



MOSS-RAIL

“Effortless” is a myth
— Roger Federer



UniGe Università degli Studi di Genova
DaD Dipartimento di Architettura e Design
Corso di laurea in Architettura (LM 4)

MOSS-RAIL

Verde verticale come dispositivo ambientale: analisi e applicazione del progetto MosSkin

Relatrice:
Prof. ssa Arch. Maria Canepa

Candidata:
Chiara Marchese

Correlatori:
Prof. ssa Arch. Katia Perini
Prof. Arch. Andrea Giachetta

Anno Accademico 2025/2026

INDICE



1. ABSTRACT	6
2. INTRODUZIONE	10
2.1. Obiettivi della ricerca	
2.2. Metodologia	
3. FUNZIONE DEL VERDE E COMFORT URBANO	19
3.1. Climatologia urbana e il fenomeno delle isole di calore	
3.2. Qualità dell'aria nelle città italiane	
3.3. Efficienza energetica e ruolo del verde urbano	
3.4. Casi studio	
4. INFRASTRUTTURE VERDI: IL VERDE VERTICALE	40
4.1 Caratteristiche formali e funzionali delle diverse tipologie	
4.2 Benefici climatici e ambientali	
4.3. Indicazioni progettuali?	
4.4. Casi studio	
5. PRESENTAZIONE PROGETTO MosSkin	64
5.1. Presentazione del progetto	
5.2. Studi condotti	
5.3. Risultati sondaggi	
5.4. Risultati dei monitoraggi	
6. Il caso studio del DAD	88
6.1. Introduzione e scopo dell'installazione	
6.2. Installazione del pannello	
6.3 Monitoraggi	
6.4. Risultati	
7 APPLICAZIONE PROGETTUALE DI MosSkin	100
7.1. Ipotesi progettuale e individuazione degli edifici di intervento	
7.2. MOSS-RAIL	
8. Conclusioni	133
9. Bibliografia e sitografia	138

ABSTRACT



1

ITALIANO



La crescente urbanizzazione e il conseguente deterioramento delle condizioni microclimatiche nelle città contemporanee rendono urgente lo sviluppo di soluzioni architettoniche capaci di integrare la componente vegetale nell'involucro edilizio. La presente tesi indaga il ruolo del verde verticale come strumento di rigenerazione urbana, con particolare attenzione al sistema MosSkin, tecnologia innovativa basata sull'utilizzo del muschio come elemento di rivestimento per facciate.

Il lavoro si articola in tre parti principali.

La prima analizza il contesto urbano di riferimento, approfondendo i fenomeni dell'isola di calore, la qualità dell'aria nelle città italiane e il contributo del verde all'efficienza energetica degli edifici.

La seconda esamina le infrastrutture verdi verticali, classificandone le tipologie

costruttive, le prestazioni ambientali e i criteri progettuali, attraverso casi studio significativi come il Musée du Quai Branly a Parigi e il Caixa Forum di Madrid.

La terza parte presenta il progetto MosSkin, sviluppato presso il Dipartimento di Architettura e Design dell'Università degli Studi di Genova, illustrandone le pubblicazioni scientifiche, i risultati sperimentali, tra cui una riduzione della temperatura superficiale fino a 13,9°C e la capacità di cattura di polveri sottili fino a 45.600 particelle per mm², e la validazione su scala reale attraverso l'installazione di pannelli sperimentali in diversi siti urbani genovesi.

Il sondaggio, somministrato a 130 rispondenti liguri, costituisce un elemento metodologico fondamentale della ricerca: oltre a documentare un'ampia apertura della popolazione verso questa tipologia di intervento, con il 90,8% del campione favorevole o disponibile all'installazione, esso ha permesso di orientare direttamente la proposta progettuale, rilevando una preferenza netta per gli edifici pubblici come contesto ideale di applicazione.

È proprio da questo dato che prende avvio MOSS-RAIL: il sistema non viene calato dall'alto su un edificio qualsiasi, ma risponde a una domanda sociale reale e localizzata, radicata nel territorio ligure.

ENGLISH

The increasing urbanisation and the consequent deterioration of microclimatic conditions in contemporary cities make it urgent to develop architectural solutions capable of integrating vegetation into the building envelope.

This thesis investigates the role of vertical greenery as a tool for urban regeneration, with a particular focus on the MosSkin system, an innovative technology based on the use of moss as a façade cladding element.

The work is structured in three main parts.

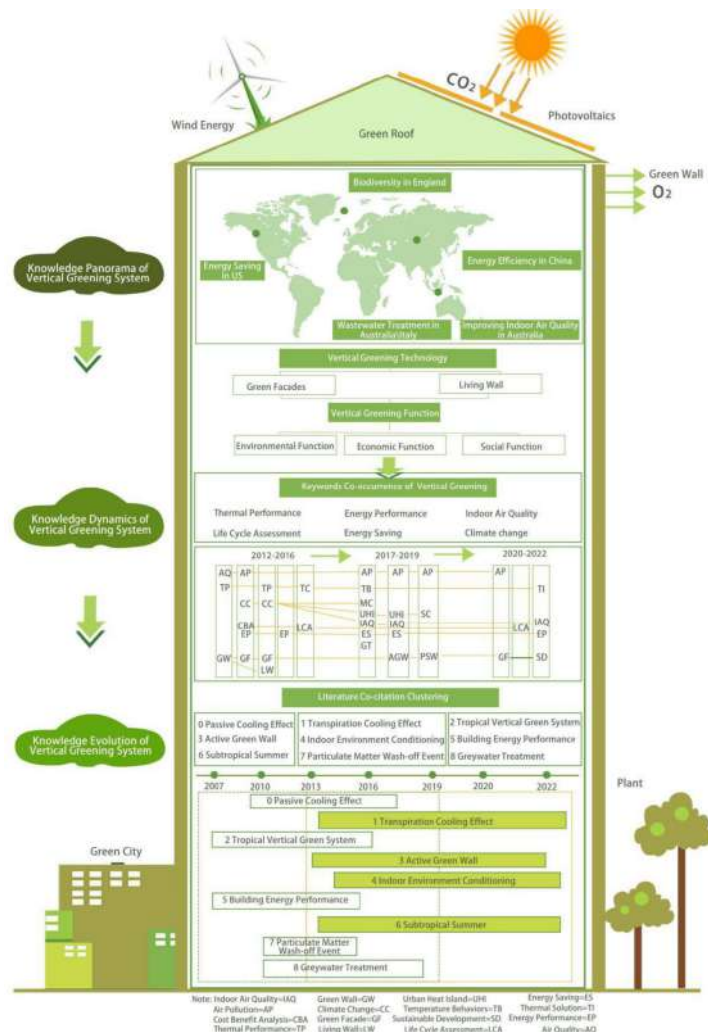
The first analyses the urban context, examining the urban heat island phenomenon, air quality in Italian cities, and the contribution of greenery to building energy efficiency.

The second explores vertical green infrastructure, classifying construction typologies, environmental performance and design criteria through significant case studies such as the Musée du Quai Branly in Paris and the CaixaForum in Madrid.

The third part presents the MosSkin project, developed at the Department of Architecture and Design of the University of Genova, detailing its scientific publications, experimental results, including a surface temperature reduction of up to 13.9°C and fine dust capture capacity of up to 45,600 particles per mm², and real-scale validation through the installation of experimental

panels at multiple urban sites in Genova.

The final design application, named MOSS-RAIL, proposes the integration of the system on the façades of Ligurian railway stations, forming a network of distributed green infrastructure along the regional coastal axis. The results of a survey conducted on 130 Ligurian respondents confirm broad public openness towards this type of intervention, motivated primarily by concerns related to air quality, energy efficiency and environmental sustainability.



INTRODUZIONE



2

2.1. OBIETTIVI DELLA RICERCA



Le città contemporanee attualmente si trovano a dover far fronte a una crisi ambientale di portata storica, che si presenta con manifestazioni evidenti, quali l'innalzamento delle temperature, la degradazione della qualità dell'aria, la maggior frequenza di eventi meteorologici estremi.

L'espansione urbana accelerata dal secondo Novecento ha dato origini a paesaggi densamente edificati in cui la componente vegetale è stata progressivamente marginalizzata e sostituita da superfici impermeabili.

Il risultato è un sistema urbano fragile, energeticamente inefficiente e sempre più incapace di rispondere con resilienza alle sollecitazioni di un clima in rapido mutamento.

In questo contesto, la riflessione architettonica viene chiamata a ridefinire profondamente il proprio ruolo e approccio.

Non si tratta soltanto di un adeguamento degli edifici a standard energetici più severi,

ma di ripensare la natura stessa dell'involucro edilizio, inteso non più come barriera passiva tra l'interno e l'esterno, bensì come interfaccia dinamica in grado di interagire con l'ambiente, di contribuire alla regolazione microclimatica, di ospitare biodiversità e di concorrere al benessere degli abitanti.

Questa visione, consolidata dalla letteratura scientifica internazionale come Nature-Based Solutions (NBS), trova nel verde verticale uno dei suoi strumenti più versatili.

Le facciate verdi, nelle loro differenti configurazioni possibili, sono state oggetto negli ultimi due decenni di una crescente attenzione da parte della ricerca e della sperimentazione, anche a livello progettuale.

I benefici documentati spaziano dalla riduzione del flusso termico conduttivo, con diretta conseguenza la diminuzione del fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo, alla cattura del particolato atmosferico, dalla mitigazione dell'isola di calore urbana fino al miglioramento del comfort psicofisico degli utenti.

Tuttavia, nonostante le evidenze scientifiche e la visibilità mediatica pubblica raggiunte da alcune opere di realizzazione emblematiche, la diffusione su larga scala di questi sistemi incontra un ostacolo strutturale di difficile superamento: i costi d'installazione e manutenzione, che partono da 300 €/m² per sistemi idroponici più complessi, rendono queste tecnologie accessibili solo a contesti di eccellenza o a committenze istituzionali particolarmente motivate, a esclusione di fatto della vasta platea del patrimonio edilizio ordinario.

È in questo divario tra potenzialità ambientale e accessibilità economica che si colloca il progetto MosSkin, tecnologia innovativa sviluppata presso il Dipartimento di Architettura e Design e il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita dell'Università degli Studi di Genova a partire dal 2018. Il sistema, basato sull'utilizzo del muschio come elemento di rivestimento per facciate, propone una soluzione leggera, modulare e low-cost, con un costo stimato di circa 40-50 €/m², in grado di rispondere ai principali problemi ambientali delle aree urbane dense, come inquinamento atmosferico, isole di calore, degrado paesaggistico e inquinamento acustico. Nel corso di otto anni di ricerca sperimentale, il gruppo di lavoro ha pubblicato tre studi su riviste scientifiche internazionali documentando la selezione delle specie vegetali più idonee, la messa a punto del sistema costruttivo e le prestazioni ambientali del

prodotto finito, con risultati rilevanti: una riduzione della temperatura superficiale fino a 13,9°C e una capacità di cattura del particolato fino a 45.600 particelle per mm².

La tesi si pone all'incrocio tra la ricerca scientifica e la pratica architettonica, con il duplice obiettivo di restituire in modo organico lo stato dell'arte di MosSkin e di verificarne la scalabilità attraverso un'ipotesi progettuale concreta.

La domanda che ha guidato l'intero lavoro è la seguente: un sistema di verde verticale a basso costo, sviluppato e testato in laboratorio e in scala reale, può diventare uno strumento di rigenerazione urbana diffusa, replicabile su edifici esistenti e in grado di produrre effetti ambientali misurabili su scala territoriale?

Per rispondere a questa domanda, la tesi assume come campo di applicazione tre stazioni ferroviarie della Liguria costiera.

Questa scelta non è stata casuale, infatti le stazioni rappresentano infrastrutture di grande valenza pubblica, caratterizzate da superfici esposte di grande estensione, da un'elevata frequentazione e da una distribuzione lineare lungo l'asse costiero che le rende naturali nodi di una potenziale rete di verde infrastrutturale.

L'ipotesi progettuale finale che ne scaturisce ambisce a dimostrare come il verde verticale possa operare simultaneamente su più scale: quella del dettaglio costruttivo, quella dell'edificio e quella del territorio, trasformando una sequenza di interventi puntuali in un sistema coerente e riconoscibile di rigenerazione ambientale.

2.2. METODOLOGIA

La metodologia applicata all'elaborazione della tesi riflette la complessità dell'oggetto di studio, che si colloca all'intersezione tra ricerca scientifica, analisi del contesto urbano e infine proposta progettuale. Il percorso si articola in differenti fasi distinte ma strettamente interconnesse, ciascuna delle quali alimenta e orienta la successiva, secondo una logica che procede dal generale al particolare, dalla scala territoriale a quella costruttiva.

2.2.1. Contesto teorico e normativo

La prima parte di ricerca ha avuto carattere bibliografico e analitico, con l'obiettivo di costruire il quadro di riferimento teorico entro cui collocare la ricerca su MosSkin. Questa ricognizione si è sviluppata su tre differenti piani paralleli.

Il primo riguarda il tema della climatologia urbana e delle implicazioni per la progettazione architettonica: lo studio di fenomeni come quello dell'isola di calore urbana, della qualità dell'aria nelle città italiane e il contributo che apporta il verde all'efficienza energetica degli edifici ha permesso di documentare l'urgenza e la rilevanza del problema a cui MosSkin intende rispondere.

Le fonti consultate comprendono pubblicazioni scientifiche, rapporti

istituzionali, tra cui i dati ARPA e il report annuale di Legambiente "Mal'Aria di città 2024", e le direttive europee di riferimento, in primo luogo la Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) approvata nel 2024.

Il secondo livello ha approfondito la classificazione dei sistemi di verde verticale esistenti, analizzando le differenti tipologie costruttive, le prestazioni ambientali, documentate e i criteri progettuali applicativi. Tale analisi ha permesso di posizionare MosSkin all'interno del panorama tecnologico attuale, evidenziandone sia le affinità con i sistemi di riferimento sia gli elementi di discontinuità e innovazione.

Il terzo livello, infine, ha preso in analisi casi studio selezionati secondo specifici criteri, con l'obiettivo di verificare concretamente le potenzialità e le criticità dei sistemi di verde verticali in contesti costruiti reali.

La selezione dei casi studio, tra cui ovvero l'edificio di via Quadronno a Milano di Mangiarotti e Morassutti, il quartiere San Felice, il Musée du Quai Branly e il Caixa Forum di Madrid, risponde a una logica di complementarità scalare e tipologica, che

permette di confrontare diversi approcci all'integrazione del verde nell'involucro edilizio.

2.2.2 Analisi del sistema MosSkin

La seconda parte ha costituito il nucleo centrale della ricerca e si è concentrata sull'analisi approfondita del sistema MosSkin, sia attraverso lo studio delle pubblicazioni scientifiche prodotte dal gruppo di ricerca tra il 2020 e il 2025, sia collaborando direttamente con il gruppo di ricerca da settembre 2025 fino a luglio 2026.

I dati sperimentali sono stati letti in sequenza cronologica, al fine di restituire l'evoluzione del sistema e la progressiva messa a punto del prodotto, dalla selezione delle specie vegetali e dei materiali da costruzione, allo sviluppo del sistema costruttivo integrato e ai test di raffrescamento sul campo, fino alla misurazione della capacità di cattura del particolato.

La scelta di approfondimento della tesi sul sistema MosSkin risponde a una motivazione metodologica: il sistema rappresenta un caso unico nel suo genere, in cui la ricerca scientifica di base, condotta in laboratorio su campioni controllati, è stata progressivamente tradotta in un sistema costruttivo applicabile,

testato in condizioni reali e caratterizzato da un costo di produzione notevolmente inferiore a quello dei sistemi convenzionali.

Studiare MosSkin ha significato osservare un percorso completo che va dalla scoperta scientifica alla proposta architettonica, percorso raramente documentato con questa continuità.

A questa analisi si è affiancata la partecipazione diretta all'installazione e monitoraggio del pannello sperimentale presso il Dipartimento di Architettura e Design e di altri dimostratori a Genova, che ha offerto l'opportunità di osservare da vicino le procedure costruttive, le modalità di applicazione della pasta di muschio e le soluzioni impiantistiche adottate.

2.2.3 Indagine sulla percezione sociale

La terza fase ha integrato alla dimensione tecnica e scientifica una componente di ricerca sociale, attraverso l'analisi dei risultati di un sondaggio somministrato a 130 rispondenti di provenienza ligure, elaborato nell'ambito del progetto di ricerca con la collaborazione della studentessa Angelica Contini. L'indagine ha avuto l'obiettivo di rilevare il grado di familiarità della popolazione con i sistemi di verde verticale, la disponibilità all'installazione in relazione a dati tecnici ed economici

specifici, quali la riduzione della temperatura superficiale, la capacità di rimozione degli inquinanti e il costo di installazione, e le motivazioni che orientano tanto il favore quanto la resistenza verso questa tipologia di intervento.

L'inclusione di questa componente nella struttura metodologica risponde alla convinzione che la diffusione di soluzioni architettoniche innovative non dipenda esclusivamente dalla loro efficacia tecnica, ma sia condizionata in misura determinante dalla percezione e dall'accettazione sociale. Comprendere cosa motiva o frena la popolazione ligure rispetto all'adozione di MosSkin ha permesso di orientare la proposta progettuale finale verso tipologie edilizie e contesti urbani in grado di massimizzare sia l'impatto ambientale che il riconoscimento pubblico del sistema.

2.2.4. Proposta progettuale

L'ultima fase ha tradotto gli esiti dell'intera ricerca in un'ipotesi applicativa concreta, ovvero il progetto MOSS-RAIL.

La selezione degli edifici di intervento, ovvero le stazioni ferroviarie della Liguria costiera, nello specifico gli scali di Genova Quarto dei Mille, Loano e Ventimiglia, è avvenuta sulla

base di criteri funzionali e urbani verificando la compatibilità tecnica del sistema MosSkin con le caratteristiche architettoniche di ciascun sito.

I criteri adottati nella selezione hanno incluso la tipologia d'uso dell'edificio, l'estensione e l'esposizione delle superfici di facciata, e la posizione nel sistema infrastrutturale regionale.

La proposta si configura non come intervento puntuale su un singolo edificio, ma come strategia di rete a scala territoriale, che utilizza la sequenza delle stazioni ferroviarie idealmente come ossatura spaziale per la costruzione di un'infrastruttura verde lineare lungo l'asse costiero ligure.

In questa visione, ogni stazione costituisce al tempo stesso un nodo autonomo, e con un progetto calibrato sulle specificità del sito, e un elemento di un sistema più ampio, riconoscibile per la ripetizione controllata del modulo MosSkin e per la coerenza del linguaggio progettuale.

CAP. 2—OBIETTIVI E METODOLOGIA

La domanda di ricerca · il sistema MosSkin · l'approccio in quattro fasi

2.1—OBIETTIVI DELLA RICERCA

! Il problema

- Città fragili, energeticamente inefficienti
- Componente vegetale progressivamente marginalizzata
- Verde verticale: potenziale alto ma costi 300+ €/m²
- Sistemi accessibili solo a committenze d'eccellenza
- Patrimonio edilizio ordinario escluso di fatto
- Involucro edilizio da ripensare come interfaccia dinamica
- NBS: quadro scientifico di riferimento internazionale

✓ MosSkin come risposta

- Sistema leggero, modulare, low-cost
- Costo stimato 40–50 €/m²
- Riduzione temperatura superficiale fino a -13,9°C
- Cattura particolato: 45.600 part./mm²
- Sviluppato al DAD UniGe dal 2018
- 3 pubblicazioni su riviste scientifiche indicizzate
- Mitigazione: isole di calore, PM, acustica, paesaggio

DOMANDA GUIDA DELLA TESI

Un sistema di verde verticale low-cost, testato in scala reale, può diventare strumento di rigenerazione urbana diffusa e produrre effetti ambientali misurabili a scala territoriale?

CAMPO DI APPLICAZIONE

Stazioni ferroviarie della Liguria costiera — infrastrutture pubbliche con superfici esposte di grande estensione

LOGICA DI RETE

Sequenza lineare di nodi lungo l'asse costiero come ossatura di un'infrastruttura verde territoriale

MULTISCALARITÀ

Dal dettaglio costruttivo all'edificio fino al territorio: interventi puntuali → sistema coerente

2.2—METODOLOGIA · QUATTRO FASI INTERCONNESSE

01

CONTESTO TEORICO

- Climatologia urbana
- Isola di calore, qualità dell'aria
- Classificazione NBS e verde verticale
- Casi studio: Quadronno, San Felice, Quai Branly, Caixa Forum Madrid
- EPBD 2024, ARPA, Legambiente Mal'Aria 2024

BIBLIOGRAFICA · ANALITICA

02

SISTEMA MOSSKIN

- 3 pubblicazioni DAD Building & Env. 2020–2025
- Evoluzione cronologica del sistema
- Selezione specie e sistema costruttivo
- Test raffrescamento in campo
- Partecipazione diretta all'installazione DAD

SPERIMENTALE · DIRETTA

03

PERCEZIONE SOCIALE

- Sondaggio: 130 rispondenti di provenienza ligure
- Familiarità con il verde verticale
- Disponibilità in base a dati tecnici ed economici
- Motivazioni di favore e resistenza

SOCIALE · QUANTITATIVA

04

PROPOSTA MOSS-RAIL

- Stazioni: Genova Quarto, Loano, Ventimiglia
- Selezione per criteri funzionali, urbani, normativi
- Strategia di rete a scala territoriale
- Planimetrie, prospetti, sezioni costruttive
- Abaco dei dettagli tecnici

PROGETTUALE · APPLICATIVA

Dalla scoperta scientifica alla proposta architettonica

Studio del percorso completo: ricerca di base → sistema costruttivo → applicazione territoriale

FUNZIONE DEL VERDE E COMFORT URBANO



3

3.1. CLIMATOLOGIA URBANA E IL FENOMENO DELLE ISOLE DI CALORE



Luke Howard (1772-1864), chimico industriale e meteorologo per passione noto soprattutto per i suoi studi sulle nuvole fu il primo a riconoscere l'effetto delle aree urbane sul clima locale:

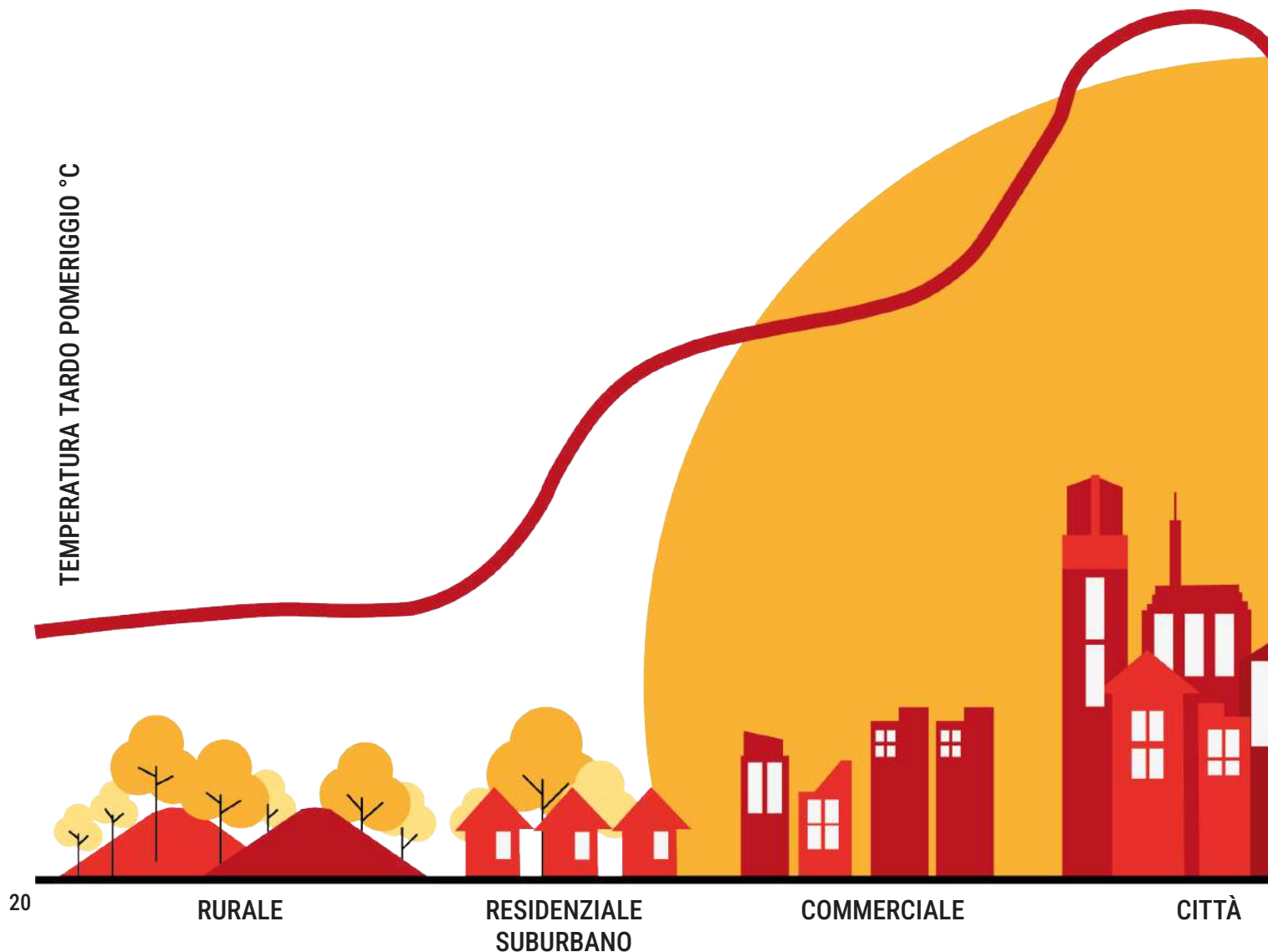
“The temperature of the city is not to be considered as that of the climate.”

Il suo studio intitolato “The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it” fu pubblicato in due volumi, il primo dei quali uscito nel 1818, particolarmente significativo poiché contiene le descrizioni e le analisi di Howard degli elementi meteorologici (ad esempio temperatura, pressione) che compongono il clima; è considerato un contributo cruciale

alla climatologia urbana. Le ricerche di Howard permisero di comprendere come l'ambiente urbano di Londra ne influenzasse le condizioni climatiche, confrontando le sue registrazioni raccolte in un periodo di venticinque anni (dal 1806 al 1830) delle temperature con quelle della Royal Society alla Somerset House. Lo studio riporta che la temperatura della città è, in media, più alta delle aree rurali circostanti e attribuisce questo fenomeno all'urbanizzazione: il calore artificiale eccessivo è indotto dalla sua struttura, da una popolazione affollata e dal consumo di grandi quantità di combustibile negli incendi. La sua è la prima analisi di due questioni correlate, ma distinte: la “contaminazione” urbana dei dati meteorologici e l'entità e la causa dell'effetto urbano. [1]

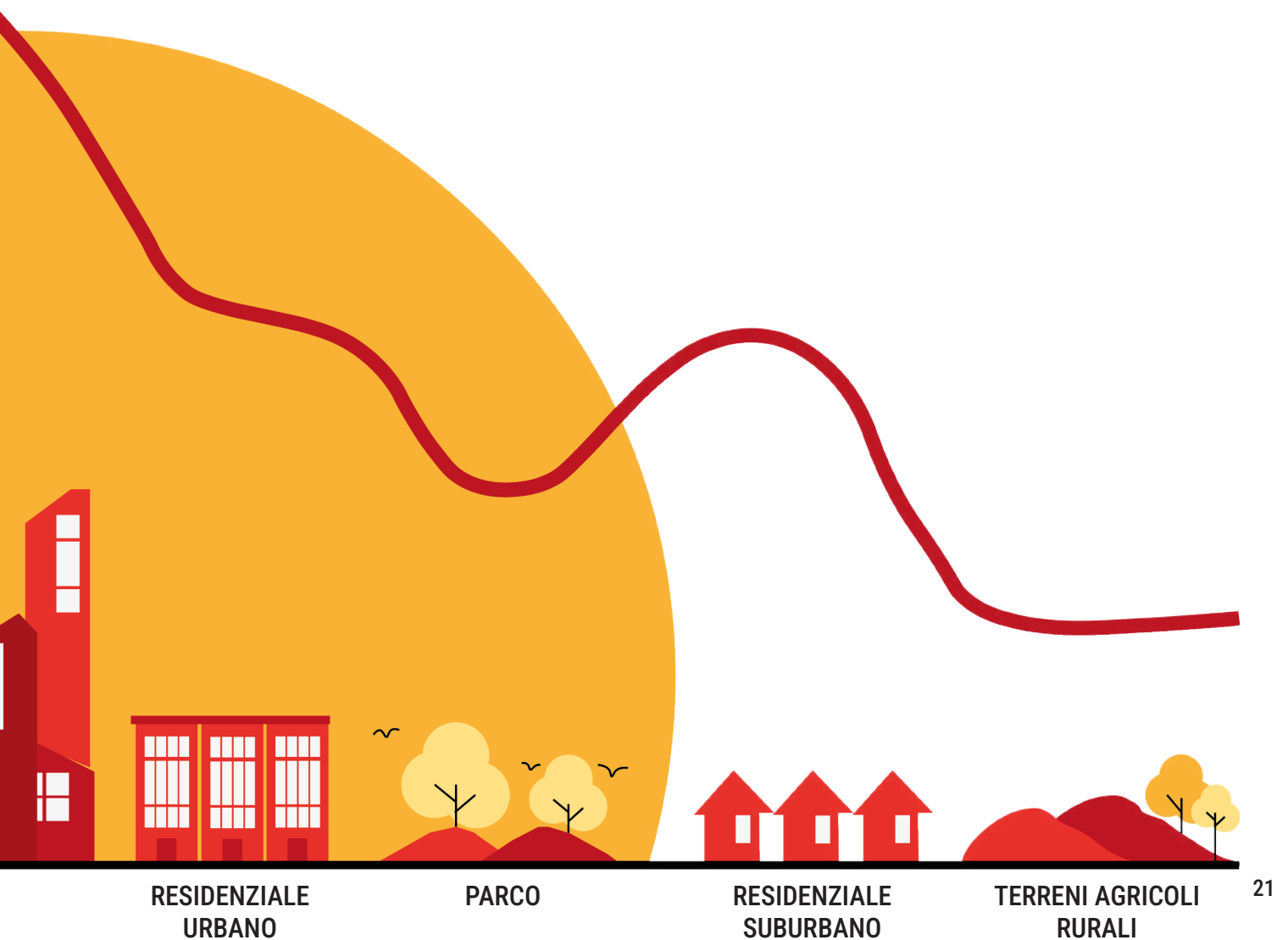
Nel 1965 Tony Chandler dedicò il suo studio sulla natura spaziale e temporale del clima della metropoli nel testo “The climate of London” a Luke Howard, definito come il pioniere degli studi climatici urbani, citandolo anche nel testo.

Lo studio di Chandler è basato su un'intensa campagna di misurazioni condotta a Londra di temperatura, umidità, precipitazioni e inquinamento, e rappresenta una pietra miliare della climatologia urbana descrittiva.



