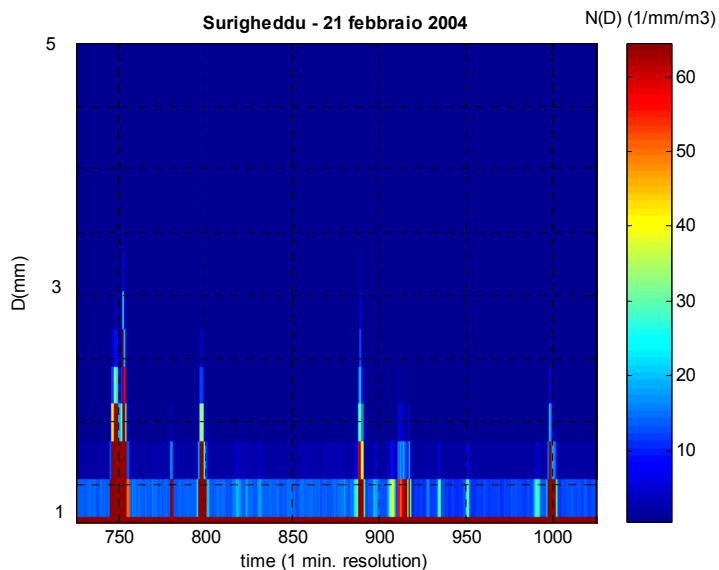


Figura 55 - Evoluzione temporale della DSD ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (21/02/2004)

Stazione 21/02/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 ($1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$)
Surigheddu	4,08	7,13	$7,12 \times 10^6$
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 3 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in $1/\text{mm}$, N_0 in $1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$), per l'evento del 21/02/2004.

2.4.1.5 06 Marzo 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 10:51 LT è ben visibile un sistema ciclonico con fronte freddo. Celle convettive sono presenti a nord-ovest della Corsica e nel sud Italia. Le tre stazioni PLUDIX sono comunque pressochè libere da nubi e comunque associate a nubi stratiformi in transito. Ciò è confermato da PLUDIX, che rileva, per la stazione di Surigheddu una precipitazione intorno ai 4 mm/h di tipo stratiforme tra le 11 e le 12 LT. Le stazioni di Licata e Rotondella rilevano totale assenza di precipitazioni, come confermato dalle immagini satellitari.

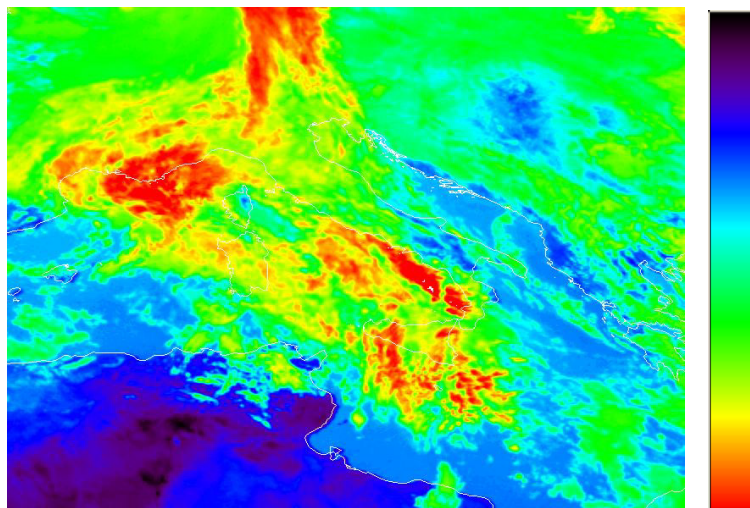


Figura 56 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR ed IR-RGB (06/03/2004)

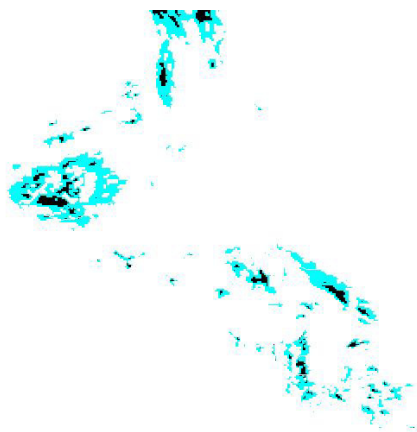


Figura 57 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (06/03/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

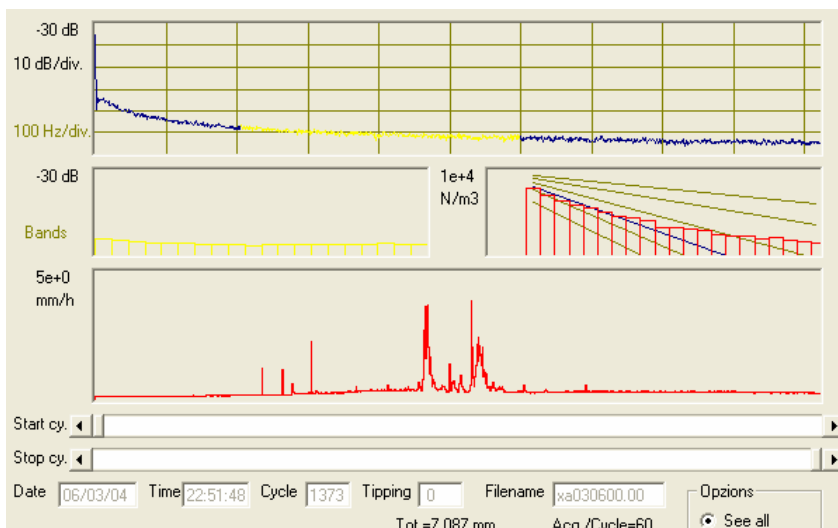


Figura 58 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

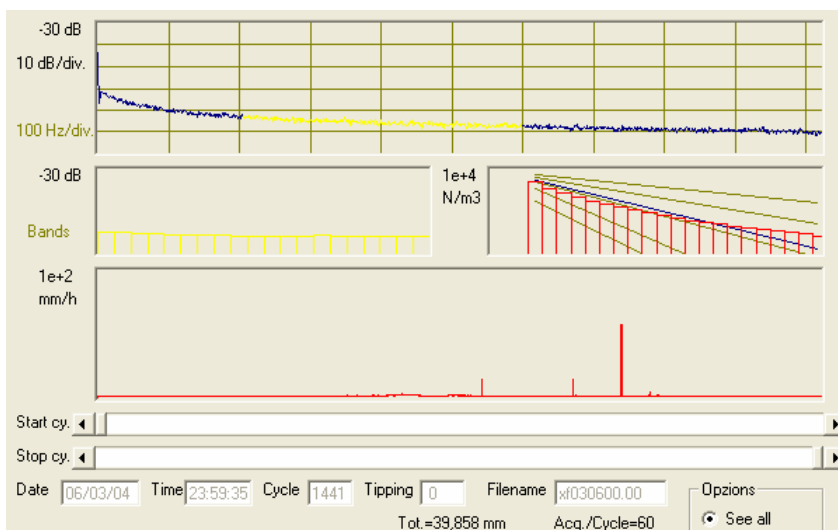


Figura 59 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (06/03/2004)

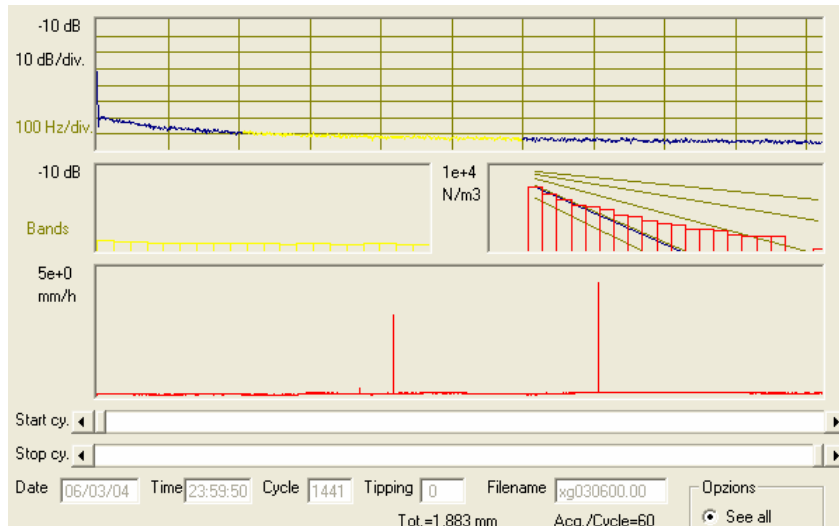


Figura 60 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/03/2004)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva un episodio stratiforme. Osserviamo infatti le Figure 61 e 62 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici si nota che la rainfall-rate è sempre inferiore a 4 mm/h e Z è sempre inferiore di 31 dBZ, indice di precipitazione stratiforme. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 67. Il legame Z - R non si discosta significativamente dai valori di A e b di MP per piogge stratiformi alle medie latitudini. Il basso valore di b (e circa uguale ad 1) è inoltre indice di valori di D_0 pressochè costanti, come confermato dalla Figura 65. Il valore medio di D_0 è basso e pari a 0,94 mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 63, si evince inoltre che il numero di gocce è molto basso ($<400 /\text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 68, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può inoltre osservare l'evento è caratterizzato da poche gocce di piccole dimensioni.

In Figura 64 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. La distribuzione esponenziale a due parametri fitta con sufficiente accuratezza la distribuzione reale nell'intervallo diametrale 1-4 mm. La Figura 66, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, rivela che i valori di N_0 sono dell'ordine di 10^4 ($1/\text{mm}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a 4 mm^{-1} .

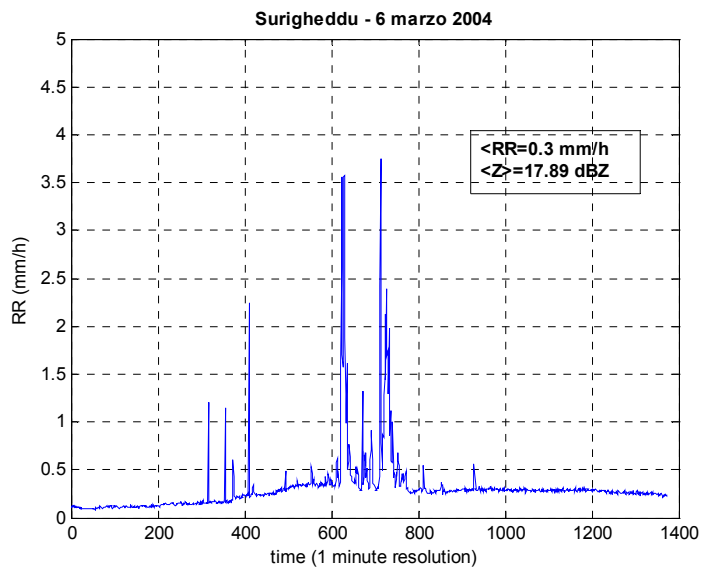


Figura 61 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

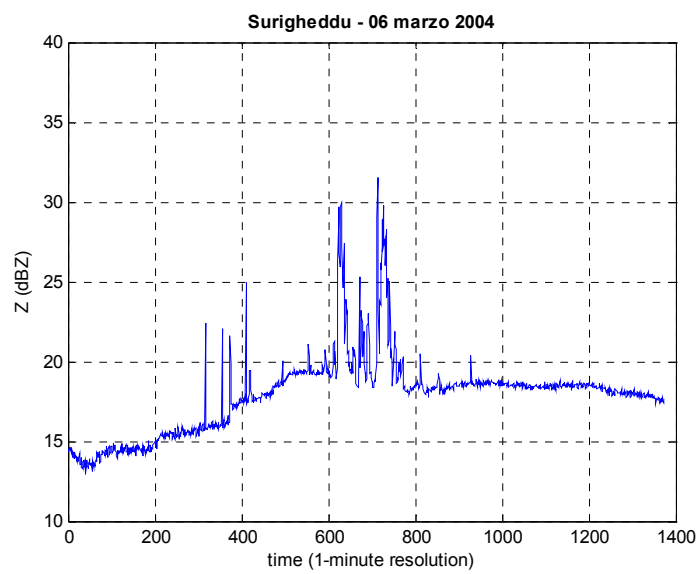


Figura 62 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

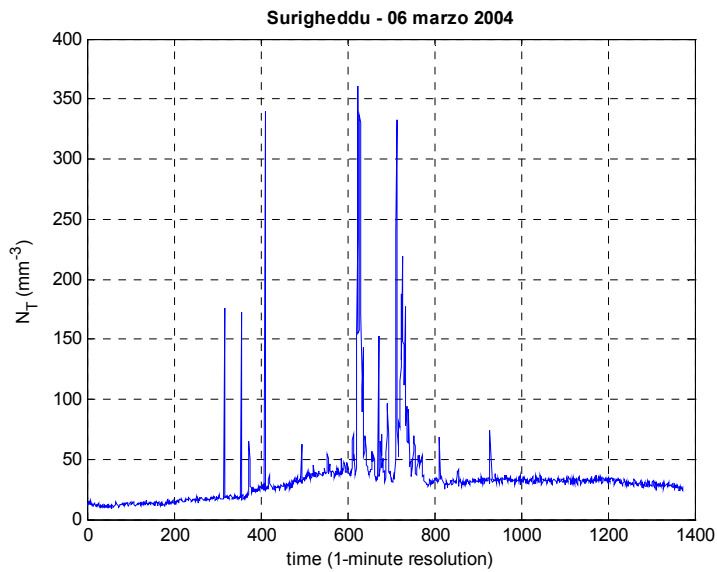


Figura 63 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

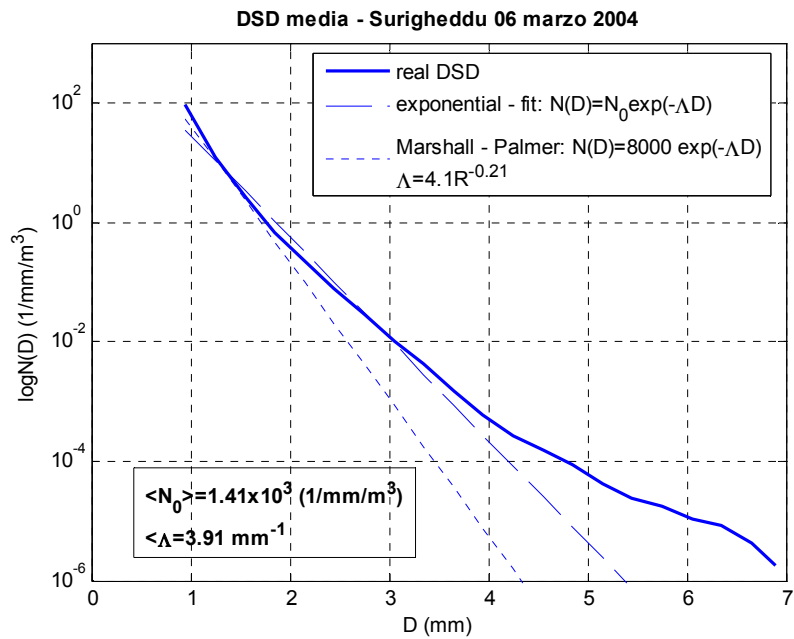


Figura 64 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

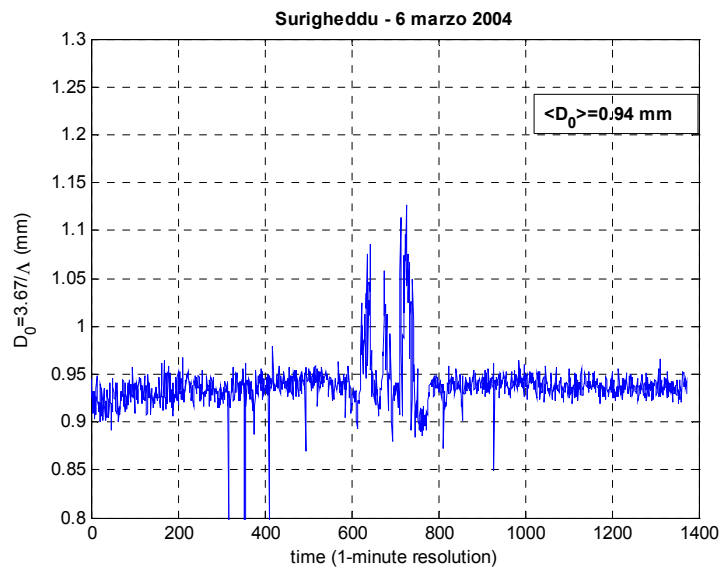


Figura 65 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

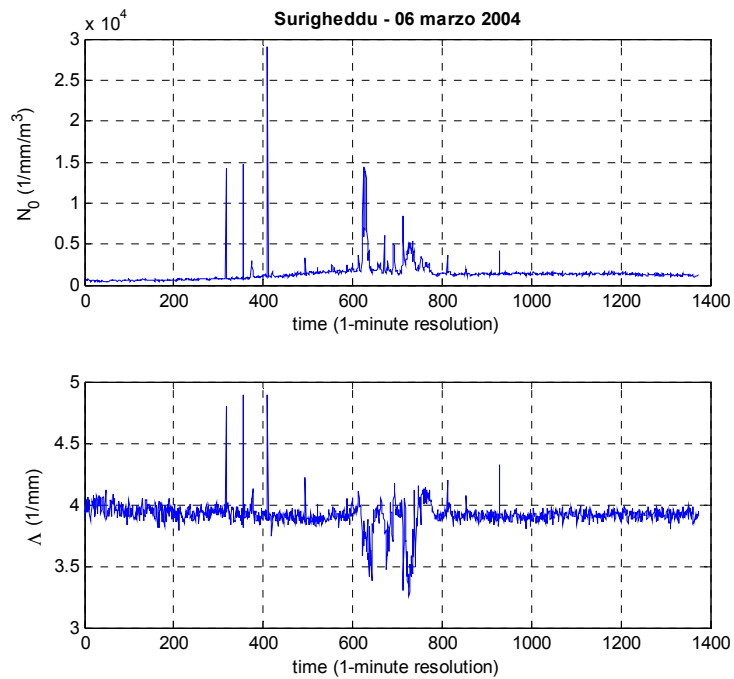


Figura 66 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

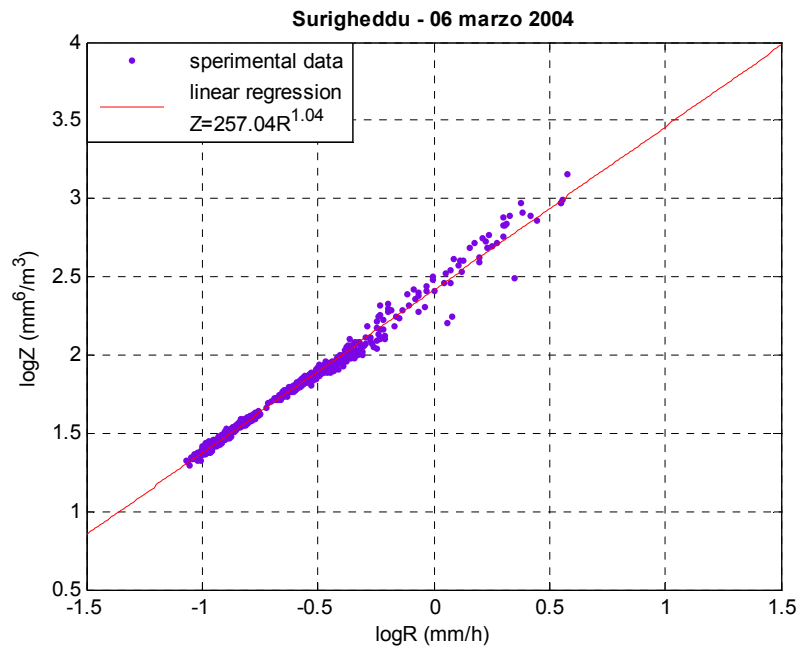


Figura 67 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

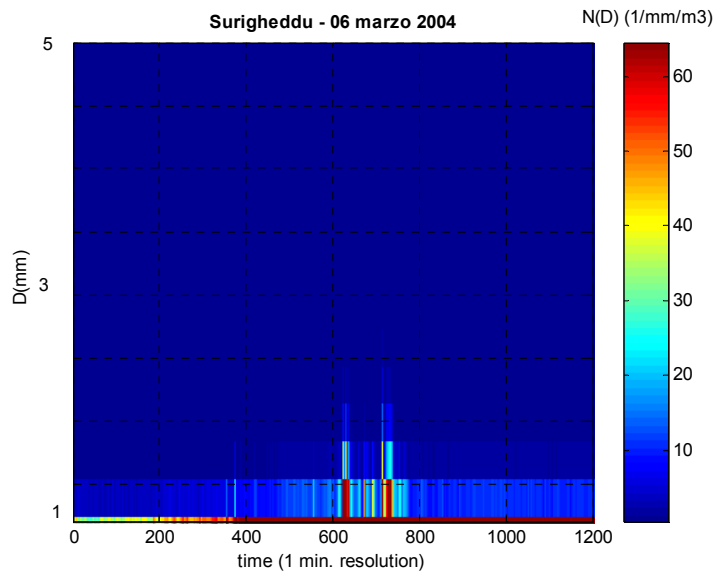


Figura 68 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/03/2004)

Stazione 06/03/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4.41	7.46	7.83x10 ⁴
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 4 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 06/03/2004

2.4.1.6 03 Aprile 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 11:21 LT è ben visibile un MCS a sud della Sardegna dalla caratteristica V-shape, formatosi a seguito di un esteso ciclone Mediterraneo. È anche ben visibile una dry intrusion. Tale evento è confermato dalla stazione di Surigheddu che rileva una precipitazione molto elevata tra le 14 e le 15 LT, mentre le stazioni PLUDIX di Licata e Rotondella non rilevano precipitazione (sono infatti pressochè libere da nubi). Ciò è anche confermato dalle immagini satellitari NAW.

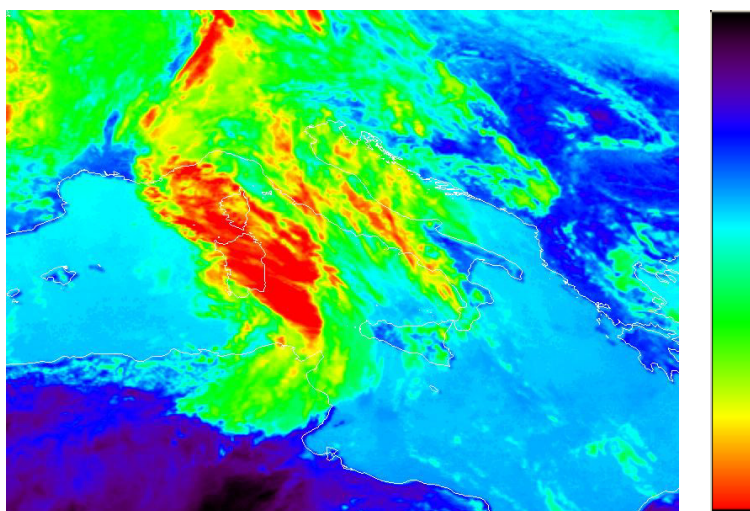


Figura 69 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR ed IR-RGB (03/04/2004)

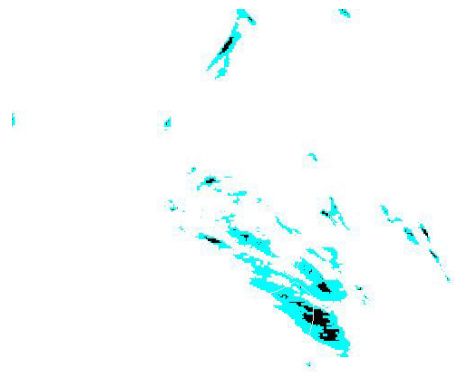


Figura 70 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (03/04/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

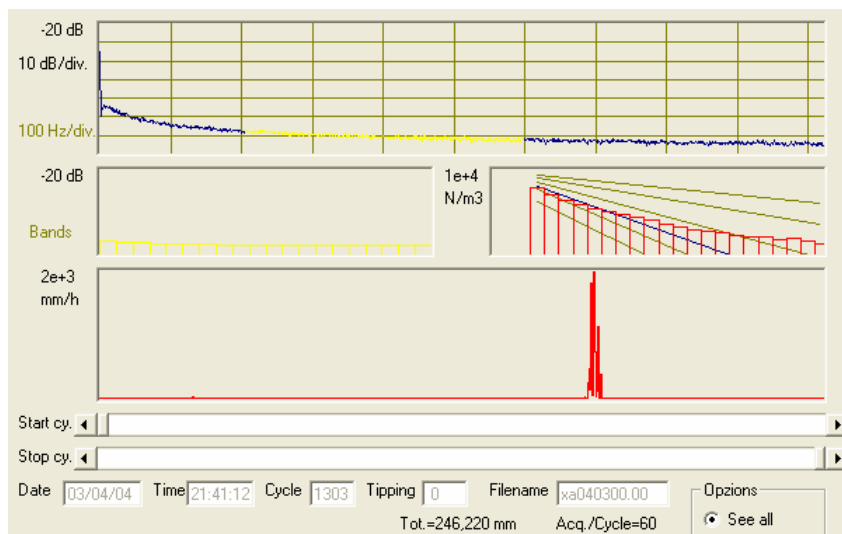


Figura 71 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

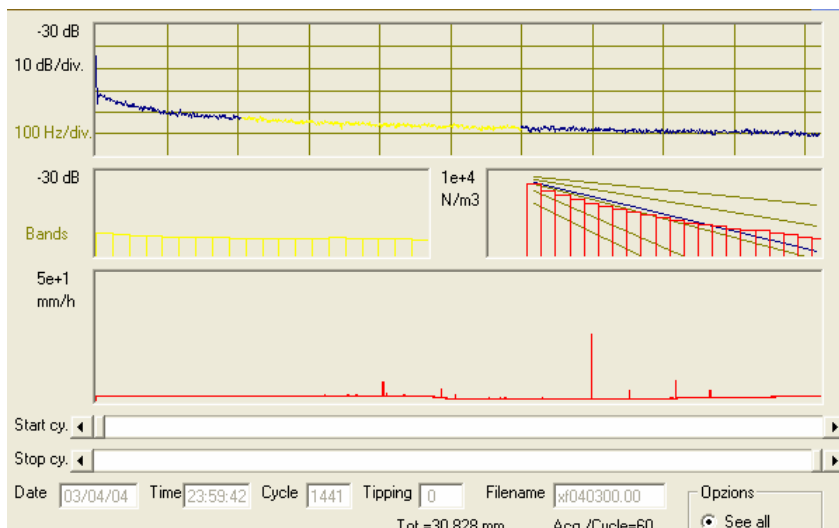


Figura 72 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (03/04/2004)

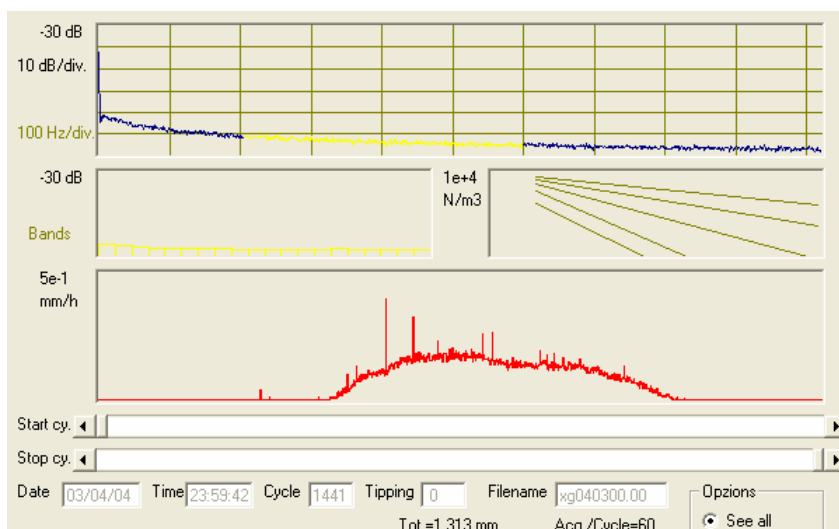


Figura 73 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (03/04/2004)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva un episodio stratiforme seguito da un episodio convettivo molto intenso. Osserviamo le Figure 74 e 75, che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile notare che il primo episodio stratiforme ha valori di R >10 mm/h e valori di Z <38dBZ, mentre l'episodio convettivo ha valori di R >100mm/h e di Z >50 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 80.

Il legame Z-R è stato calcolato per tutta la giornata e fornisce valori di $A=309,02$ e $b=1,14$; i valori elevati di A e b indicano la presenza di gocce con elevati valori di D_0 , la cui variazione è notevole, come confermato dalla Figura 78 (la fase stratiforme ha $D_0 < 1,2$ mm, mentre nella fase convettiva D_0 supera 1.6 mm). Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 76, si evince inoltre che il numero di gocce dell'episodio convettivo è molto alto (dell'ordine di $10^4 /\text{mm}^3$) e molto maggiore del numero di gocce dell'episodio stratiforme. Combinando questo grafico con quello di Figura 81, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può infatti osservare che l'episodio convettivo è caratterizzato numerose gocce, sia di piccole che di grosse dimensioni, mentre nell'episodio stratiforme vi è la predominanza di gocce di piccole/medie dimensioni.

In Figura 77 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per tutta la giornata di precipitazione (blu), per il solo episodio stratiforme (verde) e per il solo episodio convettivo (rosso), a cui, per ciascuno dei 3 casi, sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per l'episodio stratiforme alla DSD media per l'episodio convettivo, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole che quella delle gocce più grosse; questo si evince dai valori medi di N_0 e di Λ da cui si può notare che il primo aumenta di un fattore 10^2 , mentre Λ non subisce grosse variazioni (diminuisce leggermente). Notare inoltre come aumenta, nella fase convettiva, la concentrazione delle gocce tra 1-1.5 mm mentre cala quella tra 1,5 e 2,5 mm. Notare inoltre che sia l'episodio convettivo che quello stratiforme sono descritti con sufficiente accuratezza da una distribuzione esponenziale. Questi comportamenti sono anche confermati dalla Figura 79, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva che passando dall'episodio stratiforme a quello convettivo, il parametro N_0 aumenta (fino a 10^6) mentre Λ cala fino a 2,5, indice appunto che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

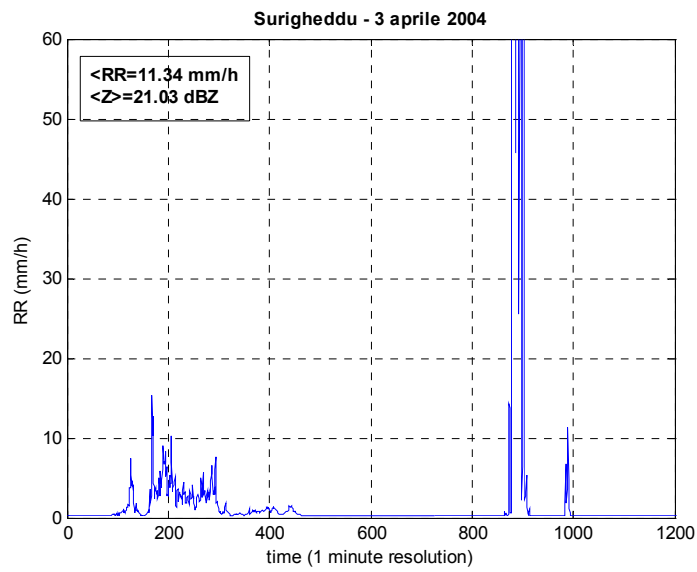


Figura 74 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

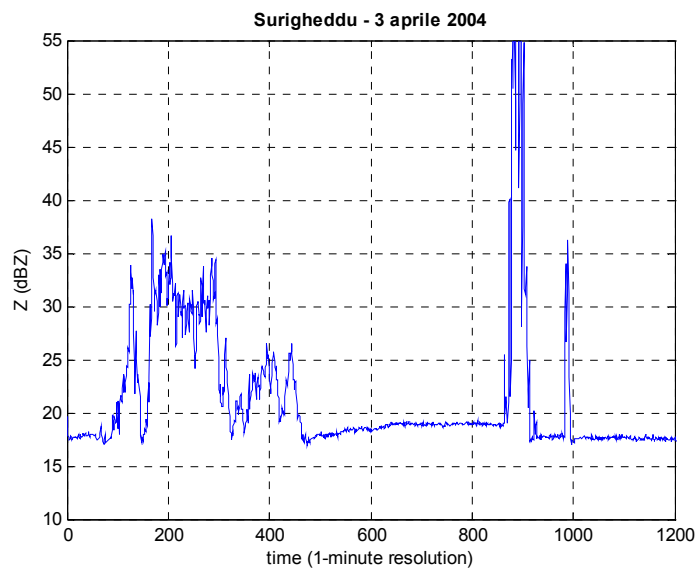


Figura 75 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

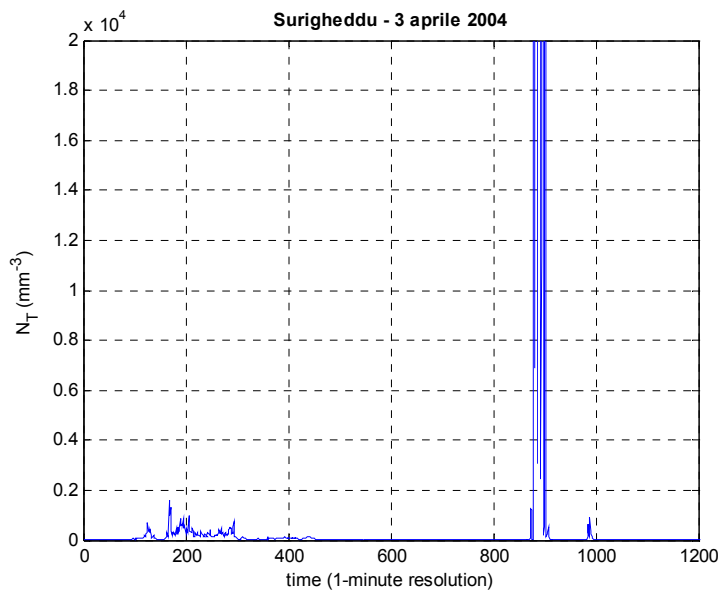


Figura 76 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

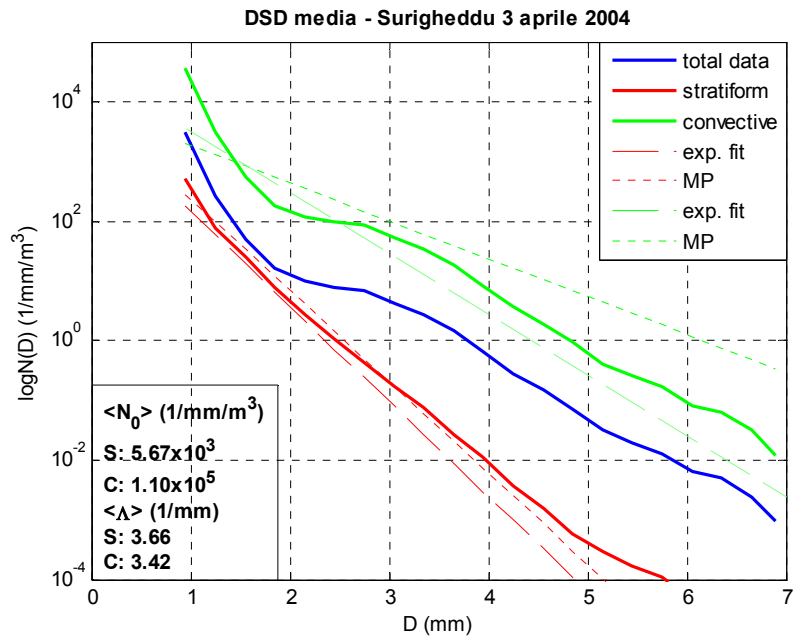


Figura 77 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

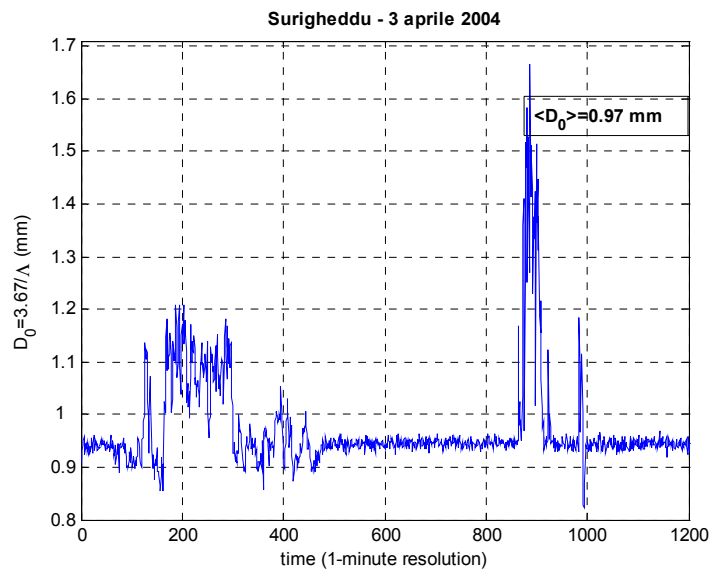


Figura 78 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

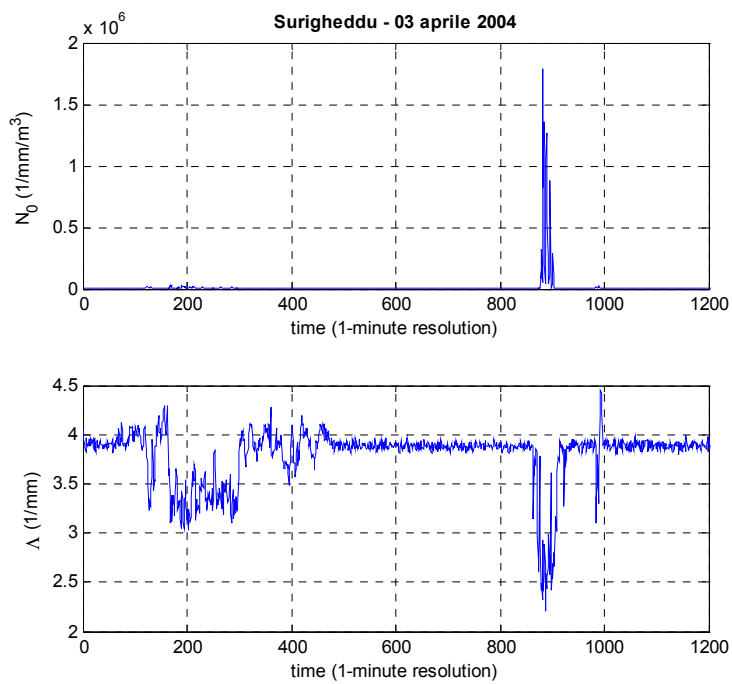


Figura 79 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

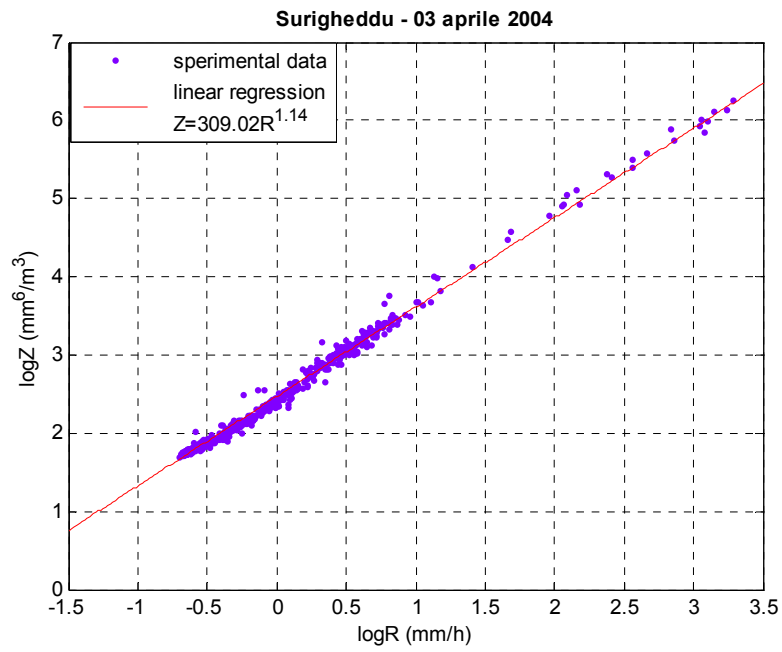


Figura 80 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

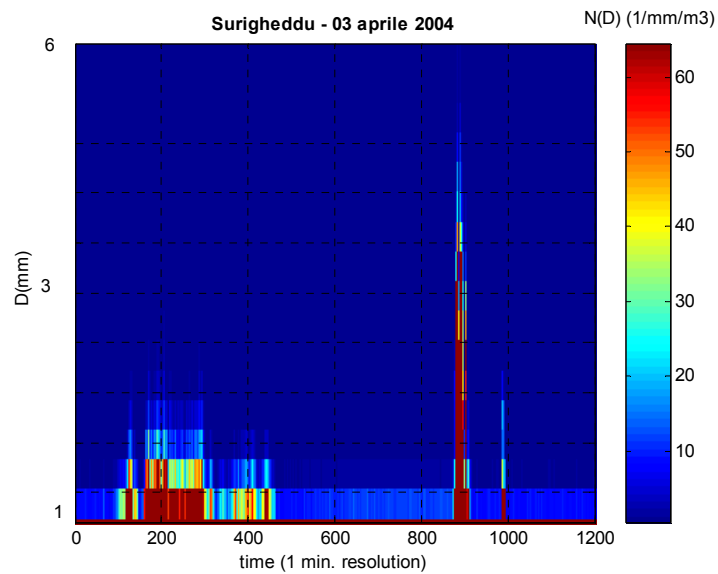


Figura 81 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (03/04/2004)

Stazione 03/04/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4,38	7,27	1,79x10 ⁸
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 5 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 03/04/2004

2.4.1.7 05 Maggio 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 11:21 LT è ben visibile un fronte freddo associato allo sviluppo di un ciclone atlantico. Celle convettive (cumulonembi) sono inoltre ben visibili sul Nord Italia e sulla Sardegna, associate ad una precipitazione intensa come confermato dalla immagine NAW e dalla precipitazione rilevata da PLUDIX per il sito di Surigheddu (intorno ai 200 mm/h verso le ore 11:00 LT). Le stazioni di Licata e Rotondella rilevano una quasi totale assenza di precipitazioni, come confermato dalle immagini satellitari.

