

TETTI E PARETI VERDI PER GLI EDIFICI

Linee Guida per la Pubblica Amministrazione
e gli Enti Territoriali

Supervisore: **Alessandro Federici**

Coordinatore del Gruppo di Lavoro: **Patrizia De Rossi**

Gruppo di Lavoro che ha curato la redazione delle Linee Guida e del Questionario per la Mappatura di Tetti e Pareti Verdi: **Patrizia De Rossi, Francesca Hugony, Arianna Latini, Alberto Mastrilli, Stefania Pace, Patrizia Pistochini**

Autori delle Linee Guida: **Patrizia De Rossi, Francesca Hugony, Arianna Latini, Alberto Mastrilli, Stefania Pace, Patrizia Pistochini, Tiziana Susca, Fabio Zanghirella**

Autori del Questionario: **Patrizia De Rossi, Alberto Mastrilli**

Un **ringraziamento speciale** per il supporto tecnico alla realizzazione e divulgazione del questionario a **Stefania Fiduccia, Alessandro Pannicelli, Valerio Refat, Massimiliano Roscetti** e per l'editing e la stampa delle Linee Guida a **Milena Gasparetto, Ilaria Sergi**

Un **ringraziamento speciale** per i contributi forniti a:

Alessandra Aires - Responsabile Tecnico Divisione Infrastrutture, Comune di Torino

Sergio Andri - Esperto di verde tecnologico

Emilia Barone - Project Manager, Comune di Milano

Laura Berardi - Settore Facility Management - UO Edilizia Culturale e Sportiva, Comune di Rimini

Maurizio Crasso - Esperto di verde tecnologico

Chiara Desiderio - Direzione Rigenerazione Urbana, Comune di Milano

Roberta De Nardo - Unità Energia, ARPA Emilia

Chiara Fravisini - Dirigente Settore facility management, Comune di Rimini

Stefano Laprocina - Esperto di verde tecnologico

Luciano Lus - Dirigente Servizio Edilizia Privata, Comune di Pordenone

Laura Rusconi - Esperto di verde tecnologico

Renzo Sanna - Responsabile ufficio comunicazione, Comune di Calderara di Reno (Bo)

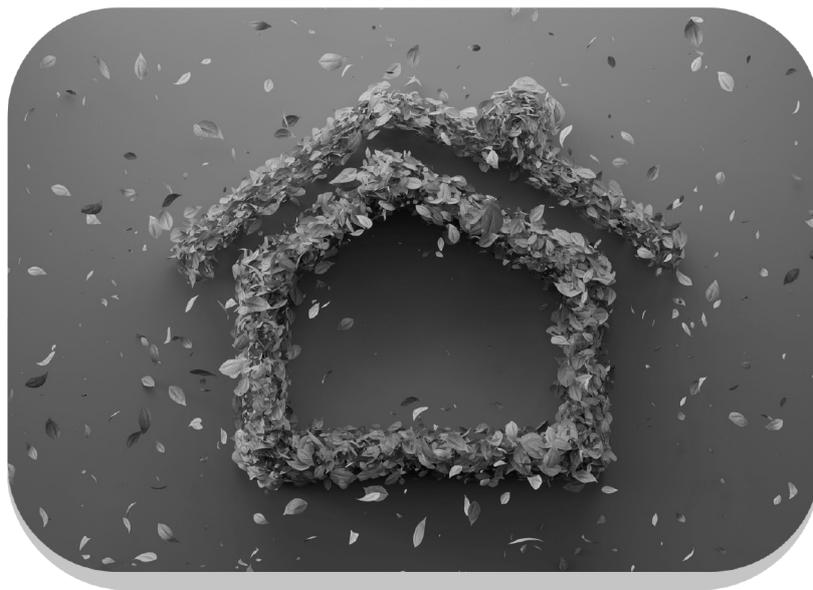
Danila Severa - Responsabile Ufficio Osservatorio Ambientale sui Cambiamenti Climatici, Comune di Roma

Luca Vignoli - Unità Energia, ARPA Emilia

Katia Zanoner - Servizio Giardiniera, Comune di Bolzano

Per chiarimenti sui contenuti della pubblicazione rivolgersi a: Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica Centro Ricerche ENEA Casaccia Via Anguillarese, 301 00123 S. Maria di Galeria - Roma
e-mail: tettipareti verdi@enea.it

Edizione 2024



TETTI E PARETI VERDI

LINEE GUIDA

SOMMARIO

INTRODUZIONE	6	3. TECNOLOGIE VERDI PER EDIFICI	55
1. INQUADRAMENTO LEGISLATIVO	9	3.1 Tipologie di tetti e pareti verdi	56
1.1 Quadro di riferimento europeo	10	3.1.1 Tetti verdi	56
1.2 Quadro di riferimento nazionale	12	3.1.2 Pareti verdi	59
1.2.1 I tetti e le pareti verdi nei Criteri Ambientali Minimi	13	3.1.2.1 <i>Facciate verdi</i>	60
1.2.2 Meccanismi nazionali di incentivazione: "Bonus verde" e PNRR	15	3.1.2.2 <i>Pareti viventi</i>	63
2. BENEFICI DI TETTI E PARETI VERDI	19	3.1.3 Sistemi di drenaggio per tetti e pareti verdi	65
2.1 Lo Stato dell'arte	20	3.2 Pianificazione e progettazione	66
2.2 Benefici economici a scala di edificio	23	3.2.1 Aspetti tecnici da considerare nella progettazione di un tetto verde	67
2.2.1 Riduzione dei consumi energetici e miglioramento del confort termico	23	3.2.2 Aspetti tecnici da considerare nella progettazione del verde verticale	69
2.2.2 Maggiore efficienza degli impianti fotovoltaici	26	3.3 Manutenzione di tetti e pareti verdi	72
2.2.3 Durata prolungata del rivestimento del tetto	32	3.3.1 La manutenzione dei tetti verdi	72
2.2.4 Valore aggiunto per l'edificio	33	3.3.2 Costo della manutenzione dei tetti verdi	75
2.2.5 Minore rischio di incendio	33	3.3.3 La manutenzione del verde verticale	77
2.2.6 Maggiore sensazione di benessere	34	4. BUONE PRATICHE: POLITICHE LOCALI DI PROMOZIONE DI TETTI E PARETI VERDI	79
2.2.7 Protezione dall'erosione	34	4.1 Regolamenti di settore	80
2.3 Benefici ambientali a scala edificio	34	4.2 Campagne di informazione	86
2.3.1 Riduzione del rumore	34	4.3 Promozione di tetti e pareti verdi oltre i confini italiani	87
2.3.2 Trattamento delle acque grigie	35	4.4 Campagna promozionale a sostegno dei tetti verdi da parte dei cittadini europei	89
2.4.1 Effetto isola di calore urbana	36	4.5 Il Patto dei Sindaci e la promozione di tetti e pareti verdi attraverso il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC)	89
2.4.2 Rumore urbano	38		
2.4.2.1 <i>Assorbimento acustico all'aperto</i>	38		
2.4.2.2 <i>Diffrazione del suono all'aperto</i>	39		
2.4.3 Miglioramento della qualità dell'aria	41		
2.4.4 Gestione delle acque meteoriche	44		

5. BUONE PRATICHE: PROGETTI REALIZZATI DI TETTI E PARETI VERDI E ALCUNI STUDI ENEA	93	5.3 Studi ENEA sull'effetto dell'applicazione di tetti e pareti verdi per la mitigazione dell'isola di calore urbana - casi studio Roma e Torino	114
5.1 I tetti verdi di Bolzano e Provincia	94	5.4 Progetto "pareti verdi" realizzato dal Comune di Firenze	121
5.1.1 Il progetto R.I.E.	95	5.5 Progetti di inverdimento di tetti e pareti realizzati dal Comune di Milano	121
5.1.2 I tetti verdi emblematici della città di Bolzano	95	5.6 Progetto di inverdimento di tetto e parete realizzato dal Comune di Rimini	125
5.1.3 Studio ENEA dei tetti verdi della città di Bolzano mediante telerilevamento & GIS	97	5.7 Progetti di inverdimento di tetto e parete realizzati dal Comune di Torino	127
5.2 Prototipo di tetto e parete verde nel CR ENEA Casaccia - Roma	102	6. QUADRO CONOSCITIVO DELLO STATO DELL'ARTE DI TETTI E PARETI VERDI E IL QUESTIONARIO ENEA	133
5.2.1 Caratteristiche strutturali del prototipo di parete verde	103	6.1 Metodologia	134
5.2.2 Realizzazione e struttura del solaio tetto verde	105	6.2 Il questionario per la mappatura di tetti e pareti verdi	139
5.2.3 Sistema di monitoraggio microclimatico-ambientale	109		
5.2.4 Alcuni dei risultati ottenuti dalla sperimentazione ENEA	109		

INTRODUZIONE

Le Linee Guida Tetti e Pareti Verdi per gli edifici, redatte a beneficio della Pubblica Amministrazione e degli enti territoriali, si inseriscono all'interno di "Italia in Classe A", la Campagna di formazione e informazione sull'efficienza energetica promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e realizzata dall'ENEA.

"Italia in Classe A" è una campagna nazionale volta a sensibilizzare e informare cittadini, imprese e istituzioni sull'importanza dell'efficienza energetica e sulle opportunità che essa offre in termini di risparmio energetico, economico e di riduzione delle emissioni di gas serra. La campagna mira a promuovere un uso più consapevole e razionale dell'energia attraverso iniziative educative, eventi, seminari, webinar e la distribuzione di materiali informativi.

Le Linee Guida Tetti e Pareti Verdi per gli edifici rappresentano uno degli strumenti della campagna, fornendo un supporto pratico e normativo per l'implementazione di soluzioni di edilizia sostenibile. Questi documenti sono progettati per aiutare le amministrazioni locali e altri enti pubblici a comprendere i benefici e le tecniche di applicazione delle infrastrutture verdi, facilitando così la loro diffusione e integrazione nei contesti urbani. Il verde è da sempre un elemento di progetto nell'architettura, ma fino a poco tempo fa il suo utilizzo era principalmente a scopo decorativo. Oggi, invece, il verde per gli edifici, come Tetti e Pareti Verdi, viene considerato un vero e proprio componente edilizio. La rapida urbanizzazione delle nostre comunità

ha comportato la realizzazione di estese superfici in cemento che oltre alla modificazione spesso negativa dell'ambiente urbano, in termini sia di visione sia di vivibilità, provoca incrementi della temperatura soprattutto nei centri cittadini. Tale fenomeno, definito come *Urban Heat Island* (UHI), è causato principalmente dall'assorbimento della radiazione solare da parte degli edifici e dei materiali da costruzione e dalla successiva re-irradiazione nell'ambiente circostante. Questo aumento della temperatura, associato alla presenza di inquinanti atmosferici e alla scarsa circolazione di aria, può provocare l'accumulo di smog, danni all'ambiente e alla salute dei cittadini oltre all'aumento del consumo di energia per raffreddare gli edifici nei periodi caldi e per il riscaldamento nei periodi freddi. Si inseriscono in questo contesto, le realizzazioni di sistemi vegetali meglio conosciuti come *Green Roof* (GR) e *Vertical Greenery System* (VGS) utilizzati rispettivamente come coperture verdi, di seguito "Tetti Verdi", e verde verticale, di seguito "Pareti Verdi", di parti strutturali di un edificio che rappresentano dei sistemi più innovativi per migliorare l'aspetto urbanistico delle nostre città, ridurre l'apporto di CO₂, influenzare positivamente il microclima. La presenza di piante vegetali in prossimità di un edificio incide infatti sulle interazioni energetiche di questo e l'ambiente esterno, migliorando le condizioni di *comfort* estivo per gli spazi esterni e assolvendo un funzionamento di isolante termico limitando le oscillazioni termiche, oltre ad essere in grado di filtrare

fino al 70% delle polveri presenti nell'aria. I sistemi vegetali per gli edifici, quali Tetti e Pareti Verdi, sono in grado di mitigare i picchi di temperatura estivi grazie all'evapotraspirazione delle piante e all'ombreggiamento nei confronti dell'irraggiamento solare diretto sugli edifici e sulle superfici circostanti, consentendo di mitigare gli effetti fisici delle isole di calore nei centri cittadini. La stessa Commissione Europea riconosce che nelle città edifici efficienti sotto il profilo delle risorse, dal basso consumo energetico e che integrano elementi ecologici come giardini pensili e muri verdi e con materiali di costruzione nuovi, possono comportare vantaggi sul piano ambientale, sociale e della salute.

Le presenti Linee Guida hanno l'obiettivo di fornire un quadro conoscitivo, su vari aspetti legati all'utilizzo di Tetti e Pareti Verdi sugli edifici, che indirizzi e supporti le politiche della Pubblica Amministrazione (PA) nell'implementare queste infrastrutture e a mobilitare gli investimenti necessari per sostenerle e consolidarle a livello locale e nazionale.

Il **Capitolo 1** ha lo scopo di fornire il quadro legislativo, europeo e nazionale, attualmente vigente e che costituisce l'attuale riferimento normativo a disposizione della PA per le politiche locali di promozione delle installazioni di tetti e pareti verdi negli edifici. Il capitolo contiene una sintesi dei bandi pubblicati a livello nazionale che finanziano la realizzazione delle infrastrutture verdi sugli edifici.

Nel **Capitolo 2** si riportano le evidenze scientifiche dei vantaggi forniti dall'installazione di Tetti e Pareti Verdi nel migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e più in generale nell'ottenimento dei benefici

ambientali, sociali ed economici interagenti a scala edificio e a scala urbana.

Nel **Capitolo 3** vengono presentate le principali tipologie di Tetti e Pareti Verdi presenti sul mercato e gli aspetti tecnici legati alla loro pianificazione, progettazione e manutenzione, necessari a garantirne l'efficacia in fase di installazione ed esercizio.

Nel **Capitolo 4** vengono riportati alcuni esempi di buone pratiche messe in atto dalle amministrazioni locali per la diffusione delle infrastrutture verdi per edifici sul territorio di loro competenza. In particolare, sono state identificate due tipologie di politiche locali: inserimento delle infrastrutture verdi per gli edifici in regolamenti locali o in strategie pianificate, e attività informative tramite, per esempio, la pubblicazione di linee guida (sia nazionali che internazionali).

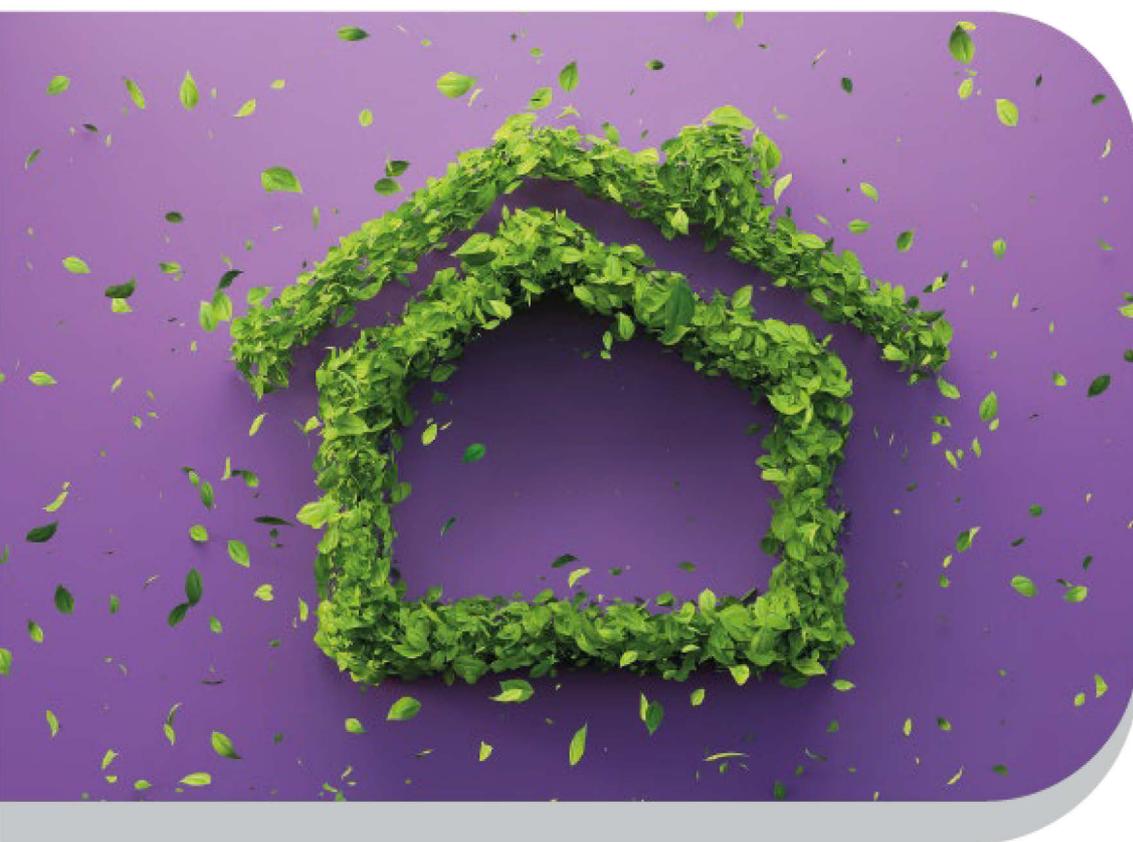
Nel **Capitolo 5** vengono riportati alcuni dei progetti di Tetti e Pareti Verdi realizzati dalle amministrazioni locali, emersi dall'indagine condotta da ENEA i cui contenuti sono riportati nel capitolo 6, che possono rappresentare un modello da riprodurre da parte di altre PA. Il capitolo contiene, inoltre, casi studi ENEA come il Tetto e la Parete Verde realizzato nel CR ENEA Casaccia con lo scopo di studiare gli aspetti energetici e ambientali del verde su scala edificio, lo studio sui Tetti Verdi della città di Bolzano volto a quantificare differenze di temperatura di superficie e quindi il contributo alla mitigazione del fenomeno "isola di calore" su scala urbana mediante telerilevamento & GIS e la ricerca volta a quantificare la mitigazione dell'isola di calore urbana (UHI) per effetto dell'applicazione di Tetti e Pareti Verdi in aree urbane delle città di Roma e Torino attraverso studi di simulazione.

Nel **Capitolo 6** si riporta l'esito di una prima indagine condotta da ENEA sullo stato dell'arte dell'installazione di Tetti e Pareti Verdi a livello nazionale. In questo la PA, a cui è indirizzato il documento, potrà acquisire conoscenze utili a dimensionare il fenomeno ed eventualmente indirizzare le proprie politiche per uno sviluppo ulteriore delle installazioni, avendone ben compreso i vantaggi energetici ed ambientali grazie alle analisi dei precedenti capitoli. Nel capitolo si riporta la metodologia utilizzata dal gruppo di lavoro e il questionario elaborato per la raccolta dei dati. I risultati del

questionario, una volta conseguito un numero congruo di riscontri, verranno pubblicati in un apposito documento. Il questionario, insieme alle presenti Linee Guida, è stato redatto nella consapevolezza che rappresenti uno strumento utile ai fini di sensibilizzare il tessuto produttivo e i decisori politici. L'auspicio è che questi strumenti concorrano a promuovere la diffusione di Tetti e Pareti Verdi sul territorio nazionale e ad avviare un dibattito che porti a considerare queste tecnologie verdi come parte integrante delle strategie di decarbonizzazione del patrimonio immobiliare italiano.



1. INQUADRAMENTO LEGISLATIVO



Capitolo in breve

Il Capitolo 1 ha l'obiettivo di fornire un quadro legislativo completo ed esaustivo che aiuti a comprendere come il legislatore a diversi livelli territoriali promuova l'inserimento di installazioni verdi sugli elementi dell'involucro degli edifici.

Il capitolo ripercorre la legislazione europea e nazionale, evidenziando gli ambiti in cui la diffusione

del verde negli edifici viene indicata, suggerita e proposta come tecnologia utile al miglioramento ambientale dei centri urbani e alla riduzione dei consumi energetici degli edifici. Su scala nazionale, successivamente, si sofferma ad investigare come Tetti e Pareti Verdi siano indicati nei CAM edilizia e nei principali strumenti di incentivazione di queste tecnologie: Bonus Verde e PNRR.

1.1 Quadro di riferimento europeo

Il paragrafo contiene una panoramica dei principali strumenti legislativi europei e nazionali in cui sono indicate le coperture e pareti verdi.

Con la Comunicazione COM(2013)249 *final*, "Rafforzare il capitale naturale in Europa", la Commissione Europea ha adottato la "strategia dell'UE per le infrastrutture verdi" al fine di rafforzare il capitale naturale. Il documento parte dalla premessa che le infrastrutture verdi possano contribuire in maniera significativa al raggiungimento di molti obiettivi delle principali politiche dell'UE e ne illustra le motivazioni descrivendo le caratteristiche della futura strategia dell'UE. La strategia definisce le infrastrutture verdi come "una rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici. Ne fanno parte gli spazi verdi (o blu, nel caso degli ecosistemi acquatici) e altri elementi fisici in aree sulla terraferma (incluse le aree costiere) e marine. Sulla terraferma, le

infrastrutture verdi sono presenti in un contesto rurale e urbano". Tale strategia prevedeva una spinta importante verso la diffusione delle infrastrutture verdi tramite la divulgazione delle conoscenze su questo tipo di tecnologie e la promozione di progetti.

Il COM(2019)236 *final*, "Riesame dei progressi compiuti nell'attuazione della strategia dell'UE", è il documento che analizza i progressi compiuti e le criticità avute nell'attuazione della strategia dell'UE per le infrastrutture verdi nonché le sfide future. Tra le sfide future, si sottolinea l'importanza di "..."fare di più per mettere in evidenza i molteplici benefici che le infrastrutture verdi offrono a livello di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici mitigando gli effetti "isola di calore" e riducendo il fabbisogno di raffreddamento e riscaldamento degli edifici grazie a giardini pensili e muri verdi". Ricorda che "La strategia per le infrastrutture verdi sottolinea la necessità di garantire che queste infrastrutture rientrino di norma nella pianificazione e nello sviluppo territoriale,

¹ Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato Delle Regioni Infrastrutture Verdi – Rafforzare il capitale naturale in Europa. 6 maggio 2013, COM(2013) 249 *final*

² Relazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Riesame dei progressi compiuti nell'attuazione della Strategia dell'UE per le infrastrutture verdi. 24 maggio 2019, COM (2019)236 *final*

integrandole pienamente nell'attuazione di politiche i cui obiettivi possono essere raggiunti interamente o in parte ricorrendo a soluzioni basate sulla natura." I principali settori strategici attraverso i quali promuovere le infrastrutture verdi sono le politiche regionali, di coesione, ambientali e quelle rivolte alle misure di mitigazione ai cambiamenti climatici, la gestione dei rischi di catastrofe, le politiche sulla salute e i consumatori, e la politica agricola comune. I dati riportati nella Comunicazione mostrano che, per il periodo 2014-2020, le infrastrutture verdi sono state sostenute da dotazioni dirette provenienti dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) e dal Fondo di coesione (FC) destinate a biodiversità, natura e infrastrutture verdi tramite investimenti pari a 3.700 milioni di EUR, cui si aggiungono investimenti in diversi settori correlati, come la protezione dalle alluvioni, la depurazione delle acque o la ristrutturazione di edifici. Le opportunità offerte dai vari strumenti di finanziamento dell'UE, secondo quanto riportato nel Riesame, non sono state però pienamente sfruttate e l'accesso ai fondi deve essere migliorato.

La Commissione Europea ha espresso sostegno alla valorizzazione dei sistemi vegetali per le città con il Manifesto "Nature-Based Solutions per il clima" (UN Climate Action Summit 2019). L'importanza delle "soluzioni verdi" è stata anche al centro dell'evento del G20, patrocinato dall'Italia come opportunità per l'economia, la resilienza delle città, il benessere dei cittadini oltre che fondamentale per accelerare la transizione

ecologica (A working paper for the G20, 2021³).

La Direttiva (UE) 2018/844⁴ sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD), nella premessa 17, riconosce e promuove gli investimenti per le "soluzioni di tipo naturale, quali una vegetazione stradale ben progettata, i tetti verdi e i muri che garantiscano isolamento e ombreggiamento agli edifici, contribuiscono a ridurre la domanda di energia, limitando la necessità di riscaldamento e rinfrescamento e migliorando la prestazione energetica di un edificio".

Come annunciato nel *Green Deal*, il 14 ottobre 2020 la Commissione ha presentato la strategia per l'ondata di ristrutturazioni COM (2020) 662 *final*⁵ che ci fornisce un'immagine molto affascinante del nostro patrimonio immobiliare futuro che: *"tra 10 anni gli edifici europei avranno un aspetto molto diverso. Gli edifici saranno il microcosmo di una società più resiliente, più verde e digitalizzata e funzioneranno in un sistema circolare riducendo il fabbisogno energetico, la produzione di rifiuti e le emissioni in ogni fase e riutilizzando quanto necessario: i tetti e i muri esterni aumenteranno la superficie verde delle nostre città e miglioreranno il clima urbano e la biodiversità, mentre al loro interno ospiteranno apparecchi intelligenti e digitalizzati che forniranno in tempo reale informazioni su come, quando e dove viene consumata energia"*. Tale comunicazione prevede che l'UE adotti una strategia organica e integrata che investa un ampio insieme di settori e attori sulla base dei seguenti principi base:

³ [Smart, Sustainable and Resilient Cities: The Power of Nature-Based Solutions - A Working Paper for the G20 \(unep.org\)](https://www.unep.org/resources/publication/smart-sustainable-and-resilient-cities-the-power-of-nature-based-solutions-a-working-paper-for-the-g20)

⁴ DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva

2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica

⁵ Un'ondata di ristrutturazioni per l'Europa: inverdire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita, COM/2020/662 final

- concetto di ciclo di vita e circolarità - ridurre al minimo l'impronta degli edifici usando le risorse in modo efficiente e circolare e trasformando il settore edile in un pozzo di assorbimento, ad esempio attraverso la promozione di infrastrutture verdi e l'uso di materiali da costruzione organici in grado di immagazzinare il carbonio, come il legno di origine sostenibile;
- rendere il settore edile e il suo indotto adatti a realizzare ristrutturazioni sostenibili, che siano improntate ai principi dell'economia circolare, utilizzino e riutilizzino materiali sostenibili e integrino soluzioni basate sulla natura.

1.2 Quadro di riferimento nazionale

A livello nazionale, per la pianificazione e lo sviluppo di spazi verdi urbani, la Legge del 14 gennaio 2013 n° 10 ha rappresentato il primo riferimento normativo sul verde nelle città, adottata con gli obiettivi di arrestare il consumo del territorio, equilibrare lo sviluppo edilizio con la presenza di spazi verdi e ripensare a una riqualificazione verde degli edifici già esistenti. In particolare, l'art. 6 "Promozione di iniziative locali per lo sviluppo degli spazi verdi urbani" chiedeva a Regioni, Province e Comuni di adottare misure volte a favorire il risparmio e l'efficienza energetica, l'assorbimento delle polveri sottili e la riduzione dell'effetto isola di calore estiva, favorendo al contempo una regolare raccolta delle acque piovane. A tal fine, viene fornito un elenco specifico dei casi su cui concentrare le misure, tra cui anche le coperture a verde (come definite nell'art. 2, co 5, del d.P.R. 2 aprile 2009, n. 59), quali strutture dell'involucro edilizio atte a produrre risparmio energetico, al fine di favorire, per quanto possibile, la trasformazione dei lastrici solari in giardini pensili. Viene chiesto anche di adottare misure di rinverdimento delle pareti degli edifici, sia

tramite il rinverdimento verticale che tramite tecniche di verde pensile verticale.

La stessa legge ha assegnato al "Comitato per lo Sviluppo del Verde", presso l'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (ora Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica), la responsabilità di proporre una "Strategia Nazionale del Verde Urbano - Foreste urbane resilienti ed eterogenee per la salute e il benessere dei cittadini"⁶, che fissi criteri e linee guida per:

- la realizzazione di aree verdi permanenti intorno alle maggiori conurbazioni e di filari alberati lungo le strade;
- il rinverdimento di pareti e di lastrici solari, la creazione di giardini e orti e il miglioramento degli spazi per consentire un adeguamento dell'edilizia e delle infrastrutture pubbliche e scolastiche che garantisca, per quanto di competenza, la riqualificazione degli edifici.

⁶https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/comitato%20verde%20pubblico/strategia_verde_urbano.pdf

Inoltre, tale Strategia Nazionale prevedeva il coinvolgimento di *stakeholder* e opportune competenze multidisciplinari per lo sviluppo di azioni politiche al fine di supportare gli amministratori comunali alla realizzazione di tali opere verdi. Attualmente, la progettazione di tetti verdi e giardini pensili in Italia segue le indicazioni della norma tecnica volontaria UNI 11235:2015 pubblicata dalla Commissione Tecnica prodotti, processi e sistemi per l'organismo edilizio. La norma definisce i criteri di progettazione, esecuzione, controllo e manutenzione di coperture continue a verde, in funzione delle particolari situazioni di contesto climatico, di contesto edilizio e di destinazione d'impiego. Secondo la norma i benefici garantiti dai sistemi a verde pensile ricadono in tre macro-categorie, quali: pianificazione urbana, valore ecologico e tutela economica e ambientale. La norma passa in rassegna le specifiche progettuali

inerenti alla realizzazione di tetti verdi e giardini pensili (capacità agronomica, controllo della capacità drenante e della gestione delle acque meteoriche, aerazione, accumulo idrico), e introduce, rispetto la precedente UNI 11235:2007, alcuni parametri funzionali di grande importanza per il sistema (livello di manutenzione della vegetazione, resistenza agli attacchi biologici e ai microrganismi) con spunti per la loro determinazione.

In Italia si riscontra la presenza di alcuni protocolli di certificazione volontaria degli edifici, in cui sono inserite anche le coperture e pareti a verde. Un'analisi di queste certificazioni si può trovare nel Capitolo 6 del Rapporto Tecnico pubblicato da ENEA "Gli ecosistemi vegetali per la rigenerazione ecologica delle città", RT/2021/13/ENEA⁷.

1.2.1 I tetti e le pareti verdi nei Criteri Ambientali Minimi

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'edilizia per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi, pubblicati nella Gazzetta Ufficiale 183 del 2022, non includono le infrastrutture verdi per gli edifici. Tuttavia, queste tecnologie vengono ugualmente citate come elementi chiave nell'ambito dell'approccio CAM per il conseguimento degli obiettivi ambientali. Il

documento cita infatti la comunicazione n. 662 del 2020, (vedere Paragrafo 1.1).

Nei CAM per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde (DM 63 del 10 marzo 2020) viene trattato più in generale il tema della "manutenzione del verde" fornendo indicazioni sulle competenze dei professionisti.

⁷ C.A. Campiotti, P. De Rossi, L. Gatti, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, M. Sperandei, et al. Gli ecosistemi vegetali per la rigenerazione ecologica delle città

CAM – Edilizia

DM 23 giugno 2022 n. 256 - GURI 183 del 6 agosto 2022

Criteri Ambientali Minimi per l’Affidamento del servizio di progettazione e dei lavori per interventi edilizi

2.3 SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI DI LIVELLO TERRITORIALE-URBANISTICO

2.3.3 Riduzione dell’effetto “isola di calore estiva” e dell’inquinamento atmosferico

Per i progetti di interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione urbanistica deve essere garantito che per le coperture degli edifici (ad esclusione delle superfici utilizzate per installare attrezzature, volumi tecnici, pannelli fotovoltaici, collettori solari e altri dispositivi), siano previste sistemazioni a verde, oppure tetti ventilati o materiali di copertura che garantiscano un indice SRI (*Solar Reflectance Index*) di almeno 29 nei casi di pendenza maggiore del 15%, e di almeno 76 per le coperture con pendenza minore o uguale al 15%.

Link:

<https://gpp.mite.gov.it/Home/Cam>

CAM – Verde pubblico

DM 63 del 10 marzo 2020 - GURI 90 del 4 aprile 2020

Criteri ambientali minimi per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde. (20A01904)

Novità introdotte:

- Nuovi strumenti di pianificazione per migliorare la cura e la valorizzazione del patrimonio verde presente nelle nostre città, basati sulla conoscenza effettiva del territorio anche attraverso la realizzazione di censimenti delle vegetazioni locali;
- introduzione di pratiche a basso impatto ambientale sia per la fornitura di prodotti per la cura del verde che per i trattamenti per la cura delle piante, come ad esempio la lotta biologica e la difesa integrata;
- promozione dei processi di economia circolare attraverso la promozione del compostaggio, l'impiego di sistemi che garantiscano l'efficienza degli impianti di irrigazione, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile per il riscaldamento delle serre, l'incentivo alla produzione biologica;
- formazione: progetto CReAMO PA: corso di formazione specialistica a distanza (FAD) sugli acquisti verdi per la Pubblica Amministrazione: "Green Public Procurement: strumenti e metodi per l'applicazione dei CAM negli appalti della PA".
<https://creiamopa.mite.gov.it/>

Specifiche dei criteri e relativa verifica:

- Competenze tecniche e professionali: Qualifica di "Manutentore del Verde"
- Rapporto periodico sulla **Formazione** e aggiornamento professionale erogata
- **Formazione continua**

Indicazioni aggiuntive:

Piano di comunicazione: per promuovere il coinvolgimento attivo dei cittadini e dei vari portatori di interesse e di garantire la corretta informazione dei cittadini e degli operatori in caso di richieste specifiche al fine di migliorare la valorizzazione delle aree verdi gestite

Link:

https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/2020/guri_dm_63_del_2020_verde_002.pdf

[https://www.mase.gov.it/comunicati/ambiente-novita-sui-criteri-ambientali-mense-e-verde-pubblico-e-formazione-distanza-dei-funzionari-PA-su-acquisti-verdi\)-comunicato-stampa](https://www.mase.gov.it/comunicati/ambiente-novita-sui-criteri-ambientali-mense-e-verde-pubblico-e-formazione-distanza-dei-funzionari-PA-su-acquisti-verdi)-comunicato-stampa)

1.2.2 Meccanismi nazionali di incentivazione: "Bonus verde" e PNRR

Il "bonus verde"⁸ è stato istituito dall'art. 1, commi da 12 a 15, Legge 27 dicembre 2017 n° 205, e prevede la possibilità di detrarre dall'Irpef lorda il 36% delle spese sostenute (nel limite massimo di 5 mila euro) per interventi eseguiti su unità immobiliari ad uso abitativo:

- sistemazione a verde di aree scoperte private di edifici esistenti, unità immobiliari, pertinenze o recinzioni, impianti di irrigazione e realizzazione pozzi;
- realizzazione di coperture a verde e di giardini pensili.

⁸<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/bonus-verde/infogen-bonus-verde-cittadini>

BONUS VERDE

È una detrazione Irpef del 36% sulle spese sostenute, a partire dal 2020, per i seguenti interventi:

- sistemazione a verde di aree scoperte private di edifici esistenti, unità immobiliari, pertinenze o recinzioni, impianti di irrigazione e realizzazione pozzi;
- realizzazione di coperture a verde e di giardini pensili.

La detrazione va ripartita in dieci quote annuali di pari importo e va calcolata su un importo massimo di 5.000 euro per unità immobiliare a uso abitativo, comprensivo delle eventuali spese di progettazione e manutenzione connesse all'esecuzione degli interventi.

Il pagamento delle spese deve avvenire attraverso strumenti che consentono la tracciabilità delle operazioni (per esempio, bonifico bancario o postale).

Beneficiari

Può beneficiare della detrazione chi possiede o detiene, sulla base di un titolo idoneo, l'immobile oggetto degli interventi e che ha sostenuto le relative spese.

La detrazione massima è di 1.800 euro per immobile (36% di 5.000).

Il bonus verde spetta anche per le spese sostenute per interventi eseguiti sulle parti comuni esterne degli edifici condominiali, fino a un importo massimo complessivo di 5.000 euro per unità immobiliare a uso abitativo. In questo caso, ha diritto alla detrazione il singolo condomino nel limite della quota a lui imputabile, a condizione che la stessa sia stata effettivamente versata al condominio entro i termini di presentazione della dichiarazione dei redditi.

La Legge di Bilancio 2022 ha prorogato questa agevolazione fino al 2024.

Link:

<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/aree-tematiche/casa/agevolazioni/bonus-verde>

<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/bonus-verde/infogen-bonus-verde-cittadini - Scheda informativa>

La Missione 2 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), "Rivoluzione verde e transizione ecologica", si prefigge di colmare le lacune strutturali che ostacolano il raggiungimento di un nuovo e migliore equilibrio fra natura, sistemi alimentari, biodiversità e circolarità delle risorse, in accordo con gli obiettivi del Piano d'azione

per l'economia circolare varato dall'UE. Sono stati dedicati complessivamente 200 milioni di euro al bando PNRR "Isole Verdi", che cita esplicitamente l'installazione di tetti e pareti verdi come soluzioni innovative e con impatti positivi sull'ambiente e sul risparmio energetico (box M2C1).

PNRR**M2C1****Missione 2 - Componente 1 (Agricoltura sostenibile ed economia circolare)****Misura 3 – Sviluppare progetti integrati – Investimento 3.1 - Isole Verdi - Intervento IV - Efficienza energetica del patrimonio immobiliare pubblico di proprietà dei comuni beneficiari del finanziamento per ridurre i consumi energetici - Tipologia IV.A Efficienza energetica del patrimonio immobiliare pubblico**

“Efficientamento energetico dell’involucro edilizio (coperture piane o inclinate; strutture opache verticali; strutture opache orizzontali verso locali non riscaldati o verso l’esterno; sostituzione di chiusure apribili e assimilabili; installazione di schermature e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti; pellicole solari; serre solari); **soluzioni per contrastare l’isola di calore: alberi e vegetazione; tetti verdi; pareti verdi; cool roof**, strade e marciapiedi con asfalto high-tech che riflette un maggiore quantitativo di luce solare e che rimangono molto più freddi sia di giorno sia di notte; materiali naturali, che presentano un’elevata riflettanza alla radiazione solare; rivestimenti intelligenti composti da additivi nano-tecnologici come vernici termocromatiche e *Phase Change Materials* (PCM), che migliorano le proprietà ottiche e termiche.”

Spesa ammissibile fino al 100% dell’importo della tipologia.

Link:

<https://www.mase.gov.it/pagina/investimento-3-1-isole-verdi>



2. BENEFICI DI TETTI E PARETI VERDI



Capitolo in breve

Tetti e Pareti Verdi sono ecosistemi artificiali che migliorano la sostenibilità urbana svolgendo numerose funzioni e fornendo una vasta gamma di servizi e benefici ambientali, sociali ed economici, interagenti a varie scale, che migliorano le prestazioni degli edifici e dell'ambiente urbano.

I Tetti Verdi contribuiscono alla conservazione dell'energia per il raffreddamento e il riscaldamento; alla deposizione di particolato e mitigazione dell'inquinamento atmosferico; al controllo del deflusso e dell'inquinamento idrico; alla promozione

della biodiversità; forniscono benefici estetici e per la salute.

Questo capitolo è una revisione organica della letteratura sui Tetti Verdi e Pareti Verdi, fornendo una vasta rassegna.

I risultati più salienti all'attualità dicono che i tetti verdi possono ridurre il carico di raffreddamento fino al 70%, raggiungendo una riduzione della temperatura dell'aria interna fino a 15°C; una riduzione delle concentrazioni di inquinanti come PM2.5, PM10, O₃, NO₂, sequestro del carbonio e riduzione del rumore urbano fino a 10 dB.

2.1 Lo Stato dell'arte

La sostenibilità urbana è diventata una delle maggiori sfide negli ultimi decenni poiché i cambiamenti climatici, le attività antropiche e l'aumento dell'urbanizzazione hanno portato a una serie di conseguenze ambientali negative come il riscaldamento globale, l'inquinamento atmosferico, l'assottigliamento dell'ozono stratosferico, l'effetto isola di calore urbana (*UHI, Urban heat island*), rumore eccessivo e una diminuzione della biodiversità (Cook LM, 2021; Liu H, Kong F, 2021; Espinosa-Paredes SQ-GG, Polo-Labarrios, 2020) contribuendo al degrado della salute mentale, psicologica e fisica dell'uomo (Williams KJH, Lee KE, Sargent L, Johnson KA, 2019).

Secondo le Nazioni Unite più della metà della popolazione mondiale vive in aree urbane (*UN-HABITAT*, 2013) e le proiezioni (*World Urbanization Prospects*, 2018) mostrano che nel 2050 l'emigrazione da zone rurali a zone urbane salirà al 70%; per l'Italia l'80%. L'aumento dell'urbanizzazione ha ridotto negli ultimi 50 anni l'area destinata agli spazi verdi

urbani per più del 40% (Kabir et al. 2018). Le città occupano solo il 3% della superficie terrestre, ma sono responsabili del 60-80% del consumo energetico globale, del 75% delle emissioni globali di carbonio e di oltre il 60% dell'uso delle risorse (Cook LM, 2021). Il settore edilizio da solo rappresenta più del 40% del consumo energetico mondiale e contribuisce a più del 30% delle emissioni di gas serra a livello mondiale (Ngarambe et al. 2020; Himeur et al. 2020). Questo settore potrebbe da solo ridurre le emissioni globali di gas serra del 29% (Subramanyam et al. 2017), facendo risparmiare il 50% dell'energia entro il 2050 (Dean et al. 2016). L'*Environmental program* delle Nazioni Unite stima che se a Pechino il 70% dei tetti venisse ricoperto di vegetazione i livelli di anidride carbonica si ridurrebbero dell'80% (Terra Nuova, 2009).

Nei grandi agglomerati urbani gli edifici invadono lo spazio fisico, spesso in modo aggressivo; la necessità di aumentare lo spazio verde urbano e migliorare le

prestazioni energetiche e ambientali degli edifici, con l'obiettivo di migliorare il microclima locale e la qualità di vita complessiva degli abitanti delle città, ha portato a una nuova tendenza in tutto il mondo: creare nuovi spazi "verdi" a un altro livello, un livello "superiore": i **tetti vegetati** (Velázquez et al. 2018; Shafique et al. 2018; Mesimäki, 2018).

Il valore ideale di spazio verde a disposizione delle singole persone residenti nelle aree urbanizzate dovrebbe essere pari a 50 m² pro capite come raccomandato dall'OMS (2012).

L'idea di piantare tetti in modo che agiscano come filtri naturali all'interno del tessuto urbano ha incontrato un ampio consenso negli ultimi tempi in quanto è stata sempre più riconosciuta come una tecnologia ad alto valore funzionale, oltre che estetico, entrando a far parte della cosiddetta "**bioarchitettura**" in virtù dei suoi vantaggi in termini di efficienza energetica e sostenibilità. (Berardi et al. 2014, Karteris et al. 2016, Kolokotsa et al. 2020).

Al fine di raggiungere tali benefici in molti Paesi sono state introdotte leggi speciali che incentivano o addirittura obbligano i cittadini a costruire tetti verdi. In Europa, ad esempio, la città di Basilea in Svizzera, che ha la più grande superficie *pro capite* di tetti verdi al

mondo, ha approvato un emendamento alla legge edilizia dal 2002 secondo cui tutti i tetti piani nuovi e ristrutturabili dovevano essere ricoperti di verde, seguendo specifiche linee guida di progettazione (*Climate Adapt*, 2019). Negli Stati Uniti San Francisco è stata la prima città a richiedere (2017) che alcuni nuovi edifici avessero impianti solari, tetti verdi o una combinazione di entrambi tra il 15 e il 30% dello spazio disponibile sul tetto (Snow, 2016). Secondo la commissione Europea (2014), l'utilizzo dei tetti verdi può essere dovuto a diversi obiettivi di diversi tipi di investitori/utenti (ad esempio, privati o pubblici), di tipologie di edifici (ad esempio, residenziali, governativi e industriali) e di contesti (ad esempio, ambientale, sociale ed economico).

Le infrastrutture verdi sono progettate e realizzate come ecosistemi artificiali che svolgono numerose funzioni e forniscono una vasta gamma di servizi e benefici ambientali, sociali ed economici interagenti a varie scale, migliorando le prestazioni degli edifici (benefici su scala edificio), e dell'ambiente urbano (benefici su scala urbana) (Mihalakakou et al. 2023), tabella 2.1 e figura 2.1.

Tabella 2.1 - Benefici delle infrastrutture verdi

Indicatore di sostenibilità	criteri	scala
Ambientali	Aumentare la qualità dell'aria e ridurre l'inquinamento atmosferico	urbana
	Riduzione dell'isola di calore urbana e del bilancio termico	urbana
	Riduzione e gestione dei deflussi idrici	edificio
	Aumentare l'uso di risorse rinnovabili e sostenibili	urbano
	Migliorare la conservazione della biodiversità	urbano
	Aumento del valore immobiliare di un edificio	edificio
	Riduzione del consumo energetico	edificio
Economici	Aumento della longevità del tetto	edificio
	Creazione di posti di lavoro	urbano
	Espansione dell'agricoltura urbana	urbano
	Riduzione del rischio di incendi	edificio
	Migliorare efficienza pannelli solari	edificio
	Incentivi economici	edificio
	Riduzione dell'inquinamento acustico	edificio
Sociali	Miglioramento della salute pubblica	urbano
	Utilizzo come giardino	edificio
	Utilizzo di spazi per intrattenimento	urbano
	Incremento del valore di edifici	edificio
	Città panoramiche	urbano
	Migliore qualità di vita	urbano



Figura 2.1 - Alcuni vantaggi dell'installazione di un tetto verde

Fonte: <https://www.infobuild.it/approfondimenti/tetti-verdi-sistemi-drenaggio-sostenibile/>

2.2 Benefici economici a scala di edificio

2.2.1 Riduzione dei consumi energetici e miglioramento del *comfort* termico

I tetti verdi possono riflettere circa il 27% della radiazione solare, assorbitarne il 60% attraverso la fotosintesi e trasmettere fino al 13% del resto al terreno di coltura (Bevilacqua et al.

2016). La temperatura dei tetti verdi può essere dai 15 ai 25 °C più bassa rispetto ai tetti convenzionali (U.S. GSA, 2011; Campiotti et al. 2021), figura 2.2.