Fu infatti lui a introdurre il concetto di “isola di calore” come fenomeno di progressivo innalzamento delle temperature all’interno delle aree urbane rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali. In conclusione, pur prendendo atto dei cambiamenti climatici causati dall’urbanizzazione, Chandler giunge a una tesi controintuitiva: la sostituzione di aree verdi con superfici edificate e infrastrutture stradali può produrre alterazione considerate, per certi aspetti, favorevoli. Ad esempio, le temperature notturne più elevate in autunno, inverno e primavera possono ridurre i costi di riscaldamento e prolungare il periodo senza gelo, ma questi vantaggi sono superati dall’aumento dell’inquinamento e dalla diminuzione del soleggiamento. Dagli anni ‘80

il tema del cambiamento climatico è diventato sempre più presente a livello mondiale: nel 1988 viene istituito l’Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) che ha dato vita a un dibattito sempre più strutturato con una maggiore consapevolezza dei fenomeni in atto e coinvolgimento anche da parte del pubblico, visto anche il numero crescente di fenomeni meteorologici estremi in diverse aree del pianeta, con impatti sociali notevoli soprattutto nelle aree urbane. Sono infatti queste ultime le aree più coinvolte nelle dinamiche di cambiamento climatico. Le città sono la sorgente principale dell’impatto dell’uomo sul pianeta, e pur occupando appena il 2% della superficie terrestre generano oltre il 70% delle emissioni globali



di CO₂. Conseguentemente, il 90% delle grandi città sono esposte al rischio che si verifichino fenomeni sempre più frequenti di inondazioni, crisi idrica, ondate di calore e danni alle infrastrutture. [2]

1. Sito dell'International Association for Urban Climate (IAUCI).

<https://urban-climate.org/bibliography/>

https://urban-climate.org/wp-content/uploads/2023/03/TonyChandler_TheClimateOfLondon.pdf

2. Ricerca Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide, 2021.

<https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2021.696381/full>

3.2. QUALITÀ DELL'ARIA NELLE CITTÀ ITALIANE

Facendo riferimento ai limiti posti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) [3], il 96% della popolazione urbana europea è esposta a pericolose concentrazioni di particolato fine (PM 2.5), l'88% a NO₂ e l'83% a PM 10.

Il report “Mal’Aria di città” per l’anno 2024 [Mal’Aria di città, 2025] è il rapporto annuale di Legambiente che analizza i dati delle centraline ARPA nei 98 capoluoghi di provincia italiani presi in esame, concentrandosi soprattutto su polveri fini (PM 10) e biossido di azoto (NO₂).

Tale rapporto evidenzia una situazione critica su tutto il territorio italiano; rispetto ai nuovi limiti europei che entreranno in vigore a partire dal 2030, l'Italia è molto indietro.

Per quanto riguarda il PM10, 25 capoluoghi di provincia nel 2024 hanno superato il limite di 35 giorni con una concentrazione giornaliera superiore a 50 µg/m³.

Riprendendo i dati di riferimento forniti dall'OMS, che pone il limite a 15 µg/m³ di media, quando per normativa europea 2008/50/CE [4] il limite è 40 µg/m³, sarà 20 µg/m³ a partire dal 2030, il 97% dei capoluoghi presi a campione non rispetta tale valore.

La situazione è differente per quanto riguarda il biossido di azoto, in quanto nessuna città ha

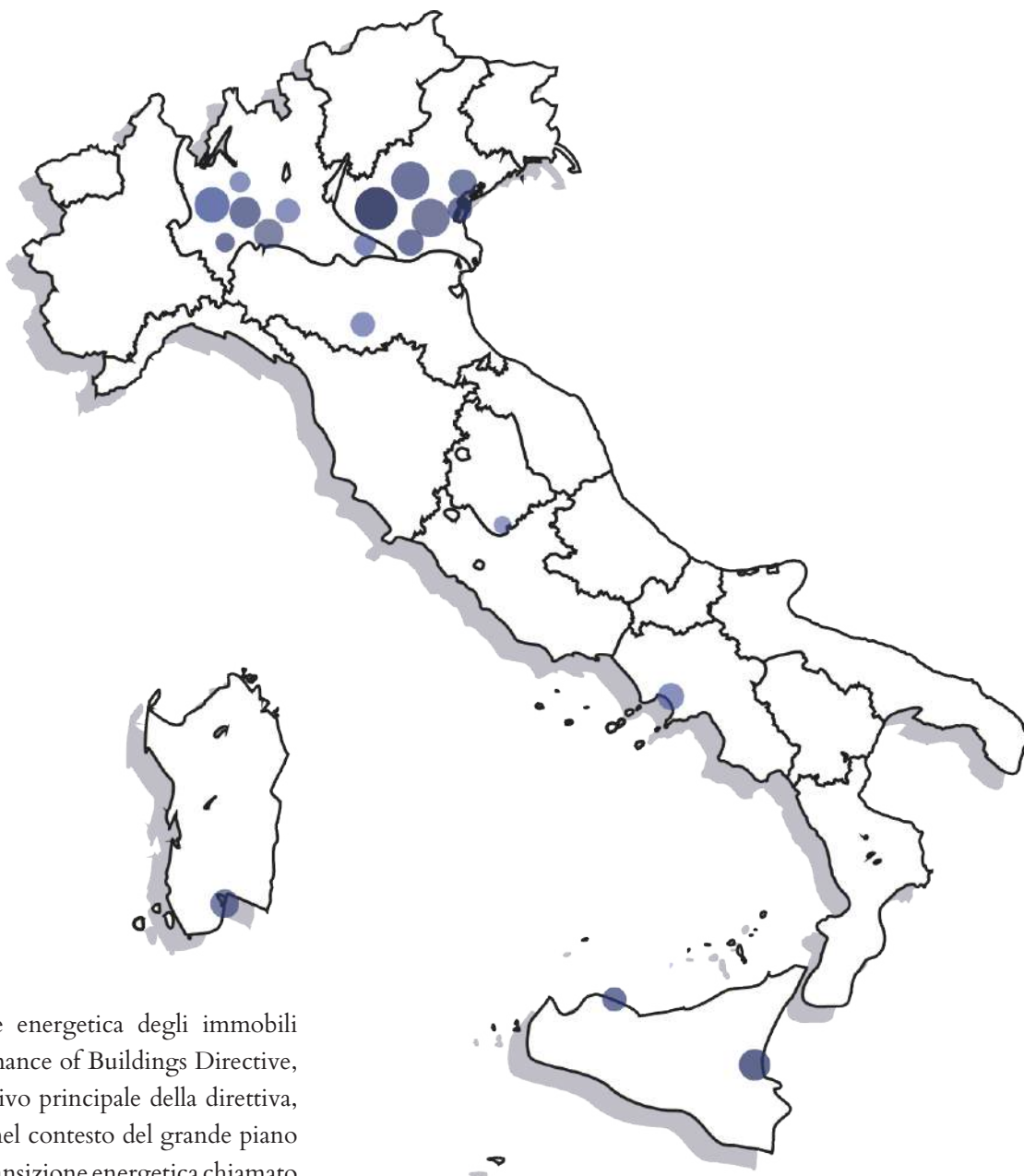
superato il limite di 40 µg/m³, nello specifico però 11 centraline divise su 5 città hanno superato il limite, tra cui le centraline di Corso Europa (48 µg/m³) e quella di Miltedo-Pegli a Genova (41 µg/m³). [5]

Anche in questo caso, il limite di 20 µg/m³ che subentrerà nel 2030 al momento non è rispettato nel 45% delle città, percentuale che sale a 95% considerando il limite posto dall'OMS (10 µg/m³).

È evidente il ruolo critico che le città giocano nel cambiamento globale climatico, con la necessità da parte delle amministrazioni di introdurre strategie di adattamento, difesa, e prevenzione nell'ambito di una sostenibilità ambientale, economica e sociale con interventi a grande e piccola scala tenendo conto delle specificità e delle problematiche locali.

L'adattamento ai cambiamenti climatici presuppone infatti una visione capace di tenere assieme le diverse scelte di governo dentro un quadro dinamico di analisi e scenari, da introdurre nella pianificazione territoriale e nelle trasformazioni edilizie, per cambiare le forme e gli usi dello spazio nella città e l'architettura. [6]

Nel 2024 l'ECOFIN, il Consiglio dei ministri europei dell'Economia e delle Finanze, ha approvato in via definitiva la direttiva



23

sulla prestazione energetica degli immobili (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD). L'obiettivo principale della direttiva, che si inserisce nel contesto del grande piano europeo per la transizione energetica chiamato Green Deal, è ridurre in maniera sostanziale il consumo energetico e le emissioni di gas inquinanti degli edifici entro il 2035, per poi puntare alla realizzazione di immobili che non producano emissioni inquinanti entro il 2050. La direttiva, nella sua parte più rilevante, prevede una distinzione nel trattamento degli edifici residenziali e non residenziali.

Per quanto riguarda gli edifici residenziali, ogni Stato membro dell'Unione Europea dovrà impegnarsi a ridurre nel complesso il consumo medio di energia del 16 % entro il 2030, e di almeno il 20 per cento entro il 2035. Quanto agli edifici non residenziali, la direttiva prevede che entro il 2030 ne venga ristrutturato il 16 %, ed entro il 2033 il 26 %. Questi interventi dovranno garantire che

Le città italiane più inquinate da PM10 nel 2024
Fonte: Rapporto MalAria Legambiente

VERONA	32,6	-39%
CREMONA	30,7	-35%
PADOVA	30,7	-35%
CATANIA	30,7	-35%
MILANO	30,5	-34%
VICENZA	30,3	-34%
ROVIGO	30	-33%
PALERMO	30	-33%
VENEZIA	29,7	-33%
LODI	29,7	-33%
PAVIA	29	-31%
TREVISO	28,9	-31%
CAGLIARI	28,5	-30%
NAPOLI	28,2	-29%
BRESCIA	28,2	-29%
MODENA	28	-29%
MONZA	27,9	-28%
MANTOVA	27,7	-28%
TERNI	27,7	-28%

Le 19 città capoluogo di provincia con la concentrazione media annuale di PM10 più alta in Italia e relativa percentuale di diminuzione necessaria per rispettare i limiti previsti a partire dal 2030
Fonte: Rapporto MalAria Legambiente

gli immobili ristrutturati rispettino nuove norme minime di prestazioni energetiche che andranno nel frattempo introdotte, e dunque in sostanza dovranno migliorare la categoria energetica con cui vengono classificati. [7]
 Secondo dati Eurostat raccolti e rielaborati dal Sole 24 Ore nel 2021, in Italia quasi il 54 per cento degli edifici a uso residenziale è stato costruito prima del 1970, contro una media europea del 44,8 per cento. Non stupisce quindi il fatto che nel nostro paese la stragrande maggioranza degli edifici abbia bassissima

efficienza energetica: secondo i dati ENEA su 4,9 milioni di attestati energetici relativi a immobili residenziali, 3,4 milioni certificano immobili nelle classi energetiche più basse e inferiori alla D, ossia la E, la F e la G, quelle su cui si dovranno concentrare gli interventi di efficientamento energetico sono quasi il 70 per cento degli edifici con un'Attestato di Prestazione Energetica (APE). Tuttavia, si tratta, nel complesso, di poco meno di 3 milioni di immobili certificati poiché secondo una stima complessiva degli immobili in

Italia, includendo anche quelli che non hanno un APE (che sono la maggioranza) gli edifici in classe F e G sarebbero circa 7,5 milioni, poco più del 60 per cento del totale. [8]

3. Dati limite riportati nel WHO Air Quality Guidelines 2021.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

4. Recepita in Italia con il Decreto Legislativo 13 Agosto 2010, n. 155, modificato poi nel 2012 con il D. Lgs. n. 250.

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:it:PDF>

5. Fonte: elaborazione Legambiente su dati Arpa.

<https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2025/06/MalAria-2025.pdf>

6. IL CLIMA CAMBIA LE CITTÀ, Conferenza sull'adattamento climatico in ambito urbano, Maggio 2013.

https://cittaclima.it/wp-content/uploads/2017/05/climacitta_atticonferenza.pdf

7. Il post, 15/04/2025, Direttiva europea case green.

<https://www.ilpost.it/2024/04/15/direttiva-europea-case-green/>

8. Il corriere della sera, 21/12/2009, Case, classificazione energetica Ue: in Italia 20 milioni di abitazioni a rischio.

https://www.corriere.it/economia/casa/21_dicembre_09/case-classificazione-energetica-ue-italia-11-milioni-edifici-rischio-f429233a-58de-11ec-95ed-0f7dcc6ae2dd.shtml

3.3. EFFICIENZA ENERGETICA E RUOLO DEL VERDE URBANO

L'uso inefficiente dell'energia, soprattutto da combustibili fossili, contribuisce largamente al cambiamento climatico [9]. La combustione di carbone, petrolio e gas produce anidride carbonica e ossidi di azoto, la prima è il principale fattore del riscaldamento globale e il secondo un gas a effetto serra lungo che si accumula nell'atmosfera per decenni e anche secoli.

Efficienza energetica e riscaldamento globale sono quindi strettamente correlati. Un uso più efficiente dell'energia riduce le emissioni di gas serra derivanti dalla combustione dei combustibili fossili, contribuendo a contrastare il riscaldamento globale. L'efficienza energetica riduce lo spreco di energia, diminuisce la domanda energetica e allevia la pressione sulle infrastrutture, accelerando la transizione verso fonti rinnovabili e sostenibili.

La filiera del cemento è tra le principali responsabili delle emissioni di CO₂. Poiché copre l'intero ciclo di vita del materiale, dalla produzione alla messa in opera, pur rimanendo la risorsa più utilizzata nelle nuove costruzioni. La produzione del cemento è altamente inquinante, in quanto l'industria del cemento è responsabile di circa l'8% delle emissioni globali di gas serra; per produrre calcestruzzo

servono sabbia e ghiaia in quantità gigantesche e l'estrazione sta creando danni ecologici in molte aree costiere e fluviali. Nonostante il cemento rimanga una risorsa strutturale insostituibile per la sicurezza e la durabilità di grandi opere e infrastrutture complesse, una cementificazione eccessiva e non pianificata comporta diverse criticità ambientali significative. L'impermeabilizzazione del suolo, la perdita di biodiversità e l'incremento del rischio idrogeologico rendono necessario un approccio critico al problema. Risulta per cui fondamentale delimitare l'uso del cemento agli ambiti in cui le prestazioni tecniche del materiale sono necessarie, prediligendo invece soluzioni architettoniche alternative ove l'obiettivo primario sia la rigenerazione urbana e la resilienza del territorio.

Si rende pertanto necessario pensare a tecnologie sempre più efficienti e allo stesso tempo economicamente convenienti sia per la riqualificazione energetica degli edifici esistenti riducendo così il numero di costruzioni ex novo sia per nuove edificazioni altamente performanti dal punto di vista energetico e con un impatto ambientale più basso possibile, considerando tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Secondo Stefano Mancuso, docente di



Tetto verde, Chuttersnap, 2018

Arboricoltura generale ed etologia vegetale all'Università di Firenze e direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale, il modo più efficace per contrastare il fenomeno del riscaldamento globale è il ricorso al verde, in ogni sua forma. Alberi soprattutto ma anche ogni forma vegetale con l'obiettivo di assorbire le emissioni di CO₂ soprattutto nelle città, "il luogo da cui partire", dove la produzione di anidride carbonica è maggiore.

Mancuso auspica una urgente attivazione della politica, soprattutto le amministrazioni locali, ma ribadisce come esista anche un margine per l'attivazione individuale per rendere più sano un ambiente urbano. «Cose banalissime, strumenti di progettazione a livello anche familiare come ricoprire una facciata con piante rampicanti. E poi, assumere una visione

più ampia rispetto a quello che intendiamo quando si parla di efficientamento energetico: ad esempio, ora in Europa dovremmo parlare di come sia proprio attraverso le piante che lo si ottiene, e la cosa non sta succedendo». [10]

9- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press.

10-Domus, 15/06/2023, Stefano Mancuso:
L'intelligenza delle piante chiede l'audacia dei progetti.

3.4. CASI STUDIO



*Edificio Via Quadronno 24, Angelo Mangiarotti e Bruno Morasutti, 1956-1962, Milano
Fonte: Urban Life*

L'analisi di casi studio costituisce una fase cruciale della ricerca, finalizzata a concretizzare i principi teorici delle infrastrutture verdi urbane in soluzioni progettuali concrete. Lo studio di realizzazioni consolidate non risponde a una finalità puramente descrittiva, ma ha l'obiettivo di validare l'efficacia tecnologica e la sostenibilità manutentiva ed economica di sistemi in cui la componente verde è parte integrante dell'architettura. I casi studio scelti rispondono alla necessità di verifica della resistenza nel tempo dei sistemi tecnologici, analizzando strutture realizzate tra gli anni 50-70, permettendo di osservare il comportamento dei materiali e lo sviluppo vegetale nel lungo periodo, fornendo dati sulla durabilità

*Edificio sito nel quartiere di San Felice, Luigi
Caccia Dominioni e Vico Magistretti, 1965-1975,
Segrate
Fonte: Ecomuseo Martesana*

che interventi più contemporanei non possono ancora offrire. Altro aspetto valutato è quello della scala, ponendo a confronto un singolo quartiere a un intero quartiere, permettendo così lo svolgimento di un'indagine sulle soluzioni tecniche e il loro adattamento al contesto, passando dal dettaglio della facciata fino alla gestione paesaggistica del suolo.

I casi studio sono stati scelti in base a tre criteri: l'integrazione tecnologica dei materiali da costruzione con la parte vegetale, la rappresentatività del modello delle "Città Giardino" con il quartiere di San Felice, in cui il verde non è solo decorazione ma definisce lo spazio pubblico, e infine l'autonomia e la gestione del verde.



VIA QUADRONNO MILANO

Anno di costruzione: 1956-1962

Luogo: Via Quadronno 24, Milano

Progettista: Angelo Mangiarotti e Bruno Morassutti, con la collaborazione di Aldo Favini per le strutture

Funzione: Residenziale

L'edificio si inserisce in un più ampio programma di ricostruzione post-bellica dell'area compresa tra via Crivelli e via Quadronno. Questo nuovo isolato è stato immaginato come uno spazio verde continuo, permeabile allo sguardo e ideale prosecuzione del giardino pubblico adiacente. Da qui l'idea di realizzare l'edificio utilizzando degli elementi prefabbricati che permettessero l'innesto della vite del Canada e la scelta di lasciare che le facciate venissero con il tempo

interamente rivestite dal verde.

Il richiamo più recente e celebre Bosco Verticale risulta utile per evidenziare, per contrasto, la peculiarità dell'approccio di via Quadronno. Sebbene entrambi i progetti condividano il contesto cittadino milanese e abbiano l'obiettivo di integrare il verde nel costruito, essi si differenziano radicalmente nella gestione della componente vegetale. Mentre nel bosco verticale il verde è un organismo pre-pianificato, nell'edificio di via Quadronno esso scaturisce dalla libera iniziativa dei singoli proprietari. L'architettura funge da supporto tecnologico ma lascia all'abitante la scelta di innestare la vegetazione. Il risultato è un prospetto vivo e stratificato, dove la variabilità del disegno interno di ogni unità immobiliare si riflette nell'eterogeneità del verde in facciata.

L'edificio non fu solo progettato da Morassutti, ma ne diventò anche il suo fulcro operativo: per un lungo periodo, infatti, il primo piano ospitò lo studio di progettazione guidato dall'architetto stesso.





Fonte: Urban Life



Dettaglio serramenti edificio Via Quadronno 24
Fonte: Cosmopolis

33

Facciata laterale edificio Via Quadronno 24
Fonte: Urban Life





34

SAN FELICE MILANO

Anno di costruzione: 1965-1975

Luogo: Comuni di Segrate, Pioltello e Peschiera Borromeo

Progettista: Luigi Caccia Dominioni e Vico Magistretti

Cliente: Anna Bonomi Bolchini, su idea dell'ingegner Giorgio Pedroni

Luogo: Comuni di Segrate, Pioltello e Peschiera Borromeo

Iniziata la progettazione nel 1966 e terminata l'esecuzione nel 1975, il quartiere di Milano San Felice occupa circa 800.000 m² del territorio a cavallo tra i comuni di Segrate e Novegro.

Il progetto prende vita dall'iniziativa dell'ingegner Giorgio Pedroni, primo progettista del complesso, a cui poi seguono Caccia Dominioni e Magistretti.

Il quartiere è paragonabile a città giardino, con una viabilità privata composta da una strada anulare centrale che collega le torri di Magistretti, da cui si diramano vie minori che portano agli edifici a schiena immersi nel verde. Dispone di spazi comuni e sociali come campi sportivi e



negozi, che rendono l'intera comunità ancora più indipendente dal circostante contesto urbano.

Oltre la metà dell'area occupata dal quartiere (420.000 m²) è stata pensata per essere destinata a giardini e spazi verdi.

Sia nel caso degli appartamenti delle torri che per le case a schiera, Magistretti pone particolare attenzione al tema naturale: indipendentemente dal taglio dell'edificio, tutti gli appartamenti hanno un diretto collegamento con l'esterno tramite l'utilizzo di vetrate ad angolo a tutta altezza.

Le facciate negli anni sono state ricoperte, anche grazie alla loro favorevole

conformazione data da superfici lisce e balconi aggettanti, da piante rampicanti, immergendo ancora di più gli edifici nel verde.



Vista aerea del quartiere San Felice, Segrate
Fonte: Urban Life

36

Dettaglio radici rampicanti in periodo invernale, edificio sito nel quartiere di San Felice
Fotografia originale





*Dettaglio inverdimento in periodo invernale, edificio sito nel quartiere di San Felice
Fotografia originale*

37

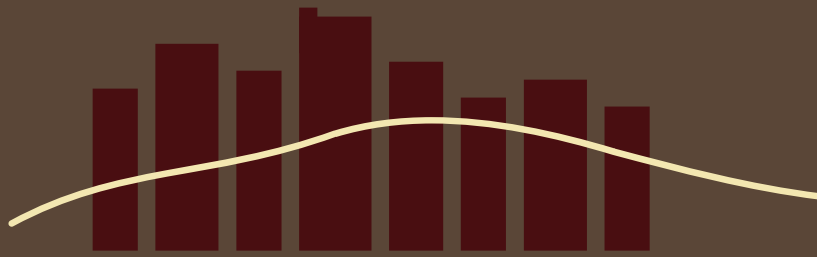
*Parco del quartiere di San Felice
Fonte: Ordine degli Architetti di Milano*



CAP. 3 – FUNZIONE DEL

Contesto climatico · qualità del

3.1 Isole di calore



Luke Howard (1818)
Chandler → concetto UHI
Città = 70% CO₂ globale
90% grandi città a rischio
eventi estremi urbani

3.2 Qualità d

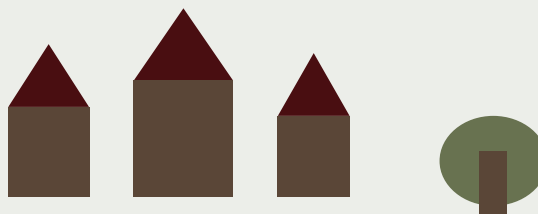


96% pop. eu espo
Rapporto Legam
25 capoluoghi IT c
Genova: Corso E
Limite UE 2030:

Urgenza: soluzioni architettoniche c

Adattamento climatico come leva progettuale e normativa

3.4 CASO STUDIO – MILANO



Via Quadronno 1958 · San Felice 1966–75

VERDE E COMFORT URBANO

l'aria · efficienza energetica

dell'aria



osta PM2.5
biente 2024
oltre i limiti
uropa 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.3 Efficienza energetica



Cemento = 8% emissioni glob.
70% edifici IT in classe F/G
54% edifici IT ante 1970
Direttiva EPBD 2024
Obiettivo $\rightarrow$ 16% entro 2030

con componente vegetale

va · verde = strumento di rigenerazione urbana

IL VERDE COME RISPOSTA

Verde spontaneo su facciata prefabbricata
420.000 m^2 di verde nel quartiere
Facciate ricoperte da rampicanti nel tempo
«città giardino» come modello

INFRASTRUTTURE VERDI: IL VERDE VERTICALE



4

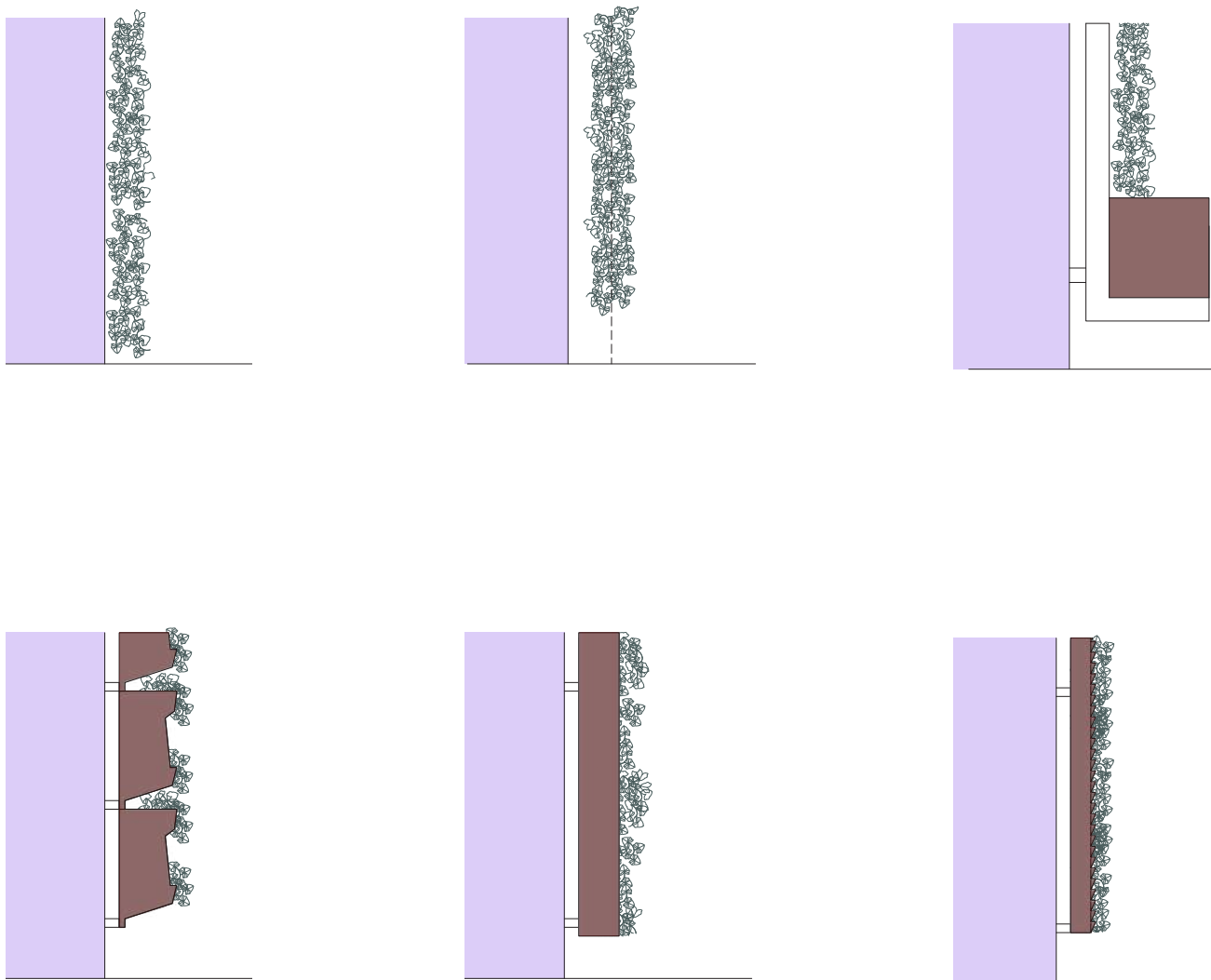
4.1. CARATTERISTICHE FORMALI E FUNZIONALI DELLE DIVERSE TIPOLOGIE



La fisionomia delle città contemporanee è segnata da una progressiva e critica riduzione delle superfici permeabili. Questo fenomeno, unito alla crescente dipendenza del sistema urbano da infrastrutture tecnologiche ad alto consumo energetico, impone una riflessione urgente sulla necessità di integrare nuove forme di vegetazione all'interno del tessuto costruito. In questo scenario, il verde verticale si configura come uno degli ambiti di ricerca più fertili e innovativi, capace di operare una mutazione funzionale delle facciate: da semplici elementi di tamponamento o separazione, esse divengono dispositivi ambientali attivi. Attraverso lo sviluppo di diverse configurazioni tecnologiche, tali sistemi contribuiscono in modo determinante

alla regolazione microclimatica e al miglioramento della qualità dell'aria, offrendo al contempo un significativo arricchimento del paesaggio urbano e delineando nuove traiettorie progettuali in cui il confine tra artificio architettonico e natura tende a sfumare.

Sotto il profilo tassonomico, la letteratura scientifica [1] distingue i sistemi di verde verticale in due macrocategorie fondamentali, differenziate principalmente in base al metodo di coltivazione adottato: le facciate verdi (green façades) e le pareti verdi, comunemente note come living walls (LWS). La differenza tra queste due tecnologie non risiede esclusivamente nella selezione delle specie vegetali, ma riguarda in principalmente la natura del supporto strutturale utilizzato. Nelle facciate verdi la vegetazione, solitamente costituita prevalentemente da elementi rampicanti, si sviluppa su strutture di supporto leggere come grigliati o maglie metalliche, oppure colonizzando direttamente la superficie della parete dell'edificio attraverso sistemi di adesione naturale. Sebbene questa soluzione risulti di più semplice attuazione, l'adesione diretta può ostacolare la corretta ventilazione dell'involucro edilizio, generando fenomeni di ristagno di umidità



che, pur non raggiungendo solitamente livelli di criticità, richiedono un'attenta valutazione tecnica.

Diversamente, le pareti verdi o facciate verdi indirette sono sistemi di maggiore complessità costruttiva e risultano indipendenti dal punto di vista strutturale dalla facciata retrostante. La loro caratteristica principale riguarda l'utilizzo di un supporto distanziato dalla muratura che consente la creazione di una camera d'aria, utile sia per l'isolamento termo-igrometrico sia per l'alloggiamento del substrato di crescita e degli impianti di irrigazione. All'interno di

questa macrocategoria è possibile individuare ulteriori sottocategorie tecnologiche, tra cui i sistemi modulari composti da elementi rigidi pre-vegetati e i sistemi continui di tipo idroponico. In questi ultimi, la terra viene sostituita da strati di feltro o lana di roccia, che permettono di ottenere una struttura complessiva più leggera e facilitano il nutrimento idrico automatizzato.

La scelta tra le diverse tecnologie comporta significative differenze in termini di sostenibilità sia dal punto di vista economico



Puyi Wang et al., 2022, *Vertical Greening Systems: Technological Benefits, Progresses and Prospects*

che gestionale. Le facciate verdi hanno generalmente un impatto finanziario ridotto, grazie a una relativa semplicità costruttiva che si traduce in una manutenzione meno onerosa nel lungo periodo. Al contrario la complessità delle pareti verdi richiede una progettazione esecutiva estremamente accurata, che viene accompagnata dalla necessità di interventi manutentivi specialistici e da costi di gestione più elevati, giustificati tuttavia dalle elevate prestazioni ambientali e dalla flessibilità compositiva che questi sistemi possono offrire.