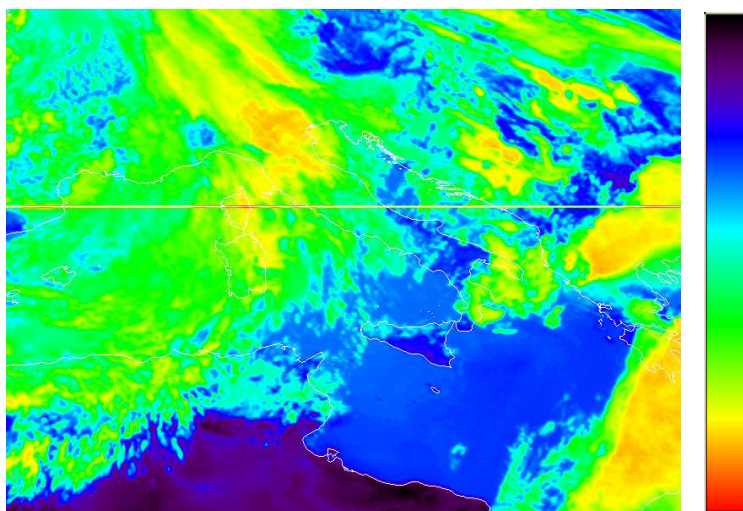


Figura 82 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR ed IR-RGB (05/05/2004)

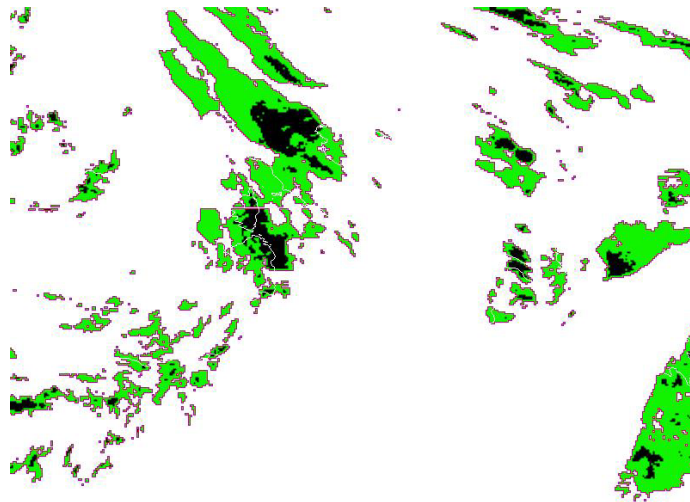


Figura 83 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (05/05/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

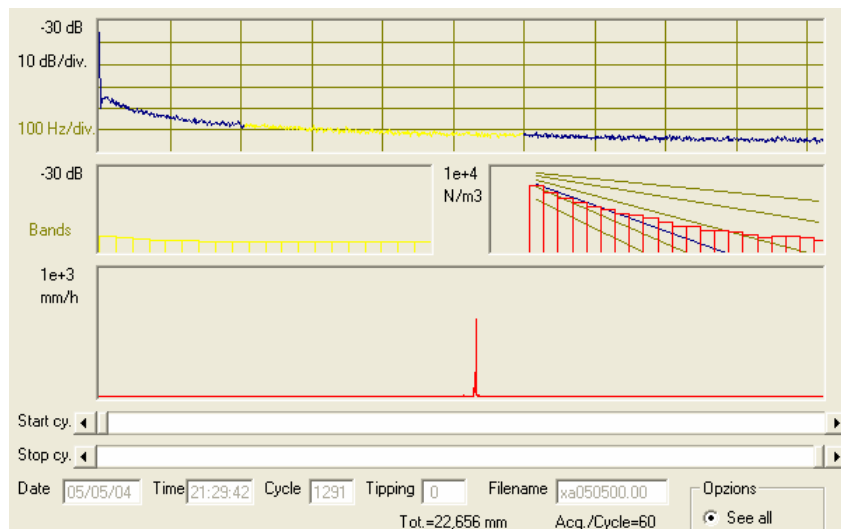


Figura 84 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

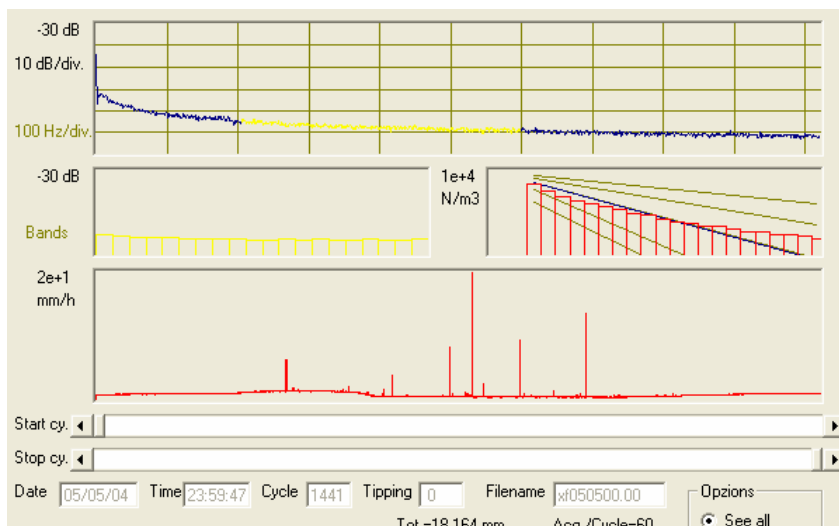


Figura 85 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (05/05/2004)

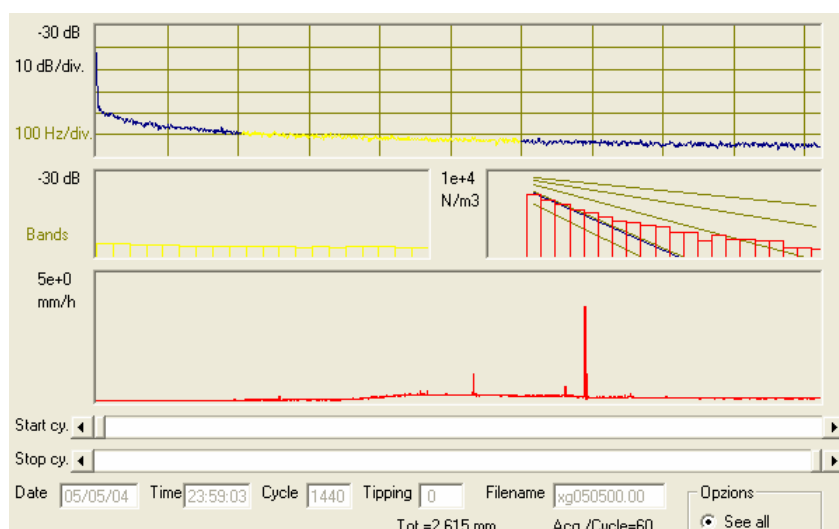


Figura 86 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (05/05/2004)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva diversi episodi, di cui uno convettivo, su cui ci soffermiamo per l'analisi. Osserviamo le Figure 87 e 88 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ).

Da questi grafici è possibile identificare uno shower convettivo avente valore di $R > 90$ mm/h e valore di Z superiore a 50 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 92. Il legame Z - R per l'intera giornata fornisce un valore di $A > 200$, indice di presenza di gocce con elevati valori di D_0 , come confermato dalla Figura 90, che fornisce per l'episodio convettivo un valore di $D_0 > 1,1$ mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 89, si evince inoltre che il numero di gocce per l'episodio convettivo è molto alto (dell'ordine di $10^4 / \text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 94, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può osservare che l'episodio convettivo è caratterizzato da numerose gocce, anche di grosse dimensioni, ma anche dalla presenza di gocce di dimensioni più ridotte, probabilmente dovute al break-up.

In Figura 93 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per tutta la giornata alla DSD media per l'episodio convettivo, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole che quella delle gocce più grosse. Questo è anche confermato dalla Figura 91, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva inoltre che per l'episodio convettivo N_0 aumenta (ordine di $10^5 1/\text{mm}/\text{m}^3$), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) diminuiscono fino a $3,2 \text{ mm}^{-1}$, indice che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

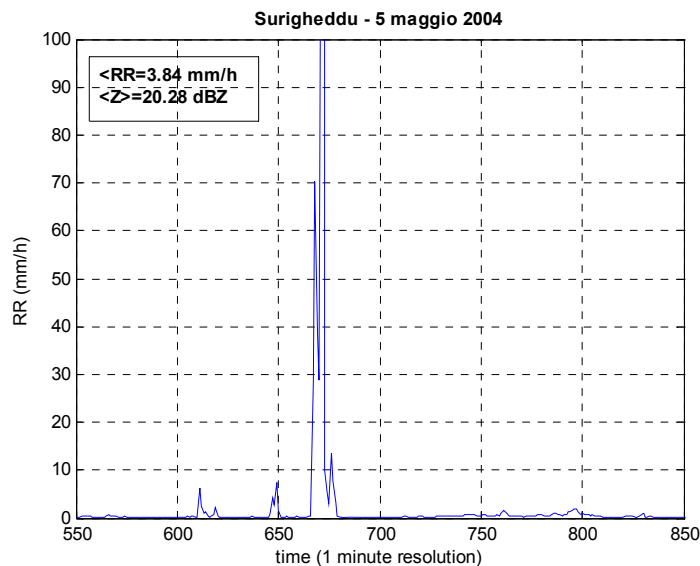


Figura 87 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

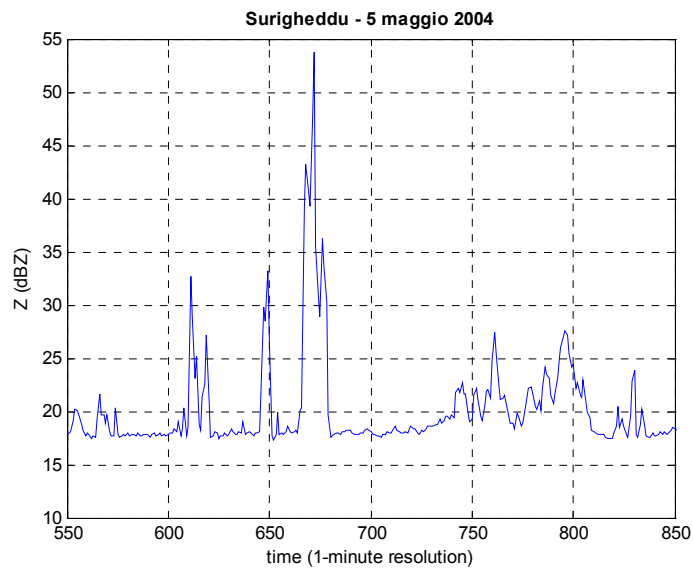


Figura 88 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

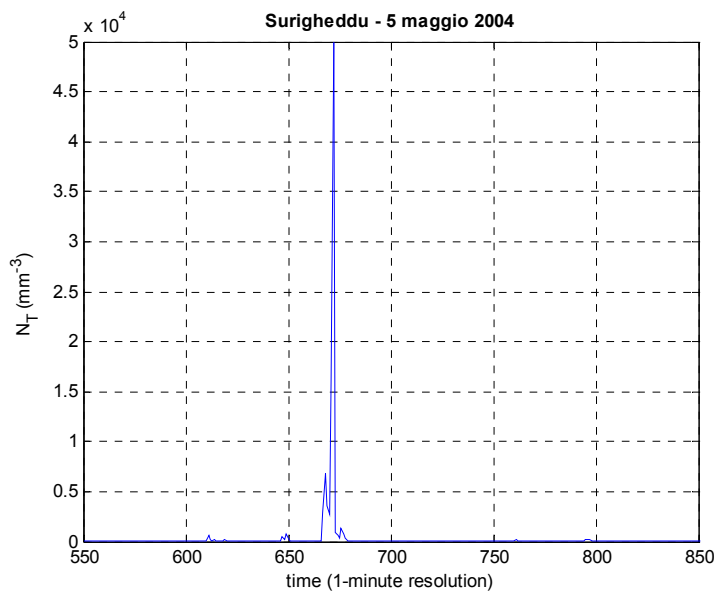


Figura 89 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

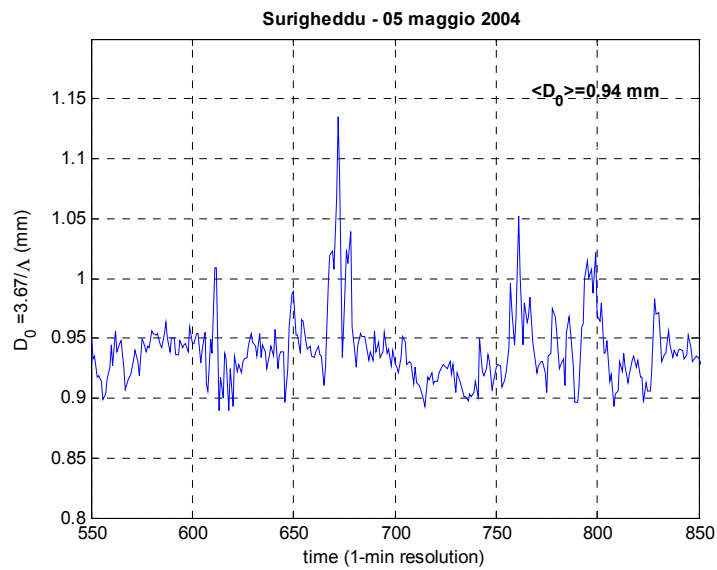


Figura 90 - Diametro equivolumetrico medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

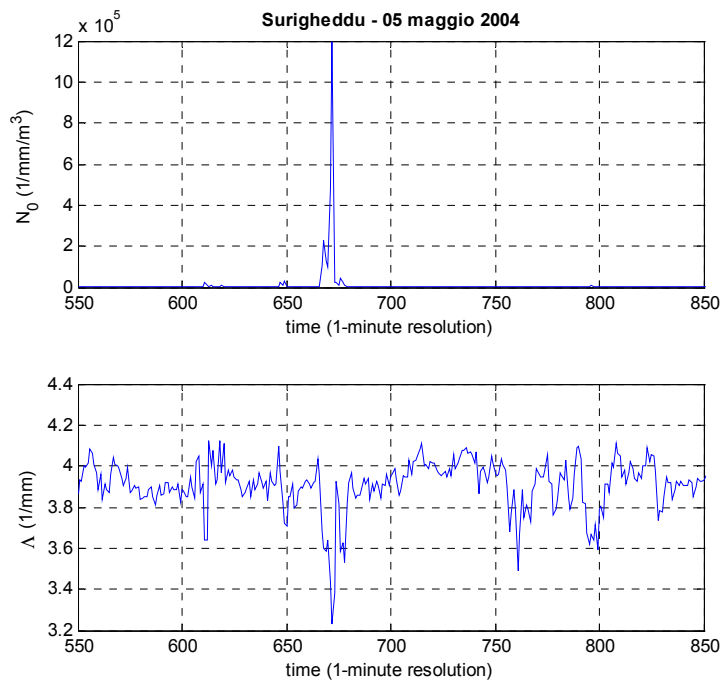


Figura 91 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

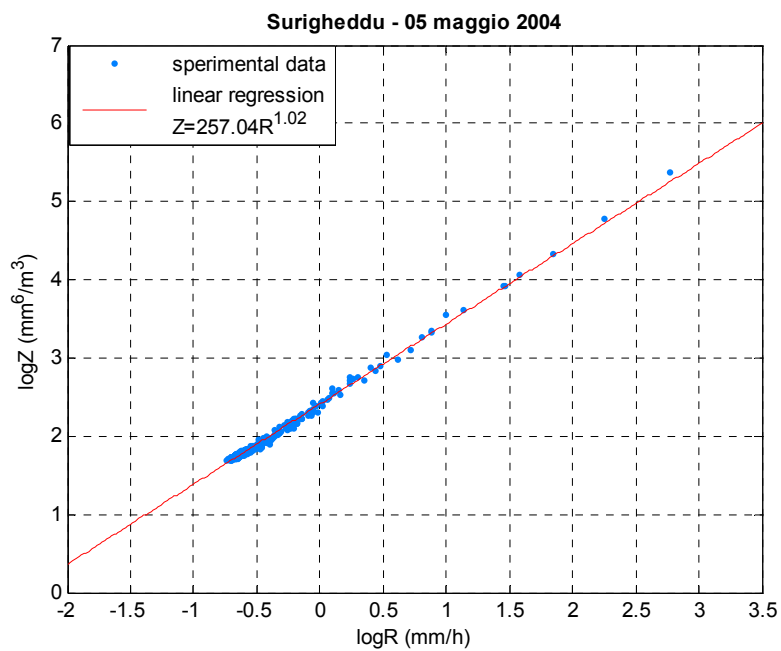


Figura 92 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

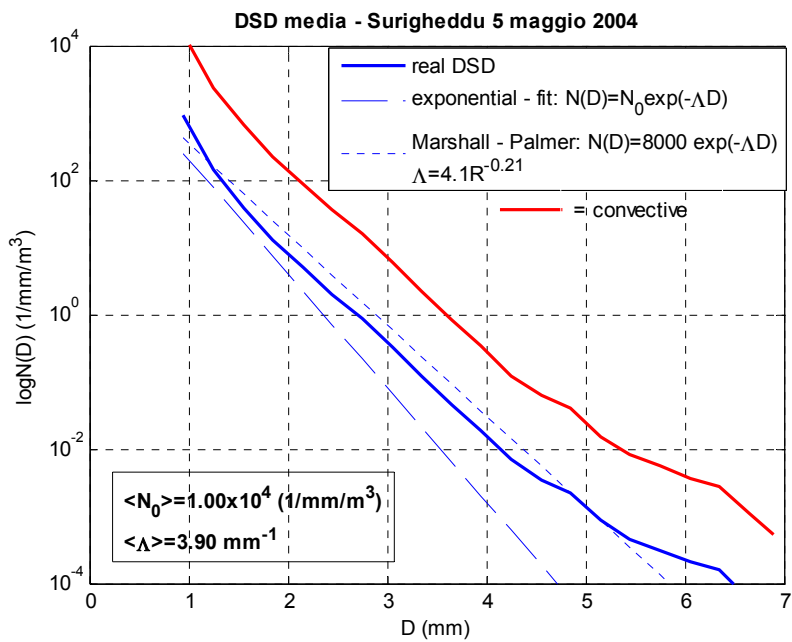


Figura 93 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

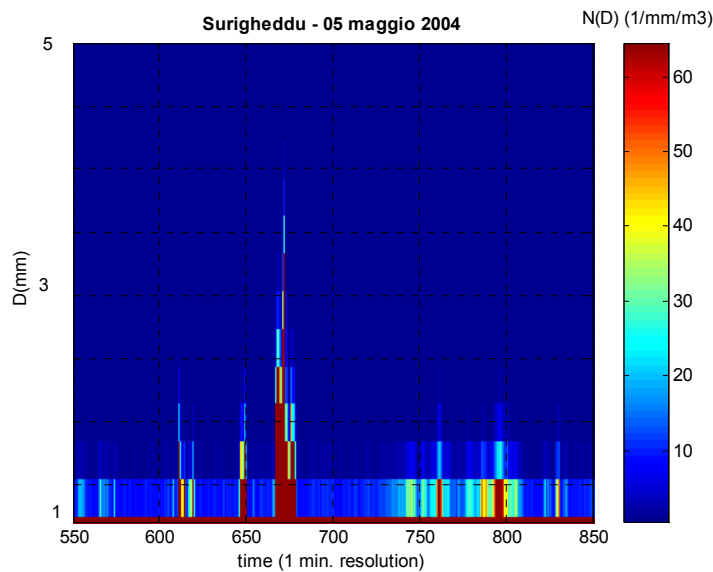


Figura 94 - Evoluzione temporale della DSD ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (05/05/2004)

Stazione 05/05/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 ($1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$)
Surigheddu	4,92	7,85	$5,06 \times 10^5$
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 6 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in $1/\text{mm}$, N_0 in $1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$), per l'evento del 05/05/2004

2.4.1.8 06 Maggio 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 09:21 LT è ben visibile una estesa cella convettiva sulla Basilicata, associata ad un sistema ciclonico, che produce per lo stesso orario, una precipitazione di 30 mm/h nella stazione di Rotondella (rilevazione PLUDIX). La tecnica NAW fornisce una precipitazione tra 2-8 mm/h per questa zona (tra stratiforme e convettiva). Ricordiamo infatti che la NAW ha solo 3 soglie di precipitazione (0, 2 e 8 mm/h) e che suppone che alla zona con precipitazione intensa di 8 mm/h possa essere assegnato un valore convettivo, mentre alla zona di precipitazione moderata di 2 mm/h un valore stratiforme (la zona a 0 mm/h corrisponde ad assenza totale di precipitazione).

L'apparente discordanza con i valori forniti da PLUDIX è inoltre dovuta al fatto che la tecnica satellitare non fornisce un valore puntuale di precipitazione (come PLUDIX) ma un valore medio di precipitazione su un'area avente le dimensioni del pixel satellitare. Altre celle convettive sono ben visibili sulla Sardegna. Tali celle producono una precipitazione convettiva molto intensa sulla stazione di Surigheddu (intorno ai 100 mm/h), confermata anche dalle immagini NAW. La stazione di Licata rileva quasi totale assenza di precipitazioni, come confermato dall'immagine satellitare.

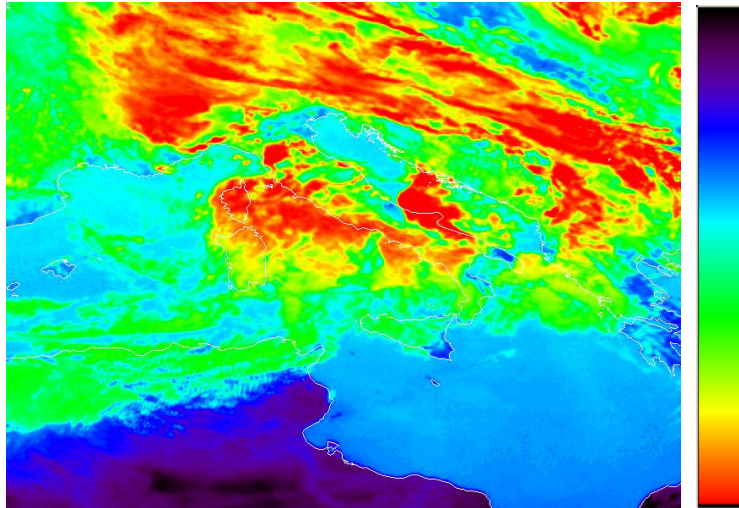


Figura 95 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR ed IR-RGB (06/05/2004)



Figura 96 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (06/05/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

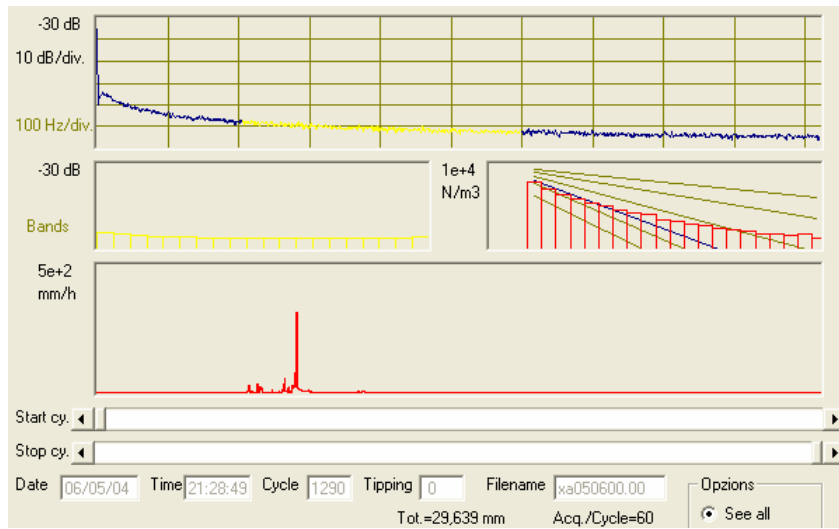


Figura 97 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

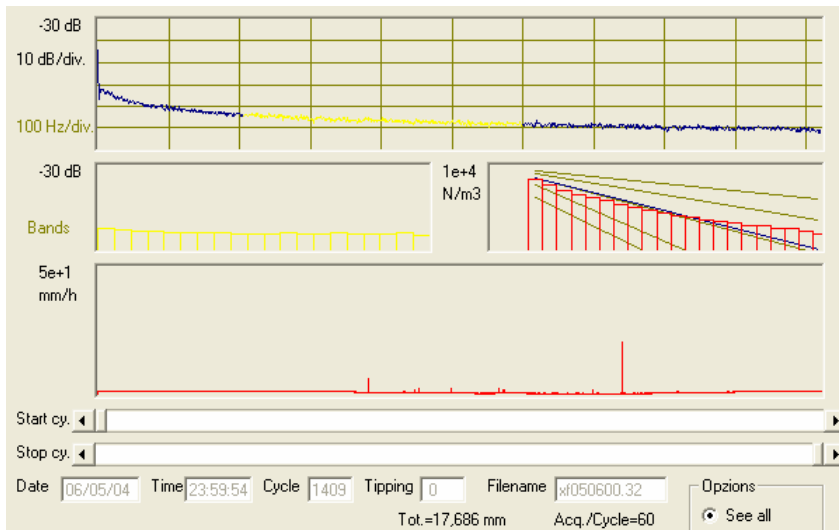


Figura 98 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (06/05/2004)

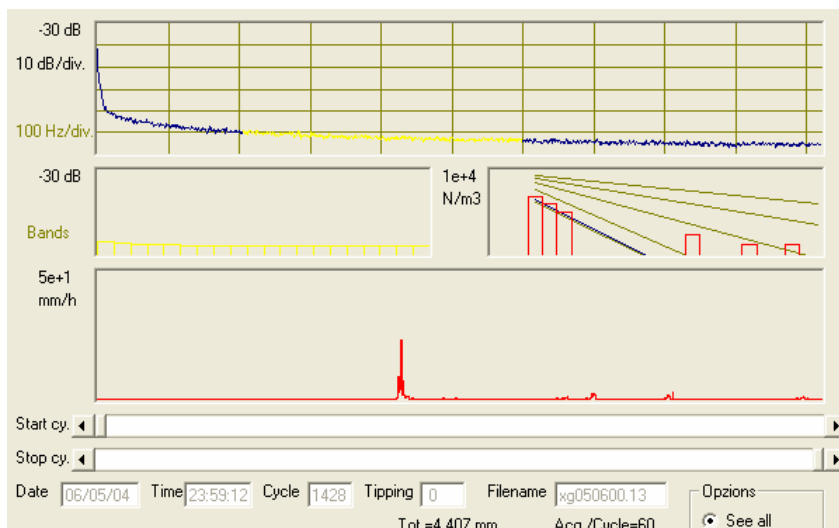


Figura 99 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

Dato che la stazione di Licata non rileva precipitazioni significative, analizziamo la situazione per le stazioni di Surigheddu e di Rotondella.

Stazione di Surigheddu

La stazione di Surigheddu rileva diversi episodi convettivi, su cui ci soffermiamo per l'analisi. Osserviamo le Figure 100 e 101 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile identificare diversi *showers* convettivi aventi valori di R >20, >30, >50, >90 mm/h rispettivamente e valori di Z sempre superiori a 38 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 105. Il legame Z-R per l'intera giornata fornisce un valore di $A=295,12$, indice di presenza di gocce con elevati valori di D_0 , come confermato dalla Figura 102, che fornisce per gli episodi convettivi valori di $D_0 > 1,1$ mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 103, si evince inoltre che il numero di gocce per l'episodio convettivo centrale è molto alto (dell'ordine di $10^5 / \text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 107, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può osservare che gli episodi convettivi sono caratterizzati da numerose gocce, anche di grosse dimensioni, ma anche dalla presenza di gocce di dimensioni più ridotte, probabilmente dovute al break-up.

In Figura 106 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per tutta la giornata alla DSD media per tutti gli episodi convettivi, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole che quella delle gocce medio/grosse.

Questo è anche confermato dalla Figura 104, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva che durante gli episodi convettivi N_0 aumenta (fino a 10^5 $1/\text{mm}/\text{m}^3$), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) diminuiscono fino a 2.8 mm^{-1} , indice che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

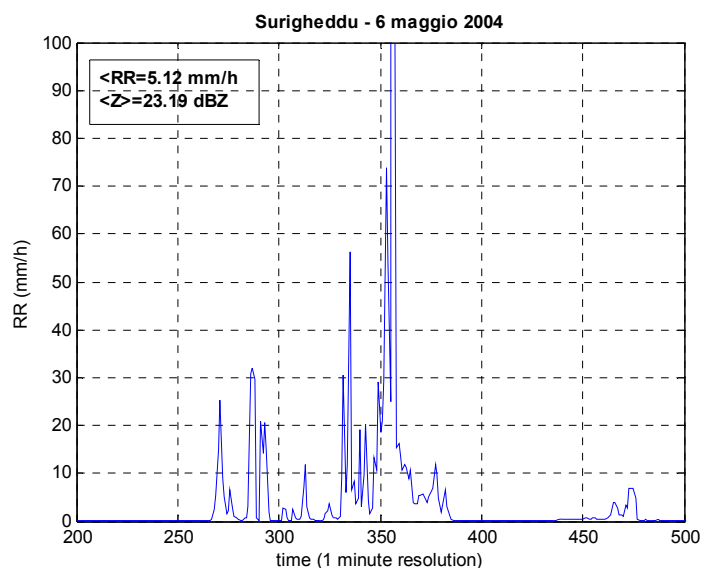


Figura 100 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

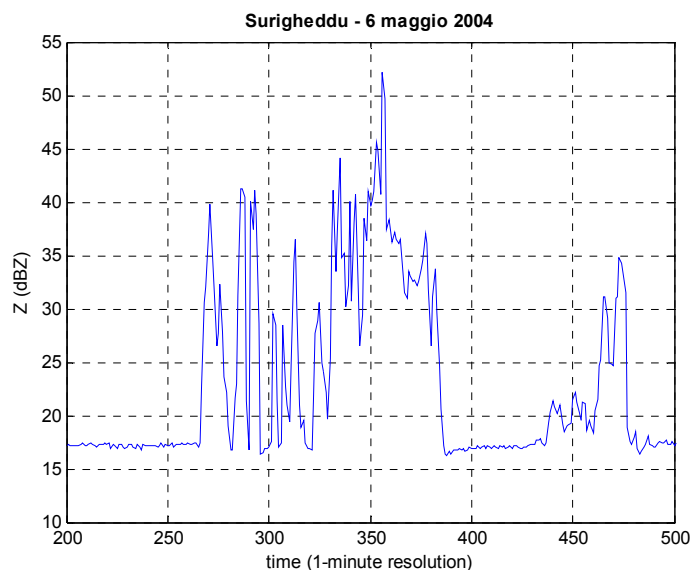


Figura 101 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

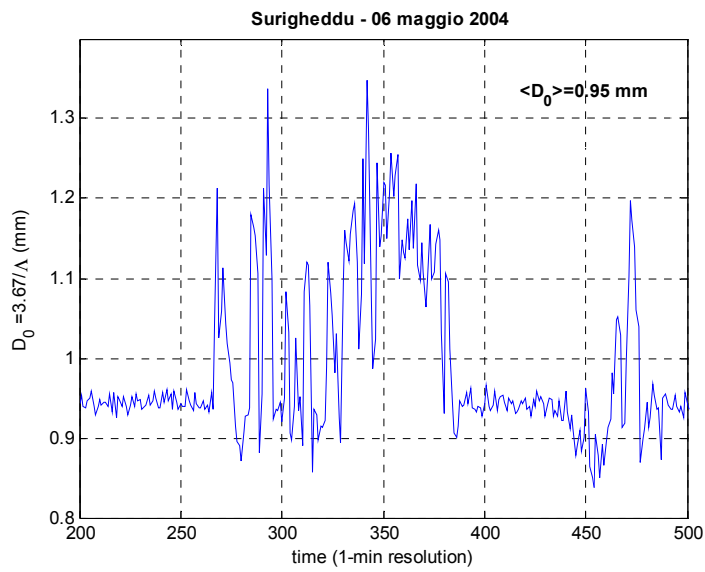


Figura 102 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

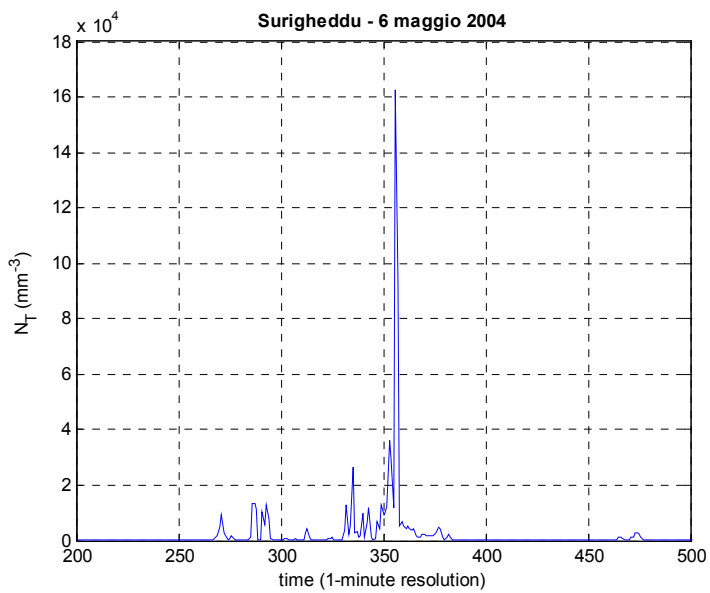


Figura 103 - Numero totale di gocce (1/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

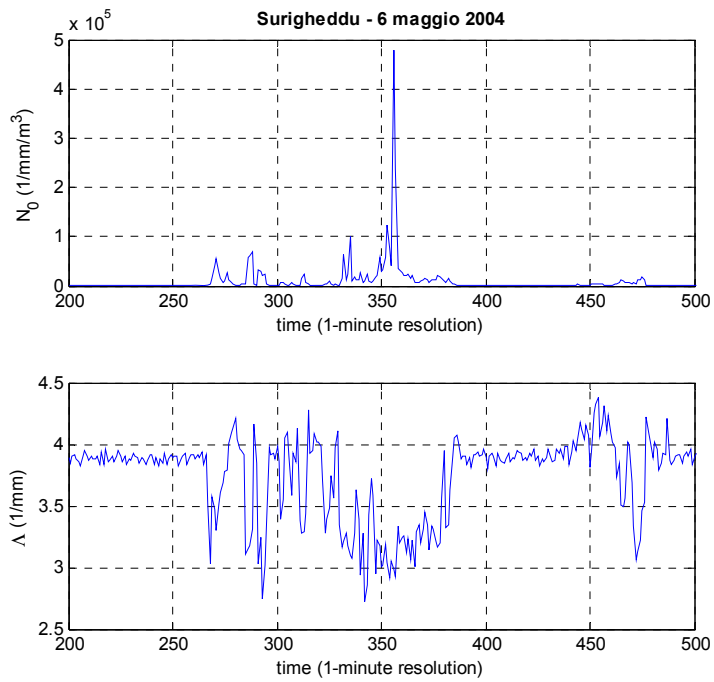


Figura 104 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

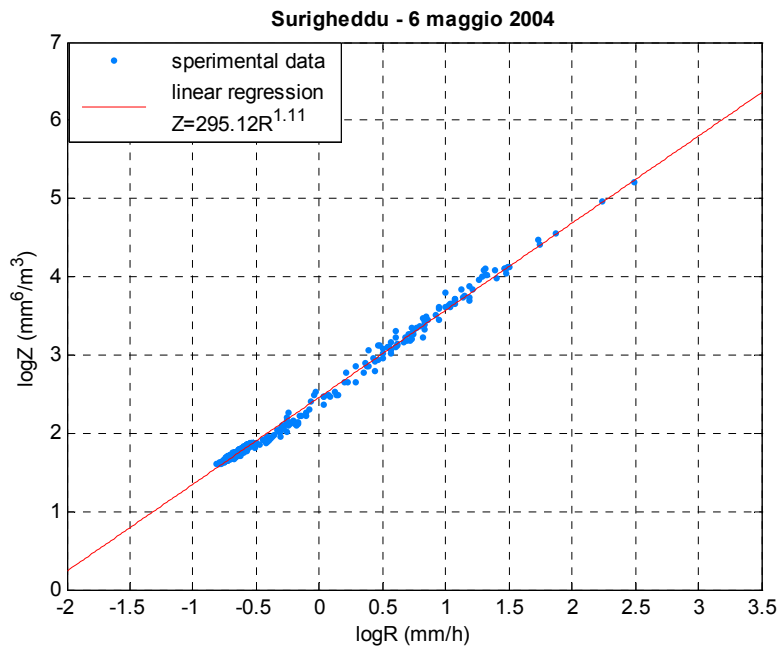


Figura 105 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

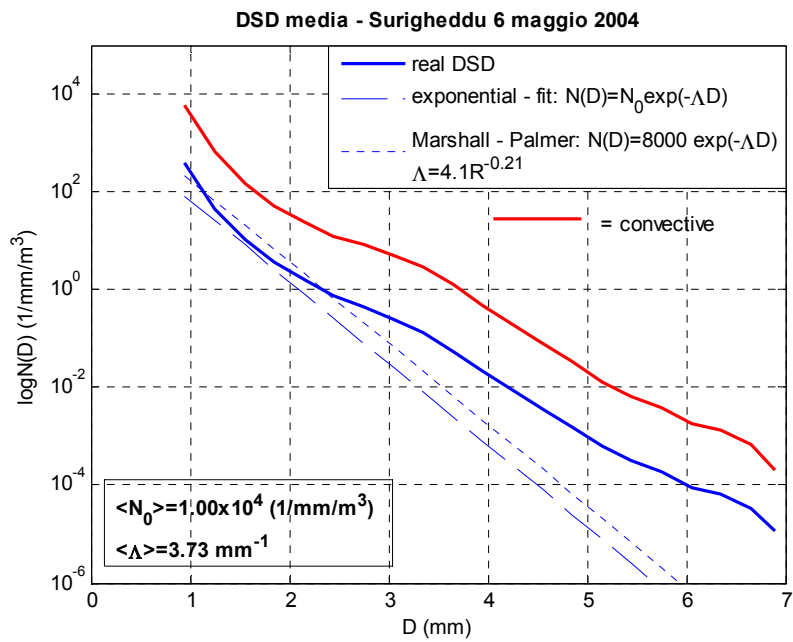


Figura 106 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

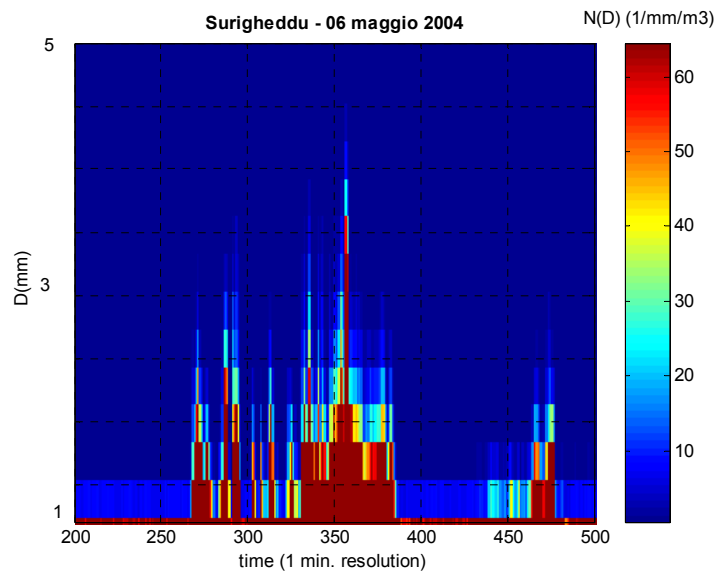


Figura 107 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (06/05/2004)

Stazione di Rotondella

La stazione di Rotondella rileva un episodio convettivo, su cui ci soffermiamo per l'analisi. Osserviamo le Figure 108 e 109 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile identificare distintivamente un episodio convettivo avente valore di $R > 20$ mm/h e valore di Z superiore a 40 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 114. Il legame Z - R per l'intera giornata fornisce un valore di $A=301,99$, indice di presenza di gocce con elevati valori di D_0 , come confermato dalla Figura 112, che fornisce per l'episodio convettivo valori di $D_0 > 1,3$ mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 110, si evince inoltre che il numero di gocce per l'episodio convettivo centrale è molto alto (dell'ordine di $10^5 / \text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 115, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può osservare che l'episodio convettivo è caratterizzato da numerose gocce, anche di grosse dimensioni, ma anche dalla presenza di gocce di dimensioni più ridotte, probabilmente dovute al break-up.

In Figura 111 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che passando dalla distribuzione media per tutta la giornata alla DSD media dell'episodio convettivo, la distribuzione si estende verso l'alto, indice che aumenta sia la concentrazione delle gocce più piccole che quella delle gocce più medio/grosse. Questo è anche confermato dalla Figura 113, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale. Dall'analisi si osserva inoltre che nell'episodio convettivo N_0 aumenta (fino a $10^4 1/\text{mm}/\text{m}^3$), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) diminuiscono fino a $2,8 \text{ mm}^{-1}$, indice che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto. Notare infine in Figura 111 che la MP non descrive bene la distribuzione reale, come confermato anche dal valore di A del legame Z - R che si discosta significativamente dal valore di MP pari a 200.