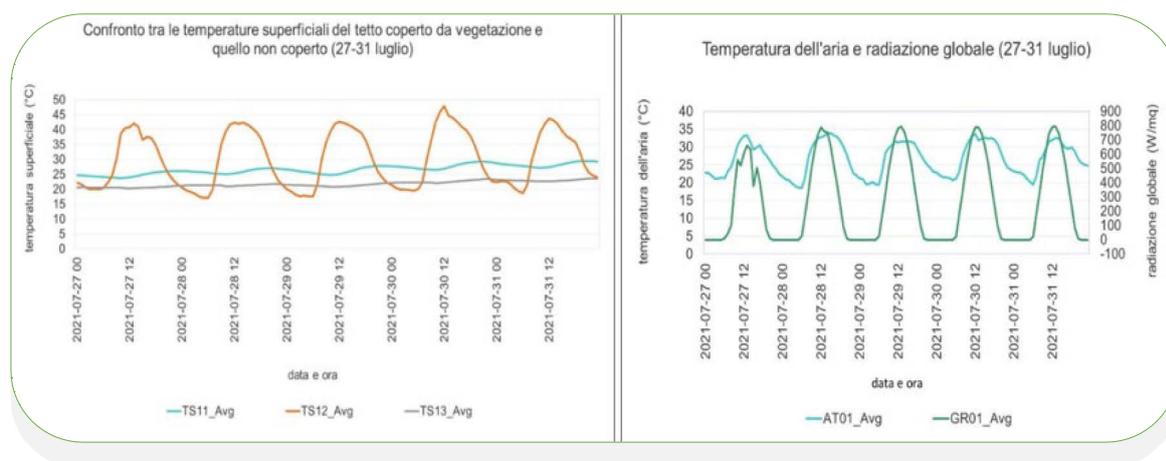


Figura 2.2 - Dati rilevati dal sistema di monitoraggio presso l'edificio prototipo sito nel Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma nel periodo 27-31 luglio 2021. (figura a sinistra) Temperature superficiali (TS) medie rilevate sulla superficie sottostante il manto verde. TS11: manto erboso a *Graminaceae*; TS13: manto erboso a *Sedum*; TS12: controllo (tetto nudo). (figura a destra) Temperatura dell'aria (AT) e radiazione globale (GR) medie rilevate dalla stazione meteorologica in situ. AT01: temperatura dell'aria; GR01: radiazione globale. (Campiotti et al. 2021)

L'effetto sul comfort termico interno dipende dalla riduzione della temperatura del tetto e si limita al piano in cui è installato il tetto verde. Una copertura verde rispetto a una copertura tradizionale incrementa le prestazioni energetiche principalmente attraverso 3 meccanismi (figura 2.3):

- **controllo dell'assorbimento solare:** la presenza di vegetazione sulla superficie esterna migliora gli scambi radiativi e mitiga l'oscillazione delle temperature limitando il rischio di surriscaldamento estivo;

- **accumulo/rilascio igrotermico:** la vegetazione è in grado di accumulare umidità dall'ambiente e rilasciarla nel tempo modificando gli scambi di calore latente fra gli strati con l'effetto di attenuare i flussi energetici estivi;
- **isolamento termico:** i materiali che compongono la stratigrafia di una copertura se ben progettati sono in grado di proteggere gli ambienti sottostanti dalle escursioni termiche invernali ed estive.

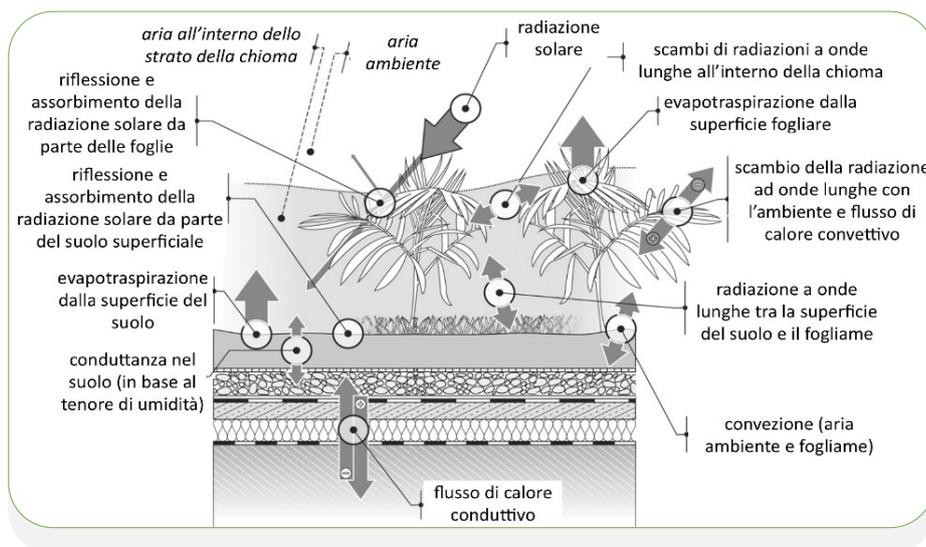


Figura 2.3 - Processi coinvolti nel trasferimento del calore nei tetti verdi (Mihalakakou et al. 2023)

Tali meccanismi favoriscono lo scambio di energia latente e mitigano positivamente l'oscillazione termica all'interno della struttura, soprattutto nei periodi più caldi, riducendo l'energia necessaria sia per il raffrescamento sia per il riscaldamento con conseguente risparmio energetico.

Le superfici dei tetti coperte da arbusti, alberi e tappeti erbosi dimostrano una migliore prestazione termica e un basso guadagno di calore rispetto alle superfici coperte da tetti rigidi e spogli: alcuni risultati in una giornata tipica, tabella 2.2. Così pure condizionanti risultano i substrati di coltivazione, tabella 2.3.

Le prestazioni energetiche dei tetti verdi dipendono quindi (Manso et al. 2021) dal tipo di tetto verde (intensivo, estensivo, ecc.), dalle caratteristiche del sistema (area fogliare, geometria, tipo di substrato, profondità e contenuto di umidità, materiali di ogni strato e connessione all'edificio) dalle condizioni climatiche locali (stagioni, esigenze di riscaldamento o raffreddamento) e dalle caratteristiche fisiche dell'edificio (altezza, isolamento, materiali, involucro dell'edificio, superficie vetrata, orientamento solare, ombreggiatura), tabella 2.4 (Mihalakakou et al. 2023).

Tabella 2.2 - Risultati del guadagno e della perdita di calore per metro quadrato per diverse coperture (Bowler et al. 2010)

Superficie superiore tetto	Quantità totale di guadagno di calore in un giorno (kJ/m ²)	Quantità totale di perdite di calore in un giorno (kJ/m ²)
Arbusto	0	104,2
Tappeto erboso	29,2	62,1
Albero	15,6	53,3
Terreno nudo	86,6	58
Superficie dura	366,3	4,2

Tabella 2.3 - Proprietà termiche di vari tipi di substrati di coltivazione per tetti verdi (Coma et al. 2017)

Campione	Densità apparente (kg/m ³)	Capacità di accumulo del calore (J/(kg*K))	Calore conducibile (W/(m*K))
Substrato 1	7880	873	0,138
Substrato 2	922	760	0,145
Substrato 3	1360	773	0,196
Substrato 4	545	748	0,199
Substrato 5	376	724	0,158

Nell'ultimo decennio numerosi studi hanno dimostrato il ruolo dei tetti verdi nella riduzione della domanda di energia per il riscaldamento e il raffrescamento della temperatura dell'aria interna, con conseguente riduzione del consumo energetico e miglioramento del *comfort* termico: la tabella 4 fornisce una sintesi dei più importanti risultati di esperimenti condotti in aree a clima mediterraneo continentale; la tabella 2.5 alcuni dei più importanti risultati provanti la riduzione dei consumi energetici e il miglioramento del *comfort* termico (Manso et al. 2021).

La tabella 2.6 riporta risultati di *performance* energetica di ricerche condotte in aree climatiche diverse, categorizzate secondo il sistema di classificazione climatico di Köppen-Geiger, su edifici isolati e non, tra diversi tipi di tetti verdi e tetti convenzionali, tetti 'neri' e tetti 'bianchi' (tetti con superficie ad elevata riflessione e una bassa albedo) (Berardi et al. 2014).

Tra tutte le regioni il clima mediterraneo con estati calde (*Csa*) è il più testato. Il massimo risparmio energetico si ottiene quando si confrontano tetti verdi intensivi con tetti neri, specialmente su tetti non isolati, raggiungendo l'84% nel raffreddamento e il 48% per riscaldamento. I tetti verdi si sono rivelati più efficaci dei tetti bianchi in inverno,

soprattutto in edifici non isolati; non sono altrettanto efficaci in estate, tranne che quelli di tipo intensivo che solitamente hanno bisogno di substrato più profondo.

Nel clima tropicale (*Af*), dove è necessario solo il raffreddamento, i test sviluppati (Wong et al. 2003) in un edificio commerciale di Singapore dimostrano un risparmio energetico dei tetti verdi estensivi superiore ai tetti neri anche in edifici non isolati fino al 63%. I risultati ottenuti nella città del Cairo in Egitto (*Bwh*), dimostrano che nella stagione di riscaldamento i tetti verdi estensivi sono più efficaci di quelli bianchi e neri, realizzando rispettivamente il 22% e il 52% di risparmio energetico (Zinzi e Agnoli, 2012), non altrettanto promettenti per il raffreddamento rispetto ai tetti bianchi. Nel clima caldo semi-arido (*Bsh*) il risparmio energetico per il raffreddamento di un tetto verde semi-intensivo ha raggiunto una media del 7,25% rispetto a un tetto tradizionale ma non erano così efficaci come i tetti bianchi (Ascione et al. 2013).

Nei climi freddi (*Cfb* e *Dfb*), dove gli inverni richiedono maggiori carichi di riscaldamento, tutti i tipi di tetto verde si sono dimostrati più efficaci dei tetti bianchi e neri. In estate i tetti verdi dimostrano di ridurre carichi energetici rispetto ai tetti neri, ma non così tanto come nei climi più caldi. I massimi risparmi

energetici sono stati osservati con i tetti verdi estensivi nel clima oceanico (*Cfb*): raggiungendo l'84% negli edifici isolati nella stagione di raffreddamento, e il 100% in quelli non isolati, ma non nella stagione di riscaldamento.

Più di recente alcuni autori hanno studiato il potenziale delle pareti verdi per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, grazie alla riduzione della temperatura superficiale e all'ombreggiamento fornito dalle piante (Coma et al. 2017, Mazzali et al. 2012, Perez et al. 2017). In un clima *Csa* rispetto a una parete convenzionale le *green façades*⁹ possono avere un'efficienza energetica del 34% (Perez et al. 2017) e le *living walls* del 59% (Coma et al. 2017) 66% (Mazzali et al. 2012), durante la stagione di raffreddamento.

Nel complesso si può evidenziare quanto segue:

- a) i tetti verdi contribuiscono a una sostanziale riduzione del carico di raffreddamento e a un aumento del risparmio energetico annuale;
- b) il carico di raffreddamento può arrivare fino al 70%, mentre il risparmio energetico annuale varia dal 10 al 60%;
- c) i tetti verdi possono ridurre significativamente la temperatura dell'aria interna. In diversi casi, questa riduzione è stata misurata o prevista fino a 15 °C;
- d) i tetti verdi con alberi hanno superato i tetti verdi semplici, anche quando questi ultimi realizzano una copertura estesa;
- e) ombreggiando un edificio con alberi vicini, è stato possibile ridurre ulteriormente la temperatura interna;
- f) la combinazione di tetti verdi e pareti verdi può ottenere una maggiore riduzione della temperatura interna e migliorare il *comfort* termico.

2.2.2 Maggiore efficienza degli impianti fotovoltaici

Il fotovoltaico, quale fonte di energia rinnovabile, è particolarmente importante per i Paesi con elevato irraggiamento; tuttavia, le prestazioni del fotovoltaico possono essere migliorate se le celle vengono esposte a temperature ambientali non troppo elevate. Quando la loro superficie diventa più calda i pannelli fotovoltaici diventano meno efficienti nel convertire la radiazione solare in elettricità. Studi effettuati in diversi climi dimostrano che l'associazione di pannelli fotovoltaici con sistemi di inverdimento può migliorarne le

prestazioni elettriche, poiché la presenza di vegetazione può abbassare la temperatura superficiale delle celle fotovoltaiche (Schindler et al. 2016). In effetti i tetti coperti dalla vegetazione assorbono meno radiazioni solari rispetto ai tetti convenzionali, trasformando meno radiazione in calore sensibile. In questo sistema combinato i pannelli sono installati sopra il verde pensile con inclinazione adatta (a seconda della posizione), creando una zona d'ombra dietro di essi, evitando il surriscaldamento del sistema (Ogaili et al. 2016).

⁹ Per la definizione di *green façade* e *living walls* vedere il Paragrafo 3.1.2

Tabella 2.4 - Sintesi delle principali caratteristiche costruttive e operative, periodo di sperimentazione, ubicazione, parametri misurati e principali risultati degli studi sperimentali su tetti verdi (Mihalakakou et al. 2023)

Autori	Elementi costruttivi	Periodo	Luogo	Parametri misurati	Principali risultati
Yaghoobian et al. 2015	Tetto verde per il 40% dell'area totale. Edificio a 2 piani	2002	Atene, Grecia	Temp. ambiente interna, umidità relativa interna ed esterna	Riduzione carico di raffreddamento 6 - 49% intero edificio 12-87% ultimo piano
Foustalieraki et al. 2017	cella di prova con tetto in calcestruzzo e cella di prova tetto verde	2004	Cardiff, UK	Temperatura superficiale interna ed esterna; umidità relativa	Temperatura superficiale esterna calcestruzzo fluttuava tra 14 e 38 °C; temp. sup. interna da 16 a 38 °C; T esterna superficie verde da 22 a 27 °C; temp. sup. interna della superficie verde tra 23 e 28 °C.
Solcerova et al. 2017	Tetto verde con base in cemento, strato drenante e strato filtrante; LAI pari a 2	Inverno/estate 2013	Lisbona, Portogallo	Temperatura esterna e interna, umidità rel., radiazione solare globale, T superficiale, flussi di calore	Risultati teorici confrontati con sperimentali: modello validato con successo
Berndtssohn et al. 2009	Tetto verde di 10.000 m ² con 16.000 piante di 14 specie su edificio isolato di tre piani con uffici	Estate 2013	Atene, Grecia	Temperatura <i>indoor</i> e <i>outdoor</i> ; Temperatura circostante l'area piantumata, temperatura del terreno e dell'area della chioma	Temperatura superficiale sistema tetto verde 15 °C inferiore a tetto convenzionale
Stella et al. 2021	Tre cubicoli simili con sistema HVAC per riscaldamento /raffreddamento: uno con tetto convenzionale, gli altri due tetto verde estensivo profondo 9 cm	Inverno 2012 estate 2013	Puigverd de Lleida, Spain	Temperatura aria ambiente interna e umidità, T pareti interne, consumo elettrico pompe di calore, radiazione solare totale, T e umidità aria esterna	Riduzione fino al 16,7% in estate del consumo energetico nei cubicoli con tetti verdi estensivi; invece aumento dell'11% in inverno
Vijayaraghavan et al. 2016	Sette tetti verdi estesi uguali su edificio scolastico a un piano. Controllo con ghiaia bianca; 2 cm di drenaggio, 0,3 cm di tessuto e 3,5 cm terreno; strato anti radice e specie erbacee diverse	2010-2015	Utrecht, Netherlands	Temperatura aria esterna, radiazione solare, velocità del vento, precipitazioni, T aria a 15 e 30 cm al centro di ogni tetto verde, a 2 cm di profondità nel terreno e nella ghiaia, umidità del suolo e deflusso	Rispetto a un tetto di ghiaia convenzionale, l'aria ambiente sopra i tetti verdi era più fredda durante la notte e più calda durante il giorno, mostrando così un effetto di raffreddamento durante la notte, quando l'effetto UHI è più forte.
Saadatian et al. 2013	4 tetti di cui convenzionale e 3 tetti verdi estensivi di 50 m ² con piccole differenze di vegetazione, spessore strato isolante e proprietà idrauliche dei materiali utilizzati	2016-2017	Calabria, Italy	Temp. dell'aria ambiente, radiazione solare totale, radiazione a onde lunghe, umidità relativa, velocità e direzione del vento, precipitazioni, pressione atmosferica, temp. del substrato e contenuto volumetrico di acqua	Il risparmio energetico annuale per un tetto verde non isolato ha raggiunto il 34,9% con funzionamento continuo e il 34,7% con funzionamento intermittente, con un risparmio energetico più elevato in estate

Tabella 2.5 - Sintesi dei metodi di implementazione, delle modalità di indagine e dei principali risultati di efficienza energetica per gli studi su tetti verdi (Mihalakakou et al. 2023)

Autori	Implementazione	Metodologia di ricerca	Luogo	Principali risultati
Niachou et al. 2001	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' per periodo estivo di Sperimentazione intero anno per i calcoli teorici	Near Athens, Greece	(a) Risparmio energetico del 37%/anno/edificio non isolato con tetto verde che ha raggiunto il 48% con ventilazione notturna. (b) Temperature indoor periodo estivo in presenza di tetto verde significativamente più bassi
Santamouris et al. 2007	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' su base teorica nel periodo sperimentale autunnale	Athens, Greece	(a) Riduzione carico di raffreddamento del 6-49% per intero edificio e del 12-87% per ultimo piano. (b) Un aumento non significativo del carico di riscaldamento
Spala et al. 2008	Simulazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Athens, Greece	Notevole riduzione del 40% del carico di raffreddamento
Kolokotsa et al. 2013	Simulazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Europ climates:	Tetti verdi e bianchi dimostrati eccellenti tecnologie per mitigazione effetto isola di calore urbana e riduzione del fabbisogno energetico degli edifici
Alcazar et al. 2016	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Clima mediterraneo continentale	(a) L'effetto di raffreddamento del tetto verde dipende fortemente dal LAI. (b) Riduzione della temperatura dell'aria interna fino a 2°C con alberi nelle vicinanze dell'edificio esaminato
Foustalieraki et al. 2017	Sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Athens, Greece	a) Un GR può funzionare in modo soddisfacente come strato isolante. (b) I valori di temperatura superficiale dell'area piantumata significativa- mente inferiori a quelli del tetto convenzionale, contribuendo alla riduzione del riscaldamento globale. (c) La riduzione complessiva del carico di energia annuale nella misura del 15%, con una riduzione del carico da raffreddamento del 18,7% e del carico da riscaldamento dell'11,4%
Solcerova et al. 2017	Sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Utrecht, Netherlands	Un tetto di <i>sedum</i> offre un leggero effetto di riscaldamento diurno e un significativo raffreddamento notturno, contribuendo a mitigare l'isola di calore urbana
Ascione et al. 2013	Simulazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Climi europei caldi e freddi	(a) Nei climi caldi riduzione dell'11% per il carico di raffreddamento; non significativo per riscaldamento; (b) Nei climi freddi riduzione del fabbisogno energetico di riscaldamento e raffreddamento fino al 7%.
Heidarinejad et al. 2015	Simulazioni e test in tre città con climi diversi	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	La Rochelle, France; Athens, Stoccolma	(a) Impatto del 52% sul carico di raffreddamento; non significativa per riscaldamento; (c) riduzione del fabbisogno energetico totale annuo del 32% per Atene, 6% La Rochelle e '8% per il clima freddo di Stoccolma
Silva et al. 2016	Sperimentazione su tetti estensivo, intensivo e semi	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Lisbon, Portugal	(a) Per il fabbisogno di riscaldamento un comportamento simile (b) Tetti verdi semi-intensivi 36% e intensivi 17% in meno di energia

Autori	Implementazione	Metodologia di ricerca	Luogo	Principali risultati
Karachaliou et al. 2016	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Athens, Greece	(a) Differenza di T superficiale tra tetto verde e convenzionale fino a 15°C. (b) Valori temperatura aria interna in estate diminuiscono fino a 0,8°C. (c) Rid. cons. energetico annuo fino al 19% per raffr. e fino all'11% per il risc.
Coma et al. 2018	Sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Spain	Riduzione consumo energia tetti verdi estensivi del 16,7% in estate; aumento dell'11,1% durante l'inverno
Bevilacqua et al. 2020	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	Calabria, Italy	Risparmio energetico annuo per tetto verde non isolato del 34,9% in continuo e 34,7% con funzionamento intermittente, il massimo in estate.
Kotsiris et al. 2012	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	vicino Athens, Greece	(a) 21,4-21,8% di risparmi energetico per riscaldamento vs controllo. (b) Risparmi di energia dal 60,5 al 62,5% per raffreddamento,
Virk et al. 2015	Simulazione e caso studio	Quantificazione effetto 'cooling' e 'heating'	London, UK	(a) I tetti verdi riducono il carico di riscaldamento e raffreddamento ma quest'ultimo dipende fortemente dallo stato di irrigazione. (b) Rid. del carico di raffreddamento più efficaci nelle ore notturne.
Cirincione et al. 2021	Simulazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Esch-sur-Alzette Luxembourg, Palermo, Italy	Diminuzione della temperatura di 2°C a Esch-sur-Alsace e di 5°C a Palermo rispetto ai valori attesi di PMV (da più grandi di 0.5 a valori più piccoli di .5)
Evangelisti et al. 2020	Simulazione e sperimentazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Roma, Italy	Durante una tipica settimana estiva (dal 10 al 17 agosto), l'indice PMV è rimasto all'interno della fascia (-1) – (1)
Pastore et al. 2017	Simulazione	Quantificazione effetto 'cooling'	Palermo, Italy	All'ultimo piano l'effetto del tetto verde è risultato significativo con diminuzione della T interna fino a un max di circa 3°C con porte e finestre aperte.

Tabella 2.6. Massimo risparmio energetico dei tetti verdi rispetto ai tetti neri e ai tetti bianchi

Massima Efficienza Energetica (%)

T. verde tipo	Stagione	Isolamento	T. verdi vs t. neri						T. verdi vs t. bianchi						
			Csa	Af	Bwh	Bsh	Cfb	Dfb	Csa	Af	Bwh	Bsh	Cfb	Dfb	
Estensivo	raffrescamento	isolati	53	47	1		84	-1			-65		-20	-21	
		non isolati	54	79	11		100		-190		-115				
	riscaldamento	isolati	53		22		8	8	73		54		16	10	
		non isolati	48		23			48	71		54				
Semi intensivo	raffrescamento	isolati	41				8	7	7	-8			-5	11	-12
		non isolati	67							-48					
	riscaldamento	isolati	30					8	6	58				16	10
		non isolati	42							68					
Intensivo	raffrescamento	isolati	62					10	1	4				-7	-7
		non isolati	84							29					
	riscaldamento	isolati	29					6	5	57				14	9
		non isolati	48							71					

Quando vengono applicate sotto i pannelli fotovoltaici chiaramente le specie vegetali devono essere ombrofile (Lamnatou et al. 2015). Nei climi più caldi che mettono in crisi alcune specie vegetali (piante C3) l'ombra creata dai pannelli può aumentare la produttività biotica dei tetti verdi. Anche altri fattori possono influenzare le prestazioni dei tetti verdi con pannelli fotovoltaici, come le condizioni climatiche, le specie vegetali e la radiazione riflessa dalla chioma delle piante (albedo). I sistemi di tetti verdi estensivi si sono dimostrati più appropriati per la presenza di specie vegetali con radici poco profonde e fusti bassi, alta resistenza alle condizioni

atmosferiche, ai parassiti e alle malattie e bassa esigenza di nutrienti /irrigazione/ manutenzione.

Studi recenti hanno confrontato le prestazioni elettriche dei tetti verdi fotovoltaici con i tetti convenzionali. La figura 2.4 mostra le prestazioni elettriche (%) ottenute da diversi autori che confrontano il fotovoltaico con i tetti verdi con il fotovoltaico collocato su diversi tipi di tetti piani, come tetti in bitume (Köhler et al. 2002), tetti in ghiaia, tetti bianchi (Ogaili et al. 2016), e tetti neri (Nagengast et al. 2013), in diverse situazioni climatiche (Köppen-Geiger).

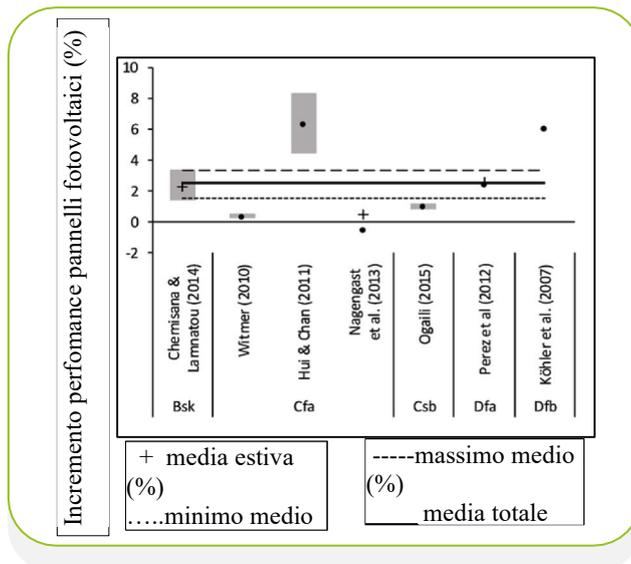


Figura 2.4 - Performance dei pannelli fotovoltaici in combinazione ai tetti verdi

I risultati indicano un aumento delle prestazioni fotovoltaiche che raggiungono un minimo medio dell'1,59% e un massimo medio del 3,35%, con un aumento medio del 2,6%. Le prestazioni del fotovoltaico non sembrano discriminare tra tetti neri (incremento dallo 0,5% all'1,2%) e tetti bianchi (incremento dallo 0,7% allo 0,8%).

Inoltre, nell'ambito della valutazione del ciclo di vita i tetti verdi fotovoltaici risultano a lungo

termine più rispettosi dell'ambiente rispetto a quelli combinati con tetti convenzionali, grazie alla maggiore produzione di energia elettrica. Più rara la sperimentazione di pannelli fotovoltaici su pareti verdi (figura 2.5). Moren & Korjenic (2017) hanno dimostrato come la creazione di uno spazio *buffer* verde tra la facciata dell'edificio e i pannelli fotovoltaici agisca come strumento di regolazione della temperatura per entrambi gli strati adiacenti.



Figura 2.5 - Un esempio di possibile installazione di pannelli fotovoltaici su pareti verdi

Anche la combinazione di pannelli fotovoltaici con pareti verdi riduce da 1°C a 4°C le temperature di esercizio dei moduli fotovoltaici, oltre che agire da isolante sulla

facciata dell'edificio. La struttura dell'impianto consente inoltre ancoraggio alle rampicanti e/o protezione dall'eccessiva insolazione in estate e freddo in inverno.

2.2.3 Durata prolungata del rivestimento del tetto

Gli attuali tetti convenzionali includono una membrana impermeabilizzante che di solito ha una durabilità compresa tra i 10 e i 20 anni, mentre i tetti verdi potrebbero assicurare una durata in servizio di 50 anni o più. Tuttavia, a Berlino esistono vecchi tetti verdi da oltre 90 anni senza essere sostituiti (Porsche et al. 2003). I tetti verdi funzionano come una protezione per la membrana impermeabile dall'esposizione diretta alle radiazioni solari ultraviolette (Cascone et al. 2019).

Aiutano a limitare la fluttuazione diurna della temperatura della superficie esterna degli edifici, avendo un'albedo più elevata rispetto ai sistemi di rivestimento convenzionali (Berardi et al. 2014). I tetti verdi, anche se più costosi, hanno spesso una durata in servizio più lunga dei materiali riflettenti tradizionali (ad esempio i *cool roof*) (William et al. 2016). La durata in servizio dei tetti e delle pareti verdi si basa sulla durata di vita stimata dei materiali prima di essere utilizzati o prima di effettuare importanti riparazioni o sostituzioni. Dipende anche dai materiali utilizzati e dalle tecniche di applicazione. La figura 2.6 illustra

la durata dei tetti verdi secondo diversi autori. I risultati sono stati ottenuti principalmente attraverso l'analisi costi-benefici. Per quanto riguarda le pareti verdi mancano ancora informazioni sulla loro durabilità dal momento che la maggior parte dei sistemi sono tecnologie recenti. Negli ultimi anni, la varietà di sistemi di pareti verdi disponibili sul mercato è aumentata notevolmente. Sulla base di informazioni ottenute da aziende di installazione, Perini & Rosasco (Perini et al. 2013) ritengono che le pareti verdi, *green façades* o *living wall*, abbiano una vita utile di 50 anni.

Tuttavia, le esigenze di manutenzione sono diverse. La maggior parte delle pareti verdi richiedono una potatura annuale per mantenere le piante. Le pareti viventi spesso richiedono l'irrigazione delle piante e la sostituzione del 5-10% delle specie vegetali ogni anno; mentre i sistemi con irrigazione automatizzata possono richiedere sostituzione dei tubi dell'acqua ogni 7,5 anni a causa della cristallizzazione del sale (Perini et al. 2013).

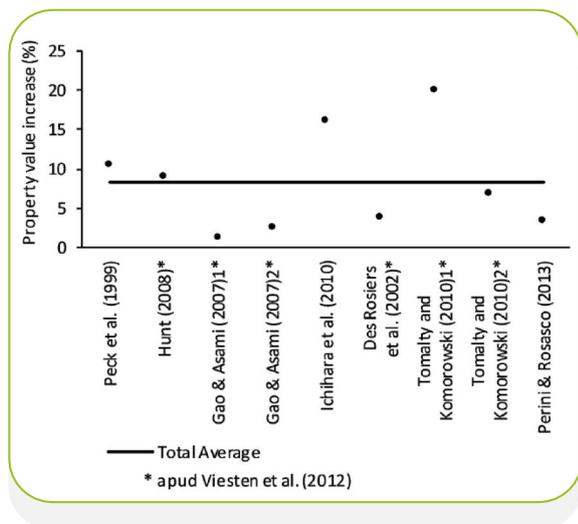


Figura 2.6 - Valore aggiunto per l'edificio (Manso et al. 2021)

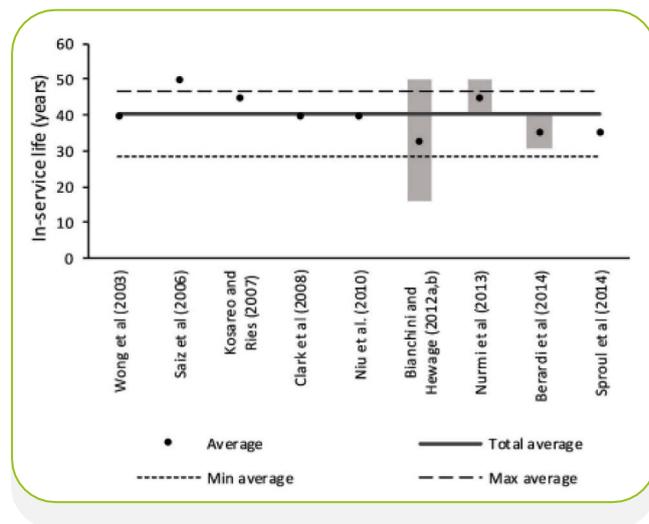


Figura 2.7 - Durata dei tetti verdi (Manso et al. 2021)

2.2.4 Valore aggiunto per l'edificio

I tetti e le pareti verdi aggiungono valore agli edifici. L'aspetto naturale e sostenibile, unito a un risparmio energetico e a una maggiore durata del tetto, contribuiscono ad aumentare il valore dell'immobile. Gli autori utilizzano diverse metodologie (ad esempio il metodo dei prezzi edonici) per stimare come la presenza di spazi verdi, come tetti e pareti verdi, influenzi il valore degli immobili (figura 2.7). Si registra un aumento medio dell'8,24%.

2.2.5 Minore rischio di incendio

I tetti e le pareti verdi sono solitamente mantenuti umidi per mantenere viva la vegetazione e ciò li rende resistenti al fuoco; se l'irrigazione difetta fino al punto di morte delle piante seguita da secchezza anche del substrato, c'è il rischio di incendio (DCLG 2013). Alcuni Paesi, come il Regno Unito e gli Stati Uniti, hanno sviluppato test antincendio standard per classificare i componenti delle

coperture verdi (DCLG 2013, Standard AAAN 2017). Alcune linee guida indicano come misure di prevenzione degli incendi l'esecuzione di una regolare manutenzione e pulizia delle piante secche e morte (Standard AAAN 2017), l'utilizzo di substrati saturi (Co Sydney 2019) con bassa materia organica e applicare una selezione di piante resistenti (graminacee, piante perenni e *sedum*) (GRO

2014, Breuning 2008). Inoltre nei tetti verdi di grandi dimensioni si possono creare aree

prive di vegetazione o di substrato per evitare la propagazione degli incendi.

2.2.6 Maggiore sensazione di benessere

Vivere e lavorare in un ambiente verde ha un effetto positivo sulla salute mentale e fisica, fornendo rilassamento psicologico e allevia lo stress (Hedblom et al. 2019). I benefici per la salute e il benessere possono essere ottenuti anche senza l'uso fisico degli spazi verdi, in

quanto un effetto psicologico positivo può derivare dalla semplice visione di uno spazio verde, anche se non accessibile (*Urban WHO* 2016). Pertanto, tetti e pareti verdi possono essere usati come strumento per promuovere la salute e il benessere dei cittadini.

2.2.7 Protezione dall'erosione

Nel caso di tetti particolarmente esposti al vento, l'utilizzo di tappezzanti in zolla precoltivate impedisce al substrato di volare via in caso di tempesta. In altre parole, lo strato

superiore dei tetti verdi realizzati in questo modo è più robusto e resistente all'erosione.

2.3 Benefici ambientali a scala edificio

2.3.1 Riduzione del rumore

Un tetto verde su un edificio contribuisce alla riduzione del rumore sia nell'ambiente urbano esterno all'edificio sia nell'ambiente di vita, di lavoro o di svago all'interno dell'edificio.

Il primo è attribuito alle maggiori capacità di assorbimento acustico di un tetto verde rispetto a una copertura standard (non vegetata), mentre la seconda è dovuta alla maggiore perdita di trasmissione fornita da un tetto vegetato rispetto a un tetto standard. Il suono raggiunge il tetto di un edificio da una moltitudine di fonti, come il traffico aereo (in particolare per le abitazioni in prossimità di aeroporti o eliporti e/o direttamente sotto le traiettorie di volo), il trasporto terrestre sopraelevato, (che raggiunge il bordo del tetto direttamente o dopo la riflessione sulle

facciate degli edifici più alti), e il suono intrappolato in canyon urbani.

Esistono esempi di progetti in cui i tetti verdi sono stati applicati negli edifici vicino agli aeroporti come mezzo di abbattimento del suono, ad esempio l'aeroporto *Schiphol* di *Amsterdam* e l'aeroporto internazionale di Francoforte International (Essays, 2018).

Parte dell'energia sonora che finisce per raggiungere il tetto di un edificio viene trasmessa attraverso i molteplici strati di cui si compone un tetto verde. L'intervallo di frequenze tipicamente considerato per il suono in ambienti interni è 125- 4000 Hz. I dati sperimentali pubblicati sono scarsi e riguardano solo tetti verdi leggeri ed estensivi. La riduzione dei livelli di rumore varia da 5 dB a 20 dB, a seconda delle

frequenze. Connelly & Hodgson (2013) (Tabella 2.7) hanno dimostrato che i tetti vegetati estensivi leggeri possono aumentare la perdita di trasmissione fino a 10 dB alle basse frequenze e fino a 20 dB alle frequenze medie. La riduzione del rumore a basse frequenze è importante, in quanto non può essere ottenuta facilmente con altri mezzi (ad esempio, aggiungendo un controsoffitto sotto il tetto). Tuttavia, la riduzione della trasmissione del suono può variare anche in base al tipo di supporto, alla composizione del substrato e della sua profondità, del contenuto d'acqua e del tipo e dello stadio di sviluppo delle specie vegetali (Connelly et al. 2013). Sulla base di esperimenti su piccoli campioni, Galbrun & Scerri (2017) hanno dimostrato che un tetto verde su pannello di compensato ha un indice ponderato di riduzione del suono paragona-

bile a quello di un tetto a falde standard con tegole su feltro (R_w da 43 a 47 dB); mentre un tetto verde con un'intercapedine di 80 mm al di sotto dovrebbe ottenere un indice di riduzione del suono paragonabile a quello di un tetto in cemento di 100 m (R_w pari a 50 dB). Anche le pareti verdi hanno buone proprietà di assorbimento acustico rispetto ad altri materiali di rivestimento (Azkorra et al. 2015). Come per i tetti verdi, l'assorbimento acustico delle pareti verdi dipende dal tipo di copertura verde (Ismail et al. 2013; Wong et al. 2010), dalla varietà di specie vegetali e dai materiali utilizzati nel sistema (Manso et al. 2017). Pérez et al. (2016) hanno ottenuto anche un aumento di 2 dB dell'isolamento acustico con una *living walls* e un aumento di 3 dB con una *green façades*.

Tabella 2.7 - Riduzione della trasmissione del suono con i tetti verdi estensivi

Magnitudo della frequenza	Gamma di frequenza (Hz)	Riferimento bibliografico	Minimo (dB)	Massimo (dB)
Basse frequenze	< 500	Connelly & Hodgson (2013)	-	10
Medie frequenze	500-2000	Connelly & Hodgson (2013)	5	20
	750	Lagström (2004)	-	5
	1400	Lagström (2004)	-	20
Alte frequenze	> 2000	Connelly & Hodgson (2013)	8	>20

2.3.2 Trattamento delle acque grigie

Il recupero e il trattamento dell'acqua piovana possono contribuire in modo significativo alla riduzione del consumo di acqua potabile. Il riciclo locale delle acque grigie riduce l'impatto sulla gestione delle acque reflue

urbane e può consentire un potenziale risparmio idrico del 9%-46% all'interno della famiglia (Boyjoo et al. 2013; Pradhan et al. 2018) per soddisfare alcuni requisiti idrici negli edifici, come l'irrigazione o lo sciacquone dei

servizi igienici (fig. 2.1), soprattutto nei luoghi in cui le risorse naturali di acqua dolce scarseggiano (Chowdhury et al. 2018). L'acqua grigia può provenire da diverse fonti di acque reflue domestiche, esclusi i servizi igienici (Ghaitidak et al. 2013): ad esempio lavabi, docce, lavanderie (a basso carico) o cucine (ad alto carico) (Boyjoo et al. 2013). Il substrato dei tetti e pareti verdi e le piante stesse funzionano come un bio-filtro, attraverso cui avvengono una serie di processi: ossidazione, filtrazione, sedimentazione, adsorbimento, assimilazione e attività microbica (Pradhan et al. 2018). Se il sistema di acque grigie è implementato nell'edificio non sono necessari costi aggiuntivi significativi per utilizzarle nell'irrigazione di tetti o pareti: di solito è prevista una tubatura secondaria collegata a un

deposito con filtraggio per la raccolta dell'acqua e una pompa per portarla ai livelli superiori. Non sono disponibili molti dati in letteratura sull'argomento; studi recenti si concentrano sulla rimozione di inquinanti dalle acque piovane cariche di particolato (Chowdhury et al. 2018; Prodanovic et al. 2017; Masi et al. 2015), utilizzando prototipi con diversi supporti e selezione di piante. Per le pareti verdi i risultati indicano che possono rimuovere fino all'80%-90% dei solidi sospesi totali (*TSS*), oltre il 90% della domanda biologica di ossigeno (*BOD*), il 30%-50% dell'azoto totale (*TM*), il 15%-30% del fosforo totale (*TP*), il 30%-70% della richiesta chimica di ossigeno (*COD*) e 20%-80% di *Escherichia coli* presente (Prodanovic et al. 2017, Fowdar et al. 2017).

2.4 Benefici ambientali su scala urbana

2.4.1 Effetto isola di calore urbana

All'interno di molte aree urbane ad elevata densità spesso si percepisce, soprattutto in estate, un microclima di qualche grado più alto, generalmente di 3-5 °C, e per un periodo di tempo più lungo rispetto alle circostanti zone periferiche naturali e/o rurali: questo fenomeno è noto come "isola di calore urbana" (*UHI, Urban heat island*) (figura 2.8) (Oke, 1982): il numero di "notti tropicali", con temperature minime superiori ai 20°C può essere fino a tre volte superiore rispetto alle zone più verdi (Petralli et al. 2018). Come è noto, il fenomeno è dovuto alla scarsa ventilazione per i tanti edifici, alla cementificazione delle superfici, alle emissioni inquinanti (automobili, impianti industriali,

sistemi di riscaldamento e di refrigerazione), ma soprattutto alla **scarsità ed esiguità di aree verdi**. L'aumento delle temperature nelle città determina di conseguenza un incremento dei consumi idrici ed energetici, ma anche notevoli problemi nella gestione dei rifiuti che unitamente all'intenso traffico urbano generano un ulteriore impatto negativo sull'ecosistema città, diminuendone il *comfort* abitativo (Berardi et al. 2014).

Le piante dei tetti e delle pareti verdi possono contribuire al *raffreddamento evaporativo* per evapotraspirazione, all'ombreggiamento, all'aumento dell'albedo superficiale (da 0,7-0,85 rispetto a 0,1-0,2) (Berardi et al. 2014) e

dell'emissività, e all'isolamento dell'edificio (Ascione et al. 2020).

Il potenziale di mitigazione dell'*UHI* dei sistemi di inverdimento è funzione delle proprietà ottiche (albedo ed emissività della superficie) e termiche proprie (capacità termica e trasmittanza termica), ossia di piante

e substrati utilizzati, iv), delle proprietà idrologiche (perdita di calore latente attraverso l'evaporazione da parte delle piante e del suolo) (Santamorius, 2014), ma anche dalle condizioni climatiche (radiazione solare, temperatura e umidità esterna, vento e precipitazioni);

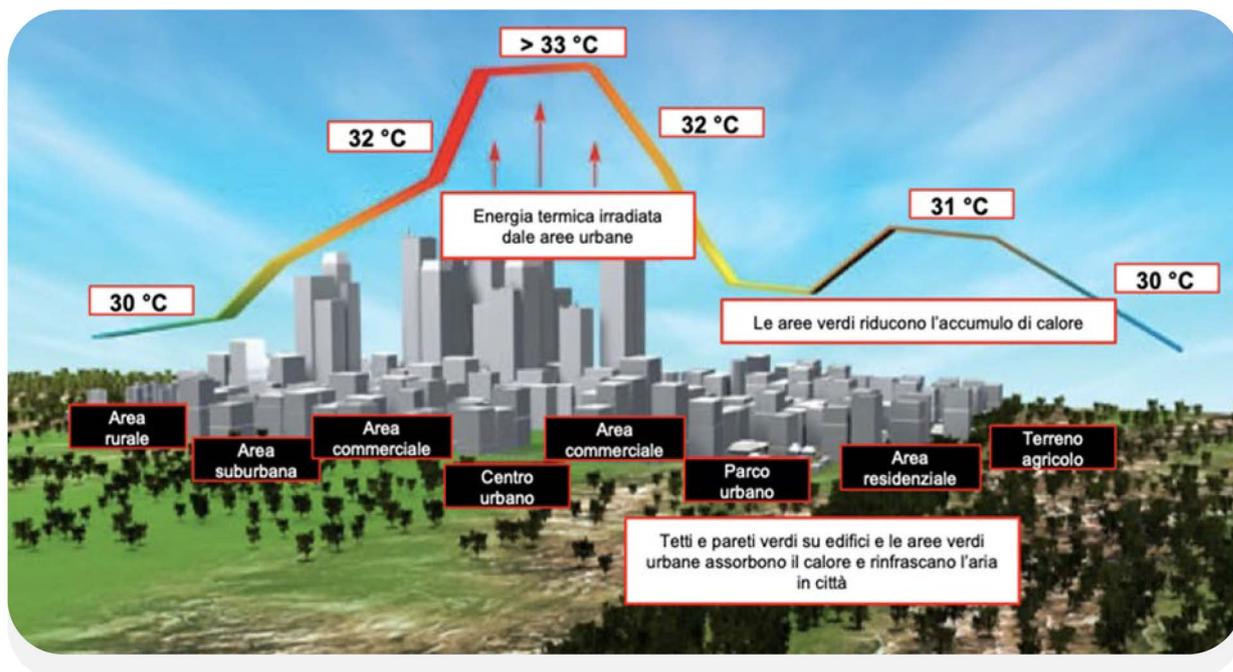


Figura 2.8 - Isola di calore urbana (*UHI* – *Urban Heat Island*): andamento delle temperature estive nelle ore serali in relazione al tipo di soprassuolo. Fonte: <https://www.meteolive.it/news/Editoriali/8/dossier-microclima-urbano-se-la-città-mette-il-cappotto-i-dati-83311/>

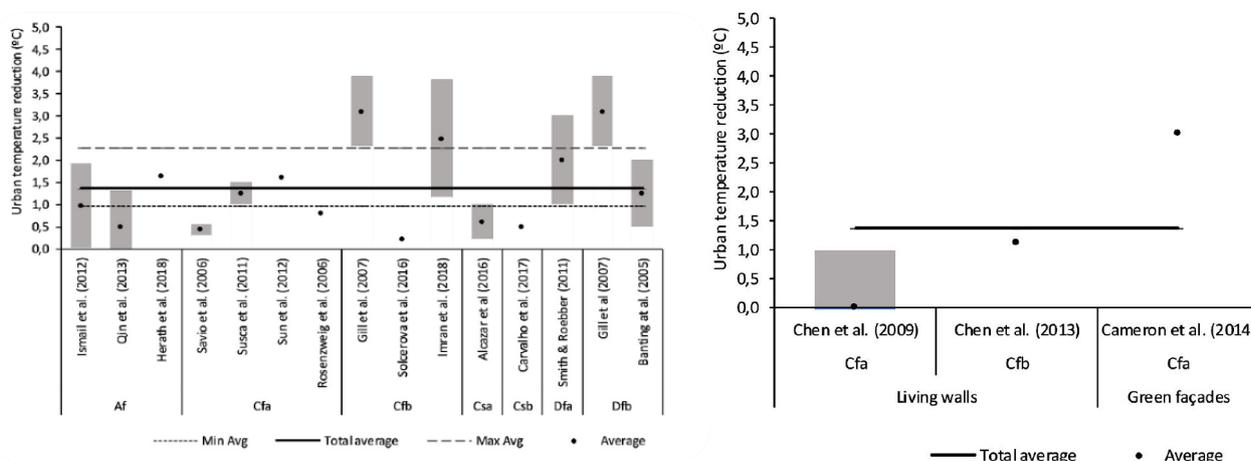


Figura 2.9 - Riduzione delle temperature urbane grazie ai tetti verdi (*sx*) e pareti verdi (*dx*) (Manso et al. 2021)

I risultati scientifici finora ottenuti indicano che l'uso di tetti e pareti verdi può essere particolarmente importante nelle città situate in climi più caldi. La riduzione media della temperatura circostante è di 1,34 °C, con una variazione tra 1°C e 2,3 °C nel caso di tetti verdi (figura 2.9 *sx*). *Green façades* e *living walls* possono contribuire in media a una diminuzione della temperatura urbana di 1,37°C (figura 2.9 *dx*).