1- Köhler, M. (2008) *Green façades – a view back and some visions*, *Urban, Ecosystems*, 11.

4.2. Benefici climatici e ambientali

L'adozione di sistemi di inverdimento verticale rappresenta una risposta tecnologica avanzata alle criticità termiche indotte dall'intensa urbanizzazione. La vegetazione in questo contesto non agisce come un isolante statico, ma come un regolatore dinamico capace di influenzare il bilancio termico attraverso la schermatura radiativa, il raffrescamento evaporativo e la gestione del calore latente.

Misurazioni condotte su tipiche giornate estive hanno dimostrato che le superfici verdi sono in grado di mantenere le temperature sensibilmente minori rispetto ai tradizionali materiali da costruzione, con riduzioni della temperatura superficiale fino a 11.8° nelle ore di massimo irraggiamento solare. [2]

Tale fenomeno è attribuibile in parte alle proprietà ottiche del manto verde, il cui albedo, ovvero la frazione di radiazione solare riflessa da una superficie rispetto a quella incidente, attestandosi mediamente su valori prossimi a 0,20 [2] limita l'assorbimento della radiazione solare o onda corta, contrastando l'accumulo di calore tipico delle superfici cementizie o bituminose tipiche dell'ambiente urbano.

Le infrastrutture verdi verticali (VGS) intervengono direttamente sulla modulazione del flusso termico conduttivo, fungendo da barriera che non solo riduce l'onda termica

ma ne modifica la propagazione temporale verso l'interno dell'edificio.

Questo comportamento genera un importante sfasamento termico, ritardando l'ingresso del calore negli ambienti abitativi e stabilizzando il microclima interno anche in presenza di forti fluttuazioni esterne. [3]

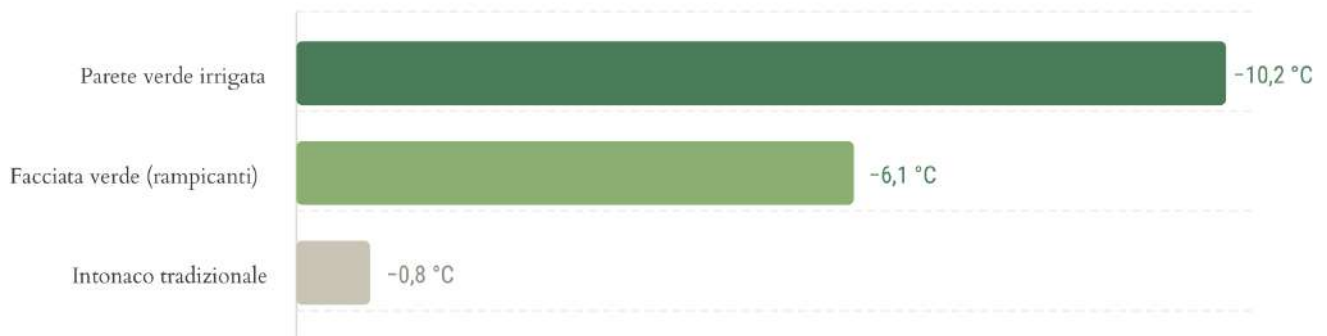
L'interazione tra componente biologica, lo strato d'aria interstiziale e il substrato di crescita crea una resistenza termica complessa: mentre il fogliame dissipa una quantità rilevante di energia incidente, il substrato funge da volano termico mitigando lo stress sulle componenti strutturali dell'edificio e prolungandone la vita utile attraverso la riduzione delle escursioni termiche dei materiali. [4]

Ulteriore fondamento dell'efficienza di questa tipologia di sistemi è rappresentato dal raffrescamento per evaporazione (evapotraspirazione)[5], processo chimico che converte il calore sensibile in calore latente, sottraendo energia all'ambiente circostante, processo simile a quello delle torri evaporative delle centrali elettriche.

In contesti ad alta densità abitativa questa funzione è fondamentale per la mitigazione dell'Isola di calore urbana (UHI), perché permette di mantenere le temperature delle facciate e delle coperture vicine o inferiori a

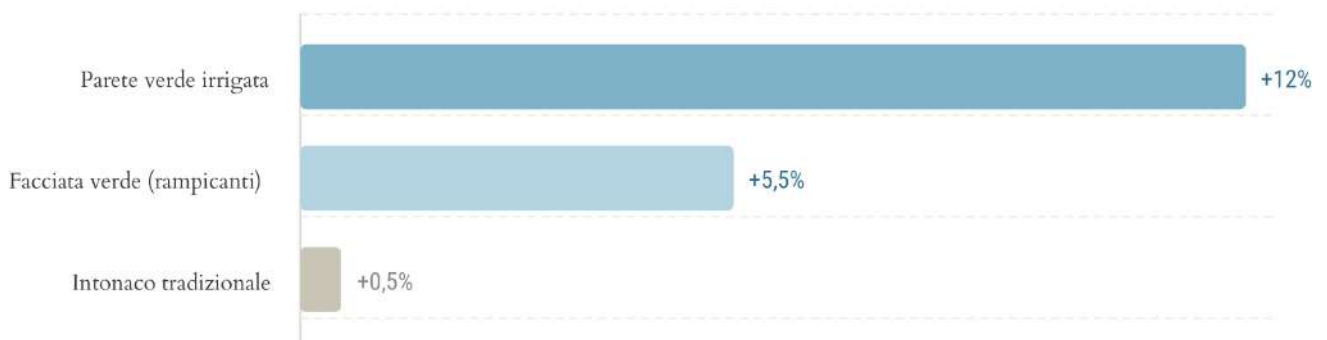
Riduzione della temperatura superficiale

Confronto tra tipologie di verde verticale vs parete nuda (°C) — estate



Incremento dell'umidità relativa nell'aria circostante

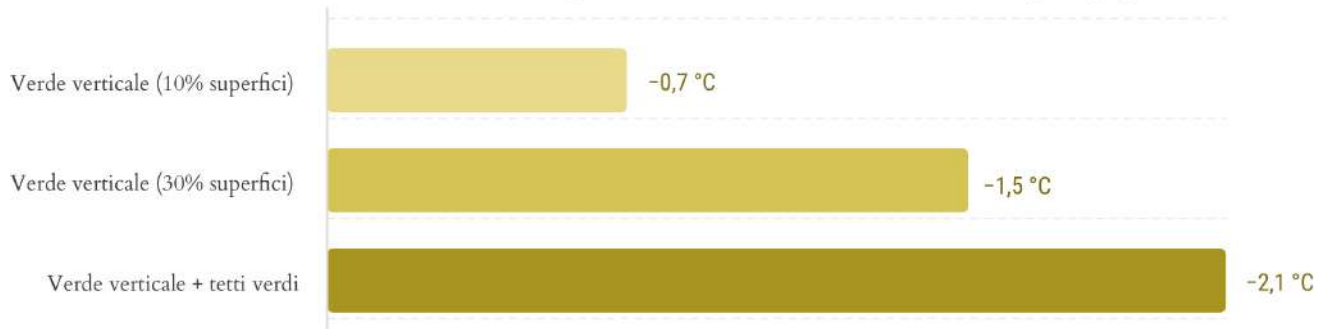
Aumento % rispetto a superficie non vegetata — condizioni estive



45

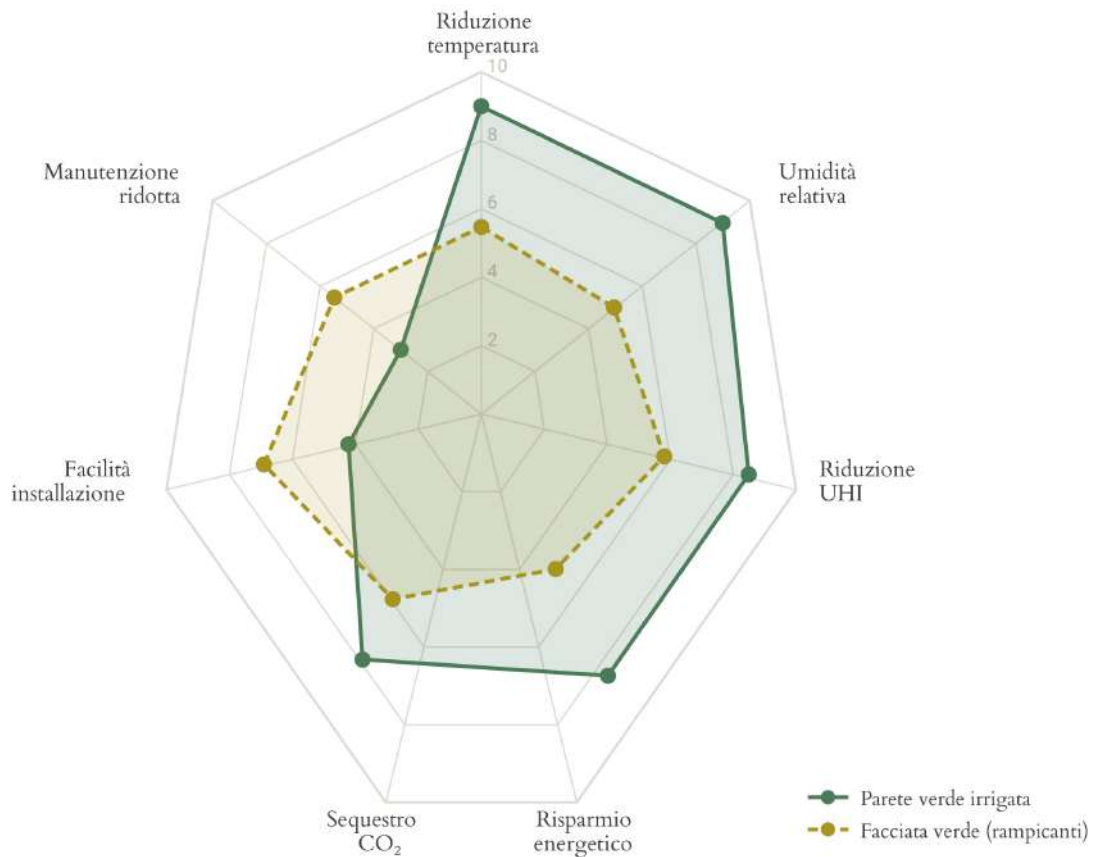
Riduzione dell'effetto isola di calore urbana (UHI)

Riduzione stimata della temperatura dell'aria a livello di strada (°C) — scenari di greening diffuso



Prestazioni comparative: Verde verticale

Scala 0–10 normalizzata da letteratura scientifica comparativa



quelle dell'aria ambientale.

Tuttavia, l'intensità di tale raffrescamento non è costante essendo influenzata da parametri meteorologici locali come l'umidità del supporto e la velocità del vento. [2]

Sebbene una ventilazione moderata favorisca la dispersione del vapore acqueo e aumenti l'efficacia del raffrescamento evaporativo, la prestazione complessiva del sistema dipende dalla densità della vegetazione e dalla configurazione dei moduli installati.

I sistemi di pareti verdi modulari ottimizzano questi scambi grazie a una distribuzione controllata del substrato e dell'essenze, permettendo una gestione controllata del carico termico rispetto ai sistemi tradizionali a verde rampicante. [4]

L'integrazione coordinata di queste variabili, tra cui l'albedo favorevole, la resistenza dinamica al flusso conduttivo e la potenza di raffrescamento dell'evapotraspirazione, trasforma l'involucro edilizio in una

Andamento stagionale delle prestazioni

Riduzione della temperatura superficiale (°C) vs parete nuda — media mensile stimata, clima mediterraneo



membrana attiva. L'impiego di queste tecnologie riduce drasticamente il fabbisogno energetico per il raffrescamento estivo ed inoltre agisce come uno strumento di rigenerazione microclimatica migliorando il comfort ambientale a scala stradale e urbana.

2- Dongjin Cui et al. (2022). Effects of different vertical façade greenery systems on pedestrian thermal comfort in deep street canyons. *Urban Forestry & Urban Greening*, 72, 127582.

3- Liang Qiao. (2025). Study on the dynamic heat transfer role of vertical greening in building microclimate based on multi-objective coupling. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 17(2), 025101.

4-M. De Groeve et al. (2024). Impact of vertical greening on urban microclimate and historic building materials: A meta-analysis. *Building and Environment*, 253, 111365.

5- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4).

4.3. Progettazione del verde verticale: criteri applicativi, vantaggi e criticità

48



La realizzazione di una parete verde non può prescindere da un approccio multidisciplinare incentrato, innanzitutto, su un'accurata analisi strutturale. I criteri applicativi illustrati di seguito sono dedotti dall'analisi della letteratura scientifica di settore e dall'osservazione diretta dei casi studio esaminati nel capitolo precedente. La realizzazione di una parete verde non può prescindere da un approccio multidisciplinare incentrato, innanzitutto, su un'accurata analisi strutturale. La superficie portante deve essere dimensionata per sostenere non solo il peso proprio dei sistemi tecnologici ma anche il carico variabile del substrato in condizioni di saturazione idrica e il peso della vegetazione al culmine del loro sviluppo. A garanzia della durabilità del manufatto, lo strato di impermeabilizzazione assume un ruolo dirimente, agendo come barriera protettiva della facciata contro potenziali infiltrazioni d'acqua e contro l'azione meccanica delle radici, che potrebbero compromettere l'integrità strutturale se non correttamente confinate.

Il mantenimento del sistema vegetale nel tempo è affidato a una gestione impiantistica avanzata: il sistema di irrigazione richiede soluzioni automatizzate, solitamente basate

sulla tecnologia a goccia, che garantiscano un apporto idrico costante e misurato. Tale sistema deve necessariamente essere accoppiato a un sistema di drenaggio efficiente per lo smaltimento degli eccessi idrici.

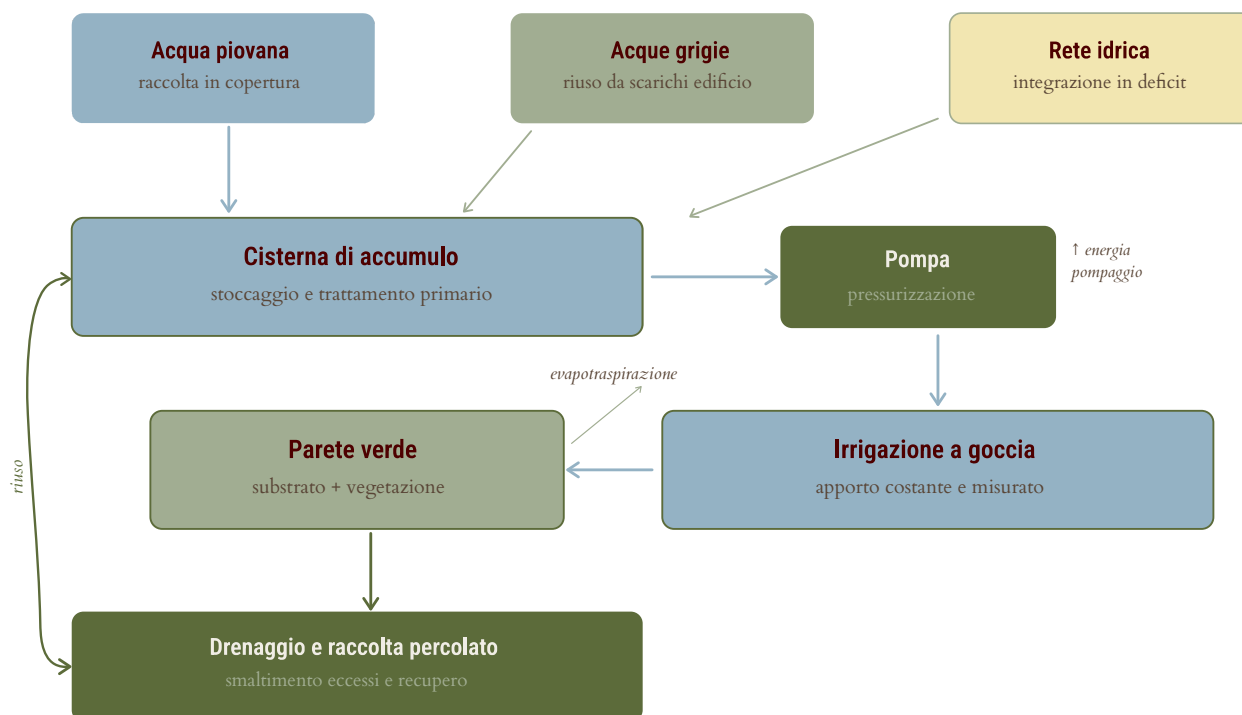
La scelta botanica, per essere funzionale, deve basarsi su criteri di adattabilità al clima locale, valutando l'esposizione solare, la resistenza alle sollecitazioni del vento e la velocità di crescita delle specie. Una progettazione consapevole prevede accessi sicuri per le operazioni di manutenzione, assicurando che le potature e il monitoraggio degli impianti avvengano in condizioni di massima sicurezza.

L'adozione di queste tecnologie comporta una serie di vantaggi che si riflettono sulla scala edilizia e urbana. Sotto il profilo dell'efficienza energetica, il verde verticale agisce come un isolante naturale, riducendo così il fabbisogno termico dell'edificio e garantendo un abbassamento delle temperature estive fino a 3°C.

Inoltre, questi sistemi contribuiscono sensibilmente al miglioramento della qualità dell'aria; le superfici vegetate filtrano le polveri sottili (PM10), assorbono i composti organici volatili (VOC) e sequestrano CO2 restituendo ossigeno all'ambiente. Il contributo microclimatico è supportato

CICLO IDRICO DEL SISTEMA

Gestione integrata dell'acqua in una parete verde verticale



50

dai benefici acustici, grazie alla capacità della vegetazione di assorbire i rumori urbani attraverso la creazione di habitat che forniscono biodiversità

Inoltre, l'aspetto biofilico e il valore estetico delle pareti verdi promuovono il benessere psicofisico, riducendo lo stress degli utenti.

L'implementazione del verde verticale deve confrontarsi con alcune criticità operative, tra cui i costi elevati, legati sia alla fase di posa che alla manutenzione specializzata, che rappresentano il principale ostacolo economico. La natura "viva" dell'opera richiede infatti controlli frequenti e una gestione intensiva per prevenire parassiti o malfunzionamenti idrici che potrebbero concorrere al rapido degrado del sistema.

Emergono inoltre rischi tecnici legati alla

gestione delle risorse, in quanto il consumo costante di acqua e l'energia necessaria per il pompaggio degli impianti richiedono una riflessione sulla sostenibilità dell'intervento, che trova soluzioni ottimali nell'integrazione di sistemi di recupero e riuso dell'acqua piovana

VANTAGGI E CRITICITÀ DELLE PARETI VERDI

Analisi comparativa per categoria tematica

VANTAGGI

CRITICITÀ

ENERGIA / ECONOMIA



Isolante naturale

Riduzione del fabbisogno termico e abbassamento T estiva fino a 3°C



Costi elevati

Posa e manutenzione specializzata rappresentano il principale ostacolo

QUALITÀ AMBIENTALE / RISORSE



Qualità dell'aria

Filtrazione PM10, assorbimento VOC e sequestro di CO₂



Consumo idrico e energetico

Pompaggio continuo richiede energia; soluzione: recupero acqua piovana

MICROCLIMA / GESTIONE



Microclima + acustica

Evapotraspirazione e assorbimento acustico del fogliame urbano



Manutenzione intensiva

Controlli frequenti: potature, verifica impianti, gestione parassiti

51

ECOLOGIA / RISCHI TECNICI



Biodiversità e benessere

Habitat per fauna urbana; riduzione dello stress (biofilia)



Rischi di degrado rapido

Malfunzionamenti idrici o parassiti compromettono l'intero sistema

SCELTA BOTANICA / SICUREZZA



Specie adattate al sito

Resistenza a vento, sole, clima locale; crescita controllata



Accessi e manutenzione in quota

Necessità di attrezzatura e accessi sicuri per potature e monitoraggio



Vantaggi



Criticità



Categoria tematica

4.4. CASI STUDIO



*Musée du Quai Branly, Jean Nouvel, 1999-2006,
Parigi
Fonte: Osservatorio del paesaggio*

L'approfondimento di casi studio risponde alla necessità di indagare le soluzioni tecnologiche più avanzate nel campo del verde verticale. A differenza dei sistemi tradizionali radicati al suolo, lo studio di questo tipo di interventi risulta importante per comprendere il funzionamento dei sistemi a coltura idroponica, in cui la vegetazione si sviluppa su supporti artificiali integrati all'involucro edilizio.

Il Caixa Forum e il Musée du Quai Branly, di cui la parte verde in analisi è stata progettata in entrambi i casi da Patrick Blanc, adottano lo stesso brevetto tecnologico basato su strati di feltro sintetico e irrigazione automatizzata, permettendo così un confronto diretto.

*Caixa Forum, Herzog & De Meuron, 2001-2008,
Madrid*
Fonte: World Green Infrastructure Network

Tale selezione risponde anche a un criterio di analisi bioclimatica, di cui l'obiettivo è verificare in che modo il verde verticale possa reagire a contesti climatici differenti e particolarmente sfidanti, come quello di Madrid e Parigi, dove l'escursione termica e l'esposizione solare mettono a dura prova la resistenza delle specie botaniche e l'efficienza degli impianti installati. È importante specificare come entrambi gli esempi siano casi di sostenibilità ambientale ma non di sostenibilità economica, avendo richiesto ingenti somme per la realizzazione e ne richiedano altrettante per la manutenzione.



MUSÉE DU QUAI BRANLY PARIGI



Fonte: Vertical Garden Patrick Blanc



Dettaglio facciata, Musée du Quai Branly
Fonte: ArchDaily

56

Facciata vetrata continua, Musée du Quai Branly
Fonte: Ateliers Jean Nouvel





Facciata verde, Musée du Quai Branly
Fonte: ArchDaily

57

Facciata vetrata continua, Musée du Quai Branly
Fonte: Ateliers Jean Nouvel





CAIXA FORUM MADRID

Anno di costruzione: 2001-2008

Luogo: Paseo del Prado 36, Madrid, Spagna

Progettista: Herzog & de Meuron

Cliente: Fondazione "la Caixa"

Funzione: Centro culturale

Il Caixa-Forum di Madrid, inaugurato nel 2008 e progettato dallo studio svizzero Herzog & de Meuron, rappresenta uno degli esempi più e famosi di riqualificazione urbana e integrazione paesaggistica nel panorama architettonico degli ultimi anni. L'idea alla base dell'edificio nasce dal recupero della vecchia centrale elettrica Mediodía, un guscio industriale in mattoni che gli architetti hanno "sollevato" dal suolo, creando una piazza pubblica coperta e sospesa. In questo contesto di forte matericità e contrasti cromatici, si inserisce l'opera botanica di Patrick Blanc: il celebre giardino verticale che riveste la parete cieca adiacente all'edificio. Questa parete vegetale, alta circa 24 metri e con una superficie di oltre 460 metri



Fonte: Vertical Garden Patrick Blanc

quadrati, ospita più di 15.000 piante di circa 250 specie diverse [2]. Dal punto di vista tecnico, l'installazione non sfrutta il terreno, ma si basa sul principio della coltura idroponica: le radici si sviluppano su uno strato di feltro sintetico irrigato da un sistema automatizzato che fornisce i nutrienti necessari. Oltre alla valenza estetica, che funge da contrappunto naturale alla ruggine del ferro e al calore del mattone dell'edificio principale, la facciata verde assolve a fondamentali funzioni bioclimatiche: agisce come isolante termico naturale, riduce l'isola di calore urbana e migliora la qualità dell'aria circostante tramite il sequestro di CO₂ e la produzione di ossigeno.

2- Patrick Blanc, *The vertical garden: from nature to the city* (New York: Norton & Company, 2008).



Dettaglio vegetazione, Caixa Forum
Fonte: Vertical Garden Patrick Blanc

60

Differenza matericità dei due edifici, Caixa Forum
Fonte: Turismo Madrid

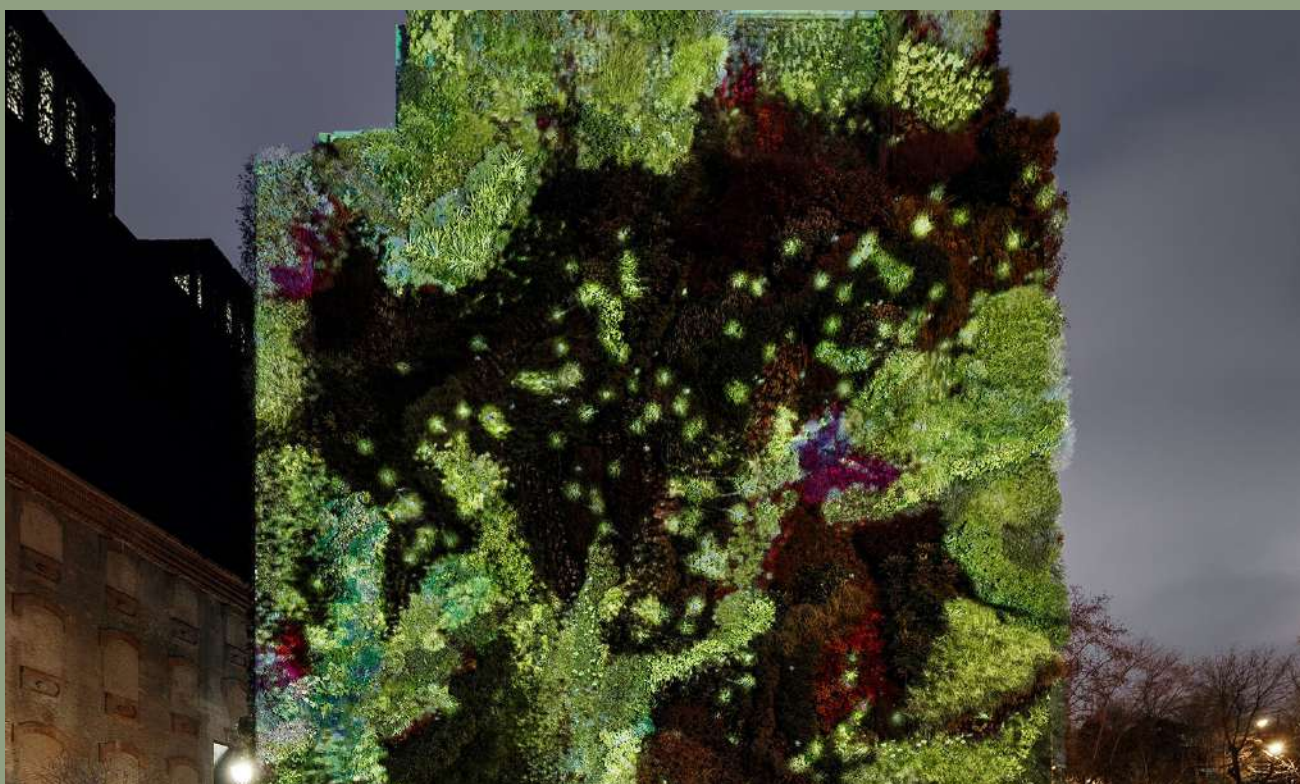




Differenza matericità dei due edifici, Caixa Forum
 Fonte: ArchEyes

61

Vista notturna della facciata verde, Caixa Forum
 Fonte: Mayice Studio



CAP. 4 – INFRASTRUTTURE VERDI

Tipologie · prestazioni · criteri

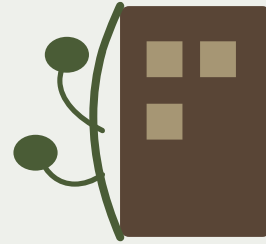
4.1 – DUE MACROCATEGORIE

Facciate verdi

Rampicanti su grigliati
o adesione diretta alla parete
↓ costo · ↑ semplicità

Attenzione: rischio umidità
se adesione diretta

da 10–50 €/m²



4.2 – Prestazioni ambientali

–11,8°C temp. superficiale · albedo 0,20 · evapotraspirazione
Filtro PM10 · assorbimento VOC · sequestro CO₂

4.3 – Vantaggi

- isolante naturale (–3°C estivi)
- filtro PM10 e CO₂
- benessere psicofisico
- prolungamento vita utile edificio

I: IL VERDE VERTICALE

i progettuali · casi studio

RIE (Köhler, 2008)

Living walls (LWS)

Sistemi modulari idroponici
su substrato tecnico distanziato

↑ prestazioni · camera d'aria

↑ costo · manutenzione

specialistica necessaria

da 300 €/m²



e microclimatiche

raazione · sfasamento termico · mitigazione UHI
stro CO₂ · benefici acustici e biofilici

4.3 – Criticità

- costi installazione e manutenzione
- gestione idrica specialistica
- rischio parassiti e degrado
- consumo acqua e energia pompe

IL PROGETTO MOSSKIN



5

5.1. PRESENTAZIONE DEL PROGETTO



Il progetto MosSkin nasce dall'idea di un elaborato di tesi sull'utilizzo del muschio come materiale per la realizzazione di pareti verdi.

Il sistema si propone come soluzione low cost (rapportato ai prezzi di mercato per l'installazione di facciate verdi) ai maggiori problemi che si possono presentare nelle aree urbane più densamente costruite: inquinamento atmosferico, inquinamento acustico, il fenomeno dell'isole di calore e ulteriori problematiche paesaggistiche.

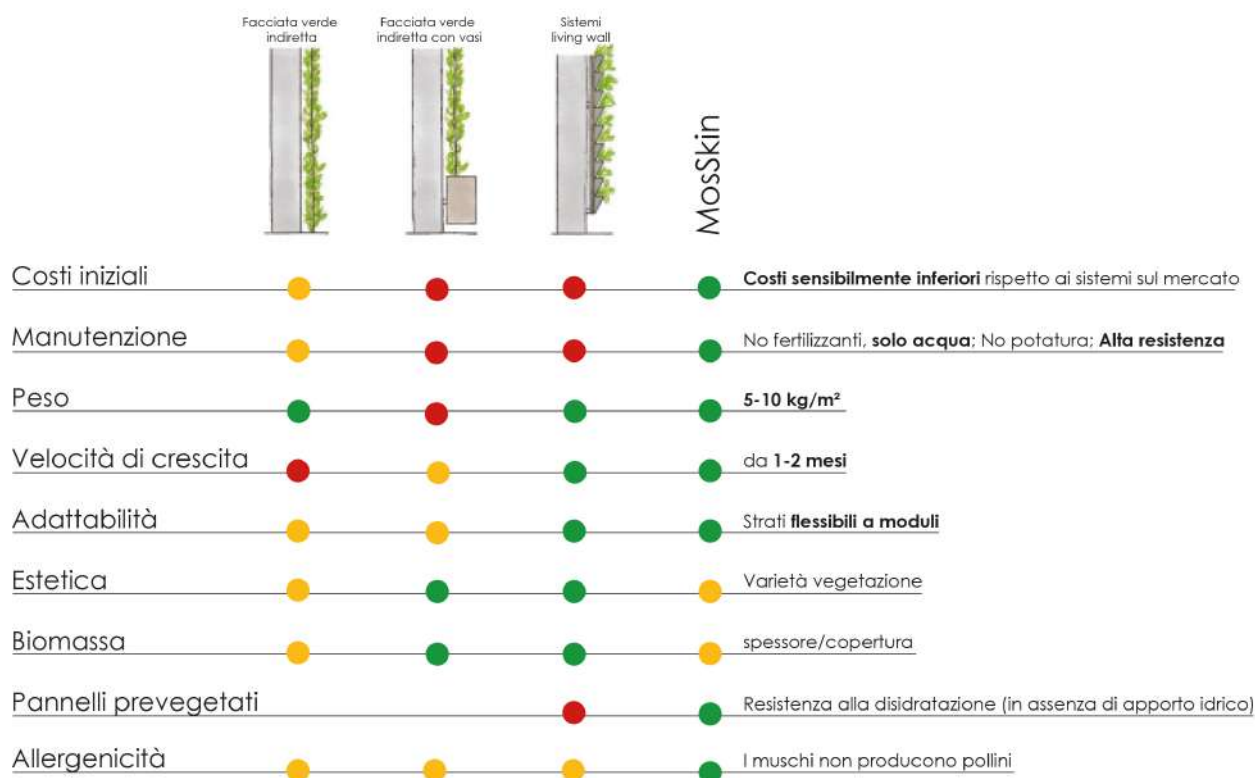
MosSkin, come descritto nella domanda di brevetto depositata, consiste in una pasta di muschio realizzata miscelando differenti specie a un collante specifico. Questa pasta viene poi spruzzata con compressore o

spatolata su un pannello in feltro che funge da substrato.