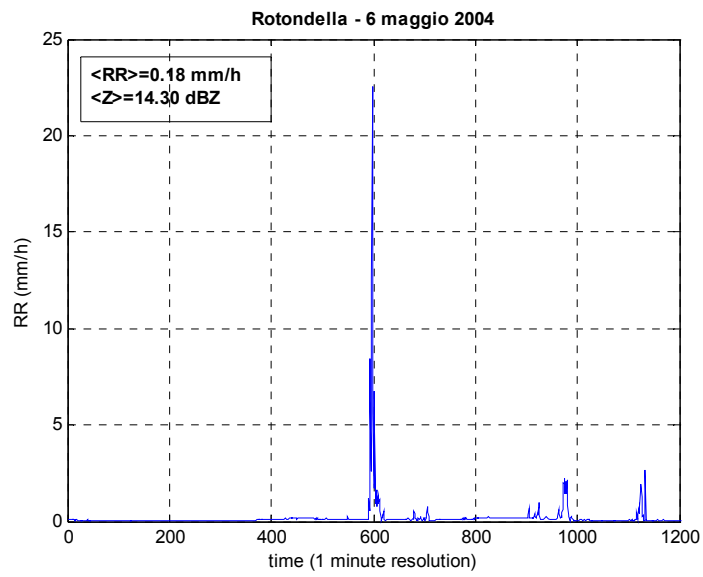


Figura 108 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

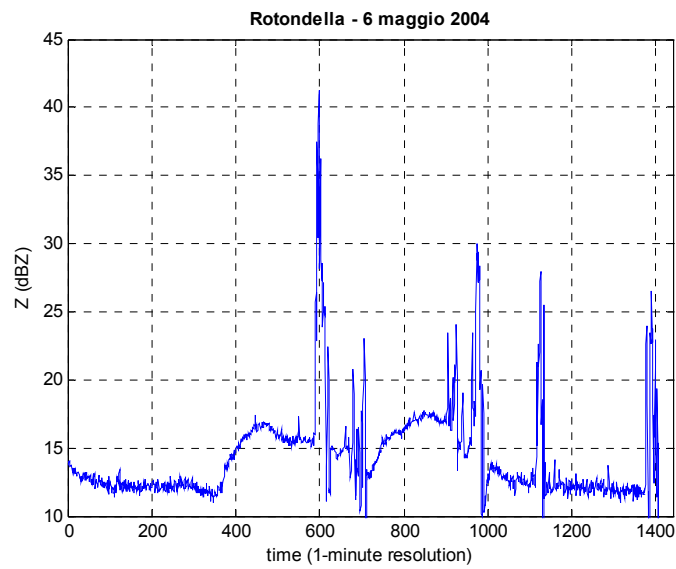


Figura 109 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

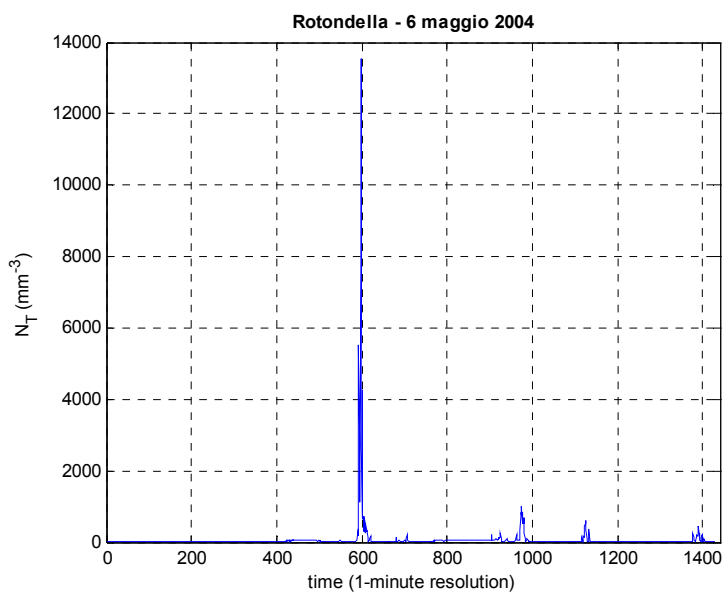


Figura 110 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

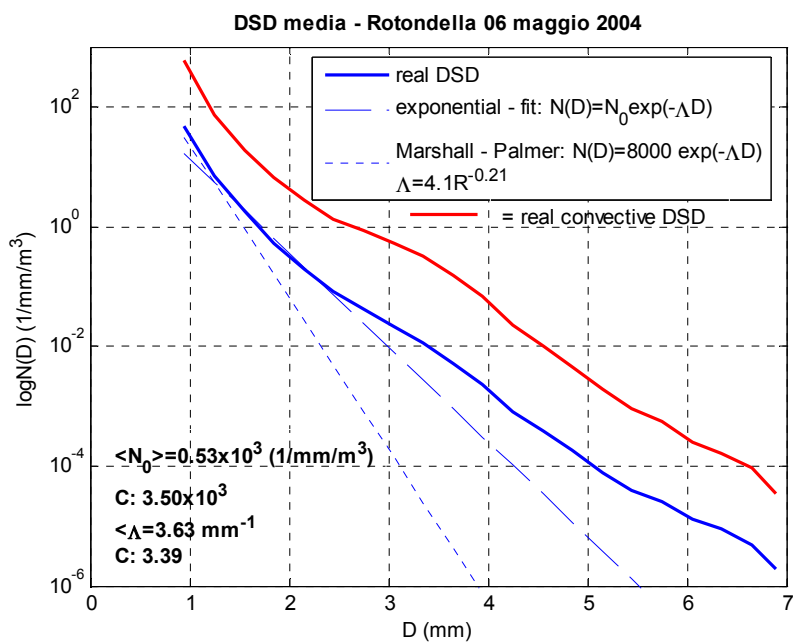


Figura 111 - Distribuzione dimensionale ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

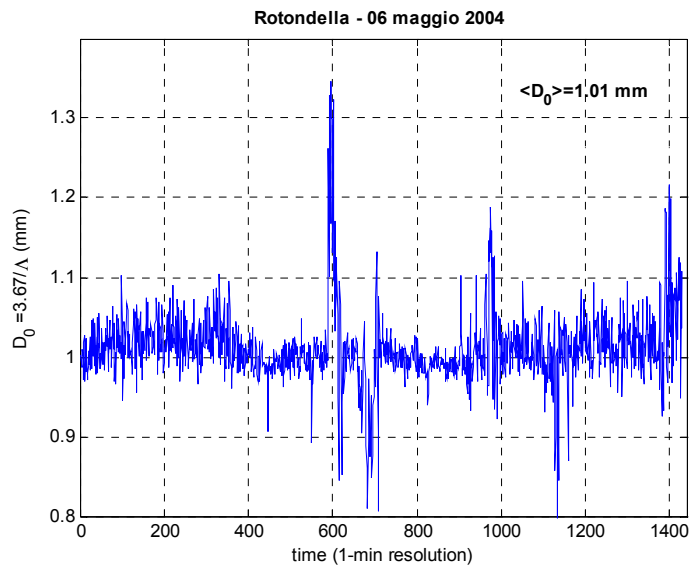


Figura 112 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

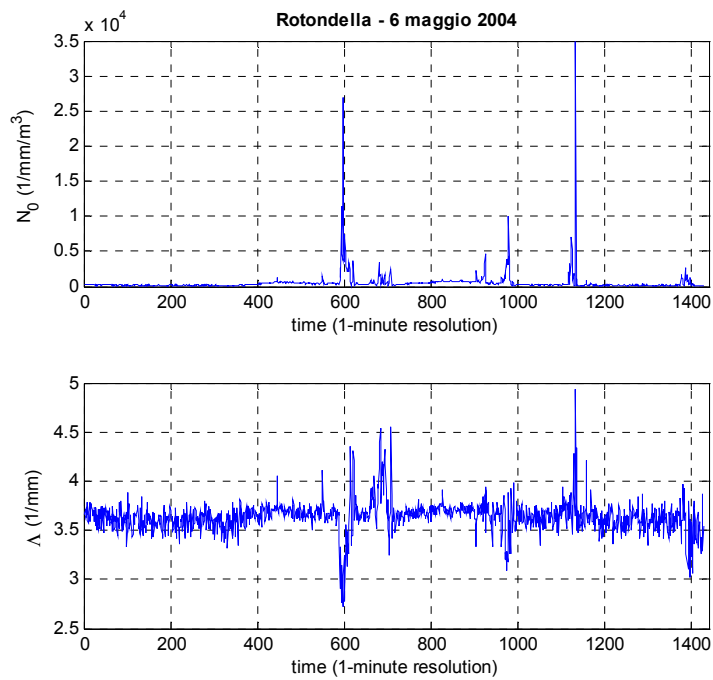


Figura 113 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

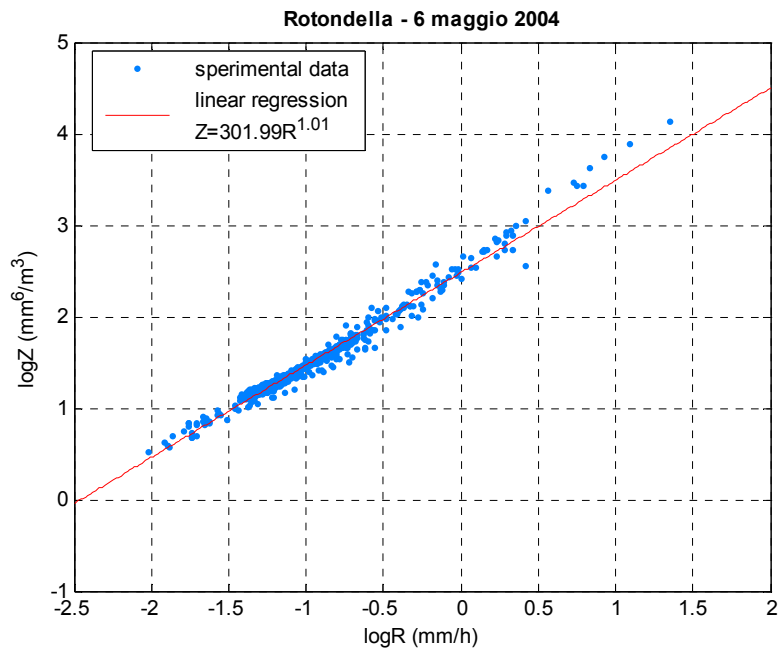


Figura 114 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

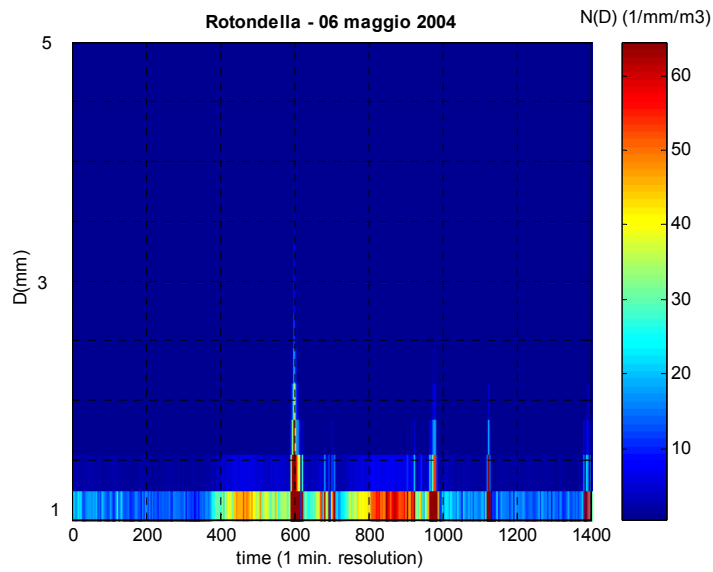


Figura 115 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (06/05/2004)

Stazione 06/05/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4.35	7.18	7.57x10 ⁸
Rotondella	3.05	5.94	4.42x10 ⁷
Licata	/	/	/

Tabella 7 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 06/05/2004

2.4.1.9 16 Giugno 2004

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 10:21 LT sono ben visibili un MCC (Mesoscale Convective Complex) e squall line sul sud Italia, proveniente da sud-ovest. Le stazioni PLUDIX non rilevano comunque per tale orario significative precipitazioni, come confermato dalle immagini satellitari in cui tali stazioni compaiono quasi prive di nubi. Nel primo pomeriggio la stazione di Surigheddu rileva invece un evento convettivo di notevole intensità e di breve durata, tipico di questo periodo dell'anno (Rmax intorno ai 60 mm/h), conseguenza del sistema convettivo osservabile dalle immagini satellitari.

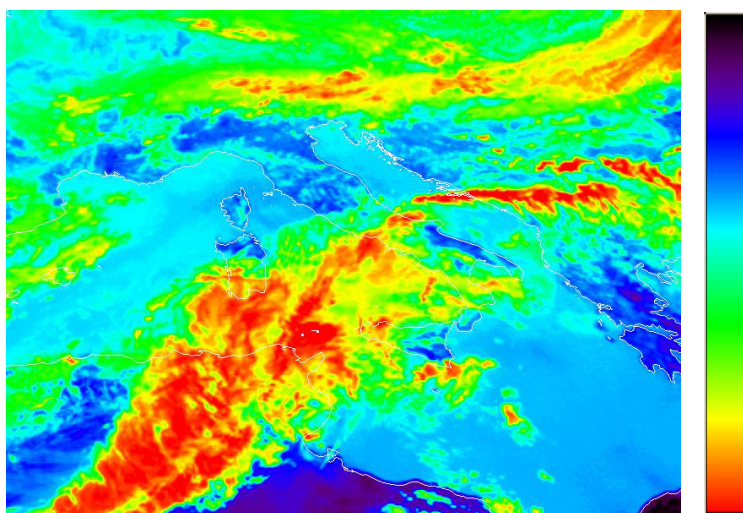


Figura 116 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (16/06/2004)

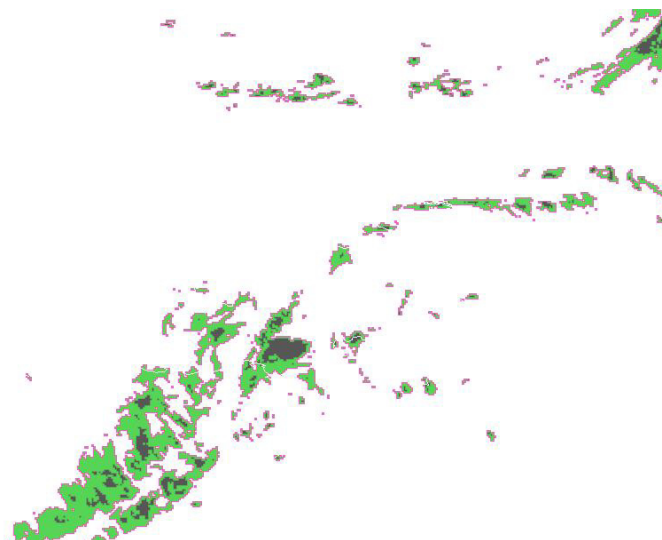


Figura 117 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (16/06/2004). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI

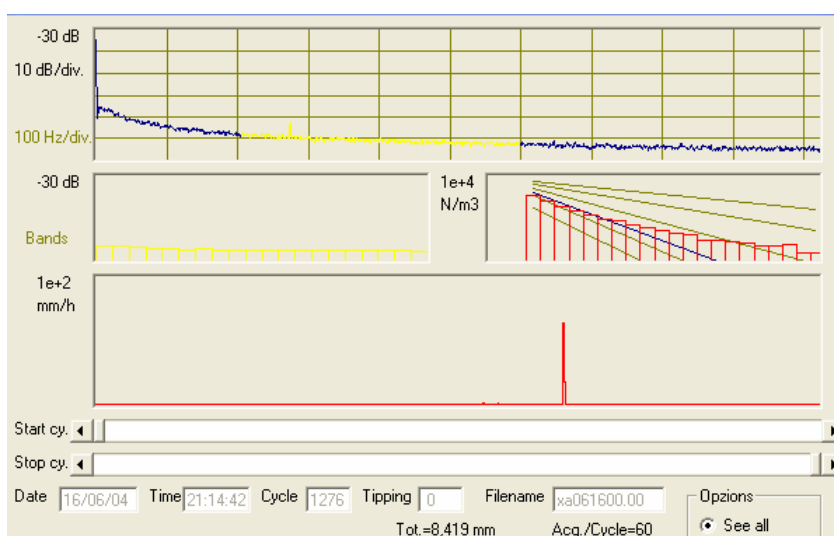


Figura 118 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

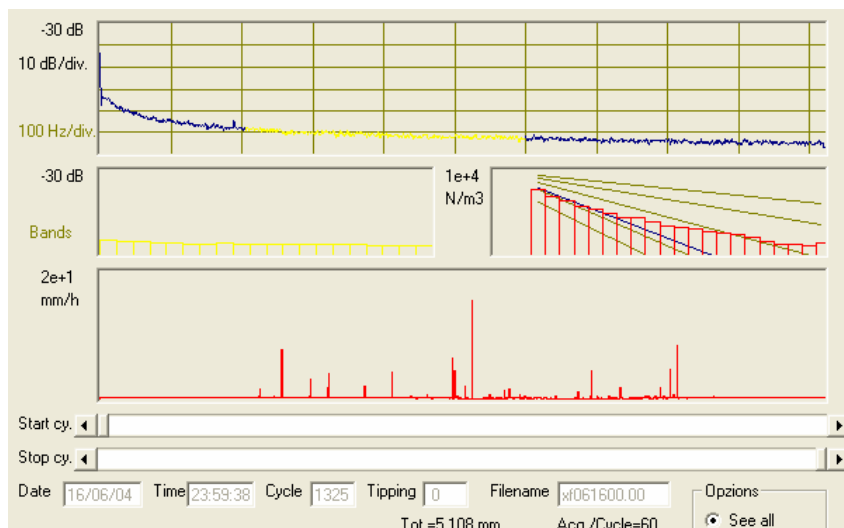


Figura 119 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (16/06/2004)

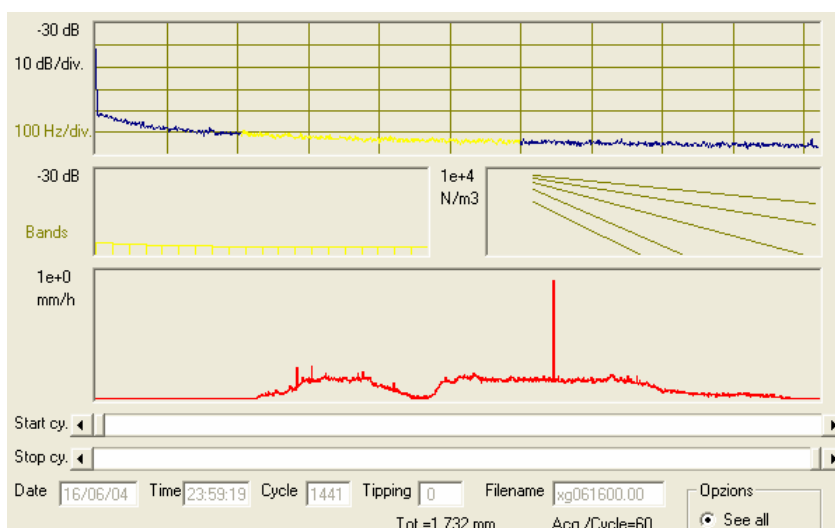


Figura 120 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (16/06/2004)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva un episodio convettivo, su cui ci soffermiamo per l'analisi. Osserviamo le Figure 121 e 122 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ).

Da questi grafici è possibile identificare un episodio convettivo avente valore di $R > 60$ mm/h e valore di Z superiore a 45 dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 126.

Il legame Z - R per l'intera giornata fornisce un valore di $A=323,6$, indice di presenza di gocce con elevati valori di D_0 , come confermato dalla Figura 124, che fornisce per l'episodio convettivo valori di $D_0 > 1,4$ mm. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 123, si evince inoltre che il numero di gocce per l'episodio convettivo centrale è basso rispetto al tipico trend degli eventi convettivi (dell'ordine di $10^3 /\text{mm}^3$): questo valore relativamente basso indica che l'evento è caratterizzato da una predominanza di poche gocce ma di dimensioni elevate, che aumentano i valori di Z (Figura 122). Combinando questo grafico con quello di Figura 128, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può infatti osservare che l'episodio convettivo è caratterizzato da numerose gocce di medie/grosse dimensioni.

In Figura 127 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che la MP non descrive bene la distribuzione reale, come confermato anche dal valore di A del legame Z - R che si discosta significativamente dal valore di MP pari a 200. Dalla Figura 125, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, si osserva inoltre che nell'episodio convettivo N_0 aumenta (fino a $10^4 1/\text{mm}/\text{m}^3$), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) diminuiscono fino a $2,5 \text{ mm}^{-1}$, indice che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

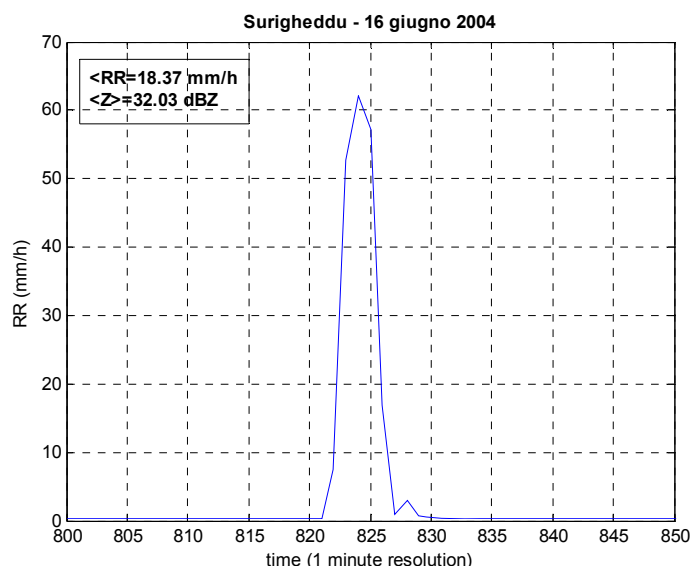


Figura 121 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

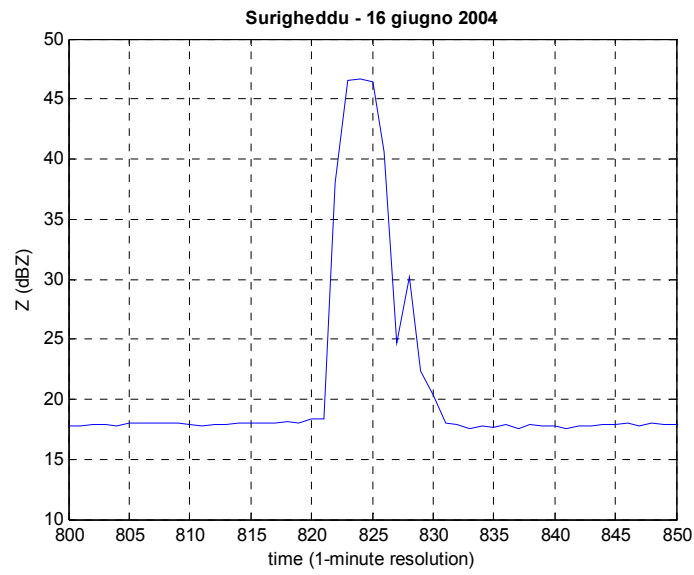


Figura 122 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

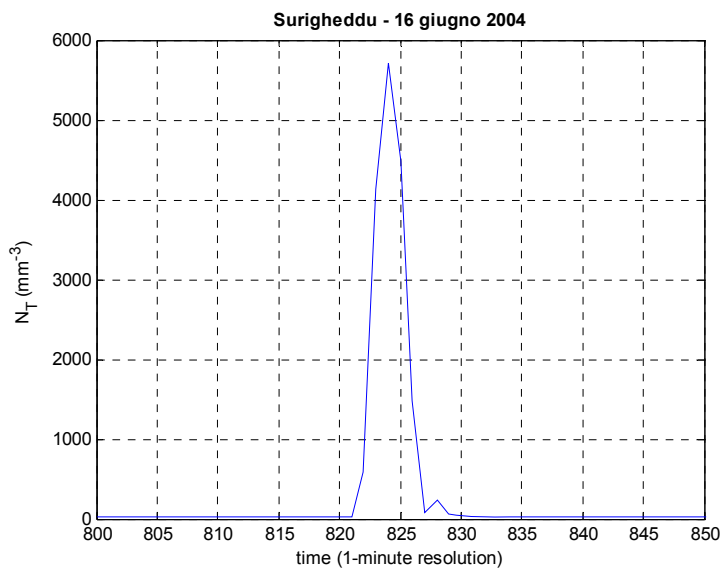


Figura 123 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

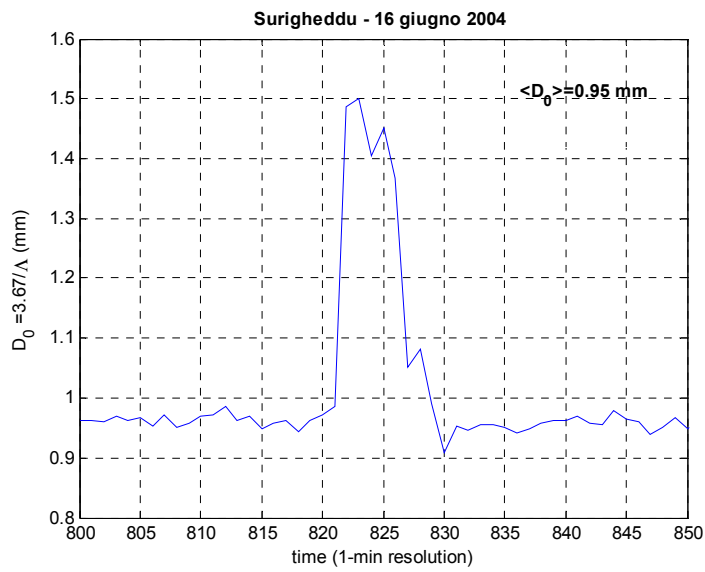


Figura 124 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

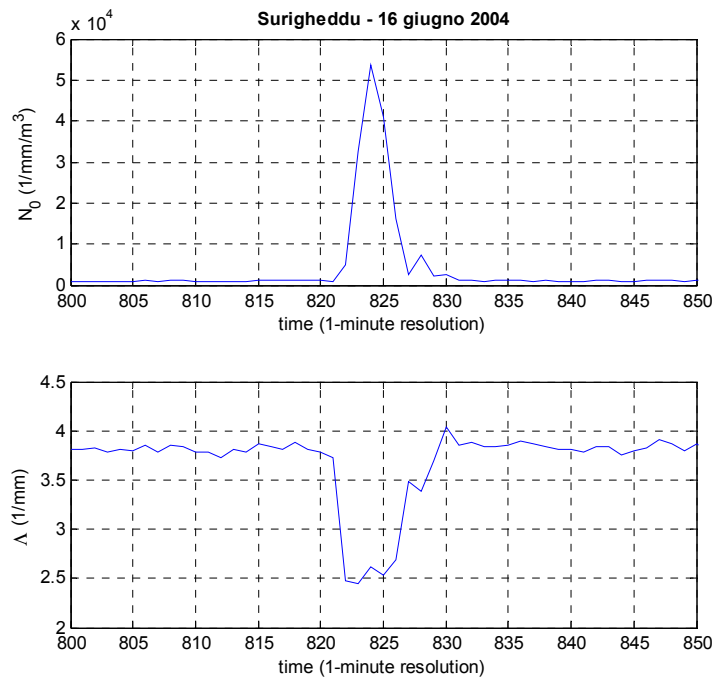


Figura 125 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

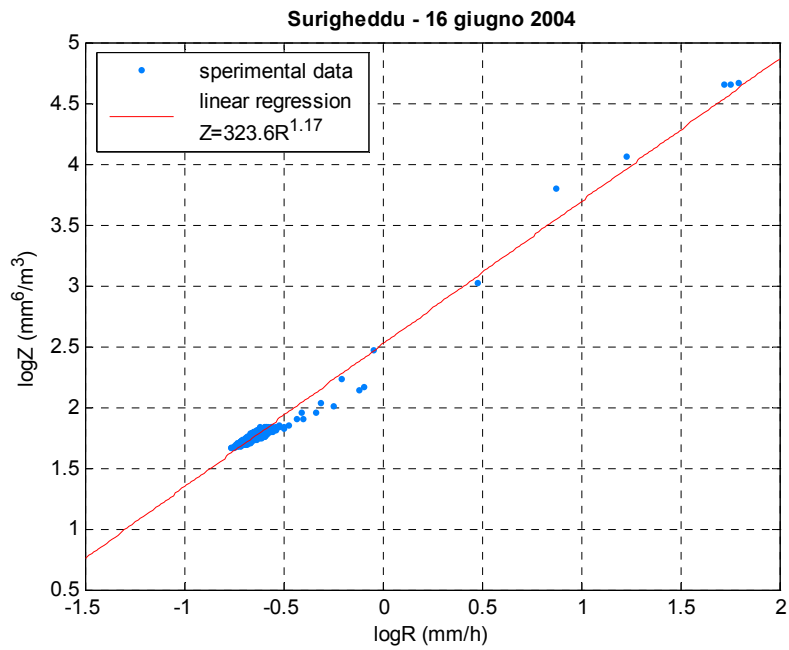


Figura 126 -Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

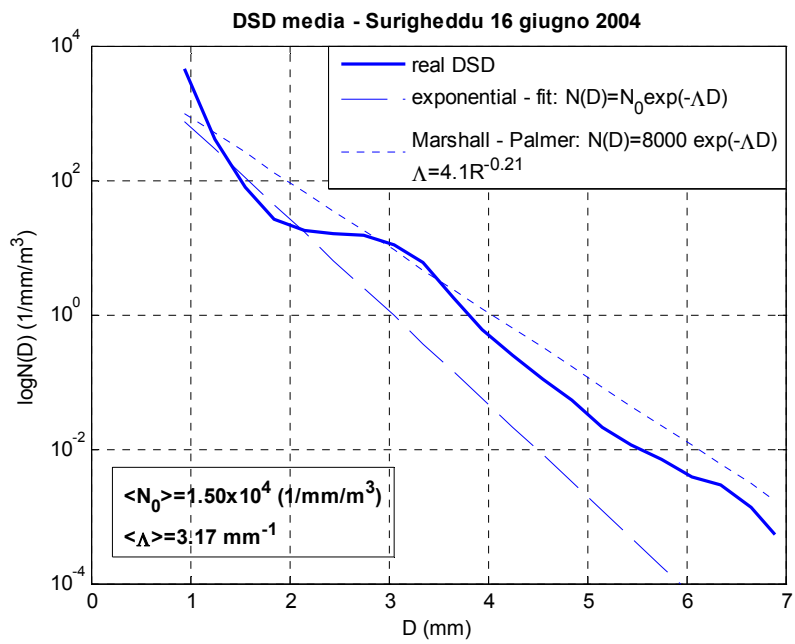


Figura 127 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

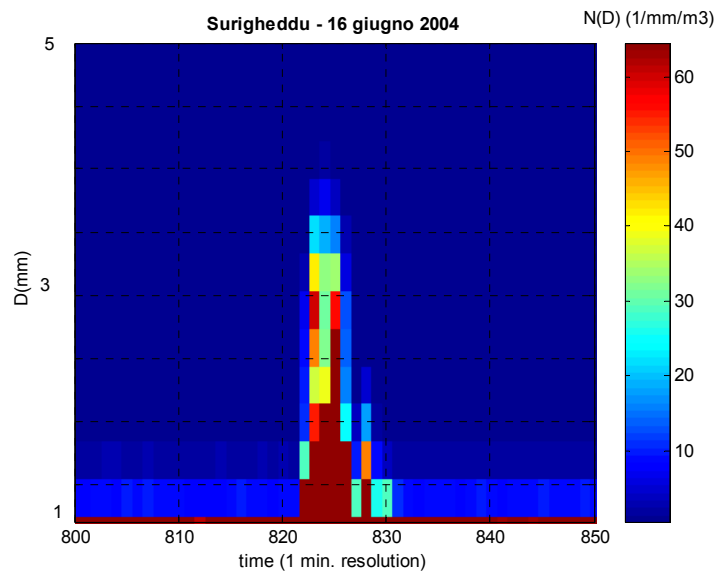


Figura 128 - Evoluzione temporale della DSD ($1/\text{mm}/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (16/06/2004)

Stazione 16/06/2004	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 ($1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$)
Surigheddu	2,12	4,90	$4,50 \times 10^5$
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 8 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in $1/\text{mm}^{1+m}/\text{m}^3$), per l'evento del 16/06/2004

2.4.1.10 25 Gennaio 2005

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 11:21 LT è ben visibile un sistema ciclonico mediterraneo con una bassa pressione ad ovest della Sardegna. Tale sistema produce una convezione profonda associata ad una poggia convettiva rilevata dalla stazione di Surigheddu nella mattinata, con picchi oltre 100 mm/h. Anche le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano precipitazioni, anche se di intensità più moderata rispetto a quella di Surigheddu. Ciò è confermato anche dalla immagine NAW, che per quelle zone rileva una intensa precipitazione di carattere stratiforme.

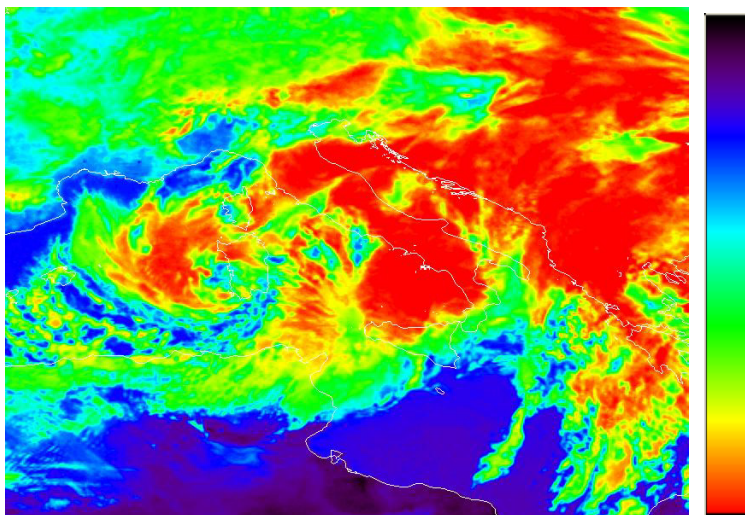


Figura 129 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (25/01/2005)

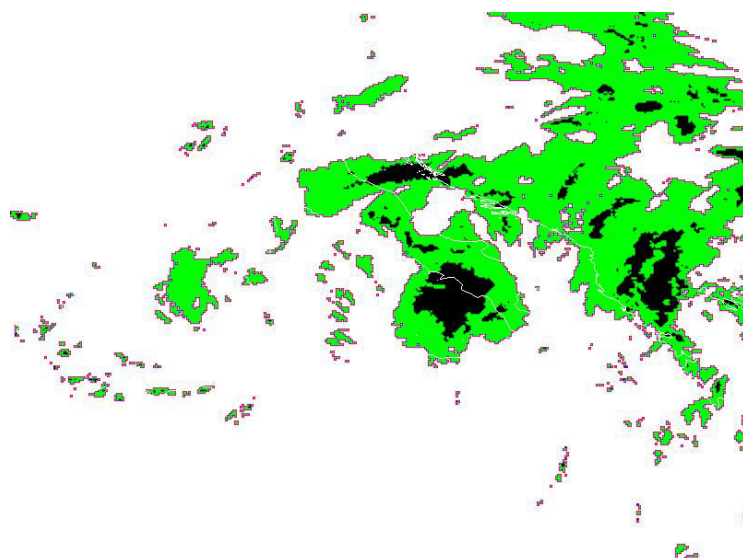


Figura 130 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (25/01/2005). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI



Figura 131 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

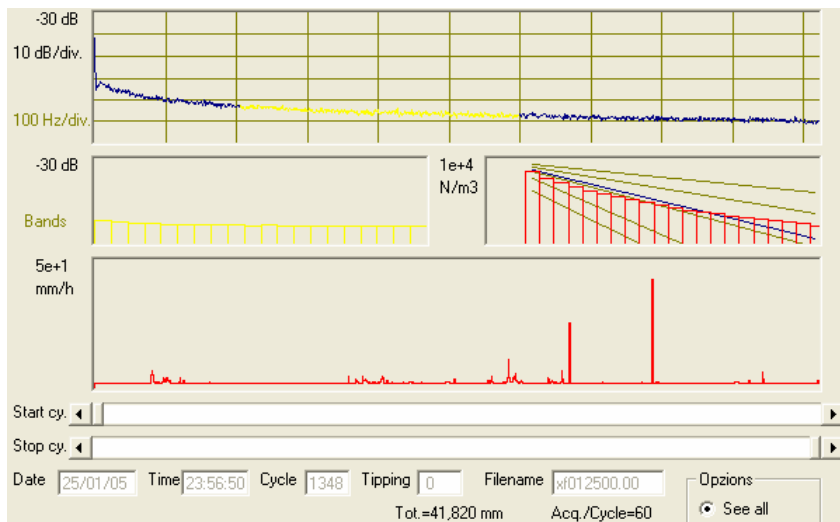


Figura 132 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

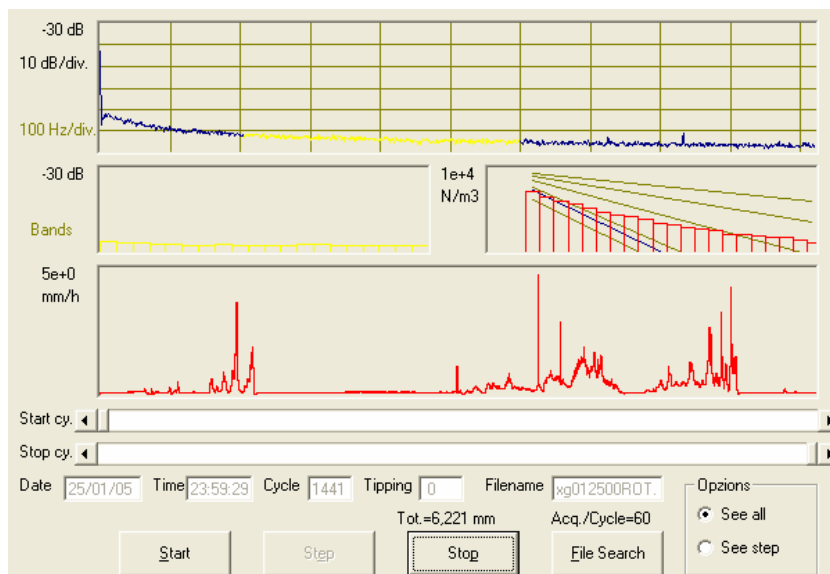


Figura 133 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

Stazione di Surigheddu

La stazione di Surigheddu rileva diversi episodi convettivi molto intensi, su cui ci soffermiamo. Osserviamo le Figure 134 e 135, che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile notare che gli episodi convettivi hanno valori di $R > 50$ mm/h e di $Z > 40$ dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 139. Il legame Z-R è stato calcolato per tutta la giornata e fornisce valori di $A=208,92$ e $b=0,94$; il valore non troppo elevato di A indica la presenza di gocce con medi valori di D_0 come confermato dalla Figura 137 (nella fase convettiva D_0 non supera 1 mm). Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 136, si evince inoltre che il numero di gocce negli episodi convettivi è abbastanza alto (dell'ordine di $10^4 / \text{mm}^3$).

Combinando questo grafico con quello di Figura 141, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può infatti osservare che gli episodi convettivi sono caratterizzati da numerose gocce, sia di piccole che di medie dimensioni, ma non da gocce di grosse dimensioni, come confermati dai non troppo elevati valori di A, di D_0 e di Z.

In Figura 140 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per tutta la giornata di precipitazione a cui è sovrapposta la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che la distribuzione esponenziale descrive mediamente bene la distribuzione reale, per tutta la giornata di precipitazione.

La Figura 138, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, mostra che negli episodi convettivi, il parametro N_0 aumenta (fino a 10^5) mentre Λ si mantiene costante intorno a $4,0 \text{ mm}^{-1}$, indice appunto che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/basso, ma che non è presente un aumento predominante delle gocce di grosse dimensioni.

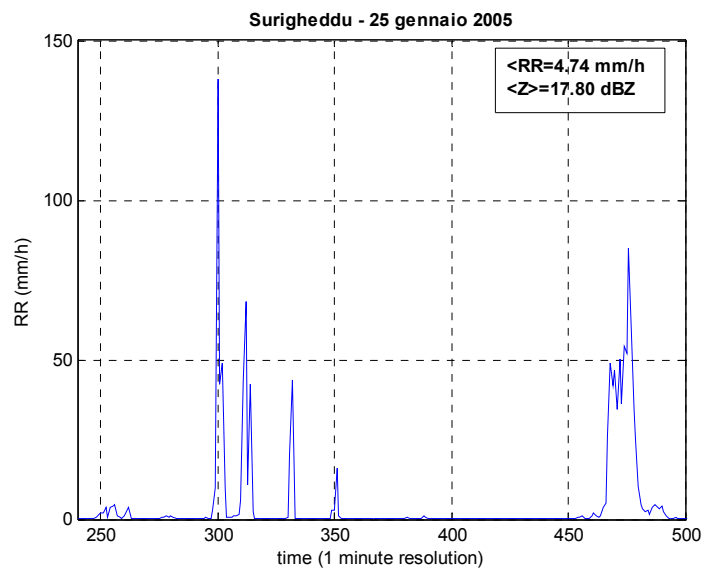


Figura 134 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

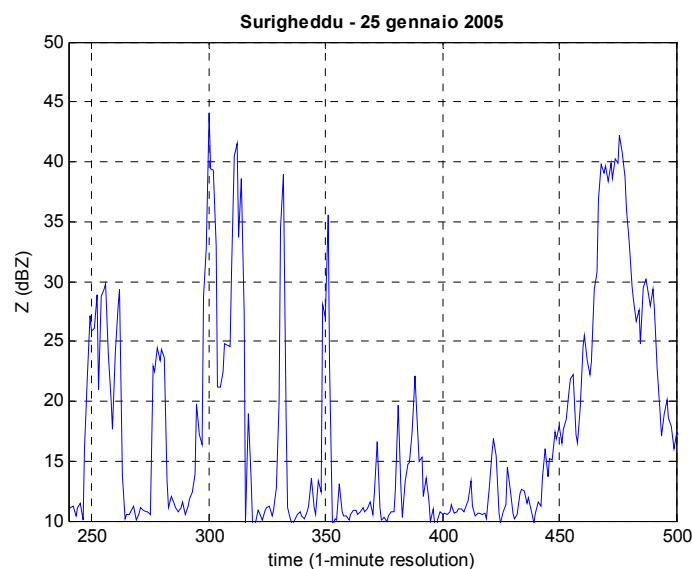


Figura 135 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

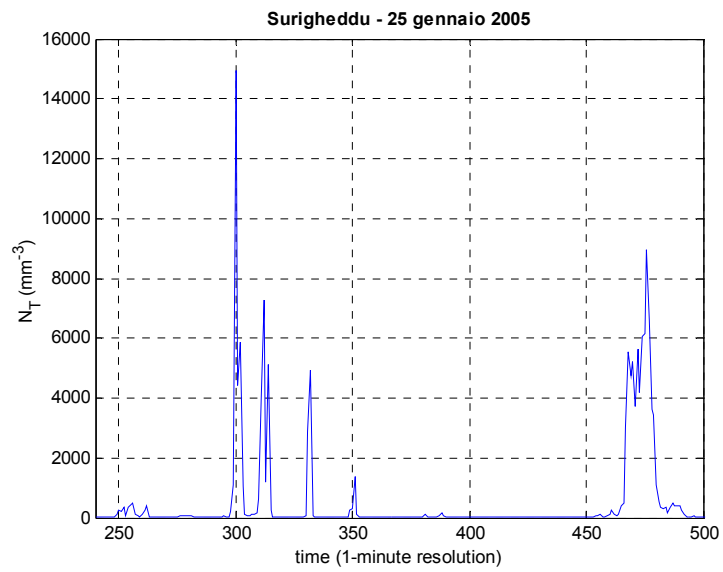


Figura 136 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

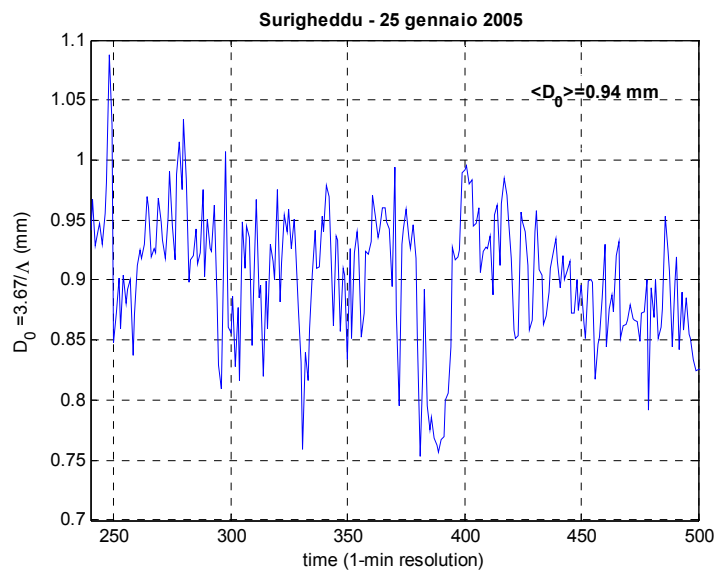


Figura 137 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

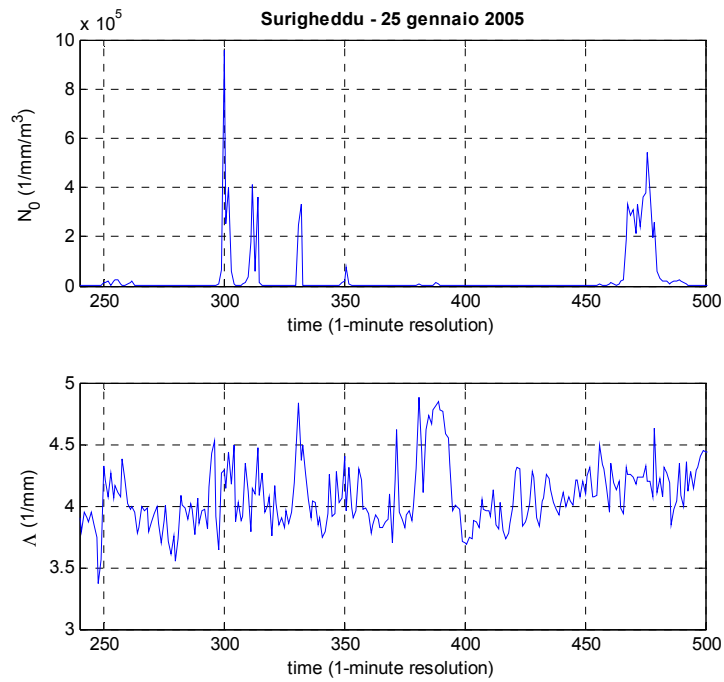


Figura 138 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

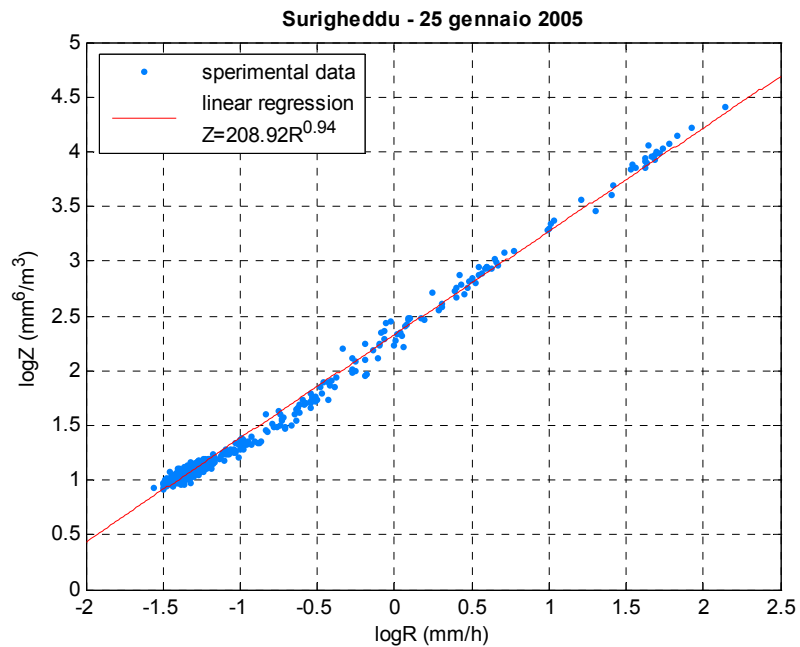


Figura 139 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

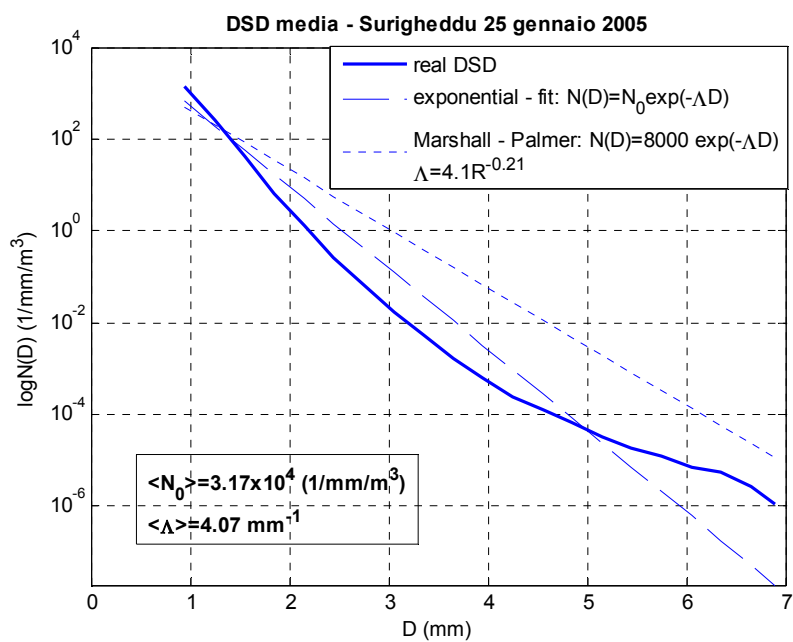


Figura 140 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

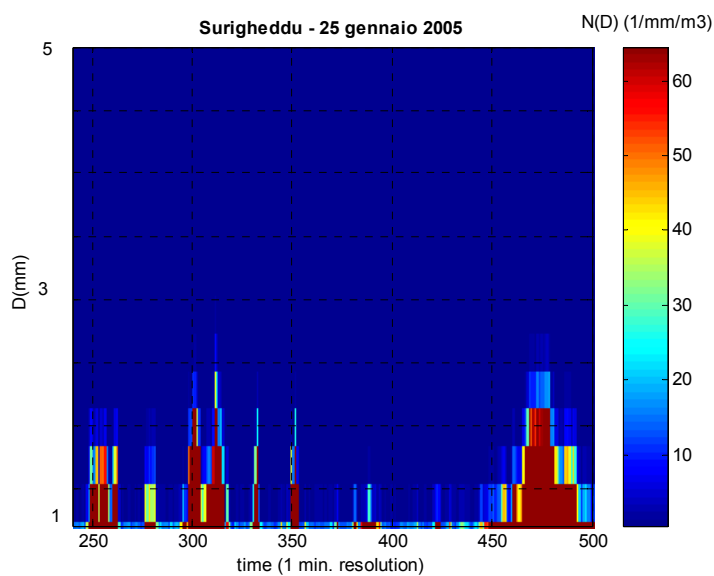


Figura 141 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (25/01/2005)

Stazione di Rotondella

La stazione di Rotondella rileva diversi episodi stratiformi. Osserviamo infatti le Figure 142 e 143 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici si nota che la rainfall-rate è sempre inferiore a 5 mm/h e Z è sempre inferiore di 33 dBZ, indice di precipitazione stratiforme. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 147. Il legame Z - R non si discosta significativamente dai valori di A e b di MP per piogge stratiformi alle medie latitudini. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 144, si evince inoltre che il numero di gocce è molto basso ($<700 /\text{mm}^3$). Combinando questo grafico con quello di Figura 148, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può inoltre osservare l'evento è caratterizzato da poche gocce di piccole dimensioni.