Il telerilevamento abbinato al *GIS* (*Geographic information system*) può consentire di valutare quantitativamente l'effetto raffrescante sul microclima *outdoor* provocato da tetti e pareti verdi in aree urbane ad alta densità, offrendo strumenti agli urbanisti e/o gestori territoriali. Le più recenti missioni spaziali *Landsat* (8 e 9) sono in grado di acquisire anche nell'infrarosso termico a risoluzioni

geometriche maggiori che in passato: grazie ad algoritmi specifici elaborati dalla *USGS* americana, combinando i dati satellitari con le acquisizioni nel visibile di *Sentinel 2* della missione *Copernicus* dell'*ESA*, è possibile aumentare la risoluzione geometrica nativa da 100 m a 30 m. Nello specifico l'attività di ricerca sperimenterà l'utilizzo di algoritmi di recente brevettazione (*Latitudo 40*, ...), grazie ai quali sarà possibile scalare ulteriormente la risoluzione spaziale fino a 15/10 m, permettendo una maggiore discriminazione del gradiente termico attraverso la misurazione della *LST* (*Land surface temperature*). Ne conseguirà la definizione di strumenti di analisi e pianificazione urbana più efficienti e su scala territoriale, di notevole importanza per la rigenerazione urbana in chiave sostenibile (tema trattato nel capitolo 5).

2.4.2 Rumore urbano

I tetti e le pareti verdi possono dare un contributo importante anche per ridurre l'inquinamento acustico negli ambienti urbani in quanto questi sistemi assorbono, disperdono e influenzano la riflessione del suono aereo, migliorando le caratteristiche acustiche dell'ambiente circostante.

Si pensi alle zone urbane a ridosso degli aeroporti o di ferrovie, autostrade.

Per questo fenomeno le geometrie degli oggetti coinvolti influiscono notevolmente: le

caratteristiche della vegetazione e del substrato (dimensione e forma del fogliame, apparato radicale, densità del substrato, ecc.) cambiano costantemente durante l'anno, influenzando la loro capacità di assorbire e riflettere il suono (Lunain et al. 2016); ma anche la forma urbana influisce sulla propagazione del suono, in quanto i tetti e le facciate degli edifici danno origine a riflessioni e diffrazioni multiple delle onde sonore (Wong et al. 2010, Ismail et al. 2010, Van Renterghem et al. 2013).

2.4.2.1 Assorbimento acustico all'aperto

Un tetto verde è una superficie che assorbe il suono per cui una parte viene reindirizzata nell'ambiente urbano. Il coefficiente di

assorbimento acustico, α , varia da 0 a 1: più alto è il valore di α più silenzioso è l'ambiente urbano. In generale, l'assorbimento acustico

aumenta con la frequenza e lo spessore dello strato. L'intervallo di frequenze tipico per le applicazioni in questione è compreso tra 125 e 4000 Hz.

I dati pubblicati confermano le buone prestazioni acustiche dei tetti verdi come superfici fonoassorbenti: Horoshenkov et al. (2013) hanno misurato valori molto elevati del coefficiente di assorbimento normale per *Primula vulgaris* invernale posta su un substrato a bassa densità (superiori a 0,8 per tutte le frequenze superiori a 200 Hz). Yang et al. (2013) hanno riportato che uno strato di topsoil (cioè lo strato superiore del suolo presente in natura che è di solito ricco di materia organica e sostanze nutritive) con una copertura vegetale del 100% raggiunge un assorbimento quasi completo a 1000 Hz per un'incidenza casuale. Misurazioni per due tipi di tetti verdi commerciali hanno mostrato un

alto coefficiente di assorbimento (a pari a 0,7) per le medie e alte frequenze e un basso assorbimento per le alte frequenze (Brum et al. 2014).

Pittaluga et al. (2011) hanno riportato i valori coefficiente di assorbimento acustico per incidenza normale pari a 0,5 a circa 500 Hz per i campioni di tetti verdi estensivi, 0,85 a 450 Hz per i campioni semi-intensivi e 0,4 per suolo comune. Per confronto, il coefficiente di assorbimento di un tetto in calcestruzzo è quasi uguale a zero. Connelly & Hodgson (2015) hanno riferito che il coefficiente di assorbimento a incidenza casuale per i vari tetti vegetati che sono stati testati era di 0,2-0,3 alle basse frequenze e di 0,5-0,6 a 1000 Hz. Il coefficiente di riduzione del rumore di diciassette diverse trame di tetti vegetati testati variava da 0,20 a 0,63.

2.4.2.2 Diffrazione del suono all'aperto

La diffrazione è il meccanismo con cui il suono penetra in una zona d'ombra acustica. Si consideri un edificio situato tra una fonte di rumore (come il traffico sorgente di rumore stradale) e un ricevitore (una persona nel cortile dell'edificio). Il ricevitore si trova in una zona d'ombra acustica poiché il suono diretto proveniente dalla strada è bloccato dall'edificio. Tuttavia, il suono raggiunge il ricevitore, propagandosi come segue: (i) partendo dalla strada si diffrange sul bordo superiore dell'edificio che si affaccia sulla strada, (ii) si propaga a incidenza radente sulla superficie superiore dell'edificio, e (iii) si diffrange nuovamente sul bordo superiore dell'edificio rivolto verso il cortile, raggiungendo infine il ricevitore nel cortile. I

tetti verdi sono superfici fonoassorbenti e i contributi di diffrazione sono minori rispetto ai tetti (cunei) convenzionali acusticamente rigidi, quindi, possono attenuare il suono prodotto dalla diffrazione in ambiente urbano. Yang et al (2013) hanno condotto misurazioni in una camera anecoica per tetti verdi su una struttura a basso profilo a livello della strada, come ad esempio sopra i parcheggi sotterranei. L'attenuazione del campo sonoro nella zona d'ombra è aumentata con l'aumentare del numero di file dei vassoi del tetto verde. Rispetto ai vassoi vuoti, l'attenuazione supplementare del campo sonoro causata dai substrati può arrivare a 9,5 dB a determinate frequenze. La profondità e il tipo di substrato non hanno giocato un ruolo

significativo. Le foglie di prugna hanno migliorato la schermatura del rumore alle alte frequenze.

Van Renterghem & Botteldooren (2011) hanno effettuato misurazioni *in situ* prima e dopo il posizionamento di tetti verdi estensivi per varie configurazioni geometriche, con diffusione singola e doppia. È stato dimostrato che, rispetto ai tetti non vegetati, i tetti verdi possono ridurre i livelli di rumore ai ricevitori nella zona d'ombra, migliorando così l'effetto schermante degli edifici. Una configurazione a singola diffrazione ha portato a un miglioramento di 10 dB nell'effetto schermante per le frequenze comprese tra 400 Hz e 1250 Hz. Per i casi di doppia diffrazione, il miglioramento dei tetti verdi era meno dipendente dalla frequenza.

Inoltre, in letteratura è riportato che il beneficio aggiuntivo di un tetto verde (rispetto a un tetto non vegetato) è maggiore per i ricevitori che si trovano più in profondità nella zona d'ombra. Per le alte frequenze anche un piccolo aumento di spessore del substrato e/o la presenza di vegetazione sembra essere positivo, mentre per le basse frequenze servirebbero spessori importanti.

La tabella 2.8 invece un rapido *excursus* sulle capacità attenuative delle pareti verdi nel contribuire alla riduzione del rumore urbano. I risultati chiaramente variano in base alle geometrie in gioco e per le diverse frequenze: un dato interessante è stata l'attenuazione media del rumore urbano di 5,5 dB, con valori compresi tra 0 e 10 dB (Lunain et al, 2016).

Tabella 2.8 - Riduzione del rumore urbano da pareti verdi (*living walls*) (Veisten et al.2012, Van Renterghem et al. 2011, Lunain et al. 2016, Lacasta et al. 2016)

Riferimento bibliografico	Minimo (dB)	Massimo (dB)	Commenti
Lacasta et al. (2016)		4	4 dB (250–4000 Hz)
Lunain et al. (2016)	0	6	0–6 dB (400–2500 Hz)
Lunain et al. (2016)	0	10	0–10 dB (>3150 Hz)
Veisten et al. (2012) Configuration a		4,2	
Veisten et al. (2012) Configuration b		4,5	
Van Renterghem et al. (2013)		4,4	
Media complessiva		5,5	

2.4.3 Miglioramento della qualità dell'aria

I livelli di inquinamento atmosferico dell'aria delle zone urbane dovuto a ozono troposferico (O₃), biossido di azoto (NO₂), particolato inferiore a 10 µm di diametro (PM₁₀ e PM_{2,5}), biossido di zolfo (SO₂) e monossido di carbonio (CO), a causa dell'intenso traffico stradale, aereo e per le industrie, espone frequentemente la popolazione urbana a valori al di sopra dei limiti secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (2019).

Nell'interazione con l'aria le piante danno luogo a:

- **deposizione di sostanze inquinanti:** l'apparato fogliare (quindi forma e foglie) e i rami delle piante fungono da filtro di inquinamento atmosferico (Beckett et al. 1998; Kumar et al. 2019), rimuovendo O₃, NO₂, SO₂ attraverso gli stomi e sequestrando particelle e polveri per deposizione superficiale e adsorbimento cuticolare (Manso et al. 2015; Franco et al. 2019; Lee et al. 2015); quindi le specie

arboree sono più efficienti e tra esse le conifere sempreverdi possono fornire un beneficio maggiore rispetto alle decidue (Rowe, 2011; Jayasooriya et al. 2017; Shafique et al. 2018; Cipolla et al. 2016);

- **riduzione di anidride carbonica e sequestro di carbonio:** raffrescando gli ambienti indoor i tetti e le pareti verdi riducono il carico di energia per il raffreddamento, quindi le emissioni di CO₂ (Bliss et al. 2009; Charalambous et al. 2019); con la fotosintesi sequestrano CO₂ dall'ambiente (Loiola et al. 2019).

La letteratura scientifica in proposito è scarna sia per tetti verdi sia per pareti: molti studi forniscono una stima del potenziale attraverso metodi per deposizione piuttosto che valutare realmente la differenza di concentrazione di inquinanti nell'aria. Come per altri benefici di tetti e pareti verdi molteplici fattori incidono come le condizioni meteorologiche, la

struttura urbana, la scala spaziale e temporale dello studio e/o il metodo di valutazione (misurazione o modellazione) (tabella 2.9).

Degno di nota uno studio del 2012 svolto a Londra, basato su modello di chimica atmosferica migliorato per simulare il mescolamento e la deposizione secca all'interno dei *canyon* stradali (Pugh et al. 2012) in cui sono state registrate riduzioni dell'11,7%-40% di NO_2 e il 42-60% di PM_{10} ; Jayasooriya (2017) a Melbourne (Australia) riduzioni del 40% di O_3 , 3,5% di SO_2 , 1,34% di CO_2 e anche l'1,34% di $\text{PM}_{2,5}$.

Anche l'influenza sull'ambiente *indoor* è stato oggetto di indagine: alcune particelle del

substrato e della vegetazione sono sospese e trascinate nel flusso d'aria locale. Hathaway (2008), ha esaminato un carico di filtri *HVAC* sul tetto di un grande negozio al dettaglio di *Portland*, negli Stati Uniti. I risultati hanno rivelato un aumento delle concentrazioni di composti organici volatili (*VOC*), in particolare metanolo; diverse difficoltà di rilievo dei flussi di *COV* e altre sostanze per la forte influenza di temperatura, umidità relativa (*RH*) e stagionalità. Ramasubramanian (2021), ha riscontrato un moderato impatto sul tenore O_3 in prossimità della condotta di ventilazione esterna di un edificio.

Tabella 2.9 - Sintesi dei principali studi scientifici relativi alla riduzione di inquinamento dell'aria ad opera dei tetti verdi

Riferimento	Metodologia	Località	Inquinante	Risultati
Yang, 2008	È stato utilizzato un modello di deposizione a secco per 170 tetti verdi intensivi, semi-intensivi ed estensivi	Chicago, USA	NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , PM ₁₀	1675 kg di inquinanti atmosferici sono stati rimossi da 19,8 ettari di t. verdi in un anno di cui il 52% di O ₃ , il 27% a NO ₂ , il 14% a PM ₁₀ e 7% in SO ₂
Speak, 2012	Indagine sperimentale volta a confrontare quattro specie vegetali tetti verdi per la loro capacità di catturare PM ₁₀ (<i>Agrostis stolonifera</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , e <i>Sedum album</i>)	Manchester, UK	Particolato (PM ₁₀)	a) <i>A. stolonifera</i> e <i>F. rubra</i> si sono dimostrate più efficienti nella cattura delle particelle di PM ₁₀ . b) è stato sviluppato uno scenario che calcola il potenziale annuale di rimozione del PM ₁₀ per il centro di Manchester, considerando vegetati tutti i tetti piani nell'area selezionata: è stata raggiunta una rimozione di PM ₁₀ pari a 0,21 tonnellate
Tong, 2016	Un'indagine sperimentale sul profilo verticale del PM _{2.5} lungo un dislivello in tetto vegetato su una fattoria degli Stati Uniti a 26 m dal suolo sotto diverse condizioni meteorologiche	Brooklyn Grange, USA	Particolato (PM _{2.5})	Esperimenti e osservazioni hanno mostrato una riduzione del 7–33% della concentrazione di PM _{2.5} rispetto a quelle a livello stradale
Gourdji, 2018	Gli autori hanno esaminato l'impatto delle specie vegetali su tetti verdi estensivi e intensivi per la riduzione dell'inquinamento atmosferico.	Montreal, Canada	NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	I tetti verdi intensivi sono preferiti per la maggiore capacità di rimozione degli inquinanti atmosferici. Il particolato viene rimosso più efficacemente dai pini; O ₃ da latifoglie decidue tolleranti alla siccità; NO ₂ da magnolie tolleranti al freddo. Secondo i calcoli un t. verde con l'88% di <i>Pinus mugho</i> var. <i>pumilio</i> può rimuovere 92,37 kg di PM all'anno (di cui 35,10 PM _{2.5})
Ramasubramanian, 2019	Misure in campo e modellazione della deposizione secca	Portland, USA	O ₃	La riduzione della concentrazione di O ₃ ottenuta variava da 0,25 a 1,8 µg/m ³
Getter, 2009	Quantificazione sperimentale del sequestro di carbonio fornito da un tetti verdi esteso	USA	Sequestro del carbonio	L'intero t. verde, comprese le piante e il substrato, ha immagazzinato 1188 gC/m ² , mentre il sequestro netto di carbonio è risultato pari a 378 g C/m ² (810 gC/m ² nel substrato)
Seyedabadi, 2014	Un'indagine sperimentale sull'impatto delle piante GR su sequestro del carbonio	Mashhad, Iran	Sequestro del carbonio	L'impiego di <i>Sedum acre</i> , <i>Frankenia thymifolia</i> e <i>Vinca major</i> offriva una diminuzione del consumo energetico annuo per un edificio tipico dell'8,5, l'8 e il 7,1% rispettivamente, mentre la CO ₂ annua assorbita da queste tre piante attraverso la fotosintesi è pari a 0,14, 2,07 e 0,61 kg/m ² . La riduzione annuale di CO ₂ dovuta all'evapotraspirazione di 28,16, 26,48 e 23,44 kg/m ²
Li, 2010	Per misurare lo scambio annuo superficie-atmosfera di CO ₂ al di sopra di un GR esteso, è stata utilizzata la tecnica della <i>Eddy covariance</i>	Hong Kong	Sequestro del carbonio	a) Per una tipica estate soleggiata, l'assorbimento di CO ₂ era molto più alto durante il giorno, a causa della fotosintesi. b) L'assorbimento di CO ₂ dipendeva dalle specie vegetali e dalle condizioni, la posizione del tetto verde e il flusso d'aria ambiente. c) Per una giornata di sole il tetto verde è stato in grado di ridurre la CO ₂ nell'area circostante di quasi il 2%

Riferimento	Metodologia	Località	Inquinante	Risultati
Heusinger, 2017	Per misurare lo scambio annuo superficie-atmosfera di CO ₂ al di sopra di un GR esteso, è stata utilizzata la tecnica della <i>Eddy covariance</i>	Berlino, Germania	Sequestro del carbonio	Il tetto verde è riuscito a svolgere il ruolo di serbatoio di carbonio con un tasso di 85 gC/m ² . La disponibilità di acqua, una vegetazione appropriata e il tipo di substrato del suolo possono ottimizzare il sequestro di carbonio
Luo, 2015	Un GR è stato suddiviso in sei segmenti con due tipi di substrati di terreno, tre profondità del substrato (20, 25 e 30 cm), e tre specie vegetali.	Chengdu, China	Sequestro del carbonio	Il sequestro medio di carbonio è stato pari a 6,47 kgC/m ² -anno. La migliore configurazione di sequestro del carbonio è stata quella di <i>L. Vicaryi</i> ed era pari a 7,03 kg C/m ² -anno. La diminuzione annuale di CO ₂ causata dal risparmio energetico variava da 1703 a 1889 kg CO ₂ /m ² -anno
Kurouma, 2018	Il potenziale di assorbimento di carbonio di un'area verde in Giappone è stato misurato per tre diverse specie erbacee e diversi substrati	Giappone	Sequestro del carbonio	La riduzione annuale di CO ₂ causata dal risparmio energetico varia da 1703 a 1889 kgCO ₂ /m ² -anno.

2.4.4 Gestione delle acque meteoriche

Negli ultimi decenni si è assistito al fenomeno dell'espansione delle città e ad oggi il fenomeno è in continua crescita. Si stima che entro il 2050 due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città, ed aumenterà in proporzione la superficie cementificata che ha alterato l'originario ciclo idrologico delle acque e causato una serie di problemi, come il ristagno idrico urbano e l'inquinamento da fonti diffuse. La rapida urbanizzazione ha determinato degli effetti avversi che richiedono la gestione del sistema di deflusso delle precipitazioni in ambiente urbano, problema che è attualmente all'attenzione del governo e degli esperti.

L'aumento delle superfici cementificate ha alterato il naturale deflusso, il drenaggio, e

l'assorbimento nel suolo delle acque meteoriche (figura 2.10), inoltre il cambiamento climatico ha reso sempre più frequenti le precipitazioni intense che insieme a problemi di dissesto idrogeologico hanno spesso determinato gravi danni al territorio ed alla popolazione residente. Oggi, pertanto, sono necessarie strategie di mitigazione dei fenomeni meteorici sempre più urgenti ed estese, che unite ad un insieme di interventi tecnici, meglio conosciuti come "regimazione delle acque superficiali" consentano un controllo dei processi di accumulo, di erosione e di dilavamento causati sempre più frequentemente da una cattiva gestione delle acque di pioggia.

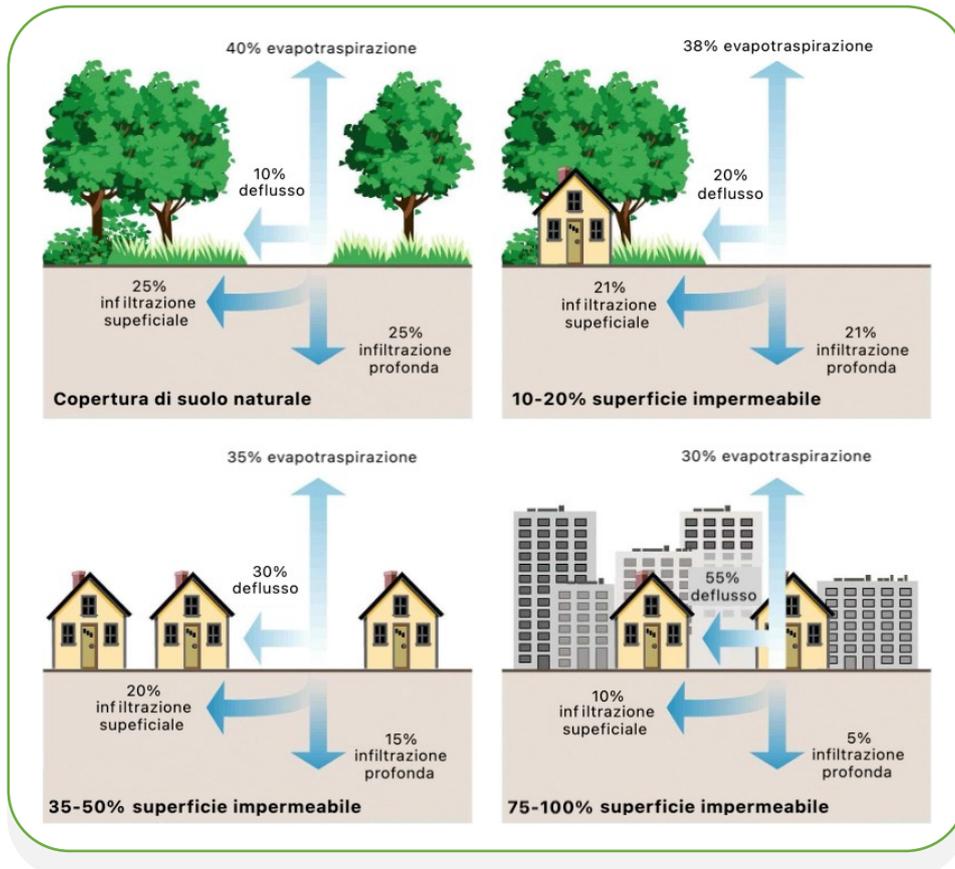


Figura 2.10 - Idrologia dei bacini urbani (Fonte: The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. L'immagine è stata rielaborata a partire da Milelli, 2016)

Le Pratiche distribuite di gestione delle acque meteoriche, sono conosciute più in generale con l'acronimo americano DSMP (*Distributed Stormwater Management Practice*), e hanno lo scopo di ridurre il fenomeno del run-off (ruscellamento o scorrimento superficiale delle acque) e di purificare l'acqua dagli inquinanti per utilizzarla per altri scopi, e richiedono generalmente grandi aree disponibili per la realizzazione di strutture di infiltrazione ed immagazzinamento (trincee di filtrazione, pozzi drenanti, vasche volano, elementi di disconnessione).

Tra queste, rientra anche la tecnica del verde pensile, che ha il vantaggio di sfruttare gli spazi disponibili sulle coperture a tetto, spesso altrimenti inutilizzate, e può essere applicata anche in ambienti urbani

densamente edificati con numerosi ulteriori benefici (estetici, ecologici, di utilità sociale, etc.). Il verde pensile rappresenta quindi, un sistema economico ed efficace distribuito sul territorio, determina un drenaggio "naturale", e consente la regimazione delle acque di scorrimento superficiale. In particolare, questi interventi possono ridurre l'impatto delle piogge sulle strutture urbane e sulle reti fognarie, grazie alla capacità di assorbimento delle piante attraverso le radici e del suolo, e di rilasciarla gradualmente nell'atmosfera attraverso il processo di evapotraspirazione, riducendo così la quantità di acqua che fluisce direttamente sulle superfici impermeabili. Inoltre, le superfici verdi e le piante possono agire come filtro naturale, trattenendo inquinanti e sedimenti presenti nelle acque

meteoriche che sono meno inquinate rispetto a quelle che scorrono sulle superfici impermeabili.

La quantità di pioggia che può essere trattenuta da un tetto verde dipende da diversi fattori, tra cui il tipo di piante, il tipo di terreno, la profondità del substrato, la pendenza del tetto, l'intensità della pioggia e la durata dell'evento meteorico. In generale, un tetto verde ben progettato e realizzato può trattenere dal 50% al 90% della pioggia che cade su di esso. Tuttavia, è importante notare che il tetto verde non è in grado di trattenere l'intera quantità di pioggia che insiste su di esso, in quanto parte dell'acqua viene assorbita dalle piante e rilasciata nell'atmosfera attraverso il processo di traspirazione, mentre il resto viene drenato attraverso il sistema di drenaggio impiegato. Quindi, se la quantità di pioggia che cade su un tetto verde è di 100 mm, è possibile che il

tetto verde trattienga tra 50 e 90 mm di pioggia, a seconda delle condizioni sopra menzionate. Tuttavia, è importante considerare che ogni caso è diverso, a seconda dello spessore dello strato di suolo sul tetto, della tipologia di vegetazione, e che il calcolo preciso della quantità di acqua che può essere trattenuta da un tetto verde richiede un'analisi attenta delle particolari condizioni locali. Al fine di procedere ad un confronto tra la capacità di trattenere una certa quantità di acqua rispetto a quella captata per i diversi tipi di superficie, è utile definire un parametro, il coefficiente di deflusso ψ , che rappresenta il rapporto tra la quantità di acqua piovana assorbita e in seguito rilasciata da una superficie di composizione omogenea, e la quantità di acqua piovana che impatta su di essa, in uno specifico lasso di tempo; ψ è quindi un valore compreso tra 0 ed 1 (Tabella 2.10).

Tabella 2.10 - Coefficienti di deflusso per varie superfici - Fonte: Abram, 2006

Tipo di superficie o copertura	Coefficiente di deflusso
Tetti inclinazione > 3°	0.90-1.00
Tetti inclinazione < 3°	0.80
Tetti con zavoratura in ghiaia	0.70
Superfici con piastre	0.70
Superfici di impianti sportivi con drenaggi:	
In materiali sintetici, tappeto verde sintetico	0.60
In terra	0.40
prato	0.30
Asfalto o piastre con fuga sigillata	0.85-0.90
Strade o cubetti di porfido o altra pietra con fuga sigillata	0.75-0.85
Strade e piazzali con cubetti a fuga non sigillata	0.30-0.70
Strade e parcheggi con sottofondo in macadam	0.25-0.60
Strade e parcheggi con sottofondo in ghiaia	0.15-0.30
Superfici in terra (cortili)	0.10-0.20
Giardini, aree verdi e orti	0.00-0.10

A parità di caratteristiche della copertura, la capacità di regimazione è influenzata, come detto, dalle peculiarità climatiche del sito, ed è tanto più accentuata quanto più omogenea è la distribuzione delle precipitazioni (senza picchi) e quanto minore è la durata dell'evento meteorico. In termini di generazione dello scorrimento superficiale, il contributo del verde pensile nei confronti di una copertura tradizionale impermeabile determina:

- la riduzione del volume complessivo dovuta alla ritenzione idrica e successivo rilascio in atmosfera per mezzo dell'evapotraspirazione da parte della vegetazione e del suolo;
- la riduzione dell'altezza di picco del livello dell'acqua di ruscellamento;
- il ritardo dell'arrivo della portata di picco dovuto alla detenzione nel substrato drenante in funzione della capacità di accumulo del substrato colturale e della pendenza della copertura.

Introducendo la pratica del verde pensile in un bacino urbano si interviene pertanto sulla regimazione idrica ripristinando almeno parzialmente il ciclo naturale dell'acqua attraverso i processi di percolazione, infiltrazione, evaporazione dal suolo ed evapotraspirazione dalla vegetazione, riducendo al contempo il rischio di alluvioni e limitando i costi degli impianti fognari che possono essere dimensionati per portate inferiori rispetto a quelle generate da superfici impermeabili figura 2.11 (Manso et al. 2020).

Un tetto verde può ritardare lo scorrimento superficiale fino a 4 ore, rispetto alla generazione praticamente istantanea di deflusso nel caso di copertura tradizionale impermeabile, mentre lo scorrimento generato da una copertura vegetata è limitato fino al 10% del volume di pioggia ed è ridotto del 60% rispetto allo scorrimento da copertura tradizionale.

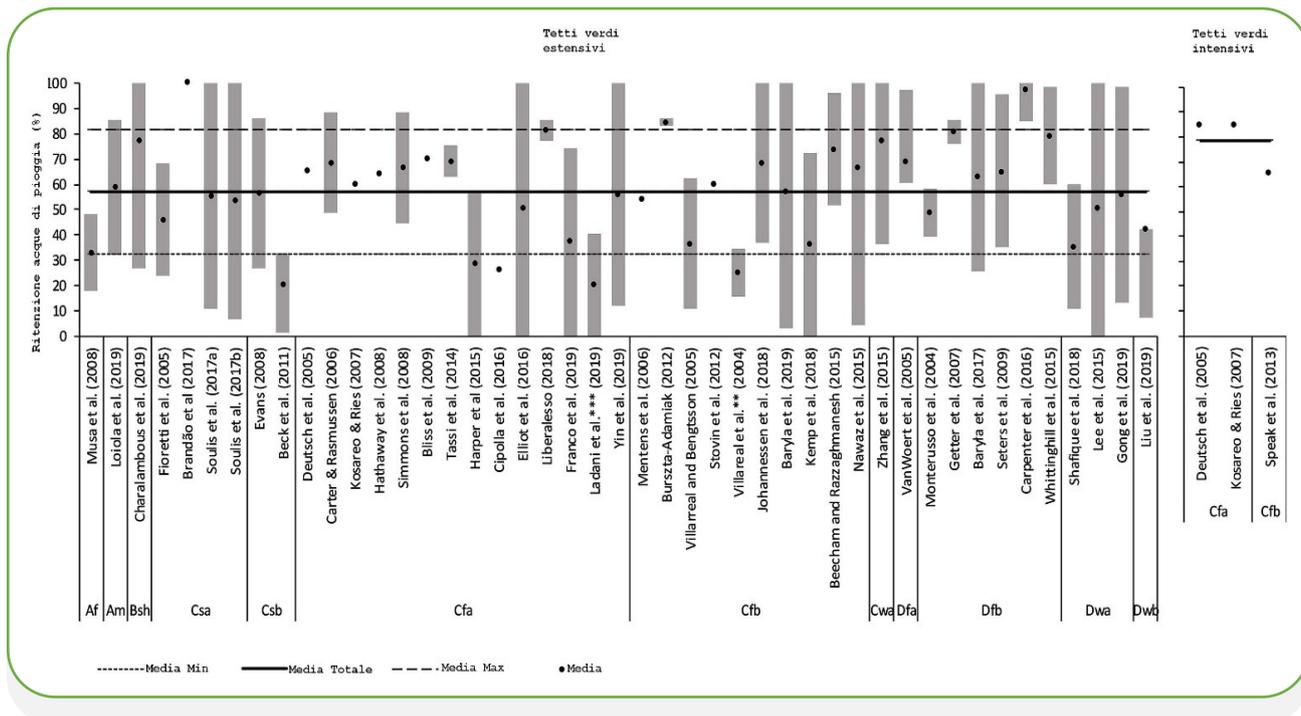


Figura 2.11 - Percentuale di ritenzione idrica degli eventi meteorici in funzione delle fasce climatiche secondo il sistema di classificazione climatico di Köppen-Geiger Fonte: Manso et al. Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. 2020

BIBLIOGRAFIA

- Abram P., Verde pensile in Italia e in Europa, Milano: Ed. Il verde editoriale S.r.l. 2006; 153-154
- Agency EE. Air quality in Europe - 2019 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2019
- ANIT. Prestazioni energetiche dei tetti verdi. Manuale di approfondimento tecnico. Settembre 2020
- Ascione F, Bianco N, de' Rossi F, Turni G, Vanoli GP. Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? *ApplEnergy*. 2013; 104:845–59
- Ascione F, De Masi RF, Mastellone M, Ruggiero S, Vanoli GP. Green walls, a critical review: knowledge gaps, design parameters, thermal performances and multi-criteria design approaches. *Energies*. 2020; 13:2296
- Azkorra Z, Pérez G, Coma J, Cabeza LF, Bur'és S, 'Alvaro JE, et al. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Appl Acoust*. 2015; 89:46–56. [51] Essays U. Airports
- Beckett KP, Freer-Smith P, Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environ Pollut*. 1998; 99:347–60
- Berardi U, Hoseini AHG, Ghaffarian Hoseini A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl Energy*. 2014; 115:411–28
- Berndtsson JC, Bengtsson L, Jinno K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs *Justyna. Ecol Eng*. 2009; 35:369–80
- Besir AB, Cuce E. Green roofs and facades: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy. Rev* 2018; 82:915–39. [9] FLL. Guidelines for the planning, construction
- Bevilacqua P, Bruno R, Arcuri N. Green roofs in a Mediterranean climate: energy performance based on in-situ experimental data. *Renew Energy*. 2020; 152:1414–30
- Bianchini F, Hewage K. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: a lifecycle approach. *Build Environ*. 2012; 58:152–62
- Bliss DJ, Neufeld RD, Ries RJ. Storm water runoff mitigation using a green roof. *Environ Eng Sci*. 2009; 26:407–18.
- Boyjoo Y, Pareek VK, Ang M. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Sci Technol* 2013; 67:1403–24.
- Breuning JGRSL-GRT. Fire & wind on extensive green roofs. Greening rooftops for sustainable communities. Baltimore: Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities; 2008. USA
- Brum R, Paul S, da Silva AR, Piovesan T. Acoustic absorption of green roof samples commercially available in southern Brazil. *J Acoust Soc Am*. 2014;136: 2305. <https://doi.org/10.1121/1.4900338>. 2305
- C. Campiotti, P. De Rossi, L. Gatti, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, M. Sperandei e S. Pace, «Gli ecosistemi vegetali per la rigenerazione ecologica delle città»,. Rapporti tecnici ENEA RT 13 2021; pp. 1-229, RT 13 2021.
- Cameron RW, Taylor JE, Emmett MR. What's 'cool'in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Build Environ*. 2014; 73:198–207
- Cascone S. Green roof design: state of the art technology and materials. *Sustainability*. 2019; 11:3020
- Charalambous K, Bruggeman A, Eliades M, Camera C, Vassiliou L. Stormwater retention and reuse at the residential plot level—green roof experiment and water balance computations for long-term use in Cyprus. *Water* 2019; 11:1055.
- Chowdhury RK, Abaya JS. An experimental study of greywater irrigated green roof systems in an arid climate. *J Water Manag Model*. 2018; 26:1–10
- Cipolla SS, Maglionico M, Stojkov I. A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecol Eng*. 2016; 95:876–87
- Cirriuncione L, Marvuglia A, Scaccianoce G. Assessing the effectiveness of green roofs in enhancing the energy and indoor comfort resilience of urban buildings to climate change: methodology proposal and application. *Build Environ*. 2021; 205: 108198.
- Claus K, Rousseau S. Public versus private incentives to invest in green roofs: a cost benefit analysis for Flanders. *Urban For Urban Green*. 2012; 11:417–25
- Co Sydney. Green roof design resources manual. Sydney, Australia: City of Sydney: Sydney City Council Green Roof Resource Manual; 2019
- Coma J, Pérez G, de Gracia A, Bur'és S, Urrestarazu M, Cabeza LF. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades. *Build Environ*. 2017; 111:228–37
- Coma J, Pérez G, Cabeza LF. Chapter 3.2 - Green roofs to enhance the thermal performance of buildings and outdoor comfort. In: *Nature based strategies for urban and building sustainability*, Butterworth-Heinemann. 2018; 109–117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00010-0>
- Connelly M, Hodgson M. Experimental investigation of the sound absorption characteristics of vegetated roofs. *Build Environ*. 2015; 92:335–46. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.023>
- Connelly M, Hodgson M. Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs. *Appl Acoust*. 2013; 74:1136–43. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.04.003>
- Cook LM, Larsen TA. Towards a performance-based approach for multifunctional green roofs: an interdisciplinary review. *Build Environ*. 2021; 188:107489

- Council UGB. LEED reference guide for building design and construction. US Green Building Council; 2013.
- DCLG. Fire performance of green roofs and walls. London: Crown; 2013
- Dean B, Dulac J, Petrichenko K, Graham P. Towards zero-emission efficient and resilient buildings: global status report. Global Alliance for Buildings and Construction (GABC). 2016. https://backenorbit.dtu.dk/ws/portal/127217327/GABC_Global_Status_Report.Pdf. Accessed 1 Aug 2022
- Dunnett N N and Kingsbury. Planting Green Roofs and Living Walls 2nd illustrated (Portland, Ore: Timber Press). 2008
- Espinosa-Paredes SQ-GG, Polo-Labarrios MA, Espinosa-Martínez EG, Escobedo-Izquierdo MA. Green roof heat and mass transfer mathematical models: a review, Building and Environment. Build Environ. 2020; 170:106634
- Essays U. Airport are perfect for green roofs environmental sciences essay. UK Essays. 2018 <https://www.ukessays.com/essays/environmental-sciences/airports-are-perfect-for-green-roofs-environmental-sciences-essay.php?vref=1>
- Evangelisti L, Guattari C, Grazieschi G, Roncone M, Asdrubali F. On the energy performance of an innovative green roof in the Mediterranean climate. Energies. 2020, 13:5163.
- Filho L, Echevarria Icaza L, Emanche VO, Quasem Al-Amin A. An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. Int J Environ Res Publ Health 2017; 14.
- Fowdar HS, Hatt BE, Breen P, Cook PL, Deletic A. Designing living walls for greywater treatment. Water Res. 2017; 110:218–32
- Franco BM, Andres CM, Konrad J, Tassi R, Liberalesso T. Avaliação de escoamento pluvial em módulos de telhados verdes com diferentes substratos. Acta Brasiliensis. 2019; 3:69–73
- Galbrun L, Scerri L. Sound insulation of lightweight extensive green roofs. Build Environ. 2017; 116:130–9. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.008>
- Getter KL, Rowe DB, Robertson GP, Cregg BM, Andresen JA. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. Environ Sci Technol 2009; 43:7564–70
- Ghaitidak DM, Yadav KD. Characteristics and treatment of greywater—a review. Environ Sci Pollut Control Ser. 2013; 20:2795–809
- Gong Y, Yin D, Li J, Zhang X, Wang W, Fang X, et al. Performance assessment of extensive green roof runoff flow and quality control capacity based on pilot experiments. Sci Total Environ. 2019; 687:505–15
- Gourdji S. Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in Montreal, Quebec. Environ Pollut 2018; 241:378–87
- Gregoire BG, Clausen JC. Effect of a modular extensive green roof on storm water runoff and water quality. Ecol Eng. 2011; 37:963–9
- GRO. The GRO green roof code. Green Roof Code of Best Practice for the UK. United Kingdom; 2014.
- Hathaway AM, Hunt WF, Jennings GD. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. Trans ASABE 2008;51:37–44.
- Hedblom M, Gunnarsson B, Iravani B, Knez I, Schaefer M, Thorsson P, et al. Reduction of physiological stress by urban green space in a multisensory virtual experiment. Sci Rep. 2019; 9:1–11
- Heusinger J, Weber S. Extensive green roof CO₂ exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements. Sci Total Environ. 2017, 607–608:623–32
- Himeur Y, Alsalemi A, Bensaali F, Amira A (2020). Efficient multidescrptor fusion for non-intrusive appliance recognition. In IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). IEEE, Seville, Spain. 2020, pp 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISCAS45731.2020.9180493>
- Horoshenkov KV, Khan A, Benkreira H. Acoustic properties of low growing plants. J Acoust Soc Am. 2013; 133:2554–65. <https://doi.org/10.1121/1.4798671>
- Ichihara K, Cohen JP. New York City property values: what is the impact of green roofs on rental pricing? Letters in spatial and resource sciences. 2011; 4:21–30
- Ismail MR. Quiet environment: acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form. Front Architect Res. 2013; 2: 162–77
- Ismail MR. The effect of building density and size on the propagation of sound through the urban fabric. Cairo, Egypt: JAUES. 2010
- Jayasooriya V, Ng A, Muthukumaran S, Perera B. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. Urban For Urban Green. 2017; 21:34–47
- Kabir MH, Sato M, Habbiba U, Yousuf TB. Assessment of urban disaster resilience in Dhaka North City Corporation (DNCC), Bangladesh. Procedia Engi. 2018; 212:1107–1114. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.143>
- Karteris M, Theodoridou I, Mallinis G, Tsiros E, Karteris A. Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in hessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. Renew Sustain Energy. Rev 2016; 58:510–25.
- Köhler M, Schmidt M, Laar M, Krauter s. Photovoltaic panels on greened roofs: Positive interaction between two architectures. 2002; Proceedings of RIO 02 - World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil, January 2002
- Kolokotsa D, Lilli AA, Lilli MA, Nikolaidis NP. On the impact of nature-based solutions on citizens' health & well-being. Energy Build. 2020; 229:110527. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110527>
- Kolokotsa D, Santamouris M, Zerefos SC. Green and cool roofs' urban heat island potential in European climates for office

- buildings under free-floating conditions. *Sol Energy*. 2013; 95:118–30
- Kotsiris G, Androutsopoulos A, Polychroni E, Nektarios PA. Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs. *Energy Build*. 2012; 45:240–9
- Kumar P, Druckman A, Gallagher J, Gatersleben B, Allison S, Eisenman TS, et al. The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environ Int*. 2019; 133
- Kuronuma T, Watanabe H, Ishihara T, Kou D, Touda K, Ando M, et al. CO₂ payoff of extensive green roofs with different vegetation species. *Sustainability*. 2018; 10
- Lacasta A, Penaranda A, Cantalapiedra I, Auguet C, Bures S, Urrestarazu M. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. *Urban For Urban Green*. 2016; 20:172–9
- Lamnatou C, Chemisana D. A critical analysis of factors affecting photovoltaic green roof performance. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43:264–80
- Lee JY, Lee MJ, Han M. A pilot study to evaluate runoff quantity from green roofs. *J Environ Manag*. 2015; 152:171–6.
- Lehmann, S. Green districts and carbon engineering: Increasing greenery, reducing heat island effects and generating energy in: Lehmann, S. (ed.) *Low Carbon Cities: Transforming urban systems*, London and New York: Routledge, Taylor and Francis Group. 2015
- Li JF, Wai OWH, Li YS, Zhan JM, Ho YA, Li J, et al. Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Build Environ*. 2010; 45:2644–51
- Liberalesso T, Cruz CO, Silva CM, Manso M. Green infrastructure and public policies: an international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Pol*. 2020; 96:104693
- Liu H, Kong F, Yin H, Middel A, Zheng X, Huang J, et al. Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: a bibliometric review. *Build Environ* 2021; 196:107794
- Liu W, Angel BA, Chen W, Wei W, Wang Y, Feng Q. Quantifying the contributions of structural factors on runoff water quality from green roofs and optimizing assembled combinations using Taguchi method. *J Hydrol*. 2021; 593:125864.
- Loiola C, Mary W, da Silva LP. Hydrological performance of modular-tray green roof systems for increasing the resilience of mega-cities to climate change. *J Hydrol*. 2019; 573:1057–66
- Lunain D, Gauvreau B. In-situ evaluation of the acoustic efficiency of a green wall in urban areas. In: INTER-NOISE and NOISE-CON congress and conference proceedings. Institute of Noise Control Engineering. 2016. p. 1149–58.
- Luo H, Liu X, Anderson BC, Zhang K, Li X, Huang B, et al. Carbon sequestration potential of green roofs using mixed-sewagesludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecol Indic*. 2015; 49:247–59
- Magill J.D., Midden, K., Groninger, J. and Therrell, M. A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research, *Research Papers*. 2011; Paper 91
- Manso M, Castro-Gomes J. Green wall systems: a review of their characteristics. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 41:863–71.
- Manso M, Castro-Gomes JP, Marchacz M, Gorski M, Dulak L, Zuchowski R. Acoustic evaluation of a new modular system for green roofs and green walls. *Environment (Wash D C)*. 2017; 15:17
- Manso M, Teotonio I, Matos Silva C, Cruz C O. Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. 135; 110111
- Giannopoulou* M, Roukouni** A, Lykostratis K. Exploring the benefits of urban green roofs: a GIS approach applied to a Greek city. *CES Working Papers*. – 2019. Volume XI, Issue 1: 55-72
- Masi F, Rizzo A, Bresciani R. Green architecture and water reuse: examples from different countries. *Sustainable Sanitation Practice*. 2015; 23:4–10
- Mazzali U, Peron F, Scarpa M. Thermo-physical performances of living walls via field measurements and numerical analysis. *WIT Trans Ecol Environ*. 2012; 165:251–9
- Mesimäki, M., Hauru, K. and Lehvävirta, S. Do small green roofs have the possibility to offer recreational and experiential benefits in a dense urban area? A case study in Helsinki, Finland, *Urban Forestry & Urban Greening* (in press). 2018
- Mihalakakou G, Manolis Souliotis M, Maria Papadaki M, Penelope Menounou P, Panayotis Dimopoulos P, Dionysia Kolokotsa D, Paravantis J A, Tsangrassoulis A, Panaras G, Giannakopoulos E, Papaefthimiou S. 2023. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023; 180: (2023) 113306
- Milelli M. Urban heat island effects over Torino. 3° Working Group on Physical Aspects: Soil and Surface. *COSMI Newsletter*No-16. June 2016.
- Moren MSP, Korjenic A. Green buffer space influences on the temperature of photovoltaic modules: multifunctional system: building greening and photovoltaic. *Energy Build* 2017; 146: 364–82.
- Nagengast A, Hendrickson C, Scott Matthews H. Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice. *Energy Build*. 2013; 64:493–502.
- Ngarambe J, Yun GY, Santamouris M. The use of artificial intelligence (AI) methods in the prediction of thermal comfort in buildings: energy implications of AI-based thermal comfort controls. *Energy and Build*. 2020; 211:109807. <https://doi.org/10.1016/j.enbui.2020.109807>
- Niachou A, Papakonstantinou K, Santamouris M, Tsagrassoulis A, Mihalakakou G. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*. 2001; 33:719–29
- Ogaili H, Sailor DJ, Measuring the Effect of Vegetated Roofs on the Performance of Photovoltaic Panels in a Combined System. *J. Sol. Energy Eng*. 2016, 138(6): 061009 (8 pages)