Il sistema continuo a nastro è formato da un telaio e un feltro. Il telaio può essere realizzato in diversi materiali a seconda delle esigenze di realizzazione; su un lato del feltro verrà applicata la pasta di muschio mentre l'altro, rivolto verso la parete, prevede una cinghia elastica che dia rinforzo al pannello e una membrana impermeabilizzante, in modo da minimizzare la creazione di umidità sulla parete dell'edificio.

Il sistema è predisposto per essere attraversato da un'ala gocciolante, che permette di risparmiare acqua e di garantire una distribuzione uniforme del liquido alle piante, oppure un tubo poroso, microforato e che trasuda acqua lungo tutta la sua superficie in modo da irrigare in modo uniforme. Questi due sistemi sono stati scelti perché potessero fornire l'irrigazione necessaria per stimolare la crescita del muschio sul pannello ma soprattutto perché, non avendo un getto d'acqua a pressione elevata, riducono notevolmente il rischio di dilavamento della pasta dal pannello.

Nei campioni installati in fase di studio, per proteggere la pasta da fenomeni atmosferici ed evitarne il disperdimento dopo l'applicazione



Perini et al. 2020 *Experiencing innovative biomaterials for buildings: Potentialities of mosses*

66

sul pannello, è stato applicato uno strato di tessuto non tessuto, che ha contribuito sensibilmente alla cattura di materiale biologico che altrimenti rischiava di andare perso.

Questo tipo di soluzione ha potenzialmente un vastissimo campo di utilizzo, perché essendo un sistema modulare facilmente adattabile a qualsiasi edificio, può essere applicato su superfici verticali, orizzontali, inclinate e curve; in alcune fasi progettuali si è pensato anche di inserire una rete metallica che rendesse più facile l'installazione continua del pannello su angolature, in modo da utilizzare un pannello unico per creare un angolo invece che due.

Secondo una prima stima dei prezzi il totale per un pannello sarebbe da 12 a 19,5 €/m²:

il pannello (compreso di materiale e costo di lavorazione per cucitura ed eventuale fustellatura) da 10,5 a 18 €/m² (semplice 10,5 €/m², fustellato 14 €/m², doppio strato 18 €/m²); 1,5 €/m² per l'acquisto dell'ala gocciolante. Da aggiungere al totale c'è il prezzo del materiale vegetale da applicare sul pannello, che si aggira intorno ai 6-8 €/m², e il prezzo della centralina per l'irrigazione (circa 100 €).

A seguito di queste considerazioni, si ritiene possibile la vendita di MosSkin ad un prezzo che si aggira intorno ai 40/50 €/m², prezzo decisamente inferiore a quello di un LWS attualmente sul mercato, che parte dai 300 €/m² per pannello, struttura e specie vegetali escludendo messa in opera, trasporto e impianto di irrigazione.

MosSkin

Composizione Muscinale per l'Inverdimento Urbano

Sistema multistrato a base di muschi per la riqualificazione di superfici verticali e orizzontali in ambienti urbani e periurbani

IDENTIFICATIVO BREVETTO

● BREVETTO CONCESSO

IT 102020000018562

30.07.2020
Deposito

30.01.2022
Pubblicazione

06.09.2022
Concessione

TITOLARE

Università degli Studi di Genova
Quota: 100% · CF 00754150100
Via Balbi 5, 16126 Genova

INVENTORI

Enrica Roccotiello
Claudia Turcato
Andrea Giachetta

Paola Castellari
Katia Perini

CLASSIFICAZIONE IPC

A01G22/30

A01G9/02

A01G20/20

A01H11/00

Orticoltura · Coltivazione vegetali · Sistemi di greening

RIVENDICAZIONI - 8 TOTALI (VERSIONE EMENDATA)

- 1-3 Composizione: specie, agar 0,1-5%, rapporti peso/vol.
- 4 Sistema multistrato: strato muscinale + pannello
- 5 Substrato: fibre riciclate, kenaf/poliestere o feltro
- 6 Rete polimerica in polipropilene anti-distacco
- 7 Canalizzazione interna per apporto idrico
- 8 Strato impermeabile (film PE) di ancoraggio

STRUTTURA DEL SISTEMA - STRATI COMPONENTI

Composizione Muscinale

Hom. sericeum
+ agar 1%

Rete Polimerica

Polipropilene
anti-distacco

Substrato Flessibile

Poroso, basso
impatto amb.

Canalizzazione

Condotto Ø6mm
fino 2 l/h/900cm²

Strato Impermeabile

Film PE
protezione muro

SPECIE MUSCINALI BREVETTATE

Specie di riferimento

Homalothecium sericeum

Specie più resistente nei test (ott-feb, 5 mesi)
su superfici orizzontali e verticali.

Contenuto idrico ottimale: 88-92% in peso.

Specie alternative

Grimmia pulvinata

Barbula unguiculata

Utilizzabili singolarmente o in combinazione.
Diversi rapporti agar ottimali per specie.

Condizioni test sperimentali

Temperatura · 18 °C ± 2 °C

Intensità luminosa · 20 µM/m²s

Fotoperiodo · 12 h luce / 12 h buio

Umidità relativa · 60%

PROBLEMA TECNICO RISOLTO

I sistemi tradizionali di verde verticale richiedono terra pesante, irrigazione abbondante e manutenzione continua, con alti tassi di mortalità. MosSkin supera questi limiti grazie alla resistenza naturale dei muschi, all'agar come agente adesivo/idratante (0,1-5%), all'assenza di terra e bassa manutenzione.

PRINCIPALI VANTAGGI

Bassa manutenzione

Leggerezza strutturale

Verticale e orizzontale

Basso costo

Materiali riciclati

Crescita costante

Senza terra

Facile produzione

5.2. STUDI CONDOTTI

Nel corso dello sviluppo del progetto, dal 2018 ad oggi, sono stati condotti diversi studi su differenti campioni di pannello e pasta di muschio, per selezionare i materiali e le specie migliori per la realizzazione del pannello.

5.2.1. Prima fase

In fase iniziale (descritta nella pubblicazione “Experiencing innovative biomaterials for buildings: Potentialities of mosses” su Building and Environment n.172, 2020) diverse unità tassonomiche di muschio sono state selezionate e cinque differenti materiali sono stati scelti per i successivi esperimenti, in modo da identificare al meglio la superficie che avesse le caratteristiche necessarie che permettessero al muschio di crescere.

La campionatura, e successiva selezione, del muschio è avvenuta nel 2018 in differenti condizioni edafiche a 350 m s.l.m. e divisi in campioni da 10x10 cm.

La specie scelta alla fine di un processo di selezione basato sulle caratteristiche necessarie del muschio per essere utilizzato nella parete verde, ovvero ampia distribuzione della specie, poca necessità d'acqua e alta adattabilità a differenti temperature, è stata la *Barbula unguiculata*, capace di resistere ad alti livelli di radiazioni e forte disidratazione e con

l'abilità di crescere su pareti e rocce con livelli di pH alcalini.

Per quanto riguarda i materiali da costruzione, oltre ai cinque basilari già selezionati (quarzite, ardesia, mattone, intonaco a base di calce, intonaco a base cementizia), sono stati aggiunti tappeti capillari e garza, già utilizzate in campo di floricultura per la crescita del muschio.

Sono stati poi eseguite due tipologie di esperimento in camera di crescita, uno su superfici orizzontali e l'altro su superfici verticali.

Il primo svolto è stato quello su superfici orizzontali, utile per decretare i migliori materiali in termini di adesione della mistura di muschio e capacità di distribuzione dell'acqua per il successivo test su superficie verticale, in cui ogni porzione di materiale e muschio (in totale 48 campioni) è stato monitorato per 4 mesi e idratato quotidianamente nei primi 40 giorni con 4 ml di acqua deionizzata e poi aumenta a 6.5 ml dopo l'ispessimento della biomassa; ogni campione è stato spostato ogni due giorni per assicurare che ricevessero tutti la stessa quantità di luce.

Per l'esperimento su superfici verticali, sono stati utilizzati solo 4 dei materiali scelti inizialmente: mattone (con e senza garza)

per 8 campioni, intonaco a base di calce (con e senza garza) per 8 campioni, intonaco a base cementizia (con e senza garza) per 8 campioni, tappeto capillare (con e senza garza) per 8 campioni. In questo caso, il materiale biologico è stato applicato sul materiale di supporto attraverso un pennello. In seguito, i pannelli sono stati appesi in camera di crescita e idratati una volta al giorno con 10 ml di acqua deionizzata e girati ogni 3 giorni per riprodurre parzialmente condizioni di crescita meno controllate.

Alla fine della fase di sperimentazione, sono state analizzate le immagini acquisite durante tutto il periodo di crescita del muschio e analizzate con Photoshop e ImageJ, software che ha permesso di ricavare la percentuale di muschio rispetto all'intera immagine. Per l'analisi dei dati si è svolto un test di analisi della varianza (ANOVA) di Tukey per valutare le differenze sulle differenti applicazioni.

Questa prima fase di sperimentazione ha evidenziato come il supporto sia un fattore determinante: sulle superfici orizzontali i migliori risultati sono stati ottenuti su tappeto capillare (67%), a seguire intonaco cementizio (56%)> intonaco a base di calce (47%)> ardesia (31%)> quarzite (8%); sulle superfici verticali il dilavamento è stato nettamente

maggiore rispetto a quelle orizzontali, per cui l'utilizzo di elementi come la garza che consentano un maggior aggrappo possono essere fondamentali per la produzione di nuova biomassa.

Il regime di irrigazione ha influenzato i tempi di crescita, passati da 2 mesi a 15 giorni con un sistema a capillarità costante.

5.2.2. Seconda fase

In un secondo momento di ricerca (descritta nella pubblicazione "MosSkin: A moss-based lightweight building system" su Building and Environment n.221, 2022), dopo la conferma della capacità di adattamento di *B. unguiculata* a substrati edilizi, si è passati alla traduzione di tali risultati in un sistema costruttivo integrato: lo sviluppo di MosSkin rappresenta così un passaggio ad una scala architettonica che introduce indicazioni progettuali di fabbricazione del prodotto finito.

Una volta completato il test su materiali come cemento e laterizio, si sono introdotti substrati tecnici eco-compatibili: sono stati testati RecyclePav, che poi si dimostrerà il più idoneo per indeformabilità a bagnatura, Feltenaf Plus e il precedente tappetino capillare.

In parallelo, la scelta per quanto riguarda i taxa



di muschio si è ampliata a 15 specie differenti, Sebbene *B. uguiculata* rimanga il riferimento di base, altre specie come *Grimmia pulvinata* e *Homalothecium sericeum* hanno mostrato capacità di copertura superiori al 40% in 5 mesi di crescita su supporto tessile.

Per permettere che il sistema MosSkin potesse essere applicabile su vasta scala, si è sviluppato un protocollo di coltivazione in vitro: dopo la pasta di muschio della prima fase, con questa modalità si possono moltiplicare colture protonemali all'interno di un fotobioreattore, ottenendo una formulazione liquida di muschio che possa essere spruzzata garantendo una distribuzione più omogenea.

Il modulo, inizialmente progettato di dimensioni 80x80, prevede un sistema multistrato assemblato tramite cucitura, e sono state sviluppate quattro possibili configurazioni:

- 1-Semplice a due strati
- 2-Tre strati con tagli verticali
- 3-Tre strati con tagli orizzontali
- 4-Due strati con tagli verticali

Le prove condotte su queste quattro configurazioni hanno evidenziato come la configurazione 3 offrisse una miglior capacità di tenuta dell'acqua.

I test sul campo; svolti tra giugno e luglio

2021, hanno confermato l'efficacia del sistema come dispositivo di raffrescamento passivo: si è registrata una diminuzione della temperatura superficiale fino a 13.9°C a pannello bagnato e un abbattimento medio di circa 8.7°C per la configurazione orizzontale e 3.0°C per quella verticale anche in condizioni di asciutto, confermando che il muschio possa garantire prestazioni termiche compatibili ad altri sistemi di verde verticale complessi e più economicamente dispendiosi.

5.2.3. Terza fase

Nella terza e più recente pubblicazione "Fine dust collection capacity of a moss greening system for the building envelope: An experimental approach" (Building and Environment n.221, 2025) sono riportati i risultati dei test condotti presso la stazione di monitoraggio ARPAL in Corso Europa, dimostrando che il sistema è in grado di catturare una grande densità di particolato, fino a 45.600 particelle per mm².

Il 45-55% delle polveri catturate sono frazioni ultrafini (PM_{0.5}), mentre le frazioni fini (PM_{2.5}) sono la maggior parte di particolato residuo: questi dati confermano che i muschi sono in grado di comportarsi come "filtri ad alta precisione", rispetto a molte piante



Differenti composizioni muscinali in camera di crescita
Fotografia originale

vascolari a foglia larga.

L'analisi svolta attraverso il microscopio elettronico a scansione (FESEM) ha evidenziato che la cattura non è uniforme. La specie *G. pulvinata* ha mostrato un'affinità per le frazioni granulometriche comprese tra 2 e 7.5 μm tipiche delle emissioni date dall'attrito dei freni e pneumatici e del risolleamento delle polveri stradali. La capacità di cattura varia lungo la foglia, risultando massima all'apice e al cento ma minima alla base; l'analisi Energy Dispersive X-ray analysis (EDX), tecnica analitica utilizzata per conoscere la composizione chimica di un materiale, ha confermato la presenza di metalli come ferro e rame dati dall'usura dei freni, e di sodio e potassio legati all'aerosol marino.

Nell'ultima fase di ricerca, l'attenzione si è spostata dalla scala di laboratorio a quella urbana. L'attività riguarda l'installazione e il monitoraggio di sei pannelli sperimentali completi basati sulla tecnologia MosSkin. I prototipi sono stati progettati per testare la resistenza del materiale e la vitalità delle specie vegetali in condizioni microclimatiche diversificate.

La sperimentazione si pone come obiettivi la valutazione dell'attecchimento del muschio in contesti urbani reali e il monitoraggio della

*Dettaglio spessore sistema MosSkin
comprendente il pannello in feltro e la
componente biologica
Fotografia originale*

durabilità del collante e della pasta biologica agli agenti atmosferici.

La sperimentazione prevede un monitoraggio iniziato a fine 2025 e inizio 2026. Per garantire una variabilità di dati significativa sono stati selezionati tre siti nella città di Genova, caratterizzati da diverse condizioni d'esposizione e inquinamento: due pannelli sono stati installati presso il Dipartimento di Architettura e Design in un ambiente strettamente controllato, due pannelli installati ai parchi di Nervi, in area verde ad alta umidità ma con basso inquinamento veicolare, e due pannelli adiacenti al sottopasso che porta da Viale Brigate Partigiane al Waterfront di Levante, area critica per flusso veicolare esposta a inquinanti.

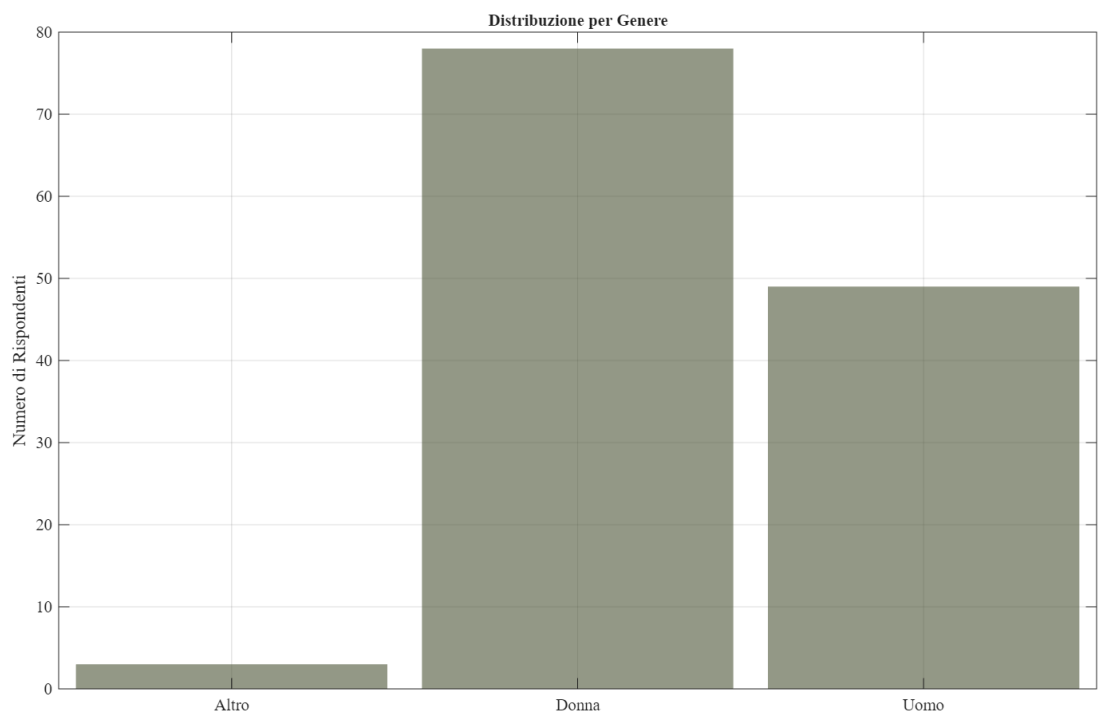


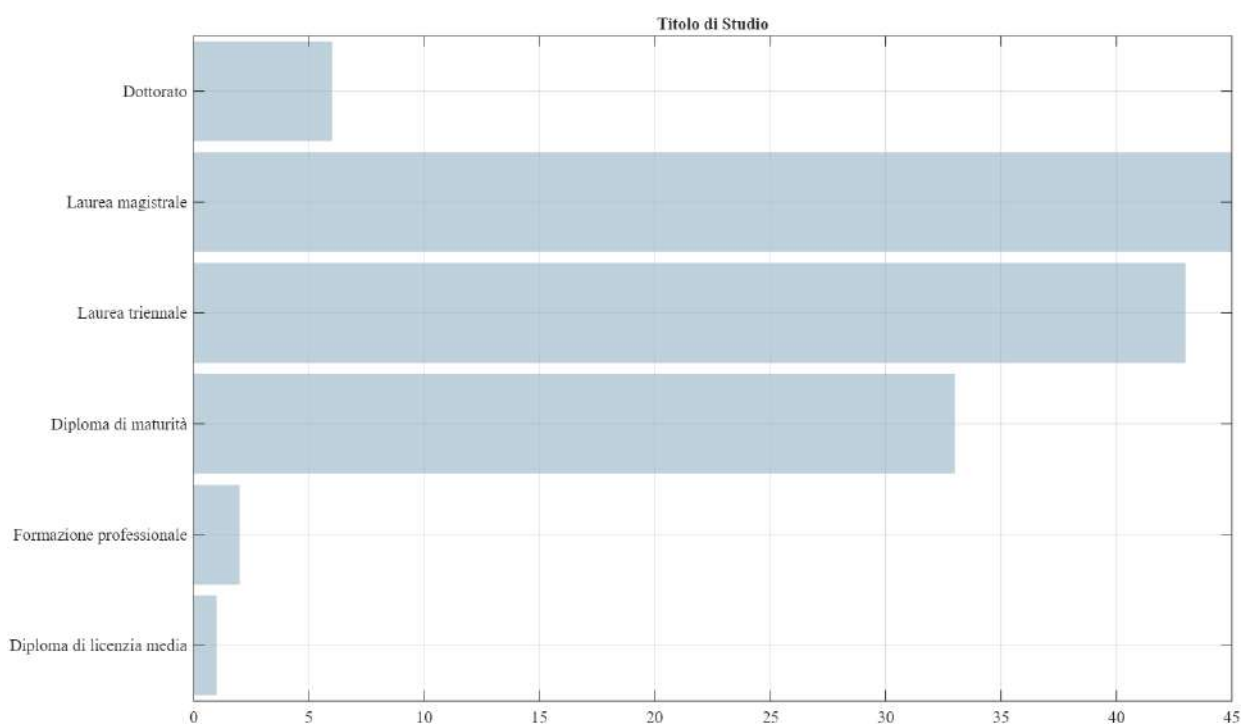
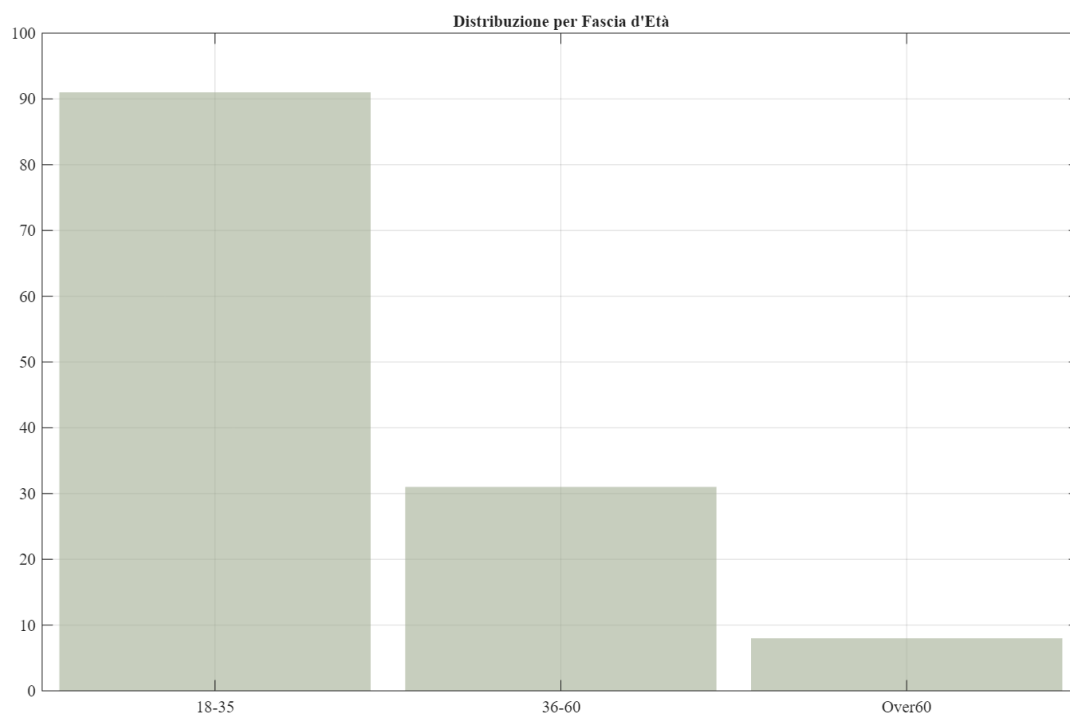
5.3. SONDAGGI SULLA POPOLAZIONE

A fine 2025 è stato somministrato un sondaggio a risposta multipla, elaborato dalla studentessa Angelica Contini all'interno del progetto di tesi intitolato *“Verde verticale tra percezione e prestazioni: uno studio sulla valutazione degli utenti”* con relatori la Prof.ssa Enrica Roccotiello e la Dott.ssa Marta Pianta, con l'obiettivo di indagare la percezione dei sistemi di verde verticale a muschio da parte della popolazione. Il questionario è stato diffuso tramite canali social e, in fase

di scrematura del campione, si è scelto di concentrare l'analisi sulle risposte di provenienza ligure, ottenendo un totale di 130 rispondenti.

Il campione è composto per il 60% da donne (78 rispondenti), il 37,7% da uomini (49) e il 2,3% da persone di altro genere (3). La fascia d'età prevalente è quella dei 18–35 anni, che rappresenta il 70% del campione (91 rispondenti), seguita dalla fascia 36–60 anni (31 rispondenti, 23,8%) e dagli over



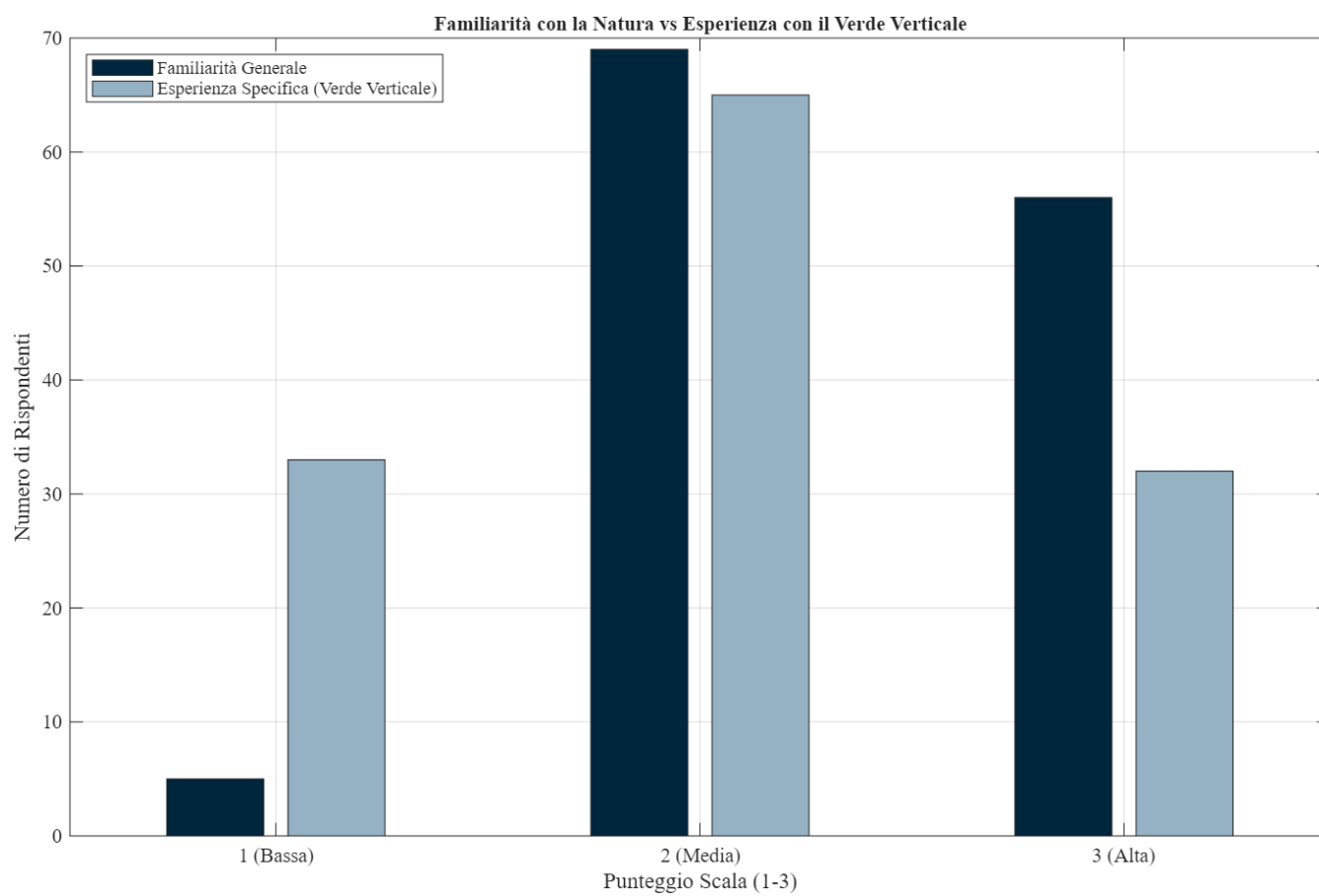


60 (8 rispondenti, 6,2%). Il campione risulta quindi giovane e scolarizzato: il 72,3% dei rispondenti possiede un titolo universitario (laurea triennale 33,1%, magistrale 34,6%, dottorato 4,6%), mentre il 25,4% ha conseguito un diploma di maturità e il restante 2% una formazione di livello inferiore. Solo l'8,5% degli intervistati dichiara di lavorare nel settore del verde, confermando che il campione è prevalentemente composto da utenti non specializzati.

5.3.1. Familiarità con la natura ed esperienza con il verde pensile

Alla domanda sul livello di familiarità con la natura, il 53,1% degli intervistati si è collocato su un livello medio (punteggio 2 su 3), il 43,1% su un livello alto (3) e solo il 3,8% ha dichiarato una scarsa familiarità (1). Il campione mostra quindi una relazione generalmente positiva con l'ambiente naturale.

Per quanto riguarda l'esperienza specifica con sistemi di verde pensile (tetti o facciate a muschio), il 50% dichiara di averne una conoscenza parziale (livello 2), il 25,4% una conoscenza scarsa o nulla (1) e il restante 24,6% afferma di avere un'esperienza più consolidata (3). Questi dati suggeriscono che, pur in presenza di una buona sensibilità verso il verde in generale, la specifica tecnologia del verde verticale a muschio non è ancora ampiamente diffusa nella percezione comune.