In Figura 145 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. La distribuzione esponenziale a due parametri fitta con discreta accuratezza la distribuzione reale nell'intervallo diametrale 1-4 mm. La Figura 146, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, rivela che i valori di N_0 sono dell'ordine di 10^4 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a $3,5 \text{ mm}^{-1}$.

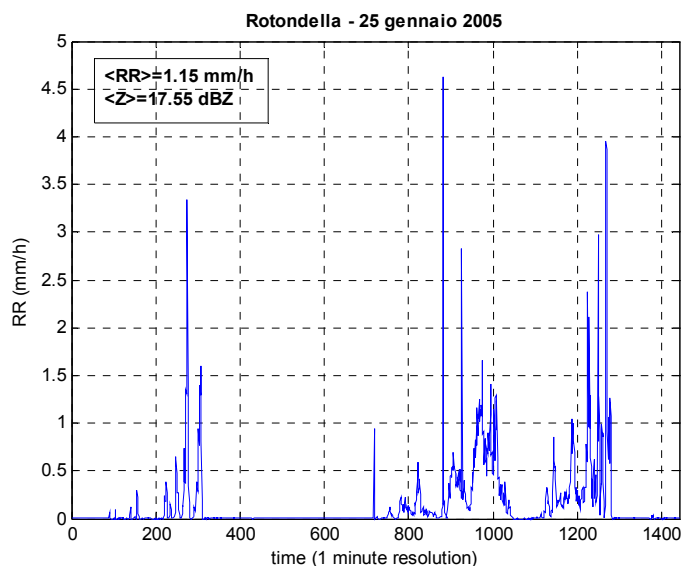


Figura 142 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

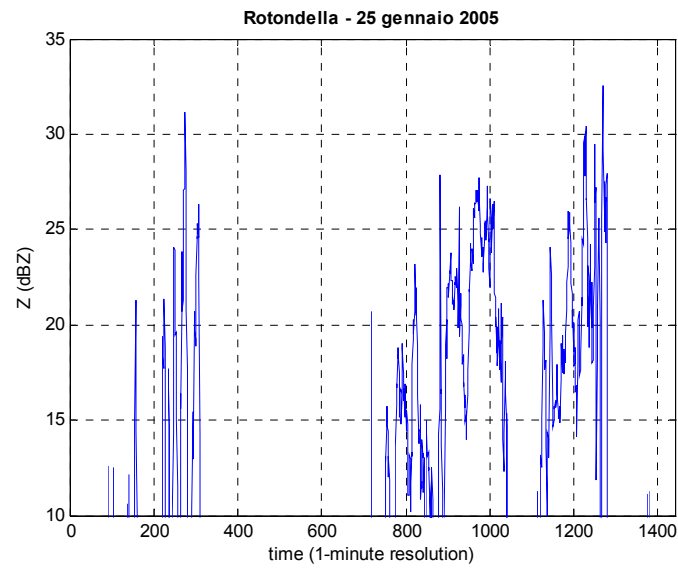


Figura 143 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

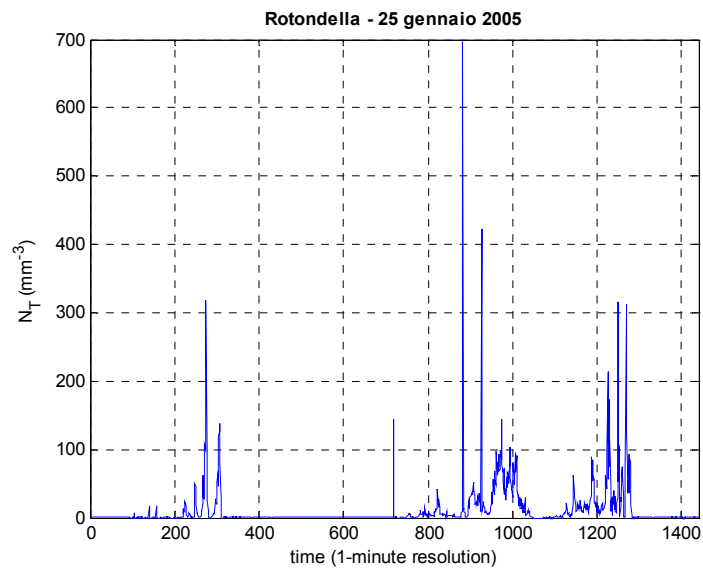


Figura 144 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

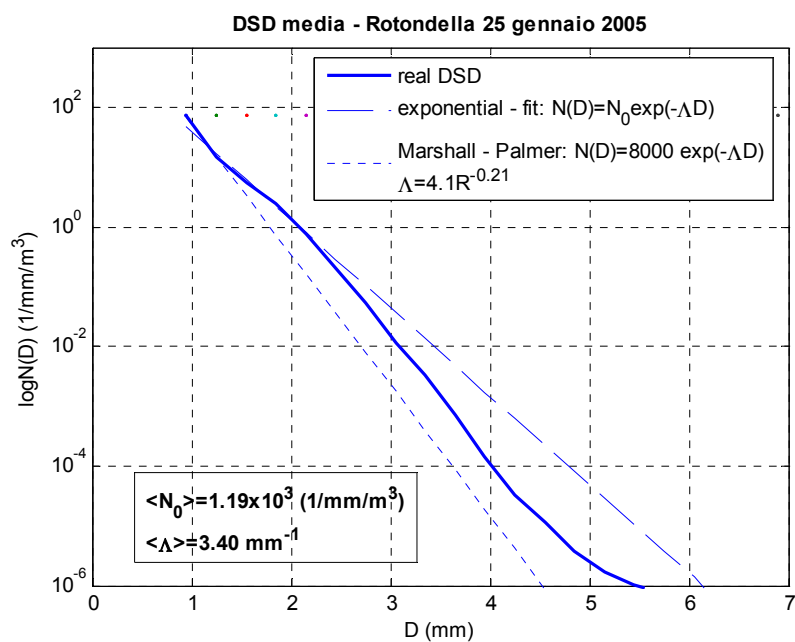


Figura 145 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

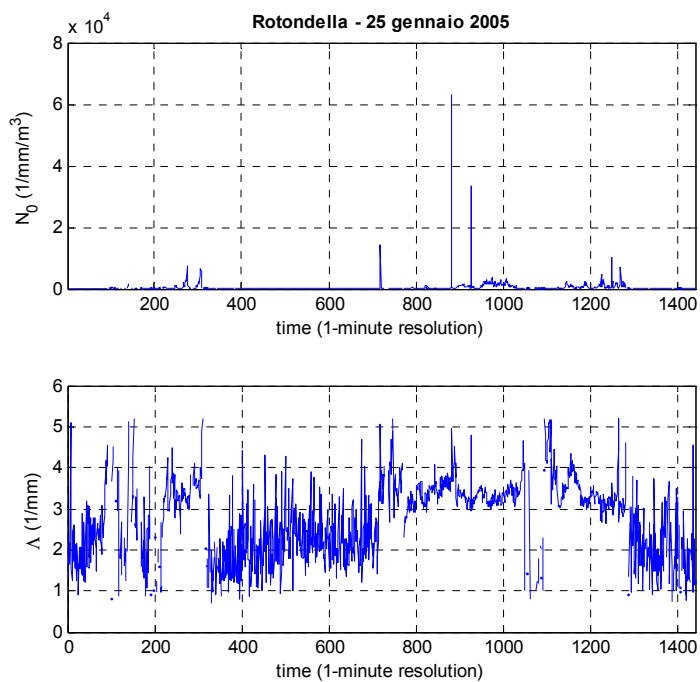


Figura 146 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

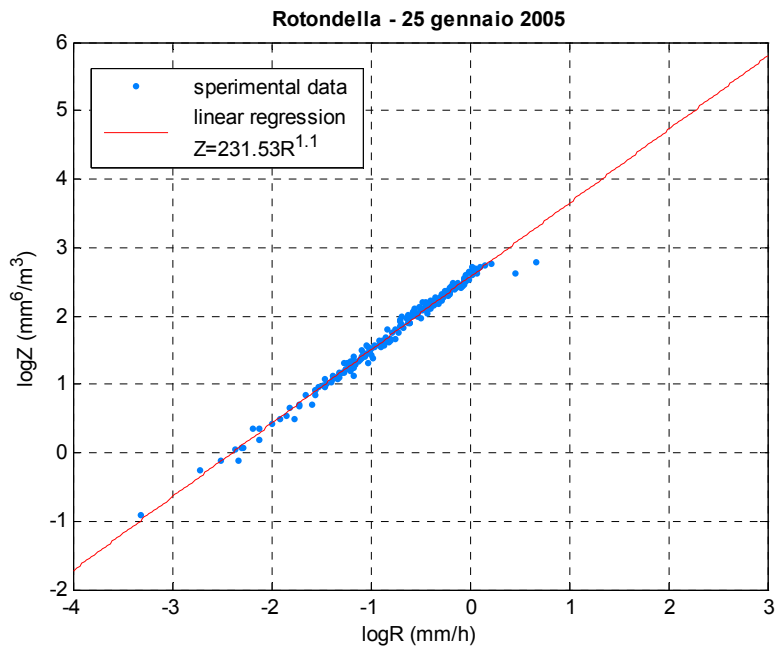


Figura 147 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

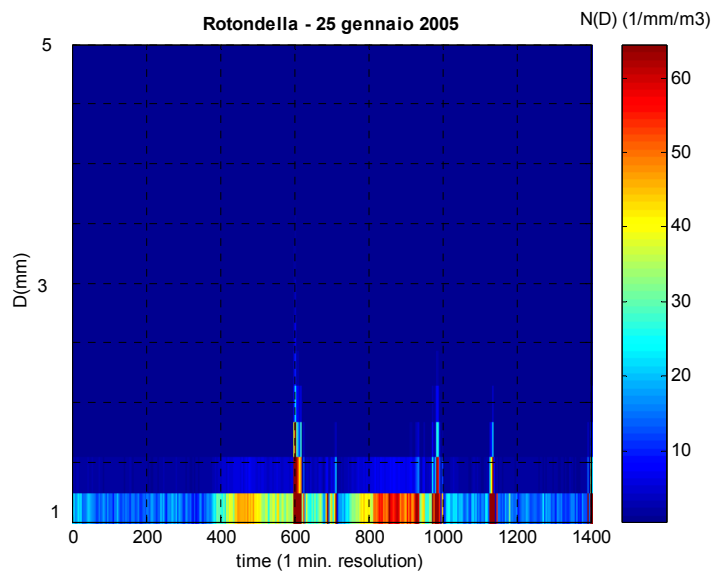


Figura 148 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Rotondella (25/01/2005)

Stazione di Licata

Anche la stazione di Licata rileva diversi episodi stratiformi. Osserviamo infatti le Figure 149 e 151 che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici si nota che la rainfall-rate è sempre inferiore a 11 mm/h e Z è sempre inferiore di 36 dBZ, indice di precipitazione stratiforme. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z - R , come mostrato in Figura 155. Il legame Z - R non si discosta significativamente dai valori di A e b di MP per piogge stratiformi alle medie latitudini. I valori di D_0 sono bassi (sempre <1.1 mm) e relativamente costanti (infatti $b=1,03$), come evidenziato in Figura 156. Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 152, si evince inoltre che il numero di gocce è molto basso (<1000 / mm^3). Combinando questo grafico con quello di Figura 150, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può inoltre osservare l'evento è caratterizzato da poche gocce di piccole dimensioni.

In Figura 153 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per l'evento considerato, a cui sono sovrapposte la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Sia la distribuzione esponenziale a due parametri che la MP fittano con buona accuratezza la distribuzione reale nell'intervallo diametrale 1-4 mm. La Figura 154, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, rivela che i valori di N_0 sono dell'ordine di 10^4 ($1/\text{mm}/\text{m}^3$), indice di precipitazione stratiforme (Waldvogel, 1974), mentre i valori di Λ ($1/\text{mm}$) non subiscono variazioni significative, aggirandosi attorno a $3,8 \text{ mm}^{-1}$.

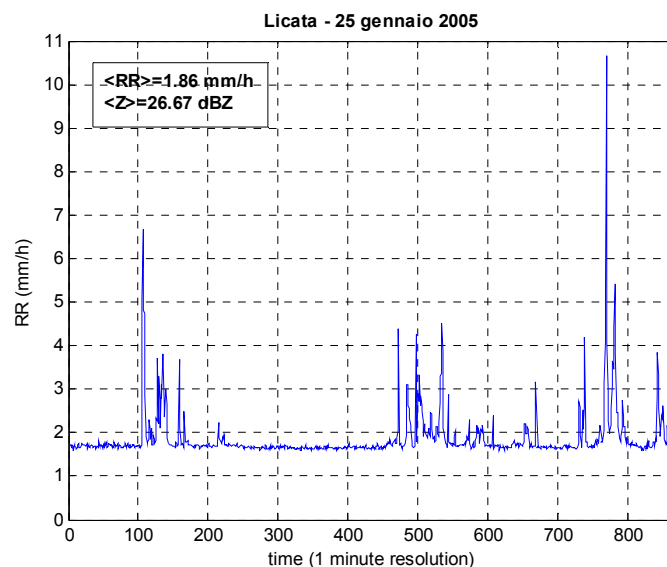


Figura 149 - Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

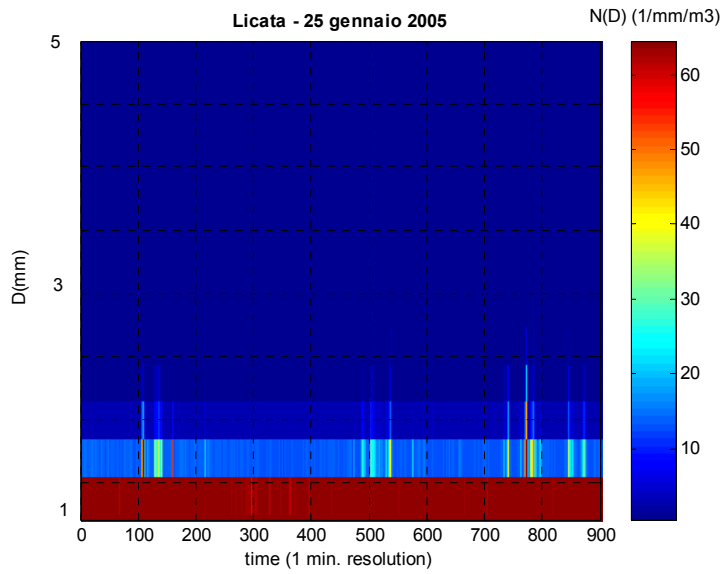


Figura 150 - Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

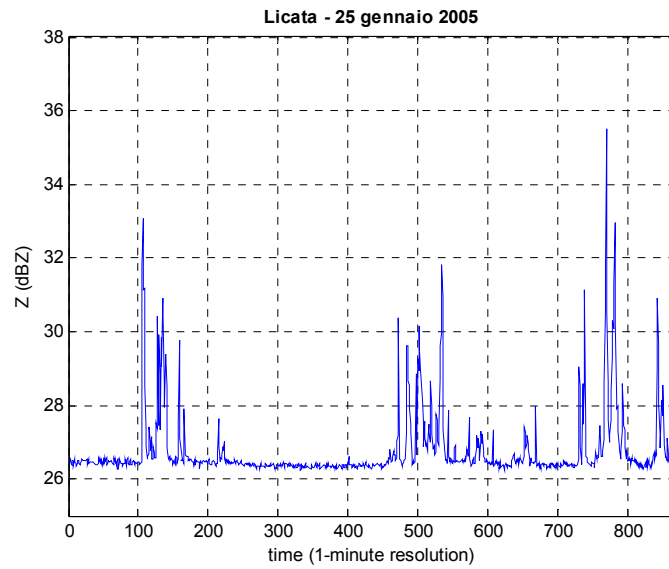


Figura 151 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

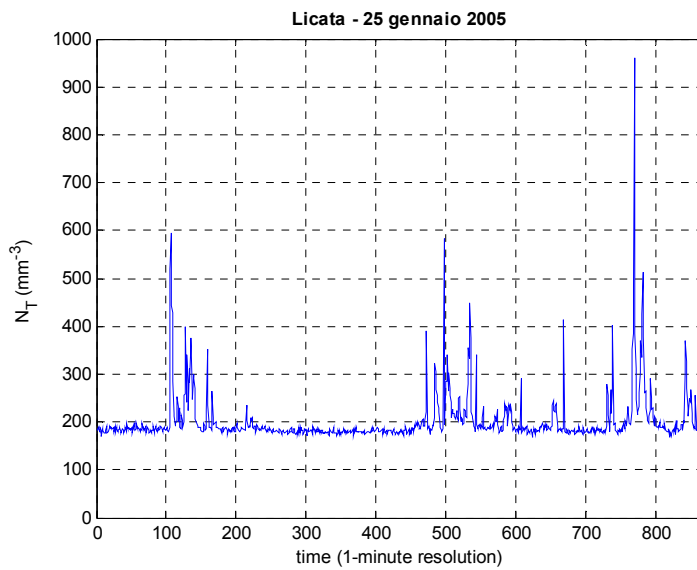


Figura 152 - Numero totale di gocce (1/mm³) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

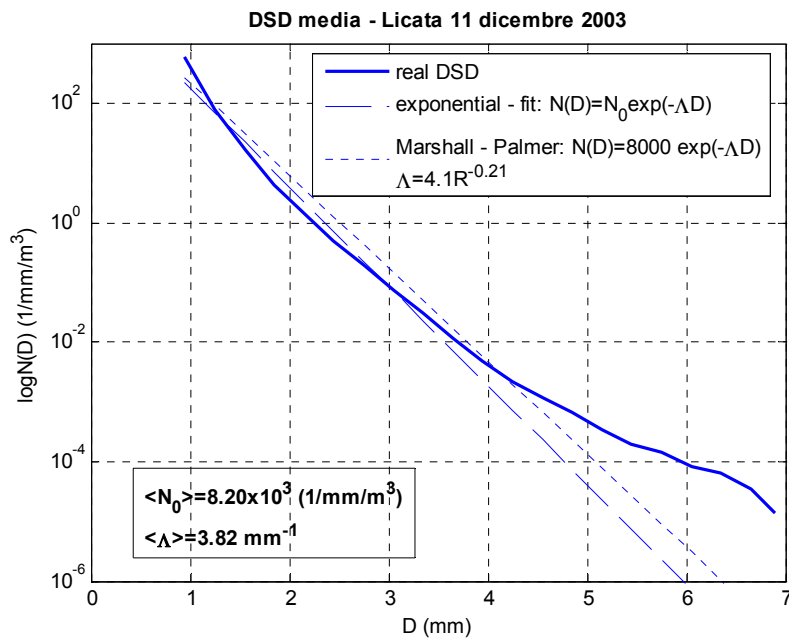


Figura 153 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

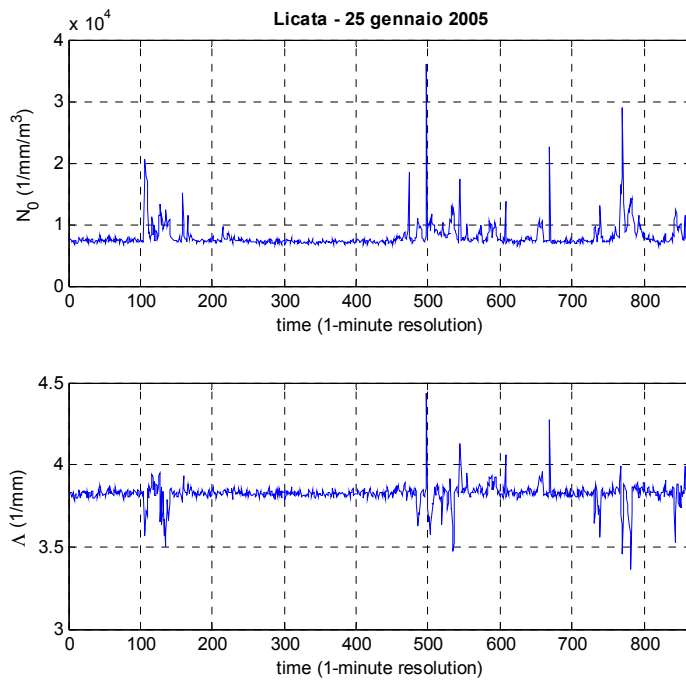


Figura 154 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

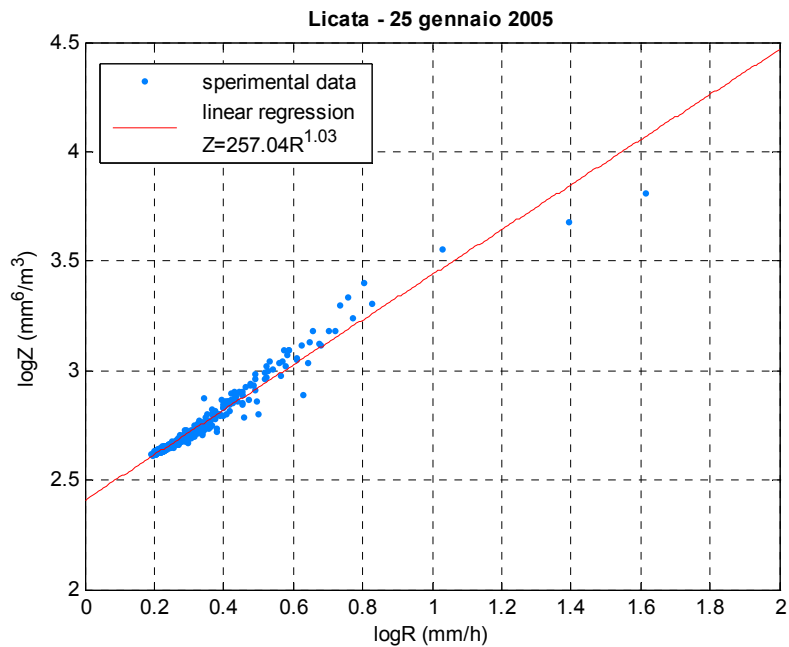


Figura 155 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

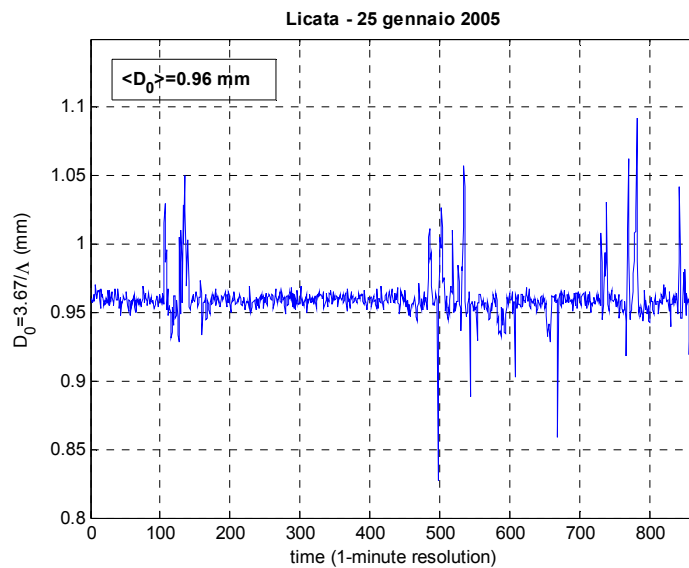


Figura 156 - Diametro equivalente medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Licata (25/01/2005)

Stazione 25/01/2005	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	4.09	8.89	3.30×10^{10}
Rotondella	5.12	7.34	4.62×10^9
Licata	3.69	6.71	1.27×10^{11}

Tabella 9 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 25/01/2005

2.4.1.11 19 Febbraio 2005

ANALISI METEOSAT

Dall'immagine IR alle 11:21 LT sono ben visibili celle convettive isolate sul sud Italia ed un distinto fronte freddo con pioggia stratiforme sulla Sardegna. La stazione di Surigheddu rileva infatti per tale evento una pioggia moderata tra le 10 e le 11 di mattina. Le stazioni di Licata e Rotondella rilevano quasi totale assenza di precipitazioni, come confermato dalle immagini satellitari.

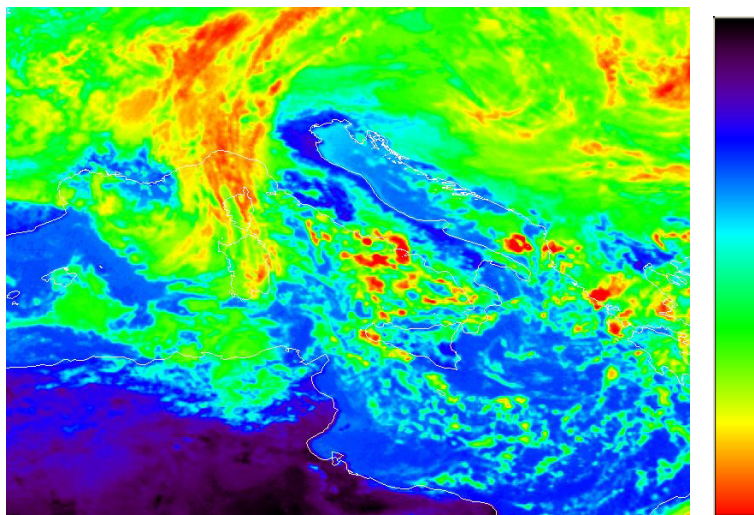


Figura 157 - Immagine Meteosat 7 nel canale IR-RGB (19/02/2005)



Figura 158 - Immagine stima di precipitazione fornita dalla tecnica NAW ricavata dai dati IR del Meteosat 7 nel canale IR (19/02/2005). Soglie di pioggia in ordine di colore decrescente: nero=8 mm/h, verde=2 mm/h, bianco=0 mm/h

ANALISI PLUDIX NEI 3 SITI



Figura 159 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

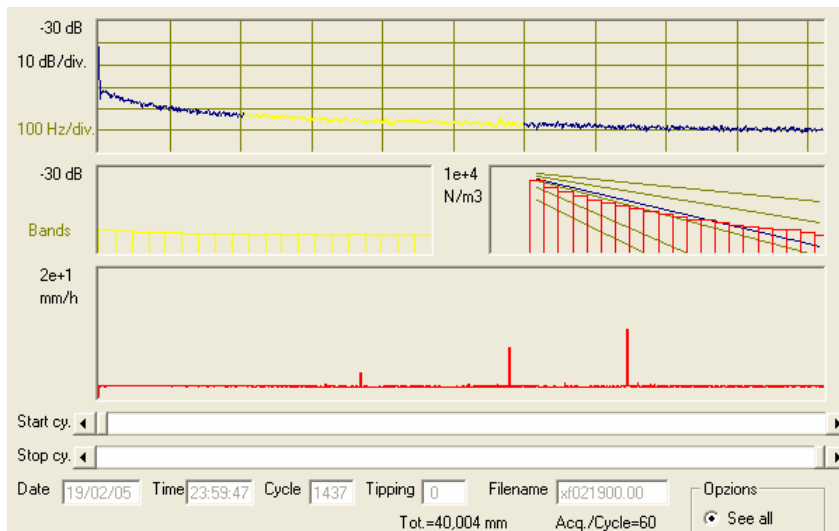


Figura 160 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Licata (19/02/2005)

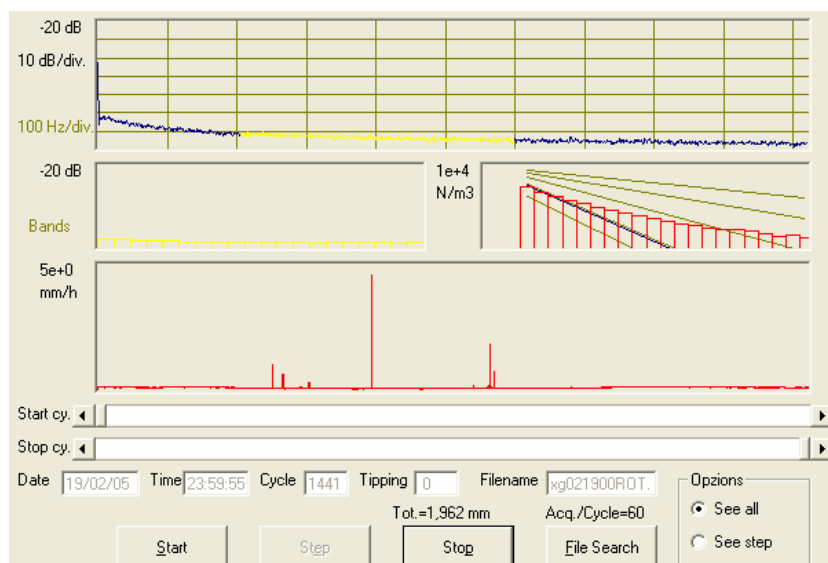


Figura 161 - Spettro di PLUDIX per la stazione di Rotondella (19/02/2005)

Stazione di Surigheddu

Poichè le stazioni di Rotondella e di Licata rilevano assenza di precipitazioni, analizziamo la situazione per la stazione di Surigheddu.

La stazione di Surigheddu rileva diversi episodi stratiformi seguiti da due episodi convettivi molto intensi, su cui ci soffermiamo. Osserviamo le Figure 162 e 163, che rappresentano l'evoluzione temporale, per l'evento considerato, dei parametri R (mm/h) e Z (dBZ). Da questi grafici è possibile notare che gli episodi convettivi hanno valori di $R > 50$ mm/h e di $Z > 45$ dBZ. Per l'evento sono stati inoltre graficati i valori di R vs. Z ed è stato calcolato il legame Z-R, come mostrato in Figura 167. Il legame Z-R è stato calcolato per tutta la giornata e fornisce valori di $A=295,12$ e $b=1,06$; il valore elevato di A associato ad un b circa uguale ad 1, indica la presenza di gocce con elevati valori di D_0 , il cui andamento è pressochè costante, come confermato dalla Figura 165 (nella fase convettiva D_0 supera 1,3 mm). Dal grafico di N_T ($1/\text{mm}^3$), Figura 164, si evince inoltre che il numero di gocce negli episodi convettivi è molto alto (dell'ordine di $10^4 / \text{mm}^3$) e maggiore del numero di gocce degli episodi stratiformi. Combinando questo grafico con quello di Figura 169, che mostra l'evoluzione temporale della DSD per l'evento considerato, si può infatti osservare che gli episodi convettivi sono caratterizzati da numerose gocce, sia di piccole che di grosse dimensioni, mentre negli episodi stratiformi vi è la predominanza di gocce di piccole/medie dimensioni.

In Figura 168 è mostrata la DSD media (mediata sul tempo) per tutta la giornata di precipitazione a cui è sovrapposta la distribuzione di MP per il valore di rainfall-rate media dell'evento e la distribuzione esponenziale bi-dimensionale (con parametri N_0 e Λ) che meglio fitti la distribuzione reale. Si può notare che la MP descrive mediamente bene la distribuzione reale, per tutta la giornata di precipitazione.

La Figura 166, che mostra l'evoluzione temporale dei parametri di una DSD esponenziale che meglio fitti la DSD reale, mostra che passando da pioggia stratiforme a quella convettiva, il parametro N_0 aumenta (fino a 10^4) mentre Λ cala fino a 2.5, indice appunto che la distribuzione dimensionale si sposta verso l'alto ed aumenta la concentrazione delle gocce di diametro medio/alto.

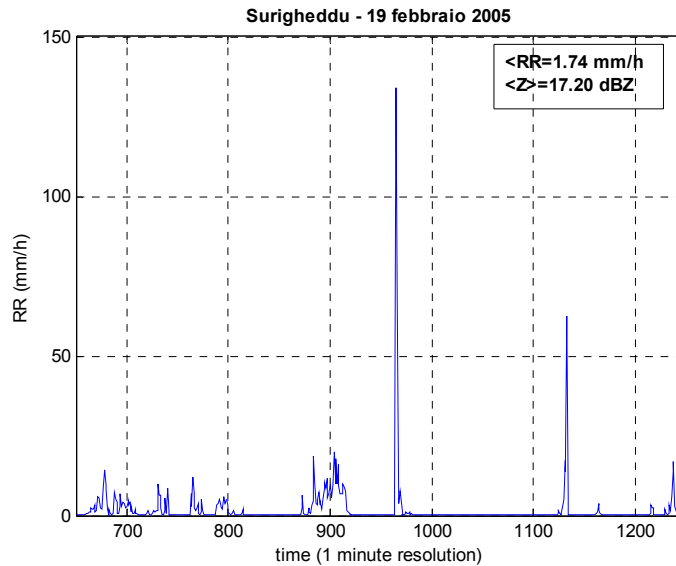


Figura 162- Rainfall-rate (mm/h) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

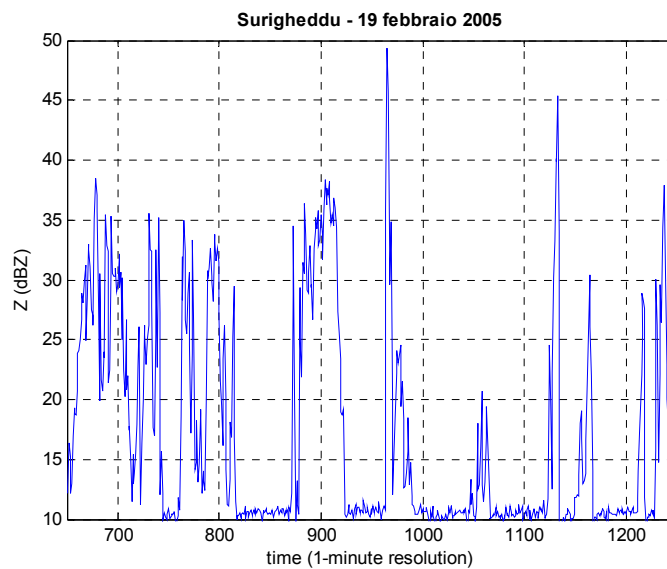


Figura 163 - Riflettività radar (dBZ) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

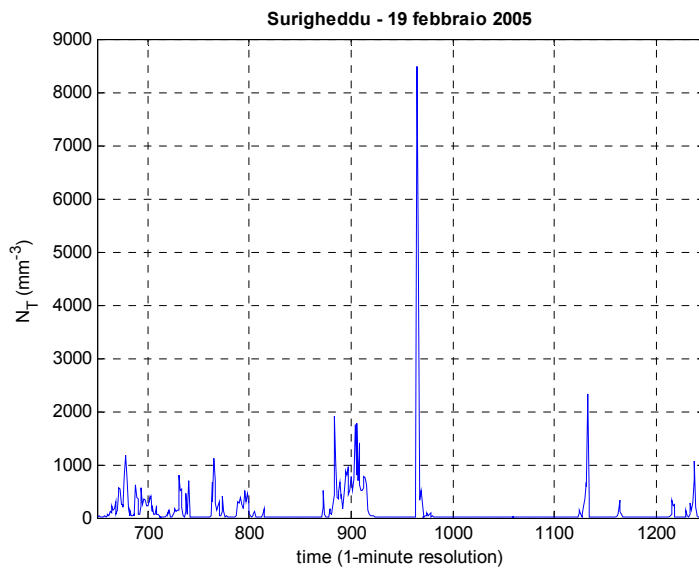


Figura 164 - Numero totale di gocce ($1/\text{mm}^3$) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

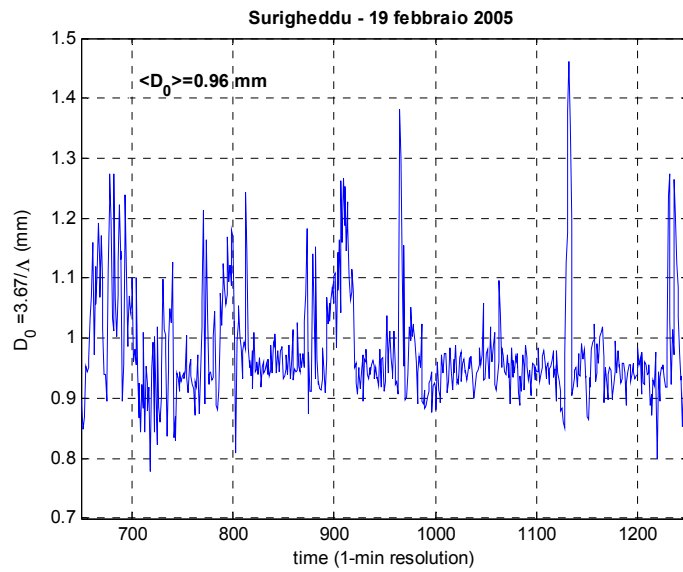


Figura 165 - Diametro equivalentivo medio (mm) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

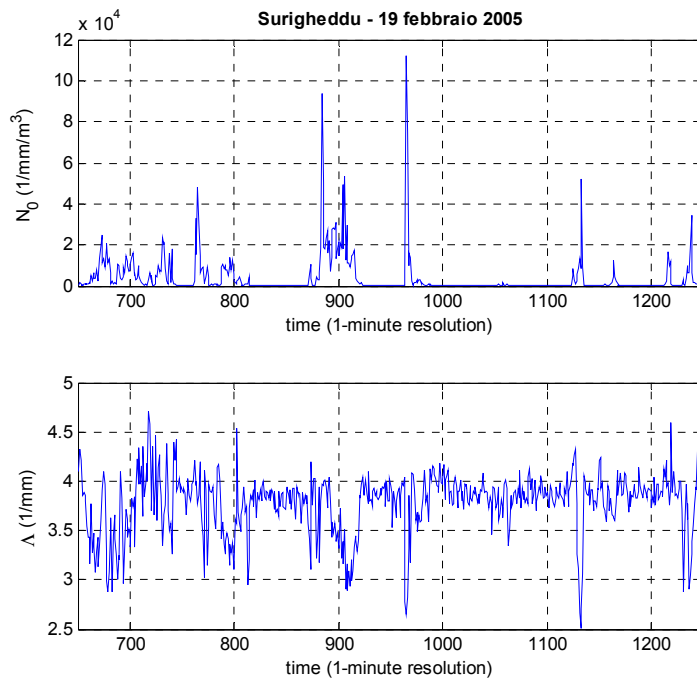


Figura 166 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

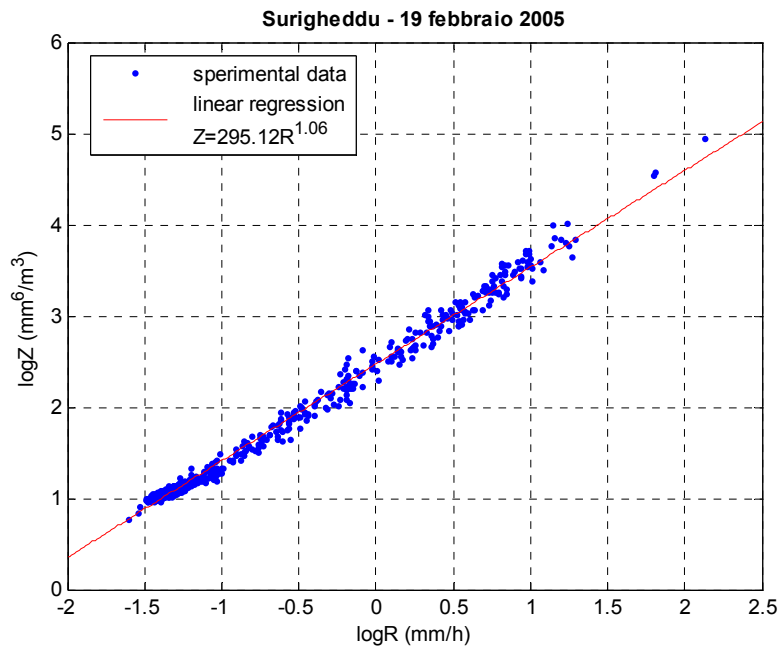


Figura 167 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

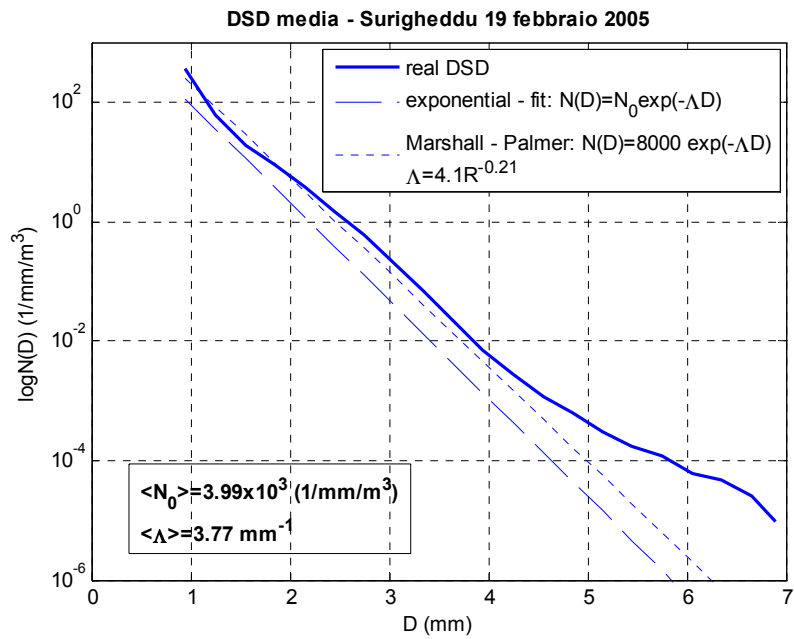


Figura 168 - Distribuzione dimensionale (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

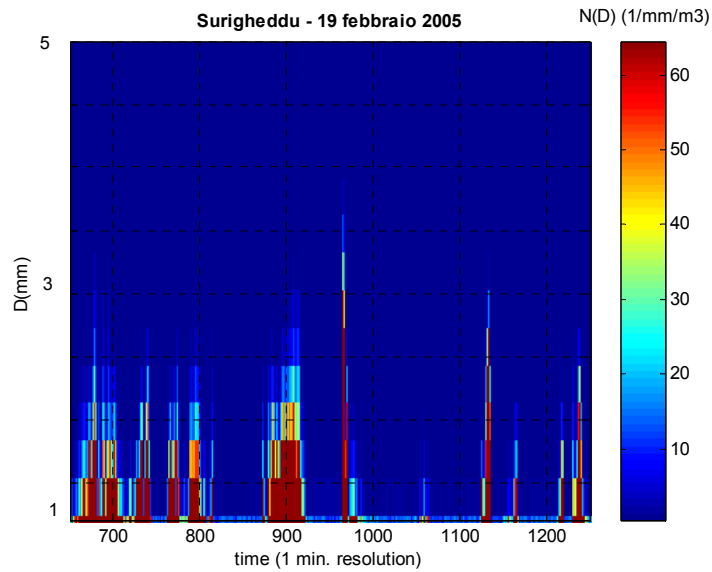


Figura 169 Evoluzione temporale della DSD (1/mm/mm³) di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (19/02/2005)

Stazione 19/02/2005	m (-)	Λ (1/mm)	N_0 (1/mm ^{1+m} /m ³)
Surigheddu	5,03	7,75	3,06x10 ¹⁰
Rotondella	/	/	/
Licata	/	/	/

Tabella 10 - Parametri di una distribuzione gamma DSD che fitta una distribuzione reale (m è dimensionale, Λ è espresso in 1/mm, N_0 in 1/mm^{1+m}/m³), per l'evento del 19/02/2005

2.4.2 Analisi sui complessivi 10 eventi per ogni stazione

Confrontando i valori di A e b del legame Z-R per le tre stazioni per i 10 eventi appena analizzati, si può notare che non si hanno delle variazioni significative passando da una stazione all'altra; inoltre i valori non si discostano significativamente dai valori previsti per l'area Mediterranea alle medie latitudini. Il valore di A per la stazione di Surigheddu è leggermente più elevato, indice che gli episodi sono stati di natura soprattutto convettiva, mentre la stazione di Rotondella fornisce valori di A molto vicini al valore 200 (Marshall e Palmer, 1948), indice di una predominanza degli eventi stratiformi su quelli convettivi.