- Oke T., The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 1982; vol. 108, n. 455, pp. 1-24, 1982
- Pastore L, Corrao R, Heiselberg PK. The effects of vegetation on indoor thermal comfort: the application of a multi-scale simulation methodology on a residential neighborhood renovation case study. *Energy Build.* 2017; 146:1–11
- Pérez G, Coma J, Barreneche C, de Gracia Urrestarazu M, Burés S, et al. Acoustic insulation capacity of vertical greenery systems for buildings. *Appl Acoust.* 2016; 110:218–26
- Perez G, Coma J, Sol S, Cabeza LF. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Appl Energy.* 2017; 187:424–37
- Perini K, Ottel'è M. Vertical greening systems: contribution to thermal behaviour on the building envelope and environmental sustainability. *WIT Trans Ecol Environ.* 2012; 165:239–50
- Perini K, Rosasco P. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Build Environ.* 2013; 70:110–21.
- Petralli M., S. Orlandini e G. Brandani. «Microclima urbano: ruolo del verde ed effetti sulla salute,» *Toscana medica.* Giugno 2018; 23-24, 27
- Pittaluga I, Schenone C, Borelli D. Sound absorption of different green roof systems. *J Acoust Soc Am.* 2011; 130:2317. <https://doi.org/10.1121/1.3654256>. 2317
- Porsche U, Kohler M. Life cycle costs of green roofs - a Comparison of Germany, USA, and Brazil. *RIO 3 - world climate & energy event.* Rio de Janeiro, Brazil. 2003. p. 461-467
- Pradhan S, Al-Ghamdi SG, Mackey HR. Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs: a review of the applicability and challenges. *Sci Total Environ.* 2018
- Prodanovic V, Hatt B, McCarthy D, and Zhang K, Deletic A. Green walls for greywater reuse: understanding the role of media on pollutant removal. *Ecol Eng.* 2017; 102: 625–35
- Pugh TAM, MacKenzie AR, Whyatt JD, Hewitt CN. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environ Sci Technol.* 2012; 46:7692–9
- Qin X, Wu X, Chiew Y-M, Li Y. A green roof test bed for storm water management and reduction of urban heat island effect in Singapore. *Int J Environ Clim Chang.* 2012:410–20
- Radić M, Brković Dodig M, Auer T. Green facades and living walls—a review establishing the classification of construction types and mapping the benefits. *Sustainability.* 2019; 11:4579
- Ramasubramanian P, Luhung I, Lim SBY, Schuster SC, Starry O, Gall ET. Impact of green and white roofs on air handler filters and indoor ventilation air. *Build Environ.* 2021; 197:107860. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107860>.
- Ramasubramanian P, Starry O, Rosenstiel T, Gall ET. Pilot study on the impact of green roofs on ozone levels near building ventilation air supply. *Build Environ* 2019; 151:45–53
- Rowe DB. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environ Pollut* 2011; 159:2100–10
- Saadatian O, Sopian K, Salleh E, Lim CH, Riffat S, Saadatian E, et al. A review of energy aspects of green roofs. *Renew Sustain Energy Rev* 2013; 23:155–68
- Santamouris M, Pavlou C, Doukas P, Mihalakakou G, Synnefa A, Hatzibiros A, et al. Investigating and analyzing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy.* 2007; 32:1781–8
- Schindler BY, Blank L, Levy S, Kadas G, Pearlmutter D, Blaustein L. Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. *Israel J Ecol Evol.* 2016; 62:68–73
- Seyedabadi R, Eicker U, Karimi S. Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environ Chall.* 2021; 4: 100119. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>
- Shafique M, Kim R, Kyung-Ho K. Green roof for stormwater management in a highly urbanized area: the case of Seoul, Korea. *Sustainability.* 2018; 10:584
- Shafique, M., Kim, R. and Rafiq, M. (2018), Green roof benefits, opportunities and challenges—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018, 90, pp. 757-773
- Snow, J. 2016. Green Roofs Take Root Around the World. *National Geographic News.* Green Roof Law Passes in San Francisco as Green Design Spreads Around World (nationalgeographic.com)
- Spala A, Bagiorgas HS, Assimakopoulos MN, Kalavrouziotis J, Matthopoulos D, Mihalakakou G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential. *Renew Energy.* 2008; 33:173–7.
- Standard AAAN. ANSI/SPRI VF-1 external fire design standard for vegetative roofs. United States of America: SPRI. 2017
- Subramanyam V, Ahiduzzaman M, Kumar A (2017). Greenhouse gas emissions mitigation potential in the commercial and institutional sector. *Energy Build.* 2017; 140:295–304. <https://doi.org/10.1016/j.enbui.2017.02.007>
- Susorova I. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In: *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs.* Elsevier. 2015. p. 127–53
- Sutton RK. Aesthetics for green roofs and green walls. 2014
- Terra nuova. L'erba sul tetto. Maggio 2009. <https://www.terranuova.it/News/Ambiente/L'erba-sul-tetto>
- Tong Z, Whitlow TH, Landers A, Flanner B. A case study of air quality above an urban roof top vegetable farm. *Environ Pollut* 2016; 208:256–60
- U.S. General Services Administration (GSA), «The benefits and challenges of green roofs on public and commercial buildings» GSA, Suitland, Maryland. 2011. <https://www.adaptationclearinghouse.org>

- /resources/the-benefits-and-challenges-of-green-roofs-on-public-and-commercial-buildings.html
- UN - HABITAT (2013), the economics and financing of urban mobility in Planning and Design for Sustainable Urban Mobility. Global Report on Human Settlements, United Nations Human Settlement Program. 2013
- Urban WHO. Green spaces and health. In: Egorov A, Mudu P, Braubach M, Martuzzi M, editors. Copenhagen: world health organization regional office for europe. ; 2016
- Van den Berg AE, Wesselijs JE, Maas J, Tanja-Dijkstra K. Green walls for a restorative classroom environment: a controlled evaluation study. *Environ Behav.* 2017; 49:791–813.
- Van Renterghem T, Botteldooren D. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Build Environ.* 2011; 46:729–38.
- Van Renterghem T, Hornikx M, Forssen J, Botteldooren D. The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Build Environ.* 2013; 61:34–44.
- Veisten K, Smyrnova Y, Klæboe R, Hornikx M, Mosslemi M, Kang J. Valuation of green walls and green roofs as soundscape measures: including monetised amenity values together with noise-attenuation values in a cost-benefit analysis of a green wall affecting courtyards. *Int J Environ Res Publ Health.* 2012; 9:3770–88.
- Velázquez J, Anza P, Gutiérrez J, Sánchez B, Hernando A and García-Abril, A, Planning and selection of green roofs in large urban areas. Application to Madrid metropolitan area, *Urban Forestry & Urban Greening* (in press). 2018
- Vijayaraghavan K, Joshi UM. Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. *Environ Pollut* 014; 194:121–9.
- Vijayaraghavan K. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 57:740–52.
- Virk G, Jansz A, Mavrogianni A, Mylona A, Stocker J, Davies M. Microclimate effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy Build.* 2015; 88:214–28.
- William R, Goodwell A, Richardson M, Le PVV, Kumar P, Stillwell AS. An environmental cost-benefit analysis of alternative green roofing strategies. *Ecol Eng.* 2016; 95:1–9
- Williams KJH, Lee KE, Sargent L, Johnson KA, Rayner J, Farrell C, et al. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban For Urban Green.* 2019; 44:126399
- Williams NSG, Rayner JP, Raynor KJ. Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban For Urban Green.* 2010; 9:245–51
- Wong NH, Cheong DKW, Yan H, Soh J, Ong CL, Sia A. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy Build.* 2003; 35:353–64. [30] Zinzi M, Agnoli S. Cool
- Wong NH, Kwang Tan AY, Chen Y, Sekar K, Tan PY, Chan D, et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ.* 2010; 45: 663–72. [18] Perini K
- Wong NH, Kwang Tan AY, Tan PY, Chiang K, Wong NC. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ.* 2010; 45: 411–20
- World Health Organization (OMS). Health indicators of sustainable cities in the context of the Rio+20 UN Conference on Sustainable Development. World Health Organization: Geneva, Switzerland Worden E, Guidry D. 2012
- World Urbanization Prospects, Department of Economic and Social affairs population. 2018. (On line) <https://population.un.org/wup/>
- Y, Pareek VK, Ang M. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Sci Technol.* 2013; 67:1403–24
- Yang H-S, Kang J, Cheal C. Random-incidence absorption and scattering coefficients of vegetation. *Acta Acustica United with Acustica.* 2013; 99:379–88. <https://doi.org/10.3813/AAA.918619>
- Yang J, Yu Q, Gong P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmos Environ* 2008; 42:7266–73
- Zhang Q, Miao L, Wangc X, Liu D, Zhu L, Zhou B, et al. The capacity of greening roof to reduce storm water runoff and pollution. *Landsc Urban Plann.* 2015; 144: 142–50
- Zinzi M, Agnoli S. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy Build.* 2012; 55:66–76

QUALI BENEFICI OFFRONO LE INFRASTRUTTURE VERDI SU EDIFICI?

BENEFICI ENERGETICI

- In estate, producono un effetto di **raffrescamento**, riducendo le temperature superficiali dell'involucro dell'edificio, determinando un abbassamento della temperatura ambiente circostante la superficie vegetata e nell'ambiente interno adiacente.
- In estate, tramite l'evapotraspirazione delle piante che aumenta l'umidità relativa dell'aria circostante, l'azione schermante dalla radiazione solare e l'effetto ombreggiante, le coperture vegetali su edifici mitigano il fenomeno di **isola di calore** in città, riducendo la quota di radiazione riflessa verso l'atmosfera e producendo un effetto di **raffrescamento**.
- In inverno, a seconda della posizione geografica, delle condizioni microclimatiche e dall'orientamento della superficie vegetata, potrebbero migliorare l'isolamento di un edificio, riducendone la dispersione termica verso l'esterno.
- Aumentano l'**efficienza di produzione di energia elettrica rinnovabile** da parte dei sistemi fotovoltaici (PV). Sui tetti verdi si stima un aumento di efficienza del 5% rispetto ad un lastrico solare convenzionale, grazie alla copertura vegetale che mantiene le temperature sulla superficie del tetto al di sotto dei 30-35 °C anche d'estate.

BENEFICI AMBIENTALI

- La riduzione del consumo di energia si traduce in una **riduzione delle emissioni di CO₂** in atmosfera, con effetto di mitigazione dei cambiamenti climatici. Inoltre, le piante, attraverso la fotosintesi clorofilliana, **catturano la CO₂** presente nell'aria rilasciando ossigeno.
- Attenuano l'inquinamento dell'aria** ambiente. Oltre a ridurre le emissioni di CO₂, le piante sono in grado di assorbire e metabolizzare diversi composti inquinanti noti come **Composti Organici Volatili (COV)** e di **catturare il particolato (PM10 e PM2,5)**.
- Migliorano la **qualità dell'aria** negli ambienti interni (Indoor Air Quality, IAQ) e il **comfort abitativo**, impattando positivamente sul benessere termico, igrometrico ed olfattivo-respiratorio.
- Riportano natura negli spazi urbani**, contribuendo all'arricchimento della biodiversità, offrono protezione per gli insetti impollinatori e incrementano la rete dei corridoi ecologici.
- Forniscono un sistema per il **drenaggio sostenibile** nei centri urbani, facilitando la gestione del deflusso delle acque piovane. Inoltre, possono consentire un risparmio dell'acqua, che può essere raccolta per destinarla all'irrigazione della vegetazione o ad altri utilizzi.

BENEFICI SOCIALI ED ECONOMICI

- Possono promuovere la **coesione e l'inclusione sociale**; i tetti, in particolare, offrono numerose opportunità ricreative.
- Forniscono spazi verdi aggiuntivi ove praticare **agricoltura urbana a Km zero**.
- Favoriscono lo sviluppo di nuove professioni associate al verde tecnologico (in edilizia e architettura urbana e sostenibile, agronomi, botanici, vivaisti, ...).
- Possono determinare un aumento del **valore capitale dell'immobile** e far risparmiare sulla **ristrutturazione dell'involucro edilizio**, grazie alla protezione da **danneggiamento dovuto ad agenti atmosferici e radiazione solare**.



ItaliainclassaE
Programma Nazionale di Informazione
e Formazione sull'Efficienza Energetica

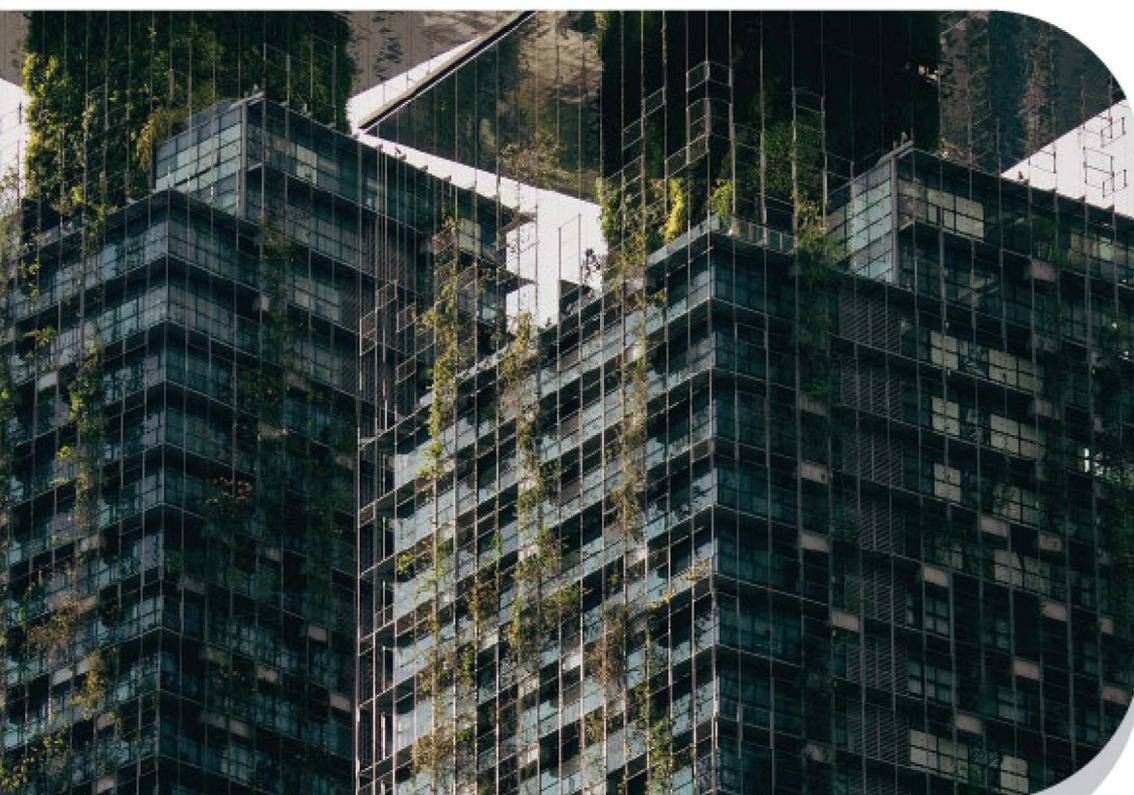
Promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e realizzato dall'ENEA, in attuazione delle disposizioni contenute nell'art. 13 D.Lgs. 102/2014, come modificato dal D.Lgs. 14 luglio 2020, n. 73 in materia di Programma Nazionale di Informazione e Formazione sull'Efficienza Energetica.

www.italiainclassaE.enea.it





3. TECNOLOGIE VERDI PER EDIFICI



Capitolo in breve

Nel Capitolo 3 vengono descritte le principali tipologie di Tetti e Pareti Verdi presenti sul mercato. In particolare, nel primo paragrafo vengono trattati i Tetti Verdi estensivi ed intensivi e, per l'inverdimento delle Pareti, le Facciate Verdi (Green Façade) e le Pareti Viventi (Living Wall), specificando le caratteristiche che contraddistinguono ciascuna tecnologia. Data la loro importanza per il mantenimento in salute della vegetazione

caratterizzante la specifica Tecnologia Verde, i sistemi di drenaggio sono trattati in un paragrafo a parte, evidenziandone la loro efficacia e le potenzialità che hanno nel ridurre i carichi di acqua piovana sull'edificio costituendo una valida strategia di supporto per migliorare il drenaggio urbano. I paragrafi successivi sono dedicati alla pianificazione, progettazione e manutenzione di Tetti e Pareti Verdi.

3.1 Tipologie di tetti e pareti verdi

3.1.1 Tetti verdi

I Tetti Verdi (*Green Roof*) rappresentano una soluzione basata sulla natura (*NBS*) di infrastruttura verde su edifici. Come ampiamente discusso nel Capitolo 2, forniscono una serie di benefici energetici, ambientali, sociali ed economici per le città, aumentandone la resilienza nei confronti dei cambiamenti climatici.

In Italia, come già ricordato nel Paragrafo 1.2, vige la normativa UNI 11235:2015, "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di copertura a verde", pubblicata dalla Commissione Tecnica "Prodotti, processi e sistemi per l'organismo edilizio", di cui si rimanda sin da subito alla consultazione, in funzione delle particolari situazioni di contesto climatico, di contesto edilizio e di destinazione d'impiego. Nella normativa tecnica, si pone l'attenzione principalmente sulla gestione di determinati parametri, come il controllo della capacità drenante. Nella tecnologia di verde pensile vanno garantiti, infatti, un rapido ed efficace drenaggio ed allontanamento dell'acqua in eccesso attraverso un'adeguata permeabilità verticale e lo strato drenante deve essere

calibrato per allontanare la quantità d'acqua infiltrata sulla base delle caratteristiche climatiche del sito, delle proprietà idrauliche del sistema e della morfologia della copertura. In aggiunta, la normativa delinea gli elementi che devono sempre essere presenti in una copertura a verde:

- Elemento portante
- Elemento di tenuta
- Elemento di protezione all'azione delle radici
- Elemento di protezione meccanica
- Elemento drenante
- Strato colturale
- Strato di vegetazione.

In base allo spessore del substrato, i tetti verdi possono essere distinti in **estensivi** ed **intensivi**. Lo spessore caratterizza queste tipologie anche per quanto riguarda le specie vegetali utilizzabili ed il loro peso, parametro fondamentale da considerare in fase progettuale, incidendo di conseguenza sullo sforzo manutentivo richiesto.

I **tetti verdi estensivi** sono progettati principalmente per funzioni di guadagno termico, protezione ambientale e per

aumentare il valore estetico dei contesti urbani. Sono leggeri, a bassa manutenzione e solitamente poco accessibili alle persone. Questa tipologia di tetto verde è caratterizzata da una profondità del substrato tra gli 8 ed i 15 cm, adatta alla coltivazione di una vegetazione per lo più bassa e piantata uniformemente, richiedendo pertanto costi di realizzazione ed interventi di manutenzione contenuti. Sono particolarmente adatti per edifici che non possono sopportare carichi molto elevati, con un peso medio con substrato saturo dell'ordine di 90-150 kg/m². L'apporto idrico per il mantenimento della vegetazione è affidato principalmente alle piogge; tuttavia, è consigliato comunque un sistema di irrigazione di supporto, specialmente nelle regioni mediterranee spesso caratterizzate da livelli variabili di siccità nei mesi estivi.

I **tetti verdi intensivi** sono giardini pensili destinati all'uso umano, soprattutto ai fini della fruibilità della copertura come spazio per attività all'aperto, molto spesso con fini estetici, che consistono in una moltitudine di piante, a portamento erbaceo, arbustivo ed anche arboreo con vegetazione più imponente. Questi richiedono infrastrutture più complesse rispetto ad un tetto verde estensivo, che provvedano alla raccolta dell'acqua, all'irrigazione e alla fertilizzazione. Il terreno di coltura ha una profondità superiore rispetto ai tetti verdi estensivi, che può raggiungere anche i 100 cm. In questo caso, si parla di veri e propri giardini ed orti, che richiedono di conseguenza interventi di manutenzione frequenti e di intensità maggiore rispetto alla tipologia di tetto estensivo. I tetti verdi intensivi sono ideali per edifici che possono sopportare carichi

particolarmente elevati, circa 180-500 kg/m² di peso medio con substrato saturo. La capacità di accumulo idrico del substrato è dell'ordine dei 50-150 litri/m². Per il mantenimento della vegetazione vengono implementati specifici impianti d'irrigazione *ad hoc*, ad es. del tipo a goccia, a pioggia o per sub-irrigazione.

Tipologie di piante

La scelta della vegetazione dipende dal tipo di tetto (estensivo o intensivo) e da fattori quali la progettazione edilizia, il clima, la luce solare disponibile, l'irrigazione e l'uso previsto del tetto.

- Per un **tetto verde estensivo** si utilizzano tipicamente specie perenni e dalla capacità di svilupparsi e crescere senza troppo aiuto da parte dell'uomo. Sono preferibilmente piante con radici poco profonde e autorigeneranti che richiedono un minimo apporto di nutrienti. Si tratta di erbacee, erbacee perenni ed arbusti coprisuolo. Devono essere piante in grado di insediarsi facilmente e di crescere rapidamente, caratterizzate inoltre da ottime capacità di resistenza agli stress idrico e termico, come le specie succulenti del genere *Sedum* e altri generi e famiglie analoghe. Le specie del genere *Sedum*, infatti, risultano particolarmente adatte ai tetti verdi estensivi in area mediterranea per la loro resistenza alla siccità, nonché per l'elevato livello di idratazione dei tessuti che le rende piante resistenti al fuoco. Questo genere comprende circa 400 specie sempreverdi. Il fogliame ha una grande varietà di forme e sfumature di colore ed i fiori sono di solito gialli ed estivi, ma non mancano le eccezioni (figura 3.1). Sono sufficienti anche soli 7-8 cm di substrato per garantirne la

sopravvivenza. Inoltre, in molti casi, la manutenzione della vegetazione dei tetti di *Sedum* può essere effettuata anche da personale non specializzato.



Figura 3.1 - Alcuni esempi di varietà di forma e colore tra le specie del genere *Sedum*: *Sedum sediforme* (A e F), *Sedum acre* (B), *Sedum spurium* (C), *Sedum telephium* (D), *Sedum takesimense* (E)

- Per un **tetto verde intensivo** sono numerosissime le specie vegetali, tra erbacee perenni, cespugli, arbusti ed alberi, da poter coltivare. Un esempio

rilevante è il “Giardino Terapeutico esteso” del Policlinico di Milano in fase di realizzazione (figura 3.2).



Figura 3.2 - Esempio di progetto di giardino pensile intensivo sul tetto del Policlinico di Milano che ospiterà anche piante che oggi vengono utilizzate nell’attività ospedaliera e nella farmaceutica.

(Fonte: <https://www.policlinico.mi.it/news/2023-03-20/3231/nuovo-policlinico-larchitettura-della-salute-intervista-agli-architetti-gianandrea-barreca-e-giovanni-la-varra>)

3.1.2 Pareti verdi

Il concetto di **pareti verdi** si riferisce a tutti i sistemi che consentono l'inverdimento di una superficie verticale (ad es. facciate, pareti, pareti cieche, pareti divisorie, ecc.) con una selezione di specie vegetali. Vengono usate diverse nomenclature per riferirsi a diverse tipologie di pareti verdi: "giardino verticale", "sistemi di inverdimento verticale", "sistemi di verde verticale" (Manso & Castro-Gomes, 2015)¹⁰. Le pareti verdi possono essere realizzate utilizzando due principali sistemi costruttivi: le Facciate Verdi (*Green Façade*) e le Pareti Viventi (*Living Wall*) (figura 3.3). C'è una distinzione evidente tra le due tipologie: per le facciate verdi vengono utilizzate per la copertura della parete piante di natura rampicante e/o ricadente, appoggiate direttamente o indirettamente alle pareti

dell'edificio; per le pareti viventi vengono utilizzate tecnologie e materiali di più recente concezione, per supportare una più ampia varietà di piante, creando una crescita uniforme lungo la superficie. Le pareti viventi possono essere classificabili in continue e modulari. Nelle pareti viventi continue le piante crescono in leggeri pannelli assorbenti come uno strato di feltro in cui sono ricavate delle tasche per ospitare substrato e piantine; nelle pareti viventi modulari sono presenti dei pannelli di dimensioni ridotte portanti specifici elementi di supporto della vegetazione che possono essere già predisposti con alloggi per le radici o avere tasche, vasi, fioriere o contenitori riempiti con substrati che possono essere organici o inorganici con buona capacità di ritenzione idrica.

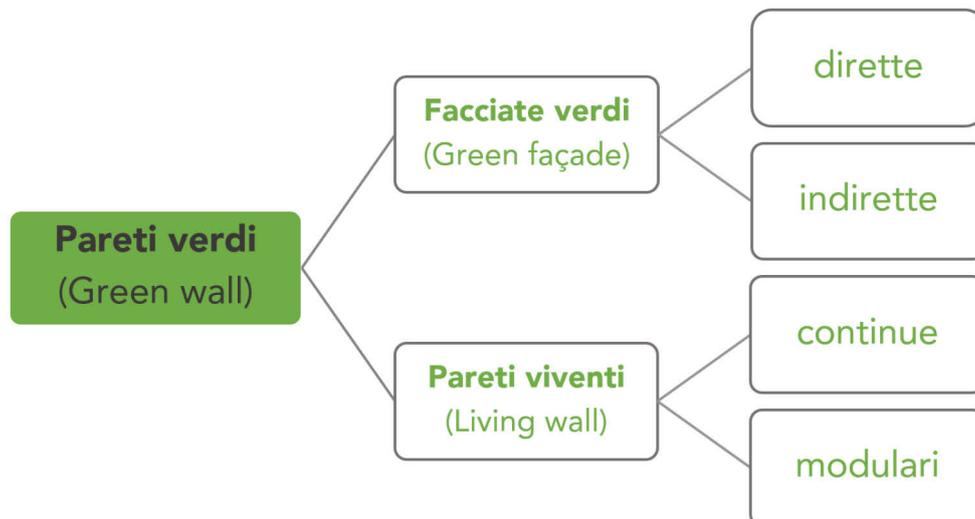


Figura 3.3 - Classificazione delle pareti verdi in base alla loro tipologia costruttiva (Fonte: l'immagine è stata rielaborata a partire da Manso & Castro-Gomes, 2015¹¹)

¹⁰ Manso, M., Castro-Gomes, J., 2015. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

3.1.2.1 Facciate verdi

La tecnica delle **facciate verdi** (*Green Façade*) trae il suo nome dalla possibilità di rinverdire un edificio mediante la creazione di una parete verde con l'uso di svariate specie vegetali. Si distinguono in **facciate verdi dirette**, in cui le piante rampicanti crescono appoggiandosi direttamente alle pareti dell'edificio, e **facciate verdi indirette**,

caratterizzate dalla presenza di strutture di sostegno per la vegetazione ancorate al muro e dallo strato di vegetazione separato dalla facciata. In entrambi i casi le piante possono avere dimora in piena terra oppure essere collocate in vasi. Di seguito sono riportati alcuni esempi (figure 3.3-3.7).

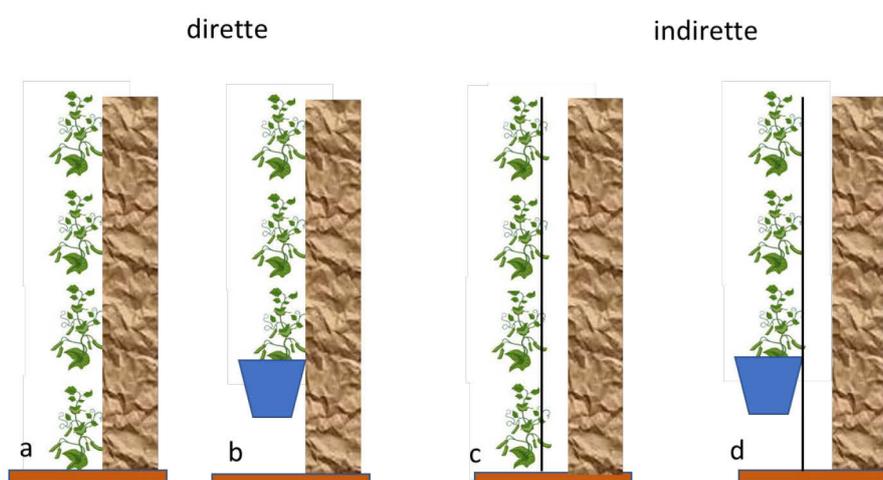


Figura 3.4 - Tipologie di facciate verdi. *a)* Facciata verde diretta con piante in piena terra; *b)* Facciata verde diretta con piante in vaso; *c)* Facciata verde indiretta con piante in piena terra; *d)* Facciata verde indiretta con piante in vaso

I sistemi di inverdimento indiretto si distinguono in soluzioni continue e soluzioni modulari. Le prime sono costituite da un'unica struttura di supporto che dirige lo sviluppo delle piante lungo l'intera superficie dell'edificio. Le soluzioni modulari sono simili, ma derivano dall'installazione di più elementi modulari lungo la superficie. Le strutture di sostegno che supportano la crescita della vegetazione rampicante possono essere realizzate con differenti soluzioni tecniche, come cavi o corde, maglie metalliche, o

grigliati (Radić et al. 2019¹¹); le scelte possono variare in base al sito, all'edificio, alla ventosità, alle specie vegetali scelte e ai costi. In caso di impiego di materiali metallici per la struttura di sostegno, è necessario realizzare la messa a terra per maggiore sicurezza in caso di fulmini. Tutte le strutture indirette per essere realizzate devono avere il progetto corredato da un calcolo statico dei carichi, generati dalla struttura e dalla vegetazione sull'edificio.

¹¹ Radić M, Brković Dodig M, Auer T. Green Facades and Living Walls—A Review Establishing the Classification of

Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*. 2019; 11: 4579. <https://doi.org/10.3390/su11174579>



Figura 3.5 - Facciata verde diretta con piante in piena terra (Fonte: [DannenbergstraÙe in Hannover – Green Hannover \(green-hannover.de\)](http://DannenbergstraÙe in Hannover – Green Hannover (green-hannover.de)))

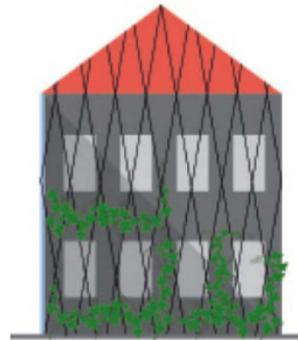


Figura 3.6 - Facciata verde indiretta con piante in piena terra. (Fonte: <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/tecniche-realizzazione-facciate-verdi-green-facade-367>)



Figura 3.7 - Facciata verde indiretta con piante in vaso. Edificio nell'area del Museo delle Scienze di Trento (Fonte: RPBW, Hufton + Crow · MUSE · Divisare)

Tipologia di piante rampicanti

Le piante rampicanti possono essere suddivise in:

- piante con viticci
- piante rampicanti che aderiscono ai muri
- piante rampicanti che hanno bisogno di essere legate.

Piante con viticci

I viticci, detti anche cirri, sono degli organi modificati con i quali le piante si attorcigliano ad alberi, rocce, muri e sostegni vari, che possono essere leggere o robuste. I viticci derivano dalla metamorfosi del fusto (come nella vite), delle foglie (nelle Fabacee) o di radici (alcune Orchidacee) (figura 3.8).

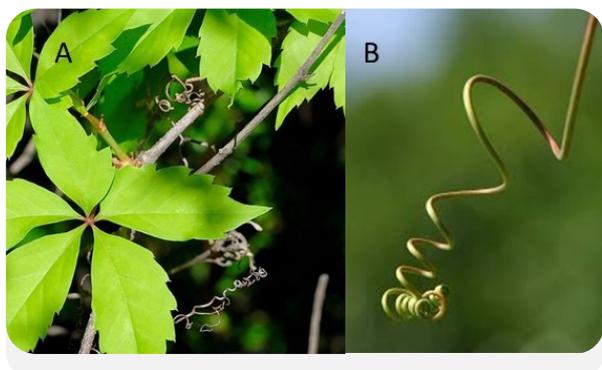


Figura 3.8 - A) Pianta rampicante con viticci;
B) Dettaglio di viticcio

Piante rampicanti che aderiscono ai muri

Queste piante, per arrampicarsi si avvalgono di minuscole ventose discoidali o uncini collocati all'apice dei viticci; venendo in contatto col muro, vi aderiscono sviluppando un disco, detto appunto di adesione, che assume poi la forma di ventosa e tale adesione è così tenace che strappandoli dal sostegno

ogni ventosa può asportare un po' dell'intonaco del muro. Alcune di queste specie sono ad esempio la *Parthenocissus tricuspidata*, con i cirri-ventose, e l'*Hedera helix*, con le radici avventizie caulinari (figura 3.9).



Figura 3.9 - *Parthenocissus tricuspidata*

Piante rampicanti che hanno bisogno di essere legate

Tra le piante rampicanti che hanno bisogno di supporti ci sono ad esempio: la bouganville, il caprifoglio, la rosa rampicante, il gelsomino e il glicine (figura 3.10).



Figura 3.10 - Pianta di bouganville rampicante

3.1.2.2 Pareti viventi

Le **pareti viventi** (*Living Wall*), anche conosciute come “Giardini Verticali” (*Vertical Garden*) o “Biopareti” (*Biowall*) rappresentano un’innovazione abbastanza recente (Radić et al. 2019)¹². La tecnologia delle pareti viventi consente l’integrazione del verde sulle pareti di edifici alti, permette una rapida copertura delle superfici di grandi dimensioni e una crescita più uniforme lungo la verticale. Su questo tipo di struttura possono essere inserite quasi tutte le specie vegetali ma occorre rispettarne le richieste climatiche, di esposizione o soleggiamento. Sul mercato esistono molte diverse soluzioni brevettate per questo tipo di strutture sia *outdoor* che *indoor*.

Nelle **pareti viventi continue** non è richiesto un substrato di terriccio ma le piante crescono in leggeri pannelli assorbenti come uno strato di feltro in cui sono ricavate delle tasche. Questo strato è poi seguito da altri strati

permeabili, flessibili e una schermatura anti-radice, il tutto ancorato ad una cornice e ad un supporto metallico fissato alla parete in modo indiretto (Manso & Castro-Gomes, 2015)¹³. I fabbisogni idrici e nutrizionali dei vegetali sono coperti grazie ad un sistema di fertirrigazione installato sulla sommità della struttura, grazie allo strato permeabile e alla gravità, l’acqua si distribuisce sull’intero muro verde. Nelle **pareti viventi modulari** l’impianto irriguo viene installato tra i pannelli e l’acqua in eccesso viene raccolta da una canaletta di scolo e stoccata. La struttura modulare permette la pre-coltivazione dei pannelli con la possibilità di una rapida messa in opera oltre che la rapida sostituzione di eventuali moduli rovinati. Inoltre, è più semplice comporre i moduli secondo un disegno estetico che rispetti forma e volume delle diverse specie (figura 3.11).



Figura 3.11 - A) One Central Park Tower, Sydney. Il più alto muro vegetale del mondo realizzato nel 2013. B) Museo del Quai Branly, Parigi. Realizzato nel 2004, 800 m² e 15.000 piante di 150 tipi diversi. Nel 2017 è stato arricchito con 350 specie differenti provenienti da tutto il mondo. (Fonte: <https://www.murvegetalpatrickblanc.com>)

¹² Radić M, Brković Dodig M, Auer T. Green Facades and Living Walls—A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*. 2019; 11: 4579. <https://doi.org/10.3390/su11174579>

¹³ Manso M, Castro-Gomes J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 41: 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

Recentemente, inoltre, si stanno sviluppando pareti realizzate con **vegetali stabilizzati**, ossia con piante precedentemente trattate con sostanze specifiche che una volta posizionate nella parete verticale non necessitano più di manutenzione e di cure. Le piante utilizzate sono principalmente di piccole dimensioni che creano un effetto di tappeto e spesso sono muschi o licheni. Possono essere di vari colori e questo permette straordinari effetti visivi con un alto valore estetico. Solitamente sono venduti in tappeti flessibili da posizionare sia in verticale sulle pareti oppure in orizzontale sul soffitto o a pavimento. Le loro proprietà sono di assorbire i rumori abbassando l'inquinamento acustico e sono ignifughe garantendo quindi protezione dal rischio di incendio.

In generale, la tecnologia del verde verticale si sta sviluppando rapidamente e, come dimostra l'analisi bibliometrica (Wang et al. 2022)¹⁴, il numero di pubblicazioni nel settore dell'inverdimento verticale sta aumentando esponenzialmente. Dal 2012 al 2022 il numero di documenti è aumentato di anno in anno.

Nel campo dell'industria e della ricerca, lo scopo è quello di ottenere i massimi vantaggi dalle installazioni (economici, ambientali e sociali). In figura 3.12 si riporta un sistema innovativo Verde Verticale per edifici, proposto da un gruppo di ricercatori di una Università Australiana, specificamente di una parete verde ibrida tra facciata verde e parete vivente¹⁵. Il sistema proposto consentirebbe la crescita di piante più tradizionali rispetto alle specie per le pareti viventi, come rampicanti e viti, facilitando allo stesso tempo lo sviluppo di comunità vegetali più complesse, aumentando la profondità e la robustezza del substrato che rispetto ai sacchetti di tessuto potrebbero facilitare l'incorporazione anche di specie di piante legnose e a crescita più lenta, col vantaggio ulteriore di prolungare i tempi richiesti tra una manutenzione e l'altra. Concettualmente, si tratta di un *design* costituito da pannelli di substrato modulari tipico di un *Living Wall*, ruotati perpendicolare alla facciata dell'edificio, distanziati da essa, che creano un sistema di facciata verde "perforata" (figura 3.12).

¹⁴ Wang P, Wong YH, Tan CY, Li S, Chong WT. Vertical Greening Systems: Technological Benefits, Progresses and Prospects. *Sustainability*. 2022; 14(20):12997. <https://doi.org/10.3390/su142012997>

¹⁵ Irga PJ, Torpy FR, Griffin D, Wilkinson SJ. Vertical Greening Systems: A Perspective on Existing Technologies and New Design Recommendation. *Sustainability*. 2023; 15(7):6014. <https://doi.org/10.3390/su15076014>



Figura 3.12 - Proposta di parete verde ibrida tra Facciata Verde (*Green Façade*) e Parete Vivente (*Living Wall*) (Irga et al. 2023¹⁶)

3.1.3 Sistemi di drenaggio per tetti e pareti verdi

I sistemi di drenaggio per tetti e pareti verdi sono essenziali per mantenere il sistema di vegetazione in salute e prevenire danni strutturali all'edificio, in quanto permettono di rimuovere l'eccesso di acqua dal substrato di crescita riducendo i carichi sull'edificio. Per garantire il corretto funzionamento dei sistemi di drenaggio dei tetti verdi, è importante considerare alcuni fattori chiave durante la progettazione e l'installazione.

Innanzitutto, vanno considerati la quantità di pioggia e l'effetto di deflusso dell'acqua dal tetto. Se il tetto è molto inclinato o se ci sono elementi architettonici che interrompono il deflusso dell'acqua, può essere necessario installare un sistema di raccolta dell'acqua piovana per evitare problemi di inondazioni o ristagni d'acqua.

Inoltre, è importante scegliere il tipo di substrato in base alle esigenze delle piante che si vogliono coltivare e che abbia l'ulteriore

prerogativa di non compattarsi eccessivamente per consentire un buon drenaggio dell'acqua.

Infine, è fondamentale effettuare regolari controlli di manutenzione sui sistemi di drenaggio dei tetti verdi, in particolare durante i periodi di forte pioggia o dopo le tempeste. In caso di problemi, bisogna intervenire tempestivamente per evitare danni alla struttura del tetto e alle piante.

In generale, la corretta progettazione e l'installazione dei sistemi di drenaggio dei tetti verdi sono cruciali per garantire la durata e la salute delle piante, nonché per il corretto funzionamento del tetto come elemento architettonico.

Esistono diverse tipologie di sistemi di drenaggio, la cui scelta dipenderà dalle esigenze specifiche del progetto, oltre che dalla disponibilità di risorse finanziarie e tecniche, tra cui:

- **Sistema di drenaggio a strati:** Questo sistema utilizza uno strato di drenaggio posizionato alla base della parete o del tetto verde, seguito da uno strato di filtraggio per prevenire l'accumulo di particelle provenienti dal sovrastante substrato di crescita. Uno strato di accumulo viene posizionato sopra il filtro per trattenere l'acqua in eccesso durante le piogge intense. Infine, il substrato di crescita viene posizionato sulla parte superiore del sistema di drenaggio. Questo sistema è abbastanza costoso, ma garantisce una buona gestione idrica e una buona salute delle piante.
- **Sistema di drenaggio ad anello:** Questo sistema utilizza un anello di drenaggio posizionato intorno al perimetro del tetto o della parete verde. L'acqua che si accumula viene raccolta dall'anello di drenaggio e convogliata in un sistema di drenaggio sottostante. Questo sistema è meno costoso rispetto al sistema di drenaggio a strati e offre un'efficace gestione delle acque piovane.
- **Sistema di drenaggio a griglia:** Questo sistema utilizza una griglia di drenaggio posizionata sulla superficie del substrato di crescita. L'acqua defluisce attraverso la griglia e viene convogliata in un sistema di drenaggio sottostante. Questo sistema è facile da installare e adatto per pareti e tetti con pendenze moderate. Tuttavia, l'acqua può accumularsi nel substrato di crescita durante le piogge intense, causando problemi di drenaggio.
- **Sistema di drenaggio ad aspirazione:** Questo sistema utilizza una pompa per rimuovere l'acqua in eccesso dal substrato di crescita e risulta particolarmente utile in aree con piogge intense o in zone soggette a inondazioni. Tuttavia, è il sistema più costoso e richiede un elevato consumo energetico per il funzionamento della pompa.

Alcuni comuni e regioni italiane hanno proposto delle linee guida per la gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano (vedere Paragrafo 4.2).

3.2 Pianificazione e progettazione

Prima dell'installazione di una copertura verde, che si tratti di un edificio già esistente o in costruzione, se ne valutano le potenzialità in ambito strutturale, tecnologico, ambientale ed energetico. La prima cosa da fare è la valutazione dello stato strutturale dell'edificio, soprattutto a livello delle zone potenzialmente interessate alla copertura da coltre vegetale. A questo scopo, va presa come riferimento la normativa vigente in materia di costruzioni. La

progettazione di una copertura verde è un compito molto complesso per cui sono richiesti particolari accorgimenti costruttivi atti a garantire la stabilità dell'opera. Pertanto, nel caso di un tetto in cui una copertura verde non sia stata prevista in fase di progettazione dell'edificio, è di primaria importanza assicurare un elevato livello di impermeabilizzazione del fondo, possibilmente anche un buon livello di isolamento termico e soprattutto che

le strutture murarie siano adatte a sorreggere pesi aggiuntivi. Le ultime due prerogative sono valide anche nel caso di una coltre vegetale disposta verticalmente a copertura dell'edificio.

Un'altra scelta importante deve essere fatta a livello tecnologico, prendendo in considerazione i materiali e le componenti presenti sul mercato, anche possibilmente con un'ottica verso la sostenibilità ambientale, che farà prediligere materiali a più basso impatto ambientale e di natura quanto più possibile ecosostenibile. In questa scelta prevarrà

anche l'aspetto economico. A questo riguardo specifico, è utile fare un'analisi accurata dei costi, in cui i costi d'installazione vengano analizzati per l'impatto anche insieme ai costi di manutenzione, che in genere possono essere più elevati nei primi due anni. In quest'analisi bisogna anche considerare eventuali costi aggiuntivi dovuti ad una riparazione o alla realizzazione *ex-novo* di una nuova copertura non vegetata. I costi dovranno poi essere valutati sulla base del beneficio, anche in termini di servizio ecosistemico, che l'opera d'inverdimento consente di ottenere.

3.2.1 Aspetti tecnici da considerare nella progettazione di un tetto verde

- **Impermeabilizzazione e funzione antiradice:**

Nel caso di un tetto verde, come previsto dalla norma UNI 11253:2015, uno strato antiradice va sempre garantito; pertanto, se è già presente uno strato impermeabilizzante senza funzione antiradice, bisogna prevedere l'aggiunta di una membrana che protegga la struttura della soletta dall'aggressione degli apparati radicali delle piante.

- **Tipo di vegetazione in base alla pendenza del tetto:**

Nei tetti piani (0°-5°) non vi sono molti problemi che invece vanno considerati nel caso di tetti spioventi (5°-50°), dovuto alle forze di spinta oltre che all'erosione che può verificarsi a causa dell'inverdimento. Le soluzioni per i tetti inclinati, che includono elementi di drenaggio, geogriglie o traverse, richiedono un ulteriore grado di complessità della

progettazione, dovendo considerare e valutare le caratteristiche dei sistemi di trattenimento, dei loro ancoraggi e tutte le particolarità di funzionamento che dipendono da diverse altre caratteristiche, come ad es. la lunghezza e la pendenza delle falde, il sistema di drenaggio e gli scarichi, le specie vegetali.

- **Peso complessivo della stratigrafia aggiuntiva e fruibilità della copertura:**

Bisogna tener conto del peso massimo raggiungibile dalla struttura anche in condizioni di massima saturazione idrica. Nel valutare il carico statico complessivo, bisogna tenere in considerazione il carico della neve, in aggiunta ad altri carichi presenti ed eventuali come, ad esempio, durante gli interventi di manutenzione oppure in funzione del livello di fruibilità del verde pensile che verrà installato. Il livello di fruibilità della copertura andrà definito in sede di progettazione. In

assenza del dato strutturale di partenza associato all'edificio *target*, è buona regola rivolgersi ad uno specialista per richiedere un'analisi di fattibilità, che preveda uno studio ed un calcolo sulla tenuta del solaio, per asseverare il carico massimo sostenibile dal lastrico solare oggetto dell'installazione verde. A questo scopo, l'esperto saprà suggerire le indagini più adatte per la caratterizzazione del solaio esistente (saggio ispettivo, pacometria, endoscopia, prova di carico, ecc.). Ovviamente, la scelta di una copertura estensiva o intensiva oltre che dei diversi materiali utilizzabili dipendono evidentemente dalla resistenza del tetto.

- **Facilitazione del drenaggio:**

È opportuno assicurarsi che la funzionalità di drenaggio attraverso opportuni scarichi di acqua dal tetto sia assicurata, anche durante le ispezioni per la manutenzione del tetto verde che verranno poi effettuate di volta in volta. Nella stratigrafia del tetto, la UNI 11235:2015 prevede anche uno strato specifico a funzione drenante. Opportuni materiali naturali e drenanti sono quasi sempre presenti anche miscelati nel substrato di crescita delle piante.

- **Pianificazione dell'inverdimento coordinata con altri elementi:**

Nella progettazione del tetto verde va presa in considerazione la presenza di elementi costruttivi particolari o di impianti tecnici. Più di recente, si sta diffondendo l'installazione coordinata e/o alternata di zone di copertura a verde e pannelli fotovoltaici; a tal proposito, è

rilevante che in studi recenti sia stato osservato un aumento dell'efficienza di produzione di energia rinnovabile in impianti fotovoltaici installati su tetti con coperture vegetali. Mediamente, vengono riscontrati aumenti del 5% delle prestazioni degli impianti (Lamnatou & Chemisana, 2015¹⁶).

- **Condizioni microclimatiche sul tetto:**

Il livello di esposizione all'irradiazione solare, all'ombra, al vento, alle piogge e all'inquinamento sono aspetti da valutare durante la progettazione di un tetto verde, soprattutto ma non soltanto per la selezione delle specie vegetali più opportune da far crescere sul tetto.