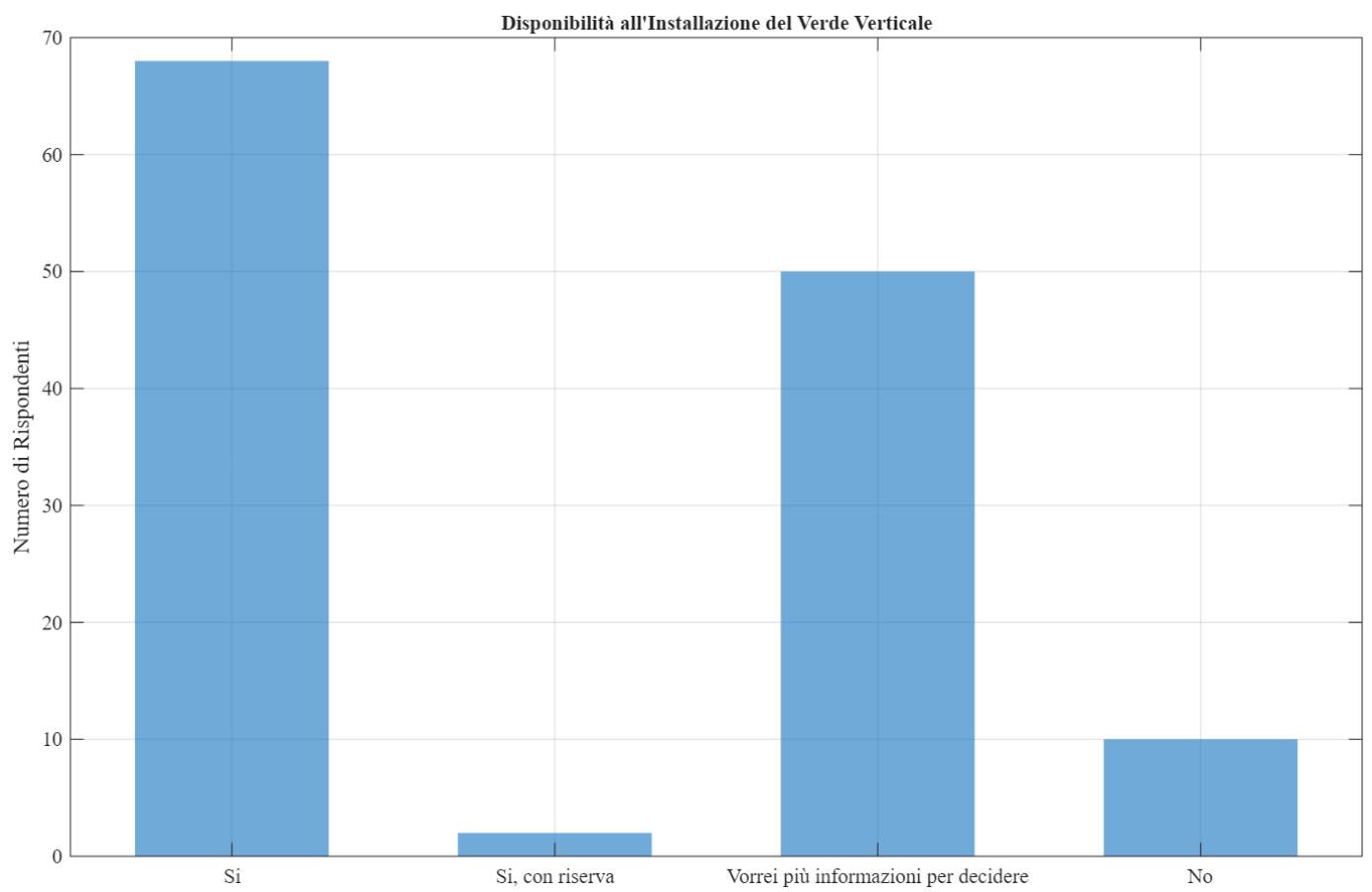


5.3.2. Disponibilità all'installazione

Alla domanda centrale del sondaggio, ovvero se, informati delle prestazioni del sistema (riduzione della temperatura superficiale di oltre 10°C, rimozione di inquinanti atmosferici, costo di installazione di 30–50 €/m²), installerebbero MosSkin sul proprio edificio, le risposte mostrano un orientamento complessivamente favorevole:

- 52,3% (68 rispondenti) ha risposto sì
- 38,5% (50 rispondenti) ha dichiarato di voler ricevere ulteriori informazioni prima di decidere
- 7,7% (10 rispondenti) ha risposto no

Sommando le risposte positive e quelle indecise, emerge che il 90,8% del campione non esclude a priori l'installazione, dato significativo che testimonia un'apertura diffusa verso questa tipologia di intervento, a condizione di disporre di una comunicazione tecnica più approfondita. Solo una minoranza residuale si dichiara contraria.



5.3.3. Motivazioni a favore dell'installazione

Agli intervistati che si sono dichiarati disponibili all'installazione (120 rispondenti) è stato chiesto di attribuire un punteggio da 1 (per niente importante) a 5 (molto importante) ai possibili fattori motivanti. I risultati mostrano una chiara gerarchia di valori:

Fattore motivante	Media (1-5)
Aria più salubre	4,70
Potenziale riduzione dei costi energetici	4,67
Sostenibilità ambientale	4,53
Senso di benessere	4,08
Miglioramento estetico	3,48

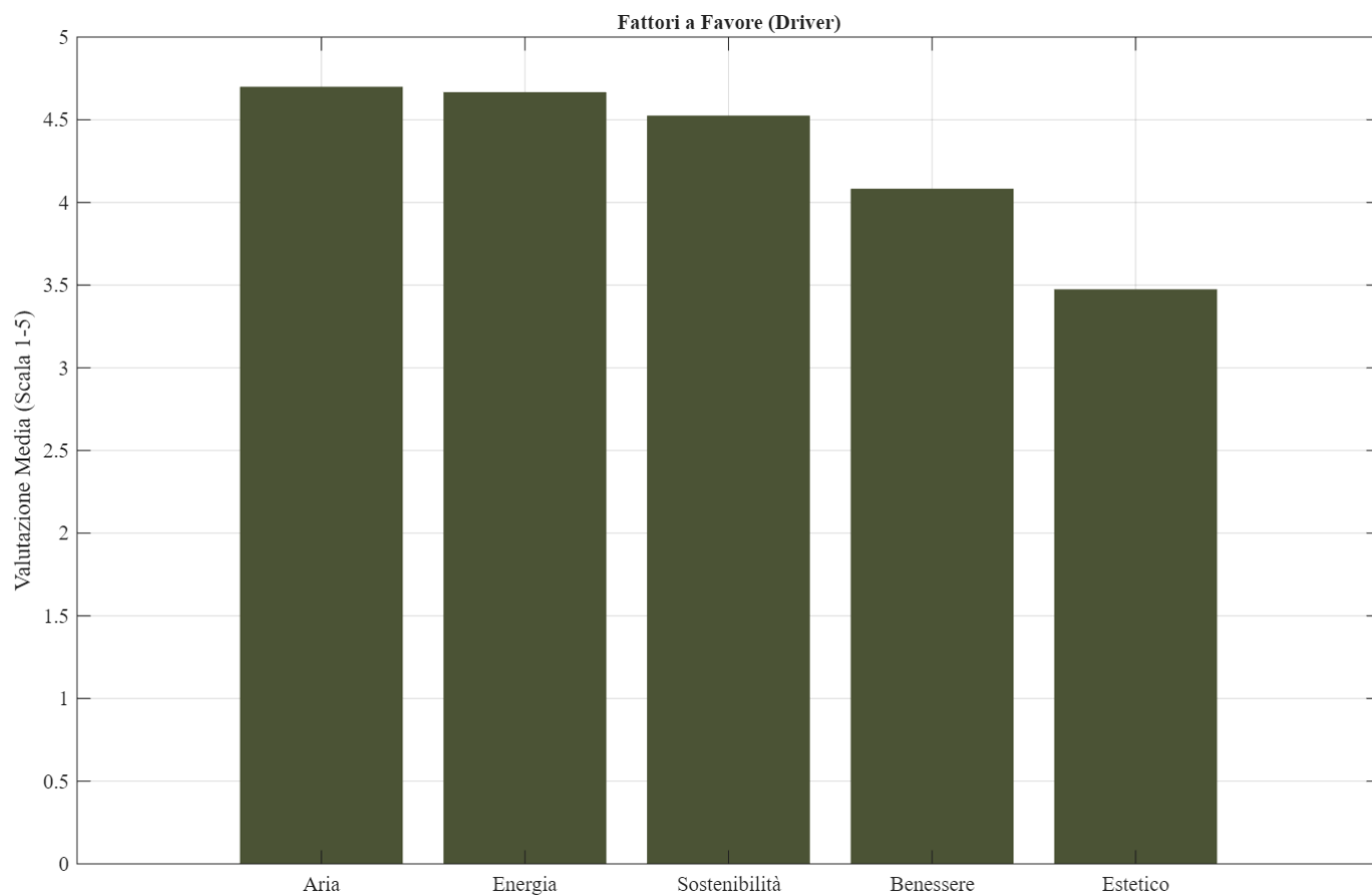
I fattori legati alla qualità dell'aria e all'efficienza energetica risultano i più rilevanti, con medie superiori a 4,6, seguiti dalla sostenibilità ambientale (4,53). Il benessere psicofisico (4,08) è considerato importante, ma con un peso inferiore. Significativamente, il miglioramento estetico risulta il fattore meno determinante nella scelta (3,48), suggerendo che gli utenti percepiscono le prestazioni funzionali di MosSkin come il suo principale valore aggiunto, più che l'aspetto visivo.

5.3.4. Motivazioni contrarie all'installazione

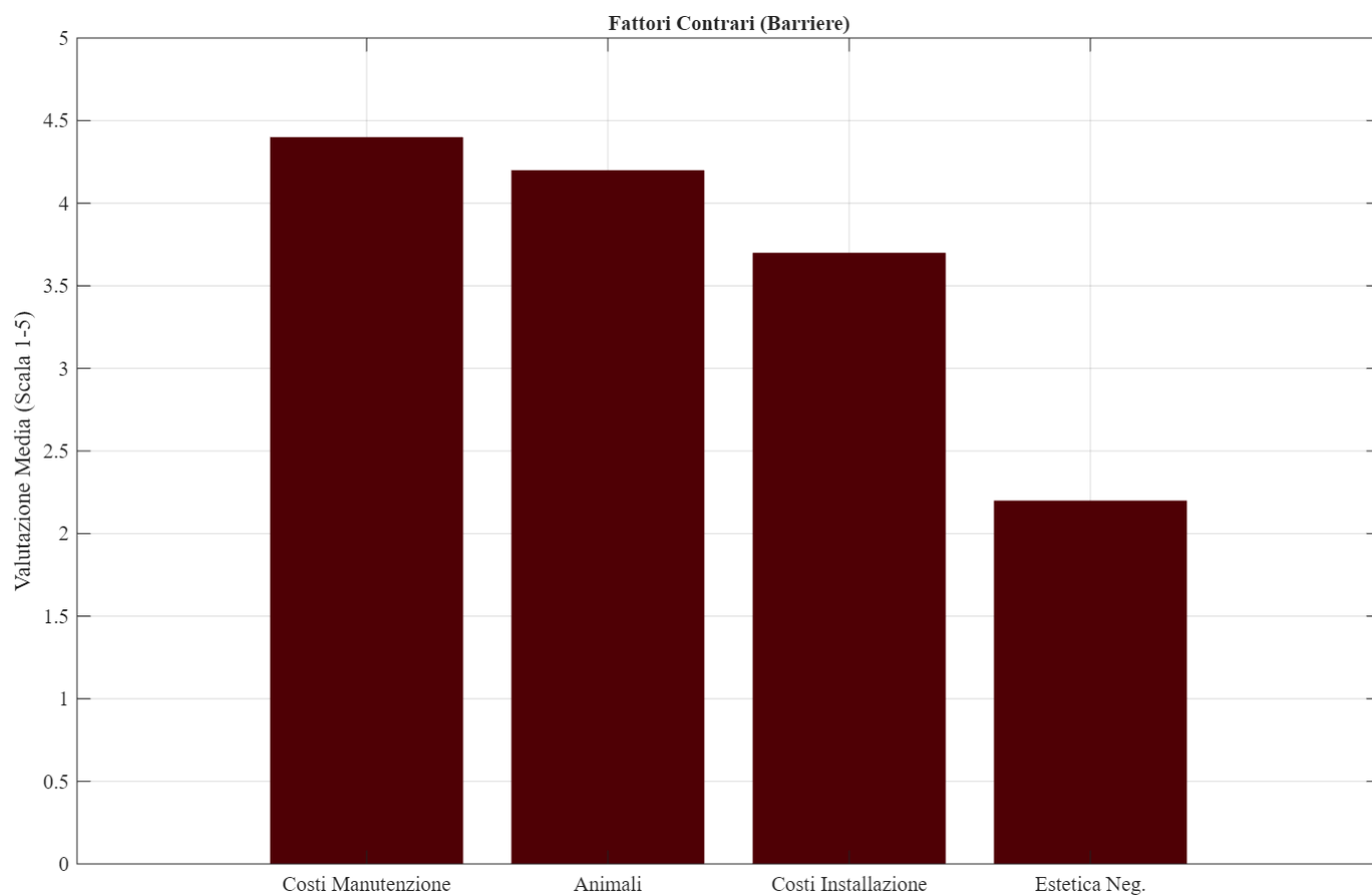
I 10 rispondenti che hanno dichiarato di non voler installare il sistema hanno valutato i seguenti fattori ostativi:

Fattore ostativo	Media (1-5)
Costi di manutenzione	4,40
Attrazione di animali indesiderati	4,20
Costi di installazione	3,70
Aspetto estetico poco gradito	2,20

Il principale freno è rappresentato dai costi di manutenzione (4,40), seguiti dalla preoccupazione per l'attrazione di fauna (4,20) e dai costi di installazione (3,70). Il dato estetico, al contrario, non risulta un ostacolo rilevante (2,20), confermando simmetricamente quanto emerso tra i favorevoli: l'aspetto visivo non è un fattore determinante in nessuna delle due direzioni.



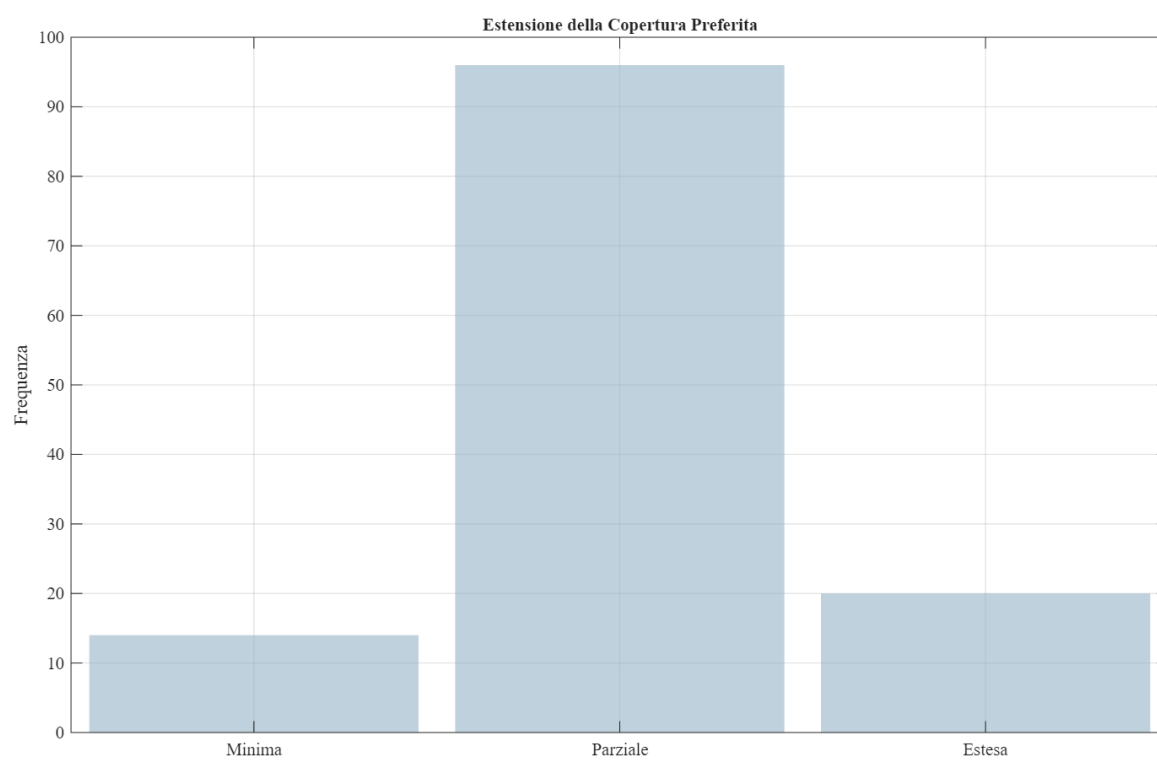
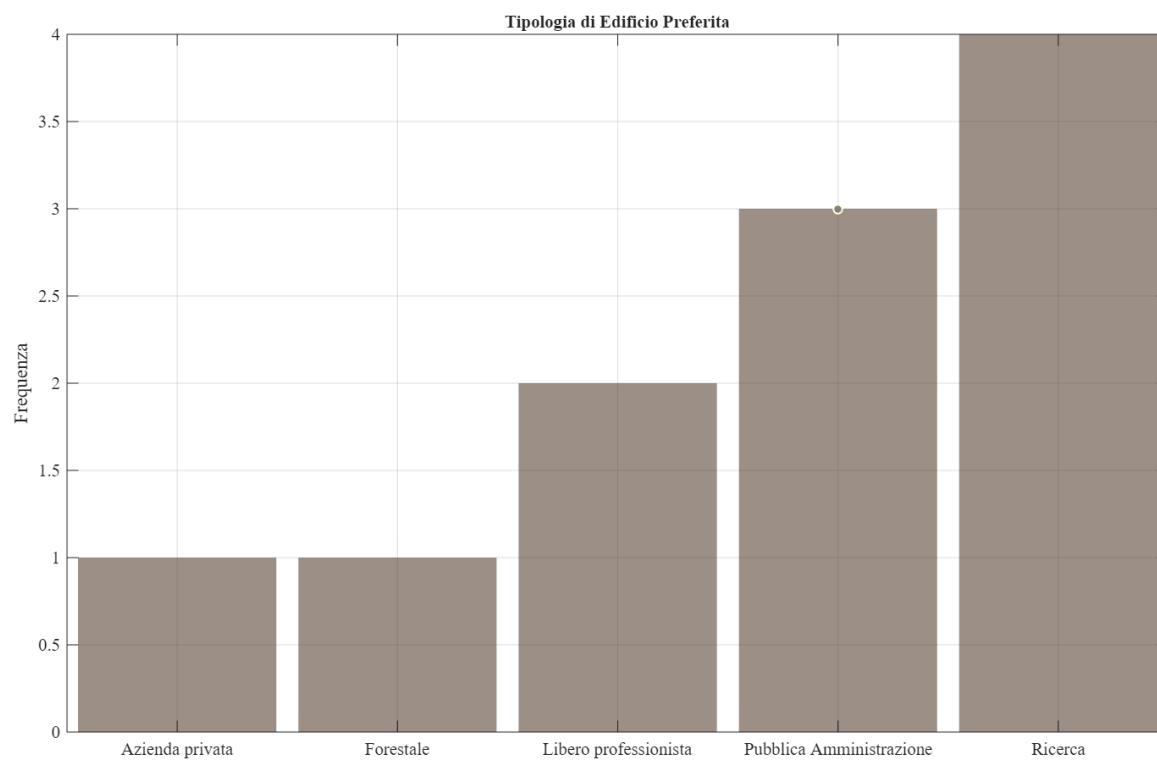
81



5.3.5. Ubicazione preferita e ipotesi di copertura

Alla domanda su quale tipologia di edificio si presterebbe meglio all'applicazione del sistema, il 48,5% degli intervistati ha indicato gli edifici pubblici come contesto ideale, seguito dalle abitazioni civili (29,2%) e dagli edifici industriali (16,9%). Una piccola quota ha indicato i cantieri (3,8%) o tutte le opzioni indistintamente (1,5%).

Riguardo alla percentuale di superficie che si destinerebbe al sistema, la scelta prevalente è stata un'applicazione parziale (livello 2, 73,8%), corrispondente a una copertura moderata della facciata. Solo il 15,4% ha optato per un'applicazione estesa (livello 3) e il 10,8% per una copertura minima (livello 1).

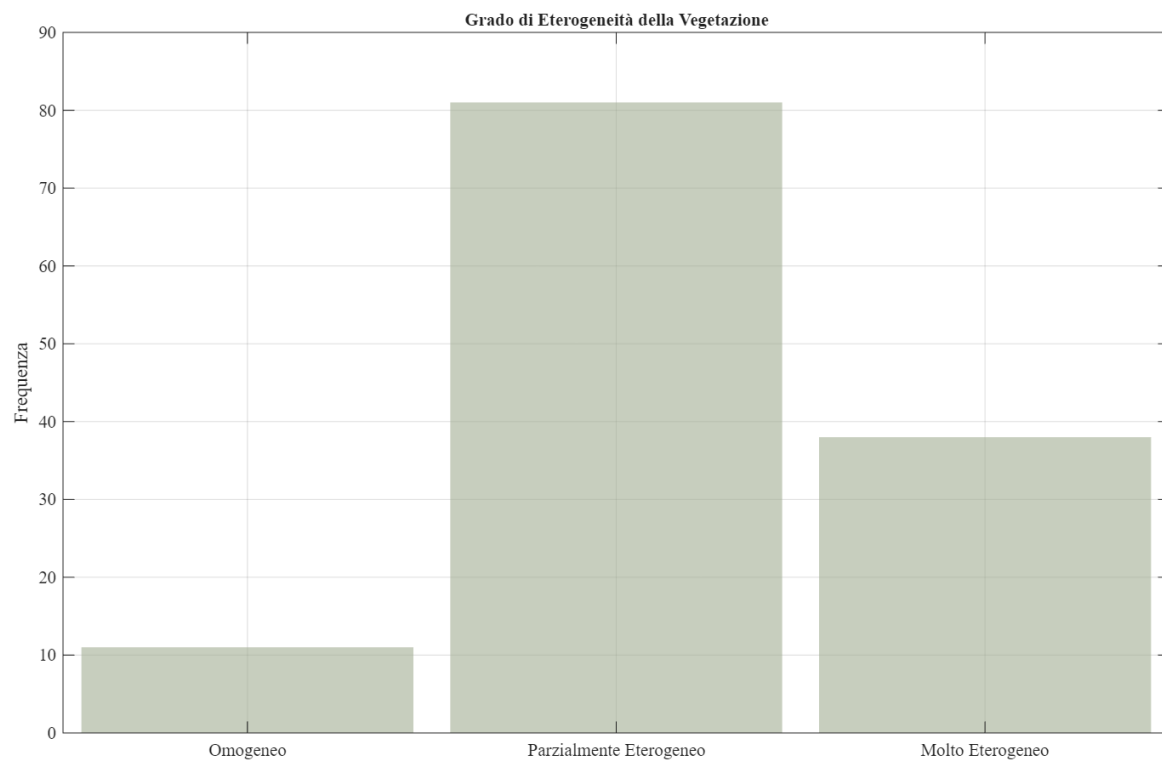


5.3.6. Preferenze estetiche: eterogeneità del rivestimento

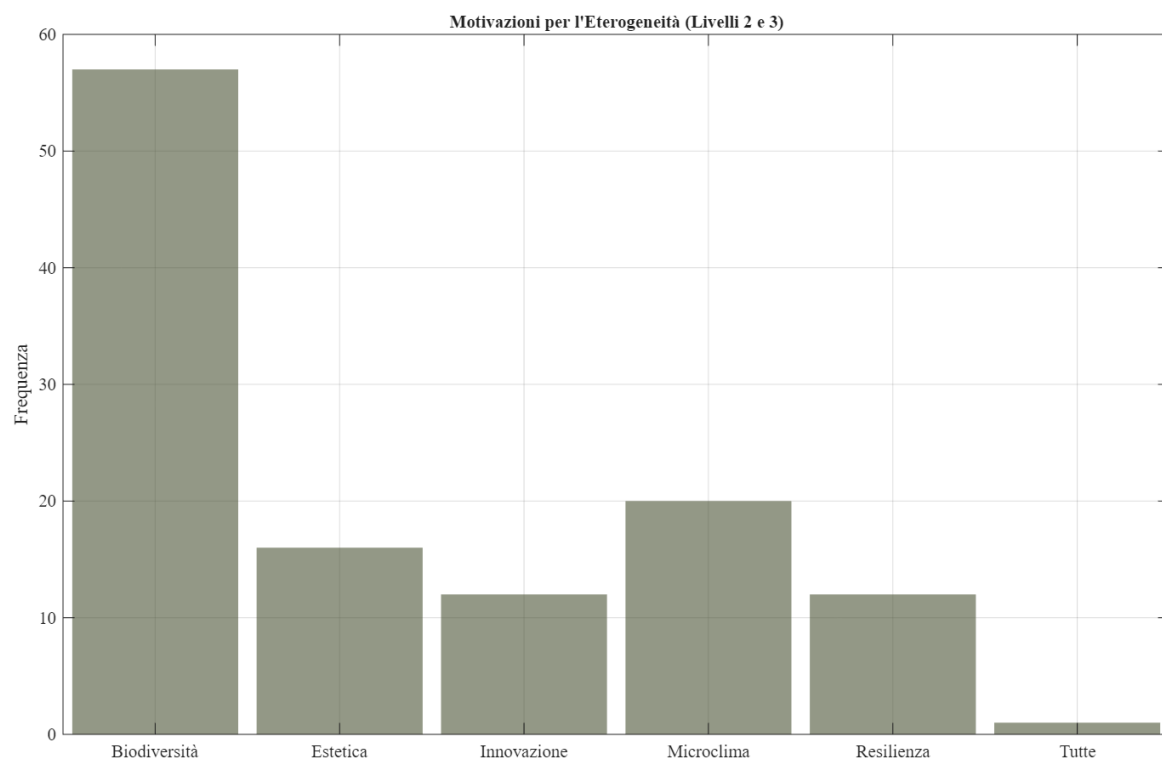
Alla domanda sull'aspetto preferito per un involucro a muschio, considerando che a maggiore eterogeneità corrisponde maggiore biodiversità, il 62,3% degli intervistati ha preferito un rivestimento parzialmente eterogeneo (livello 2), il 29,2% un rivestimento molto eterogeneo (livello 3) e solo l'8,5% una superficie omogenea (livello 1). Tra coloro che hanno scelto l'eterogeneità, la motivazione principale è stata la valorizzazione della biodiversità (57 rispondenti, 56,4%), seguita da ragioni di microclima (20 rispondenti, 19,8%), estetica (16, 15,8%), resilienza (12, 11,9%) e innovazione (12, 11,9%).

5.3.7. Considerazioni conclusive

I risultati del sondaggio delineano un quadro incoraggiante per la diffusione del sistema MosSkin: la maggioranza del campione si mostra favorevole o aperta all'installazione, motivata principalmente da ragioni funzionali, come miglioramento della qualità dell'aria, efficienza energetica e sostenibilità ambientale piuttosto che estetiche. Il principale ostacolo percepito rimane quello dei costi di gestione nel lungo periodo, un aspetto che la ricerca in corso dovrà continuare ad affrontare per rendere il sistema pienamente competitivo sul mercato.



85



5.1 – Il sistema: pasta di muschio

Modulare · superfici verticali, inclinate e curve · irrigazione

5.2 – TRE FASI DI RICERCA

01

Fase 1 · 2018–20

Selezione specie:

Barbula unguiculata



Test orizzontali e verticali
in camera di crescita

Pubbl. Building & Env. 2020

02

Fase 2 · 20

Sviluppo sistema Mo

Substrati eco-compat

–13,9°C a pannello b

–8,7°C media config

4 config. di pannello

Pubbl. Building & Env.

5.3 – Sondaggio sulla popolazione ·



90,8% favorevole o aperto all'installazione

Motivazione 1^a: aria salubre (4,70/5)

Motivazione 2^a: riduzione costi energetici (4,67/5)

Sistema validato su 3 fronti: termico · purific

7 anni di ricerca continua · DaD + DISTA

TO MOSSKIN

50 €/m² vs 300 €/m² LWS

su pannello in feltro

zione a goccia · membrana impermeabilizzante

A (2018–2025)

2021–22

sSkin
ibili
agnato
. orizz.
testate

2022

03

Fase 3 · 2025

Test stazione ARPAL

45.600 particelle/mm²

45–55% PM0.5 ultrafini

G. pulvinata: particelle 2–7,5 µm

6 pannelli urbani a Genova

Pubbl. Building & Env. 2025

130 rispondenti liguri

Ostacolo principale: costi manutenzione

Ubicazione preferita: edifici pubblici 48,5%

Aspetto estetico: non determinante

cazione · percezione sociale

AV · Università degli Studi di Genova

IL CASO STUDIO DEL DAD



6

6.1. PRESENTAZIONE DEL PROGETTO



Per essere in grado di approfondire la validazione scientifica della tecnologia introdotta da MosSkin, il passo successivo è stato la predisposizione di un pannello sperimentale installato presso il Dipartimento di Architettura e Design dell'Università degli Studi di Genova, pensato come un sistema di indagine volto a esaminare nel dettaglio il comportamento termo-igrometrico dell'intero pacchetto tecnologico. In questo passaggio l'obiettivo primario è quello di procedere a una raccolta sistematica di dati ambientali, monitorando allo stesso tempo le dinamiche di attecchimento e crescita della pasta di muschio in diretta correlazione con le sollecitazioni dell'ambiente esterno, l'efficacia del sistema di irrigazione e le

specifiche condizioni microclimatiche del sito d'installazione. La scelta del posizionamento del pannello è ricaduta su una superficie verticale situata presso il terrazzo del primo piano ammezzato del Dipartimento. Tale collocazione è stata scelta intenzionalmente in quanto caratterizzata da un'esposizione significativa ai carichi del vento e una scarsa protezione dalle precipitazioni; ciò ha permesso di configurare uno scenario di prova stress-test, fondamentale per validare la resistenza del sistema in condizioni limite e garantire l'affidabilità del pannello anche in situazioni ambientali più critiche.

L'applicazione pratica del prototipo risponde alla necessità di disporre di un supporto in scala reale (1:1), conforme alle specifiche del progetto originario, sul quale sia possibile condurre analisi empiriche accurate anche attraverso l'utilizzo di strumentazioni avanzate come data logger e termocamere. Questi strumenti permettono di rilevare con precisione la temperatura superficiale e l'umidità relativa, parametri fondamentali per una valutazione oggettiva delle prestazioni dell'involucro vegetale nel corso del tempo. In questa fase dell'attività l'indagine si è concentrata prevalentemente sulla validazione delle soluzioni costruttive e delle



*Sopra e a lato: installazione dimostratore sistema MosSkin presso il Dipartimento di Architettura e Design, Università degli Studi di Genova
Fotografie originali*

dotazioni impiantistiche definite durante la fase di progettazione, ponendo particolare attenzione sulla verifica della compatibilità funzionale tra il supporto materico, la componente biologica e i cicli del sistema di irrigazione automatizzato.