Stazione	A	b
Surigheddu	269,15	1,50
Rotondella	205,59	0,84
Licata	257,04	1,02

Se osserviamo i grafici N_0 - Λ , in cui è mostrato il metodo di discriminazione eventi convettivi-stratiformi (retta $\Lambda+4,17=1,92\log N_0$), notiamo che si ha una predominanza degli eventi stratiformi in tutte e tre le stazioni, con la stazione di Surigheddu che registra il maggior numero di eventi convettivi. È comunque da osservare che questi grafici si riferiscono a 10 eventi registrati per la stazione di Surigheddu, di cui poi sono stati osservati i corrispondenti valori registrati da PLUDIX per le altre due stazioni, per le quali di molti dei 10 eventi non si aveva pioggia. Più significativi ai fini di un'indagine climatologica sono quindi i grafici mostrati nella sezione successiva, che analizzano tutti gli eventi registrati per ogni stazione.

Da notare infine che il metodo discriminante pioggia convettiva/stratiforme, come evidenziato in precedenza, è utile per distinguere bene tra precipitazione weak-stratiform e strong-convection, ma deve essere affiancato da misure da radar polarimetrico per meglio discriminare l'intervallo intermedio (shallow convettive/heavy stratiform), di cui comunque si sono tratte utili informazioni mediante l'analisi disdrometrica combinata dei parametri integrali della precipitazione e dei parametri della distribuzione dimensionale, come precedentemente mostrato.

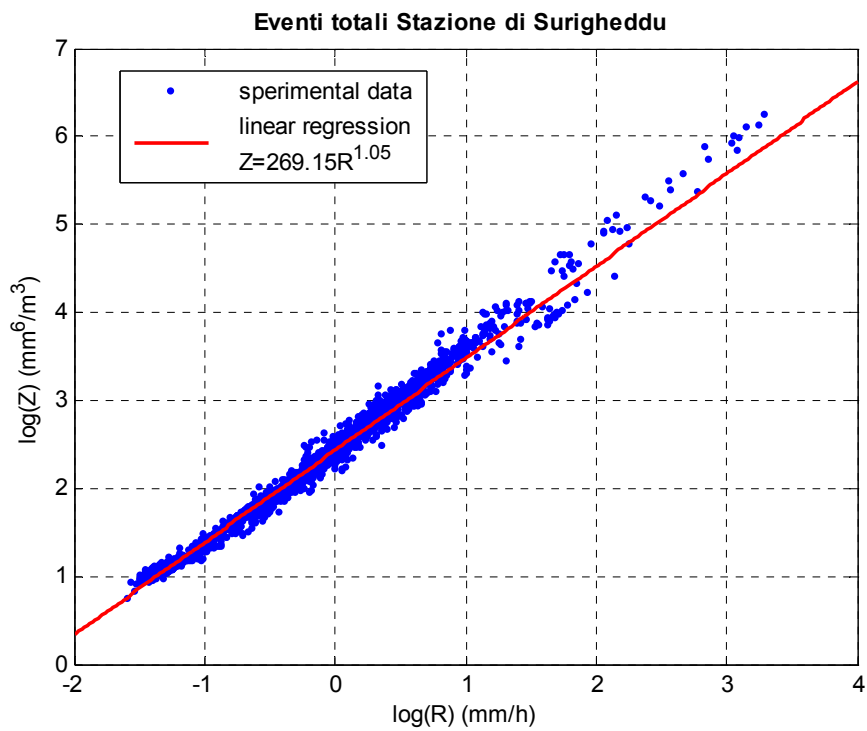


Figura 170 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Surigheddu (tutti i 10 eventi)

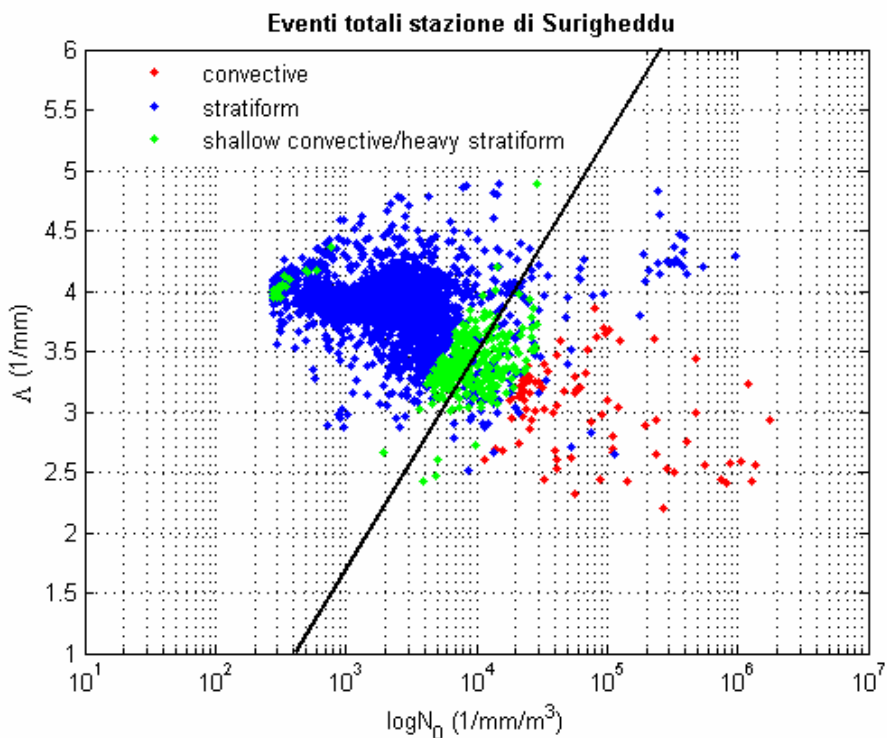


Figura 171 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Surigheddu: la retta disegnata è la discriminante eventi convettivi/stratiformi (tutti i 10 eventi)

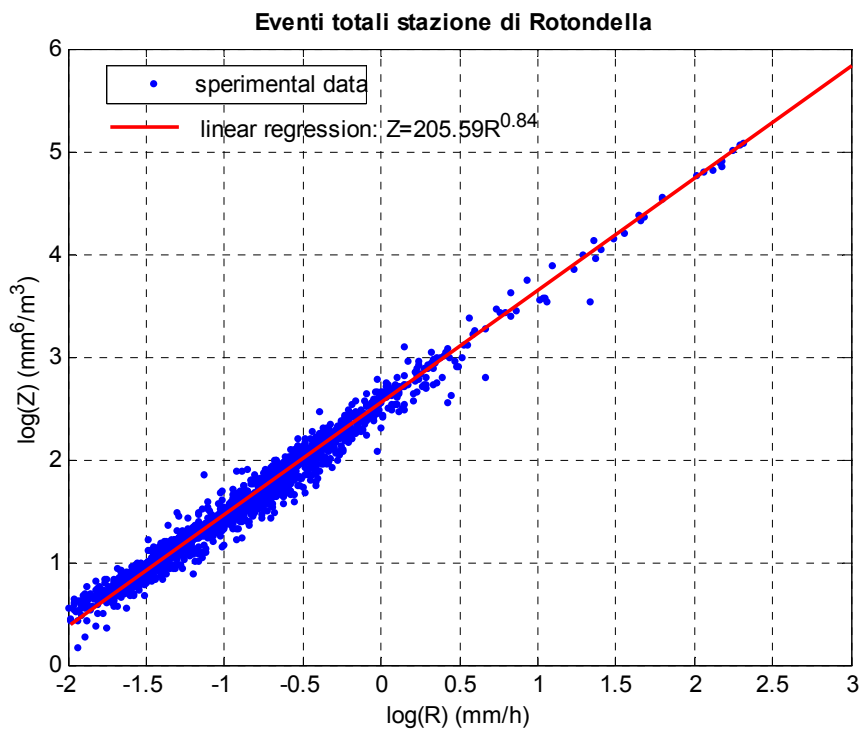


Figura 172 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Rotondella (tutti i 10 eventi)

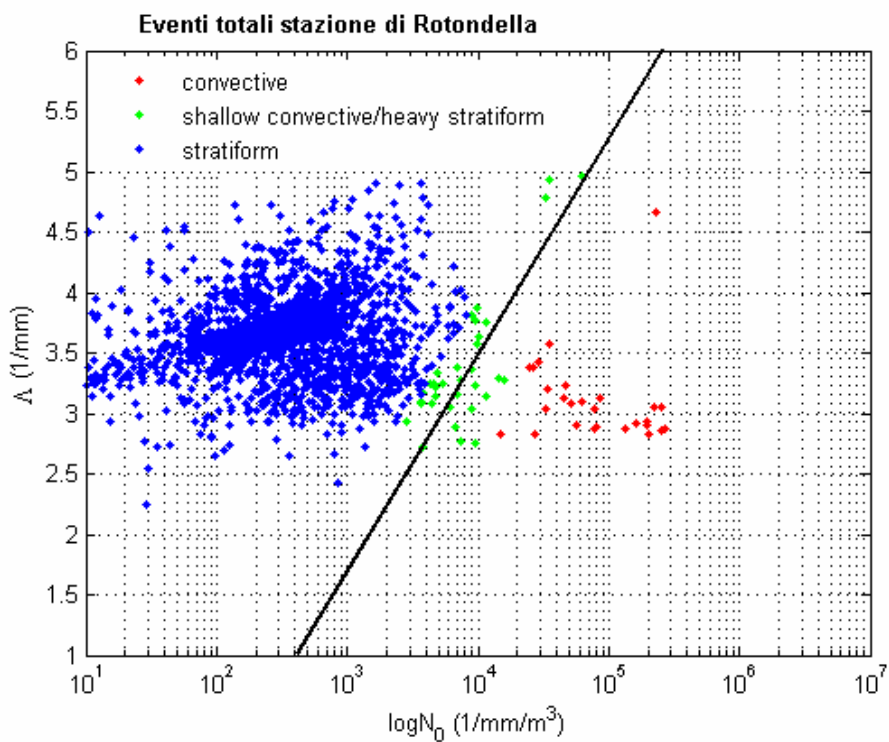


Figura 173 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Rotondella: la retta disegnata è la discriminante eventi convettivi/stratiformi (tutti i 10 eventi)

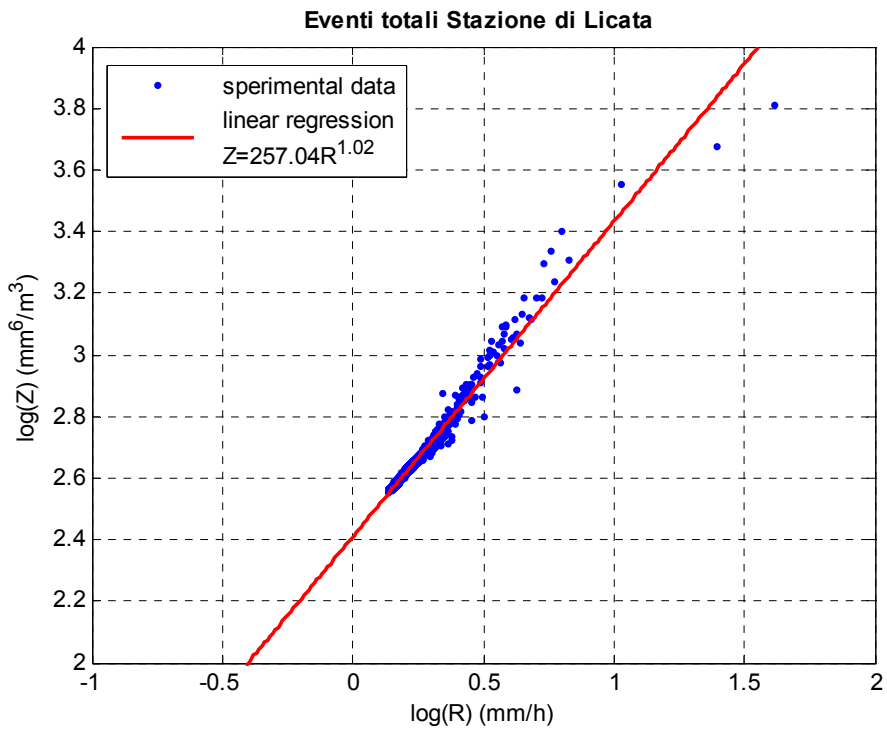


Figura 174 - Legame Z-R di PLUDIX per la stazione di Licata (tutti i 10 eventi)

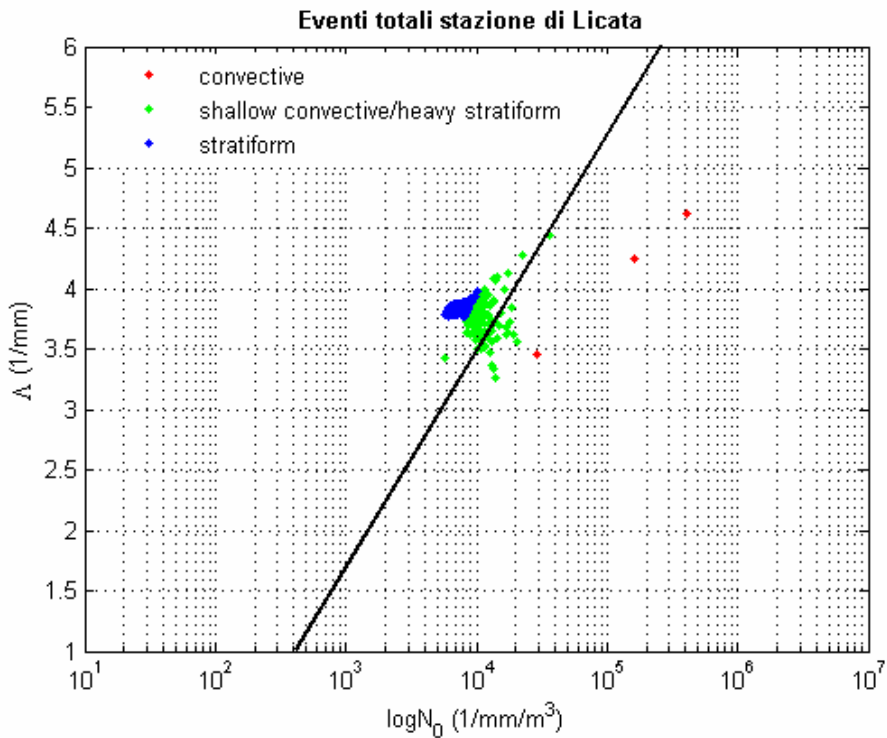


Figura 175 - Parametri della distribuzione esponenziale che fitta quella reale di PLUDIX per la stazione di Licata: la retta disegnata è la discriminante eventi convettivi/stratiformi (tutti i 10 eventi)

2.5 Analisi su tutti gli eventi per stazione e conclusioni

L'analisi Z-R complessiva per le tre stazioni ha fornito $A=259,08$ e $b=0,9$, valori che non si discostano significativamente da quelli previsti per l'area Mediterranea alle medie latitudini. I valori inoltre non si discostano significativamente da quelli di MP previsti per pioggia stratiforme alle medie latitudini ($A=200$, $b=1,6$), e sono caratterizzati, rispetto ai valori di MP, da A leggermente maggiore e b leggermente minore, indice della presenza di eventi convettivi.

Se osserviamo i grafici N_0 - Λ , in cui è mostrato il metodo di discriminazione eventi convettivi-stratiformi, notiamo che si ha una predominanza di eventi stratiformi in tutte e tre le stazioni, con una minore incidenza di eventi convettivi. Come già fatto notare, il metodo discriminante pioggia convettiva/stratiforme distingue bene tra precipitazione weak-stratiform e strong-convection, ma deve essere affiancato da misure da radar polarimetrico per meglio discriminare l'intervallo intermedio (shallow convettive/heavy stratiform).

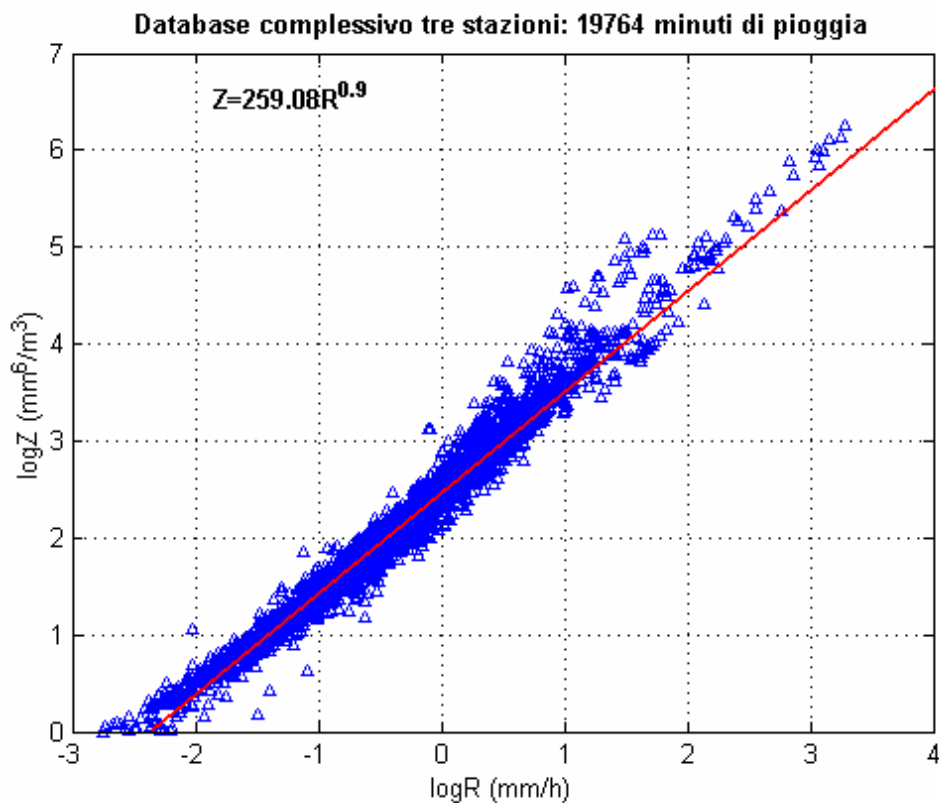
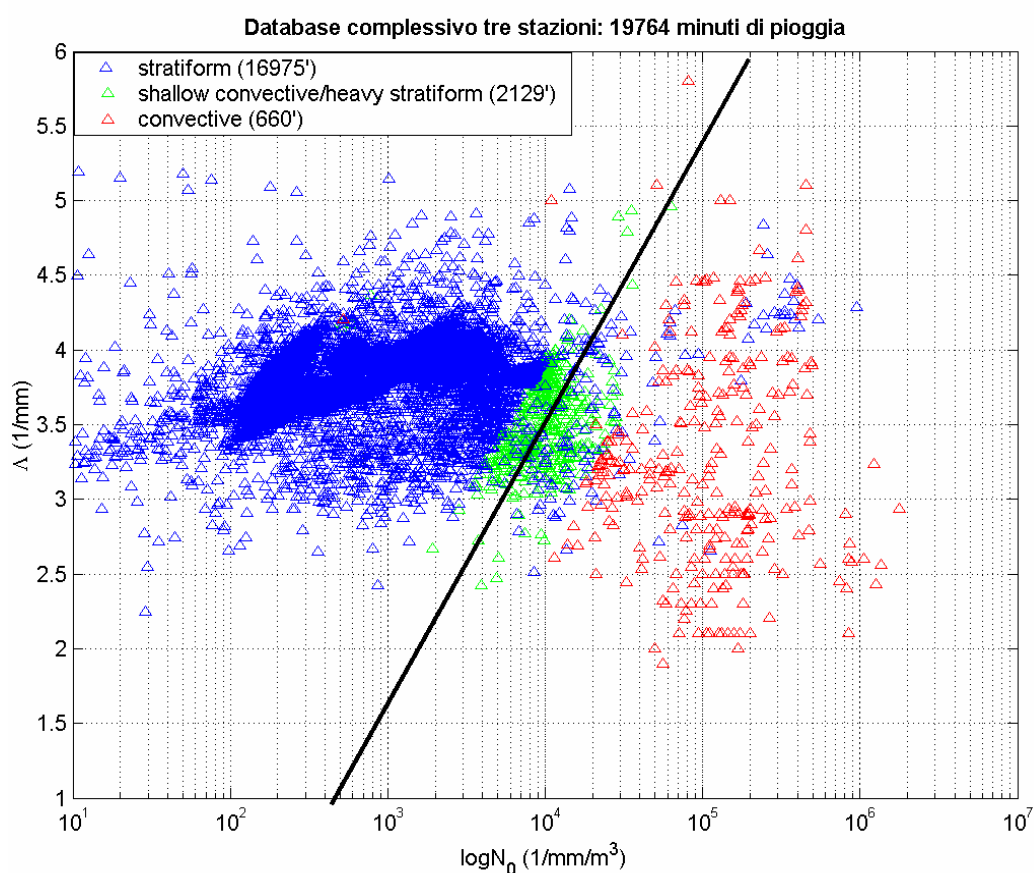


Figura 176 - Legame Z-R di PLUDIX per le tre stazioni (93 eventi di Surigheddu, 107 eventi di Licata, 69 eventi di Rotondella)

In conclusione, l'analisi condotta ha permesso di caratterizzare microfisicamente gli eventi osservati e di distinguere tra eventi convettivi e stratiformi. Dall'analisi disdrometrica effettuata con PLUDIX si è evinto che la tipologia di eventi analizzati è in prevalenza stratiforme per tutte e tre le stazioni, con una minore incidenza di eventi convettivi intensi (associati a convezione profonda MCS, MCC, squall lines o celle convettive isolate, come rilevabile dalle analisi satellitari), che caratterizzano soprattutto i mesi primaverili/estivi. I mesi estivi da luglio a settembre sono in genere caratterizzati da assenza di precipitazioni, confermando il trend climatologico di questa zona dell'Italia.



2.6 Bibliografia

1. Atlas D., R.C. Srivastava and R.S. Sekhon, 1973. Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. *Rev. Geoph. Space Phys.*, **11**, 1-35.
- Caracciolo C., F. Prodi, A. Battaglia, F. Porcù, 2006a. Analysis of the moments and parameters of a gamma DSD to infer precipitation properties: a convective stratiform discrimination algorithm. *Atmospheric Research*, **80 (2-3)**, 165-186.
- Caracciolo C., F. Prodi, R. Uijlenhoet, 2006b. Comparison between PLUDIX and impact/optical disdrometers during rainfall measurement campaigns. **In press on Atmospheric Research.**
- Krajewski, W.F. A. Kruger, C. Caracciolo, P. Golé, L. Barthes, J.-D. Creutin, J.-Y. Delahaye, E.I. Nikolopoulos, F. Ogden, J.-P. Vinson, 2006. *DEVEX-Disdrometer Evaluation Experiment: Basic results and implications for hydrologic studies*, *Advances in Water Resources*, **29**, 311-325.
- Kruger A. and W. Krajewski, 2002. Two-dimensional video disdrometer: a description. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **19**, 602-617
- Joss, J., and A. Waldvogel, 1967: Ein Spektrograph fuer Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. *Pure Appl. Geophys.*, **68**, 240-246.
2. Marshall J.S. and W. M. Palmer, 1948. The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, **5**, 165-166.
- Miriovski, B. J., Bradley, A., Eichinger, W. E., Krajewski, W. F., Kruger, A., and Nelson, B. R.: An Experimental Study of Small-Scale Variability of Radar Reflectivity Using Disdrometer Observations, *J. Appl. Meteor.*, **4**, pp 106–118, 2004.
3. Prodi, F., Tagliavini A., Pasqualucci F., 2000a. PLUDIX: an X-band sensor for measuring hydrometeors size distributions and fall rate, *Proc. 13th ICCP*, 338-339.
4. Prodi, F., Tagliavini A., Pasqualucci F., 2000b. Time variability in rainfall events observed by PLUDIX. *Phys. Chem. Earth (B)*, **25, n. 10-12**, 959-963.
5. Srivastava R.C., 1967. On the role of coalescence between raindrops in shaping their size distribution. *J. Atm. Sci.*, **24**, 287-292.
6. Testud J., S. Oury, R.A. Blank, P. Amayenc, X. Dou, 2001. The concept of "Normalized" distribution to describe raindrop spectra: a tool for cloud physics and cloud remote sensing. *J. Appl. Met.*, **Vol. 40**, 1118-1140.
7. Tokay A. and D. Short, 1996. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective. *J. Appl. Meteor.*, **35**, 355-371.
8. Tokay A., A. Kruger and W.F. Krajewski, 2001. Comparison of drop size distribution measurements by impact and optical disdrometers. *J. Appl. Met.*, **40**, 2083-2097.
9. Tokay A., A. Kruger, W.F. Krajewski and P. Kucera, A.J.P. Filho, 2002. Measurements of drop size distribution in the south-western Amazon basin. *J. Geophys. Res.*, **107(D20)**, LBA19-1; 19-15.
10. Ulbrich C., 1983. Natural Variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Clim and Appl. Met.*, **22**, 1764-1775.
11. Urban H.E., 1996. 2D video disdrometer users manual. *Under ESTEC Contract No.*

- 9949/92/NL/PB(SC). Joanneum Research, Graz (Austria)
12. Waldvogel A., 1974. The N_0 jump of raindrop spectra. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1067-1078.
 13. Williams C.R., A. Kruger, K.S. Gage, A. Tokay, R. Cifelli, W.F. Krajewski and C. Kummerow, 2000. Comparison of simultaneous rain drop size distributions estimated from two surface disdrometers and a UHF profiler. *Geoph. Res. Letters*, **27** (n. 12), 1763-1766.
 14. Willis P.T., 1984. Functional fits to some observed drop size distributions and parameterization of rain. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1649-1661.
 15. Willis P.T. and P. Tattelman, 1989. Drop size distributions associated with intense rainfall. *J. Appl. Met.*, **28**, 3-15.
 16. Zawadzki I., E. Monteiro and F. Fabry, 1994. The development of drop size distributions in light rain. *J. Atm. Sci.*, **51**, 1100-1113.
 17. Zawadzki I. and M. De Agostinho Antonio, 1988. Equilibrium raindrop size distributions in tropical rain. *J. Atm. Sci.*, **45**, 3452-3459.

3 RICERCA DI METODI ELABORATIVI DI IMMAGINI METEO (METEOSAT, NOAA ECC.) PER VALIDARE/RICAVARE MAPPE DI VARIABILI CLIMATICHE

3.1 Raccolta dati satellitari per il modello di classificazione delle nubi e stima delle precipitazioni

Lo scopo della raccolta dati è fornire alle fasi successive del progetto tutte le informazioni e gli strumenti per poter implementare, calibrare e testare al meglio gli algoritmi che si andranno a sviluppare.

Lo studio multi sensoriale e multispettrale prevede l'utilizzo di diversi sensori che osservano la Terra e l'atmosfera in diverse frequenze. Si è quindi deciso di acquisire i dati METEOSAT e NOAA-AVHRR nello spettro del visibile e dell'infrarosso termico nonché quelli di un terzo sensore, che raccoglie immagini sempre nello stesso intervallo spettrale, ma con una risoluzione spaziale e spettrale molto migliore dei due precedenti: MODIS ha infatti una risoluzione a terra di 250-1000 m, e può contare sulla disponibilità di 36 bande dal visibile all'infrarosso termico.

Infine l'approccio multispettrale per l'identificazione delle aree convettive ottiene notevoli vantaggi dall'utilizzo di sensori alla microonde passive; si è quindi deciso di acquisire i dati SSM/I i quali, anche se con risoluzione spaziale molto bassa (69 x 43 km nel canale a 19 GHz e 15 x 13 km nel canale a 85 GHz) permettono una identificazione dettagliata dei fenomeni convettivi in atto.

Le caratteristiche dei sensori dei quali si sono acquisiti i dati sono descritte nella Tabella 11.

Sulla base della successiva selezione dei periodi da analizzare, sono state raccolte 90 immagini METEOSAT, 5 immagini NOAA/AVHRR, 12 immagini MODIS, 14 immagini SSM/I.

Sensore	Satellite	n. bande	Dettaglio bande	Risoluzione spaziale	Tempo di Rivista
VISSR	METEOSAT	3	VIS: 0,5-0,9 μm IR-VW: 5,7-7,1 μm TIR: 10,5-12,5 μm	2,5 km ssp 5 km ssp 5 km ssp	30 min
AVHRR	NOAA	6	1 (VIS): 0.58-0.68 μm 2 (NIR): 0.725-1.1 μm 3A (NIR): 1.58-1.64 μm 3B (TIR): 3.55-3.393 μm 4 (TIR): 10.3-11.3 μm 5 (TIR): 11.4-12.4 μm	1,09 km	12 ore
MODIS	TERRA-AQUA	36	11 VIS 6 NIR 3 SWIR 6 MWIR 10 TIR	250 m 500 m 1 km	48 ore
SSM/I	DMSP	7 (4 freq.)	19 GHz (V, H) 22 GHz (V) 37 GHz (V, H) 85 GHz (V, H)	69x43 km 60x40 km 37x28 km 15x13 km	

Tabella 11 - Caratteristiche dei sensori selezionati per l'acquisizione dei dati

3.2 Identificazione dei Periodi di Analisi

I periodi di analisi sono stati definiti sulla base dei dati pluviometrici misurati nelle stazioni di Trisaia (Basilicata) e Surigheddu (Sardegna). Sono state scelte due giornate per sito, ed una giornata di cielo sereno per la calibrazione. La fase di calibrazione e testing degli algoritmi è stata eseguita sul sito di Trisaia, mentre la parte di test e validazione è stata realizzata sul sito di Surigheddu. I giorni identificati per la raccolta di dati sono:

- 5 ottobre 2003;
- 8 Ottobre 2003;
- 15 Ottobre 2003;
- 18 Ottobre 2003.

Il giorno scelto per la calibrazione a cielo sereno è il 10 Ottobre 2003.

Nelle Figure da Figura 178 a Figura 182 sono descritte, per ogni giornata di raccolta, le *timetables* nelle quali si evidenzia la tempistica dei dati raccolti.

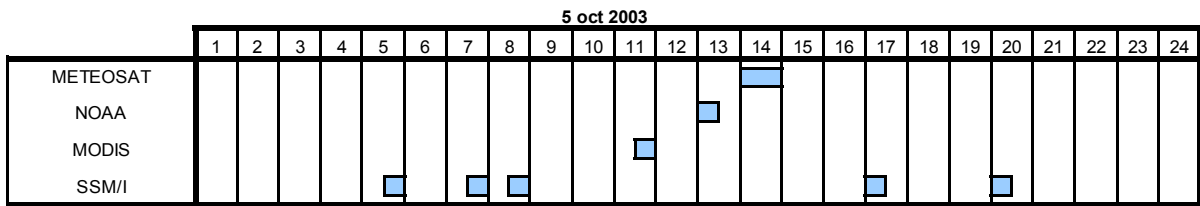


Figura 178 - Distribuzione temporale (nell'arco dell'intera giornata) dei dati raccolti per il giorno 5 Ottobre 2003 per i 4 sensori individuati

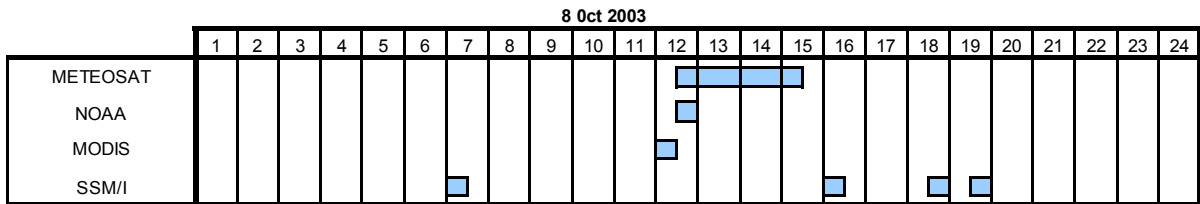


Figura 179 - Distribuzione temporale (nell'arco dell'intera giornata) dei dati raccolti per il giorno 8 Ottobre 2003 per i 4 sensori individuati

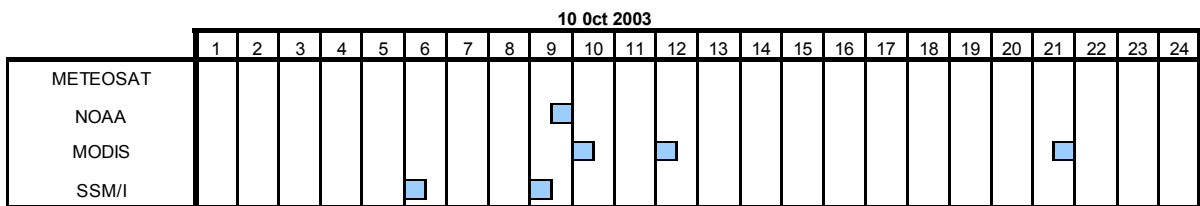


Figura 180 - Distribuzione temporale (nell'arco dell'intera giornata) dei dati raccolti per il giorno 10 Ottobre 2003 per i 4 sensori individuati

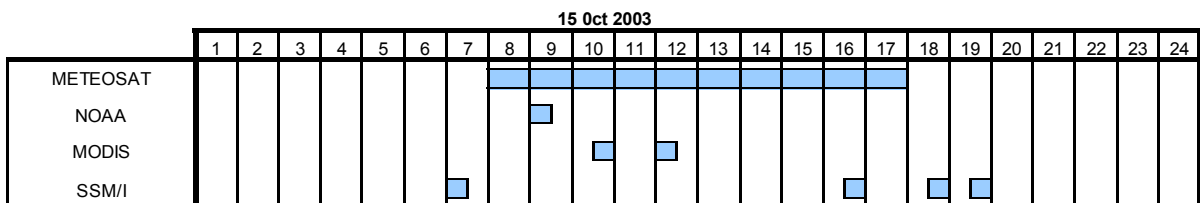


Figura 181 - Distribuzione temporale (nell'arco dell'intera giornata) dei dati raccolti per il giorno 15 Ottobre 2003 per i 4 sensori individuati

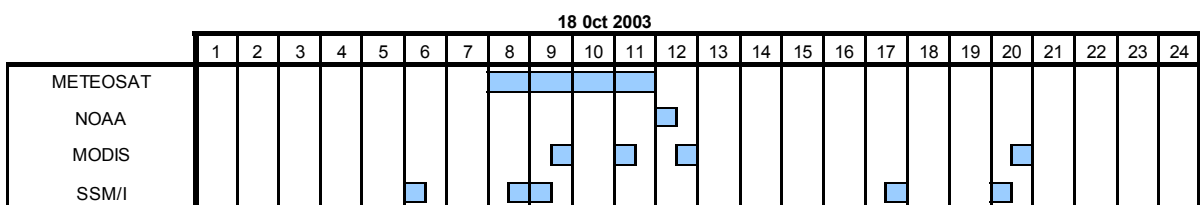
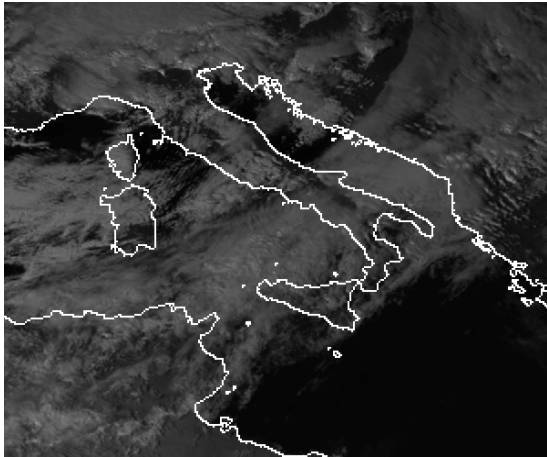


Figura 182 - Distribuzione temporale (nell'arco dell'intera giornata) dei dati raccolti per il giorno 18 Ottobre 2003 per i 4 sensori individuati

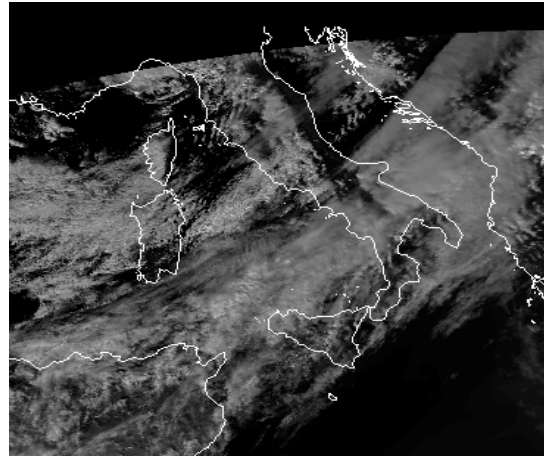
Di seguito sono presentati, per ogni evento, delle piccole *snapshots* dei dataset raccolti.

In Figura 183 sono mostrati 4 campioni di immagini raccolte per l'evento del 5 ottobre 2003, dove è evidente un sistema di precipitazione largamente diffuso sul sud Italia, che ha i suoi massimi in evidenza nell'immagine SSM/I.

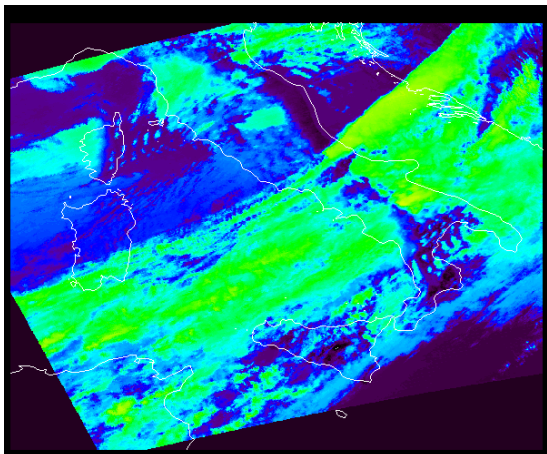
Primo Evento: 5 ottobre 2003



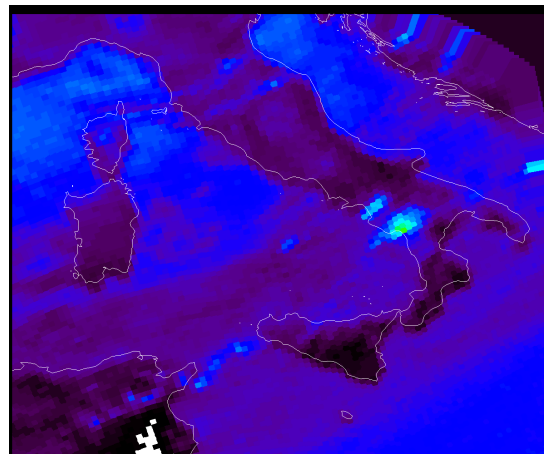
METEOSAT (VIS)



AVHRR (canale 1)



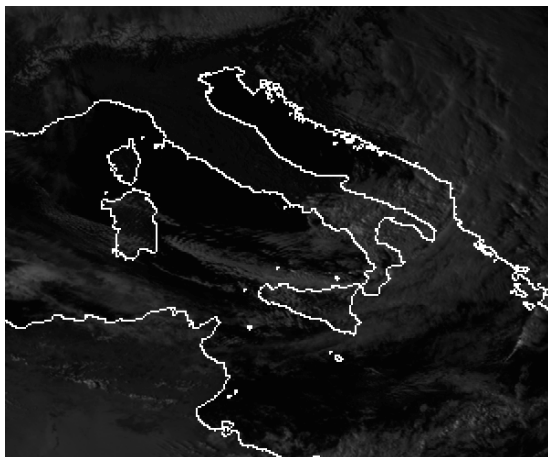
MODIS (banda 31 colorata)



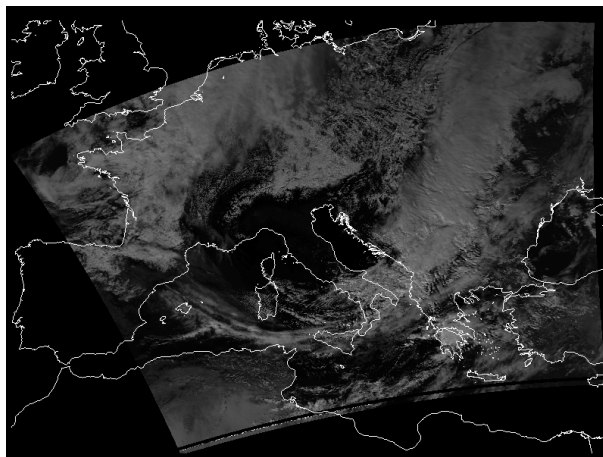
SSM/I (85 GHz - pol. Verticale colorata)

Figura 183 - Immagini satellitari dei quattro sensori selezionati per il primo evento

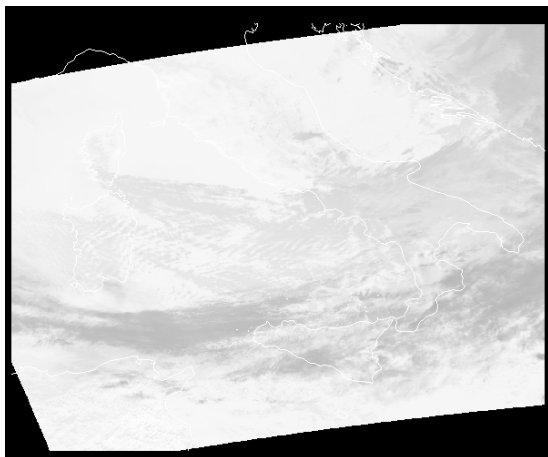
Secondo Evento: 8 ottobre 2003



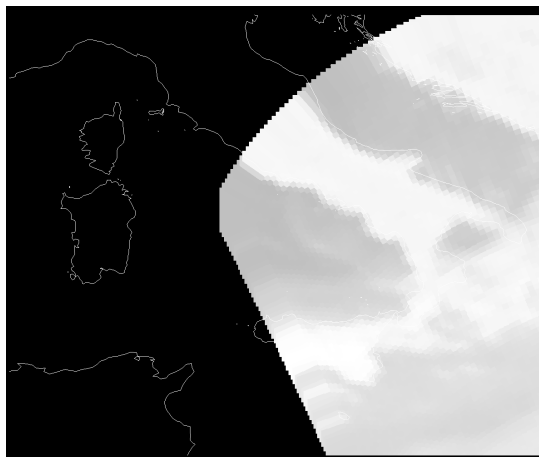
METEOSAT (VIS)



AVHRR (CH1)



MODIS (Banda 31 invertita)

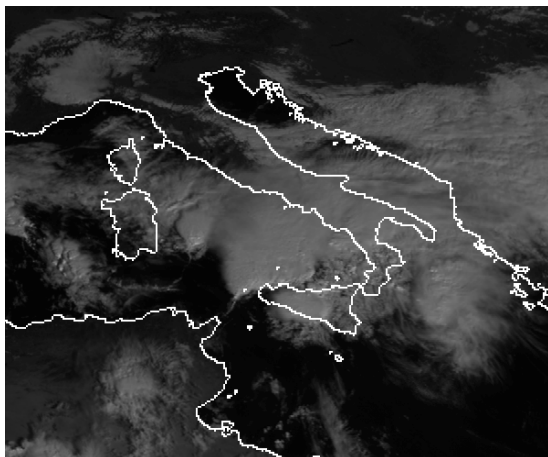


SSM/I (85 GHz - pol. Verticale invertita)

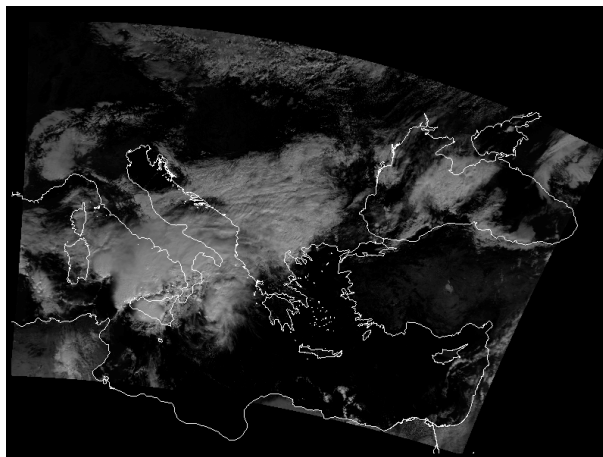
Figura 184 - Immagini satellitari dei quattro sensori selezionati per il secondo evento

In questo secondo caso la presenza di eventi di precipitazione nella parte sud dell'Italia è ancora evidente. Entrambi gli eventi 1 e 2 verranno utilizzati per la validazione dei metodi sviluppati facendo uso dei dati di precipitazione a terra misurati dalla stazione di Rotondella (Basilicata).