- **Disponibilità di acqua sul tetto:**

Bisogna predisporre sul tetto un allaccio alla rete idrica per consentirne l'irrigazione, essenziale nei tetti verdi intensivi, ma molto utile anche nei tetti estensivi.

- **Salute del suolo:**

Un suolo biologicamente attivo e sano è fondamentale per garantire che un tetto verde funzioni bene, consentendo una crescita ottimale delle piante, mantenendole sane e robuste. Una volta l'anno o anche due, soprattutto nel caso di giardini pensili ad alto valore ambientale ed estetico (anche in base all'età dell'infrastruttura), si suggerisce di provvedere ad un'analisi chimica di base dei livelli di nutrienti del suolo. Un tetto verde più giovane che ha solo pochi anni dovrebbe avere un contenuto di sostanze nutritive sufficiente nel terreno di coltura.

¹⁶ Lamnatou C, Chemisana D A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. Renew

Sustain Energ Rev, 2015, 43: 264-280. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.048>

In genere, bisognerebbe verificare il pH del suolo oltre che i contenuti dei principali macroelementi quali azoto, fosforo e potassio (NPK), sebbene sapere i livelli di micronutrienti risulterebbe utile per consentire di essere più precisi e di risparmiare un po' sui costi di fertilizzazione, aumentando il grado di sostenibilità del sistema verde.

- **Effetti del vento:**

Qualora i tetti verdi si trovino su edifici alti o comunque in località dove i venti sono molto forti, è necessario considerare tali pressioni per soddisfare i requisiti di prestazione e garantire la pubblica sicurezza. La UNI 11253:2015, per ciò che concerne il vento, prevede un'analisi tecnica che includa i dettagli sui possibili effetti del vento e riporti in che modo vengono affrontati tali problemi. Infatti,

molto spesso i moduli vegetati sono disponibili in un'ampia gamma di pesi, dimensioni e materiali, che anche in base al loro assemblaggio possono essere più o meno in grado di equalizzare la pressione del vento. Purtroppo, allo stato delle cose, mancano spesso informazioni tecniche del progetto sulla resistenza al vento. Esiste anche uno standard internazionale CSA A123.24 che fornisce i requisiti per valutare la resistenza al vento da parte di un tetto a moduli vegetati.

- **Altri aspetti** fondamentali per la progettazione riguardano la tipologia di vegetazione (estensiva o intensiva, come riportata al Paragrafo 3.1, ed il livello di manutenzione associato). Per la manutenzione si rimanda specificamente al Paragrafo 3.3.

3.2.2 Aspetti tecnici da considerare nella progettazione del verde verticale

Ancor più rispetto ai tetti verdi, le realizzazioni di verde verticale dovrebbero essere progettate in modo corretto e preciso per far sì che esse possano espletare le funzioni principali per le quali se ne vuole l'installazione, allo stesso tempo aderendo quanto più possibile al contesto architettonico d'inserimento. In aggiunta ad alcuni aspetti già menzionati sopra in relazione ai tetti verdi e validi anche per le pareti verdi (quali in particolare la *Pianificazione dell'inverdimento coordinata con altri elementi*, le *Condizioni microclimatiche*, la *Disponibilità di acqua*, *Salute del Suolo* e gli *Effetti del vento*), altri aspetti tecnici imprescindibili nella progettazione del verde tecnologico verticale

riguardano soprattutto i materiali e l'impiantistica.

- **Substrati di coltivazione:**

Principalmente si possono utilizzare substrati per la coltivazione convenzionale o substrati per la coltivazione idroponica. Questi ultimi vengono implementati principalmente nelle pareti verdi con feltro geotessile, del tipo ideato da Patrick le Blanc, ove il feltro intriso in una soluzione nutritiva funziona esso stesso come substrato. Oltre al feltro, un altro tipo di substrato non organico frequentemente utilizzato per la coltivazione idroponica nel verde

verticale è la lana di roccia. D'altra parte, i substrati convenzionali possono includere diversi materiali di natura organica, tipo ad es. compost, torba, fibra di cocco, sfagno, canapa; tuttavia, questi materiali presentano lo svantaggio di compattarsi con il tempo facilitando la formazione di zone "vuote" non inverdite.

- **Irrigazione:**

Per il verde verticale è necessario che l'irrigazione sia garantita da un sistema automatizzato. Un sistema tipico include un serbatoio per il recupero dell'acqua, che viene in genere collocato alla base della parete, una pompa che la convogli fino alla parte superiore della parete ed un tubo di irrigazione, molto spesso sostituito da un sistema d'irrigazione a goccia. Qualunque sia il sistema installato, è sempre bene prevederne un controllo mensile o ancor meglio bisettimanale, anche verificando il corretto gocciolamento delle ali gocciolanti o degli irrigatori con ugello ed effettuando ogni tanto una pulizia del serbatoio prevedendone interventi di scarico, pulizia delle pareti interne e disinfezione. Nei casi di verde verticale più ricercati e sofisticati, si suggerisce, una volta l'anno, l'analisi di un campione d'acqua per quanto riguarda il livello di acidità e di sali minerali presenti, tramite misura del pH e della conducibilità elettrica. Alcuni sistemi prevedono l'inclusione di una centralina di comando per il monitoraggio dell'impianto continuo ed in tempo reale.

- **Sistemi di fertirrigazione:**

La diffusione in agricoltura moderna dell'utilizzo di impianti di microirrigazione

a goccia ha determinato lo sviluppo di un nuovo metodo per la gestione della vegetazione, non solo per l'apporto idrico (irrigazione) ma anche, contemporaneamente, per l'apporto nutritivo (fertilizzazione). I sistemi di fertirrigazione consentono risparmi notevoli sia della risorsa acqua che dei fertilizzanti, allo stesso tempo raggiungendo un'ottima resa e qualità dell'inverdimento. Con la fertirrigazione viene effettuato un controllo molto più accurato delle sostanze nutritive utilizzate, limitando anche gli impatti negativi sull'ambiente determinati da un utilizzo improprio oppure eccessivo di questi prodotti, nella maggior parte dei casi di natura sintetica e ad alto costo energetico. Ogni componente di questo impianto può essere ottimizzato, a partire dai gocciolanti e dai micro-irrigatori, anche i sistemi di filtrazione, le valvole di controllo, i sistemi di iniezione dei fertilizzanti, fino alla gestione automatica ed al monitoraggio di tutto il processo (figura 3.13).

- **Illuminazione:**

L'esposizione della facciata da inverdire costituisce un'informazione fondamentale per la progettazione, soprattutto per quanto riguarda la selezione delle specie vegetali. In ambienti con bassa illuminazione naturale può essere necessario predisporre un sistema di illuminazione artificiale (con barre led, fari ad incasso, applique, ecc.) che garantisca il naturale ciclo fotosintetico delle piante, da progettare sulla base di un'analisi illuminotecnica che tenga conto delle esigenze di luce delle piante (fotoperiodo, ovvero numero di ore di

luce ininterrotta che la pianta riceve in 24 h).

- **La sicurezza nei cantieri di costruzione di infrastrutture verdi per edifici:**

La sicurezza e la salute sul lavoro (SSL) per i lavoratori nel settore di costruzione e installazione di tetti e pareti verdi su

edifici richiede un'attenzione particolare; infatti, alcuni progetti comportano la realizzazione di opere ed interventi ad alto rischio, per questo si rende necessaria una normativa "integrativa" per gestire correttamente ed in sicurezza le procedure in questi casi.



Figura 3.13 - Schema di un impianto di fertirrigazione (Fonte: Hanna Instruments)

3.3 Manutenzione di tetti e pareti verdi

3.3.1 La manutenzione dei tetti verdi

Gli interventi di base associati alla manutenzione ordinaria e preventiva dei tetti verdi, essenziali per mantenerli in salute e garantirne negli anni le prestazioni dei servizi ecosistemici, oltre alla cura della vegetazione, includono il monitoraggio della solidità strutturale del tetto e la rimozione di detriti ed eventuali blocchi di drenaggio, assicurandosi che l'acqua non utilizzata dalle piante e dal substrato di crescita possa defluire liberamente dal tetto. Oggigiorno, grazie all'utilizzo di materiali e tecnologie costruttive evoluti, gli interventi di manutenzione risultano più limitati. Tuttavia, considerato che dopo diversi anni dall'installazione i tetti verdi potrebbero potenzialmente causare problemi di infiltrazioni, si suggerisce anche di verificare livello di usura generale dello strato impermeabile, incluso il degrado dei giunti, e l'eventuale presenza di radici delle piante che potrebbero fratturare lo strato impermeabile ed il livello di usura generale di questo strato.

La cura e la manutenzione della vegetazione di un tetto verde dipenderanno dai diversi tipi di piante che vi sono, alcune potrebbero richiedere una fertilizzazione più specifica, un monitoraggio più attento del colore e della crescita delle piante, un'irrigazione o un diserbo più frequente, ecc. Non solo, la manutenzione della vegetazione sui tetti è strettamente legata alle condizioni dell'edificio e dell'ambiente, tanto a livello geografico che climatico. Per generalizzare, oltre che dalle specie vegetali, la cura stagionale delle piante e la manutenzione dei tetti verdi richiede un impegno diverso a

seconda che si tratti di un tetto verde "estensivo" oppure "intensivo".

Nel caso più semplice di tetto verde, quello estensivo a *Sedum*, sono sufficienti 1-2 interventi di manutenzione l'anno, in virtù del fatto che i *Sedum* sono piante grasse a bassa crescita e aridoresistenti. Un programma di manutenzione ordinaria, in condizioni climatiche per lo più moderate, deve prevedere l'irrigazione, il diserbo e la cura delle piante. Di seguito, vengono descritti con maggior dettaglio questi interventi nel caso di un tetto estensivo.

- **Irrigazione:** Nei tetti verdi in aree mediterranee in genere viene pianificata la coltivazione di specie vegetali resistenti e resilienti, a bassa richiesta d'acqua, con la potenzialità di prosperare e mantenere una copertura ottimale in condizioni avverse, spesso dominate da forti livelli di ventilazione. A seconda della localizzazione di un tetto verde, può anche non essere necessaria l'installazione di un sistema di irrigazione integrato; tuttavia, durante periodi di siccità prolungata, è sostanziale fornire un'idratazione aggiuntiva. In presenza di un sistema di irrigazione, considerando che in autunno ed in inverno possa essere disattivato oppure fatto funzionare in maniera molto ridotta, a seconda dei casi, è necessario che questo venga avviato in primavera, che funzioni correttamente garantendo che le zone di irrigazione del tetto verde siano ben impostate, cosa che purtroppo non si verifica sempre. È preferibile irrigare la

mattina presto, soprattutto nei mesi più caldi, per evitare temperature eccessivamente alte. Come suggerito dalla pratica orticola, la mattina è da prediligere rispetto alla sera per evitare lo sviluppo di muffe durante la notte che potrebbero potenzialmente essere innescate dall'elevata umidità; diversamente, irrigando nelle ore più calde della giornata, buona parte dell'acqua evaporerebbe dal suolo senza avere il tempo di venir assorbita dalle piante. È importante sottolineare che un'irrigazione eccessiva di qualsiasi pianta, non solo in un tetto verde ma in qualsiasi situazione, nuoce sia alla salute della vegetazione che del suolo; infatti, specialmente nel lungo periodo, la condizione di anossia che si verrebbe a creare a livello delle sacche d'aria generalmente presenti in un suolo sano non fortemente compattato risulterebbe letale per le radici delle piante e per i microrganismi benefici del suolo, inoltre un suolo cronicamente umido attirerà agenti patogeni e parassiti indesiderati. Un buon metodo per accertarsi di eseguire una corretta irrigazione, come da buona pratica, è quello di lasciare che i primi 2 cm di suolo risultino asciutti prima di procedere ad un'ulteriore irrigazione, considerando che i tempi tra le due irrigazioni dipendono dalla stagione e dalle condizioni climatiche locali.

- **Diserbo:** Il tetto verde dovrebbe essere ispezionato visivamente 1-2 volte al mese durante la stagione di crescita. È importante rimuovere eventuali erbacce

prima che fioriscano e al tempo stesso riseminare. Un diserbo preventivo e regolare può consentire di ottenere i migliori risultati con il minimo sforzo totale, soprattutto perché alcune specie di infestanti possono produrre migliaia di semi che, se dispersi, genereranno molte più erbacce da rimuovere in seguito. Un tetto estensivo di fiori selvatici richiederà un diserbo maggiore rispetto ad un tetto di *Sedum*, trattandosi di piante più delicate.

- **Cura delle piante:** La cura delle piante del tetto verde ha due componenti principali, ovvero la fertilizzazione e la potatura. Le piante di *Sedum* e le piante grasse comunemente coltivate nei tetti verdi estensivi sono per la maggior parte specie perenni con basse richieste nutrizionali. Invece, i tetti estensivi con fiori selvatici richiedono un po' più di attenzione nell'irrigazione e nella rimozione del secco. Per i primi 3-5 anni dopo l'installazione, è desiderabile una fertilizzazione una volta l'anno in primavera; successivamente, si può attuare un programma ridotto se la valutazione del verde sul tetto e le analisi del suolo lo suggeriscono. Un'ulteriore concimazione a fine estate o inizio autunno può dipendere dal mix di piante e dalla regione, anche se generalmente non è necessaria. Si suggerisce di evitare di fertilizzare durante i periodi più caldi e secchi dell'anno o a fine stagione, quando le piante dovrebbero entrare in una fase dormiente con un metabolismo meno attivo. Sarebbe da prediligere, quando possibile, un fertilizzante di natura organica¹⁷. In ogni caso, si raccomanda di

¹⁷ Per quanto riguarda i nutrienti, dovrebbero essere aggiunti con concime organo minerale granulare a lenta cessione (minimo 3 mesi) con un rapporto N-P-K target di 18-6-12. In

alternativa, è possibile utilizzare un concime con un rapporto N-P-K target di 10-10-10 a lenta cessione, sempre

applicare la fertilizzazione seguendo le raccomandazioni e le istruzioni del produttore, distribuendo il prodotto manualmente o meccanicamente in modo uniforme, evitando aree con maggior accumulo.

Qualora la vegetazione in un tetto estensivo venga fatta sviluppare a partire dalla semina o dal trapianto di piccole piantine, seguirà un periodo più o meno lungo durante il quale osservare il livello di crescita della vegetazione. Questa fase di monitoraggio iniziale è assente qualora vengano sfruttate delle soluzioni modulari pronte all'uso, costituite da vassoi contenenti substrato e piante, pronti per essere posati direttamente sul tetto (in genere a livello del sistema di impermeabilizzazione). Tali soluzioni di moduli interconnessi tra di loro risultano molto adatte per un tetto estensivo con il vantaggio di essere molto semplici da installare.

L'installazione di un tetto verde dovrebbe essere integrata anche con una manutenzione di rifinitura per garantire il successo dell'opera di inverdimento. Sempre nel caso di un tipico tetto estensivo, alcune azioni essenziali da implementare per la sua rifinitura includono la risemina con sementi o talee di *Sedum* in zone/settori dove la vegetazione non è cresciuta o non è attecchita; la somministrazione controllata della fertilizzazione in base alle necessità sia qualitative (in zone/settori del prato che ne hanno maggior bisogno) che quantitative; l'eliminazione di ricrescite di specie vegetali non desiderate; il controllo e la pulizia dei canali di scarico del tetto. La manutenzione di

rifinitura può terminare con l'idoneità al collaudo, che può essere raggiunta dopo 12-18 mesi. Il collaudo di un tetto verde volto a verificarne le prestazioni deve valutare che sia stata raggiunta una copertura uniforme della vegetazione pari al 60% dell'area del tetto verde, escludendo la vegetazione non desiderata dal calcolo della percentuale di copertura. Inoltre, prima del collaudo è buona norma che la vegetazione sul tetto sia stata soggetta almeno ad una stagione di stress idrico (siccità o gelata), superando l'avversità ambientale con successo.

Diversamente, nel caso di un tetto verde intensivo si parla anche di giardini pensili, che accolgono in genere delle specie vegetali più diversificate e di dimensioni maggiori. Va da sé che in questi casi la cura e la manutenzione debbano essere più frequenti, simili alle richieste di un giardino con importante valore estetico, e quindi con irrigazioni, diserbo e fertilizzazioni più frequenti. Ad esempio, per proteggere la biodiversità sul tetto, la funzionalità dei moduli e degli habitat "biodiversi" di tetto verde richiedono di essere revisionati regolarmente e mantenuti quando necessario. Il mantenimento in questo caso è specifico, nel senso che deve fare riferimento agli habitat creati sul tetto e alla loro conservazione. Le piante più grandi presentano spesso apparati radicali complessi, molto ramificati, con un fabbisogno nutritivo significativamente maggiore rispetto al *Sedum* o a fiori selvatici di campo. Ciò significa che alcuni tetti verdi intensivi (viventi) potrebbero aver bisogno di concimazione ed irrigazione manuali per incoraggiare la crescita delle piante; questo

caratterizzato da un rapporto equilibrato tra gli elementi fertilizzanti.

vale soprattutto nei mesi successivi alla semina iniziale, momento in cui la presenza di nutrienti facilmente assorbibili nel suolo/substrato dalle piante è essenziale.

Quando si pianifica l'installazione di un tetto verde intensivo, sarebbe buona norma prevedere e mettere a budget i costi per la manutenzione e sviluppare dei piani di

manutenzione opportuni, che prevedano anche dei rapporti di ispezione che funzionino di concerto con i requisiti di garanzia di un tetto verde da parte della ditta responsabile. I programmi di manutenzione ed i rapporti di ispezione dovrebbero includere indicazioni sul mese e sull'anno in cui i diversi tipi di intervento vengono previsti/realizzati.

3.3.2 Costo della manutenzione dei tetti verdi

A livello di impegno richiesto per la manutenzione del verde, la UNI 11235:2015 ne definisce il tempo in m²/anno che andrebbe

mediamente dedicato nel caso di coperture superiori a 500 m² (tabella 3.1).

Tabella 3.1 - Impegno medio richiesto per la manutenzione di un tetto verde con superficie maggiore di 500 m². (Fonte: UNI 11235: 2015).

Tipologia di inverdimento	Tempo medio stimato (in ore/anno) da impegnare per la manutenzione
Estensivo a minima manutenzione	3-4 ore/anno
Estensivo a bassa manutenzione	6-7 ore/anno
Intensivo a ridotta manutenzione	13-14 ore/anno
Intensivo a media manutenzione	circa 25 ore/anno
Intensivo ad alta manutenzione	circa 25 ore/anno
Diserbo e rimozione del secco	Tetti con fiori selvatici, tetti per la biodiversità
Interventi di giardinaggio	Tetti intensivi

Il costo per la manutenzione di un tetto estensivo, nel caso di una superficie media di circa 100 m², dovrebbe essere nell'ordine dei 100-150 euro l'anno, mentre il costo potrebbe essere dieci volte tanto nel caso di un tetto intensivo, anche in relazione al maggior valore economico delle piante e al loro livello inferiore di adattabilità alle condizioni

ambientali tipicamente avverse di un tetto verde.

La tabella 3.2 fornisce delle informazioni utili come la frequenza ed il livello di costo economico della manutenzione dei tetti verdi, relativamente ai singoli aspetti/interventi che meritano attenzione e a seconda della tipologia di tetto verde.

Tabella 3.2 - Criteri utili per un'ottimale manutenzione di un tetto verde con superficie maggiore di 500 m (Fonte: rielaborazione da <https://www.greenroofguide.com/green-roofs/green-roof-maintenance/>).

Aspetto da considerare per la manutenzione	Tipologia di tetto verde	Frequenza con cui è richiesto l'intervento di manutenzione specifico	Costo per l'intervento di manutenzione specifico
Accesso al tetto verde	Tutti i tipi	Annuale	Non disponibile
Solidità dell'infrastruttura	Tutti i tipi	Annuale	Non disponibile
Impermeabilizzazione	Tutti i tipi	Annuale	Non disponibile
Drenaggio ed irrigazione	Tutti i tipi	2 volte l'anno/mensile	€-€€
Innaffiatura e fertilizzazione	Tetti intensivi e tetti con fiori selvatici, tetti per la biodiversità	2 volte al mese/settimanale	€
Diserbo e rimozione del secco	Tetti con fiori selvatici, tetti per la biodiversità	2 volte l'anno	€
Interventi di giardinaggio	Tetti intensivi	Mensile/settimanale	€-€€€

La manutenzione di un tetto verde potrebbe anche essere pianificata con lo scopo principale di mantenere costante l'effetto di raffrescamento che questo produce sia a livello dell'aria ambiente esterna che dell'aria negli ambienti interni dell'edificio. In un caso di questo tipo si può pensare ad una riduzione ulteriore degli interventi di manutenzione. Tra i risultati della ricerca ENEA finanziata dal Ministero dello Sviluppo Economico, attualmente Ministero della Transizione Ecologica, nell'ambito del Triennio 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico nazionale¹⁸, è stato osservato che un tetto verde in

condizioni di estrema disidratazione risulta comunque in grado di fornire un abbattimento significativo della quantità di calore entrante nell'edificio nella stagione estiva, mantenendo pertanto la sua funzione di isolante termico correlata al risparmio energetico

(https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2020_125.pdf; dati non ancora pubblicati).

¹⁸ Campiotti CA, De Rossi P, Giagnacovo G, Latini A, Mariani S, Nencini L, Pace S, Sperandei M. Infrastrutture "verdi" per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e la qualità del microclima nelle aree urbane. Report RDS, Programmazione Triennio 2019-2021, PTR 2020, N° 125. Aprile 2021.

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2020_125.pdf

3.3.3 La manutenzione del Verde Verticale

Anche per il verde verticale è necessaria una manutenzione attenta e periodica, che includa le operazioni di irrigazione, diserbo e cura delle piante, come riportato in dettaglio sopra per i tetti verdi. In aggiunta, andranno pianificati dei controlli degli impianti di irrigazione e/o fertirrigazione e, non meno importante, della struttura portante del verde verticale. Per una parete verde, queste operazioni di manutenzione ordinaria andrebbero effettuate 2-4 volte l'anno a seconda dell'infrastruttura; inoltre, in caso di necessità si dovrà provvedere ad interventi di manutenzione straordinaria *una tantum*.

Questo insieme di operazioni si esegue in interventi di manutenzione ordinaria, che viene eseguita 3 o 4 volte l'anno e interventi di manutenzione straordinaria da eseguirsi ogni qualvolta ve ne sia necessità. Una manutenzione straordinaria è indicata anche a seguito di un evento meteorologico particolarmente

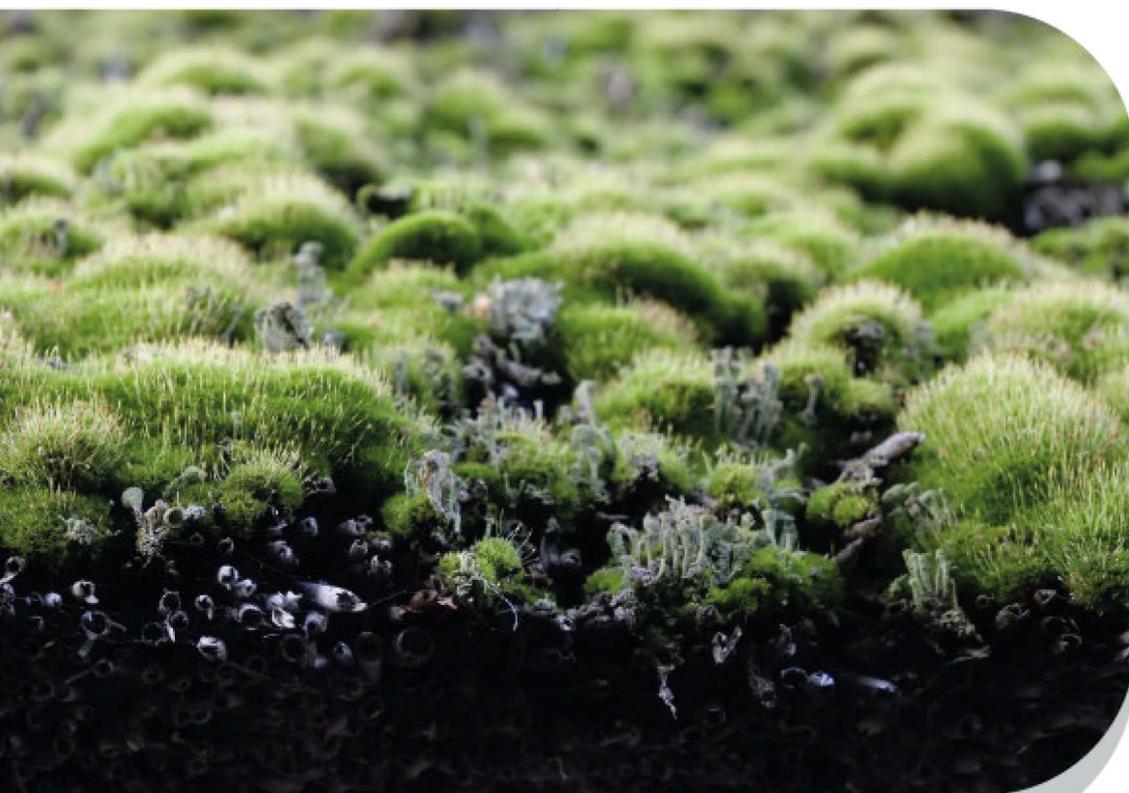
intenso, un malfunzionamento degli impianti integrati al sistema o la presenza di parassiti.

Per le piante rampicanti o discendenti che crescono su tralicci e altre strutture simili, è richiesta una maggiore attenzione nei primi anni per controllarne lo sviluppo e la crescita e l'andamento desiderato, che altrimenti andrà corretto con tagli od opportune legature con cordini e rafia. In alcuni casi sarà necessario sostituire delle piante morte o la disinfezione con antiparassitari del giardino per la presenza d'infestanti.

Per quanto riguarda le pareti verdi, le attrezzature di sollevamento rappresentano l'elemento che maggiormente contribuisce agli elevati costi della manutenzione, che sono generalmente maggiori rispetto a quelli per i tetti verdi. Infatti, il costo della manutenzione rappresenta uno degli ostacoli maggiori alla diffusione delle pareti verdi in ambiente urbano.



4. BUONE PRATICHE: POLITICHE LOCALI DI PROMOZIONE DI TETTI E PARETI VERDI



Capitolo in breve

Il Capitolo 4 ha lo scopo di proporre alle Pubbliche Amministrazioni (PA) interessate l'adozione di buone pratiche tramite politiche locali finalizzate alla promozione di Tetti e Pareti Verdi su edifici nuovi o esistenti in un approccio che consideri l'impatto ambientale ed energetico degli stessi. In questo studio sono state esaminate principalmente due diverse tipologie di politiche locali: l'inserimento delle infrastrutture verdi per gli edifici in regolamenti locali o strategie pianificate da pubbliche amministrazioni, e attività informative tramite, per esempio, la pubblicazione di Linee Guida.

Infine, viene riportata un'analisi per valutare l'occorrenza e la realizzazione, a livello locale nei centri urbani, di Tetti e Pareti Verdi, tra le strategie Nature-Based (NBS) applicate agli edifici, come soluzioni per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. In particolare, si evidenzia la potenzialità del "Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile ed il Clima" (PAESC) come strumento già disponibile alla PA locale e adatto alla pianificazione di installazioni di Tetti e Pareti Verdi.

4.1 Regolamenti di settore

Innanzitutto, la ricerca si è focalizzata sulla presenza di tetti e pareti verdi all'interno di Regolamenti Edilizi comunali e Regolamenti d'uso e tutela del verde pubblico e privato. Si è proceduto dunque con l'analisi di siti web comunali di quegli enti con già iniziative intraprese per la diffusione di tetti e pareti verdi¹⁹. Da qui sono stati poi effettuati dei colloqui in *call conference* con i referenti promotori dell'iniziativa, per capire lo sviluppo nel tempo delle loro iniziative.

Oltre alle Buone Pratiche già censite da ENEA nel Report Tecnico ENEA per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdS) PAR2015/141 "Caratterizzazione di tipologie di sistemi vegetali per migliorare l'efficienza energetica degli edifici nella città metropolitana"²⁰ è stato possibile trovare ulteriori indicazioni specifiche sull'installazione di tetti e pareti

verdi in alcuni regolamenti edilizi comunali, come nei Comuni di Milano, Genova, Rimini, Torino, La Spezia, Vezzano Ligure. Inoltre, per il Comune di Milano sono state trovate indicazioni specifiche su tetti verdi nel Regolamento d'uso e tutela del verde pubblico e privato e nelle Norme d'attuazione del Piano delle Regole del PGT (Piano di Governo e del Territorio) Art.10 "Sostenibilità Ambientale e Resilienza Urbana". Nel Piano di Governo del Territorio (PGT) milanese viene definito un indice che misuri l'impatto sul clima del nuovo edificio da edificare: l'Indice di Riduzione Impatto Climatico (RIC). Se l'edificio prevede l'installazione di tetti e pareti verdi, a seconda di specifici requisiti saranno assegnati dei coefficienti che concorrono al calcolo dell'indice RIC.

¹⁹ Istat Tavola 6.1 VERDE URBANO - Iniziative locali per lo sviluppo degli spazi verdi urbani promosse dalle amministrazioni dei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana (misure applicate in attuazione della Legge 10/2013, art.6 comma 1) - <https://www.istat.it/it/archivio/281184>

²⁰ Campiotti C., Consorti L., Giagnacovo G., Latini A., Puglisi G., Scocciati M., Viola C. Caratterizzazione di tipologie di sistemi vegetali per migliorare l'efficienza energetica degli edifici nella città metropolitana. Report RdS/PAR2015/141. https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-intelligenti/rds_par2015-141.pdf

Al Paragrafo 5.1.1 si può fruire di una descrizione del calcolo del R.I.E. (Riduzione dell'Impatto Edilizio)²¹, un indice numerico di qualità ambientale che indica l'effetto dell'intervento edilizio rispetto alla

permeabilità del suolo e del verde, sviluppato dal Comune di Bolzano nel 2004.

Alcune delle Buone Pratiche individuate ritenute maggiormente interessanti sono riportate nelle seguenti schede.

Comune di Milano

BUONE PRATICHE	Tetti verdi o coperture a verde e pareti verdi
Ente promotore	Comune di Milano
Strumento di promozione _ 1	Regolamento edilizio
Anno pubblicazione _ 1	2020
Ambito _ 1	<p>I tetti verdi concorrono alla definizione del livello di ecosostenibilità degli edifici al fine di ottenere gli incentivi volumetrici per i nuovi edifici e per quelli soggetti a sostituzioni edilizie, così come definiti nel regolamento edilizio comunale. Le categorie di edifici che possono raggiungere il livello di ecosostenibilità utile per ottenere l'incentivo volumetrico sono gli edifici nuovi e di sostituzione edilizia delle seguenti categorie E1(1), E1(2), E1(3) e da E2 a E8, secondo la classificazione del Dpr 412/93.</p> <p>Esigenza da soddisfare e obiettivo da perseguire:</p> <p>i tetti verdi sono trattati nel Regolamento edilizio come intervento di miglioramento del microclima degli ambienti interni, controllo dell'effetto isola di calore, biodiversità, ritenzione idrica e alleggerimento del carico sulla rete di canalizzazione delle acque bianche (regimazione idrica).</p>
Requisiti indicati _ 1	<p>Scheda 6 Tetti verdi - livello di prestazione richiesto</p> <p>la superficie verde deve essere piana e accessibile tramite collegamenti permanenti al fine di consentirne la manutenzione;</p> <p>la copertura verde utilizzata deve essere dotata di sistemi per l'accumulo dell'acqua piovana e il successivo rilascio al terreno di coltura;</p> <p>la copertura verde deve poter accogliere, almeno in una sua parte, specie arbustive;</p> <p>la superficie del tetto verde deve estendersi per almeno il 50% dell'area complessiva della copertura stessa;</p> <p>conformità al codice di pratica UNI 11235:2007.</p>
Riferimento _ 1	https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/edilizia/sportello-unico-edilizia/regolamento-edilizio
Strumento di promozione _ 2	Regolamento d'uso e tutela del verde pubblico e privato
Anno di pubblicazione _ 2	Adottato dal consiglio comunale nel 2017 e modificato nel 2021
Ambito _ 2	<p>Il comune di Milano ha inserito tetti e pareti verdi, insieme ai giardini pensili, nella definizione di "aree verdi".</p> <p>Nella progettazione di aree verdi pubbliche e private, si fa riferimento:</p> <p>alle coperture a verde, di cui all'articolo 2, comma 5, del Regolamento attuativo concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, di cui al Decreto del Presidente della Repubblica 2.4.2009, n 59, quali strutture dell'involucro edilizio atte a produrre risparmio energetico, al fine di favorire, per quanto possibile, la trasformazione dei lastrici solari in giardini pensili;</p> <p>alla copertura verde delle pareti degli edifici, tramite il rinverdimento verticale, nonché incentivando la creazione di spazi verdi nell'ambito della progettazione di parcheggi interrati e di superficie o, in generale, tramite tecniche di verde pensile;</p>

²¹ <https://opencity.comune.bolzano.it/Servizi/Richiedere-la-Certificazione-RIE-Riduzione-dell-Impatto-Edilizio>

Requisiti indicati _ 2	<p>Criteria per la progettazione del verde pubblico, sia di iniziativa pubblica che privata: privilegiare specie vegetali autoctone o naturalizzate, resistenti all'ambiente urbano e alle fisiopatie e a bassa intensità di manutenzione, valutare opportunamente distanze e sestì di impianto, applicare ove possibile criteri di tipo naturalistico, limitare il consumo della risorsa idrica e, piú in generale, adottare soluzioni consone all'ambiente e al paesaggio circostante e alle risorse economiche mediamente disponibili per la manutenzione.</p>
Riferimento _ 2	<p>https://www.comune.milano.it/documents/20126/200623037/Regolam.+d%27Uso+e+Tutela+del+Verde+Pubblico+e+Privato+2021.pdf/9b5cee01-3dba-dd72-ca0d-c366c75ed8e9?t=1612963733913</p>
Strumento di promozione _ 3	<p>Piano di Governo del Territorio (PGT) - Documento tecnico per l'attuazione della disciplina di cui all'Art. 10: Sostenibilit� ambientale e resilienza urbana</p>
Anno pubblicazione _ 3	<p>2020</p>
Ambito _ 3	<p>Il documento tecnico � relativo alla minimizzazione delle emissioni climalteranti e al raggiungimento di un Indice di Riduzione Impatto Climatico (RIC).</p> <p>I tetti verdi architettonicamente integrati negli edifici e dotati di strato drenante e le pareti verdi architettonicamente integrate negli edifici, sono elementi che concorrono al calcolo dell'Indice di RIC consentendo il raggiungimento dei nuovi standard ambientali richiesti per la trasformazione del territorio milanese.</p> <p>La disciplina, che ha al momento carattere sperimentale, si applica a:</p> <ul style="list-style-type: none"> tutti gli interventi ricadenti nel territorio comunale nonch� agli ambiti disciplinati da norma transitoria, limitatamente a quelli per i quali i piani attuativi non siano ancora stati adottati alla data di entrata in vigore della variante al PGT; alla realizzazione di nuovi edifici per servizi di iniziativa pubblica diretta o ceduti all'Amministrazione attraverso scomputo degli oneri di urbanizzazione, nonch� alla realizzazione di nuovi edifici per i servizi e le attrezzature, siano essi pubblici o privati di uso pubblico o di interesse generale
Requisiti tecnici _ 3	<p>I valori che concorrono al calcolo dell'indice RIC sono riportati in due schede tecniche in cui sono descritti anche i requisiti delle coperture e pareti verdi architettonicamente integrate negli edifici.</p>
Riferimento _ 3	<p>https://www.comune.milano.it/documents/20126/434769123/Documento+tecnico+Art+10+-+DD+797+del+5_02_2020.pdf/806064dd-a45d-a806-081f-18a181bf6174?t=1580915737127</p>

Comune di Genova

BUONE PRATICHE	Tetti verdi o coperture a verde e pareti verdi
Ente promotore	Comune di Genova
Strumento di promozione	Regolamento edilizio
Anno pubblicazione	2020
Ambito	<p>Il punto 6 dell'Art. 48 – "Indicazioni progettuali per l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici" viene indicato che per gli edifici di nuova costruzione con copertura piana è raccomandata e incentivata (es. riduzione del contributo di costruzione, riduzione delle fiscalità comunale, ecc.) la realizzazione di tetti e pareti verdi compatibilmente al contesto urbano.</p> <p>L'utilizzo delle pareti verdi verticali è finalizzato oltreché alla riduzione dei consumi energetici anche al miglioramento del microclima circostante.</p>
Requisiti indicati	<p>Coperture verdi:</p> <p>continue dotate di un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali puntuali e caratteristiche della copertura di un edificio.</p> <p>realizzate tramite un sistema strutturale che prevede in particolare uno strato colturale opportuno nel quale radicano associazioni di specie vegetali in coerenza con quanto stabilito dall'art. 11 comma 26 delle Norme generali del PUC (Piano Urbanistico Comunale).</p> <p>garantito l'accesso per la manutenzione;</p> <p>Scheda n.1 - campi di applicazione e i relativi punteggi</p> <p>Pareti verdi:</p> <p>un fronte edilizio ricoperto da specie vegetali rampicanti e/o ricadenti, aggrappate indirettamente alla muratura tramite adeguati supporti di sostegno.</p> <p>Scheda n.2 - campi di applicazione e i relativi punteggi</p>
Riferimento	https://smart.comune.genova.it/node/900

Comune di Rimini

BUONE PRATICHE	Tetti verdi e pareti verdi verticali
Ente promotore	Comune di Rimini
Strumento di promozione	Disciplina del contributo di costruzione
Anno pubblicazione	2019
Ambito	<p>La realizzazione di tetti verdi e pareti verdi verticali è uno dei requisiti integrativi e complementari definiti che concorrono a ridurre gli oneri di urbanizzazione per un massimo del 30%.</p>
Requisiti indicati	Nessun requisito indicato
Riferimento	https://archivio.comune.rimini.it/trasparenza-e-servizi/trasparenza/amministrazione-trasparente/pianificazione-e-governo-del-territorio/altre-16

Città di Torino

BUONE PRATICHE	Tetti verdi
Ente promotore	Città di Torino
Strumento di promozione _ 1	Allegato energetico ambientale al regolamento edilizio
Anno pubblicazione _ 1	2010
Ambito _ 1	Le coperture a verde (progettazione a verde di coperture impermeabilizzate poste a chiusura superiore di ambienti riscaldati e non) sono tra gli interventi riconosciuti come utili a minimizzare i consumi energetici e gli impatti ambientali e ad aumentare il comfort abitativo. I requisiti prestazionali (non prescrittivi) indicati nel Regolamento sono essenziali per l'ammissibilità agli incentivi con misure nell'ambito della disciplina degli oneri concessori.
Requisiti indicati _ 1	Scheda 3- Coperture a verde Rispetto dei requisiti di cui la UNI 11235 e s.m.i. e la UNI EN 12056-3 Descrizione caratteristiche stratigrafiche e materiali utilizzati La superficie della copertura che racchiude ambienti riscaldati deve essere a verde e il peso del contributo sarà proporzionale alla porzione di verde applicata sul totale della copertura
Riferimento _ 1	http://www.comune.torino.it/regolamenti/302/Allegato%20Energetico%20%5B2011%5D_2.pdf
Strumento di promozione _ 2	Regolamento del verde pubblico e privato
Anno pubblicazione _ 2	2020
Ambito _ 2	Obbligo in caso di intervento edilizio che comporti significativa variazione volumetrica
Requisiti indicati _ 2	Destinare alla sistemazione a verde in piena terra, con alberi di medio o alto fusto, una porzione non inferiore al 20% del terreno libero da costruzioni emergenti oltre a metri 1,50. Qualora tale percentuale non possa essere raggiunta per fondate e comprovate motivazioni, ferma restando una quota minima inderogabile pari al 10%, si dovranno adottare soluzioni compensative consistenti nella realizzazione di facciate verdi o di maggiori superfici di verde pensile oltre le quantità minime stabilite dalle norme di P.R.G., o consistenti in interventi sullo spazio pubblico concordati con gli Uffici Comunali competenti. Le superfici compensative dovranno essere almeno pari al doppio delle superfici in piena terra non realizzate.
Riferimento _ 2	Città di Torino - Regolamenti - n. 317 - Verde pubblico e privato (comune.torino.it)

Città della Spezia

BUONE PRATICHE	Tetti verdi
Ente promotore	Città della Spezia
Strumento di promozione	Regolamento edilizio
Anno pubblicazione	2017
Ambito	Al fine di agevolare l'attuazione delle norme sul risparmio energetico e per migliorare la qualità degli edifici, non vengono computati nell'altezza massima i tamponamenti orizzontali di copertura funzionali alla realizzazione di manti di copertura vegetale con essenze di medio e alto fusto.
Requisiti indicati	Nessun requisito indicato
Riferimento	REGOLAMENTO-EDILIZIO-adequato-a-DGR-316_2017.pdf (comune.laspezia.it)

Comune di Vezzano Ligure

BUONE PRATICHE	Tetti verdi
Ente promotore	Comune di Vezzano Ligure
Strumento di promozione	Regolamento edilizio
Anno pubblicazione	2017
Ambito	Per ridurre gli effetti indesiderati della radiazione solare, le schermature possono essere costituite da vegetazione, integrata da sistemi artificiali. Al fine di agevolare l'attuazione delle norme sul risparmio energetico e per migliorare la qualità degli edifici, non vengono computati nell'altezza massima i tamponamenti orizzontali di copertura funzionali alla realizzazione di manti di copertura vegetale con essenze di medio e alto fusto.
Requisiti indicati	Nessun requisito indicato
Riferimento	REGOLAMENTO EDILIZIO DCC 34 del 13 11 2017.pdf

4.2 Campagne di informazione

L'assessorato all'ambiente del Comune di Bolzano, con il supporto tecnico di *Eurac Research*, ha avviato un progetto che prevede l'attivazione di un processo imprenditoriale per la creazione di verde pensile come infrastruttura ecologica. Il progetto è focalizzato sull'area sud dell'agglomerato urbano e coinvolge i proprietari degli immobili della zona produttiva attraverso interviste e workshops. Si presenta come un approccio diverso di promozione di tetti e pareti verdi sul territorio, finalizzato a delineare punti di forza e aspetti critici, valutare opportunità e raccogliere esperienze. Queste informazioni sono state elaborate e presentate durante un workshop (<https://www.eurac.edu/it/institutes-centers/istituto-per-le-energie-rinnovabili/news-events/progetto-tetti-verdi-a-bolzano-sud>).

Per ulteriori approfondimenti consultare il Paragrafo 5.1.3.

Il Comune di Milano è coordinatore del progetto europeo "*Clever Cities*" (<https://clevercities.eu/>), finanziato dal Programma H2020, a cui collabora con lo scopo di sperimentare infrastrutture verdi e soluzioni naturalistiche innovative nel capoluogo. Una delle azioni intraprese, è lo sviluppo di una campagna partecipativa di promozione, mirata alla diffusione di tetti e facciate verdi, e di fornire sostegno a realizzazioni sperimentali. Dalle attività di *Clever Cities* sono stati individuati 10 edifici su cui sperimentare l'installazione dei tetti e pareti verdi.

Il Comune di Torino nell'ambito del Progetto CWC (*City Water Circles*)²², finanziato dal Programma *Interreg Central Europe*, ha sviluppato una strategia in tema di gestione sostenibile delle acque in ambito urbano e nell'individuazione delle azioni da attuare nel breve – medio termine all'interno del territorio. Il Piano Strategico e il Piano d'Azione sulla gestione sostenibile delle acque in ambito urbano sono consultabili collegandosi a:

<https://www.torinovivibile.it/wp-content/uploads/2022/03/Piano-gestione-sostenibile-acque-in-ambito-urbano-CWC.pdf>

Allo scopo di promuovere e stimolare la diffusione di copertura vegetale delle superfici verticali e orizzontali degli edifici, si segnalano il Comune di Brescia con la Strategia di Transizione Climatica 2021, redatta nell'ambito di un progetto finanziato da Fondazione Cariplo, e la Città Metropolitana di Milano²³ che, nell'ambito del progetto MetroAdapt, vincitore del premio della giuria "LIFE awards 2023", come migliore progetto LIFE in Europa, ha pubblicato le "Linee guida per lo sviluppo di soluzioni naturalistiche (*Nature-Based Solutions, NBS*) nelle aree urbane", includendo anche i tetti e pareti verdi, e ha inserito nella propria Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici, una scheda specifica sul "verde di balconata" come misura di mitigazione estiva per l'abbassamento della temperatura all'interno delle abitazioni.

²² City Water Circles: Urban Cooperation Models for enhancing water efficiency and reuse in Central European functional urban areas with an economy approach), finanziato

nell'ambito della terza call del Programma di Cooperazione Territoriale Central Europe

²³ https://www.cittametropolitana.mi.it/Life_Metro_Adapt/

Il Comune di Bolzano indica i tetti verdi come una delle tecnologie finalizzate a contenere i deflussi delle acque meteoriche all'interno delle Linee Guida pubblicate sul proprio sito, per la gestione delle acque meteoriche. Il ricorso ai tetti verdi come misura ambientale è inserito dal Comune di Bolzano anche in altre Linee Guida: "Linee guida natura e paesaggio in Alto Adige"²⁴.

Città metropolitana di Genova, nel 2020, ha pubblicato una Linea Guida nell'ambito del progetto Interegg Proterina-3evolution, dal titolo "Infrastrutture verdi per l'adattamento ai cambiamenti climatici"²⁵. Il documento intende fornire delle indicazioni progettuali per la gestione sostenibile delle acque

meteoriche urbane nell'area mediterranea nord-occidentale. Inoltre, per la progettazione di sistemi di infrastrutture verdi adatti all'ambiente urbano, presenta delle schede descrittive per quattro sistemi: *rain garden*, *infiltration basin*, *vegetative swale*, *green roof*. Sempre nel 2020 il Comune di Reggio Emilia ha pubblicato le Linee Guida per la gestione delle acque meteoriche²⁶. Tra i diversi sistemi tecnologici suggeriti, sono compresi i tetti verdi che, oltre a trattenere parte delle acque meteoriche, vengono indicati d'ausilio all'isolamento termico dell'edificio e in grado di mitigare l'effetto "isola di calore" nei centri abitati.