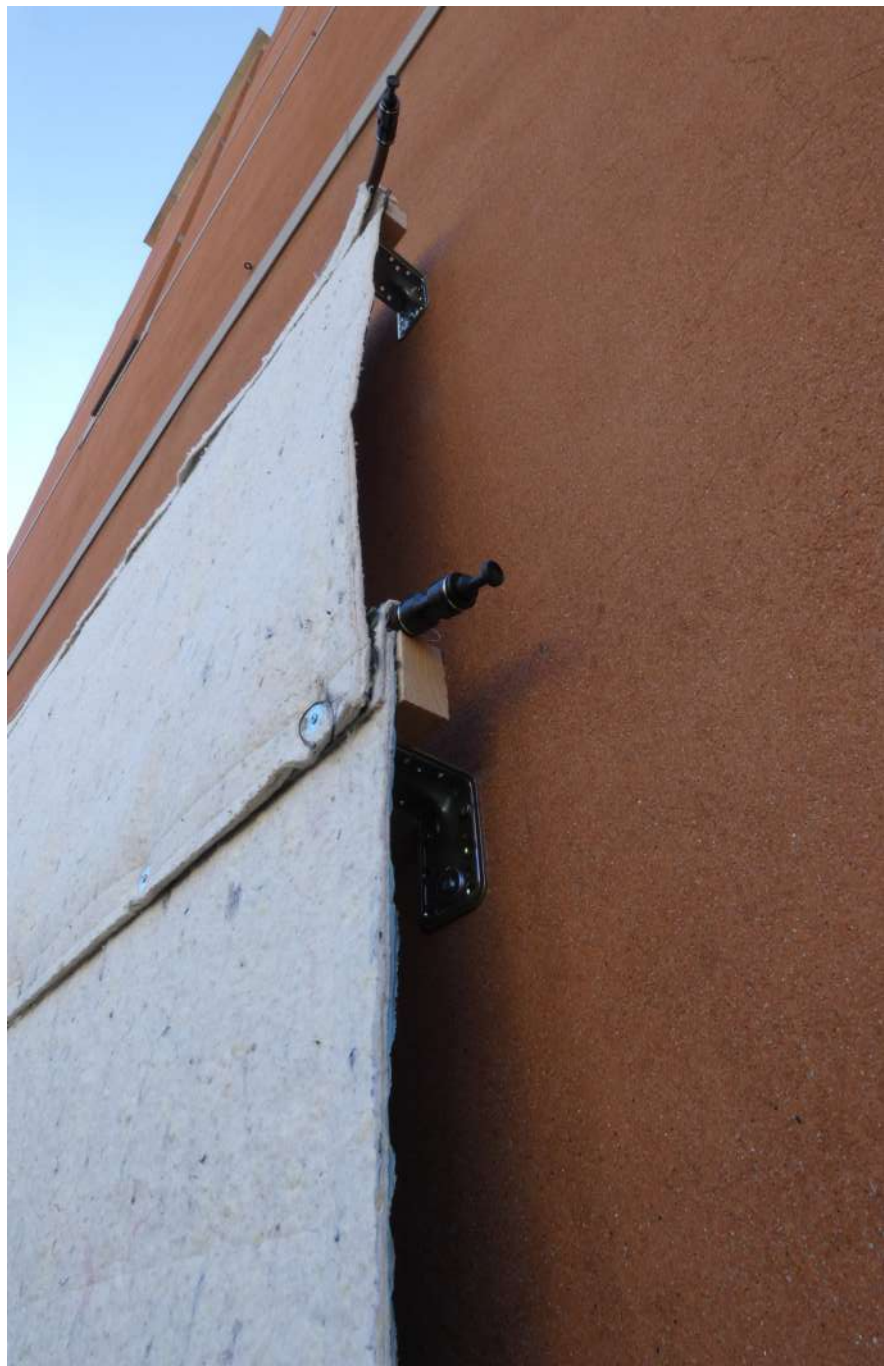
6.2. FASE DI INSTALLAZIONE E INVERDIMENTO DEL PANNELLO

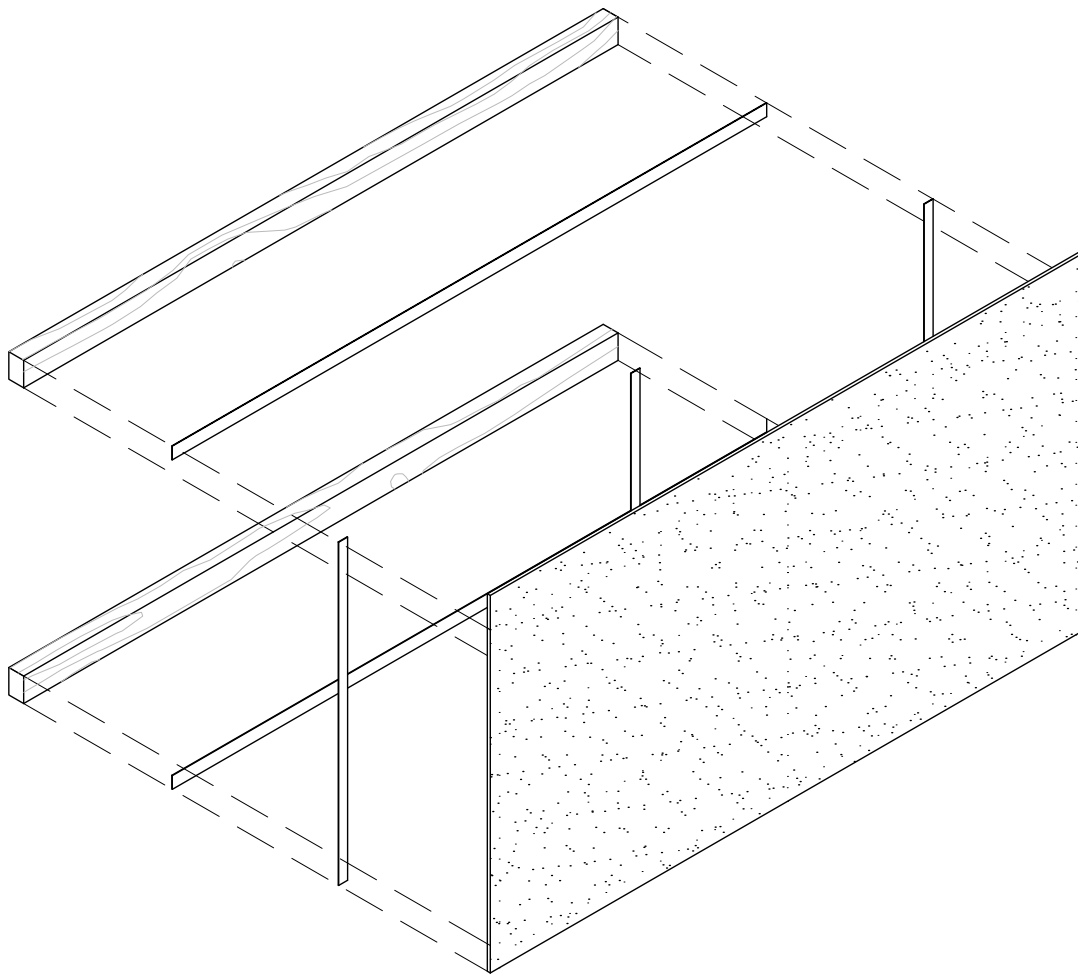
L'installazione del pannello sperimentale è avvenuta a metà del mese di novembre, in una posizione che fosse esposta climaticamente ma che potesse, al contempo, permettere lo svolgimento delle attività di monitoraggio, controllo e manutenzione.

Il sistema complessivo installato è composto da due pannelli modulari di dimensioni 2x1 m ciascuno, per una superficie complessiva di 4 m². Il telaio è stato costruito in loco, anche per verificare i tempi complessivi di installazione senza l'ausilio di una struttura pre-assemblata, mediante l'impiego di tre travetti con sezione 5x8 cm e lunghezza di 2 m per gli elementi orizzontali di irrigidimento. Per mantenere il sistema stabile e distanziato dalla parete, così da permettere la ventilazione della facciata dell'edificio, sono state impiegate delle squadre di fissaggio metalliche.

I pannelli in feltro per questa applicazione e per le successive sperimentazioni sono stati realizzati su misura dalla ditta Confezioni Lella di Vado Ligure.

La fase di inverdimento è stata avviata a inizio dicembre, con l'applicazione della pasta di muschio direttamente sul supporto già installato. Sono state utilizzate tre differenti tipologie di paste di muschio, selezionate per osservare e confrontare i diversi





Spaccato assonometrico affissione del sistema MosSkin

comportamenti di attecchimento, crescita e resistenza al dilavamento.

L'applicazione è avvenuta tramite una pistola a compressione per granulati spessi da 7,5 L, che ha permesso una distribuzione più omogenea e agevole rispetto alla stesura a spatola sulla superficie dell'intero pannello, garantendo una buona adesione iniziale al supporto. Al termine del processo di inverdimento, è stato applicato sopra il muschio un telo di tessuto non tessuto (TNT) al fine di proteggere la pasta durante la fase di crescita iniziale.

Per quanto riguarda il sistema di irrigazione, in un primo momento è stata installata un'ala

gocciolante con fori ogni 30 cm, posizionata lungo la parte superiore del pannello in una tasca studiata appositamente. La centralina installata regola un flusso d'acqua di 10 secondi ogni 10 minuti, per un totale di 5,6 litri giornalieri, con una perdita d'acqua stimata di 3,5 litri. A seguito delle prime osservazioni sperimentali, il sistema è stato successivamente sostituito con un tubo poroso, ritenuto più adatto per garantire un'irrigazione diffusa e omogenea, in linea con le soluzioni adottate nei pannelli sperimentali installati nelle aree dei Parchi di Nervi, della Foce e dell'Orto Botanico di Genova.

6.3. MONITORAGGI PREVISTI

La fase successiva a quella di installazione prevede l'avvio del monitoraggio termigrometrico finalizzato alla valutazione delle prestazioni ambientali del pannello nel tempo. Lo studio sarà condotto, fino a luglio, mediante l'utilizzo di data logger per la rilevazione continua della temperatura superficiale, integrando eventuali campagne di acquisizione attraverso l'utilizzo di un termometro superficiale.

Si prevede che i sensori verranno installati in modo da rilevare le condizioni microclimatiche in prossimità della superficie del pannello e in punti di riferimento esterni, al fine di consentire un confronto tra l'assenza e la presenza del sistema MosSkin.

In un secondo momento i dati raccolti verranno confrontati con i dati ottenuti dalle stazioni meteorologiche situate in Via Balbi e al Porto Antico.

I sensori ©testo 174T verranno installati in differenti posizioni attigue all'intero pannello per ricreare una regione microclimatica che permetta il raffronto dei dati ottenuti: saranno dietro i due pannelli nella parte invernata, in una porzione del sistema in assenza di muschio, su una superficie costantemente esposta al sole e su una invece in ombra.

La raccolta dei dati termici viene svolta a

campione, in quanto i sensori sono stati programmati per registrare i dati delle temperature ciclicamente ogni 15 minuti a partire da marzo 2026 fino a luglio 2026.

L'analisi e la valutazione dei dati raccolti permetteranno di:

- 1) valutare l'andamento di temperatura in corrispondenza del pannello vegetale;
- 2) confrontare le prestazioni delle diverse tipologie di pasta di muschio impiegate, e le differenze a pannello irrigato ma in assenza o presenza di materiale biologico;
- 3) analizzare l'influenza del sistema di irrigazione sulle condizioni microclimatiche locali;
- 4) individuare eventuali criticità o comportamenti anomali del sistema nel tempo.

I risultati ottenuti da questi studi costituiranno la base per una valutazione complessiva dell'efficacia del sistema MosSkin come dispositivo sperimentale e come possibile elemento applicabile a sistemi di rivestimento architettonico, fornendo le informazioni necessarie per i futuri sviluppi progettuali e per ulteriori approfondimenti di ricerca.

6.4. RISULTATI MONITORAGGI

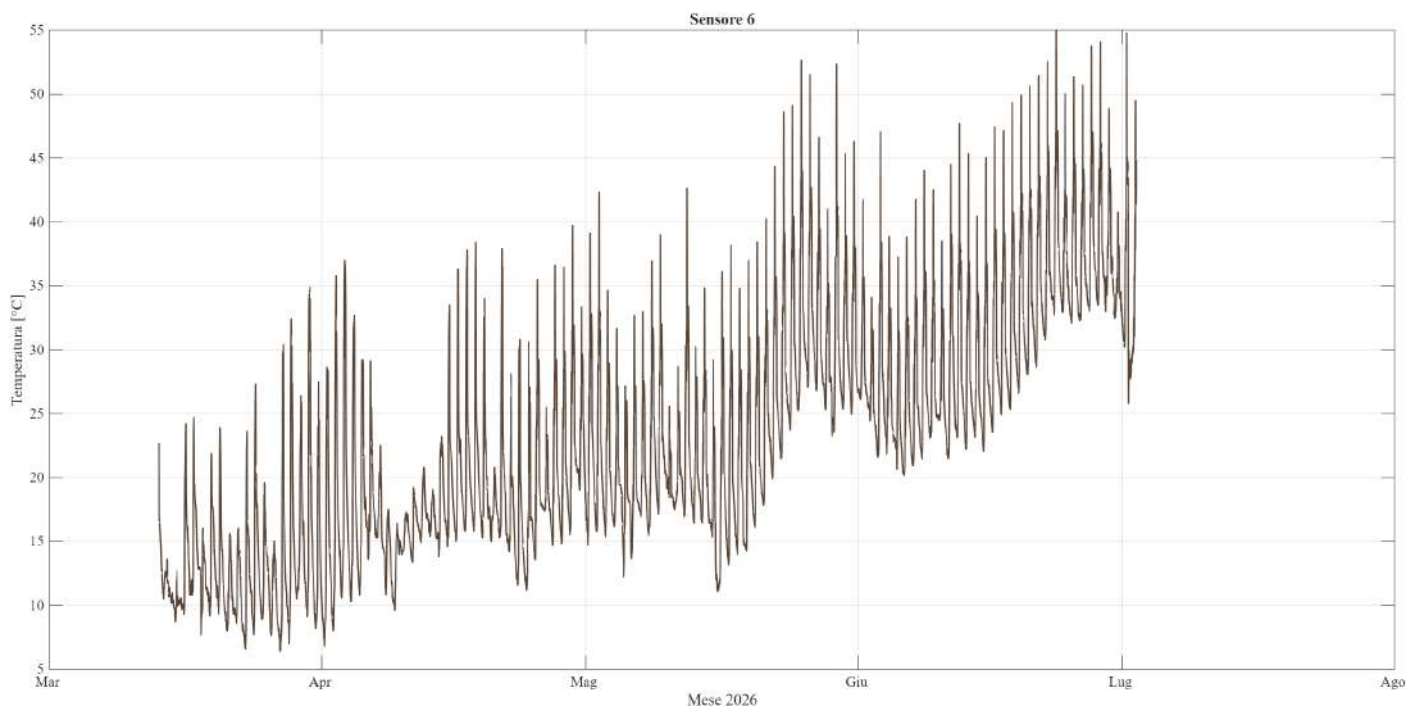
I dati acquisiti durante la campagna di rilevazione consentono un confronto diretto tra il comportamento termico della parete spoglia, di una porzione di parete su cui è stato installato solo parte del sistema (senza componente vegetale), e le due porzioni trattate con il sistema MosSkin (nella parte inferiore e superiore).

Nel periodo di monitoraggio (dal 13 marzo

2026 al 2 luglio 2026), la parete scoperta ha mostrato una temperatura media di $23,3^{\circ}\text{C}$; la parete con solo feltro, ma senza muschio, di $20,1^{\circ}\text{C}$; il sensore sulla banda in muschio superiore ha registrato $19,9^{\circ}\text{C}$, mentre quello sulla banda inferiore $19,59^{\circ}\text{C}$.

La differenza sostanziale si manifesta tuttavia non tanto nei valori medi, quanto nei picchi e nella variabilità.





Risultati rilevazione delle temperature su facciata scoperta (sensore 1)

95

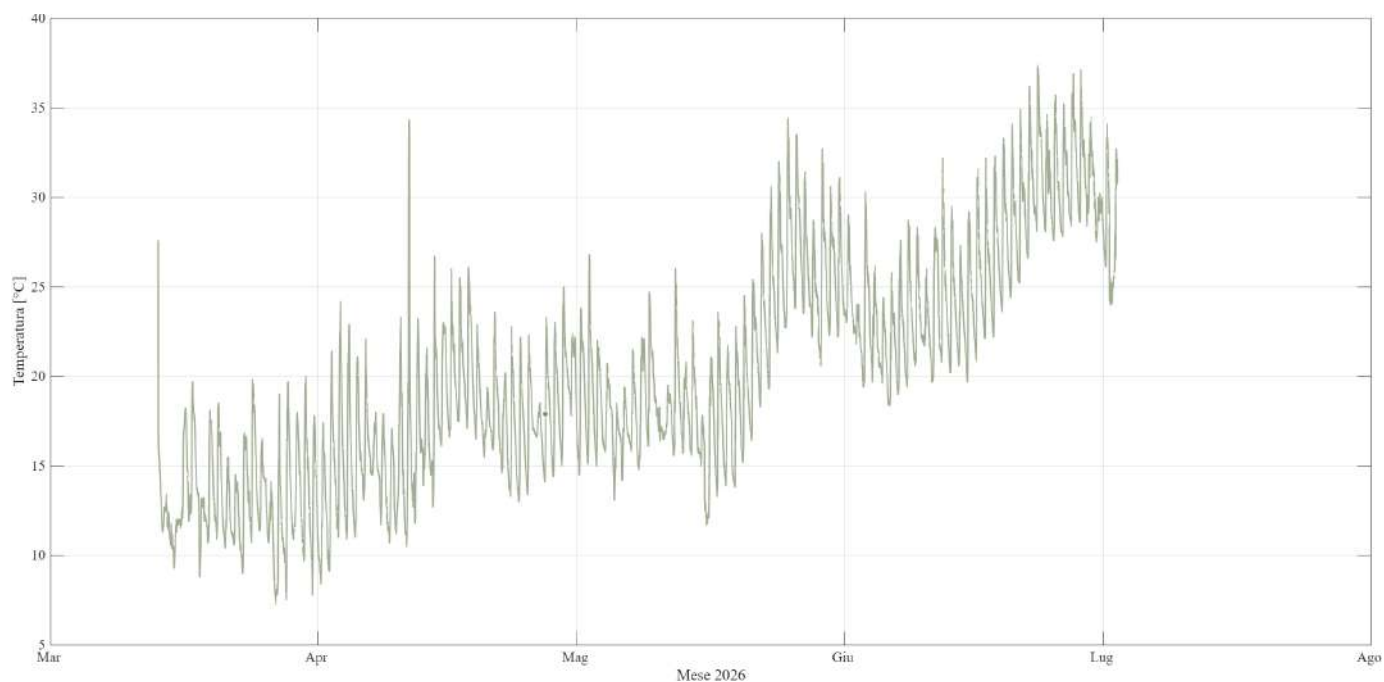
La temperatura massima registrata sulla parete scoperta ha raggiunto i 48,26°C, contro i 37,4°C della parete con solo feltro, i 36,1°C della banda in muschio superiore e i 35,8°C di quella inferiore, con uno scarto istantaneo che, nei momenti di massima insolazione, ha toccato i 16-19°C.

Anche la deviazione standard, ovvero la dispersione dei dati attorno alla loro media, conferma questo pattern: 5.66 °C per la parete scoperta contro i 3.5-3.8°C per le porzioni di MosSkin, indicando che il sistema non si limita a ridurre la temperatura media ma agisce soprattutto smorzando l'ampiezza delle oscillazioni termiche, offrendo un effetto stabilizzante che si accentua nelle condizioni di maggior stress termico.

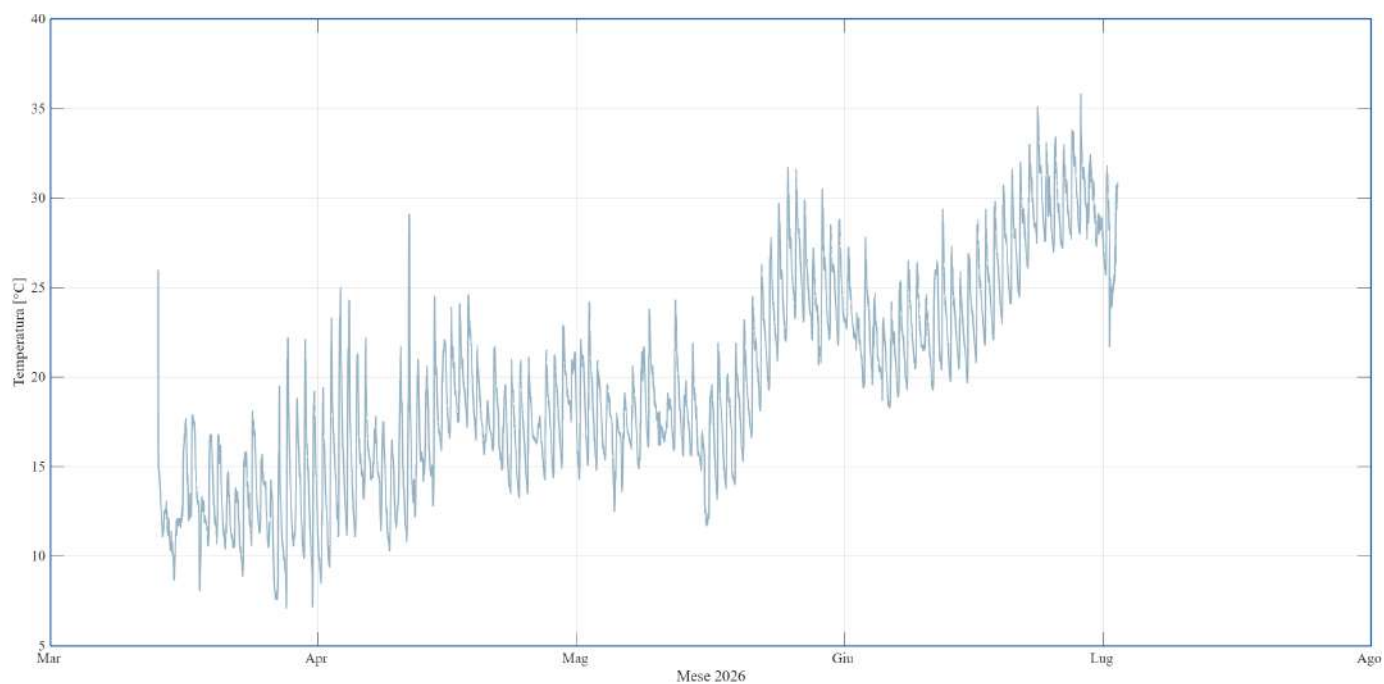
I dati raccolti suggeriscono che questo differenziale termico si amplifica ulteriormente

nei mesi più caldi, con proiezioni che indicano circa 19-20°C di scarto nelle ore centrali delle giornate più calde di fine giugno, a fronte di massimi di 35-36°C registrati nello stesso momento dalle porzioni in cui è stato installato il sistema MosSkin.

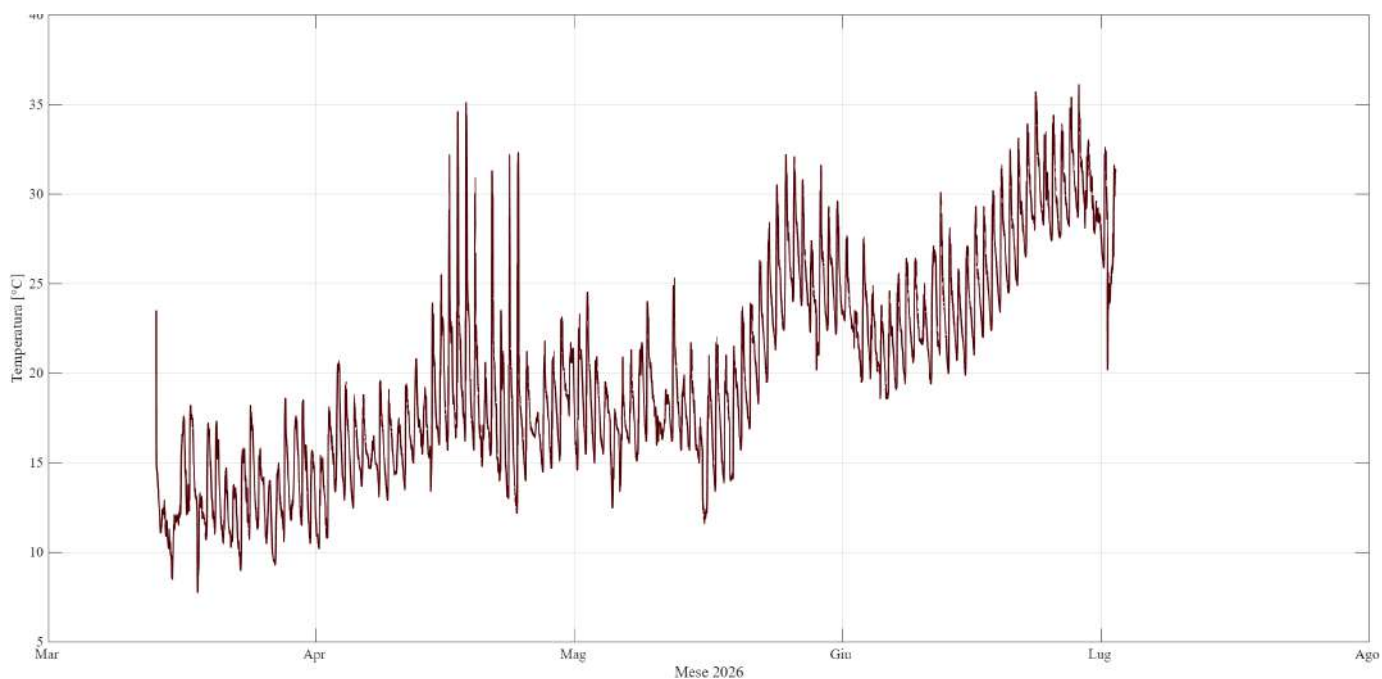
Questo andamento conferma un aspetto cardine ai fini della ricerca, ovvero l'efficacia del sistema non è costante nel tempo, ma cresce proporzionalmente all'intensità del carico termico incidente; quindi, nei momenti di maggior stress climatico, quando la mitigazione è più necessaria, il sistema MosSkin offre il beneficio prestazionale più significativo, a sostegno della sua validità come strategia di contrasto puntuale al fenomeno dell'isola di calore urbana.



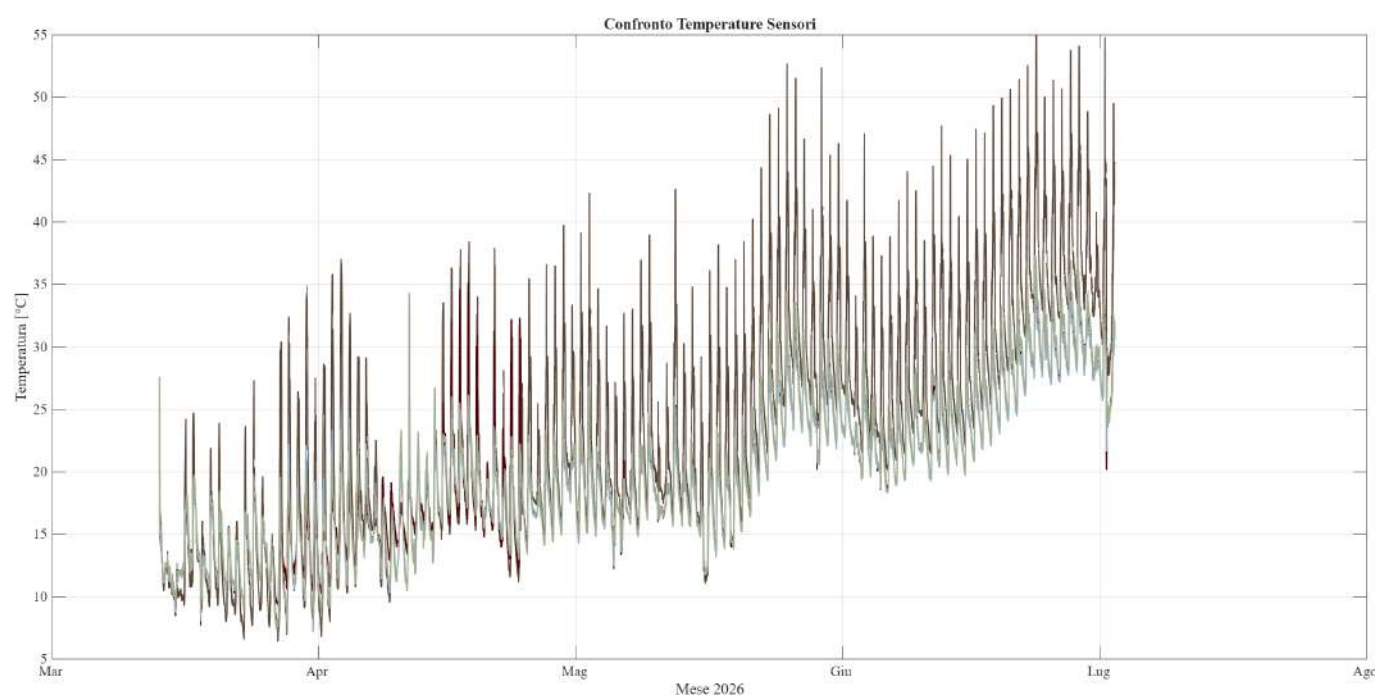
Risultati rilevazione delle temperature con porzione di facciata in feltro senza componente biologica (sensore 2)



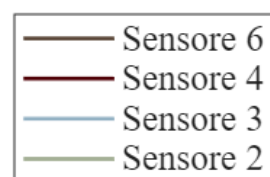
Risultati rilevazione delle temperature con sistema MosSkin completo nella porzione inferiore, soggetta a doppio flusso di irrigazione (sensore 3)



Risultati rilevazione delle temperature con sistema MosSkin completo nella porzione superiore (sensore 4)



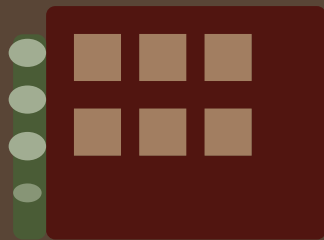
Confronto dei dati termici dei quattro sensori



Scopo

Installazione

6.1 Scopo



Validazione in scala reale 1:1
Stress-test: vento e pioggia
Terrazzo I piano ammezzato
Data logger + termocamera

6.2 Installazione



2 pannelli 2×1 m =
Telaio in legno 5×8
3 paste di muschio
TNT protezione d

OBIETTIVI DEL M

1.

Andamento termico
sul pannello vegetale

2.

Confronto tra diverse
paste di muschio

3 siti urbani di Genova

DaD → controllato

Parchi di Nervi → ve

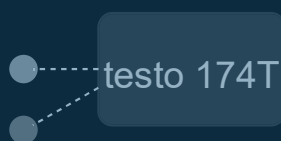
lazione

Monitoraggio

nov-dic 2025

4 m² tot.
8 cm in loco
a confronto
durante crescita

6.3 Monitoraggi previsti



Sensori testo 174T

4 posizionamenti

Misure giornaliere ogni 15 minuti

Confronto bagnato / asciutto

Staz. Via Balbi + Porto Antico

MONITORAGGIO

3.

Influenza sistema
di irrigazione

4.

Individuare criticità
e comportamenti anomali

a per variabilità dei dati

verde / basso inquin.