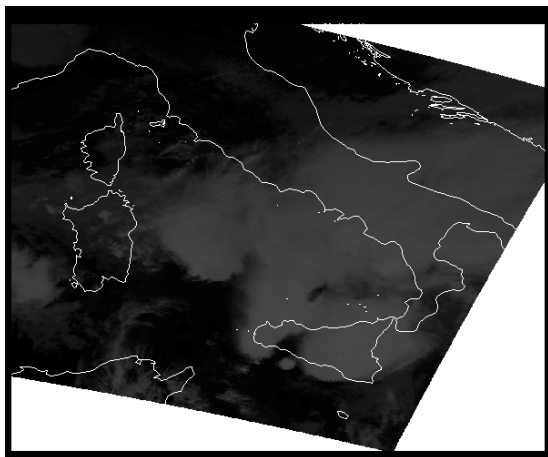
Terzo Evento: 15 ottobre 2003



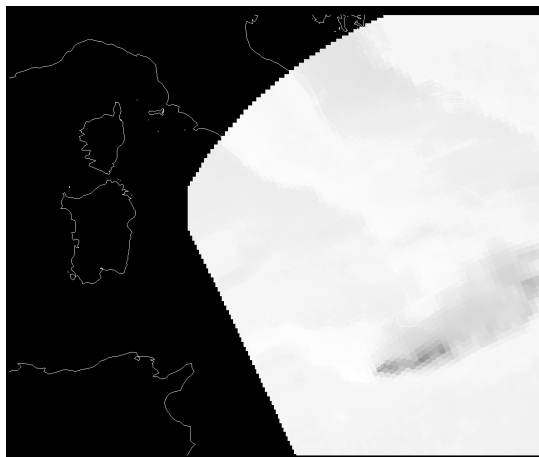
METEOSAT (VIS)



AVHRR (CH1)



MODIS (Banda 31 invertita)

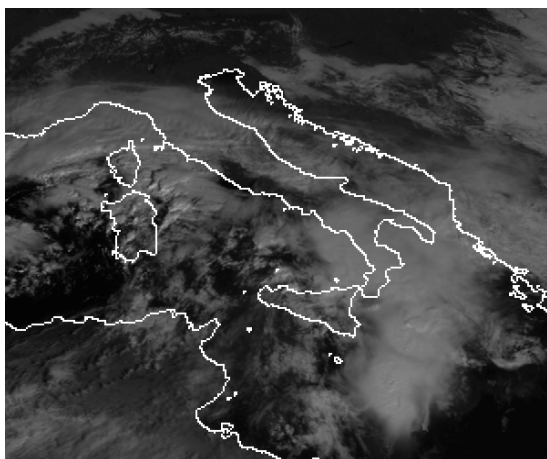


SSM/I (85 GHz - pol. Verticale)

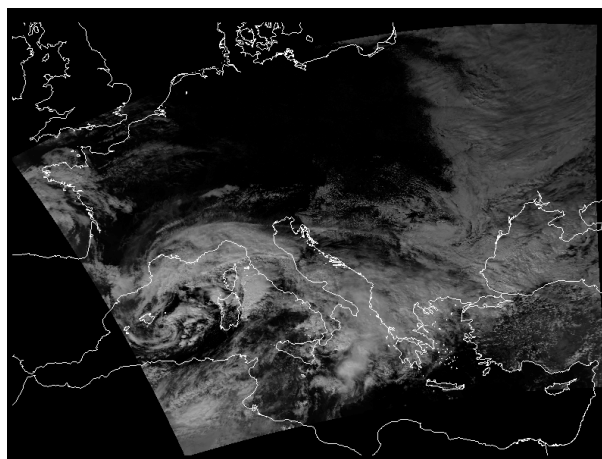
Figura 185 - Immagini satellitari dei quattro sensori selezionati per il terzo evento

Per quanto riguarda i dati raccolti il 15 ottobre 2005, saranno due gli eventi che verranno utilizzati, uno per la parte di calibrazione del metodo ed un secondo per la parte di validazione dello stesso.

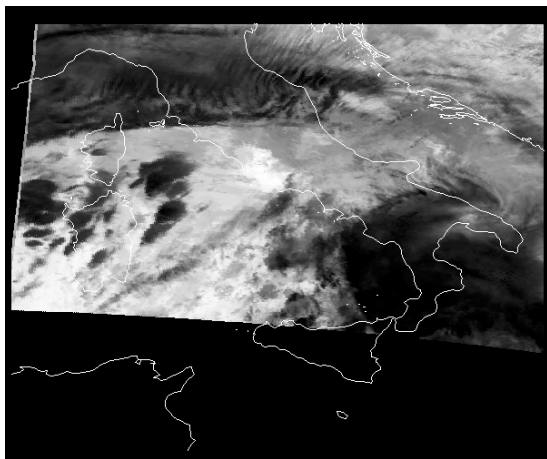
Quarto Evento: 18 ottobre 2003



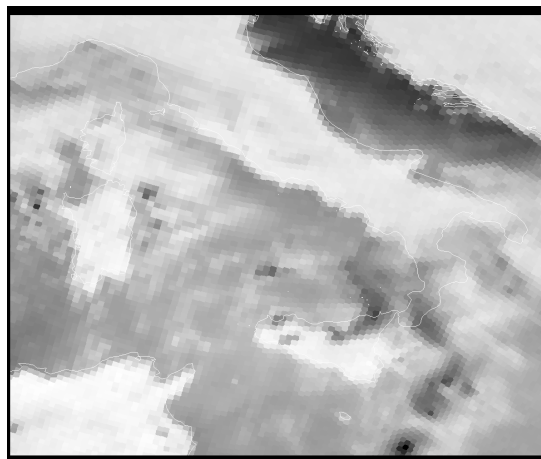
METEOSAT (VIS)



AVHRR (CH1)



MODIS (Banda 31)



SSM/I (85 GHz - pol. Verticale)

Figura 186 - Immagini satellitari dei quattro sensori selezionati per il quarto evento

Gli *snapshots* rappresentati mostrano la presenza, nella parte Est della costa della Sardegna, di un sistema nuvoloso formato da due corpi principali: dalle immagini nello spettro dell'infrarosso (MODIS) si nota come i due sistemi sembrano avere le medesime caratteristiche di temperatura del top della nube, mentre dai dati SSM/I si può notare come il sistema più a sud abbia una temperatura di brillantezza nettamente inferiore, e denoti quindi uno spessore ottico e di conseguenza una presenza di idrometeore e di convezione molto maggiore rispetto al sistema più a nord. Questo caso è emblematico dei vantaggi che si possono trarre dall'utilizzo delle microonde nella identificazione delle aree di convezione attiva.

Nella Tabella 12 sono sinteticamente descritti i sensori pianificati per le operazioni di implementazione e calibrazione per evento.

Data	Sviluppo/Calibrazione(SC) Validazione (V)	Range orario (UTC)	Sensori Utilizzati
18 Ott. 2003	SC	08:51 – 09:35	METEOSAT MODIS SSM/I
15 Ott. 2003	SC	16:21 – 16:37	METEOSAT SSM/I
15 Ott. 2003	SC	09:16 – 10:45	METEOSAT AVHRR MODIS
15 Ott. 2003	V	12:15 – 12:21	METEOSAT MODIS
8 Ott. 2003	V	12:10 – 12:30	METEOSAT AVHRR MODIS
5 Ott. 2003	V	13:05 – 13:51	METEOSAT AVHRR

Tabella 12 - Riassunto dei dati utilizzati per le operazioni di Sviluppo/Calibrazione e Validazione degli algoritmi

3.3 Pre-elaborazione dei dati

La pre-elaborazione dei dati satellitari è stata effettuata prima calibrando i dati dei diversi sensori tenendo conto dei diversi parametri di calibrazione, poi rimappando tutte le immagini su una griglia ortorettangolare comune di larghezza 12° di Longitudine (da 7°E a 19°E) e 10° di Latitudine (da 35°N a 45°N), con passo costante di 0,01° in latitudine e longitudine (Figura 187).

La scelta della posizione e delle caratteristiche di risoluzione della griglia si sono basate sulle caratteristiche dei dati satellitari utilizzati, sulla distribuzione degli strumenti di validazione al suolo e sulle caratteristiche che il prodotto finale (Cloud Classification, ma soprattutto Rainfall Rate Estimation) dovrà avere.

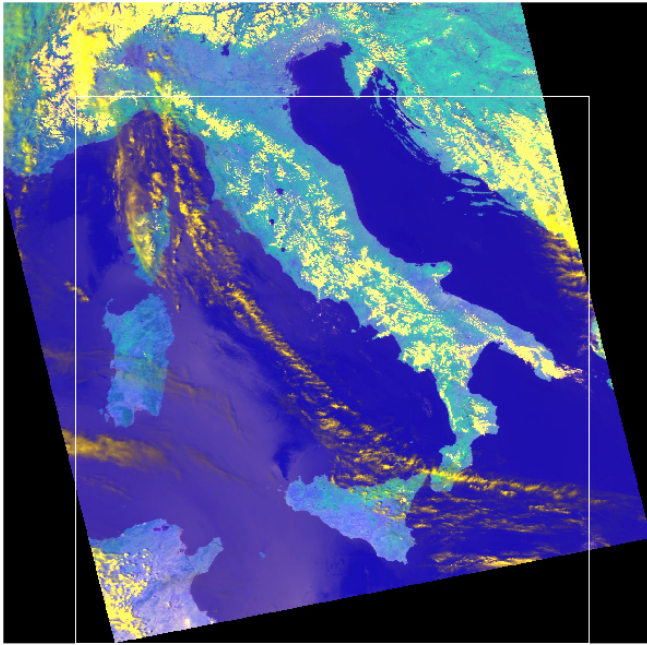


Figura 187 - Dimensione della griglia ortorettangolare di pre-elaborazione

Il risultato delle operazioni di rimappatura è una serie di immagini completamente sovrapponibili estratte dai diversi sensori nelle diverse bande spettrali, pronte per essere utilizzate dagli algoritmi di classificazione e stima di precipitazione (Figura 187).

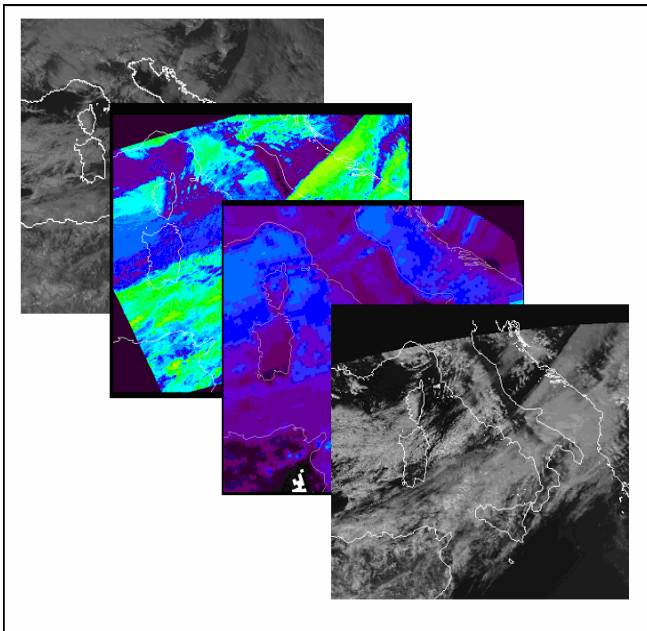


Figura 188 - Sovrapposibilità delle immagini dei diversi sensori

Di seguito sono riportate alcune considerazioni emerse durante le fasi di rimappatura delle immagini da satellite.

Dati METEOSAT

La pre-elaborazione dei dati METEOSAT ha comportato due passi distinti:

- definizione della griglia di latitudine e longitudine dei dati originali;
- calibrazione dei canali visibile e infrarosso per l'estrazione della riflettività e della Equivalent Black Body Temperature (EBBT) rispettivamente.

Dati NOAA/AVHRR

Le procedure di pre-elaborazione hanno riguardato solo la rimappatura dei dati AVHRR nella griglia comune definita sopra, in quanto le immagini relative erano state acquisite in formato binario e rappresentanti le grandezze fisiche di EBBT (per i canali nell'infrarosso) e di radianza (canali nel visibile) - Figura 189.

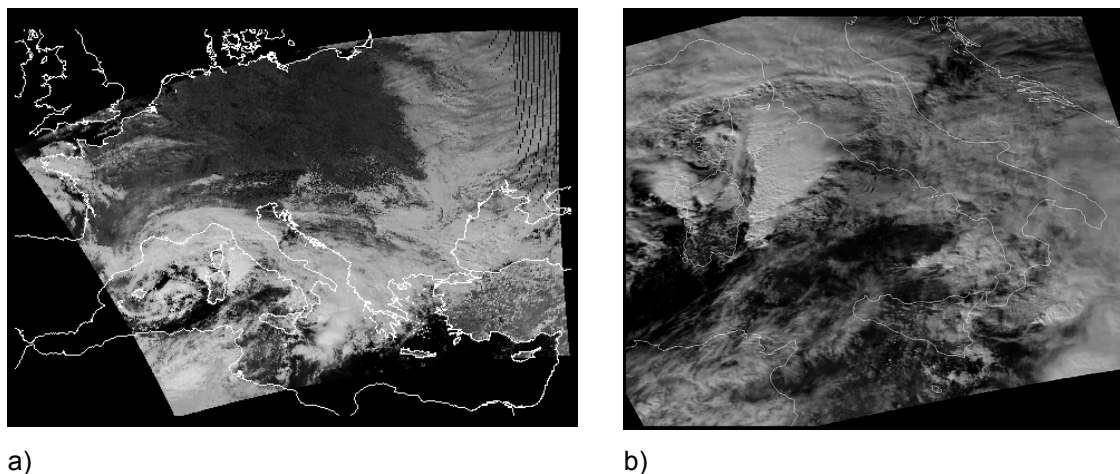
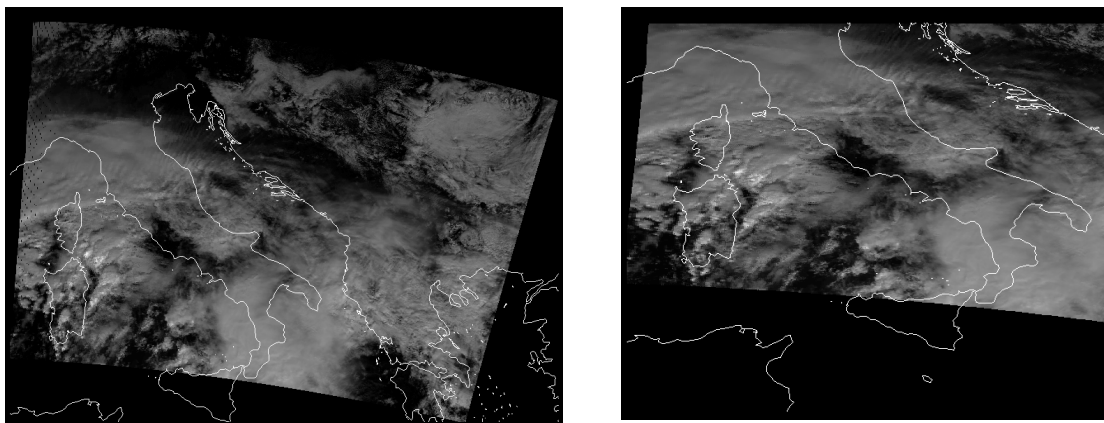


Figura 189 - Immagini NOAA nella proiezione originale (a) e rimappate sulla griglia ortorettangolare comune (b)

Dati MODIS

I dati MODIS sono stati acquisiti direttamente in formato HDF; il livello di elaborazione 1B contiene i dati di tutte le 36 bande e i parametri di calibrazione che permettono di estrarre i canali in temperatura (infrarosso) e radianza (visibile). Nei file HDF sono anche contenute le matrici di georeferenziazione necessarie per la rimappatura.

La procedura di pre-elaborazione ha quindi riguardato l'estrazione delle varie bande, il calcolo dei valori di temperatura e di radianza per tutti i 36 canali e la rimappatura nella griglia comune (Figura 190).



a)

b)

Figura 190 - Immagini MODIS. 18 ottobre 2005, Banda 1 (visibile) nella proiezione originale (a) e rimappate sulla griglia ortorettangolare comune (b)

Dati SSM/I

Anche i dati SSM/I sono stati acquisiti in formato HDF, con la differenza che ogni file conteneva i dati di ogni singola banda acquisita durante un'intera rivoluzione attorno alla Terra. I file HDF contenevano anche i parametri di calibrazione e le informazioni di georeferenziazione. Le operazioni di pre-elaborazione hanno quindi richiesto l'estrazione delle zone di interesse dalle immagini del globo completo, successivamente una estrazione dei diversi canali nelle diverse frequenze e la conversione in temperatura di brillantezza (BT) ed infine la rimappatura sulla griglia comune (Figura 191).

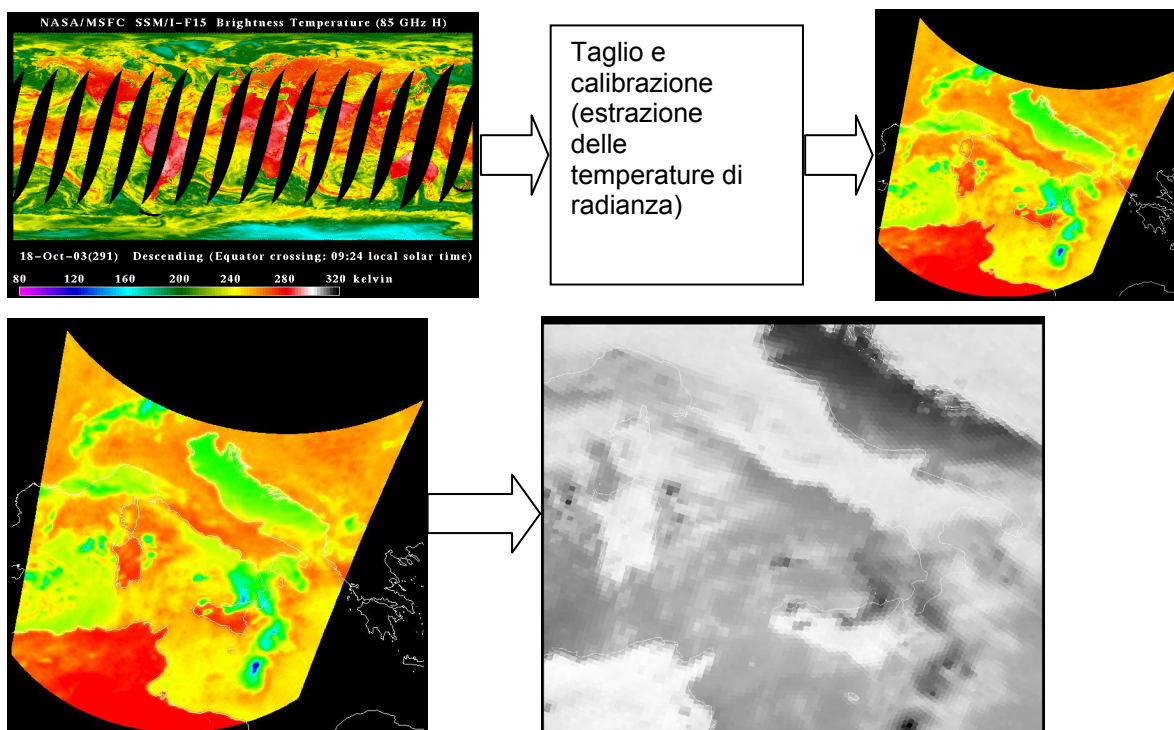


Figura 191 - Schema di elaborazione delle immagini SSM/I dal dato grezzo al dato calibrato e rimappato

Scelta delle immagini da analizzare

La rimappatura delle immagini provenienti dai vari sensori su un'unica griglia ha permesso di avere a disposizione una serie molto ampia di immagini con diverse caratteristiche spettrali: da un rapido calcolo risulta che, per la parte di implementazione dell'algoritmo di classificazione, si possa contare formalmente su 51 immagini (multispettrali) della stessa scena. Sfortunatamente queste immagini risultano essere ridondanti su alcune bande (la banda 11 micron è presente su tre dei 4 satelliti utilizzati) ed alcune di queste bande non forniscono aiuto nella definizione delle caratteristiche di nube per le loro proprietà di interazione con l'atmosfera (per esempio le bande dalla 8 alla 16 del sensore MODIS sono utili soprattutto per le analisi della vegetazione). Infine, date le dimensioni dei fenomeni che si stanno osservando (dell'ordine delle decine di chilometri), alcune bande SSM/I non possono essere utilizzate a causa della scarsa risoluzione al suolo (60x40 km per la banda a 19 GHz). In base a queste considerazioni, le immagini che possono essere utilizzate nello studio dei metodi di classificazione delle nubi sono circa 30 (vi sono un paio di bande MODIS che possono essere considerate o meno utili allo scopo del monitoraggio delle nubi).

La scelta dell'evento su cui sviluppare la prima parte di implementazione si è basata sulla presenza di diverse condizioni, che il metodo di classificazione di nubi deve essere in grado di discriminare senza ambiguità. Si è quindi deciso di utilizzare l'evento del 18 Ottobre 2003 come punto di partenza per le analisi di nube, focalizzando l'attenzione sui due sistemi nuvolosi che si trovano ad Est della Corsica e della Sardegna (vedi Figura 192).

Nel dataset del giorno prescelto, come si può notare dalla distribuzione temporale delle immagini mostrata in Figura 193, il dato AVHRR ha un ritardo, rispetto alle acquisizioni METEOSAT, MODIS e SSM/I di oltre tre ore: tale ritardo è stato considerato eccessivo rispetto alla scala temporale di evoluzione del fenomeno, e di conseguenza le immagini AVHRR non sono state utilizzate in questa fase di sviluppo. Per quanto riguarda le acquisizioni dei sensori MODIS, METEOSAT e SSM/I, i dati sono stati misurati con cadenza temporale come mostrato in Tabella 13 gli sfasamenti temporali sono evidenti dalle immagini (Figura 193 a)) e di conseguenza azioni correttive debbono essere poste in atto.

A tale scopo le immagini debbono essere anticipate o posticipate in base alla velocità del sistema da osservare. Un esempio pratico di tale operazione può essere fatto sull'evento selezionato per lo sviluppo degli algoritmi, come mostrato in Figura 193b).

Sensore	Datate ID	Tempo Acquisizione (Medio)
METEOSAT	Slot 18, 19	08:51, 09:21 UTC
SSM/I	mib15S03.291_hdf, 11D	08:57 – 09:03 UTC
MODIS	SC:MOD021KM.004:34577273	09:30 – 09:35 UTC

Tabella 13 - Tempi di acquisizione delle immagini satellitari utilizzate per l'analisi dell'evento 4 (18 Ottobre 2003)

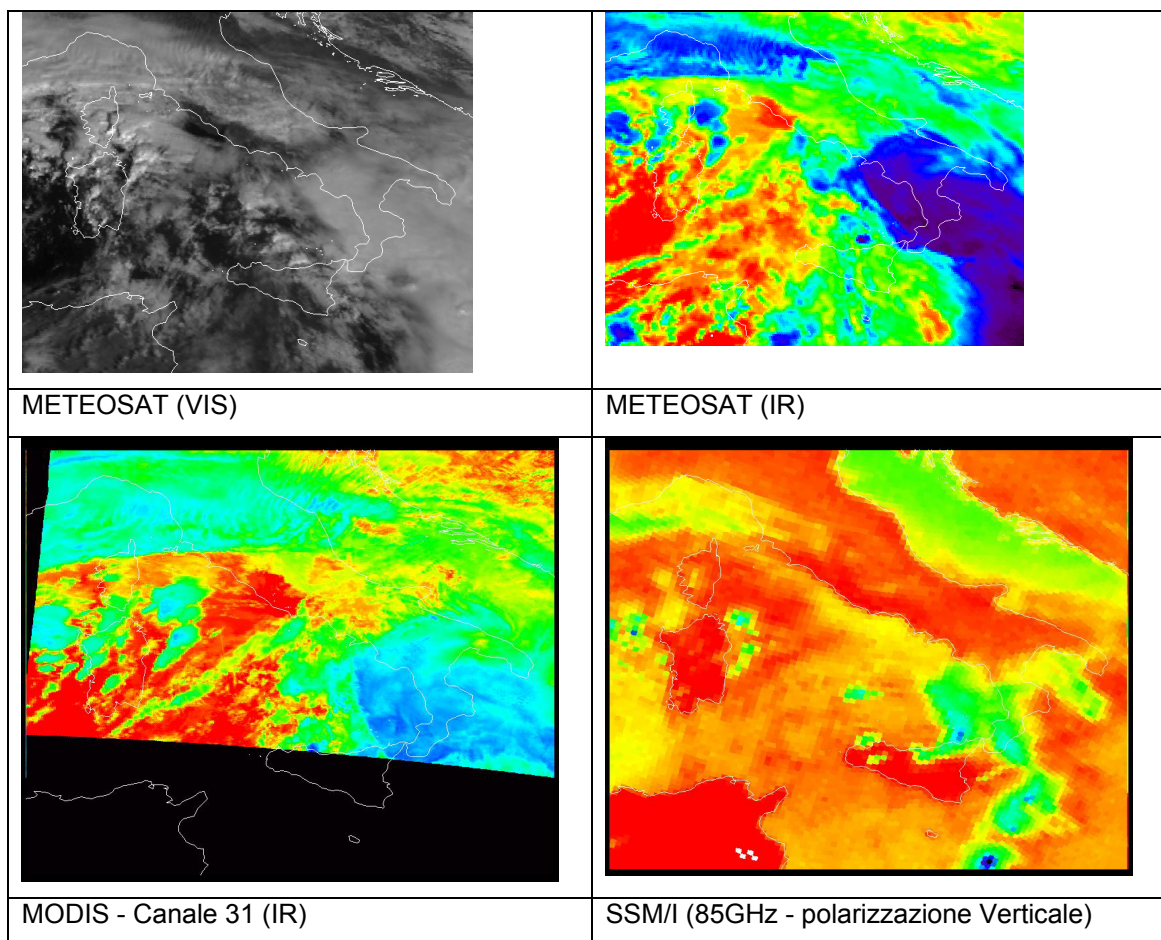


Figura 192 - Campione delle immagini utilizzate per lo sviluppo dell'algorithm di classificazione di nubi: immagini METEOSAT, MODIS e SSM/I del 18 Ottobre 2003

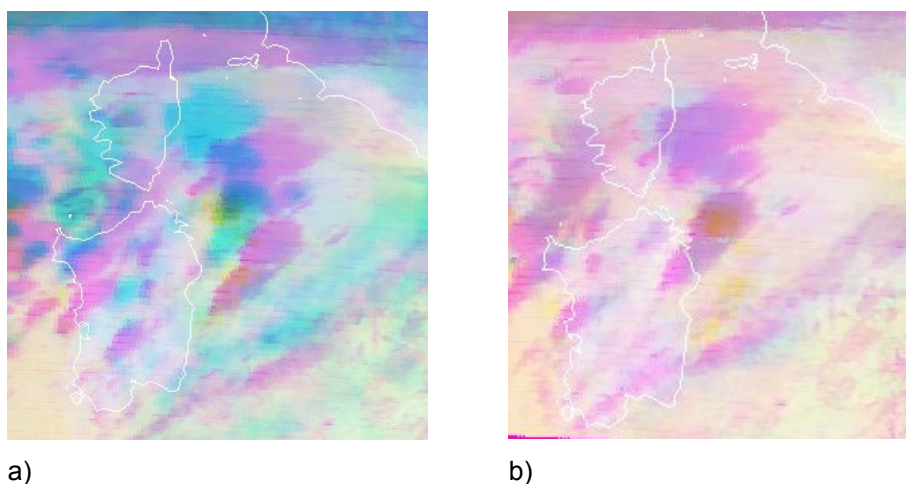


Figura 193 - Immagine in colori composti METEOSAT IR (rosso), MODIS IR (Banda 31, Verde) e SSM/I 85GHz Polarizzazione verticale (Blu): immagini originali (a) e immagini corrette temporalmente (b)

L'acquisizione delle immagini utilizzate parte dalle ore 08:51 (Slot 18 METEOSAT) ed arriva fino alle 09:35 (Immagine MODIS). Considerando le slot 18 e 19 di METEOSAT può essere identificata una regione di interesse e può essere calcolato, per i punti della griglia comune appartenenti a tal regione, il vettore velocità. In base a questo, le immagini possono essere riscalate e riportate tutte allo stesso istante. Si è deciso, per questo caso particolare, di ricondurre tutte le immagini alle ore 09:00, punto centrale dell'osservazione SSM/I. La velocità media calcolata per il sistema in analisi è risultata di 30 km/h. È stato quindi necessario ritardare la slot 18 del sensore METEOSAT di 9 minuti e anticipare l'immagine MODIS di 35 minuti. Questa operazione è stata applicata a tutte le immagini sia in fase di sviluppo/calibrazione che in fase di validazione.

3.4 Introduzione dei canali SSM/I e dei dati MODIS

L'inserimento dei dati SSM/I accanto ai dati METEOSAT per la discriminazione delle aree convettive ha portato alla generazione di una mappa ottenuta ponendo una soglia in temperatura. Un primo esempio di selezione in soglia SSM/I è rappresentato in Figura 194. La soglia è stata calibrata sul presente evento e sul secondo evento di sviluppo e calibrazione.

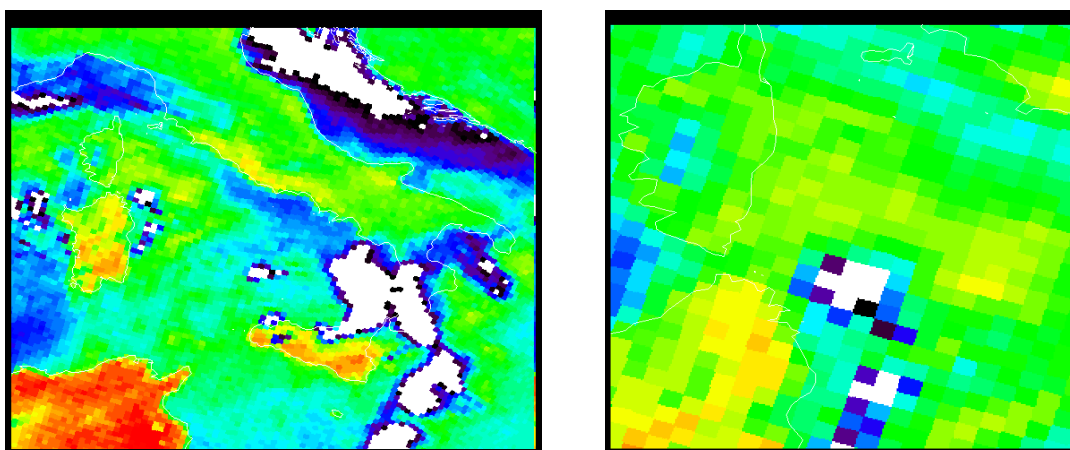


Figura 194 - Metodo di identificazione delle aree convettive basato su soglia di temperatura SSM/I: mappa completa (a) ed area di interesse (b)

Un ulteriore studio per identificare le classi MODIS più sensibili agli sviluppi convettivi identificati dai canali alle microonde è stato realizzato sull'area di interesse; una valutazione di deviazione sui canali normalizzati è stata estesa a tutte le 36 bande MODIS: i risultati sono presentati nella

Tabella 14 dove è evidente come le bande 3, 18 e 24 siano le più correlate alle immagini alle microonde.

Una valutazione dei profili di temperatura e radianza nell'area della nube ha portato a correlare la banda 24 in modo più diretto al canale alle microonde.

Banda MODIS	Coefficiente di Correlazione*
1	0,954112
2	0,455169
<u>3</u>	<u>0,241883</u>
4	0,469565
5	0,492936
6	0,763758
7	0,718236
8	0,623180
9	1,05420
10	1,53454
11	1,56668
12	1,57174
13	1,58105
14	1,59116
15	1,59055
16	1,58926
17	1,58132
<u>18</u>	<u>0,322677</u>
19	0,351756
20	1,32567
21	0,611946
22	0,372967
23	0,348772
<u>24</u>	<u>0,329423</u>
25	0,350249
26	0,384852
27	1,59327
28	0,442978
29	0,468172
30	0,567399
31	0,410455
32	0,562342
33	0,553773
34	0,515031
35	0,503775
36	0,506486

* Il coefficiente di correlazione è calcolato sull'area di interesse, su valori di radianza e EBBT normalizzati.

Tabella 14 - Coefficienti di correlazione fra bande MODIS e banda SSM/I 85 GHz polarizzazione verticale. La correlazione è migliore tanto più il coefficiente si avvicina a zero

3.5 Metodo di Classificazione delle Nubi

Data la grande disponibilità di dati multispettrali, il metodo prescelto è stato sviluppato sulla base del sensore con le più alte capacità spettrali, per poter poi essere ridotto sui sensori con un minor numero di bande. Il sensore con il più alto numero di bande è il sensore MODIS e il metodo più adatto a questo scopo è l'algoritmo di classificazione che genera come output la **MODIS Cloud Mask**. Questo metodo prevede l'identificazione di una serie di classi di nube basate sullo spessore ottico e fisico delle nubi stesse¹. Il metodo proposto è una versione modificata del sistema indicato: grazie alla disponibilità di dati SSM/I ed alle 36 bande MODIS l'identificazione di aree con convezione attiva è stata migliorata con l'utilizzo della banda 4,4 micron.

Tale sistema modificato prevede l'utilizzo di 5 gruppi di regole per la definizione di altrettanti gruppi di nube:

- Gruppo 1: metodo a soglie sui canali IR (nubi spesse e cirri);
- Gruppo 2: differenze di temperatura sui canali IR (nubi sottili);
- Gruppo 3: test sulla riflettività nei canali del visibile (nubi basse ed ombre);
- Gruppo 4: test sul canale Near Infrared (cirri alti);
- Gruppo 5: identificazione di cirri sottili dai canali IR (cirri sottili).

Ogni gruppo comprende una serie di regole spettrali legate al tipo di nube da osservare. Di seguito sono descritte le caratteristiche ed il significato fisico delle regole più importanti.

Gruppo 1: nubi spesse e cirri

Regola 1.1: BT₁₁ - Nubi spesse sopra l'oceano

Sono diverse le soglie di Brightness Temperature (BT) che possono essere utilizzate per l'identificazione e la caratterizzazione di nubi spesse. Questi sistemi, seppur funzionanti durante tutte le 24 ore, sono più efficaci la notte e sopra acqua. Generalmente un valore di BT₁₁ inferiore a 270 K identifica la presenza di nubi, ma un valore inferiore a 241 K permette di identificare le nubi spesse che sono potenzialmente intensamente precipitanti.

Regola 1.2: BT_{13,9} - Nubi Isolate sopra 500 hPa

Il canale 13.9 micron fa parte dei canali nelle bande di assorbimento della CO₂ ed è generalmente utilizzato con la Slicing Technique per il calcolo della pressione del top della nube. L'utilizzo della singola banda permette l'identificazione di nubi spesse sopra i 500 hPa, data la grande sensibilità del canale 13.9 alle aree più fredde a quote medio-alte. Una soglia posta a 221 K permette di identificare queste aree.

¹ Ackerman S., K. Strabala, P. Menzel, R. Frey, C. Moeller, L. Gumley, B. Baum, C. Schaaf, G. Riggs: "Discriminating Clear-Sky From Cloud With Modis Algorithm" Theoretical Basis Document (Mod35).

Regola 1.3: BT_{6,7} - Nubi Isolate sopra 500 hPa

Il canale 6,7 μm nella banda di assorbimento del vapore acqueo permette di isolare aree sopra i 500 hPa per le quali l'assorbimento è elevato a quote medio-alte. Una BT inferiore a 221 K per MODIS permette di isolare aree con sviluppo verticale oltre i 500 hPa, ma questa condizione ha una forte dipendenza dalla bontà della calibrazione del sensore.

Gruppo 2: nubi sottili

Regola 2.1 e 2.3: (BT₁₁ – BT₁₂), (BT_{8,6} – BT₁₁) - Cirri sottili tramite la TRI-BAND split window technique

Questa tecnica è anche chiamata **Split Window Technique**, e permette di utilizzare le bande di assorbimento nell'infrarosso fra 11 e 12 μm . La grande disponibilità di bande MODIS permette anche di utilizzare una terza banda (8,6 μm) per estendere l'applicabilità e l'efficacia della tecnica. Questa tecnica si basa sul diverso *rate* di assorbimento di ghiaccio ed acqua fra 8 e 12 μm : all'aumentare dell'umidità, (BT_{8,6} – BT₁₁) diminuisce, mentre (BT₁₁ – BT₁₂) aumenta. Questa tecnica non è stata applicata in questo caso in quanto è necessaria una stima dell'acqua precipitabile disponibile che, al momento, non è prevista come output.

Regola 2.3: (BT_{3,9} - BT₁₁) - Nubi Sottili

Differenze positive fra le BT del canale SWIR 3.9 μm e del canale TIR 11 μm possono essere utilizzate per identificare nubi parziali oppure nubi sottili nel campo di vista del sensore. Tali differenze debbono però essere differenziate fra terra e mare, e debbono essere ulteriormente filtrate da contaminazioni di suolo scoperto con alta temperatura di brillantezza. Le soglie utilizzate sono conformi alle soglie del metodo di base utilizzato.

Gruppo 3: nubi basse ed ombre

Questo gruppo di regole è legato all'utilizzo di canali nello spettro del visibile per l'identificazione di nubi basse ed il filtraggio di ombre di nube. Il metodo originale prevede tre regole base, delle quali due ancora in fase di sviluppo. Si è quindi deciso di utilizzare la prima regola ed implementarne altre due per completare la gamma di nubi detectabili.

Regola 3.1: $r_{0,87}/r_{0,66}$ e $r_{0,936}$ - Ombre di Nube

L'identificazione di ombre di nube è un problema che è stato poco discusso in letteratura. Aree di cielo sereno sono potenzialmente affette da ombre, legate sia alle condizioni dell'area osservata, sia alla geometria di scan del sensore. L'approccio proposto richiede più risorse di calcolo rispetto ad altre condizioni, ma permette di identificare le aree ombre nella scena registrata. Il metodo si basa sulle riflettività registrate dai canali 0,94 μm , 0,87 μm e 0,66 μm . Un'ombra è identificata quando $r_{0,936} < 0,12$ e $r_{0,87}/r_{0,66} > 0,9$.

Regola 3.1.1: $r_{0.66}$ - Nubi Brillanti

Questo test basato su analisi di banda singola è stato implementato per discriminare nubi brillanti sopra superfici scure (strati sopra oceani) e possibilmente sopra superfici più chiare (per esempio neve, aree polari, deserti molto brillanti). La banda $0,66 \mu\text{m}$ è usata sopra gli oceani ed il suolo non brillante, mentre la banda $0,88 \mu\text{m}$ è usata sopra i poli ed i deserti più brillanti. Per questo primo step è stata implementata solamente la banda $0,66 \mu\text{m}$.

Regola 3.1.2: $r_{0.87}/r_{0.66}$ - Nubi Generiche

L'identificazione di nubi generiche permette di identificare ogni tipologia di nube per generare un fondo per la cloud mask generale. Il test sfrutta il fatto che le riflettanze dei canali $0,66 \mu\text{m}$ e $0,87 \mu\text{m}$ sono molto simili sopra le nubi ma sono diverse sopra l'acqua e le regioni vegetate. Soglie a $0,95 \mu\text{m}$ e $1,05 \mu\text{m}$ sono state definite come bordo superiore ed inferiore dell'istogramma spettrale, modificando i valori originali per il sensore MODIS (0.9 ed 1.1 rispettivamente).

Gruppo 4: cirri alti

Regola 4.1 : $r_{1.38}$ - Cirri in alta troposfera

Questo è un nuovo approccio per l'identificazione di cirri ad alta quota durante il giorno basato sul lavoro descritto in [RD 2]. Questo metodo sfrutta il fatto il canale 26 ($1,38 \mu\text{m}$) copre una banda di assorbimento del vapore acqueo: un basso contenuto di acqua precipitabile (circa 0.4 cm) permette di scatterare tutta la radiazione proveniente dal basso, lasciando al sensore solo il segnale proveniente dagli strati più alti. Una semplice soglia (0,2) permette di identificare queste nubi.

Gruppo 5: cirri sottili

La configurazione completa delle condizioni del gruppo 5 comprende tre condizioni per la discriminazione di cirri sottili dai canali IR. Solo una di queste condizioni è stata implementata (Regola 5.3) in quanto le prime due regole sono ridondanti sulle condizioni già descritte.

Regola 5.3 : ($BT_{13.7} - BT_{13.9}$) - Cirri Sottili

La differenza fra i canali $13,7$ e $13,9$ micron permette di identificare cirri sottili su cielo scoperto, e quindi può essere utilizzata in aree non coperte da nubi spesse. Questa differenza è generalmente positiva, ma si avvicina a zero in presenza di nubi. La soglia identificata, a differenza di quella presente in letteratura, è di 2 gradi.

3.6 Generazione della Cloud Classification Map

Le regole sopra esposte sono state implementate e vengono applicate sulla base di un'analisi pixel per pixel. Il sistema sopra descritto può prevedere che lo stesso pixel appartenga a diverse classi di nube, e di conseguenza una policy per la generazione della mappa finale deve essere definita.

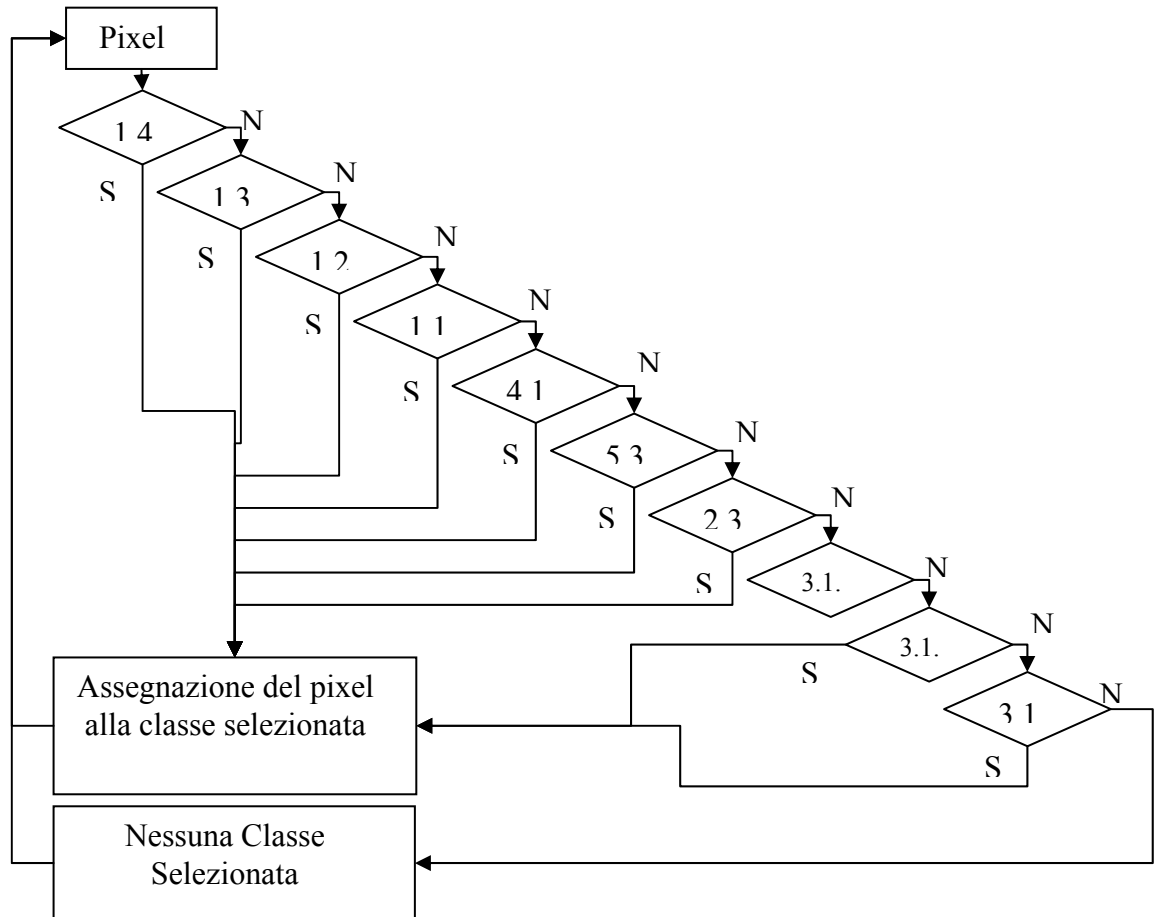


Figura 195 - Schema gerarchico di definizione della mappa di nube

Le regole spettrali sopra definite e codificate da 1.1 a 5.3 sono state ordinate gerarchicamente come descritto in Figura 195. Questo permette di generare mappe di classificazione di nube complete, in cui ogni pixel viene elaborato ed associato a seconda delle proprie caratteristiche.