4.3 Promozione di tetti e pareti verdi oltre i confini italiani

Se si estende lo sguardo al di là dei confini italiani, in Europa, si trova un interessante caso studio della città di Amburgo²⁷, che ha dedicato una linea di incentivi all'installazione di tetti verdi e pubblicato una guida di supporto alla progettazione e all'installazione di elementi che corrispondano ai requisiti tecnici per l'ammissibilità del contributo. Similmente, città come Rotterdam²⁸ e Barcellona²⁹ incoraggiano, con misure specifiche e linee guida, la rivalutazione dei tetti che sovrastano gli edifici e la loro fruizione da parte dei residenti.

Diverse organizzazioni internazionali ed europee e diversi progetti si sono imposti l'obiettivo di promuovere e supportare la realizzazione di *NBS*, includendo tetti e pareti verdi per edifici, in aggiunta ad una copiosa letteratura scientifica sul tema. Nella maggior parte dei casi, mentre i tetti verdi sono sempre menzionati tra gli interventi *NBS* da concretizzare, le pareti verdi risultano ancora meno comuni. Ad esempio, il *C40 Knowledge Hub*, attraverso il *C40 Climate Leadership Group*, ha sviluppato una guida per l'implementazione delle *NBS* e su come le

²⁴https://www.provincia.bz.it/natura-ambiente/natura-territorio/downloads/Landschaftsleitbild_it.pdf

²⁵<https://www.cittametropolitana.genova.it/sites/default/files/progetti/Linee%20guida%20-%20Infrastrutture%20verdi.pdf>

²⁶https://pscre.comune.re.it/22_Regolamento_Edilizio/2_Approvazione/Allegato_A3_Linee_guida_per_la_gestione_delle_acque_meteoriche.pdf

²⁷<https://www.hamburg.de/contentblob/13067550/723b4e07403a9e706151892ac347c9f/data/d-guidelines.pdf>

²⁸<https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/storage.resilientrotterdam.nl/storage/2022/09/09093215/Resilient-Rotterdam-Strategy-2022-2027.pdf>

²⁹<https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jsui/bitstream/11703/98795/5/Guia%20de%20terrats%20vius%20i%20cobertes%20verdes%20angl%C3%A8s.pdf>

città possano avvantaggiarsi della natura per gestire i rischi collegati al cambiamento climatico³⁰. Viene messo in evidenza come le città possano ridurre i rischi derivanti contemporaneamente da diverse fattori ampliando e ripristinando gli spazi verdi urbani, a partire dai grandi parchi cittadini ai cortili scolastici e ai giardini, piantando alberi lungo le strade, sostituendo le superfici impermeabili con infrastrutture naturali e aumentando la copertura dei tetti verdi. Le iniziative di inverdimento dovrebbero dare la priorità alle specie vegetali autoctone per ridurre i costi di manutenzione e massimizzare i benefici per la biodiversità locale.

In modo simile, l'*Interlace Hub*³¹, una comunità per condividere conoscenze, idee e casi studio sulla rigenerazione delle città attraverso il ripristino della natura, finanziato dal Programma quadro dell'UE H2020, ha lanciato un'iniziativa in Olanda intitolata "*Green Deal Green Roof*"³², con l'obiettivo di migliorare l'implementazione dei tetti verdi anche rimuovendo le barriere che ne impediscano la diffusione. A questo scopo sono stati sviluppati modelli di business innovativi che coinvolgono attori pubblici e privati. Gli sforzi sono stati indirizzati a migliorare le condizioni strutturali per l'integrazione dei tetti verdi in tutto il Paese, ad esempio facendo pressioni per istituire agevolazioni fiscali sulle acque reflue per i proprietari di case con tetti verdi. Non solo, oltre a sostenere finanziariamente l'integrazione dei tetti verdi, ha promosso lo sviluppo di tetti verdi multifunzionali riunendo

tutte le parti interessate per condividere visioni e competenze. Il successo di questa iniziativa nei Paesi Bassi ha fatto sì che dal 2019 sia stata rinominata *National Roof Plan*. Allargando la visuale al di là degli Oceani, si segnalano altri due documenti di carattere informativo e formativo per la promozione di tetti e pareti verdi promossi dalla Pubblica Amministrazione:

"Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies", redatto dalla *Climate Protection Partnership Division* dell'Agenzia statunitense per la protezione ambientale (U.S. EPA) nel 2008, dove viene enfatizzato il ruolo strategico nel contrasto al fenomeno delle isole di calore³³

"A guide for Green Roofs, Walls and Façades, in Melbourne and Victoria, Australia", pubblicata dallo Stato di Victoria, in Australia, curata dal Dipartimento per l'Ambiente e le industrie primarie, nel 2014. L'obiettivo del documento è di fornire le conoscenze tecniche per lo sviluppo di tetti e pareti verdi³⁴.

In Canada, la città di Toronto, sin dal 2009, ha predisposto uno standard per la costruzione dei tetti verdi. In particolare, il *Toronto Green Roof Construction Standard* (TGRCS) rappresenta il primo documento ufficiale del Nord America imposto dal regolamento *Green Roof Bylaw*, che impone e disciplina la costruzione di tetti verdi per una superficie dal 20 al 60% della copertura di edifici nuovi o soggetti ad ampliamento superiori ai 2.000 m² di superficie lorda. Più precisamente, per una superficie lorda dell'edificio tra i 2.000 e i 5.000 m² è obbligatoria l'installazione di tetto verde

³⁰https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Nature-based-solutions-How-cities-can-use-nature-to-manage-climate-risks?language=en_US

³¹<https://interlace-hub.com/interlace-hub>

³²<https://interlace-hub.com/casestudy/19429>

³³<https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>

³⁴https://2020vision.com.au/media/41918/growing_green_guide_ebook_130214.pdf

sul 20% della superficie del tetto; tra i 5.000 e i 10.000 m² del 30%; tra i 10.000 ai 15.000 m² del 40%; tra i 15.000 e i 20.000 m² del 50% e;

infine, per una superficie lorda superiore ai 20.000 m² è richiesto l'inverdimento del 60% della superficie del tetto.

4.4 Campagna promozionale a sostegno dei tetti verdi da parte dei cittadini europei

A livello di cittadinanza, si evidenzia l'iniziativa, registrata con la Decisione di Esecuzione (UE) 2021/673 della Commissione chiusa nel 2022 senza aver raggiunto un numero sufficiente di firme, promossa dai cittadini europei dal titolo «Tetti verdi» (*Green Garden Roof Tops*) con lo scopo di promuovere la creazione di tetti verdi utilizzando incentivi finanziari da parte

dell'Unione o misure di natura fiscale. La proposta chiedeva di utilizzare gli spazi esistenti sui tetti di molti edifici a uso commerciale presenti in Europa creando aree verdi pensili trasformando così tetti non utilizzati in strumenti capaci di migliorare e arginare la crisi ecologica³⁵.

4.5 Il Patto dei Sindaci e la promozione di tetti e pareti verdi attraverso il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC)

Sia a livello Europeo che a livello nazionale, il *Covenant of Mayors*, ovvero il Patto dei Sindaci, attraverso il documento SECAP/PAESC (*Sustainable Energy and Climate Action Plan*, ovvero il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e per il Clima)³⁶ può essere un'opportunità per promuovere a livello locale nei centri urbani l'implementazione di tetti e pareti verdi su edifici come soluzioni per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

L'indagine di seguito riportata si pone di rilevare se e quanto lo strumento del PAESC

sia stato associato alla promozione di tetti e pareti verdi su edifici. A livello Europeo, il *Joint Research Center (JRC)*, in uno studio pubblicato nel 2020, ha analizzato oltre 12.000 azioni politiche dei Piani d'Azione dei comuni firmatari del Patto dei Sindaci risultanti in 315 rapporti di monitoraggio delle emissioni (*Monitoring Emission Inventories, MEI*), in epoca pre-Covid, allo scopo di rilevare le maggiori differenze tra i Piani sottoscritti e armonizzarne le azioni proposte ed i risultati ottenuti^{37,38}. Esaminando questo dataset, solo

³⁵ EUR-Lex - 32021D0673 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

³⁶ <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/home>

³⁷ Palermo V, Bertoldi P, Apostolou M, Kona A, Rivas S. 2020. Assessment of climate change mitigation policies in 315 cities in the Covenant of Mayors initiative. *Sustainable Cities and Society*, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102258>

³⁸ Palermo V, Bertoldi P, Apostolou M, Kona A, Rivas S. 2020. Data on mitigation policies at local level within the Covenant of Mayors' monitoring emission inventories. Data in Brief, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106217>

sette azioni politiche fanno riferimento ai tetti verdi ed una alle pareti verdi, la maggior parte delle quali concentrate in area mediterranea (Spagna, Grecia e Italia) e in Romania. Ad es., in Italia, nella Sardegna settentrionale, è stato proposto l'inverdimento di 170 mila m² di tetti. L'azione è indicata nell'area di intervento per l'efficientamento energetico degli edifici residenziali con una potenziale riduzione di CO₂ intorno alle 1.513 tonnellate. Altre azioni correlate all'implementazione di *NBS* potrebbero includere tetti e pareti verdi, ma non è esplicitato.

Ad oggi (giugno 2023), in Italia, analizzando le azioni politiche riportate nel sito ufficiale del *Covenant of Mayors*, se ne rilevano oltre 6.200, in numero molto maggiore rispetto allo studio del JRC sopramenzionato. Indicativamente, su 1000 azioni politiche, circa il 10% contempla azioni su *NBS*, di cui 5-6 sono specifiche su tetti e pareti verdi implementate per lo più nel periodo post-Covid.

A titolo esemplificativo, si riporta che l'Unione della Romagna Faentina ha inserito

esplicitamente come azione di adattamento nel PAESC, A.03, la realizzazione di verde pensile, sia estensivo che intensivo, verde verticale, giardini verticali o muri verdi nel patrimonio edilizio sia pubblico che privato. Similmente, il Comune di Bra (Prov. Cuneo) ha esplicitato nel suo PAESC la costruzione di tetti e pareti verdi come azione in risposta all'obiettivo 1, "Adattamento all'aumento delle temperature". In questo caso, infatti, pianificano il ricorso a queste tecnologie al fine di ridurre il fenomeno delle isole di calore, citandole insieme alle *Nature Based Solutions* e alla depavimentazione per aumentare le aree verdi.

Nel sito web di "PAESC Italia – Consultazione pubblica sul Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima" (www.paesiitalia.it), un motore di ricerca, non istituzionale, delle azioni PAESC sul territorio nazionale, tra le numerose azioni che implementano *NBS*, ad oggi se ne rilevano ben 22 specifiche su tetti e pareti verdi, riportate nella lista di figura 4.1.

PAESC Italia Consultazione pubblica sul Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima	
1) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Ragusa (RG) Azione 3 - 28/04/2021	12) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Comiso (RG) Azione EC 07 - 13/12/2021
2) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Castronovo Di Sicilia (PA) Azione EC 03 - 15/11/2022	13) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Avola (SR) Azione EC 08 - 11/02/2022
3) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Acquaviva Platani (CL) Azione EC 04 - 17/07/2022	14) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Carlentini (SR) Azione EC 08 - 02/05/2021
4) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di San Teodoro (ME) Azione EC 05 - 16/06/2022	15) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Regalbuto (EN) Azione EC 08 - 04/11/2021
5) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Piana Degli Albanesi (PA) Azione EC 06 - 17/06/2022	16) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Portopalo Di Capo Passero (SR) Azione EC 08 - 04/06/2022
6) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Cerda (PA) Azione EC 06 - 16/05/2022	17) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Francofonte (SR) Azione EC 08 - 13/06/2022
7) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Leonforte (EN) Azione EC 06 - 12/07/2022	18) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Castelvetro Selinunte (TP) Azione EC 08 - 21/11/2022
8) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Calatabiano (CT) Azione EC 06 - 14/11/2022	19) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Mussomeli (CL) Azione EC 09 - 29/06/2022
9) Promozione realizzazione tetti verdi Comune di Santa Venerina (CT) Azione EC 07 - 25/08/2022	20) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Villalba (CL) Azione EC 09 - 29/06/2022
10) Promozione realizzazione tetti verdi – pareti verdi e pareti alberate ombreggianti Comune di Siracusa (SR) Azione EC 07 - 03/11/2021	21) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Gravina Di Catania (CT) Azione EC 10 - 16/03/2022
11) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Noto (SR) Azione EC 07 - 28/03/2022	22) Promozione e/o realizzazione tetti verdi Comune di Acireale (CT) Azione EC 10 - 26/08/2022

Figura 4.1 - Azioni specifiche su tetti e pareti verdi sul territorio nazionale, tratte dal motore di ricerca "PAESC Italia – Consultazione pubblica sul Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima"

In conclusione, prima in Europa e poi su scala nazionale, l'implementazione di *NBS* per edifici ed in particolare le installazioni di tetti e pareti verdi stanno vivendo una fase di ascesa e sono progressivamente integrati nelle azioni della pianificazione energetica locale. Questo grazie anche al ruolo di promotore assunto dalla Commissione Europea, che nella propria regolamentazione e comunicazioni indicano le *NBS* come strategiche per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Diverse organizzazioni e piattaforme internazionali ed Europee supportano e promuovono l'implementazione di *NBS* (inclusi tetti e pareti

verdi). In particolare, sia su scala Europea che nazionale, il PAESC rappresenta uno strumento utile per promuovere la diffusione di queste tecnologie a partire dalla scala territoriale locale. Per aumentare l'efficacia della politica adottata e del relativo strumento è necessario limitare la dispersione di conoscenze ed armonizzare e definire delle procedure di attuazione più standardizzate. A questo proposito, l'obiettivo delle Linee Guida ENEA è proprio quello di fornire alle PA locali un quadro conoscitivo completo e armonizzato rendendo noti gli impatti energetici e ambientali delle infrastrutture verdi applicate agli edifici.



5. BUONE PRATICHE: PROGETTI REALIZZATI DI TETTI E PARETI VERDI E ALCUNI STUDI ENEA



Capitolo in breve

In questo capitolo vengono riportati alcuni progetti di Tetti e Pareti Verdi realizzati dalle Amministrazioni locali emersi dall'indagine condotta da ENEA, la cui metodologia è riportata nel capitolo successivo, oltre che i progetti di ricerca condotti da ENEA sugli aspetti energetici e ambientali del verde sugli edifici che hanno interessato città come Bolzano, Roma e Torino. I progetti sono riportati seguendo, dove possibile, l'ordine alfabetico dei Comuni. In particolare, il capitolo si apre con l'esempio virtuoso del Comune di Bolzano, città italiana con la più grande estensione di Tetti Verdi, e con lo studio avviato da ENEA sui Tetti Verdi di Bolzano per valutare come le variazioni spazio-temporali delle

superfici dei Tetti Verdi agiscano sul microclima per mitigare l'isola di calore a scala urbana. Nei paragrafi successivi vengono riportati gli studi condotti da ENEA sul prototipo di Tetto e Parete Verde nel CR ENEA Casaccia di Roma e gli studi di simulazione volti a quantificare la mitigazione dell'isola di calore urbana (UHI, Urban heat island) per effetto dell'applicazione di Tetti e Pareti Verdi nelle aree urbane di Roma e Torino. Seguono i paragrafi dedicati ai progetti di inverdimento degli edifici realizzati dalle Amministrazioni locali quali il Comune di Firenze, di Milano, di Rimini e di Torino con le relative schede di approfondimento fornite dal singolo Comune.

5.1 I tetti verdi di Bolzano e Provincia

Attualmente in Italia la provincia di Bolzano è quella che più si è resa promotrice di proposte concrete per promuovere l'uso di coperture a verde pensile diventando la prima provincia italiana con la più grande estensione di tetti verdi: la sola città di Bolzano annovera oltre 1000 tetti verdi tra edifici pubblici e privati per uno sviluppo complessivo di circa 70 mila metri quadrati.

Tale estensione ha permesso al gruppo di ricerca ENEA del Dipartimento Efficienza

Energetica di avviare uno studio per il monitoraggio su scala urbana delle variazioni sul microclima per mitigare l'isola di calore urbana, reso possibile dalle metodologie di telerilevamento & GIS (Geographic Information System) nell'ambito del progetto di Ricerca "Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica" finanziato dal progetto nazionale "Ricerca di Sistema Elettrico" del MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica).



Figura 5.1 - Tetti verdi nella città di Bolzano (<https://www.altoadigeinnovazione.it>)

5.1.1 Il progetto R.I.E.

La straordinaria diffusività di infrastrutture verdi nelle aree urbane di Bolzano e provincia ha le sue radici nella profonda conoscenza del territorio da parte degli Enti territoriali che, a fronte di una pianura incastonata tra le montagne, attraversata da fiumi e fornita di un sistema di falde freatiche molto superficiali, hanno ideato strumenti in grado di contrastare alluvioni, riducendo e regimando la sigillatura delle superfici naturali causata dall'edilizia galoppante dei tempi moderni.

La realizzazione di tetti verdi a Bolzano è iniziata nel 2004 a seguito dell'introduzione nell'Ordinamento Edilizio Comunale dell'"Indice R.I.E." (*Riduzione dell'Impatto Edilizio*) (Abram, 2006³⁹). Si tratta di un indice attraverso il quale l'ente pubblico è in grado di regolamentare l'attività edilizia alle nuove esigenze di risparmio energetico e minor impatto ambientale attraverso la certificazione della qualità dell'intervento edilizio rispetto alla permeabilità del suolo ed alle esigenze del territorio.

Il R.I.E. può essere definito in forma sintetica come il rapporto tra i seguenti gruppi di categorie

$$R.I.E. = Sv/Si$$

dove: Sv = Superfici a verde-superfici permeabili; Si = Superfici impermeabilizzate-sigillate.

L'indice varia nell'intervallo di valori da 0 a 10. A valori tendenti a "0" (parcheggio asfaltato), corrispondono siti con superfici completamente o in larga parte impermeabilizzate, prive cioè di spazi verdi e con effetti negativi sulla regimazione delle acque meteoriche e sui fattori climatici influenti il microclima urbano (isola di calore). Valori prossimi a "10" (area incolta o a verde), sono invece legati a superfici verdi, naturali o para-naturali, cioè prive totalmente o in larga misura, di spazi sigillati ed offrendo in tal modo le massime prestazioni in termini di regimazione idrica e controllo microclimatico. Per ottenere il rilascio della concessione edilizia o dell'abitabilità, i progetti di nuova costruzione o ristrutturazione devono avere un indice R.I.E. maggiore o uguale a 4; un valore maggiore o uguale a 1,5 se si tratta di costruzioni a destinazione produttiva (capannoni, stabilimenti produttivi, ecc.).

Il sito del Comune di Bolzano e/o della provincia forniscono tutte le informazioni di dettaglio necessarie per le procedure da seguire⁴⁰.

5.1.2 I tetti verdi emblematici della città di Bolzano

Il tetto verde della filiale della Banca d'Italia di Bolzano con i suoi 1000 m² (figura 5.2) è da annoverare tra i tetti verdi emblematici sia per

la rappresentatività dell'istituto in sé sia per la natura dell'intervento di ristrutturazione da cui ha avuto origine: il progettista incaricato di

³⁹ Abram P., Verde pensile in Italia e in Europa, 2006 pag. 153-154.

⁴⁰ [Richiedere la Certificazione RIE \(Riduzione dell'Impatto Edilizio\) / Servizi / Città di Bolzano - Città di Bolzano \(comune.bolzano.it\)](http://www.comune.bolzano.it)

ripristinare l'impermeabilizzazione del tetto ammalorato propose il rifacimento della struttura dimensionando l'intervento su edificio preesistente. Un intervento futuristico se si considera che ha soddisfatto pienamente l'indice R.I.E. nonostante sia stato realizzato prima dell'entrata in vigore del regolamento stesso: le verifiche effettuate hanno permesso di registrare una differenza di temperatura tra interno ed esterno fino a 20°C.



Figura 5.2 - Tetto verde di Bankitalia a Bolzano
(Fonte: *Google map 3d*)

Il tetto verde della Fiera di Bolzano, con un "fondo" di soli 8 centimetri, rappresenta un fiore all'occhiello per la città, essendo in assoluto il primo esempio di tetto verde intensivo per favorire la biodiversità. La figura 5.3 illustra il dettaglio costruttivo e gli elementi funzionali all'aumento della biodiversità: cinquecento metri quadri di nuova vegetazione, adatta alla vita delle api, con tre fonti d'acqua e mattoni, tegole e legno di scarto che le api selvatiche possono usare come materiale per i loro nidi. Anche per l'edificio della Fiera il progetto del tetto verde ha avuto inizio a seguito dell'esigenza di risolvere in modo definitivo le continue infiltrazioni di acqua piovana dai tetti, come

testimoniato da un rappresentante della struttura, in fig. 5.3, durante un sopralluogo effettuato con i tecnici ENEA.

<https://requadro.com/tetto-verde-di-bankitalia-a-bolzano-tra-architettura-e-cielo/?google>



Figura 5.3 - Tetto verde della Fiera di Bolzano, particolari costruttivi e funzionali alla biodiversità

I duecento metri della terrazza verde dello storico palazzo *Schgraffer* (figura 5.4) del Comune di Bolzano attrezzati con grandi vasche/fioriere e spazi di aggregazione per consentire attività di lavoro, riunioni o colloqui all'aperto.



Figura 5.4 - La terrazza verde di palazzo Schgraffer di Bolzano (Fonte: <https://www.altoadige.it>)

Altro esempio emblematico il tetto verde dell'ospedale nuovo di Bolzano in figura 5.5.



Figura 5.5 - Tetto verde dell'ospedale di Bolzano (Fonte: <https://www.altoadige.it>)

5.1.3 Studio ENEA dei tetti verdi della città di Bolzano mediante telerilevamento & GIS

Il gruppo di ricerca ENEA del Dipartimento Efficienza Energetica lavora dal 2015 sul tema delle infrastrutture verdi per migliorare l'efficienza energetica degli edifici nell'ambito dell'"accordo di programma" MISE-ENEA

ricerca di sistema elettrico. Le attività di ricerca sono state svolte principalmente presso il sito sperimentale dell'ENEA Casaccia costituito dall'edificio "Scuola dell'energia" (vedere Paragrafo 5.2).

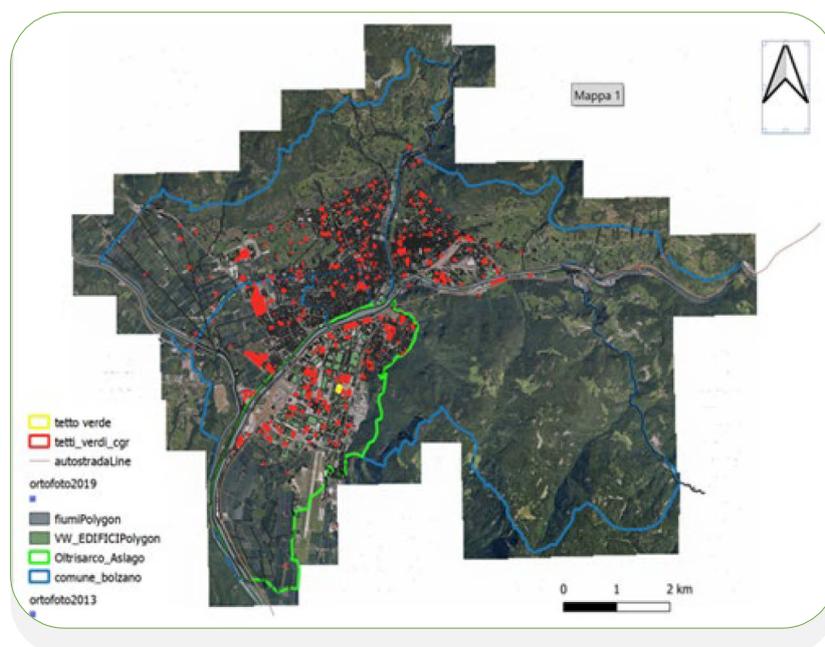


Figura 5.6 - Ortofoto del Comune di Bolzano con confini amministrativi, viabilità, edifici e tetti verdi (in rosso) (Fonte: SIT del Comune di Bolzano)

Dal 2019 è stato introdotto anche lo studio mediante tecniche di telerilevamento e *GIS* per indagare l'effetto ambientale dei tetti verdi nelle città oltre la scala edificio, potendo osservare dal contrasto dal fenomeno dell'isola di calore urbana (*UHI*), grazie all'effetto mitigatorio delle superfici vegetate, alla riduzione delle concentrazioni di particolato e gas inquinanti, dovute alla deposizione di superficie e all'assorbimento stomatico delle strutture vegetali. Un approccio sperimentale reso possibile dalle capacità di acquisizione da remoto dei sensori satellitari a risoluzioni spettrali e geometriche sempre più spinte.

La scoperta della città di Bolzano con i suoi oltre 1.000 tetti verdi ha rappresentato il caso

studio ideale per la misurabilità degli effetti su scala territoriale sia *in situ* sia da remoto.

Grazie alla disponibilità dell'Ufficio Sistema Informativo territoriale e del Servizio giardiniera del Comune di Bolzano è stato possibile accedere ai dati geografici di interesse per lo studio ENEA e utilizzarli attraverso il servizio *Wms (world map service)* che consente di utilizzare informazioni geografiche digitali sotto forma di immagine senza dover disporre fisicamente del dato (*big data*): in tal modo ortofoto del comune con tutte le informazioni cartografiche e urbanistiche di base (sistema stradale, autostradale, fluviale, confini comunali, confini di quartiere, verde urbano, ecc.) hanno permesso di pianificare le attività (figure 5.6 e 5.7).

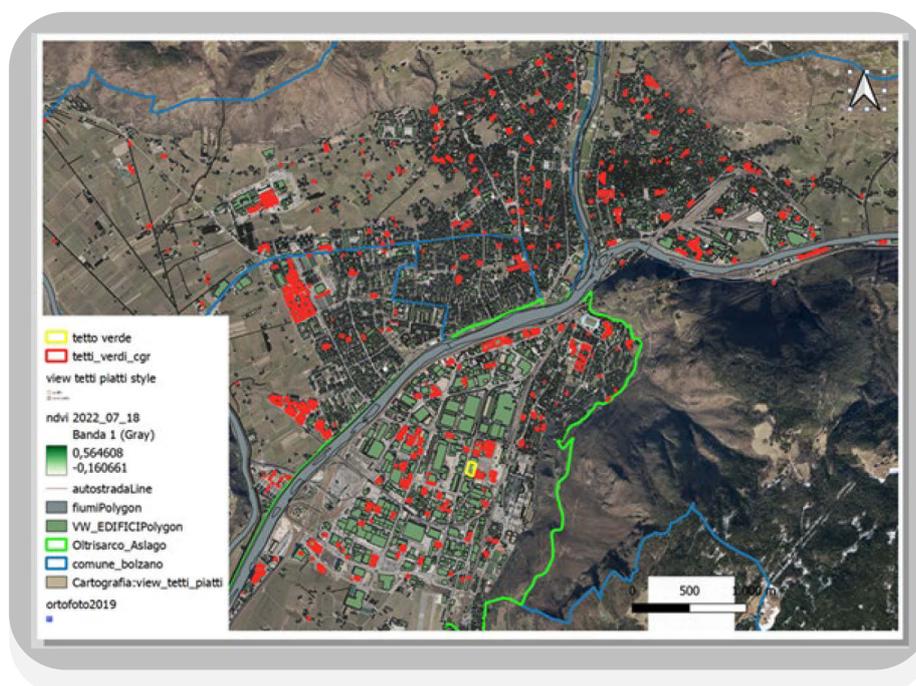


Figura 5.7 - Ortofoto del Comune di Bolzano con il dettaglio sul quartiere di Bolzano sud (linea verde) (Fonte: SIT del Comune di Bolzano)

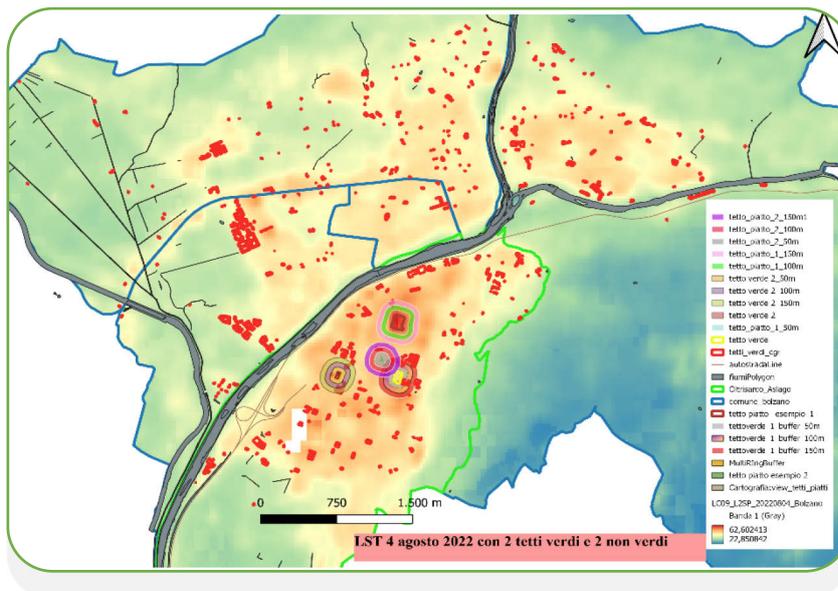


Figura 5.8 - Mappa termica del Comune di Bolzano con dettaglio dei tetti e relative zone *buffer* oggetto di indagine iniziale

Nella figura 5.8 sono evidenziati i tetti verdi e convenzionali (vedere legenda) scelti per le indagini preliminari nel quartiere di Bolzano sud: la selezione ha tenuto conto non solo

delle dimensioni dei tetti *target* ma anche del limite dettato dalla risoluzione spaziale del dato satellitare disponibile.

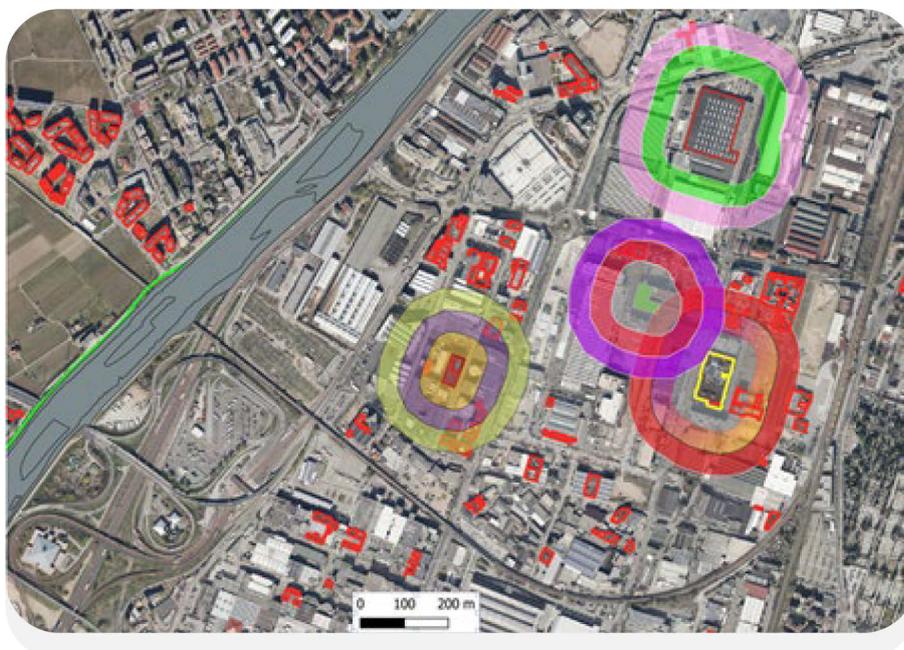


Figura 5.9 - Zone *buffer* di indagine: 50 m, 100, 150 m rispetto al perimetro del Tetto in esame

Attualmente nell'infrarosso termico le uniche acquisizioni sono rese possibili dalle missioni *Landsat 8* e *9*, i satelliti *NASA (National Aeronautics and Space Administration USA)* più recenti con una risoluzione spaziale nativa di 100m scalabile a 30m attraverso procedure di *processing* dedicate e sovrapposizioni alle acquisizioni di *Sentinel 2*,

uno dei satelliti *ESA (European Space Agency)* della costellazione *Copernicus*. Le zone *buffer* di 50, 100 e 150m intorno ai tetti esaminati per studiare le variazioni radiometriche associate sono rappresentate in figura 5.9, che implicano variazioni di temperatura di superficie, *LST (Land Surface Temperature)*, a sua volta in relazione con la temperatura dell'aria.

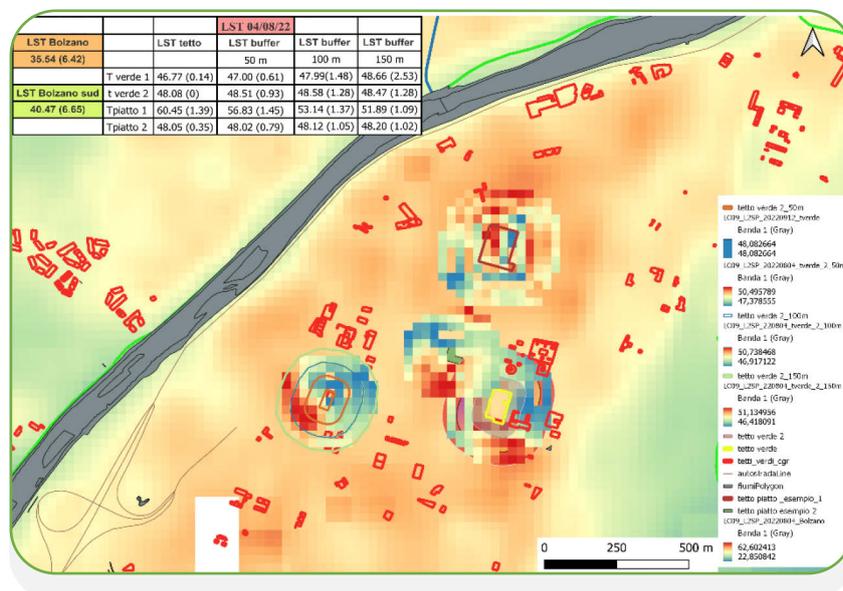


Figura 5.10 - Particolare della mappa termica (*LST*) sul quartiere di Bolzano sud e variazioni termiche nell'intorno di ciascun tetto esaminato

La figura 5.10 illustra la temperatura media di superficie, elaborata mediante lavorazione delle acquisizioni satellitari *Landsat 8*, riferite ad una giornata tipica di agosto, ritagliata sul quartiere di Bolzano sud e le variazioni radiometriche, quindi termiche, negli intorni dei tetti verdi e dei tetti convenzionali

considerati nello studio. La possibilità offerta dalle metodologie di telerilevamento e GIS (Geographic information system) di poter sovrapporre ulteriori layer informativi come le alberature, in figura 5.11, consente di cogliere relazioni e guidare le analisi successive.

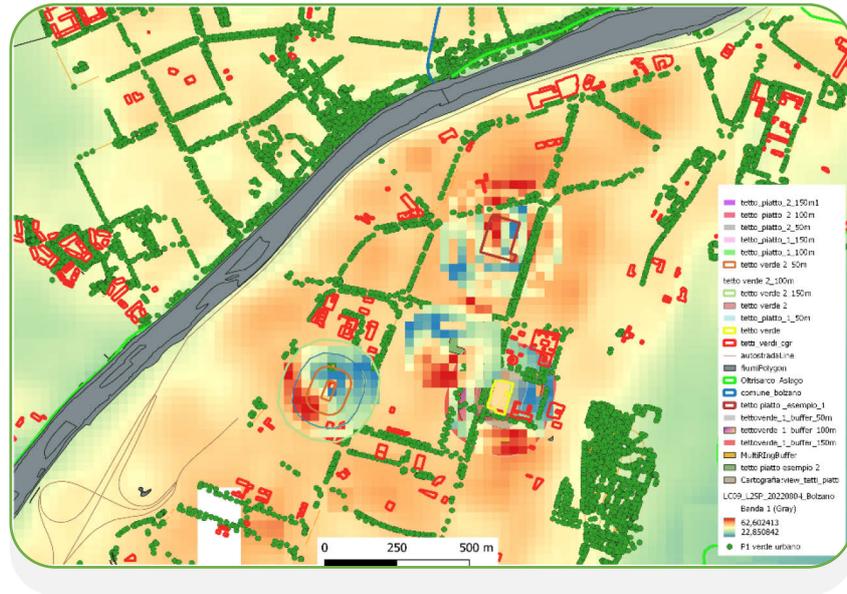


Figura 5.11 - Particolare della mappa termica (LST) sul quartiere di Bolzano sud e variazioni termiche nell'intorno di ciascun tetto esaminato

Attraverso il sito <https://earthexplorer.usgs.gov/> è stato possibile scaricare gratuitamente le immagini satellitari di Landsat 8 e 9 per le estati del 2004 (ante installazione tetti verdi) e nel 2022 (post

installazione); calcolare i valori di LST, temperatura di superficie per le superfici dei singoli tetti e per i rispettivi intorno, zone buffer, a 50, 100 e 150m, quindi valutare la significatività delle differenze (figura 5.12).

2004									2022										
data	LST	LST	LST	LST	LST	LST	media	diff. vs	data	LST	LST	LST	LST	media	diff.	LST	LST	media	diff. vs
	Bolzano	BZ sud	futuro	futuro	t p_1	t p_2	tetti	BZ sud		Bolzano	BZ sud	t v_1	t v_2	t v	BZ sud	t p_1	t p_2	t p	BZ sud
			t v_1	t v_2															
29/5	25.6	30.34	36.23	36.89	44.96	36.89	38.74	8.4	15/5	31.98	37.23	44.74	46.67	45.70	8.47	56.93	43.94	50.43	13.2
7/6	30.7	37.11	44.26	45.71	54.81	45.7	47.62	10.51	16/5	31.6	37.29	43.92	44.23	44.07	6.78	54.53	43.14	48.83	11.54
30/6	30.34	35.6	43.57	44.76	56.27	44.76	47.34	11.74	1/6	19.57	31.21	36.85	36.5	36.67	5.47	46.05	36.5	41.27	10.06
9/7	24.22	29.17	33.41	35.79	45.54	35.78	37.63	8.46	25/6	32.46	37.09	44.25	44.10	44.17	7.08	55.48	43.76	49.62	12.53
25/7	0.02	(-)3.2	5.59	nd	nd	nd			2/7	35.94	41.05	49.9	48.84	49.37	8.32	61.01	48.49	54.75	13.7
1/8	33.62	38.30	47.60	47.77	57.01	47.76	50.03	12.00	3/7	39.92	45.12	53.55	53.15	53.35	8.23	64.71	52.07	58.39	13.27
2/9	27.03	31.45	37.23	37.62	49.04	37.62	40.39		11/7	36.78	42.48	50.34	49.84	50.09	7.61	61.97	48.91	55.44	12.96
27/9	20.69	23.51	27.12	27.96	34.85	27.96	29.47		18/7	38.53	44.98	53.41	52.09	52.75	7.77	63.17	51.53	57.35	12.37
									19/7	38.8	42.85	49.98	49.51	49.74	6.89	58.39	48.51	53.45	10.6
									3/8	34.45	39.73	45.68	46.69	46.18	6.45	59.51	47.19	53.35	13.62
									4/8	35.54	40.47	46.77	48.08	47.42	7.69	60.45	48.05	54.25	13.78
									6/8	28.76	34.09	39.86	41.47	40.66	6.57	54.62	41.37	47.99	13.9
									11/8	32.51	37.41	43.27	43.32	43.29	5.88	52.76	42.87	47.81	10.4
									28/8	30.73	35.01	40.56	40.76	40.66	5.65	51.49	40.01	45.75	10.74
									5/9	31.01	36.11	41.51	41.99	41.75	5.64	51.74	41.33	46.53	10.42
									12/9	24.57	28.51	32.31	33.16	32.73	4.22	45.27	32.78	39.02	10.51

LST: land surface temperature °C tv: tetto verde tpr: tetto piatto

Figura 5.12 - Valori medi di LST pre (2004) e post installazione (2022) di tetti verdi nel quartiere di Bolzano sud per i tetti verdi e non e rispetto ai tetti verdi che erano convenzionali prima del 2004

Le prime valutazioni parlano di differenze termiche evidenti tra tetti convenzionali e tetti vegetati: valori in rosso e azzurro della tabella riportata in figura 5.12; ciò ha supportato

l'ulteriore sviluppo delle indagini nell'ambito del progetto Ricerca di Sistema Elettrico previsto fino al 2024.

5.2 Prototipo di tetto e parete verde nel CR ENEA Casaccia - Roma

La ricerca sulle infrastrutture verdi sugli edifici è iniziata in ENEA circa dieci anni fa, con l'obiettivo di valutare le coperture superficiali vegetate come sistema termico per aumentare il *comfort* termico nell'ambiente interno dell'edificio. Il sito sperimentale si trova presso il Centro Ricerche Casaccia

dell'ENEA situato a Santa Maria di Galeria (Roma). Le coordinate geografiche sono: latitudine 42,101, longitudine 12,176, altitudine 85 m slm (figura 5.13). Il sito presenta un clima temperato, caratterizzato da estati calde e secche, inverni piovosi e notevole variazione di radiazione solare stagionale.

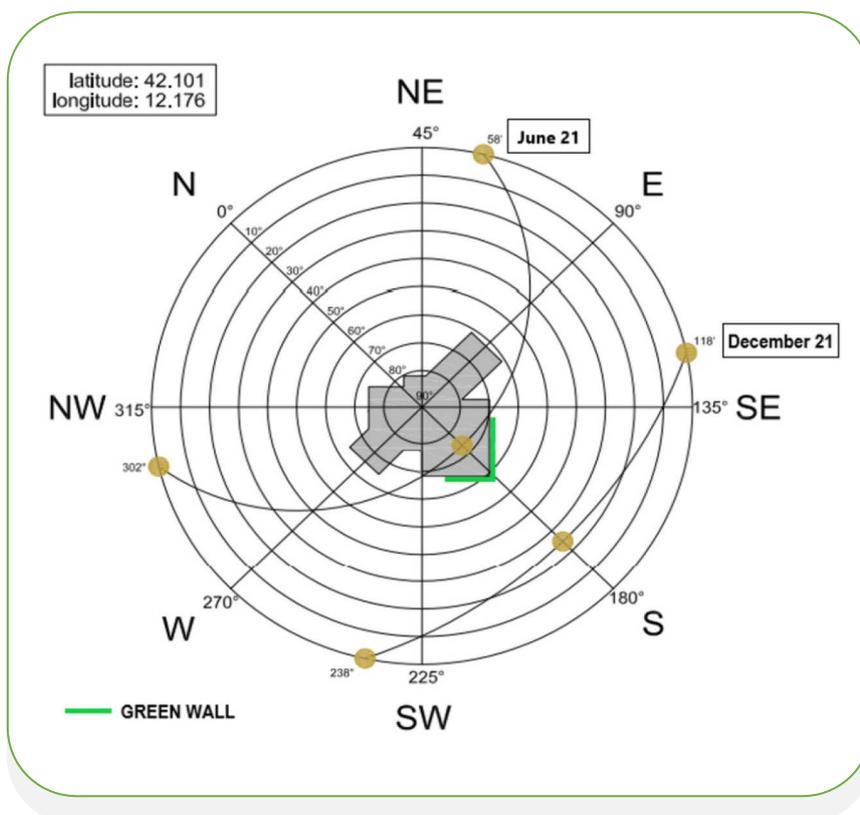


Figura 5.13 - Coordinate geografiche latitudine e longitudine dell'edificio con prototipo di tetto verde e parete verde presso il C.R: ENEA Casaccia di Roma. La linea verde mette in evidenza l'esposizione alla radiazione solare della superficie verticale inverdita

5.2.1 Caratteristiche strutturali del prototipo di parete verde

La struttura portante è composta interamente in acciaio zincato a caldo e verniciato a fuoco con vernici epossidiche ed è realizzata in 10 profili scatolari⁴¹ (figura 5.14). Il calcolo della staticità della struttura è stato condotto considerando l'ipotesi, cautelativa, che questa venga completamente rivestita con piante e vasi con il massimo peso (terra e acqua).

Pertanto, si è tenuto conto della spinta del vento agente su tutta la superficie esterna. La struttura è controventata orizzontalmente oltre che dalle staffe porta vaso anche mediante rete metallica fissata alla struttura. Per ulteriori dettagli sulla struttura si rimanda al Rapporto Tecnico ENEA RdS/PAR2015/141⁴¹.



Figura 5.14 - Struttura metallica applicata all'edificio che sorregge la parete verde (Report RdS/PAR2015/141⁴²)

La facciata verde è dotata di un impianto di irrigazione costituito da tre linee di gocciolatori a ghiera, regolabili, dalla portata massima di 2 litri al minuto, con 2-3 gocciolatori a vaso (figura 5.15). Le linee sono

azionate in sequenza da una centralina che apre e chiude le elettrovalvole e attiva un'elettropompa da 0,37 kW di potenza, che pesca da un serbatoio a valle di un filtro a dischi, fondamentale per evitare depositi e

⁴¹ con sezione 60x120x3 completi di piastra di appoggio e ancoraggio piatto da 200x200x10 con fori di fissaggio diametro 12 mm per alloggiamento di tasselli

⁴² Campiotti C., Consorti L., Giagnacovo G., Latini A., Puglisi G., Scoccianti M., Viola C. Caratterizzazione di tipologie di sistemi

vegetali per migliorare l'efficienza energetica degli edifici nella città metropolitana. Report RdS/PAR2015/141. https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-intelligenti/rds_par2015-141.pdf

ostruzioni dell'impianto. I turni e gli orari irrigui vengono adattati in base all'andamento meteorologico e alle stagioni; mediamente, in

estate, si effettuano due turni, all'alba e al tramonto distribuendo circa 10 litri di acqua per turno a vaso.