Viale Brigate Partigiane → alto traffico

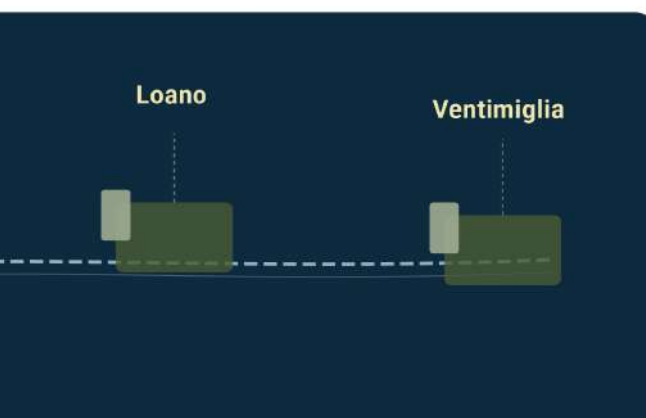
APPLICAZIONE PROGETTUALE DI MOSSKIN

Genova
Quarto dei Mille



7

7.1. IPOTESI PROGETTUALE E INDIVIDUAZIONE DEGLI EDIFICI DI INTERVENTO

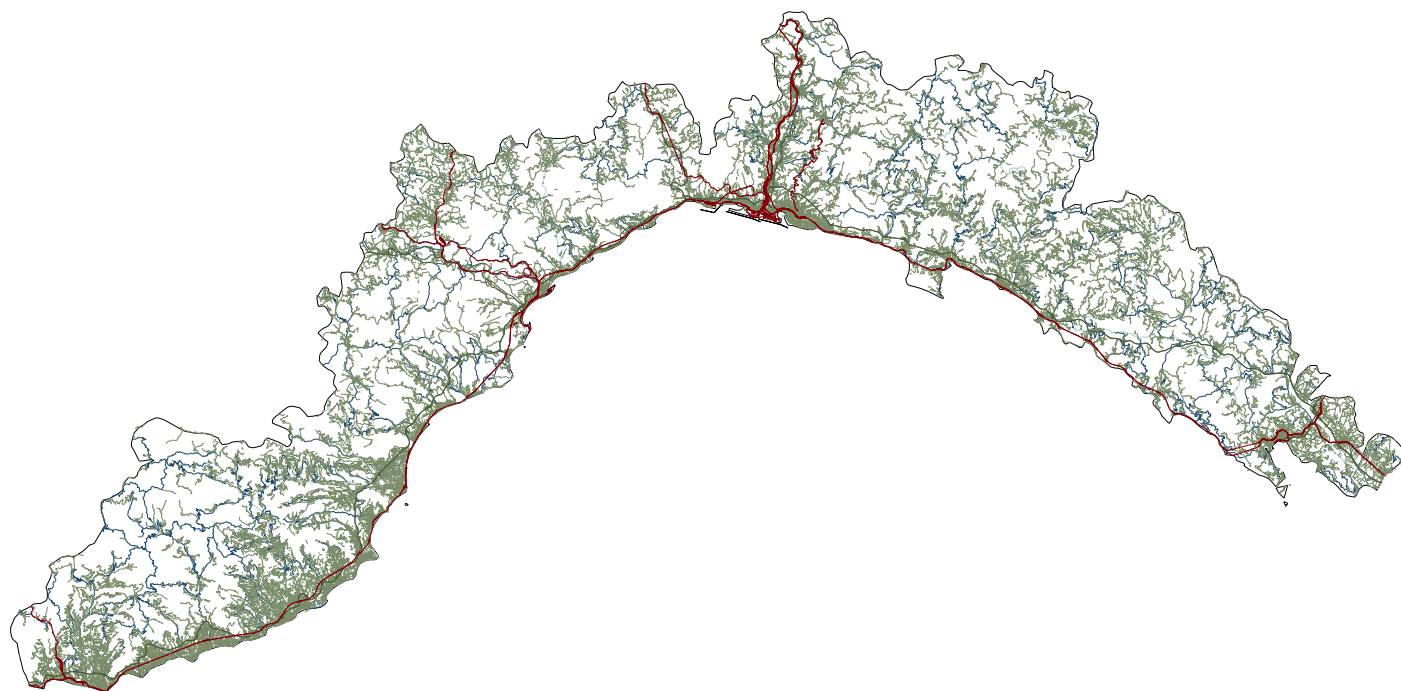


A seguito dell'installazione sperimentale condotta presso il Dipartimento, la presente tesi propone un progetto di applicazione del sistema MosSkin in ambito urbano, con l'obiettivo di verificarne le potenzialità come dispositivo replicabile e connettivo all'interno dell'ambiente cittadino. L'ipotesi progettuale nasce dalla volontà di utilizzare il verde verticale come strumento di riqualificazione diffusa, capace di instaurare relazioni visive, ambientali e simboliche tra luoghi differenti che condividono la medesima funzione sociale e urbana.

Il processo di selezione degli edifici oggetto di intervento è stato impostato su una serie di rigorosi criteri funzionali, urbani e normativi. Inizialmente, l'analisi si è concentrata su

edifici non residenziali caratterizzati da funzioni amministrative o di servizio, identificati come i soggetti più idonei per l'integrazione di sistemi vegetali per ragioni di gestione centralizzata e facilità di accesso per la manutenzione. All'interno di questa macrocategoria, l'attenzione si è focalizzata sulle stazioni ferroviarie della Liguria, intese non solo come infrastrutture di trasporto, ma come nodi strategici di attraversamento e catalizzatori di processi di rigenerazione. Le stazioni rappresentano spazi fortemente riconoscibili, spesso definiti da fronti edilizi estesi e dotati di un'elevata visibilità pubblica, fattori che le rendono supporti ideali per la sperimentazione del verde verticale.

In una fase preliminare, sono stati individuati gli scali di Genova Quarto dei Mille, Loano, Ventimiglia, Albenga, Albisola, Cogoleto e Pietra Ligure. Questa selezione ha tenuto conto della distribuzione lungo l'asse costiero ligure, al fine di garantire una varietà di contesti urbani, climatici e dimensionali. Successivamente, per ragioni di approfondimento progettuale, si è scelto di restringere il campo di applicazione a tre stazioni specifiche sulle quali sviluppare l'intervento in modo dettagliato: Genova Quarto dei Mille, Loano e Ventimiglia.



La selezione definitiva ha escluso le strutture sottoposte a vincoli monumentali o di tutela diretta da parte della Soprintendenza (fatta eccezione per la stazione di Ventimiglia, selezionata per le particolari finestre ad arco in facciata) prediligendo edifici che presentassero maggiori margini di manovra e una spiccata adattabilità tecnica al sistema MosSkin. Questo percorso selettivo ha permesso di definire un quadro in cui il sistema vegetale non è solo un'aggiunta estetica, ma uno strumento flessibile e pronto a rispondere a diverse condizioni architettoniche.

7.2. MOSS-RAIL

Il progetto si configura come una strategia di intervento a scala territoriale regionale, che mira a trasformare una sequenza di episodi architettonici puntuali in una vera e propria rete di verde infrastrutturale. In questa visione, il sistema ferroviario esistente evolve: non è più considerato esclusivamente un'infrastruttura di mobilità, ma diventa il supporto spaziale e simbolico per l'innesto di dispositivi di riqualificazione ambientale. Il concept, denominato MOSS-RAIL, utilizza il muschio come elemento in grado di accompagnare e valorizzare il tracciato ferroviario, trasformando i tempi di attesa e di transito in un'esperienza di prossimità con la natura.

Le stazioni ferroviarie assumono il ruolo di nodi di questa rete diffusa, agendo come fulcri e, contemporaneamente, centri di irradiazione del progetto sul tessuto cittadino. L'intervento su ogni singola stazione, pur declinato secondo le specificità del sito, non è considerato un'azione isolata, bensì parte di un sistema coerente e riconoscibile. Il verde verticale diventa così il linguaggio comune capace di collegare luoghi urbani distanti che condividono la medesima funzione d'uso. Attraverso la modularità di MosSkin, è possibile intervenire su superfici

estremamente eterogenee, adattando il sistema alle caratteristiche materiche di ogni edificio senza snaturarne l'identità originaria. La ripetizione controllata del dispositivo genera una continuità visiva che rafforza la percezione della rete, pur rispettando le diversità dei singoli contesti locali.

Dal punto di vista ambientale, il progetto MOSS-RAIL ambisce a migliorare le condizioni microclimatiche delle aree di intervento, contribuendo alla mitigazione dell'effetto isola di calore e alla captazione delle polveri sottili in luoghi densamente frequentati. La costruzione della rete avviene attraverso l'applicazione di criteri condivisi che guidano l'installazione dei pannelli, quali l'orientamento solare delle facciate, la relazione con le piazze antistanti e la visibilità dai flussi pedonali. In definitiva, il progetto intende proporre un modello replicabile di integrazione tra infrastruttura e natura, configurandosi come una nuova strategia di riqualificazione sostenibile per il patrimonio costruito esistente.

VENTIMIGLIA

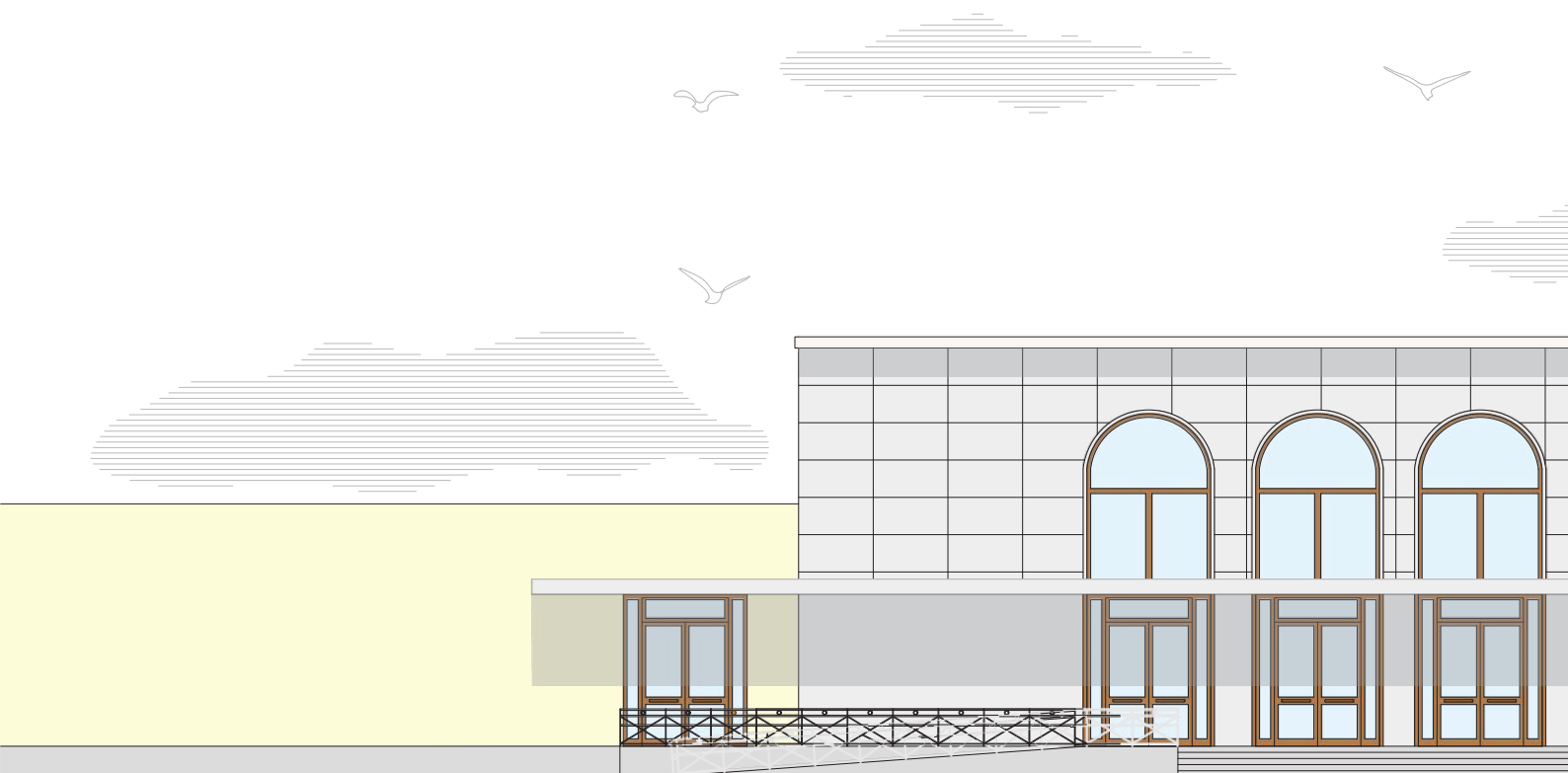
La stazione di Ventimiglia occupa una posizione unica lungo la costa ligure, è infatti l'unico scalo internazionale della riviera di Ponente, e punto di raccordo tra la rete ferroviaria italiana e quella francese.

Qui confluiscono quattro linee: la Marsiglia-Ventimiglia, la Ventimiglia-Genova, la Cuneo-Ventimiglia e il raccordo merci verso l'ex scalo di Parco Roja, dismesso dal 2017, facendo di Ventimiglia uno dei nodi ferroviari più complessi e trafficati dell'intera regione.

Aperta al traffico nel 1871 e dichiarata stazione internazionale nel 1882, l'attuale

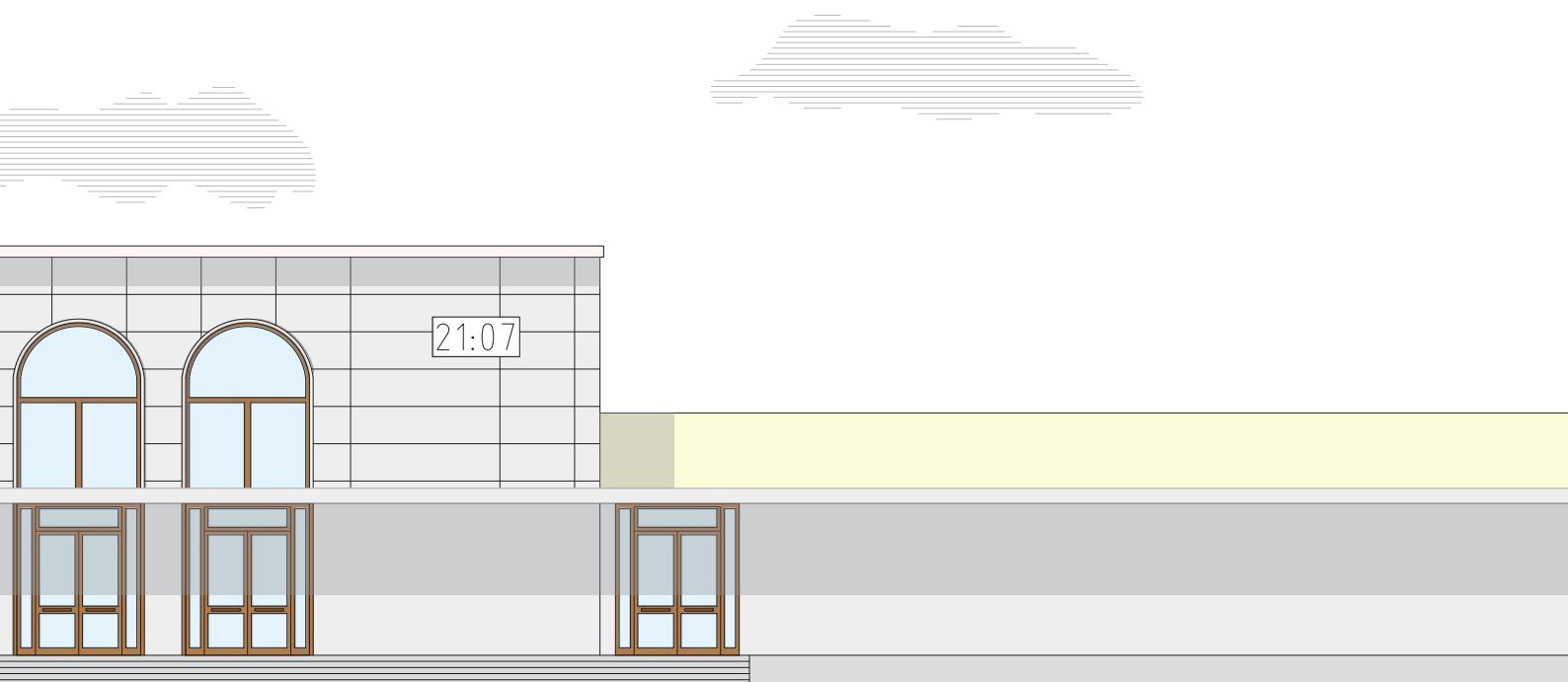
fabbricato viaggiatori nasce dalla ricostruzione affidata all'architetto Roberto Narducci, che ne disegnò le linee razionaliste in continuità con altri edifici pubblici della città, come il municipio e la palestra comunale.

L'edificio si trova in piazza Cesare Battisti, a monte rispetto alla linea di costa: questa scelta non è stata casuale, ma dettata in origine dalla difficoltà di conciliare un primo progetto di ponte ferroviario, presso la foce del fiume Roja, con le esigenze idrauliche del bacino, soprattutto a fronte delle pendenze necessarie ai binari.



Una contesa che, risolta a favore della collocazione a monte, ha lasciato libero l'affaccio sul mare, privilegio che quasi nessun'altra città costiera ligure ha potuto conservare. lo scalo, dotato di otto binari passanti (dei quali sette destinati al servizio viaggiatori), fu privato nel 1929 della tettoia in ferro che ne copriva i binari, sostituita in seguito da pensiline più contenute; nello stesso intervento fu realizzato il sottopassaggio che oggi distribuisce l'accesso alle banchine. L'edificio, schedato dalla Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio per le

province di Imperia e Savona come bene architettonico, e viene datato dal catalogo tra il 1935 e il 1940, coerentemente gli interventi di Narducci sulla linea.



IL PROGETTO

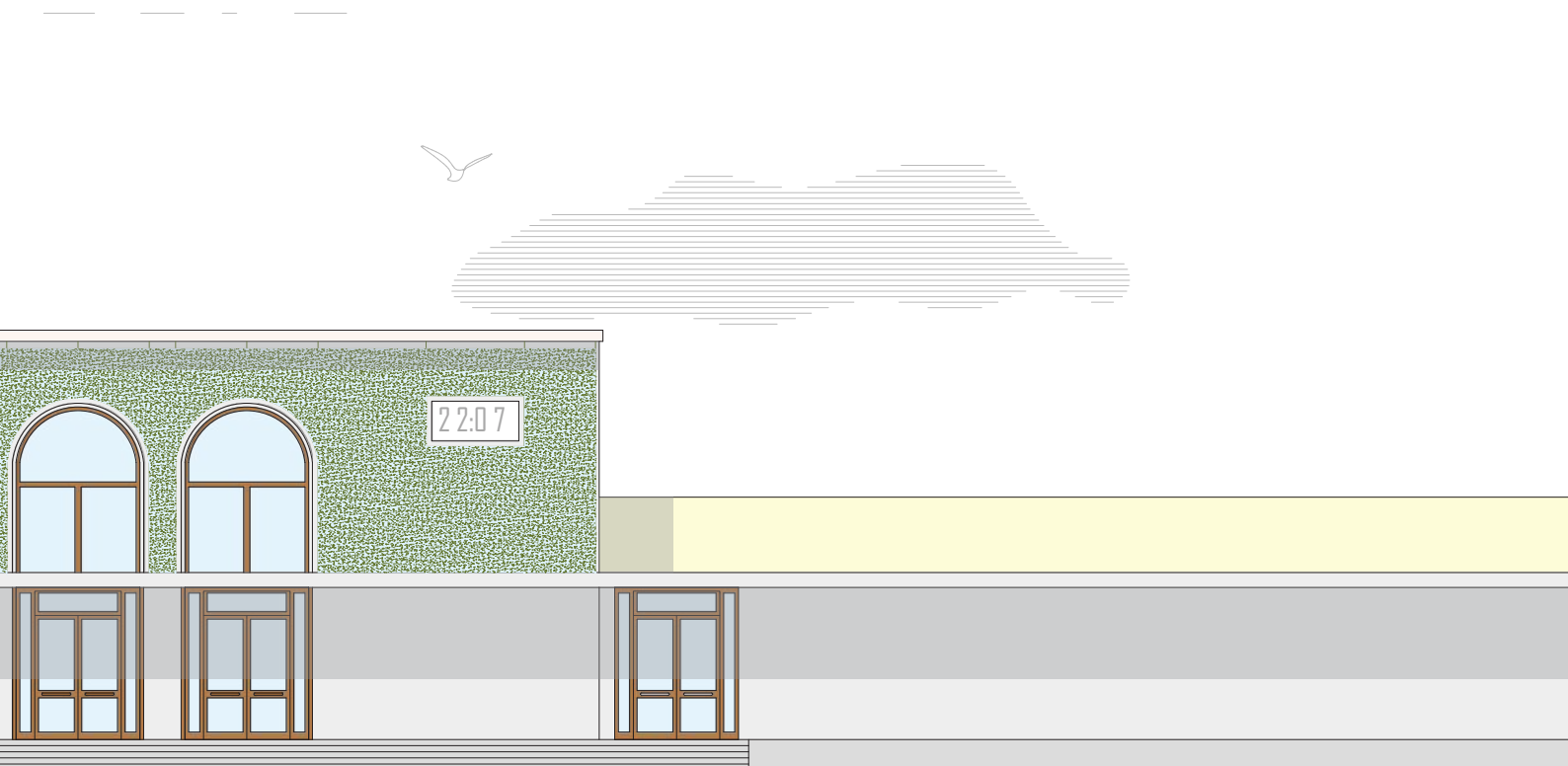
L'intervento sulla stazione di Ventimiglia riguarda la fascia continua del prospetto principale, compresa tra l'imposta delle cinque arcate vetrate e la linea di gronda, campo d'azione perfetto per l'applicazione del sistema MosSkin.

La scelta compositiva è quella di una campitura verde orizzontale unica e interrotta solo dalle finestre, rispecchiando così il ritmo scandito dalle aperture stesse senza introdurre un elemento discontinuo nella lettura del fronte.

Il verde diventa così la naturale prosecuzione del disegno delle arcate originali, piuttosto che una sovrapposizione indipendente da esso. Il sistema è ancorato tramite una struttura di montanti verticali pissati con il sistema di fissaggio Fisher per facciate ventilate, garantendo così l'intercapedine di ventilazione necessaria al pannello e la piena ispezionabilità del rivestimento originale senza interventi invasivi sulla facciata storica.



La continuità della fascia, priva di interruzioni verticali, è stata pensata per massimizzare l'impatto percettivo dell'intervento da distanza, in particolare dal lato a mare, da cui la stazione si offre come un fronte urbano di grande visibilità.



➤ MATTONE FORATO

➤ INTONACO

➤ RIVESTIMENTO

➤ MONTANTE

➤ PANNELLO IN FELTRO INVERDITO

➤ SISTEMA DI FISSAGGIO FISHER PER FACCIATE VENTILATE

➤ SCOSSALINA AD ARCO

109

➤ GRONDA





15:47

P

BAG SELF SERVICE MARKET LILITE LITTE LOTTERIE SOUVENIRS

SELF SERVICE

LOANO

La stazione di Loano, lungo la storica linea Genova-Ventimiglia, fu attivata nel 1872 insieme a gran parte degli scali della Riviera di Ponente.

Inizialmente era composta da un fabbricato in legno come quasi tutte le stazioni della linea in quel periodo,

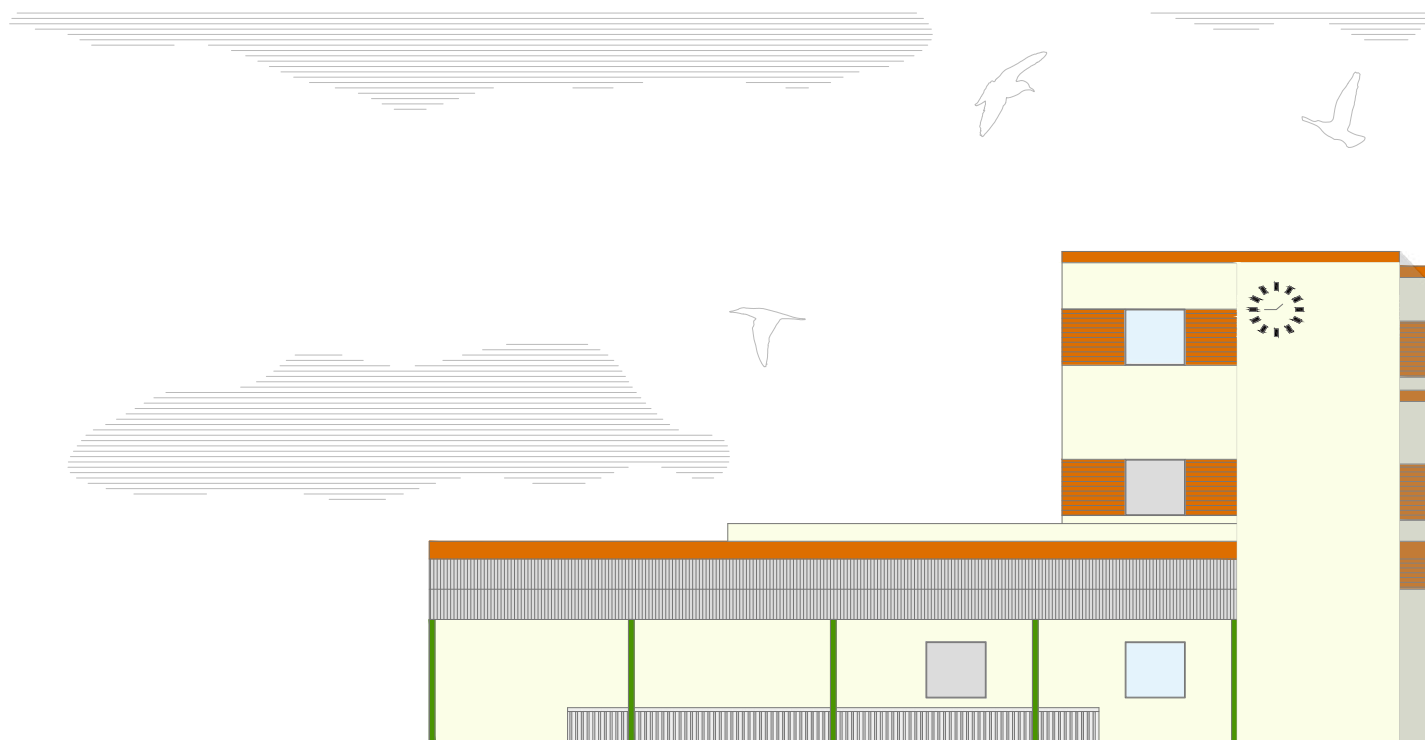
L'edificio attuale nasce invece nel 1936, quando in concomitanza con la realizzazione del secondo binario nel tratto Loano-Albenga, l'architetto Roberto Narducci progettò contestualmente i nuovi fabbricati viaggiatori delle due stazioni,

descritti dallo stesso progettista come opere di carattere moderno ma di assoluta sobrietà.

Lo stesso linguaggio architettonico, negli stessi anni, caratterizzò anche

le stazioni di Finale Ligure Marina e Cogoleto, configurando una vera e propria campagna di rinnovamento dell'immagine ferroviaria della Riviera. Loano è oggi una cittadina costiera a forte vocazione turistica, e la stazione, che si trova a meno di 700 metri dal centro storico e dal lungomare, ne è la porta d'accesso principale.

Dal punto di vista strutturale e materico,



l'edificio è realizzato in muratura ordinaria con solai e terrazze in cemento armato, mentre per le pavimentazioni e piccole tessere di "Ceramica Ligure" per le pavimentazioni e i rivestimenti esterni sono realizzati in pietra di Castel Gavone nel basamento, mentre nella parte superiore si alternano fasce di intonaco a tinta unita e mattoni di paramento cotto nuovo.

L'edificio si sviluppa su tre livelli, anche se solo il piano terra è oggi riservato ai servizi viaggiatori; lo scalo dispone di due binari di servizio passeggeri ed è oggi fermata di treni

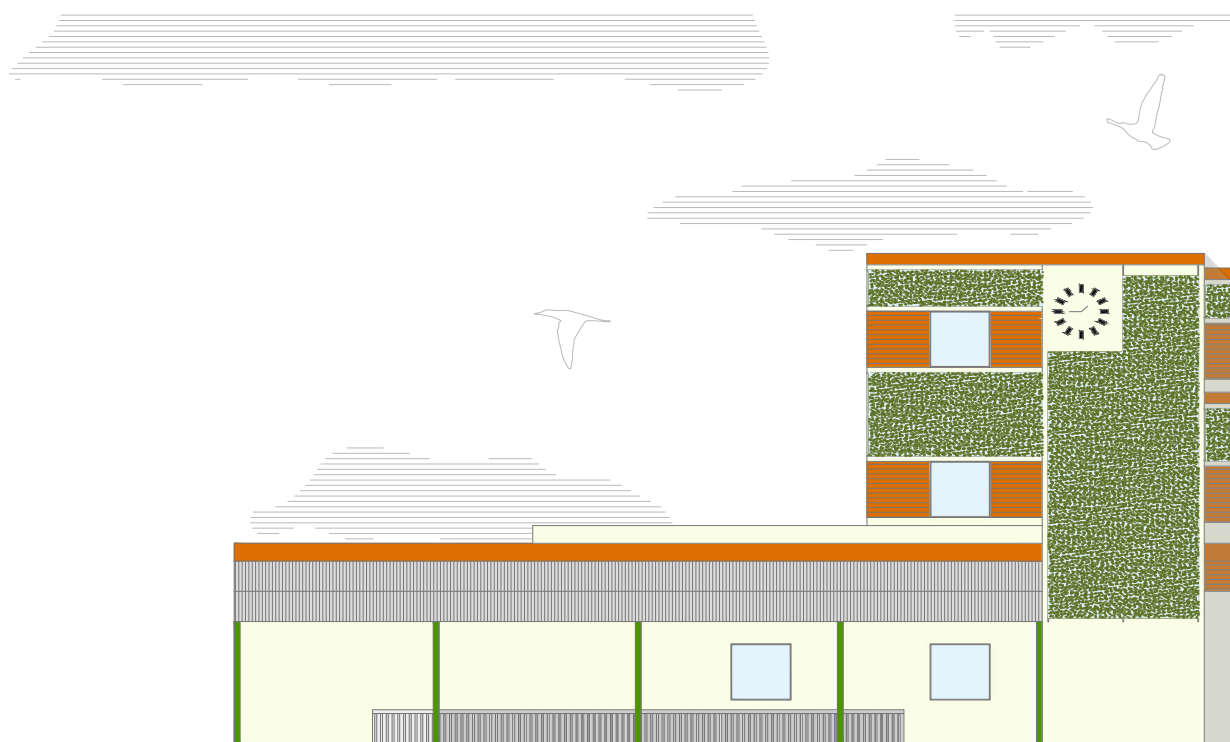
regionali, Regionali Veloci verso Milano Centrale e Torino Porta Nuova e di una coppia di Intercity per Milano Centrale.