In Tabella 15 è mostrata la serie completa delle classi di nube estratte, con il gruppo e la regola corrispondente.





Regola	Bande	Nube
Gruppo 1: Nubi Spesse e Cirri		
1.1	11 μm	Nubi spesse su mare
1.2	13,9 μm	Nubi spesse oltre 500 hPa
1.3	6,7 μm	Nubi isolate oltre 500 hPa
1.4	4,4 μm	Aree con convezione attiva (estratta dal paragone con le microonde)
Gruppo 2: Nubi Sottili		
2.3	11 – 3,9 μm	Nubi sottili
Gruppo 3: Nubi Basse e Ombre		
3.1	0,87/0,66 e 0,936 μm	Ombre
3.1.1	0,66 μm	Nubi Luminose
3.1.2	0,87/0,66 μm	Nubi generiche
Gruppo 4: Cirri alti		
4.1	1,38 μm	Cirri alti
Gruppo 5: Cirri Sottili		
5.3	13,7 – 13,9 μm	Cirri Sottili

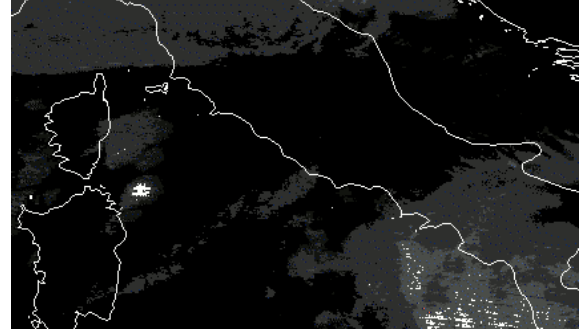
Tabella 15 - Le 10 classi di nube estratte dal metodo di classificazione applicato a dati multispettrali MODIS

3.7 Applicazione del metodo ai dati MODIS

Il metodo di classificazione delle nubi è stato implementato su dati MODIS per sfruttare appieno le potenzialità offerte dal nuovo sensore multispettrale. Di seguito è mostrata l'applicazione del metodo all'evento del 18 Ottobre 2003 verificatosi nella zona fra la Sardegna e la penisola italiana. Sono indicate le varie fasi di classificazione descrivendo, per ogni Gruppo, la mappa di copertura generata dal sistema ed infine generando la Cloud Classification Map finale. La mappa mostrata in Figura 196 una grande definizione di dettaglio, evidenziando sia le aree con convezione attiva (in accordo con i dati SSM/I) sia la grande variabilità di tutte le classi di cirri e nubi sottili (alte e basse) e le zone d'ombra.


Gruppo 1: Nubi Spesse e Cirri

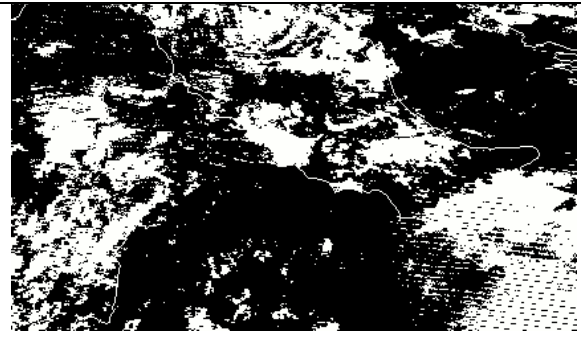
LUT	Regola	Nube
	1.1	Nubi spesse su mare
	1.2	Nubi spesse oltre 500 hPa
	1.3	Nubi isolate oltre 500 hPa
	1.4	Aree con convezione attiva (estratta dal paragone con le microonde)



Regole di classificazione e mappa generata per le regole appartenenti al Gruppo 1.




Gruppo 2: Nubi Sottili

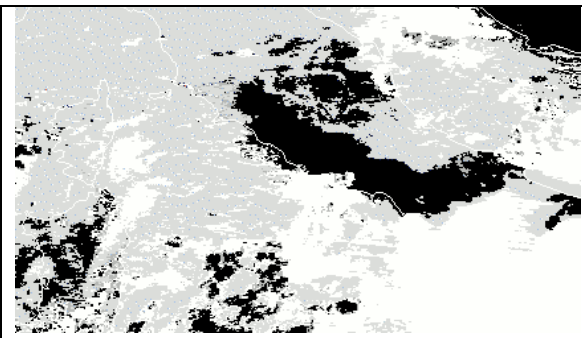
LUT	Regola	Nube
	2.3	Nubi sottili



Regole di classificazione e mappa generata per le regole appartenenti al Gruppo 2.

Gruppo 3: Nubi Basse e Ombre

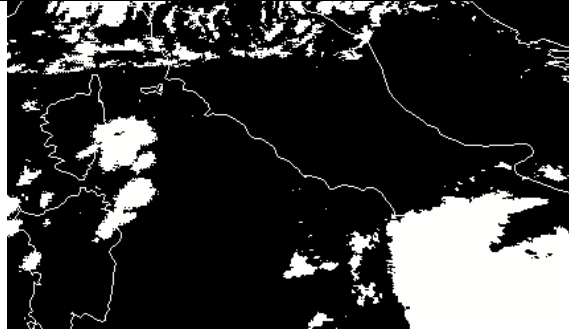
LUT	Regola	Nube
	3.1	Ombre
	3.1.1	Nubi Luminose
	3.1.2	Nubi generiche



Regole di classificazione e mappa generata per le regole appartenenti al Gruppo 3.

Gruppo 4: Cirri alti

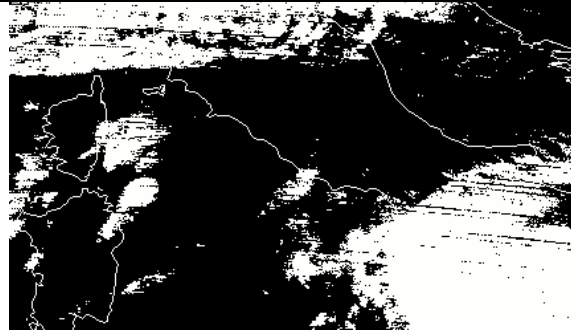
LUT			Regola	Nube
			4.1	Cirri alti



Regole di classificazione e mappa generata per le regole appartenenti al Gruppo 4.

Gruppo 5: Cirri Sottili

LUT			Regola	Nube
			5.3	Cirri Sottili



Regole di classificazione e mappa generata per le regole appartenenti al Gruppo 5.

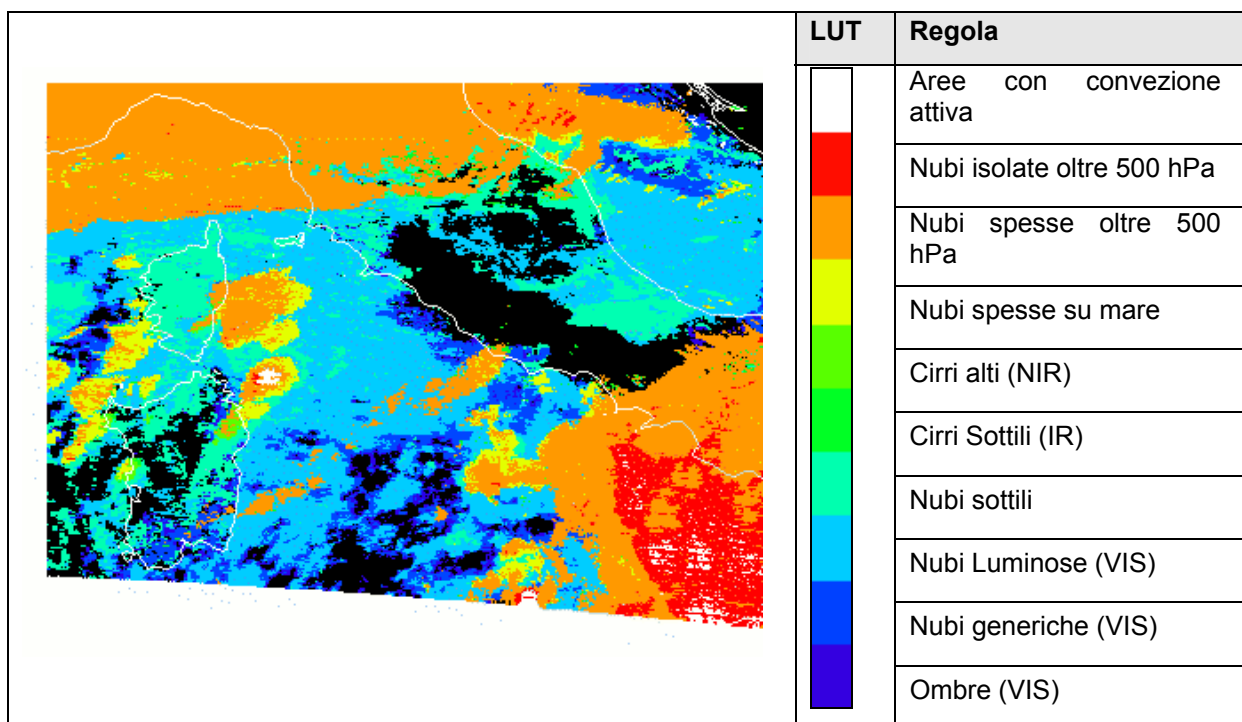


Figura 196 - Metodo di Classificazione completo e LUT associata

3.8 Applicazione del Metodo ai dati AVHRR e METEOSAT

Lo sviluppo del metodo di classificazione su MODIS ha portato all'utilizzo di 11 delle 36 bande disponibili per questo sensore. Tuttavia, per gli altri sensori utilizzati nel presente studio, il numero di bande disponibili per l'analisi delle nubi è nettamente minore: sono disponibili 6 bande (5 contemporaneamente) per il sensore AVHRR/3 e solo 3 bande per il sensore montato su METEOSAT. Questo causa inevitabilmente una riduzione del numero di classi di nube che possono essere identificate, con l'accorpamento di alcune classi come descritto in seguito. In Figura 197 è mostrato graficamente come le regole e quindi i gruppi si modifichino a seconda del sensore satellitare scelto, e quindi come questo abbia poi un successivo effetto sulle performances del metodo.

MODIS	
Gruppo 1	
1.1	11
1.2	13,9
1.3	6.7
1.4	4,4
Gruppo 2	
2.3	11 – 3.9
Gruppo 3	
3.1	0.87/0.66 e 0.936
3.1.1	0.66
3.1.2	0.87/0.66
Gruppo 4	
4.1	1.38
Gruppo 5	
5.3	13.7-13.9

AVHRR	
Gruppo 1	
1.1	11
Gruppo 2	
2.3	11 - 3.7 (11 – 3.9)
Gruppo 3	
3.1.1	0.66
3.1.2	0.87/0.66
Gruppo 4	
4.1	1.61 (1.38)

METEOSAT	
Gruppo 1	
1.1	11
1.3	6,7
Gruppo 3	
3.1.1	0.66

MSG/SEVIRI	
Gruppo 1	
1.1	11
1.2	13.4 (13,9)
1.3	6,7
Gruppo 2	
2.3	11 – 3.9
Gruppo 3	
3.1.1	0.66
3.1.2	0.87/0.66
Gruppo 4	
4.1	1.65 (1.38)
Gruppo 5	
5.3	12-13.4 (13.7-13.9)

Figura 197 - Come il sistema di classificazione sviluppato su MODIS può essere migrato su altri sensori satellitari: AVHRR/3, METEOSAT e MSG, in giallo sono evidenziate le regole che non hanno corrispondenza diretta fra le frequenze MODIS e le frequenze del nuovo sensore

Un'ultima considerazione può essere fatta riguardo il canale 4,4 micron del sensore MODIS (in rosso in Figura 198): nessuno dei sensori alternativi considerati permette l'utilizzo di questa banda che si è rivelata molto utile nell'identificazione di aree convettive attive; questo causa una perdita di informazioni relativamente alle aree potenzialmente più precipitanti che può essere colmata solo con l'uso combinato delle bande fra 6,7 e 13,9 μm .

Come detto, la traslazione del metodo originale sul sensore AVHRR/3 genera le seguenti considerazioni:

- riduzione delle classi di nube da 10 a 5 potenziali;
- le regole 2.3 e 4.1 sono alternative, dato che i canali 1,61 μm e 3,7 μm non possono funzionare allo stesso tempo;
- la discriminazione delle aree convettive e comunque delle nubi spesse (Gruppo 1) è limitata ad una classe data la mancanza delle bande 13,9, 6,7 e 4.4 micron;
- la definizione delle aree di nubi sottili risulta piuttosto dettagliata, ma non è molto utile allo scopo finale della Cloud Classification, dato che questo tipo di nubi è generalmente non precipitante.

Da un'analisi delle immagini NOAA risulta evidente lo sfasamento temporale legato all'istante di acquisizione delle immagini AVHRR/3: mentre le immagini MODIS e le immagini METEOSAT risultano molto simili in quanto acquisite a pochi minuti di distanza, l'immagine AVHRR/3 (Figura 198) mostra un sistema già evoluto nel tempo.

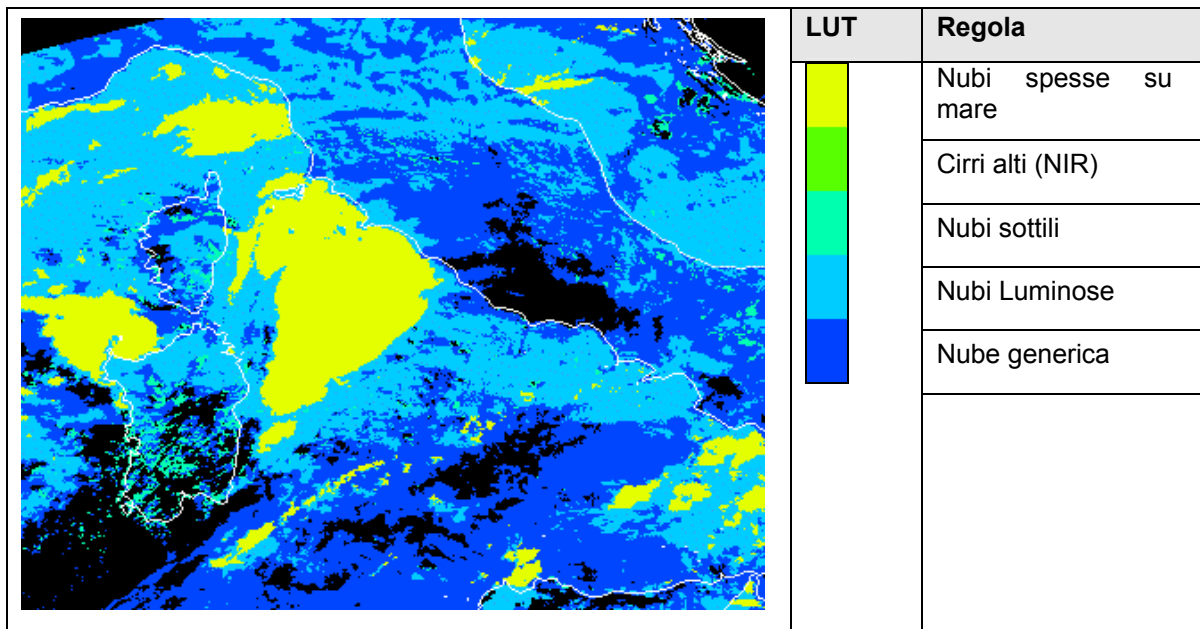


Figura 198 - Metodo di Classificazione adattato ad AVHRR/3 e LUT associata

L'applicazione del metodo ridotto alle immagini METEOSAT (Figura 199) genera una notevole riduzione delle classi di nube inizialmente definite: vengono identificate solamente tre delle 10 classi di nube iniziali: la definizione sulle nubi spesse è comunque buona (due classi su tre) ed è in linea con lo scopo finale di utilizzare il metodo di classificazione di nube anche per la stima di precipitazione. Da notare che queste due classi (nubi spesse su mare e nubi isolate sopra i 500 hPa) sono basate su canali IR, e quindi non dipendono dall'illuminazione solare e possono essere utilizzate durante tutte le 24 ore. Il maggior problema di queste classi è legato alla calibrazione non affidabile del canale 6,7 μm di METEOSAT.

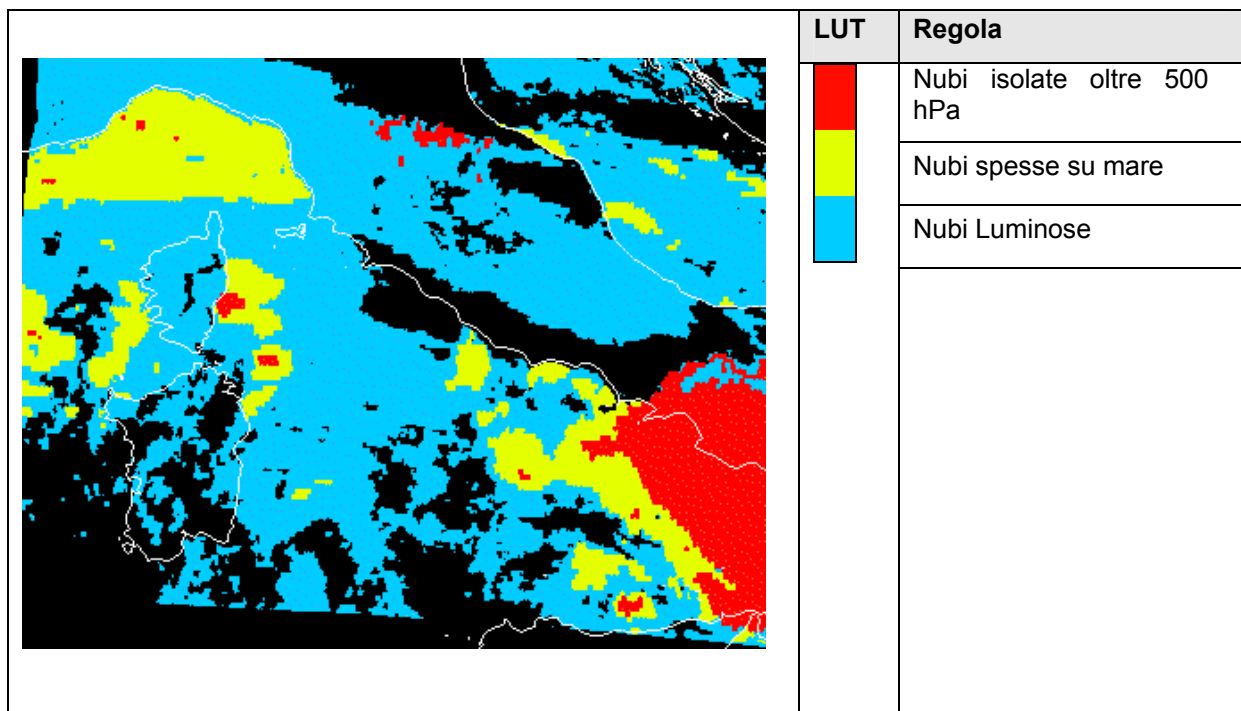


Figura 199 - Metodo di Classificazione adattato a METEOSAT e LUT associata

3.9 Metodo di Stima di Precipitazione

La stima di precipitazione basata sulla Classificazione di Nube fa uso delle diverse classi di nube generate utilizzando i dati dai sensori MODIS, METEOSAT ed AVHRR. La mappa di precipitazione generata con questo approccio risulta più accurata nel caso di utilizzo di dati MODIS, grazie alla miglior definizione delle classi di nube.

Nel caso di immagini METEOSAT il metodo genera mappe di precipitazione con tre diverse classi di precipitazione: alta, media e bassa, i cui valori sono riportati in Tabella 16.

Nella Tabella 17 sono riportate le cinque classi di nube generate dal metodo ridotto al sensore NOAA/AVHRR, alle quali possono essere associati solo due livelli di precipitazione: debole e media.

Nella Tabella 18 sono descritte le 10 classi di nube generate utilizzando il sensore MODIS, alle quali sono state associate i tre livelli di precipitazione: debole, media ed intensa. In questo modo può essere generata una mappa di stima di precipitazione istantanea legata alla mappa di nubi classificate in uscita dal metodo, che può essere applicata a tutte le immagini di un evento, ed il risultato può essere paragonato alle misure realizzate al suolo dai sistemi pluviometrici installati.

Regola	Nube	Potenziale Precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	20 mm/h
1.3	Nubi isolate oltre 500 hPa	Alta – precipitazione intensa	10 mm/h
3.1.1	Nubi Luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h

Tabella 16 - Classi di nube generate dal metodo ridotto alle bande METEOSAT e valutazione della precipitazione associata nel metodo di stima di precipitazione

Regola	Nube	Potenziale Precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	10 mm/h
2.3	Nubi sottili	Nessuna	-
3.1.1	Nubi Luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h
3.1.2	Nube generica	Media – precipitazione bassa	2 mm/h
4.1	Cirri alti	Media – Precipitazione Media	10 mm/h

Tabella 17 - Classi di nube generate dal metodo ridotto alle bande AVHRR e valutazione della precipitazione associata nel metodo di stima di precipitazione

Regola	Nube	Potenziale Precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	10 mm/h
1.2	Nubi spesse oltre 500 hPa	Alta – precipitazione media	10 mm/h
1.3	Nubi isolate oltre 500 hPa	Alta – precipitazione intensa	20 mm/h
1.4	Aree con convezione attiva (estratta dal paragone con le microonde)	Alta – precipitazione intensa	20 mm/h
2.3	Nubi sottili	Nessuna	-
3.1	Ombre	Nessuna	-
3.1.1	Nubi luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h
3.1.2	Nube generica	Media – precipitazione bassa	2 mm/h
4.1	Cirri alti	Media – Precipitazione Media	10 mm/h
5.3	Cirri sottili	Nessuna	-

Tabella 18 - Classi di nube generate per il sensore MODIS e valori di precipitazione associati

3.10 Stima di precipitazione con il metodo CTS

Successivamente si è utilizzata la tecnica CST (Convective-Stratiform Technique). A differenza dell'approccio basato sulla classificazione di nube, l'utilizzo della tecnica CST consente di eseguire stime di precipitazione da satellite anche durante la notte, e quindi un monitoraggio continuo dell'evento precipitante. Il metodo di stima di precipitazione basato sulla CST mostra alcuni problemi relativi al tempo di calcolo in particolari condizioni: infatti, in ben tre eventi i tempi di calcolo sono superiori all'ora, con il caso limite di 10 ore per l'evento del 5 Ottobre 2003.

Il metodo CST classico, ovvero basato sull'esclusivo utilizzo del canale IR di METEOSAT, è stato applicato agli eventi dell'intero Dataset RIADE per valutare l'efficacia e le performance del nuovo metodo. Le soglie di precipitazione e le variazioni legate alla slope per le aree convettive e stratificate sono state fissate sugli eventi di calibrazione e validati sugli eventi di validazione.

Di seguito sono riportati in grafico i dati di stima da satellite e di misura al suolo per gli eventi di TEST-VALIDAZIONE.

5 Ottobre 2003

Il metodo sviluppato mostra una buona efficacia nell'identificazione di aree *rain / no rain*. Meno buona risulta invece la corrispondenza tra i valori di precipitazione misurati a terra e quelli stimati da satellite, inevitabile per valori di precipitazione a terra inferiori al valore di 2 mm/h assegnato alle classi di nube stratiformi. Rimane comunque corretta e coerente la tipologia di precipitazione stimata da piattaforma satellitare per l'evento in esame.

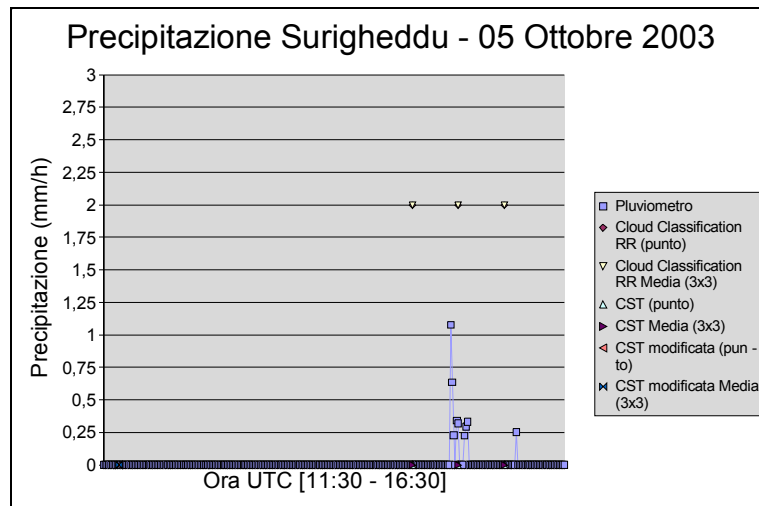


Figura 200 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Surigheddu (SS), 05 Ottobre 2003

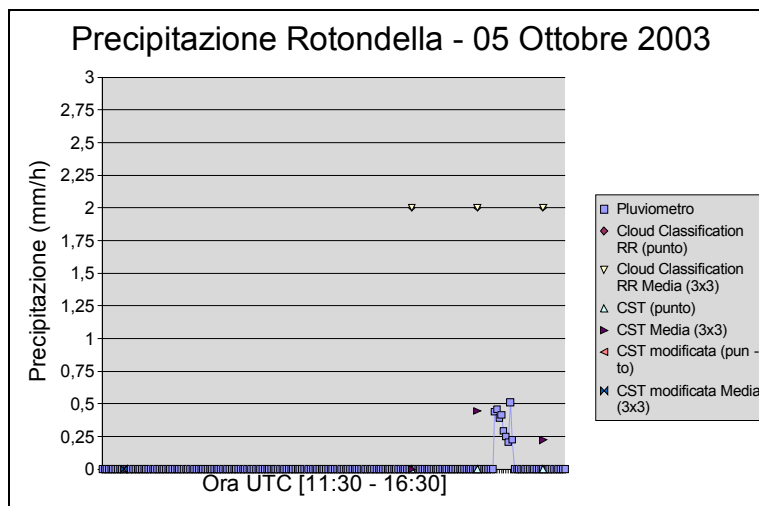


Figura 201 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Rotondella (MT), 05 Ottobre 2003

8 Ottobre 2003

I dati da pluviometro installato presso la stazione di Surigheddu non rilevano precipitazione nell'arco della giornata del 08 Ottobre 2003: solo il metodo basato sulla classificazione di nube rileva in due istanti una precipitazione stratiforme. Per la stazione di Rotondella, si vede ancora una volta l'efficacia dei metodi di stima di precipitazione nel discriminare aree *rain / no rain*. Trattandosi di precipitazione stratiforme (come evidenziato dai valori rilevati dal pluviometro), i metodi rilevano correttamente una precipitazione puntuale di 2 mm/h, che in alcuni casi si abbassa per effetto della media sull'intorno 3 x 3, avvicinandosi ulteriormente al valore misurato a terra. L'immagine MODIS a disposizione non è sincronizzata con l'evento precipitante: i risultati del metodo basato sulla CST coerentemente non rilevano piovosità nelle due stazioni a terra.

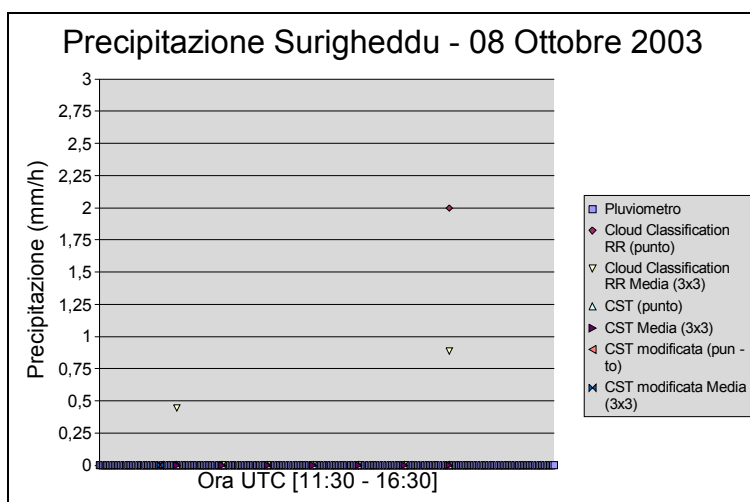


Figura 202 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Surigheddu (SS), 08 Ottobre 2003

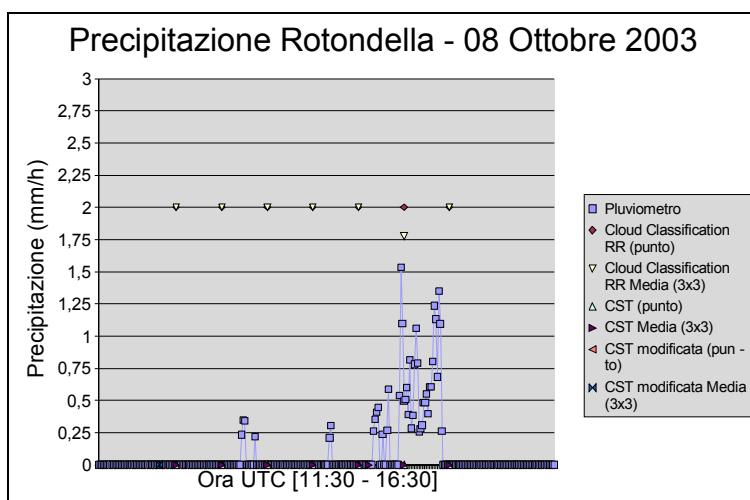


Figura 203 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Rotondella (MT), 08 Ottobre 2003

15 Ottobre 2003

L'evento precipitante stratificato si sviluppa in un tempo inferiore ai 20 minuti, con nessuna coincidenza tra immagini satellitari e misurazioni in situ. Dalla Figura 204 si vede come il metodo basato sulla classificazione di nube sia l'unico a produrre valori di precipitazione; tuttavia il metodo mostra limiti nella stima temporale dell'evento, determinando una durata di circa 3 ore, dovuti alla mancanza di criteri sull'effettiva precipitabilità delle classi di nube identificate. A differenza degli eventi precedentemente indagati, per la stazione di Rotondella la giornata del 15 Ottobre 2003 risulta più interessante, essendo caratterizzata da precipitazione di tipo convettivo. Mentre il metodo basato sulla classificazione di nube non riconosce il carattere convettivo dell'evento, il metodo basato sulla CST riproduce correttamente il carattere convettivo.

Nel caso di CST applicata a dati METEOSAT viene riconosciuto anche il secondo istante precipitante dell'evento, anche se in disaccordo con quanto rilevato a terra vengono attribuiti valori di precipitazione medio/alti. Non è stato possibile valutare la capacità degli altri metodi nel rilevare il secondo istante precipitante in quanto non erano disponibili il canale visibile, per quanto riguarda METEOSAT, e i dati completi per quanto riguarda AVHRR e MODIS.

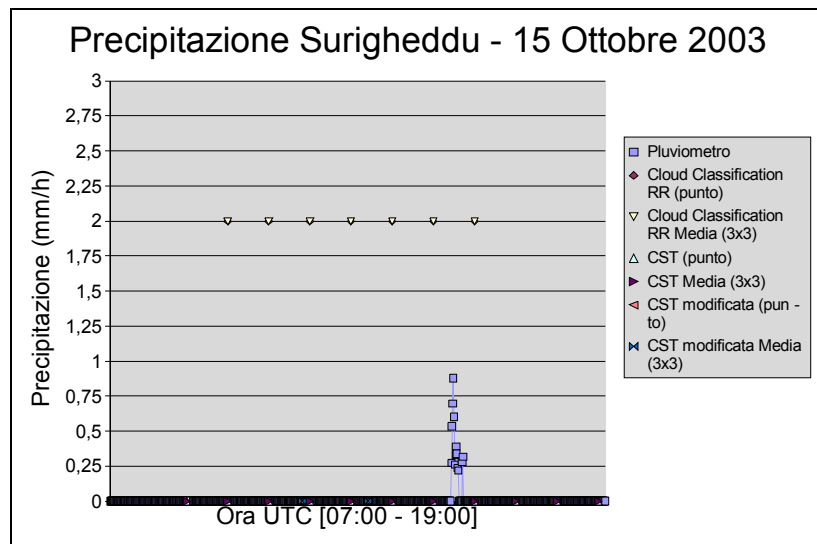


Figura 204 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Surigheddu (SS), 15 Ottobre 2003

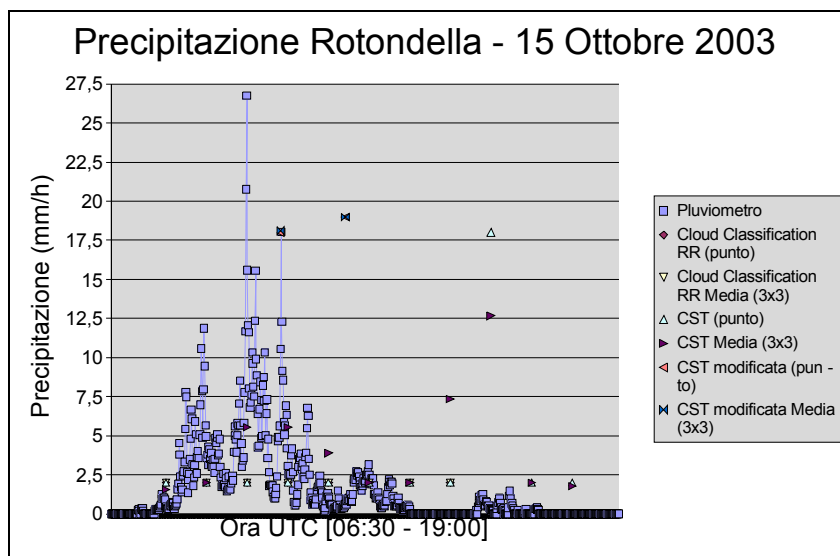


Figura 205 - Andamento temporale della piovosità per la stazione di Rotondella (MT), 15 Ottobre 2003

3.11 Calibrazione degli algoritmi di classificazione di nube e stima di precipitazione

I metodi di Classificazione di Nube e di Stima di Precipitazione calibrati sull'evento del 18 Ottobre 2003 sono stati oggetto di ulteriore calibrazione: coerentemente alla pianificazione delle attività sono state effettuate le attività di calibrazione relativamente all'evento del 15 Ottobre 2003, come riportato in Tabella 19.

Data	Sviluppo/Calibrazione(SC) Validazione (V)	Range orario (UTC)	Sensori Utilizzati
18 Ott. 2003	SC	08:51 – 09:35	METEOSAT MODIS
15 Ott. 2003	SC	16:21 – 16:37	METEOSAT
15 Ott. 2003	SC	09:16 – 10:45	METEOSAT AVHRR MODIS

Tabella 19 - Riassunto dei dati utilizzati per le operazioni di Sviluppo/Calibrazione degli algoritmi

Calibrazione: metodo di classificazione di nube

In seguito alla calibrazione sulla giornata del 15 Ottobre 2003, il metodo di *Classificazione di Nube* non ha subito modifiche. Le classi di nube per ogni singolo sensore ed i criteri per la loro identificazione rimangono verificati; si riportano in Tabella 20, Tabella 21 e Tabella 22 le classi di nube ed i relativi criteri di identificazione per ciascun sensore.

Regola	Classe di nube	Canale criterio soglia	Superficie (L=land, O=ocean)
1.1	Nubi spesse sopra l'oceano	ch31 < 241	L / O
1.2	Nubi isolate sopra 500 hPa	ch36 < 221	L / O
1.4	Aree convettive	ch24 < 231	L / O
2.3	Nubi sottili	ch31-ch22 >= -12	L
		ch31-ch22 >= -8	O
3.1.1	Nubi brillanti	ch1 > 0.35	L
		ch1 > 0.21	O
3.1.2	Nubi generiche	ch1 >0 & 0.95 < ch2/ch1 < 1.05	L / O
4.1	Cirri in alta troposfera	ch26 >= 0.9	L / O
5.3	Cirri sottili	ch34 – ch35 < 2	L / O

Tabella 20 - Criteri di classificazione di nube per sensore MODIS

Regola	Classe di nube	Canale criterio soglia	Superficie (L=land, O=ocean)
1.1	Nubi spesse sopra l'oceano	Ch24 < 231	O
2.3	Nubi sottili	ch4-ch3 >= -15	L
		ch4-ch3 >= -12	O
3.1.1	Nubi brillanti	ch1 > 16	L
		ch1 > 10	O
3.1.2	Nubi generiche	ch1 >0 & 1.5 < ch2/ch1 < 2	L / O

Tabella 21 - Criteri di classificazione di nube per sensore AVHRR

Regola	Classe di nube	Canale criterio soglia	Superficie (L=land, O=ocean)
1.1	Nubi spesse sopra l'oceano	IR < 241	O
1.3	Nubi isolate sopra 500 hPa	VW < 265	L / O
3.1.1	Nubi brillanti	VIS > 0.48	L
		VIS > 0.28	O

Tabella 22 - Criteri di classificazione di nube per sensore METEOSAT

Calibrazione dei metodi di stima di precipitazione

L'efficacia del metodo di *Stima di Precipitazione* nell'approccio basato sul metodo di Classificazione di Nube dipende strettamente dalla capacità del metodo di classificazione nel riconoscere le varie classi di nubi precipitanti. Per le classi di nube in uscita dal metodo sono quindi state fissate tre soglie di precipitazione in modo da massimizzare la correlazione tra misure da pluviometro al suolo e stime da satellite.

In Tabella 23, Tabella 24 e Tabella 25 si riportano le classi di precipitazione identificate ed i relativi tassi di piovosità associati per ciascun sensore.

Regola	Nube	Potenziale precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	20 mm/h
1.3	Nubi isolate oltre 500 hPa	Alta – precipitazione intensa	10 mm/h
3.1.1	Nubi luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h

Tabella 23 - Classi di nube generate dal metodo ridotto alle bande METEOSAT e valutazione della precipitazione associata nel metodo di stima di precipitazione

Regola	Nube	Potenziale precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	10 mm/h
2.3	Nubi sottili	Nessuna	-
3.1.1	Nubi luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h
3.1.2	Nube generica	Media – precipitazione bassa	2 mm/h
4.1	Cirri alti	Media – Precipitazione Media	10 mm/h

Tabella 24 - Classi di nube generate dal metodo ridotto alle bande AVHRR e valutazione della precipitazione associata nel metodo di stima di precipitazione

Regola	Nube	Potenziale precipitabilità	Precipitazione associata
1.1	Nubi spesse su mare	Alta – precipitazione media	10 mm/h
1.2	Nubi spesse oltre 500 hPa	Alta – precipitazione media	10 mm/h
1.3	Nubi isolate oltre 500 hPa	Alta – precipitazione intensa	20 mm/h
1.4	Aree con convezione attiva (estratta dal paragone con le microonde)	Alta – precipitazione intensa	20 mm/h
2.3	Nubi sottili	Nessuna	-
3.1	Ombre	Nessuna	-
3.1.1	Nubi Luminose	Bassa – precipitazione bassa	2 mm/h
3.1.2	Nube generica	Media – precipitazione bassa	2 mm/h
4.1	Cirri alti	Media – Precipitazione Media	10 mm/h
5.3	Cirri sottili	Nessuna	-

Tabella 25 - Classi di nube generate per il sensore MODIS e valori di precipitazione associati

Le operazioni di calibrazione del metodo di *Stima di Precipitazione* nell'approccio basato sulla tecnica CST hanno evidenziato una buona capacità di identificazione delle aree convettive, da cui una maggior precisione nella stima di precipitazione intensa. Il metodo è stato sviluppato per poter essere applicato a dati multispettrali MODIS, da cui le soglie riportate in Tabella 26 per i singoli canali richiesti in input dal metodo.

La diversa risoluzione a terra (1 km x 1 km di MODIS, contro 5 km x 7 km di METEOSAT), ha reso necessario calibrare le procedure per l'identificazione delle aree convettive attive all'interno delle nubi: a differenza della versione originale in cui il numero massimo di pixel precipitanti per la singola cella convettiva è pari a 30, nel caso di dati MODIS questo parametro è stato fissato a 100.

È stata applicata anche una versione originale del metodo CST ai dati METEOSAT per valutare le performance della nuova versione. Nella Tabella 27 si portano le soglie del metodo CST originale.

Canale	Lunghezza d'onda [µm]	Soglia
31	11	235
24	4.43	218

Tabella 26 - Soglie in temperature per metodo di stima di precipitazione applicato a dati MODIS

Canale	Lunghezza d'onda [μm]	Soglia
IR	11,5	235
IR	11,5	223

Tabella 27 - Soglie in temperature per metodo di stima di precipitazione applicato a dati METEOSAT

Calibrazione dell'evento del 15 Ottobre 2003

Il metodo di Stima di Precipitazione sviluppato ed implementato è stato ulteriormente calibrato sull'evento del 15 Ottobre 2003. Nella Figura 206 è mostrato l'andamento temporale dell'evento in esame per le misure di precipitazione a terra e le stime da satellite con i diversi metodi proposti. La precipitazione cumulata nel periodo di calibrazione 09:45 – 11:15 è pari a 9.11mm, con una media oraria di 2, mm/h.

Il metodo basato su classificazione di nube mostra i limiti maggiori nell'identificazione del carattere convettivo dell'evento, ma con un errore sulla precipitazione cumulata durante l'evento dell'ordine del 30%. Il metodo basato sulla CST applicata a dati MODIS è stato invece calibrato per ottimizzare la stima delle celle convettive: nella Figura risalta il matching ottenuto tra stima da satellite (18mm/h e 18,111mm/h di media sull'intorno 3x3) e le misure effettuate dal pluviometro installato a terra (5,65mm/h, 10,5mm/h, 18,0mm/h e 12,3mm/h, i quattro istanti più vicini al tempo di acquisizione dell'immagine satellitare). Anche quando applicato nella sua versione originale, il metodo CST è in grado di riconoscere il carattere convettivo dell'evento (vedi Figura 206: punti calcolati sull'intorno 3x3), ma con una precisione nella stima istantanea peggiore rispetto alla versione CST modificata.

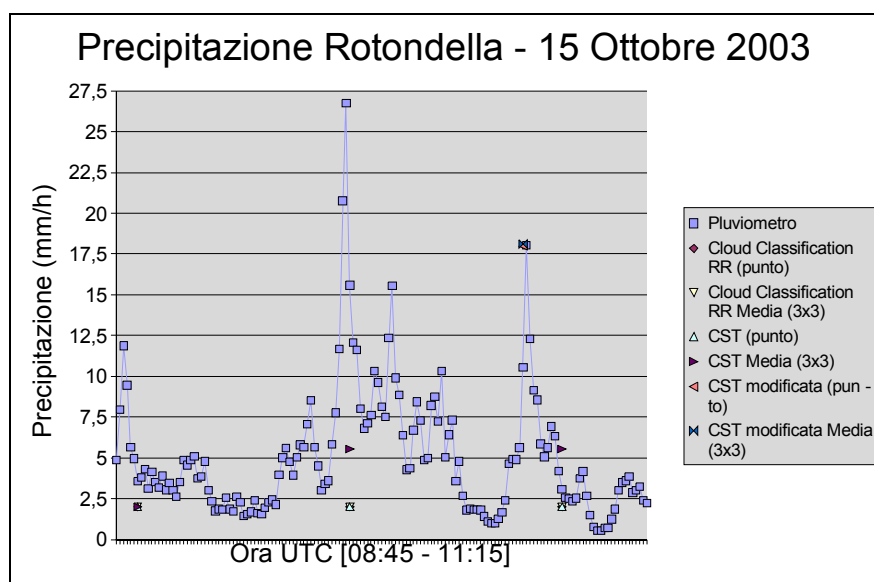


Figura 206 - Evento di calibrazione del 15 Ottobre 2003, Rotondella (MT)

3.12 Il Programma CRES

È stato realizzato il programma CRES per la classificazione delle nubi e la stima delle precipitazioni (Figura 207).