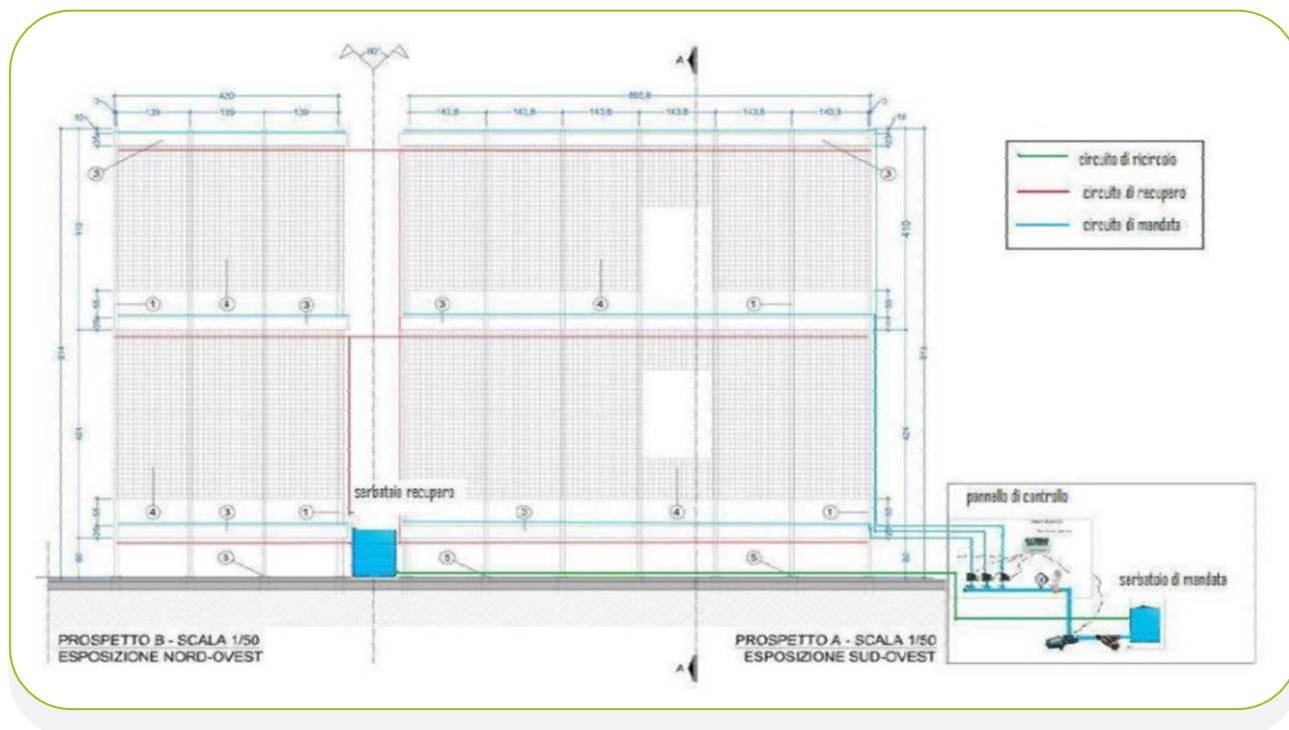


Figura 5.15 - Layout del sistema di fertirrigazione installato sulla parete verde (Report RdS/PAR2015/141⁴²)

Essenze vegetali della facciata verde

Le essenze vegetali presenti sulla facciata verde sono state selezionate tra le piante più diffuse e acclimatate nel clima mediterraneo dell'Italia centrale. Nei primi anni d'impianto, osservando il tasso di crescita e l'adattamento, sono state scelte tre specie che maggiormente sono risultate performanti nel

sito sperimentale dell'ENEA Casaccia: *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch, *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) ed *Hedera helix* (L.)⁴³ (figura 5.16). Queste specie hanno mostrato nel tempo ottimi tassi di crescita e subito minimi stress biotici e abiotici.

⁴³ Campiotti, C.A., Giagnacovo, G.; A. Latini; Margiotta, F.; Nencini, L.; Puglisi, G. 2017. Le coperture vegetali per la sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici. Project Report RdS/PAR2016/075.

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-intelligenti/rds_par2016_075.pdf



Figura 5.16 - Facciata verde ENEA con il dettaglio delle specie vegetali

5.2.2 Realizzazione e struttura del solaio tetto verde

Per la realizzazione del solaio tetto verde si è innanzitutto proceduto con la verifica dell'agibilità dell'edificio rispetto al peso della copertura vegetale mediante un'analisi tecnico documentale dei carichi massimi sopportabili dal solaio esistente. Il tetto è stato stimato sopportare un peso di circa 600kg/m^2 oltre al proprio peso e pertanto lo stato è stato realizzato con profondità pari a 20 cm e una pendenza di 0,5 % per facilitare lo sgrondo laterale. Sopra al massetto sono stati posti i diversi elementi tecnici costitutivi del modulo verde (figure 5.17 e 5.18) nell'ordine riportato di seguito:

- a) **Strato di regolarizzazione o compensazione:** lo strato di regolarizzazione o compensazione è stato realizzato mediante la stesura di uno strato di geotessile non tessuto (TNT) del peso unitario di circa 500 gr/m^2 , resistenza a trazione di almeno 30 kN/m (ISO EN 10319) con allungamento a rottura inferiore o uguale al 80% (ISO EN 10319) e resistenza al punzonamento maggiore 2000 N (ISO EN 12236).
- b) **Elemento di tenuta:** l'elemento di tenuta utilizzato è costituito da un manto sintetico in PVC spessore nominale 1,8 mm, rinforzata con una griglia in fibra di vetro, resistente ai raggi UV, resistente ai microrganismi. Le caratteristiche della membrana sono rispondenti ai requisiti minimi previsti dalle normative EN 13956. Nv8r
- c) **Caratteristiche del sistema multistrato verde pensile intensivo leggero prato:** costituito da feltro di accumulo e protezione meccanica, elemento di accumulo drenaggio e aerazione tipo drain roof H 2,5 e 5 cm, telo filtrante e substrato, con i requisiti previsti dalla norma UNI 11235.
- d) **Caratteristiche del sistema:** spessore totale del sistema pari a $13\text{ cm} \pm 5\%$ con spessore di substrato a compattazione avvenuta pari a 10 cm; peso a massima saturazione idrica, esclusa vegetazione, non superiore a 100 kg/m^2 ; a PF1 volume d'aria $\geq 40\text{ l/m}^2$; capacità di accumulo idrico non inferiore a 35 l/m^2 con almeno

30 l/m² di acqua disponibile per le piante (potenziale idrico compreso fra 0 e -1,5 MPa) e quantitativo di acqua libera contenuta nel pannello di accumulo non superiore a 3 l/m.

- e) **Caratteristiche dell'elemento drenante:** tipo Drain roof 25, con una conducibilità idraulica totale a 20kPa (secondo norma EN ISO 12958) a gradiente idraulico $i = 0,01$ non inferiore a 0,8 l/sm e ad $i = 0,1$ non inferiore a 2,4 l/sm.
- f) **Caratteristiche del substrato:** substrato tipo "vulcan flor", la frazione granulometrica fino a 0,064 mm non superiore al 20%, la capacità di scambio cationico a 30 meq/100g e la sostanza organica non maggiore dell'8% in massa. Al punto di appassimento permanente (-1,5 MPa), il contenuto d'acqua non superiore a 0,07 gr gr⁻¹ (gr d'acqua su gr di substrato secco). La quantità d'acqua disponibile per le piante non deve essere inferiore a 0,23 gr gr⁻¹.
- g) **Vegetazione:** il manto depositato sul tetto è costituito da tre appezzamenti differenti. Uno di circa 65 m², costituito da un mix di specie vegetali appartenenti alla famiglia delle Graminacee, rispettivamente *Festuca arundinacea* Schreb e *Poa pratensis* L. Il secondo occupante circa 5 m², costituito anche qui da un mix di specie appartenenti al genere *Sedum*, nello specifico sono presenti: *Sedum sexangulare* L., *S. album*

L., *Sedum spurium* MBieb, *S. sediforme*, *S.hispanicum* L., *Sedum rupestre* L. e *Sedum tectorum* L.

h) **Caratteristiche impianto di irrigazione:**

il sistema prevede un impianto di irrigazione statico e dinamico formato da: collettori di distribuzione con elettrovalvole autopulenti, antiusura con controllo di flusso, filtro sulla membrana e dispositivo di apertura e chiusura lenta; collettori dotati di microsfera per lo scarico invernale dell'impianto; tubazioni di alimentazione e di adduzione ai vari settori con diametri variabili, inattaccabili agli agenti e provviste di apposite valvole di drenaggio automatiche; irrigatori dinamici a turbina a settore variabile, con gittata regolabile e ugelli intercambiabili; irrigatori statici antiurto e anticorrosione con ugello ad angolo di lavoro regolabile, frizione per la regolazione della direzione del getto dopo l'installazione, con molla di richiamo pistone. Il sistema è comandato da una centralina elettronica gestibile anche da remoto (figure 5.15 e 5.19).

i) **Pozzetti di controllo termo-isolati per scarichi di facciata:**

pozzetto di controllo per scarico laterale muniti di coperchio, resistente al calpestamento e alla compressione; dotato di fessure verticali perimetrali per il deflusso dell'acqua e fessure sul coperchio per captare l'acqua di scorrimento superficiale. Dimensioni coperchio: 20x20 cm. Altezza: 15 cm.



Figura 5.17 - Dettagli del "tetto giardino" e della tipologia di substrato



Figura 5.18 - Fasi di installazione del tetto verde ENEA presso il C.R. Casaccia, Roma. A) Lastrico solare prima dell'installazione; B) collocazione del "drain roof"; C) collocazione del geotessuto; D) substrato "vulcan floor"; E) copertura di un settore con prato a Graminacee; F) copertura di un settore con mix di specie di *Sedum*



Figura 5.19 - Dettagli del sistema di irrigazione sul tetto verde ENEA, C.R. Casaccia, Roma

5.2.3 Sistema di monitoraggio microclimatico-ambientale

L'edificio prototipo è stato dotato di una complessa rete di sensori specifici per il monitoraggio di numerosi parametri microclimatici ed ambientali, collocati in punti chiave dell'edificio, sia a livello del tetto verde che della parete verde⁴⁴. Per tutti i sensori l'intervallo di misura è stato impostato a 1 h, sincronizzando l'acquisizione dei dati dai differenti sensori. I dati vengono acquisiti e memorizzati nella memoria locale del *data logger* che popola un database remoto accessibile sul web tramite un comune browser.

Il sistema di monitoraggio è in grado di rilevare le seguenti grandezze:

- velocità e direzione del vento, (m/s) e (deg)
- precipitazioni, (mm)
- temperatura e umidità relativa dell'aria, (°C) e (%)
- radiazione globale, (W/m²)
- radiazione visibile (PAR), (μmol/m² s)
- temperatura della superficie vegetale, (°C)
- temperatura suolo substrato, (°C)
- contenuto idrico del suolo, (m³/m³)
- concentrazione di CO₂ e di O₂, (ppm) e (%)
- temperatura muro/parete nuda, (°C)
- temperatura muro/parete schermato da coltre vegetale, (°C).

5.2.4 Alcuni dei risultati ottenuti dalla sperimentazione ENEA

Nell'ambito dell'Accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico (RdS), si stanno conducendo diversi studi sugli scambi energetici tra l'edificio e l'ambiente, oltre che sull'influenza dei processi fisiologici delle piante sui parametri microclimatici⁴⁵. I flussi termici, il LAI (*Leaf Area Index*), l'albedo, l'evapotraspirazione sono alcuni dei parametri in studio che influiscono sulle interazioni che si stabiliscono tra il comportamento termico dell'edificio e la fisiologia delle specie vegetali rispetto ai parametri ambientali e microclimatici che caratterizzano l'area e il sito dell'edificio.

Il monitoraggio che viene condotto a livello di tetto verde e parete verde consente una valutazione dell'effetto delle diverse specie vegetali sulla riduzione delle temperature superficiali rilevate sotto il manto erboso, nel caso del tetto, e dietro la coltre vegetale, nel caso della parete, determinando la capacità della vegetazione di isolare termicamente l'edificio. Grazie al sofisticato sistema di sensori per il monitoraggio microclimatico, abbiamo verificato che le coltri vegetali messe a copertura del solaio e delle pareti esterni dell'edificio prototipo presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia, vicino a Roma, sono

⁴⁴ C. Campiotti, P. De Rossi, G. Giagnacovo, A. Latini, L. Nencini, S. Pace e M. Sperandei, «Infrastrutture "verdi" per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e la qualità del microclima nelle aree urbane.» vol. Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR2019/042.
https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2019_042.pdf

⁴⁵ C.A. Campiotti, P. De Rossi, L. Gatti, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, M. Sperandei, et al. Gli ecosistemi vegetali per la rigenerazione ecologica delle città. Rapporto Tecnico ENEA RT/2021/13/ENEA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12079/61021>

in grado di mantenere le temperature superficiali al di sotto dei 30 °C e quindi di evitare le forti variazioni termiche che si verificano a livello delle superfici di tetti e pareti privi di vegetazione, che raggiungono picchi di temperatura di oltre 50 °C nelle ore più calde⁴⁶. Mediamente questo si traduce in un risparmio di energia elettrica di circa 200 kWh per la climatizzazione estiva di un'abitazione di 100 m², tenuto conto di una temperatura di *comfort* dell'ambiente interno non superiore a 26 °C. Nella figura 5.20, a titolo di esempio, sono riportati gli andamenti della temperatura superficiale delle due tipologie di tetto, rispettivamente vegetato e

tetto non vegetato, rilevate durante il mese di agosto 2023 in cui risulta evidente come l'effetto del verde oltre a mantenere le temperature intorno alla temperatura di *comfort* di 26°C, secondo la UNI/TS 11300-1, evita le forti variazioni di temperatura che sono presenti nella tipologia di tetto privo di vegetazione, che nelle ore più calde mostra picchi di temperatura che sfiorano i 50°C. Pertanto, è importante proseguire la ricerca per approfondire le differenti potenzialità di isolamento termico che esistono tra le specie vegetali al fine di consentire un efficace utilizzo della vegetazione nei differenti contesti microclimatici.

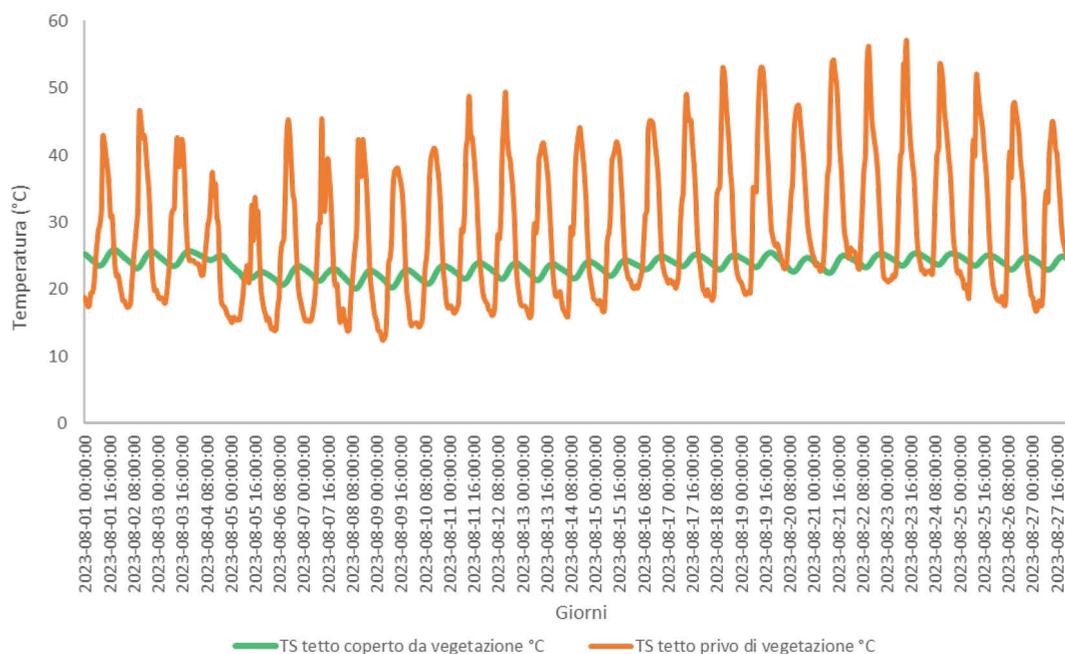


Figura 5.20 - Confronto tra le temperature superficiali del tetto coperto da vegetazione e del tetto privo di vegetazione rilevate ad agosto 2023 sul tetto verde ENEA, C.R. Casaccia, Roma

⁴⁶ Campiotti C A, Gatti L, Campiotti A, Consorti L, De Rossi P, Bibbiani C, Muleo R, Latini A. *Vertical Greenery as Natural Tool for Improving Energy Efficiency of Buildings.*

Horticulturae. 2022; 8: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060526>

Per una buona definizione energetica dei sistemi verdi in relazione alla loro caratteristica di riflettanza, la ricerca ENEA ha anche previsto di misurare l'albedo nei sistemi di "tetto verde", con il fine di incrementare le conoscenze disponibili a supporto della scelta delle specie di piante che risultino maggiormente adatte ad essere impiegate in queste infrastrutture, migliorando l'efficienza energetica degli edifici e, contemporaneamente, contrastando il

fenomeno dell'isola di calore urbano. La sperimentazione è stata condotta con un albedometro portatile visibile in figura 5.21, la cui sperimentazione è descritta in dettaglio nei report RdS/PTR2021/120⁴⁷. L'albedo è stata analizzata sul tetto in funzione di differenti spessori del prato, diverse specie vegetali e diverse stagioni. È stato confermato un effetto di schermatura della radiazione solare e quindi di calore entrante attraverso il tetto dovuto alla specie vegetale.



Figura 5.21 - disposto sul tetto verde ENEA, C.R. Casaccia, Roma nel settore a *Sedum* (a sinistra) e nel settore a Graminacee (a destra)

Un'ulteriore ricerca ha interessato i composti organici volatili (COV) al fine di rilevare la capacità della vegetazione nei sistemi verdi su edificio di mitigare le concentrazioni dei COV; in particolare la ricerca si è focalizzata sugli idrocarburi aromatici volatili tossici, quali: Benzene, Toluene, Etilbenzene e Xilene (BTEX). Elevati livelli di BTEX vengono rilevati soprattutto nelle aree industriali, ma anche nelle aree urbane, in particolare nelle grandi

città, dovuto ai problemi di traffico veicolare, dove costituiscono oltre il 60% di tutti i COV presenti. Per queste ragioni tale gruppo di sostanze viene utilizzato come riferimento per valutare i livelli ambientali e l'esposizione ai COV⁴⁸. I campionamenti sono stati effettuati sulla parete vegetata tra le foglie di edera e sulla parete priva di vegetazione e in una localizzazione nelle prossimità dell'edificio prototipo dove ci si attendeva la massima

⁴⁷ C. Campiotti, P. De Rossi, L. Gatti, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, S. Pace e M. Sperandei, «Infrastrutture "verdi" per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e la qualità del

microclima nelle aree urbane.,» vol. Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR2021/120.

⁴⁸ Lee S, Chiu M, Ho K, Zou S e Xinming Wang, Chemosphere. 2002; 48: 375-382.

esposizione ai BTEX, precisamente lungo la via Anguillarese, all'entrata ENEA dell'Area Capanna, dove il traffico automobilistico è continuo anche se non intenso (figura 5.22). I risultati hanno mostrato una mitigazione dell'inquinamento dell'aria: riduzione di circa il 20% di benzene, toluene, etilene e xileni, i COV più comuni in ambiente urbano. L'edificio prototipo ENEA rappresenta un caso di "background", trovandosi in un'area sufficientemente aperta e ventilata, in una zona con poco traffico e non in diretta prossimità di sorgenti locali d'emissione, per cui ci si aspetta una bassa concentrazione di questi BTEX. La sperimentazione è stata, pertanto, effettuata anche in un altro contesto individuato in area urbana e più in prossimità di sorgenti d'emissione, come la parete verde (giardino verticale) del Liceo Scientifico di Roma Keplero, premiato da *EcotechGreen* nel 2018. I primi risultati hanno mostrato che la vegetazione della parete del Liceo Keplero ha

un effetto di mitigazione dell'inquinamento dell'aria su tutti i BTEX analizzati⁴⁷ (figura 5.23). È stata rilevata una riduzione del toluene pari al 29%, dell'etilbenzene pari al 34%, dell'mp-xilene pari al 36% e dell'o-xilene pari al 35%. Il risultato è ottimo considerando che al momento del campionamento la parete non raggiungeva una copertura ottimale in quanto durante l'estate vi erano stati dei problemi con l'impianto di irrigazione che ha seccato la maggior parte della vegetazione. Questi primi risultati, molto incoraggianti, rinforzano l'ipotesi di un effetto benefico della vegetazione nel diminuire la concentrazione di queste sostanze inquinanti nell'aria circostante. Per ulteriori approfondimenti sulle ricerche condotte in ENEA si rimanda a specifici report tecnici e articoli: RdS/PTR2019/042⁴⁴, RdS/PTR2020/125⁴⁹, RdS/PTR2021/120⁴⁷, ENEA RT/2021/13/ ENEA⁴⁵, Campiotti et al. 2022⁴⁶.



Figura 5.22 - Immagine di Google Maps in cui vengono co-localizzati i primi campionamenti BTEX presso il CR ENEA Casaccia

⁴⁹ C. Campiotti, P. De Rossi, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, L. Nencini, S. Pace e M. Sperandei, «Infrastrutture "verdi" per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e la qualità del microclima nelle aree urbane.» Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR2020/125.

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2020_125.pdf



Figura 5.23 - Campionamento BTEX sulla parete verde del Liceo Keplero di Roma

I risultati maggiormente interessanti per queste Linee Guida sono riportati nelle seguenti schede:

EFFETTO DI UNA PARETE VERDE IN ESTATE (caso studio ENEA CR Casaccia)^{45,46}:



Risparmio di energia elettrica: 2 kWh/m² per anno;

Risparmio di emissioni di CO₂: circa 1 kg CO₂/m² per anno;

Mitigazione dell'inquinamento dell'aria: riduzione di circa il 20% di benzene, toluene, etilene e xileni, i COV più comuni in ambiente urbano

EFFETTO DI UN TETTO VERDE IN ESTATE (caso studio ENEA CR Casaccia)⁴⁵:

Temperatura superficiale sul tetto verde fino a 20-25 °C in meno rispetto al lastrico solare non inverdito negli orari più caldi delle giornate estive;

Riduzione della trasmittanza termica del tetto fino al 50%.

5.3 Studi ENEA sull'effetto dell'applicazione di tetti e pareti verdi per la mitigazione dell'isola di calore urbana - casi studio Roma e Torino

Nell'ambito dell'Accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021, i ricercatori del Dipartimento Efficienza Energetica hanno svolto un'attività di ricerca volta a quantificare la mitigazione dell'isola di calore urbana (UHI) per effetto dell'applicazione di tetti e pareti verdi in aree urbane di città italiane.

In particolare, sono stati analizzati alcuni tra gli aspetti più significativi relativi all'applicazione di tecnologie verdi d'involucro (TVI, i.e., tetti o pareti verdi), quali:

- il fattore di scala;
- l'orientamento rispetto alla direzione principale del vento;

l'efficacia tra diverse TVI a parità di condizioni di installazione o di una singola TVI al variare delle condizioni di installazione in funzione di: altezza degli edifici, percentuale di copertura del tetto o della parete di applicazione, LAI.

In un primo studio⁵⁰ sono state prese in considerazione due aree urbane, una a Roma e una a Torino; tali città appartengono rispettivamente alla zona climatica D ed E, che sono le zone climatiche che contano il maggior numero di comuni. Le due aree urbane scelte sono state modellate all'interno del software di simulazione microclimatica ENVI-met e per ciascuna città è stato valutato l'effetto dell'applicazione di tre scenari di

⁵⁰ Susca T, Zanghirella F, Del Fatto V. Building integrated vegetation effect on micro-climate conditions for urban heat island adaptation. Lesson learned from Turin and Rome case

studies. *Energy and Buildings*. 2023; 295:113233. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113233>

mitigazione dell'UHI per una tipica giornata invernale, una tipica giornata estiva e una tipica giornata estiva con ondata di calore.

Per quanto riguarda la città di Roma, per una tipica giornata estiva è stata valutata un'isola di calore media pari a 2,2 °C, ed è stata presa in considerazione un'area urbana caratterizzata da un tessuto urbano di tipo puntiforme: con edifici singoli, isolati dagli altri e ripetuti nel tessuto urbano. Il primo scenario (figura 5.24 (a)) ha previsto l'installazione di tetti verdi estensivi ovunque nell'area fosse possibile: oltre 12mila m² di tetti verdi estensivi che hanno consentito, in una tipica giornata estiva, una riduzione media

della temperatura dell'aria esterna di soli 0,08 °C, con punte di 0,36 °C. Il secondo scenario (figura 5.24 (b)) ha previsto l'installazione, ovunque nell'area fosse possibile, di tetti verdi estensivi e di facciate verdi (*green façade*): 12mila m² di tetti verdi estensivi in combinazione con quasi 60mila m² di facciate verdi, hanno portato a una riduzione media della temperatura dell'aria esterna di 0,33 °C, con punte fino a 1,17 °C registrate alle ore 15:00. Nel terzo caso (figura 5.24 (c)), dove era previsto l'impiego di facciate verdi su un solo edificio singolo, appena 2mila m², il calo della temperatura esterna è stato di soli 0,01 °C, con punte di 0,07 °C.

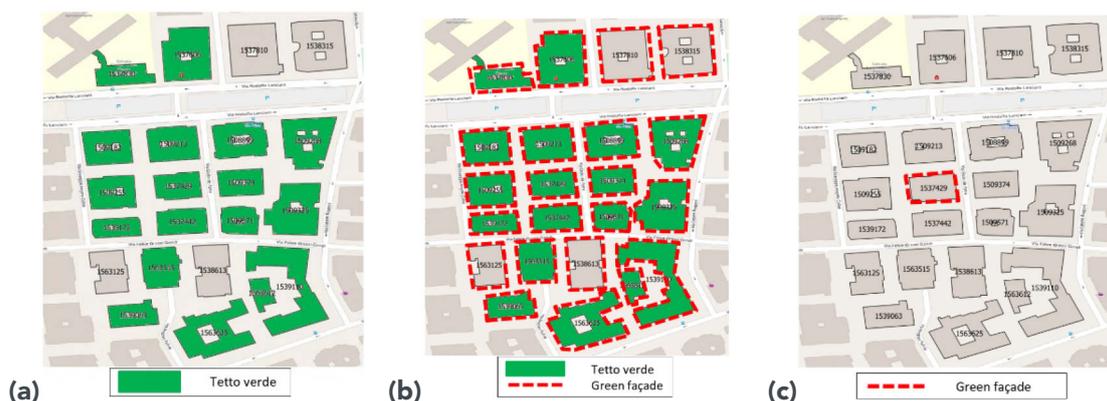


Figura 5.24 – Scenari di mitigazione simulati per il caso studio di Roma

Dal confronto tra i risultati dell'applicazione del secondo (figura 5.25a) e del terzo scenario (figura 5.25b) è risultata l'importanza della scala di applicazione delle strategie di mitigazione dell'UHI. In particolare, quando le facciate verdi sono applicate a un singolo

edificio, il loro potenziale di mitigazione della temperatura dell'aria è trascurabile; al contrario, un'ampia applicazione delle strategie di mitigazione dell'UHI può fornire una maggiore riduzione del riscaldamento urbano.

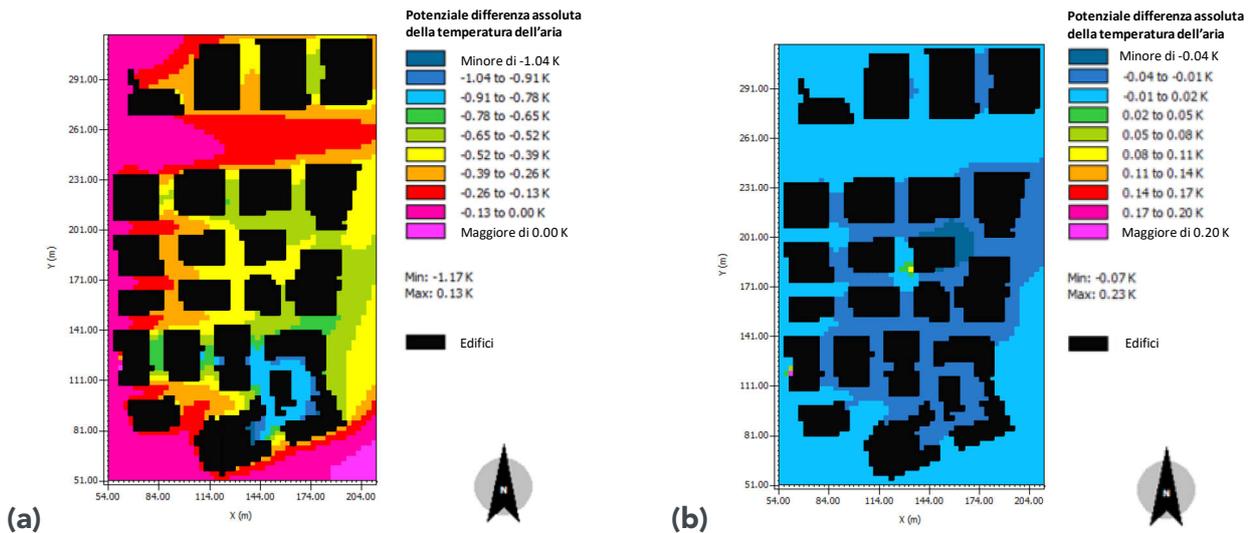


Figura 5.25 – Caso studio di Roma, giornata tipica estiva, ore 15:00, riduzione della temperatura dell’aria. a) applicazione del secondo scenario di mitigazione. b) applicazione del terzo scenario di applicazione

Per quanto riguarda la città di Torino, per una tipica giornata estiva è stata valutata un’isola di calore media pari a 1,1°C, ed è stata presa in considerazione un’area urbana caratterizzata da un tessuto urbano di tipo lineare che determina la formazione di canyon

urbani, ovvero dei veri e propri corridoi formati da strade prevalentemente strette lungo le quali sono allineati, in modo quasi del tutto continuo, edifici in maggioranza alti che si fronteggiano.

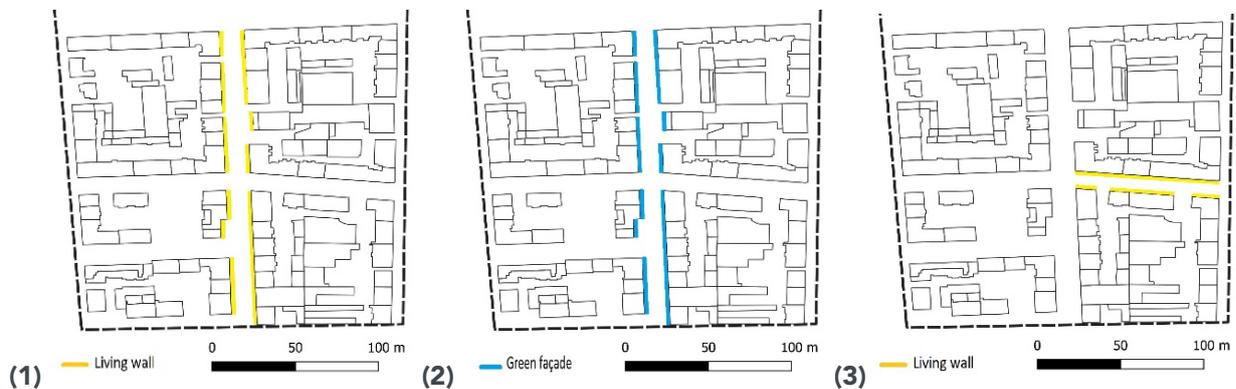


Figura 5.26 – Scenari di mitigazione simulati per il caso studio di Torino

Il primo e il secondo scenario (figura 5.26(1) e figura 5.26(2)) erano caratterizzati, rispettivamente, dall’installazione di oltre 6mila m² di *living wall*, la cui definizione è riportata nel Paragrafo 3.1.2.2, e altrettanti di facciate verdi su tutte le pareti degli edifici presenti lungo un canyon urbano parallelo alla direzione principale del vento; in entrambi i

casi è stata osservata una riduzione della temperatura dell’aria esterna, in una tipica giornata estiva, di circa 0,3 °C in media nel canyon e fino a circa 0,5 °C localmente, senza differenze sostanziali tra il comportamento delle due tipologie di parete verde (figura 5.27a). Il terzo scenario (figura 5.26(3)) prevedeva l’applicazione di *living wall*, quasi

4mila m², su tutte le pareti degli edifici presenti lungo un canyon urbano posto perpendicolarmente alla direzione principale del vento, e la relativa simulazione ha

mostrato una minore diminuzione della temperatura dell'aria locale rispetto al caso precedente, con valori fino a circa 0,3 °C (figura 5.27b).

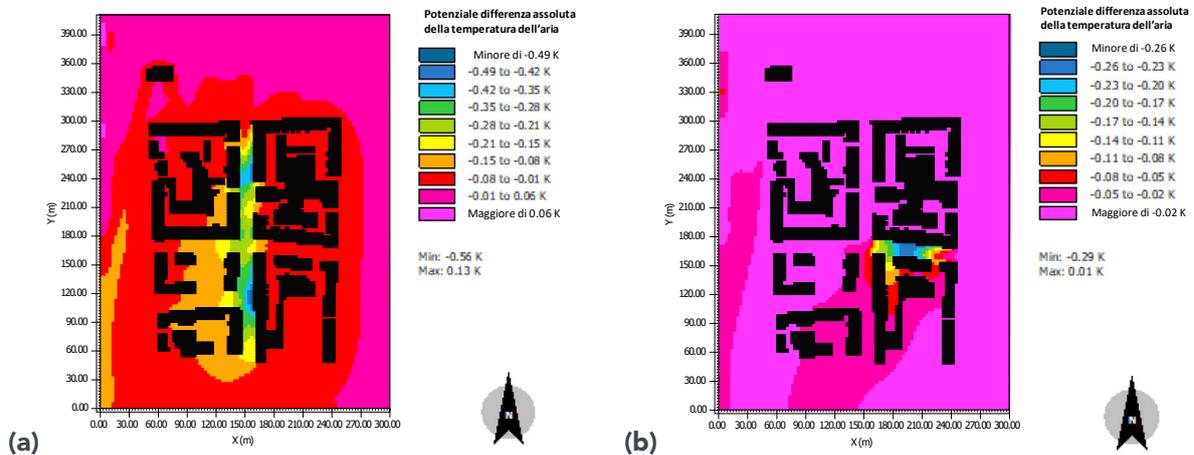


Figura 5.27– Caso studio di Torino, giornata tipica estiva, ore 17:00, riduzione della temperatura dell'aria. a) applicazione del primo scenario di mitigazione. b) applicazione del terzo scenario di applicazione

I risultati dello studio forniscono anche una misura relativa dell'efficacia degli scenari di mitigazione urbana basati sulle TVI. Il caso di studio di Torino, ad esempio, oltre a mostrare che le TVI sono più efficaci nel mitigare l'isola di calore in una giornata estiva se installate in canyon paralleli alla direzione principale del vento rispetto a quelli perpendicolari, dimostra anche che durante le giornate estive con ondata di calore, le TVI sono meno efficaci, rispetto alle giornate senza ondata di calore, a causa della chiusura degli stomi delle piante. Per favorire la traspirazione, e quindi la potenziale mitigazione, è necessario aumentare l'irrigazione delle piante. Nel caso di studio di Roma, inoltre, si osserva che, in un'area densamente urbanizzata e caratterizzata da edifici alti, le pareti verdi sono più utili per mitigare l'UHI rispetto ai tetti

verdi estensivi, che in tale configurazione hanno un effetto trascurabile sulla mitigazione della temperatura dell'aria. In un secondo studio⁵¹ sono state analizzate le performance di tetti verdi estensivi, facciate verdi e *living wall* nella mitigazione della UHI considerando come le stesse varino al variare dell'altezza media degli edifici presenti nell'area urbana di cui si vuole mitigare la temperatura dell'aria, dell'indice di area fogliare (*Leaf Area Index - LAI*) e della percentuale di copertura delle superfici di applicazione delle TVI (i.e., solai piani di copertura e pareti esterne degli edifici). Dalle analisi eseguite è risultato che i tetti verdi estensivi sono più efficaci nel mitigare la UHI quando installati su edifici alti 5-10 m, mentre la loro efficacia diminuisce grandemente quando installati su edifici di 40 m (figura 5.28).

⁵¹ Iaria J, Susca T. Analytic Hierarchy Processes (AHP) evaluation of green roof- and green wall- based UHI mitigation strategies via ENVI-met simulations. *Urban*

Climate. 2022; 46: 101293. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101293>

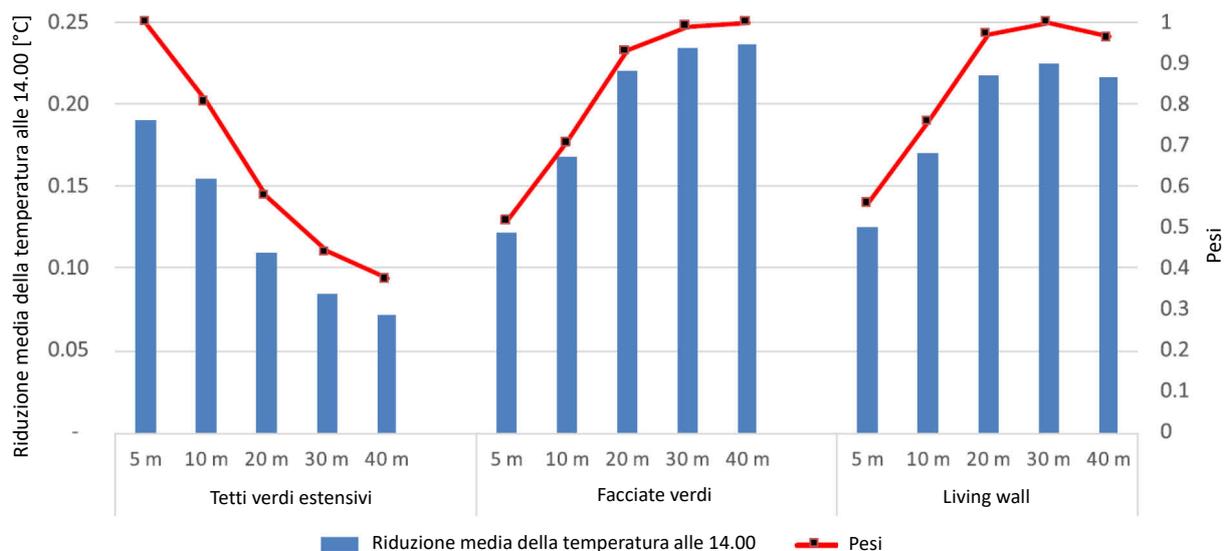


Figura 5.28 - Mitigazione della temperatura dell'aria al variare dell'altezza degli edifici e della TVI.
 Fonte: Iaria & Susca (2022)

Al contrario, le facciate verdi e i *living wall* aumentano il loro potenziale di mitigazione all'aumentare dell'altezza degli edifici. Tuttavia, per entrambe le TVI, all'altezza di 30 m viene raggiunto un plateau; questo significa che all'aumentare dell'altezza degli edifici su cui le facciate verdi e i *living wall* vengono installati, la loro efficacia nel mitigare la UHI non aumenta oltre i 30 m.

È stato inoltre trovato che, per tutte e tre le TVI, il potenziale di mitigazione aumenta linearmente all'aumentare della percentuale di copertura, ovvero all'aumentare della copertura della superficie di tetti e facciate su cui vengono installate le TVI. La figura 5.29 mostra come tale relazione sia lineare; questo significa che al fine di aumentare il potenziale di mitigazione delle TVI deve aumentare la superficie urbana coperta da vegetazione.

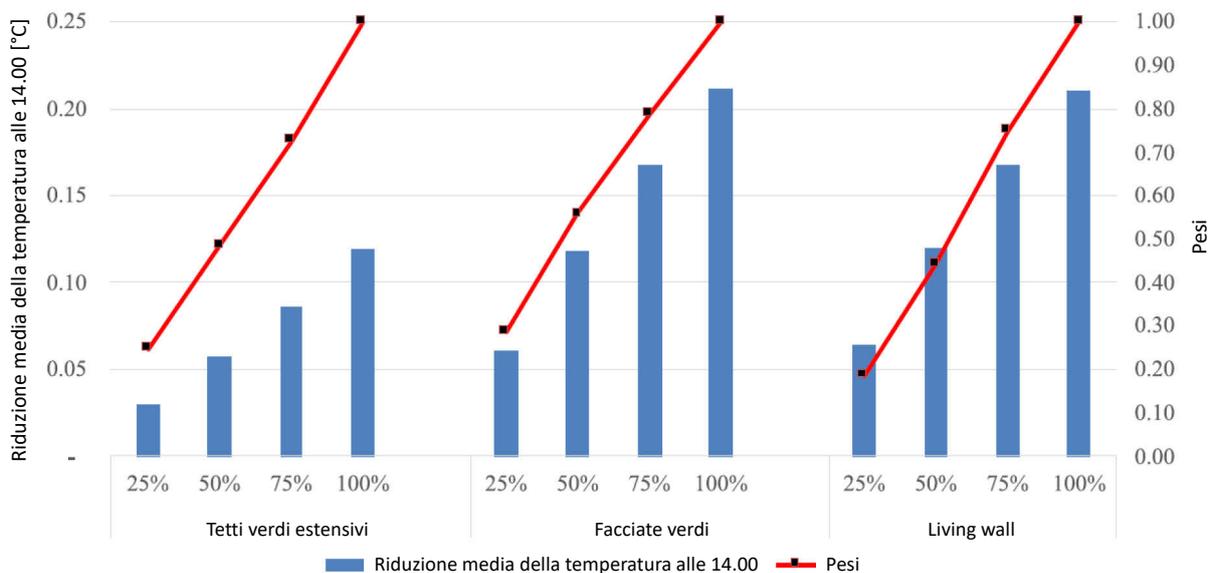


Figura 5.29 - Mitigazione della temperatura dell'aria al variare della percentuale di copertura e della TVI.
Fonte: Iaria & Susca (2022)

Infine, le TVI sono state analizzate per verificare come varia il loro potenziale di mitigazione in base al variare del LAI. La figura 5.30 mostra come per tutte e tre le TVI il potenziale aumenta all'aumentare del LAI. Il valore più basso di mitigazione lo si riscontra

quando il LAI è pari a 1.5, e aumenta quando il LAI passa a 3 e a 5. Tuttavia, l'andamento mostra che passando da LAI 3 a LAI 5 l'incremento di potenziale di mitigazione non è proporzionale, ed è inferiore all'incremento che si osserva passando da LAI 1,5 a LAI 3.

TETTI E PARETI VERDI PER GLI EDIFICI Linee Guida

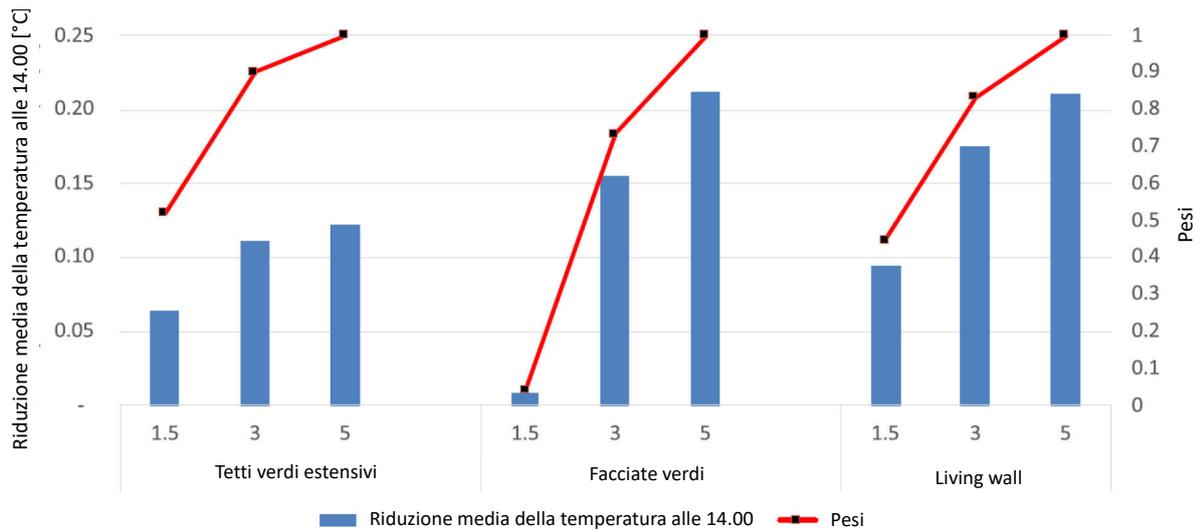


Figura 5.30 - Mitigazione della temperatura dell'aria al variare LAI e della TVI. Fonte: Iaria & Susca (2022)

In conclusione, gli studi realizzati indicano che, quando i responsabili delle politiche urbane mirano alla mitigazione dell'isola di calore, dovrebbero imporre un'ampia diffusione delle TVI, favorendo le facciate verdi quando le aree urbane sono caratterizzate da edifici alti; al contrario, l'installazione di tetti verdi estensivi può essere vantaggiosa nel mitigare l'UHI quando gli edifici sono alti tra 5 e 10 m. Inoltre, bisognerebbe dare priorità all'installazione di pareti verdi in canyon urbani paralleli alla direzione principale del vento piuttosto che in quelli perpendicolari. Infine, per garantire buone prestazioni di mitigazione dell'UHI da parte delle TVI, bisognerebbe prestare attenzione affinché lo strato fogliare sia

sempre rigoglioso e che quindi venga prestata una corretta cura e manutenzione delle piante, garantendo anche un adeguato livello di innaffiamento.

Quando le TVI non possono essere installate in modo ampio ed estensivo, sebbene le stesse possano determinare diminuzioni locali della temperatura urbana, le stesse dovrebbero essere affiancate ad altre misure di mitigazione per ridurre efficacemente l'UHI. In questo contesto, le Nazioni Unite propongono un approccio sistemico basato sull'applicazione simultanea di diverse misure di mitigazione⁵².

⁵² Zhao Y, Sen S, Susca T, Iaria J, Kubilay A, Gunawardena K, Zhou X, Takane Y, Park Y, Wang X, Rubin A, Fan Y, Yuan C, Bardhan R, Derome D, Ürgè-Vorsatz D, Carmeliet J. Beating urban heat: Multimeasure-centric solution sets and a

complementary framework for decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. 113668. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113668>

5.4 Progetto “pareti verdi” realizzato dal Comune di Firenze

Il Comune di Firenze, con il contributo della Fondazione CR Firenze a fine 2020 ha avviato il progetto “pareti verdi” sugli edifici comunali con l’obiettivo di migliorare la qualità dell’aria e contrastare l’effetto ‘isola di calore’. Ulteriori dettagli sono reperibili sul sito del comune:

<https://www.comune.fi.it/comunicati-stampa/pareti-verdi-citta-arrivano-quattro-nuovi-giardini-verticali-nelle-scuole>.