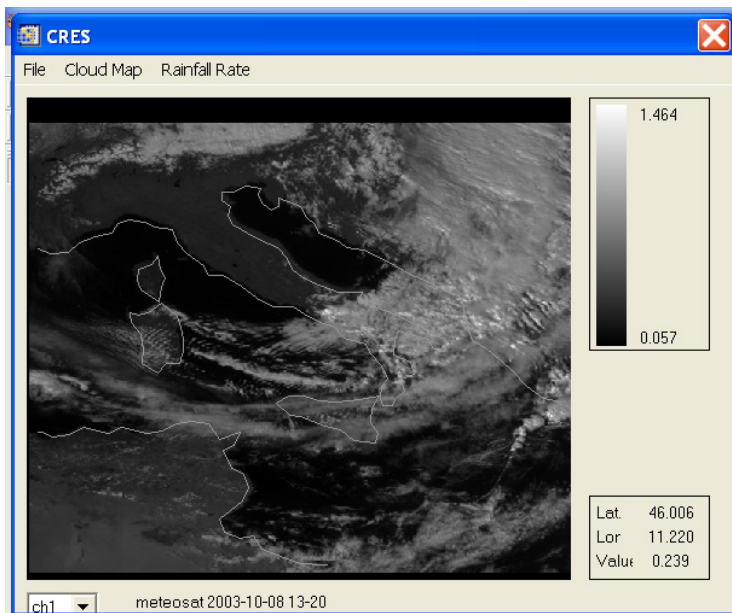


Figura 207 - ProgrammaCRES

Il Menù del Programma comprende tre differenti finestre di attività che sono elencate nella Tabella 28.

MENÙ "FILE"
– APERTURA DELLE IMMAGINI ORIGINALI
– ARCHIVIAZIONE IMMAGINI
– USCITA
MENÙ "CLOUD MAP"
MENÙ "RAINFALL RATE"
– CLOUD MAP BASED
– CST CLASSICA
– CST MODIFICATA

Tabella 28 - Menu del ProgrammaCRES

La Figura 208 riporta un esempio di classificazione di nube da immagine METEOSAT, mentre la Figura 209 e la Figura 210 riportano rispettivamente la stima di precipitazione per la stessa immagine con il metodo di classificazione di nube e la stima di precipitazione, per una differente immagine MODIS con il metodo CTS modificato. Risulta chiaramente visibile la differenza di stime fra le ultime due immagini in quanto una migliore classificazione di nube (MODIS) comporta una migliore valutazione dell'acqua precipitabile.

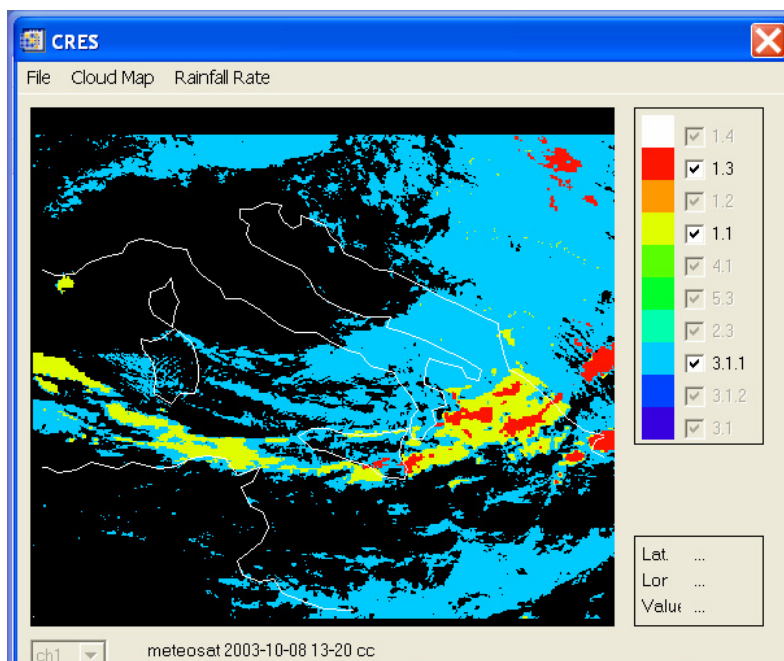


Figura 208 - Esempio di classificazione di nube da immagine METEOSAT

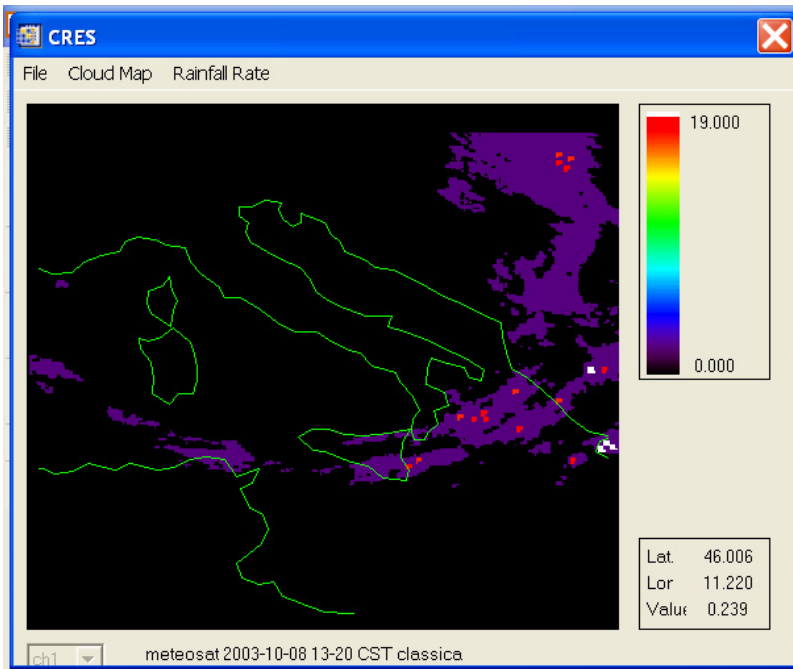


Figura 209 - Esempio stima di precipitazione da immagine METEOSAT

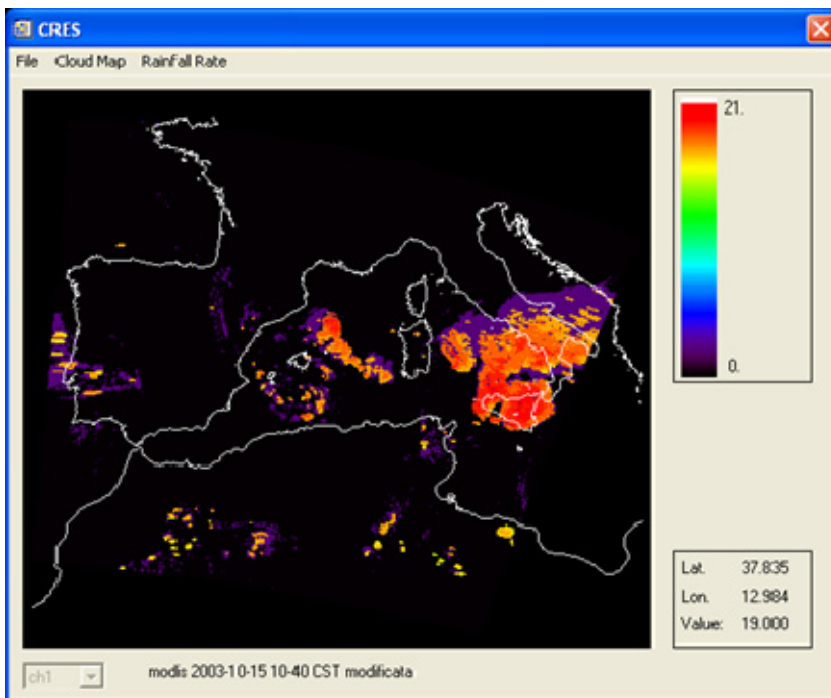


Figura 210 - Esempio stima di precipitazione da immagine MODIS con il metodo CTS

4 DSD E RILASCIO ENERGETICO DA EVENTI PRECIPITANTI

Il presente lavoro ha lo scopo principale di:

- raccolta dati satellitari inerenti il progetto RIADE (5 eventi);
- estrazione di un indice di rilascio energetico al suolo in funzione dell'intensità di precipitazione;
- elaborazione dei dati da satellite raccolti per la stima di precipitazione al suolo;
- applicazione dell'indice calcolato ed estrazione di mappe di rilascio energetico al suolo sui 5 eventi raccolti.

La stima dell'indice di rilascio energetico verrà eseguita sugli eventi selezionati all'interno del progetto RIADE, Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione.

4.1 Stima di Rilascio Energetico al Suolo da Eventi Precipitanti

Il metodo di *Stima di rilascio energetico* oggetto del presente studio, consente di valutare da piattaforma satellitare il rilascio energetico associato ad un evento precipitante. Il metodo è stato sviluppato ed applicato sugli eventi del Dataset RIADE.

Il rilascio di energia al suolo da precipitazione dipende dalle caratteristiche dell'evento in termini di distribuzione dimensionale (DSD) e dalla velocità terminale delle idrometeore. Il calcolo di parametri di rilascio energetico al suolo richiede:

- calcolo della mappa di precipitazione al suolo;
- calcolo della distribuzione dimensionale associata all'evento osservato;
- calcolo delle velocità terminali delle gocce;
- calcolo del rilascio energetico al suolo associato alla distribuzione calcolata.

Esistono in letteratura parametrizzazioni dello scambio energetico in funzione della sola intensità dell'evento precipitante; in , ad esempio, lo scambio energetico in unità di $[MJ/ha]$ è espresso come

$$[4-1] \quad E = \sum_{k=1}^m e_k \Delta V_k$$

dove e_k $[MJ/(ha \cdot mm)]$ e ΔV_k $[mm]$ sono rispettivamente lo scambio energetico unitario e la quantità di precipitazione caduta durante l'intervallo k -esimo.

Lo scambio energetico unitario è correlato all'intensità di precipitazione i [mm/h] da una relazione di tipo esponenziale

$$[4-2] \quad e = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.082i)].$$

Dalle [4-1] e [4-2], lo scambio energetico totale risulta maggiore al crescere sia della durata dell'evento sia al crescere dell'intensità di precipitazione.

Parametrizzazioni del tipo di equazione [4-2] mostrano una correlazione diretta tra intensità dell'evento precipitante e rilascio energetico, senza mettere in evidenza dipendenze da parametri caratteristici della precipitazione come ad esempio la distribuzione dimensionale. Nel presente studio viene quindi presentata l'analisi del rilascio energetico come scambio di energia cinetica della distribuzione dimensionale (DSD) della precipitazione con il suolo, avendo la possibilità strumentale di valutare la DSD di alcuni eventi precipitanti grazie alla presenza di pluviometri-disdrometri in campo.

4.1.1 Mappa di Precipitazione al Suolo

Il calcolo della mappa di precipitazione al suolo è stato effettuato utilizzando il metodo basato sulla tecnica CST (Convective-Stratiforme Technique) applicato a dati satellitari multispettrali MODIS, AVHRR e METEOSAT. Il metodo CST è stato implementato nel corso delle attività del progetto RIADE nella sua versione originale (che prevede l'utilizzo del solo canale IR per la discriminazione delle aree stratiformi e convettive all'interno della scena osservata), e in una versione modificata in grado di estrarre da dati multispettrali MODIS informazioni dettagliate sulle zone convettive attive. Ogni mappa di precipitazione può quindi essere analizzata per stimare da satellite il rilascio di energia al suolo da precipitazione. I risultati riportati nel presente documento si riferiscono all'analisi di mappe di stima di precipitazione da sensore METEOSAT.

4.1.2 Distribuzione Dimensionale della Precipitazione

Ad ogni evento è associata la distribuzione dimensionale di Marshall&Palmer [2] caratteristica della precipitazione misurata al suolo:

$$[4-3] \quad n(D) = N_0 e^{-\Lambda D} \left[\frac{\#}{m^3 mm} \right]$$

dove $N_0 = 8000 \left[\frac{\#}{m^3 mm} \right]$ e $\Lambda = 4.1RR^{-0.21} [mm^{-1}]$ sono i parametri della distribuzione esponenziale. La validità della [4-3] è verificata per gocce di diametro inferiore a 7 mm.

In Figura 211 è riportato un esempio grafico di DSD: per fissato tasso di piovosità RR il numero di gocce decresce al crescere del diametro D , mentre per fissato diametro il numero di gocce aumenta al crescere del tasso di piovosità.

Integrando la [4-3] si calcola quindi il numero di gocce per unità di volume con diametro compreso tra D e $D+dD$ per un evento caratterizzato da un tasso di piovosità RR . Integrando ulteriormente sul volume si calcola il numero di gocce:

$$[4-4] \quad N(D) = \int_{dV} \int_D^{D+dD} n(D) dD dV \quad [\#].$$

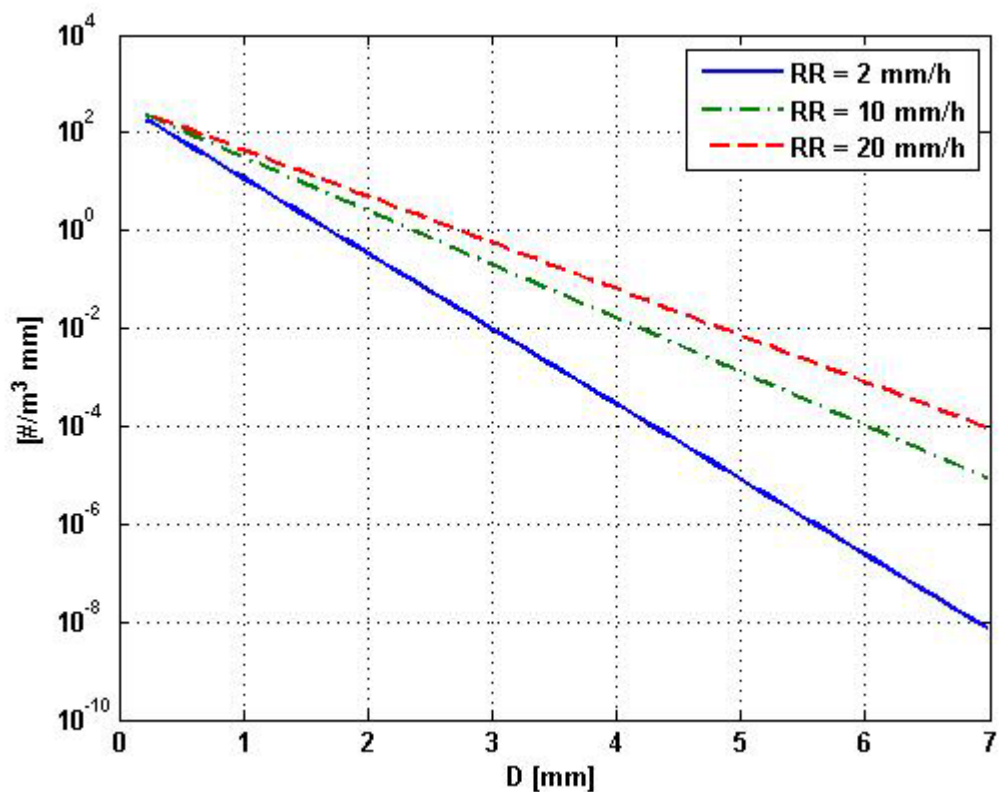


Figura 211 - Distribuzione dimensionale per diversi tassi di piovosità

Utilizzando una versione discretizzata della [4-4] è possibile calcolare il contributo al rilascio energetico da gocce appartenenti allo stesso intervallo diametrico. Per garantire coerenza con le misure in-situ di rilascio energetico al suolo, la distribuzione dimensionale è stata discretizzata secondo gli intervalli diametrici caratteristici del disdrometro utilizzato, e riportati in Tabella 29.

Intervallo	D_{min} [mm]	D_{max} [mm]	D_{med} [mm]
1	0,8	1,1	0,95
2	1,1	1,4	1,25
3	1,4	1,7	1,55
4	1,7	2,0	1,85
5	2,0	2,3	2,15
6	2,3	2,6	2,45
7	2,6	2,9	2,75
8	2,9	3,2	3,05
9	3,2	3,5	3,35
10	3,5	3,8	3,65
11	3,8	4,1	3,95
12	4,1	4,4	4,25
13	4,4	4,7	4,55
14	4,7	5,0	4,85
15	5,0	5,3	5,15
16	5,3	5,6	5,45
17	5,6	5,9	5,75
18	5,9	6,2	6,05
19	6,2	6,5	6,35
20	6,5	6,8	6,65
21	6,8	7,0	6,90

Tabella 29 - Intervalli diametrici

4.1.3 *Velocità Terminali delle Gocce di Pioggia*

La velocità terminale delle gocce di pioggia è parametrizzata dalla distribuzione di Gunn e Kinzer [1]:

$$[4-5] \quad v(D) = 9.65 - 10.3e^{-0.6D} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

dove il diametro D è inserito in unità di mm .

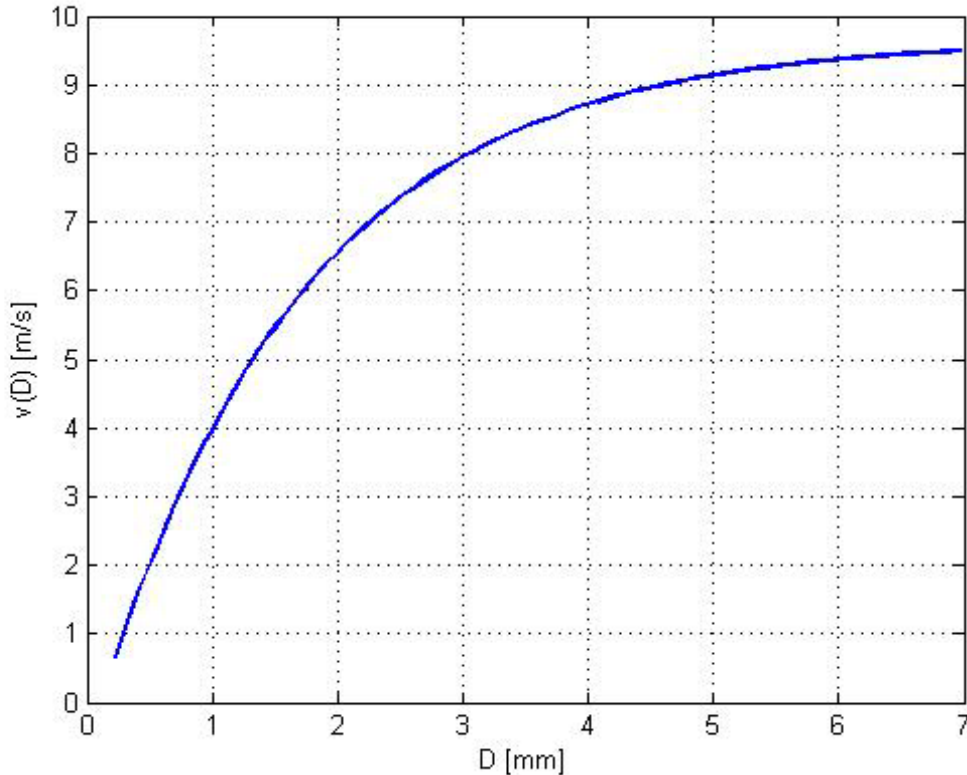


Figura 212 - Diagramma delle velocità terminali delle gocce di pioggia in funzione del diametro D

4.1.4 Rilascio Energetico al Suolo da Precipitazione

Il rilascio energetico al suolo si calcola come scambio di energia cinetica tra precipitazione e suolo. Allo scambio totale concorrono la massa delle gocce precipitanti e la distribuzione delle velocità, entrambe pesate dalla distribuzione dimensionale della precipitazione. Discretizzando la DSD di equazione [4-4] è allora possibile procedere al calcolo dello scambio energetico al suolo. Fissato il tasso di piovosità si determina quindi lo scambio energetico come sommatoria dei contributi delle singole classi diametrali come:

$$[4-6] \quad E = \sum E_i = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 N_i$$

dove m_i è la massa delle gocce, v_i e N_i sono dati rispettivamente da [4-4] e [4-5] e calcolati per gli intervalli di Tabella 29. Il calcolo del rilascio energetico prevede un'integrazione temporale che per dati METEOSAT viene assunta essere uguale alla frequenza di acquisizione (30 minuti)².

In Figura 213 è mostrato lo scambio energetico in funzione del diametro per eventi di durata pari a 30 minuti : al crescere del tasso di piovosità, il contributo maggiore allo scambio energetico viene da particelle di diametro maggiore. L'area sottesa alle curve coincide con lo scambio energetico totale al suolo.

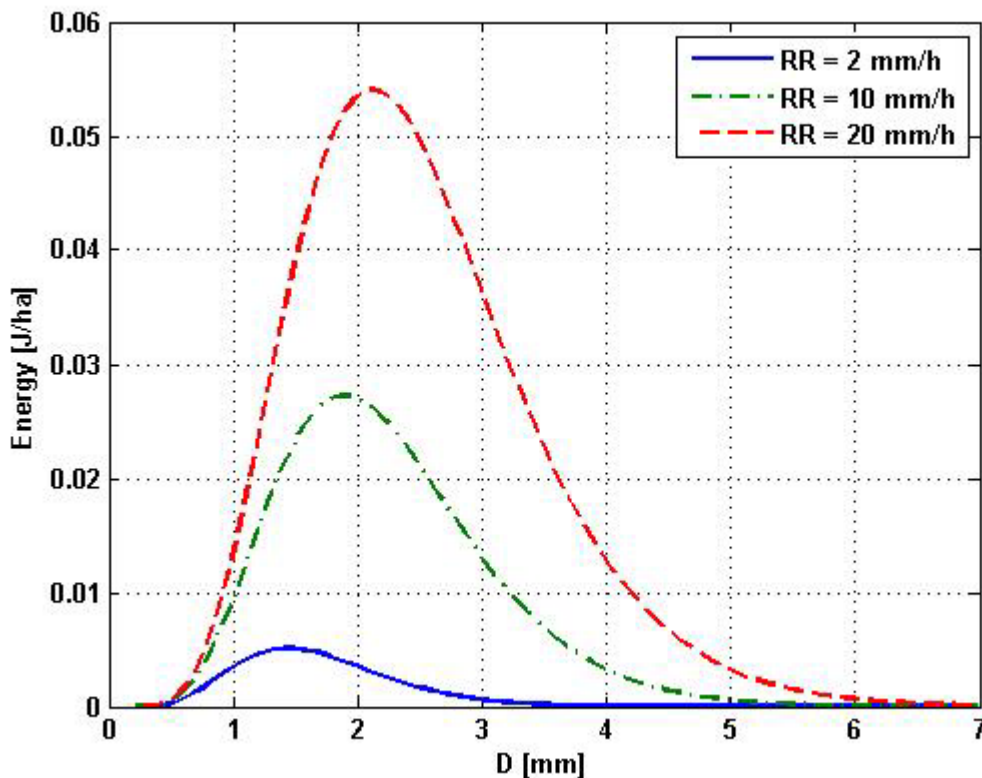


Figura 213 - Scambio energetico al suolo da precipitazione per eventi con 3 differenti tassi di piovosità. Al crescere del tasso di piovosità, il contributo maggiore allo scambio energetico viene da particelle di diametro maggiore. L'area sottesa alle curve coincide con lo scambio energetico totale al suolo per un evento di durata pari a 30 minuti .

In Figura 214 è mostrato invece il rilascio energetico in funzione del tasso di piovosità per tre diverse durate temporali degli eventi precipitanti: 1 minuto, 10 minuti e 30 minuti. Per fissato valore del tasso di piovosità l'energia scambiata al suolo cresce linearmente all'aumentare della durata dell'evento osservato.

² L'intensità dell'evento osservato viene considerata costante durante tutto il tempo di integrazione.

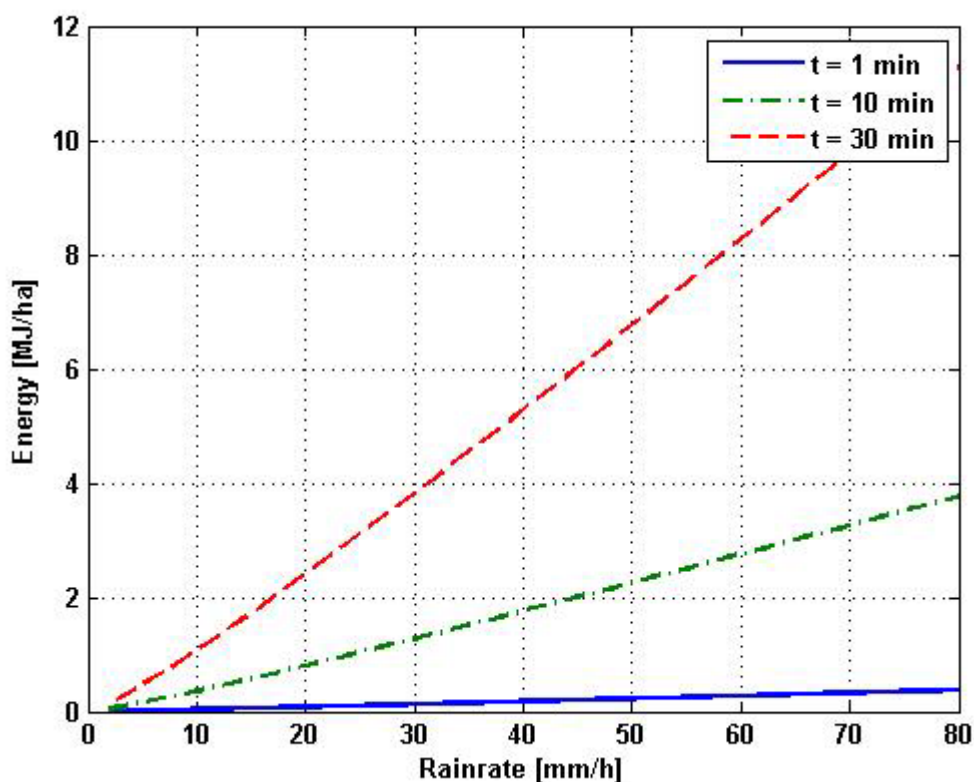


Figura 214 - Rilascio energetico al suolo in funzione del tasso di piovosità e della durata dell'evento. Al crescere del tasso di piovosità viene meno la dipendenza lineare, effetto causato dalla presenza di particelle di dimensioni maggiori, e quindi ad un maggior scambio di energia al suolo per elevati valori di piovosità

4.2 Applicazione del Metodo: Dataset RIADE

Il metodo di stima di rilascio energetico è stato applicato agli eventi del Dataset RIADE riportati in Tabella 30. Per ciascun evento sono state utilizzate le stime di precipitazione ottenute utilizzando la tecnica CST applicata a dati METEOSAT; in particolare sono state utilizzate sia le stime di precipitazione puntuali (valore nel pixel più vicino) sia le stime di precipitazione media sull'intorno 3x3.

Data	Dataset	Range orario
5 Ottobre 2003	METEOSAT	14:00 – 15:00
8 Ottobre 2003	METEOSAT	12:30 – 15:30
15 Ottobre 2003	METEOSAT	08:00 – 18:00
18 Ottobre 2003	METEOSAT	08:00 – 12:00

Tabella 30 - Eventi progetto RIADE

Per ciascun evento è stato stimato il rilascio energetico al suolo e quindi paragonato al rilascio energetico misurato dalle stazioni a terra nei siti di Surigheddu (SS) e Rotondella (MT). Dal momento che strumentazione in-situ e sensori satellitari utilizzano frequenze temporali di acquisizione del dato differenti, è stato necessario riscalare le stime da satellite alle misurazione a terra, e/o viceversa. In particolare la calibrazione/validazione del metodo è stata effettuata secondo i seguenti approcci:

approccio misure istantanee: lo scambio energetico da satellite è stato ricalcolato su base temporale di un minuto, per consentire una correlazione diretta delle misure istantanee. Questa modalità consente di correlare direttamente la stima effettuata da satellite con il valore istantaneo misurato a terra. Data la variabilità temporale associata agli eventi analizzati (vedi esempio di Figura 215), migliorare la misura istantanea produce errori maggiori sul calcolo dello scambio energetico associato alla durata totale dell'evento.

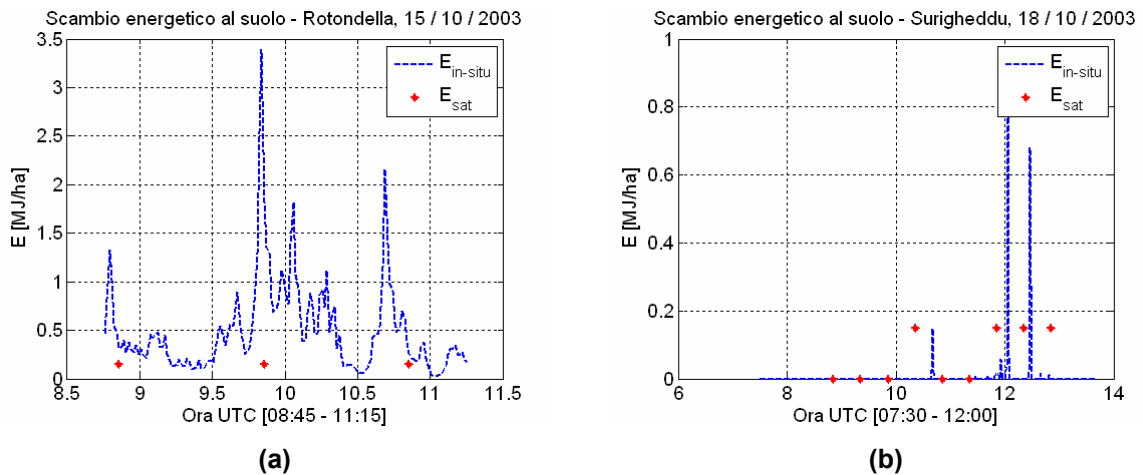
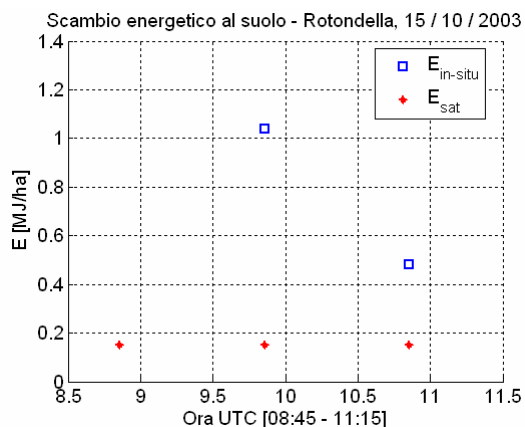
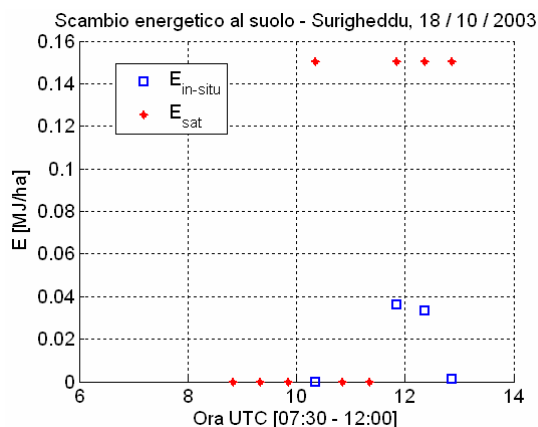


Figura 215 - Scambio energetico istantaneo (1 minuto): Rotondella – 15 Ottobre 2003 (a) e Surigheddu – 18 Ottobre 2003 (b)

approccio misure cumulate: i valori di scambio energetico misurati dalla strumentazione in-situ sono stati opportunamente cumulati su base temporale di 30 minuti (15 minuti precedenti e 15 minuti successivi all'acquisizione del dato satellitare) e confrontati con le stime da satellite (calcolate su integrazione temporale di 30 minuti). Questa modalità consente di migliorare le performance del metodo di stima di rilascio energetico da satellite, eliminando gli effetti di variabilità dell'evento osservato;



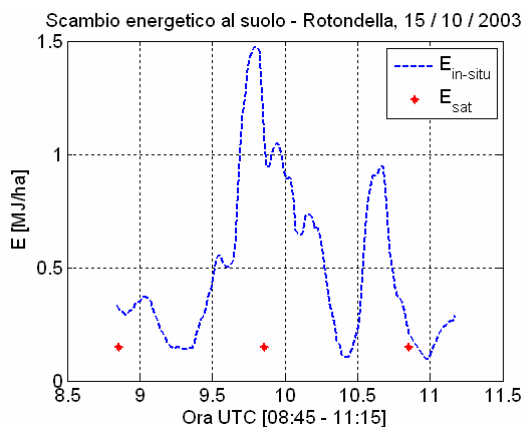
(a)



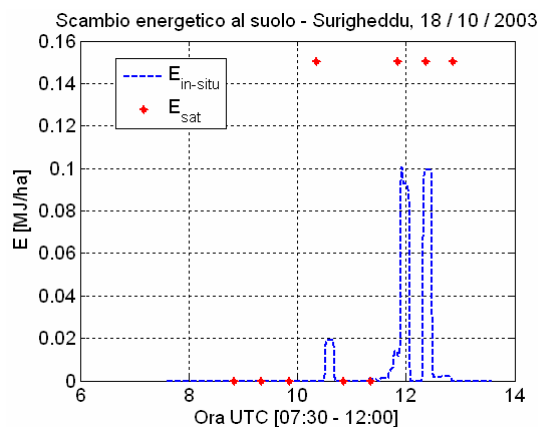
(b)

Figura 216 - Scambio energetico cumulato (30 minuti): Rotondella – 15 Ottobre 2003 (a) e Surigheddu – 18 Ottobre 2003 (b).

approccio misure in media mobile: i valori di scambio energetico misurati dalla strumentazione a terra sono stati opportunamente mediati nell'intorno (30 minuti) dell'istante di acquisizione dei dati satellitari. Questa modalità consente sia di attenuare le oscillazioni in intensità dovute alla variabilità degli eventi esaminati, sia di limitare differenze tra misurazioni a terra e stime da satellite. Entrambi gli effetti sono ben visibili confrontando Figura 217 con Figura 215, con un miglioramento delle performance del metodo di un fattore 10 rispetto all'*approccio misure cumulate*.



(a)



(b)

Figura 217 - Scambio energetico mediato (30 minuti): Rotondella – 15 Ottobre 2003 (a) e Surigheddu – 18 Ottobre 2003 (b).

Ulteriori sviluppi del metodo sono stati effettuati agendo sui parametri della DSD di equazione [4-3], al fine di migliorare l'accordo tra misure in-situ e stime da satellite. Mantenendo costante il tasso di piovosità a terra RR e variando i parametri N_0 e Λ di [4-3] sono state definite 3 diverse DSD associate rispettivamente ad eventi di debole, medio ed intenso tasso di piovosità. Indicando con i pedici w (weak) ed s (strong), alla distribuzione dimensionale di equazione [4-3] si aggiungono le 2 DSD:

$$[4-7] \quad \begin{cases} N_w = N_{0w} e^{-\Lambda_d D} \\ N_s = N_{0s} e^{-\Lambda_d D} \end{cases}$$

dove, per mantenere costante il tasso di piovosità a terra, deve essere verificata la seguente uguaglianza:

$$[4-8] \quad \Lambda_i = 9.67 \left(\frac{RR}{N_{0i} \times 10^{-5}} \right)^{-0.21} \quad i = w, s.$$

In Figura 218 è mostrato l'andamento delle 3 DSD per un tasso di piovosità di 20 mm/h . Utilizzando la DSD strong N_s , il numero di gocce di diametro maggiore aumenta mentre diminuisce la presenza di quelle di diametro inferiore, con l'effetto di un aumento dello scambio energetico al suolo (vedi E_s di Figura 219 (b) e (d)); analogamente, se si utilizza la DSD weak N_w il numero di gocce di diametro maggiore diminuisce mentre aumenta la presenza di quelle di diametro inferiore, determinando una diminuzione dello scambio energetico al suolo (vedi E_w di Figura 219 (b) e (d)).

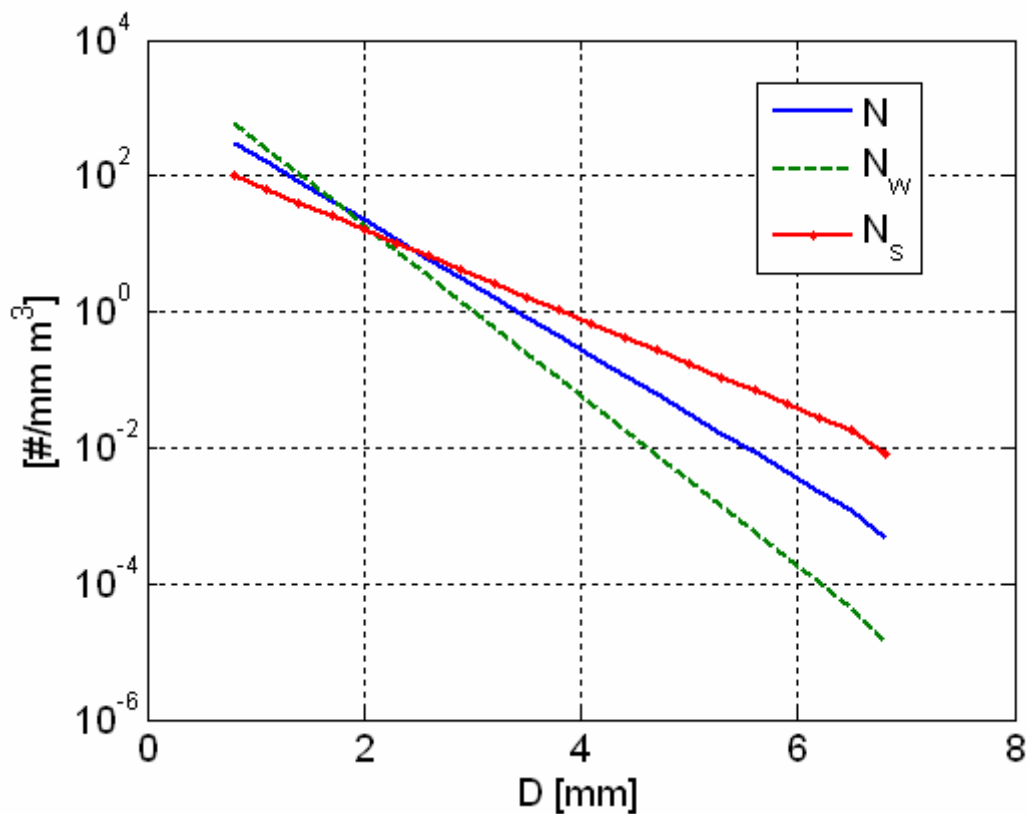


Figura 218 - Esempio di DSD di equazioni [4-4] e [4-7] per intensità di precipitazione pari a 20 mm/h

La scelta dei parametri delle DSD di equazioni [4-4] e [4-7] è stata effettuata analizzando gli eventi di calibrazione del Dataset RIADE: utilizzando l'*approccio in media mobile* per il calcolo del rilascio energetico da strumentazione in-situ, la stima da piattaforma satellitare E_{sat} , E_w o E_s viene selezionata utilizzando un semplice criterio sull'intensità di precipitazione associata all'evento.

In Tabella 31 sono riportati i parametri dimensionali delle 3 DSD, ed i relativi criteri sull'intensità di precipitazione.

DSD	N_0 [# / m ³ mm]	criteri su RR
DSD weak	30000	$RR \leq 2$ mm/h
DSD MP	8000	$2 < RR \leq 10$
DSD strong	1400	$RR > 10$

Tabella 31 - Parametri dimensionali DSD e relativi criteri sull'intensità di precipitazione

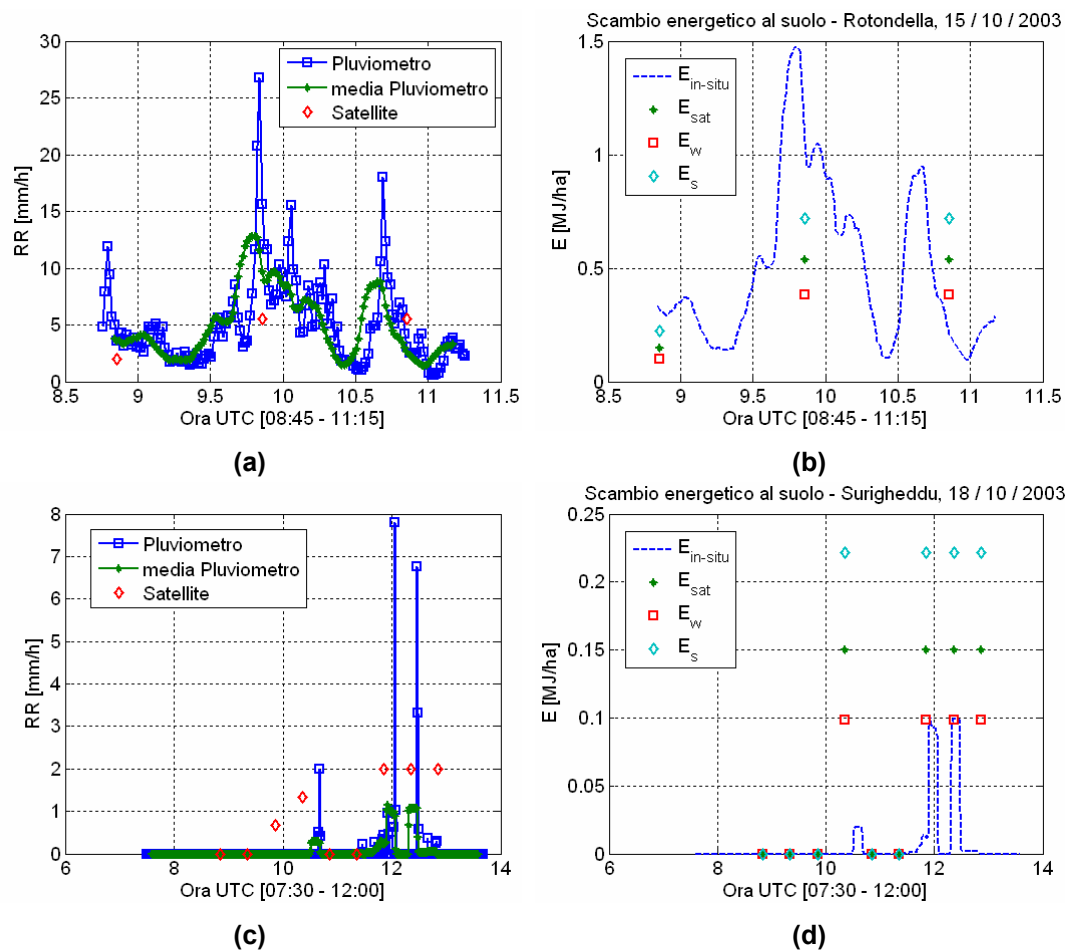


Figura 219 - Precipitazione (a) e scambio energetico (b) per il sito di Rotondella – 15 Ottobre 2003; precipitazione (c) e scambio energetico (d) per il sito di Surigheddu – 18 Ottobre 2003

4.3 Conclusioni

Nel presente studio sono state effettuate le analisi di *Stima da piattaforma satellitare di rilascio energetico da pioggia* per gli eventi del dataset RIADE, con l'obiettivo principale di fornire una stima dello scambio di energia al suolo scambiato durante un evento precipitante. Il metodo sviluppato consente di calcolare lo scambio di energia al suolo, noto il valore il tasso di piovosità.

L'accuratezza delle stime di rilascio energetico da piattaforma satellitare dipende direttamente dalla precisione della misura dell'intensità di precipitazione: tanto più accurata è la stima di precipitazione, tanto più risulta accurata la misura di rilascio energetico.

Per ridurre gli effetti della variabilità dell'evento osservato sono stati esaminati tre diversi approcci per il calcolo del rilascio energetico al suolo: mentre la *stima istantanea* non è in grado di ridurre l'errore associato alla variabilità dell'evento, i risultati migliori si ottengono utilizzando l'*approccio basato sulla media mobile* (vedi Sezione 4.2).

4.4 Bibliografia

1. Gunn, R. and Kinzer, G.D. (1949) The terminal velocity of fall for water drops in stagnant air. *Journal of Meteorology*. 6, 243-248.
2. Marshall, J. S., and W. M. Palmer, The distribution of raindrops with size, 1948, *J. Meteor.*, Vol. 5, 165-166 pp.
3. RUSLE2 – Revised Universal Soil Loss Equation Version 2

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 ottobre 2006