5.5 Progetti di inverdimento di tetti e pareti realizzati dal Comune di Milano

Il Comune di Milano ha cofinanziato progetti di inverdimento di tetti e pareti verdi in particolare nell’ambito del Bando BE2 per l’Efficienza Energetica (bando per la concessione di contributi per opere di miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici) e del progetto europeo H2020 CLEVER Cities.

Tra i progetti realizzati si riportano, a titolo di esempio, il tetto verde del Villaggio di Housing Sociale di via Ettore Ponti, il tetto verde realizzato sul tetto del nuovo palazzo del Comune di Milano, in via Sile che, a

regime, ospiterà circa mille dipendenti da sei diverse Direzioni (Urbanistica, Mobilità, Transizione Ambientale, Politiche sociali, Quartieri, Audit), e la parete verde realizzata sulla facciata del deposito di autobus ATM di via Giambellino, via ad alto scorrimento, la cui progettazione ha visto il coinvolgimento delle associazioni del quartiere e l’installazione di rilevatori dei PM10 per monitorarne l’efficacia.

Di seguito si riportano le schede fornite dal Comune di Milano contenenti alcuni dettagli dei progetti.

Tetto verde, villaggio di Housing Sociale

Anno di realizzazione, 2022

Città, Milano

Indirizzo o indicativamente il quartiere, Via Ettore Ponti 21

Estensione dell'area inverdita, 300 m² totali

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, Villaggio di Housing Sociale

Finalità del progetto di inverdimento, Coinvolgimento degli abitanti per momenti educativi

Tecnologia adottata, Stratigrafia: 7 cm di isolante in schiuma rigida PIR a celle chiuse incombustibile / guaina impermeabilizzante antiradice / 8 cm di pacchetto drenante DAKU intensivo standard / geocomposito drenante / 15 cm di terreno. È stato installato un impianto di irrigazione a pioggia.

Effetti attesi, Sociali



Tetto verde, edificio comunale di via Sile

Anno di realizzazione, 2019

Città, Milano

Indirizzo o indicativamente il quartiere, Via Sile 8

Estensione dell'area inverdita, 850 m² totali

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, tetto verde dell'edificio comunale di via Sile

Effetti attesi, Ambientali e sociali



Parete verde, deposito ATM di via Giambellino

Anno di realizzazione, 2022

Città, Milano

Indirizzo o indicativamente il quartiere, Via Giambellino 121

Estensione dell'area inverdita, 350 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento

Facciata di un deposito di autobus, localizzato in una via ad alto scorrimento nel quartiere Giambellino-Lorenteggio

Finalità del progetto di inverdimento

Rimozione degli inquinanti su una via ad alto scorrimento, miglioramento delle temperature degli uffici posizionati sul fronte inverdito, miglioramento estetico

Tecnologia adottata

Stratigrafia: Barriera di protezione, pannello acqua panel, impermeabilizzazione, tessuto con tasche per posizionamento piante.

Stratigrafia senza substrato per esigenze strutturali e di ingombro sul marciapiede. 30kg/m con tessuti bagnati. 10 cm di spessore (3 camera d'aria con funzione coibentante + 7 di stratigrafia) + piante radenti nella parte basale. Impianto di irrigazione a goccia

Effetti attesi, Ambientali e sociali



Progetto di Paolo Pignattaro – deposito ATM di via Giambellino 2022

5.6 Progetto di inverdimento di tetto e parete realizzato dal Comune di Rimini

Il Comune di Rimini ha realizzato il “progetto del verde” nell’ambito di un progetto di ristrutturazione edilizia mediante demolizione e ricostruzione della scuola dell’infanzia Gambalunga e scuola primaria Luigi Ferrari, progetto cofinanziato dal Ministero dell’Istruzione. L’inverdimento ha riguardato la sistemazione esterna dell’area di pertinenza e, considerando l’ubicazione urbana fortemente

antropizzata della scuola, anche l’inserimento di sistemi di pareti verdi in facciata oltre ad un tetto verde sulla copertura del corpo della palestra.

Di seguito si riporta la scheda fornita dal Comune di Rimini con alcuni dettagli del progetto.

Tetto verde e parete verde, scuola comunale

Anno di realizzazione, 2021-2022

Città, Rimini

Indirizzo o indicativamente il quartiere, Via Gambalunga 106

Estensione dell'area inverdita, parete vegetale: 117 m², tetto verde: 80 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento

Il progetto di inverdimento è stato sviluppato nell'ambito del progetto di ristrutturazione edilizia mediante demolizione e ricostruzione della scuola dell'infanzia Gambalunga e Scuola primaria Luigi Ferrari.

Finalità del progetto di inverdimento

Il progetto mirava ad aumentare il più possibile le superfici a verde prevedendo, oltre all'incremento delle superfici a prato rispetto allo stato di fatto, l'inserimento di pareti vegetali in facciata al fine di riqualificare il fabbricato sotto molteplici aspetti e la realizzazione di un *roof garden* in copertura con presenza di copertura a verde intensivo al fine di incrementare gli spazi verdi a disposizione degli alunni. Il *roof garden* è pensato come orto didattico sia ad uso della scuola che del *civic center*.

Tecnologia adottata

La parete vegetale prevista prevede l'installazione di una struttura di supporto e di un pannello per la radicazione delle piante con un sistema di irrigazione e di fertilizzazione automatica e una vasca di raccolta. Il sistema di tetto verde di tipo intensivo prevede un consistente strato di substrato che consente una modellazione articolata della superficie del giardino e l'utilizzo di una vasta quantità di specie.

Effetti attesi

Con l'inserimento delle pareti verdi in facciata i benefici sono stati molteplici. Il verde, oltre ad arricchire lo spazio e contribuire alla riqualificazione dell'edificio e del contesto in cui quest'ultimo è inserito, riduce l'effetto isola di calore e canyon urbano generato dalla superficie stradale, in particolare nella porzione di fabbricato relativo alla palestra. Inoltre, migliora la percezione della temperatura ed il confort climatico, contribuisce all'abbattimento dei rumori, migliora la qualità dell'aria.

Con la realizzazione del tetto verde sulla copertura palestra e *civic center* si ottengono ulteriore spazio da vivere all'aperto come luogo di incontro e socializzazioni. L'inserimento di una porzione di tetto verde riduce l'impatto di CO₂ e l'assorbimento delle polveri sottili, amplia la varietà di specie vegetali del luogo, aumenta il benessere psicofisico degli utenti. Inoltre, il tetto verde migliora il livello di coibentazione.

Sitografia

<https://www.comune.rimini.it/novita/nuove-scuole-ferrari-la-giunta-approva-il-progetto-definitivo-verde-le-pareti-verticali>



5.7 Progetti di inverdimento di tetto e parete realizzati dal Comune di Torino

Il comune di Torino ha finanziato progetti di inverdimento di tetti e pareti verdi grazie ai finanziamenti dei progetti *Europe CWC City Water Circle* e *Europe Progireg – Nature For Renewal* e del PRU – Programma Recupero Urbano, e alla normativa sulle opere di urbanizzazione a scomuto – attuazione PRG. Si tratta di 7 progetti tra tetti e pareti verdi realizzati nell'area comunale, in particolare sono stati realizzati 5 progetti di inverdimento

dei tetti verdi: 1) Open 011, 2) Ludoteca il Paguro, 3) Bocciodromo Tesorina, 4) Parco D'arte Vivente, 5) Casa nel Parco; e 2 progetti di inverdimento di pareti verdi: 6) Scuola Cairoli, 7) Dormitorio Tazzoli.

Di seguito, si riportano le schede fornite dal Comune di Torino con alcuni dettagli dei progetti.

Tetto verde, edificio Open 011

Anno di realizzazione, 2021

Città, Torino

Indirizzo o indicativamente il quartiere, Corso Venezia, 11

Estensione dell'area inverdita, 200 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, Progetto Europe CWC *City Water Circle*

Finalità del progetto di inverdimento, trasformare una terrazza grigia in un giardino irrigato con l'acqua piovana raccolta dal tetto

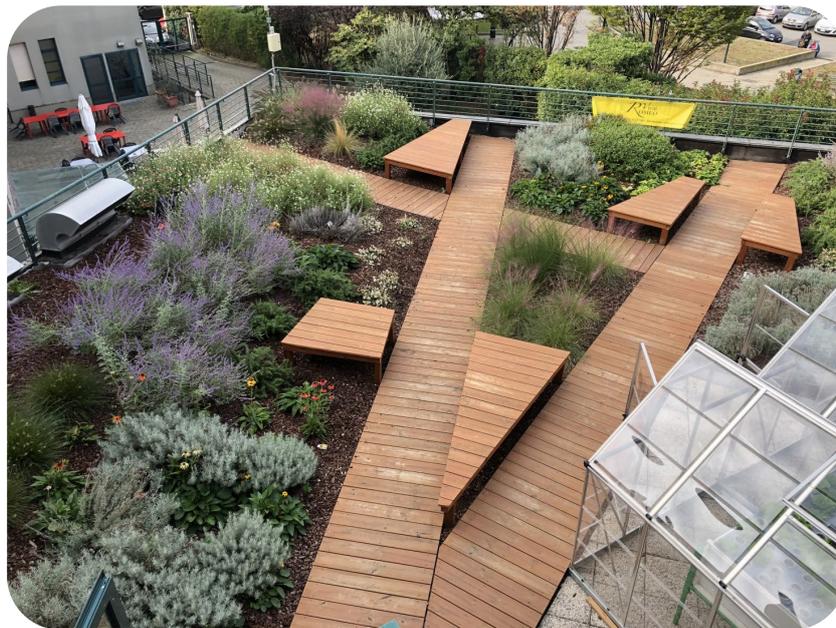
Tecnologia adottata, sistema a vaschette di raccolta, feltro di protezione, lapillo vulcanico e miscela di terra mediterranea alleggerita con pomice

Effetti attesi

Effetti ambientali: diminuzione della temperatura in terrazza e sull'edificio che vi si affaccia, raccolta e riuso delle acque piovane, biodiversità del nuovo giardino

Effetti economici: aumentare isolamento termico e acustico della sala polivalente sottostante

Effetti sociali: l'inospitale terrazza grigia diventa un luogo di incontro per gli ospiti dell'hotel, incontrare le persone, conoscere i benefici di un tetto verde, conoscere le piante e capire il circolo virtuoso dell'acqua



Tetto verde, ludoteca il Paguro

Anno di realizzazione, 2015

Città, Torino

Indirizzo o indicativamente il quartiere, via Oropa 48

Estensione dell'area inverdita, 300 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, opere di urbanizzazione a scomuto – attuazione PRG

Finalità del progetto di inverdimento, realizzare il primo edificio sostenibile della città di Torino, a basso consumo di energia, con struttura in legno xlam

Tecnologia adottata, sistema a stratigrafia di raccolta, feltro di protezione, lapillo vulcanico e miscela di terra, copertura a *Sedum*

Effetti attesi

Effetti ambientali: diminuzione della temperatura in terrazza e sugli edifici che vi si affacciano, maggiore biodiversità del nuovo giardino

Effetti economici: aumentare isolamento termico e acustico della ludoteca sottostante

Effetti sociali: un edificio destinato a ludoteca, e costruito come una conchiglia che accoglie i piccoli ospiti come in natura accoglie il paguro, deve dimostrare in ogni suo aspetto la sostenibilità, la didattica ambientale, le soluzioni sostenibili nella costruzione e gestione

Sitografia

<http://www.comune.torino.it/circ7/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4049>

<https://www.openhousetorino.it/edifici/ludoteca-il-paguro/>

<https://www.archilovers.com/projects/223841/ludoteca-ecosostenibile-il-paguro.html>

https://legacyshop.wki.it/documenti/00141324_est.pdf



Tetto verde, Parco d'arte vivente

Anno di realizzazione, 2021

Città, TORINO

Indirizzo o indicativamente il quartiere, via Giordano Bruno 31

Estensione dell'area inverdita, 500 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, opere di urbanizzazione a scomputo – attuazione PRG

Finalità del progetto di inverdimento, un nuovo museo d'arte vivente che fa della sostenibilità il suo obiettivo fondante

Tecnologia adottata, sistema a stratigrafia di raccolta, feltro di protezione, lapillo vulcanico e miscela di terra, copertura mista, arbusti e tappezzanti

Effetti attesi

Effetti ambientali: diminuzione della temperatura in terrazza e sugli edifici che vi si affacciano, biodiversità del nuovo giardino

Effetti economici: aumentare isolamento termico e acustico del museo sottostante

Effetti sociali: un edificio a destinazione pubblica ed un museo dedicato alle opere d'arte sostenibili, laboratori e didattica verso grandi e piccoli visitatori

Sitografia

<http://parcoartevivente.it/>



Tetto verde, Casa nel Parco

Anno di realizzazione, 2008

Città, Torino

Indirizzo o indicativamente il quartiere, via Panetti 1

Estensione dell'area inverdita, 800 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, PRU – Programma Recupero Urbano Torino via Artom, primo tetto verde pubblico a Torino

Finalità del progetto di inverdimento, costruire una casa di quartiere all'interno del parco rispettandone l'ambiente e aumentandone i servizi ai cittadini

Tecnologia adottata sistema, a vaschette di raccolta, feltro di protezione, lapillo vulcanico e miscela di terra alleggerita – prato

Effetti attesi

Effetti ambientali: diminuzione della temperatura in terrazza e sull'area circostante, integrazione nel paesaggio e nel parco

Effetti economici: aumentare isolamento termico e acustico della casa del quartiere

Effetti sociali: la casa di quartiere come casa dei cittadini, mostra le soluzioni più naturali e sostenibili, un primo esempio a Torino per raccontare e toccare con mano i benefici di un tetto verde

Sitografia

<https://www.casanelparco.it/>

<https://www.casanelparco.it/info/il-progetto/>

<https://www.openhousetorino.it/edifici/casa-nel-parco/>



Parete verde *indoor*, scuola Cairoli

Anno di realizzazione, 2020

Città, Torino

Indirizzo, Via Torrazza Piemonte, 10

Estensione dell'area inverdita, 20 m²

Contesto nel quale si è sviluppato il progetto di inverdimento, progetto Europe Progireg – *Nature For Renewal*

Finalità del progetto di inverdimento, trasformare un corridoio interno di smistamento in un'oasi verde

Tecnologia adottata, sistema a vaschette sovrapposte su struttura in alluminio, sistema di ferti-irrigazione a goccia con programmazione automatica

Effetti attesi

Effetti ambientali: miglioramento della qualità dell'aria interna

Economici:

Effetti sociali: il corridoio diventa il luogo di incontro tra i bimbi, per conoscere le piante e capirne il valore, per fare laboratori interessanti che ne raccontino i benefici, per crescere consapevoli e con buoni esempi da seguire

Sitografia

<https://progireg.eu/>

<https://progireg.eu/nature-based-solutions/green-walls-and-roofs/#c268>

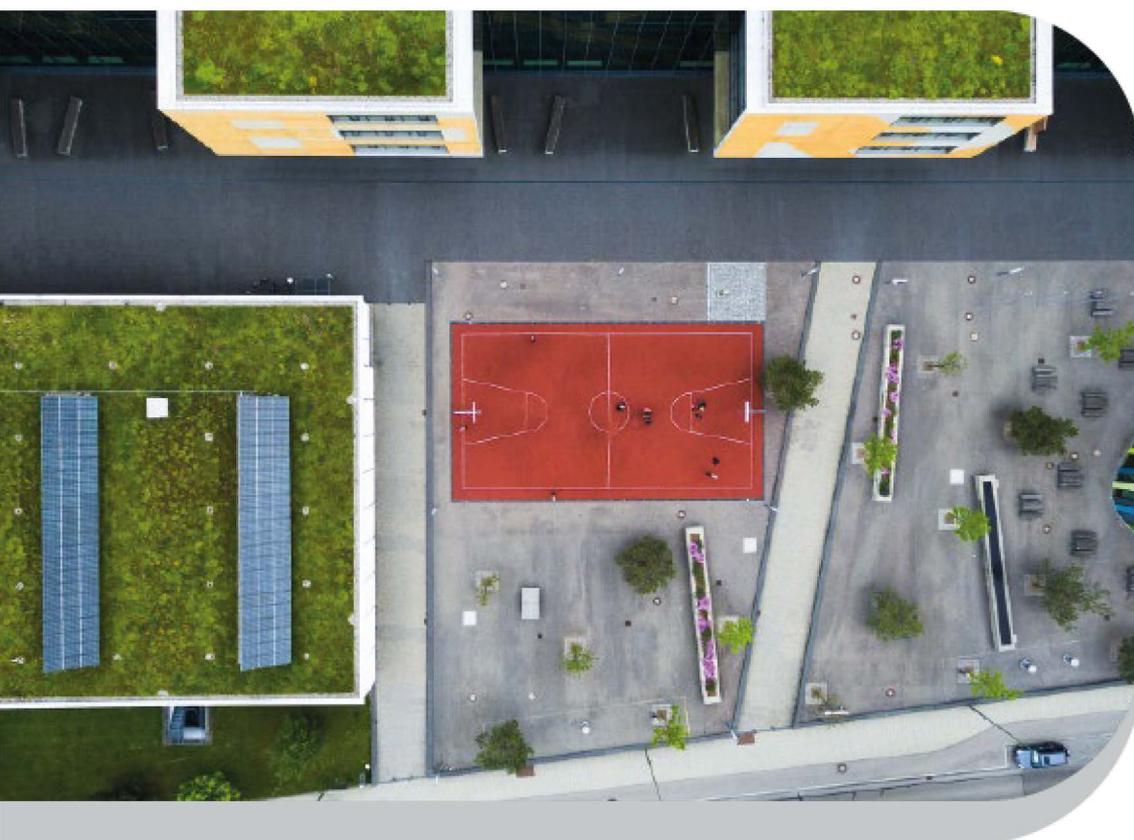
<http://www.comune.torino.it/cittagora/altre-notizie/la-scuola-cairoli-diventa-verde.html>

<https://cairoli.edu.it/una-scuola-green/>





6. QUADRO CONOSCITIVO DELLO STATO DELL'ARTE DI TETTI E PARETI VERDI E IL QUESTIONARIO ENEA



Capitolo in breve

Il Capitolo 6 descrive la metodologia che il gruppo di lavoro ENEA, che ha curato la redazione delle presenti Linee Guida, ha seguito per lo sviluppo dei contenuti e la ricerca di informazioni utili a fornire un quadro attuale dello stato di applicazione e degli strumenti di promozione di Tetti e Pareti Verdi.

I riferimenti iniziali sui quali si è concentrata la ricerca sono stati i Sistemi Informativi Territoriali comunali, la Tavola 6.1 Verde Urbano pubblicata dall'ISTAT⁵³ e i progetti finanziati dai vari bandi europei, nazionali e locali.

A partire dalle analisi di queste prime fonti informative, attraverso un processo descritto nel Paragrafo 6.1, si sono approfonditi i dati e le descrizioni che trovate in questo documento e si è formulato un questionario di raccolta dati, i cui contenuti sono riportati nel Paragrafo 6.2, disponibile sul sito del Dipartimento di Efficienza Energetica dell'ENEA (<https://www.energiaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/tetti-verdi-e-pareti-verdi-partecipa-alla-mappatura-enea-compilando-il-questionario-online.html>). I risultati dell'analisi delle risposte verranno pubblicati in un apposito documento.

6.1 Metodologia

Ottenere un quadro conoscitivo completo sullo stato dell'arte delle infrastrutture verdi negli edifici a livello nazionale è un obiettivo difficilmente raggiungibile allo stato attuale, in quanto non si dispone a livello nazionale di un sistema organizzato e centralizzato per la raccolta di informazioni specifico sulle installazioni di tetti e pareti verdi.

A partire da questo dato di fatto la ricerca si è spostata sul livello locale, esplorando diverse forme istituzionali e sistematiche di raccolta dati.

Lo strumento individuato che avesse le caratteristiche di sistematicità di registrazione dati su supporto digitale e da considerarsi parte integrante del sistema di gestione del territorio dalle amministrazioni locali è il SIT, Sistema Informativo Territoriale. Il SIT è uno strumento di organizzazione dei dati territoriali, che consente di associare alle basi geografiche di riferimento (cartografie,

ortofoto aeree, immagini satellitari, ecc.) dati di varia natura (socio-economici, statistici, catastali, ambientali, reti tecnologiche, ecc.). D'altra parte, non è stato possibile esplorare i SIT di tutti i comuni italiani per verificare la presenza di dati sui tetti e pareti verdi. Al Paragrafo 5.1 è illustrato l'esempio virtuoso del Comune di Bolzano dove nel SIT sono riportate anche questo tipo di informazioni.

Il panorama incontrato durante l'analisi è stato ampio e variegato, non porta però a risultati particolarmente soddisfacenti dal punto di vista della rappresentatività a livello nazionale. Un'altra strada percorsa per avviare la ricerca su dati di infrastrutture verdi per gli edifici è stato il ricorso alla Tavola 6.1 Verde Urbano di ISTAT⁵⁴, dove annualmente sono collezionate iniziative locali per lo sviluppo degli spazi verdi urbani promosse dalle amministrazioni dei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana. Le misure a cui fa riferimento il

⁵³ Istat Tavola 6.1 VERDE URBANO - Iniziative locali per lo sviluppo degli spazi verdi urbani promosse dalle amministrazioni dei comuni capoluogo di provincia/città metropolitana (misure

applicate in attuazione della Legge 10/2013, art.6 comma 1) - <https://www.istat.it/it/archivio/281184>

rapporto, di cadenza annuale, sono relative a quelle applicate in attuazione della Legge 10/2013, art.6 comma 1. Analizzando i risultati del rapporto la ricerca è stata approfondita sugli enti locali apparentemente più attenti all'applicazione del verde urbano sul proprio territorio.

Altre fonti di informazioni per individuare i Comuni su cui approfondire la ricerca sono stati i progetti finanziati da fondi Europei o locali e i siti web dei produttori della tecnologia verde che pubblicano il loro portfolio di interventi. Per questi sono stati individuati i lavori effettuati su edifici della Pubblica Amministrazione locale, come le scuole.

Una volta individuati gli Enti Locali più attivi sull'argomento, è seguita una prima fase di approfondimento cercando informazioni sui

siti web comunali, cercando anche di individuare dove erano presenti i requisiti di infrastrutture verdi per gli edifici in Regolamenti edilizi o del verde urbano. La seconda fase invece si è concentrata sull'individuazione del corretto contatto competente a cui, terza fase, proporre un incontro on line conoscitivo. Attraverso le riunioni è stato dunque possibile entrare nel dettaglio dell'attività di promozione di tetti e pareti verdi in corso a livello di ente locale e instaurare un rapporto collaborativo anche allo scopo dell'invio del questionario (Paragrafo 6.2).

Di seguito uno schema delle fasi descritte di approfondimento conoscitivo di Enti Locali virtuosi in termini di promozione delle infrastrutture verdi per gli edifici (figura 6.1).



Figura 6.1. Schema delle fasi di approfondimento conoscitivo di Enti Locali virtuosi in termini di promozione delle infrastrutture verdi per gli edifici

La ricerca è dunque proseguita individuando i progetti di realizzazione di tetti e pareti verdi da parte dei più noti produttori di verde pensile. Dai siti informativi si rileva una grande attività su questo tipo di lavorazione, ma non è facile individuare con precisione se si tratta di un verde esterno "tradizionale" o di tetti o pareti inverdite e la tipologia di tecnologia applicata.

Per avere maggiori informazioni sulle attività da parte di "privati" (imprese, studi professionali, organizzazioni no profit, etc.)

sono state individuate alcune delle maggiori associazioni di categoria di produttori di infrastrutture verdi, installatori e costruttori di edifici, ai diversi livelli territoriali (comunale, provinciale, regionale, nazionale ed europeo) con la speranza di facilitare la diffusione del questionario al numero più ampio possibile di soggetti della filiera. Si riportano in tabella 1 alcune delle Associazioni di Categoria individuate con relativi siti o mail di riferimento suddivisi per territorialità; rispettivamente 1 europea, 10 nazionali, 2 regionali ed 1 locale.

Tabella 6.1 - Alcune Associazioni di Categoria individuate per l'approfondimento sullo Stato dell'Arte di Tetti e Pareti Verdi, suddivise per territorialità

Pos.	Acronimo	Soggetto	Territorialità	Indirizzo e-mail (generale)
1	European Federation Green Roofs and Walls	European Federation Green Roofs and Walls - Delegazione italiana	Europeo	https://efb-greenroof.eu
2	AIGP	Associazione Italiana Giardinieri Professionisti	Nazionale	info@aigp.it; https://www.aigp.it/
3	AIPIN	Associazione Italiana per l'ingegneria Naturalistica	Nazionale	aipin@aipin.it; https://www.aipin.it
4	AIPV	Associazione Italiana Professionisti del Verde	Nazionale	info@aipv.org; https://www.aipv.org/
5	AIVEP	Associazione Italiana Verde Pensile	Nazionale	segreteria@aivep.it
6	ANAB	Associazione Nazionale Architettura Bioecologica	Nazionale	comunicazione@anab.it
7	ANCE	Associazione Nazionale Costruttori Edili	Nazionale	info@ance.it
8	ANVE	Associazione Nazionale Vivaisti Esportatori	Nazionale	segreteria@anve.it; http://www.anve.it
9	Associazione Pubblici Giardini	Associazione Pubblici Giardini	Nazionale	http://www.pubblicigiardini.it/

Pos.	Acronimo	Soggetto	Territorialità	Indirizzo e-mail (generale)
10	Associazione Nazionale di tutela del marchio Vivaifiori	Associazione Vivaifiori	Nazionale	http://www.vivaifiori.com Segreteria@vivaifiori.it
11	Assoverde	Associazione italiana costruttori del verde	Nazionale	posta@assoverde.it
12	ACER	Associazione Costruttori Edili di Roma e Provincia	Regionale	acer@acerweb.it
13	ANCE Lombardia	Associazione Regionale dei Costruttori Edili lombardi	Regionale	centredil@ance.lombardia.it
14	ASSIMPREDIL ANCE	Associazione delle imprese edili e complementari delle Province di Milano, Lodi, Monza e Brianza	Regionale	assimpredil@assimpredilance.it
15	Ortiali	Associazione di promozione sociale	Locale	https://ortiali.com/chi-siamo/
16	Associazione nazionale comuni virtuosi	Rete di Enti locali		https://comunivirtuosi.org/

Nella tabella 6.2 sono invece riportati gli Enti locali individuati nella ricognizione sulla base delle prerogative ricercate. Per questi, è indicato l'ufficio competente in materia di tetti e pareti verdi contattato per avere maggiori dettagli sulle azioni intraprese dai comuni contattati. Si specifica che per alcuni Enti gli uffici identificati da coinvolgere possono essere plurimi. È evidente come il tema sia

trattato da uffici di diverse competenze e come non ci sia univocità tra i comuni nell'individuare il servizio che si occupa delle infrastrutture verdi. Il quadro rappresentato in tabella 6.2 fa emergere una prevalenza dei servizi urbanistici o di verde urbano, in alcuni casi l'ufficio competente del SIT ed in altri ancora chi si occupa di pianificazione e governo del territorio.

Tabella 6.2 - Alcuni tra gli Enti locali individuati per l'approfondimento sullo Stato dell'Arte di Tetti e Pareti Verdi con indicazione di alcuni uffici competenti

Elenco degli Enti Locali censiti	
Soggetto	Area/ufficio competente
Comune di Bolzano	Servizio sistema informativo territoriale
	Ufficio Gestione del Territorio
Comune di Brescia	Area Pianificazione Urbana Edilizia e Mobilità Settore trasformazione urbana
Servizio Ambiente Verde e Igiene Urbana	
Comune di Catania	Ufficio comunale
	Urbanistica e Gestione del Territorio Direttore
	Servizio Tutela e Gestione del Verde Pubblico - Giardino Bellini e Parchi
Comune di Catanzaro	Ambiente e Verde pubblico
Comune di Cosenza	Verde Pubblico
	Urbanistica ed Edilizia Privata
Comune di Firenze	Direzione Urbanistica
Comune di Genova	Verde Pubblico
	Urbanistica - Pianificazione urbanistica, varianti urbanistiche e gestione documentazione PUC e Geoportale
Comune di Messina	Servizio: Verde Pubblico e decoro urbano
Comune di Milano	Direzione verde e Ambiente
	Pianificazione Urbanistica
Comune di Modena	Settore Ambiente e Settore del Territorio
Comune di Monterotondo	Opere pubbliche, Difesa del suolo, Verde pubblico
Comune di Padova	Ufficio verde Pubblico
Comune di Palermo	Ufficio verde Pubblico
Comune di Pescara	Settore sostenibilità ambientale e transizione ecologica
Comune di Pordenone	Ufficio edilizia
Comune di Rimini	Ufficio operativo qualità urbana e verde pubblico
Comune di Roma	Assessorato alla Sostenibilità Ambientale
	Piano di Azione per l'Energia Sostenibile ed il Clima
Comune di Torino	Dipartimento Grandi Opere, Infrastrutture e Mobilità
	Sistema Informativo Edilizio - Sistema EdificaTO - Progetto EdiliziAgile
Comune di Trieste	Servizio Ambiente, Verde e Igiene Urbana
Comune di Varese	Ufficio verde pubblico

6.2 Il questionario per la mappatura di tetti e pareti verdi

Al fine di raccogliere dati sulle realizzazioni passate e future di tetti e pareti verdi su tutto il territorio italiano è stato realizzato un questionario rivolto alle pubbliche amministrazioni, agli enti locali sovracomunali (come le Città metropolitane, Associazione Nazionale Comuni Italiani, Agenzie regionali, ...) e alle associazioni private di imprese, raggiungibili attraverso le Associazioni di Categoria, che possano avere applicato la tecnologia di inverdimento di parti dell'involucro degli edifici.

Il questionario (tabella 6.3) prevede una parte iniziale di 14 domande da sottoporre agli *stakeholder* sia privati che pubblici; pertanto,

mostra dei contenuti comuni ad entrambi i target. È suddiviso in 3 sessioni. Nella prima si richiede la mappatura degli interventi realizzati, nella seconda si richiede la segnalazione di interventi che si prevede vengano realizzati. La terza sessione "Prospettive di collaborazione" ha lo scopo di sondare la disponibilità del compilatore a collaborare con ENEA per la realizzazione di un database nazionale su tetti e pareti verdi per edifici. Inoltre, alcuni dei Casi Studio riportati nel Capitolo 5 derivano dal contributo di quegli Enti Locali che, tramite il questionario, hanno espresso la volontà a proporre delle applicazioni di inverdimento da loro realizzate sul territorio.

Tabella 6.3 - Questionario per l'approfondimento sullo Stato dell'Arte di Tetti e Pareti Verdi, disponibile al link https://docs.google.com/forms/d/1pDP-HdDPVus26d_Av-mFU1ZCYZ672omCAtcvbfzla7Q/edit
<https://forms.gle/7cpigWofqD1TEYzu5>

DOMANDE	ULTERIORI SPECIFICHE
1. Nome e cognome del compilatore	
2. Affiliazione del compilatore	Ente/Azienda per cui lavora
3. Categoria Merceologica di appartenenza	Campo di attività prevalente dell'Ente/Azienda
Sessione situazione attuale	
4. Su quanti edifici avete realizzato un tetto verde?	N° di interventi
5. Quanto è esteso il tetto verde che realizzate?	Classificazione dell'estensione del tetto verde
6. Su quanti edifici avete realizzato una parete verde?	N° di interventi
7. Quanto è estesa mediamente la parete verde che realizzate?	Classificazione dell'estensione della parete verde
8. Per la realizzazione dei tetti verdi e/o pareti verdi, che tipo di fondi avete utilizzato?	Tipologia di finanziamenti impiegati per la realizzazione dell'opera (se presenti)

9.	Disponete di un data base contenenti le caratteristiche dei tetti verdi e/o delle pareti verdi realizzati su edifici?	Impiego eventuale di informazioni digitalizzate in materia di tetti e pareti verdi
10.	Quali informazioni avete raccolto nel vostro data base dei tetti verdi e/o delle pareti verdi?	Tipologia di informazioni digitalizzate disponibili
11.	Avete effettuato uno studio di potenzialità di tetti inverdibili sugli edifici?	Conoscenza della disponibilità di potenziali superfici utilizzabili per tetti verdi
12.	Avete effettuato uno studio di potenzialità di pareti inverdibili sugli edifici?	Conoscenza della disponibilità di potenziali superfici utilizzabili per pareti verdi
13.	Quali strumenti disponete (o potreste disporre) per effettuare una mappatura dei tetti verdi o delle pareti verdi?	Possibilità di impiegare mezzi per la mappatura delle potenzialità di superfici utili (tetti e pareti)
14.	Seleziona la categoria di appartenenza per essere indirizzato alle domande successive	Le domande successive saranno specifiche a seconda della risposta (soggetto PA o privato)

Nel caso in cui l'utente del questionario abbia selezionato una risposta tra le opzioni **Ente Locale, Ente Regionale, Ente Nazionale**, il

questionario prosegue con le ulteriori domande (15-39).

Sessione situazione attuale

15.	Quanti tetti verdi avete realizzato su edifici pubblici?	N° di interventi
16.	Quante pareti verdi avete realizzato su edifici pubblici?	N° di interventi
17.	Tra gli interventi di inverdimento dei tetti degli edifici quanti hanno riguardato le scuole?	Tipologia di edificio pubblico sul quale è stato effettuato l'intervento sui tetti verdi
18.	Tra gli interventi di inverdimento dei tetti degli edifici quanti hanno riguardato gli edifici residenziali pubblici?	Tipologia di edificio pubblico sul quale è stato effettuato l'intervento sui tetti verdi
19.	Tra gli interventi di inverdimento delle pareti degli edifici quanti hanno riguardato le scuole?	Tipologia di edificio pubblico sul quale è stato effettuato l'intervento sulle pareti verdi
20.	Tra gli interventi di inverdimento delle pareti degli edifici quanti hanno riguardato gli edifici residenziali pubblici?	Tipologia di edificio pubblico sul quale è stato effettuato l'intervento sulle pareti verdi
21.	Avete introdotto delle specifiche tecniche per la realizzazione di tetti verdi su edifici all'interno di vostri regolamenti?	Presenza di eventuali specifiche tecniche introdotte nei regolamenti relative a tetti verdi

22.	Avete introdotto delle specifiche tecniche per la realizzazione di pareti verdi su edifici all'interno dei vostri regolamenti?	Presenza di eventuali specifiche tecniche introdotte nei regolamenti relative a pareti verdi
23.	Disponete di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) per la mappatura degli edifici ricadenti nel territorio di vostra competenza?	Utilizzo eventuale di Sistemi Informativi Territoriali
24.	Disponete di un data base dei progetti di tetti verdi e/o delle pareti verdi realizzati su edifici privati?	Presenza di strumenti dell'Amministrazione per la gestione dei progetti relativi a tetti e pareti verdi
25.	Gli interventi, di iniziativa privata, di inverdimento dei tetti/pareti su edifici privati, ricadenti sul vostro territorio, a quale tipologia appartengono?	Classificazione delle tipologie di intervento di iniziativa privata*
26.	Quanti interventi, di iniziativa privata, di inverdimento dei tetti su <u>edifici privati</u> ricadenti sul vostro territorio sono stati eseguiti?	N° di interventi
27.	Quanti interventi, di iniziativa privata, di inverdimento delle pareti di <u>edifici privati</u> ricadenti sul vostro territorio sono stati eseguiti?	N° di interventi
28.	Il Comune aderisce al Patto dei Sindaci?	Modalità di adesione al PAESC
29.	Il Comune ha una persona di riferimento (Energy Manager) che si occupa di monitorare i consumi energetici e l'efficienza energetica del Comune?	Presenza o meno della figura dell'Energy Manager all'interno dell'Amministrazione
30.	Avete intenzione di introdurre all'interno del PAESC delle iniziative per la realizzazione di tetti verdi/pareti verdi su edifici ai fini del risparmio energetico, riduzione della CO ₂ e realizzazione dei corridoi verdi?	Eventuale presenza nel PAESC di misure relative a tetti e pareti verdi, riduzione CO ₂ , corridoi verdi
Sessione attività future		
31.	Sono previsti interventi di inverdimento dei tetti degli edifici pubblici nei prossimi 3 anni?	
32.	Quanti interventi di inverdimento dei tetti degli edifici pubblici sono previsti?	Previsione del N° di interventi relativi ai tetti verdi negli edifici pubblici
33.	Tra gli interventi di inverdimento dei tetti degli edifici quanti riguarderanno le scuole?	Previsione del N° di interventi relativi ai tetti verdi nelle scuole pubbliche
34.	Tra gli interventi di inverdimento dei tetti degli edifici quanti riguarderanno edifici residenziali pubblici?	Previsione del N° di interventi relativi ai tetti verdi negli edifici residenziali pubblici
35.	Sono previsti interventi di inverdimento delle pareti degli edifici pubblici nei prossimi 3 anni?	
36.	Quanti interventi di inverdimento di pareti degli edifici pubblici sono previsti?	Previsione del N° di interventi relativi alle pareti verdi negli edifici pubblici
37.	Tra gli interventi di inverdimento delle pareti degli edifici quanti riguarderanno le scuole?	Previsione del N° di interventi relativi alle pareti verdi nelle scuole pubbliche

38.	Tra gli interventi di inverdimento delle pareti degli edifici quanti riguarderanno edifici residenziali pubblici?	Previsione del N° di interventi relativi alle pareti verdi negli edifici residenziali pubblici
39.	Quanti interventi, di iniziativa privata, di inverdimento dei tetti e delle pareti degli edifici ricadenti sul vostro territorio sono previsti?	Previsione del N° di interventi su inverdimento di tetti e pareti verdi di edifici privati previsti sul territorio

Nel caso in cui l'utente del questionario abbia selezionato la risposta **Associazione di categorie, organizzazioni no profit, azienda**

o **studi professionali**, il questionario prosegue oltre la parte generale, con le domande 40-50:

Sessione situazione attuale		
40.	Gli interventi di inverdimento dei tetti quale tipologia di edificio ha riguardato?	
41.	Gli interventi di inverdimento delle pareti quale tipologia di edificio ha riguardato?	
42.	Indicare in quali Regioni sono stati realizzati i tetti verdi e quanti ne sono stati realizzati	Prevede anche l'inserimento del n° di interventi eseguiti per regione
43.	Indicare in quali Regioni sono stati realizzati le pareti verdi e quante ne sono state realizzate	Prevede anche l'inserimento del n° di interventi eseguiti per regione
44.	L'edificio su cui avete realizzato una parete verde, di quanti piani è costituito mediamente?	
Sessione attività future		
45.	Quanti interventi di inverdimento dei tetti degli edifici sono in previsione di realizzazione nei prossimi 3 anni?	Previsione del n° di interventi da realizzare
46.	Su quale tipologia di edifici sono previsti interventi di realizzazione di tetti verdi?	Tipologia di edifici sui quali sarà realizzato un intervento
47.	Tra gli interventi di inverdimento dei tetti degli edifici, quanti riguarderanno condomini?	Previsione del n° di interventi di inverdimento da realizzare sui tetti di edifici condominiali
48.	Quanti interventi di inverdimento delle pareti degli edifici avete in previsione di realizzare nei prossimi 3 anni?	Previsione del n° di interventi da realizzare
49.	Su quale tipologia di edifici sono previsti interventi di realizzazione di pareti verdi?	Tipologia di edifici sui quali sarà realizzato un intervento
50.	Tra gli interventi di inverdimento delle pareti degli edifici, quanti riguarderanno condomini?	Previsione del n° di interventi di inverdimento da realizzare sulle pareti di edifici condominiali
Sessione prospettive di collaborazione		
51.	Sareste disponibili a collaborare con ENEA per la realizzazione di un data base nazionale su tetti e pareti verdi sugli edifici?	Disponibilità dell'Organizzazione a collaborare per la realizzazione di un

		data base in materia di tetti e pareti verdi
52.	Sareste disponibili a collaborare con ENEA per la redazione di Linee Guida nazionali per la progettazione di tetti e pareti verdi sugli edifici?	Disponibilità dell'Organizzazione a collaborare per la stesura di Linee Guida in materia di tetti e pareti verdi
53.	Avete realizzato un tetto/i verde/i o una parete/i verde/i su un edificio/i che volete promuovere nelle Linee Guida che realizzerà l'ENEA come esempio di buone pratiche?	Intervento su tetti/pareti verdi che si vuole inserire come esempio di <i>best practice</i> all'interno delle Linee guida che redigerà ENEA
54.	Come classifichereste l'intervento (tetto verde e/o parete verde) che volete promuovere, esempio di	Principale compito che tetti/pareti verdi assolvono secondo il giudizio del compilatore
Note / Osservazioni / Integrazioni		

Il questionario destinato agli *stakeholder* identificati è stato pubblicato sul sito istituzionale/dipartimentale. Rispetto alle prime risposte ricevute, è stato rilevato che la maggior parte degli Enti (circa il 60%) ha già predisposto delle specifiche tecniche per la realizzazione di tetti verdi e pareti verdi su edifici all'interno di uno specifico

regolamento. Si evidenzia, per completezza dell'informazione, che l'aver regolamentato queste installazioni non equivale all'effettiva realizzazione di interventi d'inverdimento da parte del Comune. Solo a titolo di esempio, in tabella 6.4 sono riportate, in forma parziale, le informazioni fornite da alcuni Enti.

Tabella 6.4 - Informazioni a titolo esemplificativo fornite attraverso il questionario per l'approfondimento sullo Stato dell'Arte di Tetti e Pareti Verdi da alcuni tra gli Enti locali rispondenti

Comune di Bolzano

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** 25 tetti verdi di cui 12 su scuole e 7 su edifici residenziali pubblici con fondi comunali
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento edilizio con specifiche tecniche per la realizzazione di tetti verdi.
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** fase di monitoraggio del PAESC
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:**
 - 500 interventi di inverdimento di tetti.
 - 10 pareti verdi
- **Interventi previsti:** su edifici pubblici, 6 interventi di inverdimento dei tetti e 1 intervento di inverdimento parete

Comune di Calderara di Reno (Bo)

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** no
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** no
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** fase di presentazione del PAESC congiunto
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:** 1 parete verde
- **Interventi previsti:** 5 interventi di inverdimento pareti su edifici privati

Comune di Milano

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** 5 tetti verdi e 4 pareti verdi su edifici residenziali pubblici con fondi misti
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento edilizio con specifiche tecniche per la realizzazione di pareti verdi
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** fase di presentazione del PAESC
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:**
 - 18 interventi di inverdimento di tetti
 - 5 pareti verdi
- **Interventi previsti:** 1 intervento inverdimento tetto su edificio pubblico (istituto scolastico)

Comune di Pordenone

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** no
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento edilizio con specifiche tecniche per la realizzazione di pareti e tetti verdi
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** PAESC congiunto
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:** ND
- **Interventi previsti:** 1 intervento di inverdimento tetto su edificio residenziale pubblico

Comune di Roma

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** no
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento edilizio con specifiche tecniche per la realizzazione di tetti e pareti verdi in fase di stesura
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** fase monitoraggio del PAESC
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:** ND
- **Interventi previsti:** 1 intervento di inverdimento del tetto su edificio residenziale pubblico

Comune di Rimini

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** 2 tetti verdi e 1 parete verde su edifici pubblici con fondi comunali
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento del verde pubblico con specifiche tecniche per la realizzazione di tetti e pareti verdi
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** fase monitoraggio del PAESC
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:** ND
- **Interventi previsti:** inverdimento di pareti e tetti su edifici pubblici

Comune di Torino

- **Tetti/pareti verdi realizzati:** 8 tetti verdi e 2 pareti verdi su edifici residenziali pubblici con fondi misti pubblici-privati
- **Specifiche tecniche per la realizzazione di tetti/pareti verdi:** Regolamento verde pubblico con specifiche tecniche per la realizzazione di tetti verdi e altro Regolamento per le pareti
- **Comune aderente al Patto dei Sindaci:** Si
- **Tetti/pareti verdi realizzati da privati su edifici privati:**
 - 12 interventi di inverdimento di tetti
 - 6 pareti verdi
- **Interventi previsti:** 2 interventi inverdimento tetti su edifici pubblici di cui 1 residenziale

Il Rapporto è disponibile in formato elettronico sul sito internet www.energiaenergetica.enea.it. Si autorizza la riproduzione a fini non commerciali con la citazione della fonte.

L'Agenda Nazionale per l'Efficienza Energetica è parte integrante dell'ENEA. Istituita con il Decreto Legislativo 30 maggio 2008 n. 115 l'Agenda offre supporto tecnico scientifico alle aziende, supporta la pubblica amministrazione nella predisposizione, attuazione e controllo delle politiche energetiche nazionali, e promuove campagne di formazione e informazione per la diffusione della cultura dell'efficienza energetica.

www.energiaenergetica.enea.it

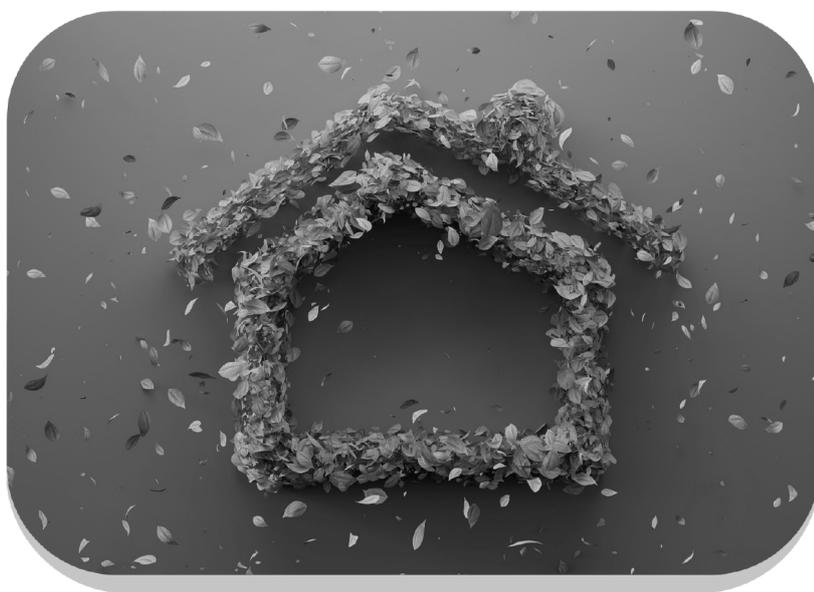


www.enea.it

ISBN: 978-88-8286-462-0



Programma Nazionale di Informazione e Formazione sull'Efficienza Energetica,
in attuazione delle disposizioni in materia di programmazione nazionale
contenute nell' art 13 del d.lgs 4 luglio 2014, n. 102, come modificato dal d.lgs 14 luglio 2020 n. 73



www.energiaenergetica.enea.it