IL PROGETTO

114

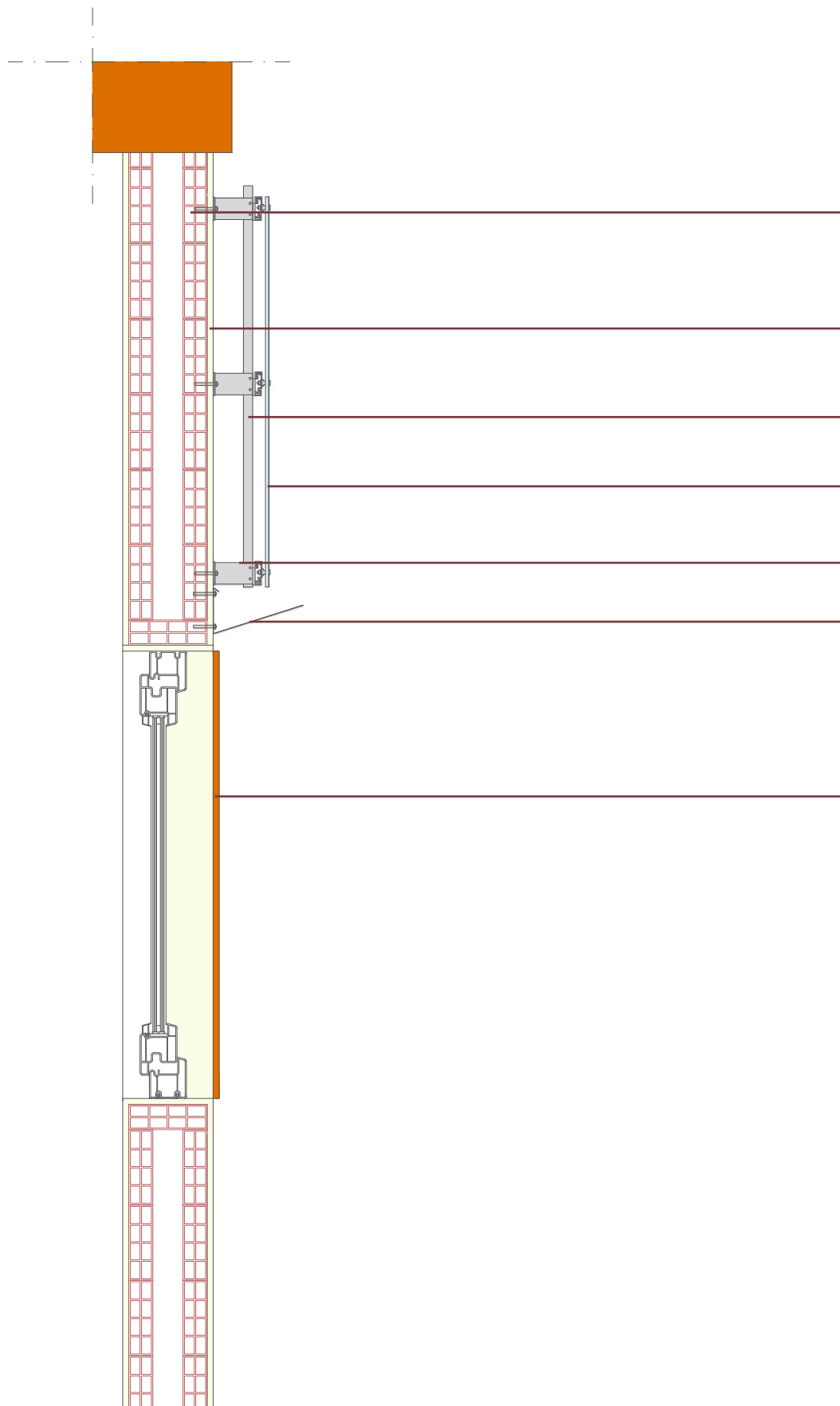
Loano rappresenta, tra le tre stazioni selezionate, il caso di applicazione più complesso, a causa della conformazione a “scaletta” dell’edificio, che cresce in altezza verso il corpo centrale attraverso altri volumi. Il progetto risponde a questa articolazione con una composizione a sua volta stratificata: due fasce orizzontali sovrapposte corrono ai piani superiori dei corpi laterali, mentre un elemento verticale unico continuo corre lungo tutta l’altezza della torre centrale, agendo come cerniera compositiva tra le parti orizzontali e sottolineando allo stesso



tempo l'elemento architettonicamente più riconoscibile dell'edificio.

L'ancoraggio dei pannelli, realizzato utilizzando il sistema Fisher come in precedenza per la stazione di Ventimiglia, in questa configurazione più articolata, richiede montanti dimensionati per assorbire il peso proprio e il carico variabile del substrato sia nello sviluppo orizzontale sia in quello verticale della composizione, garantendo così un comportamento strutturale unitario pur nella complessità geometrica dell'intervento.





→ MATTONE FORATO

→ INTONACO

→ MONTANTE

→ PANNELLO IN FELTRO INVERDITO

→ SISTEMA DI FISSAGGIO FISHER PER FACCIATE VENTILATE

→ GRONDA

→ RIVESTIMENTO





GENOVA QUARTO DEI MILLE

La stazione di Genova Quarto dei Mille, posta sulla linea Genova-Pisa tra le fermate di Genova Sturla e Genova Quinto, porta inciso nel nome uno degli eventi fondativi del Risorgimento italiano: fu proprio da questo tratto di costa che, nella notte tra il 5 e il 6 maggio 1860, salpò la spedizione dei Mille guidata da Giuseppe Garibaldi. Inaugurata il 23 novembre 1868 insieme alla tratta Genova-Chiavari, quando il quartiere si chiamava ancora semplicemente “Quarto”, la stazione assunse l'attuale denominazione solo nel 1926, in seguito all'annessione del comune

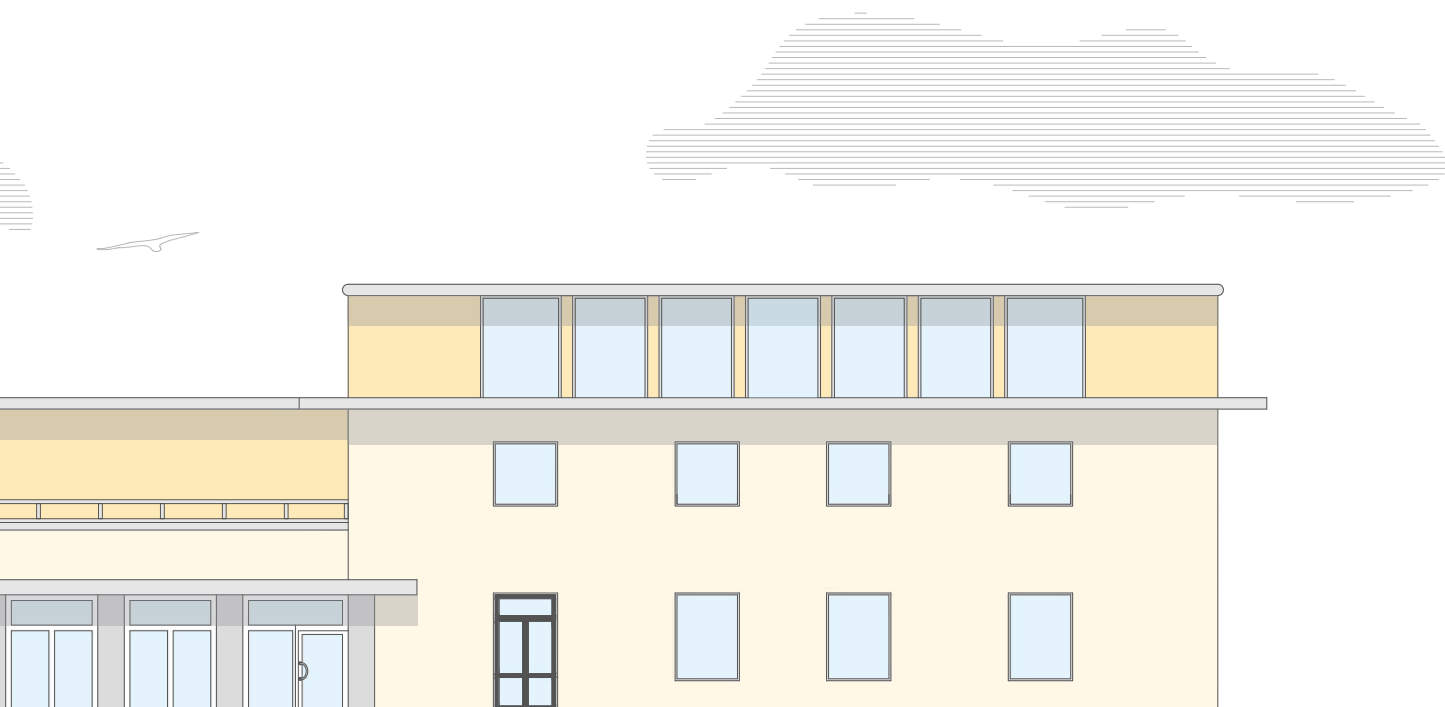
autonomo di Quarto alla “Grande Genova”. Il fabbricato attuale, datato dal catalogo dei beni architettonici al razionalismo italiano degli anni Quaranta, sorge in piazza Egisto Sivelli, garibaldino della spedizione, e fu realizzato in concomitanza con il raddoppio del binario, attivato il 18 febbraio 1916.

Il quartiere di Quarto dei Mille, oggi parte del Municipio IX Levante di Genova, è un tessuto residenziale affacciato sul mar Ligure, erede di un'identità a lungo autonoma (fu infatti comune indipendente fino al 1926) e di una storia ben più antica della vicenda



risorgimentale: lungo la medievale via Romana di Quarto si allineano ancora ville cinquecentesche come Villa De Albertis e Villa Carrara, insieme alla chiesa di San Giovanni Battista, documentata già dal 1148. Di fronte alla stazione, sul lungomare, si trova il monumento bronzeo di Eugenio Baroni dedicato alla spedizione (1915), mentre all'interno del fabbricato, oggi solo parzialmente utilizzato, con i locali storici riconvertiti a ufficio postale, si conserva un grande pannello in ceramica del 1941, opera della manifattura albisolese di Giuseppe

Mazzotti su disegno di Tullio d'Albisola, che racconta la stessa vicenda. Lo scalo, classificato da RFI come stazione "silver", dispone oggi di tre binari passanti e due banchine, prevalentemente al servizio del trasporto ferroviario urbano genovese.

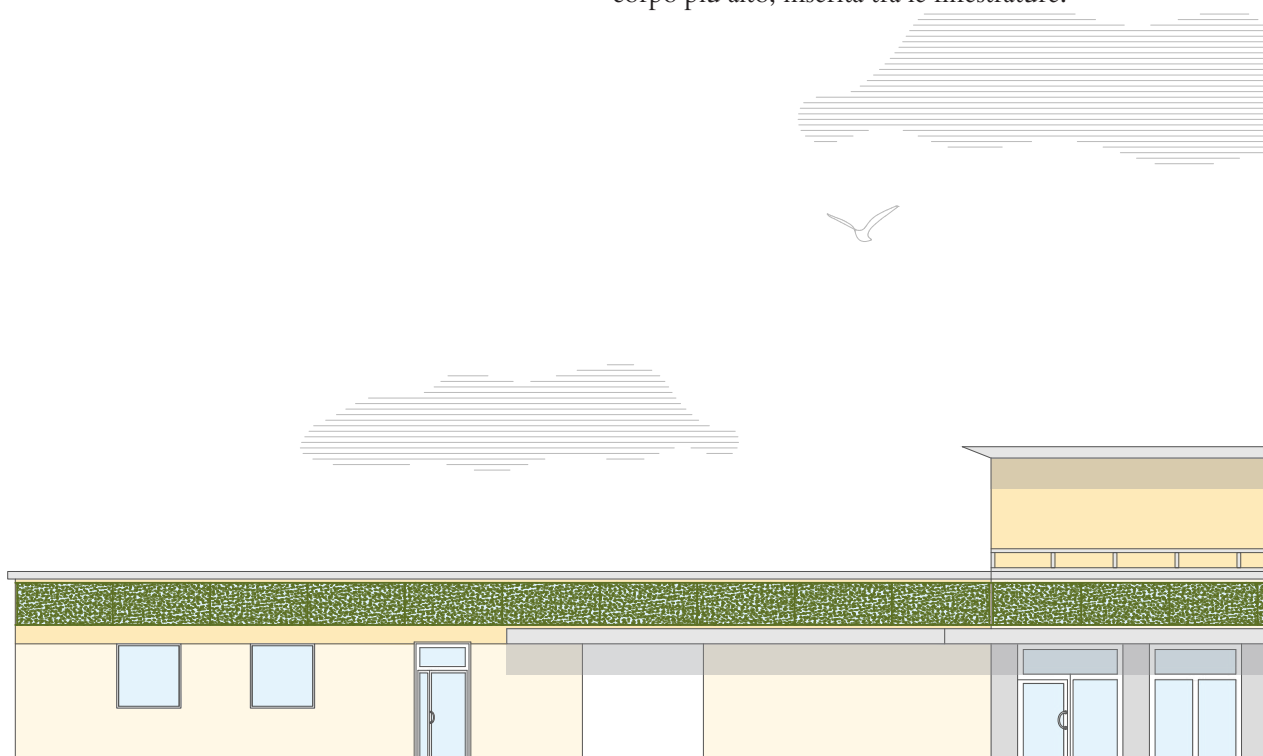


IL PROGETTO

122

A Quarto dei Mille il progetto si articola non su una singola fascia, ma su due porzioni distinte ma complementari del prospetto, a rispecchiare la complessità volumetrica dell'edificio ma anche come manifestazione della forte modularità del sistema MosSkin.

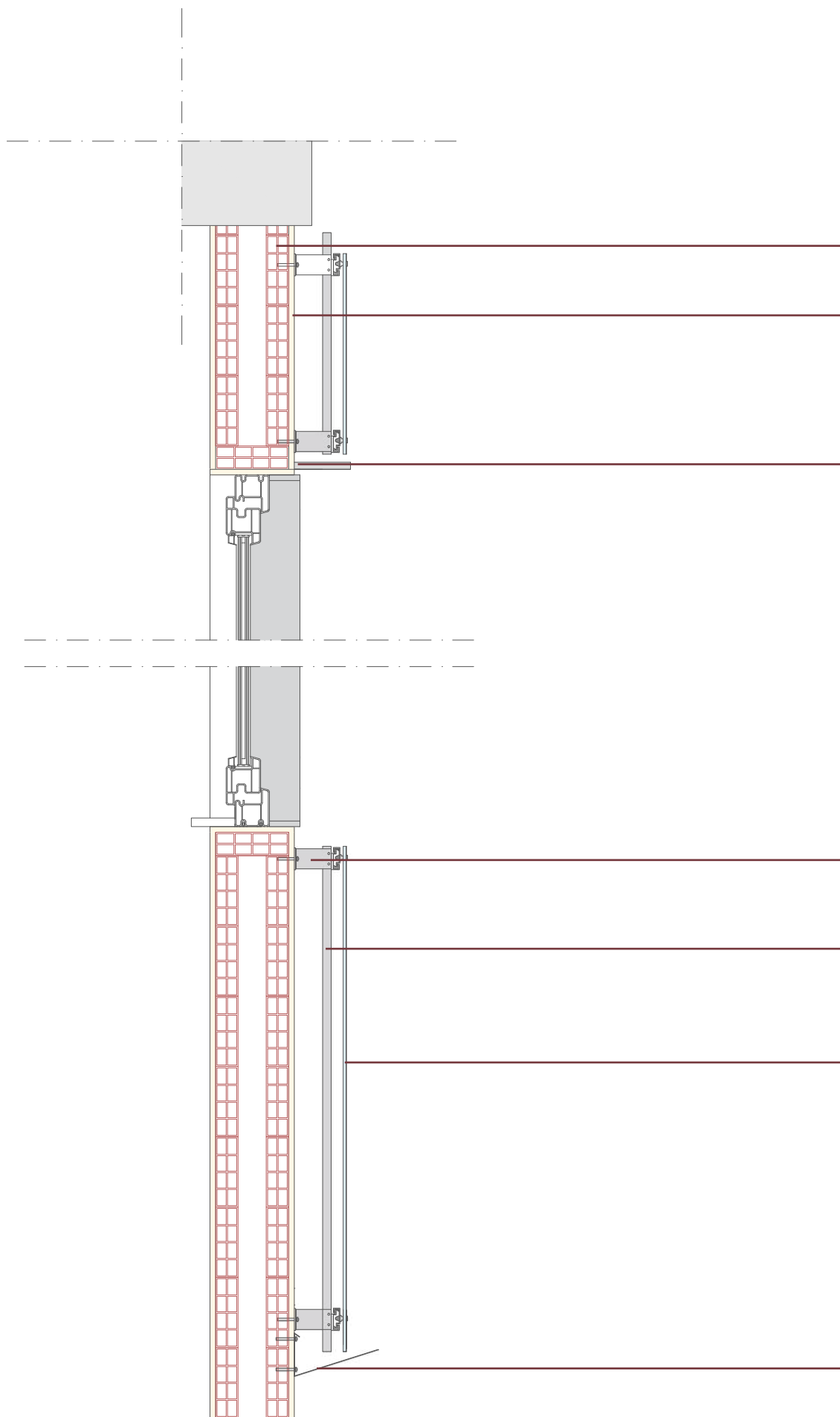
La prima applicazione corre lungo il bordo superiore della pensilina che raccorda il corpo basso a quello principale, funzionando come una cornice verde che ricuce visivamente i due volumi; la seconda occupa invece una fascia continua lungo il primo livello del corpo più alto, inserita tra le finestrate.



Questa duplice collocazione permette al progetto di agire su due registri differenti: da un lato la ricucitura compositiva tra le due parti eterogenee dell'edificio, e dall'altro la rivitalizzazione di una superficie muraria altrimenti inerte.

Anche in questo caso l'ancoraggio dei pannelli avviene tramite i montanti e il sistema di fissaggio Fisher per facciate ventilate, in modo che possa essere assicurata una posa semplice e la manutenibilità del sistema senza intaccare l'integrità della facciata esistente.





➤ MATTONE FORATO

➤ INTONACO

➤ SOGLIA IN MARMO

➤ SISTEMA DI FISSAGGIO FISHER PER FACCIATE VENTILATE

➤ MONTANTE

➤ PANNELLO IN FELTRO INVERDITO

➤ GRONDA





SISTEMA DI IRRIGAZIONE

All'interno del progetto di riqualificazione, si è pensato di alimentare le facciate verdi da un sistema di recupero idrico integrato che attinga a tre fonti distinte: le acque meteoriche captate dalle gronde, le acque di scolo derivanti dal sistema di irrigazione della facciata stessa, e infine le acque grige provenienti dai servizi igienici delle tre stazioni.

Tutte le risorse recuperate confluiscono in un unico circuito finalizzato all'irrigazione del rivestimento vegetale.

Le acque piovane vengono raccolte attraverso il sistema di gronde presente sulle coperture degli edifici e convogliate verso la vasca d'accumulo.

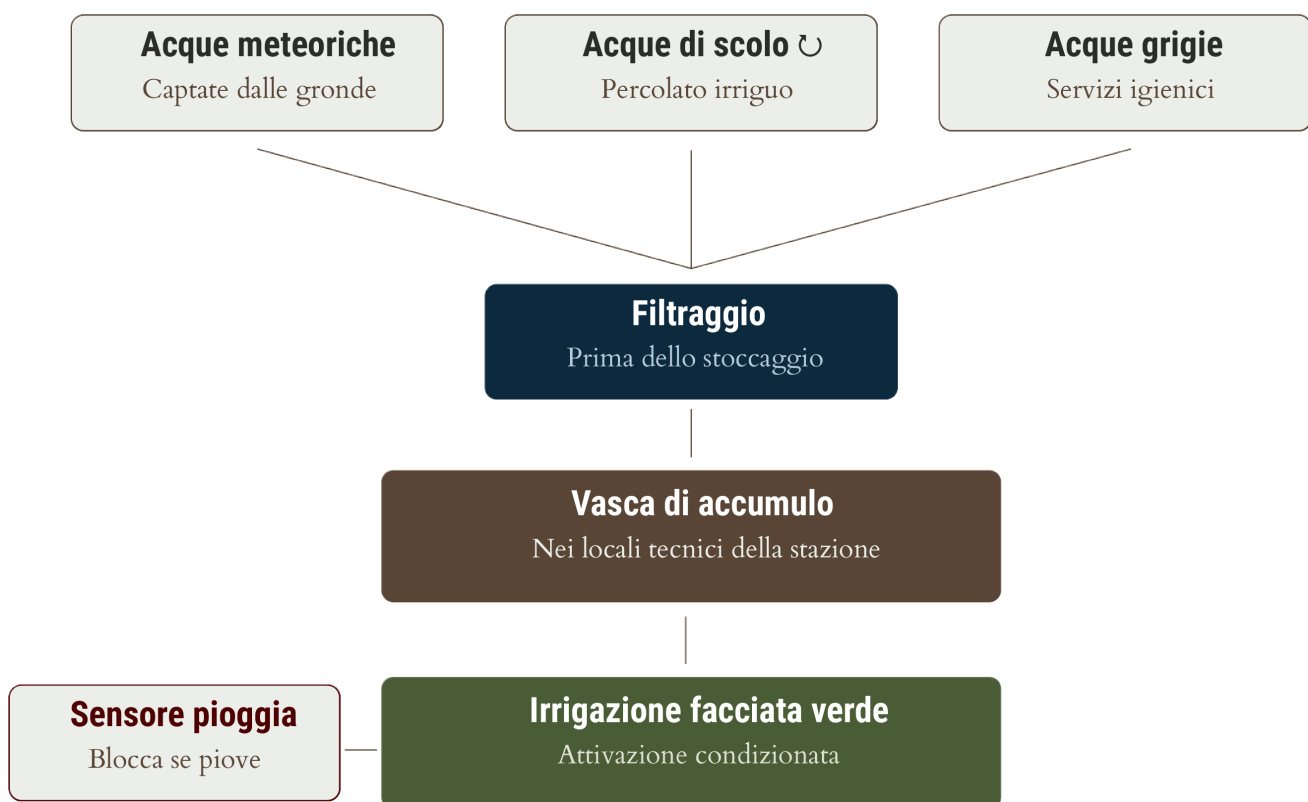
A questa fonte, non sempre sufficiente, si affianca il recupero delle acque di percolazione del sistema verde: il regime irriguo previsto attualmente nei pannelli sperimentali è articolato in cicli da 10 secondi ogni 30 minuti, e genera una dispersione stimata di 3,35 litri ogni 4 metri quadri di facciata, quantità che, anziché disperdersi, viene intercettata e reimpressa nel circuito di stoccaggio.

La terza fonte è costituita dalle acque grige generate dalle utenze dei servizi igienici delle stazioni, che vengono convogliate insieme alle altre risorse recuperate.

Prima dello stoccaggio, l'acqua proveniente dalle diverse filiere viene sottoposta a un processo di filtraggio, necessario a garantire un'adeguata qualità del fluido destinato all'irrigazione della facciata verde e per prevenire l'occlusione degli ugelli e delle linee di distribuzione.

Le acque filtrate vengono conservate in vasche di accumulo collocate nei locali tecnici dei fabbricati delle singole stazioni, dove viene stoccata la quota di risorsa non immediatamente rimessa in circolo.

Il sistema di irrigazione è governato da valvole automatizzate, collegate a sensori pluviometrici in grado di rilevare le precipitazioni in corso: questo meccanismo permette di attivare l'irrigazione della facciata solo in condizioni di necessità, evitando sprechi nei periodi di piovosità naturale e ottimizzando l'uso della risorsa idrica recuperata.



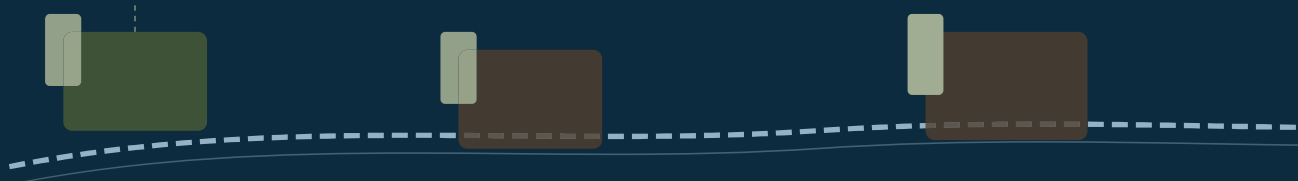
CAP. 7 – APPLICAZIONE PROO

MOSS-RAIL · rete di verde infrastruttu

7.1 – Criteri di selezione degli e

Non residenziali · gestione centralizzata · alta visibil

Genova
Quarto dei Mille



7.2 – MOSS

Il sistema ferroviario come supporto per una rete

Impatto ambientale

Mitigazione UHI
Cattura PM in aree
densamente frequentate

Valore simb

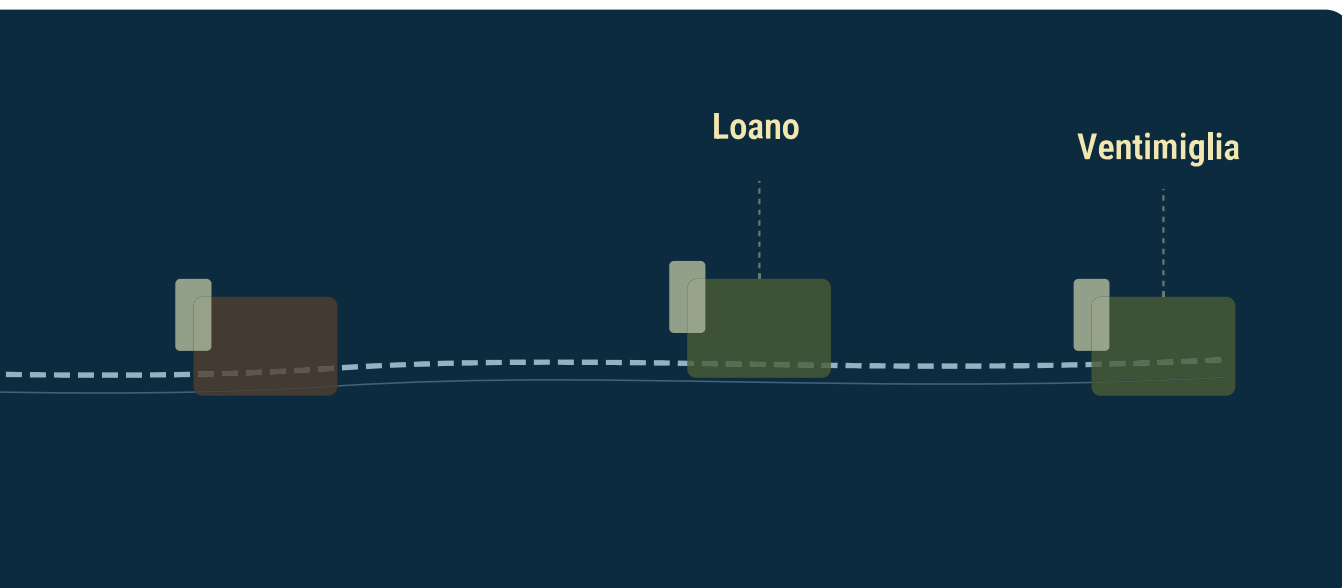
Verde = linguaggio c
tra luoghi distanti
Attesa → prossimità n

GETTUALE DI MOSSKIN

ale lungo l'asse costiero ligure

edifici di intervento

ità pubblica · no vincoli monumentali diretti



-RAIL

diffusa di verde infrastrutturale regionale

polico

comune

natura

Scalabilità

Modello replicabile

Adattabile a ogni edificio

Contesti IT ed europei

CONCLUSIONI



8



Il percorso di ricerca sviluppato in questa tesi muove da una constatazione sempre più urgente: le città contemporanee non possono continuare a essere pensate come sistemi impermeabili alla natura. L'analisi del contesto urbano condotta nei capitoli iniziali ha restituito un quadro inequivocabile, con isole di calore in espansione, qualità dell'aria deteriorata, patrimonio edilizio energeticamente obsoleto, che rende non più rinviabile una revisione profonda del modo in cui progettiamo e gestiamo l'involucro degli edifici.

In questo scenario, il verde verticale si conferma come uno degli strumenti più versatili e promettenti a disposizione dell'architettura contemporanea. L'analisi

delle tipologie costruttive, delle prestazioni ambientali e dei casi studio ha dimostrato come la vegetazione in facciata non sia una scelta meramente estetica, ma un dispositivo tecnico capace di agire simultaneamente su più scale: dalla riduzione del flusso termico conduttivo al miglioramento della qualità dell'aria, dalla mitigazione dell'isola di calore urbana al benessere psicofisico degli abitanti. I casi del Musée du Quai Branly e del Caixa Forum di Madrid testimoniano la maturità tecnologica raggiunta da questi sistemi, pur evidenziando come la sostenibilità economica e gestionale rimanga una sfida aperta, che il progetto MosSkin affronta con una proposta concreta e innovativa.

MosSkin rappresenta, in questo senso, un cambio di paradigma. Rispetto ai sistemi di verde verticale tradizionali caratterizzati da costi di installazione e manutenzione elevati che ne limitano la diffusione su larga scala, il sistema a muschio sviluppato presso il Dipartimento di Architettura e Design e il Dipartimento di scienze della terra, dell'ambiente e della vita dell'Università degli Studi di Genova propone una soluzione leggera, modulare e accessibile, con un costo stimato di 40–50 €/m² a fronte dei 300 €/m² dei Living Wall System convenzionali.

I risultati sperimentali accumulati nel corso di sette anni di ricerca, a partire dalla selezione delle specie alle prove in camera di crescita, fino ai test sul campo alla recente installazione urbana, confermano la validità tecnica del sistema: una riduzione della temperatura superficiale fino a 13,9°C e una capacità di cattura del particolato fino a 45.600 particelle per mm² collocano MosSkin in una posizione competitiva rispetto a tecnologie ben più costose.

Il sondaggio condotto su 130 rispondenti liguri aggiunge a questi dati una dimensione fondamentale: quella della percezione sociale. Il 90,8% del campione si è dichiarato favorevole o aperto all'installazione, motivato principalmente da ragioni funzionali, quali miglioramento della qualità dell'aria, efficienza energetica, sostenibilità ambientale, più che motivazioni estetiche. Questo risultato suggerisce l'esistenza di una domanda latente e consapevole nella popolazione, pronta a essere intercettata da politiche urbane e strumenti normativi adeguati. La preferenza espressa per gli edifici pubblici come contesto ideale di applicazione ha orientato direttamente la proposta progettuale finale.

MOSS-RAIL nasce proprio dall'incontro tra questa domanda sociale e le potenzialità

del sistema. Trasformando le stazioni ferroviarie liguri in nodi di una rete di verde infrastrutturale diffuso lungo l'asse costiero regionale, il progetto dimostra come MosSkin possa operare a una scala territoriale che va oltre il singolo edificio. Le stazioni, in quanto spazi pubblici ad alta frequentazione e forte riconoscibilità, rappresentano il contesto ideale per massimizzare l'impatto ambientale e comunicativo del sistema: ogni intervento diventa al tempo stesso un presidio ecologico e un segnale visibile di una nuova cultura del progetto urbano.

Il lavoro svolto apre tuttavia scenari di sviluppo che questa tesi non può che abbozzare, e che costituiranno il terreno fertile per le ricerche future. Sul piano scientifico, il monitoraggio termo-igrometrico avviato presso il DAD e negli altri siti urbani genovesi fornirà nei prossimi mesi dati longitudinali fondamentali per validare le prestazioni del sistema in condizioni reali e in diversi regimi climatici stagionali. La comparazione tra i pannelli installati ai Parchi di Nervi, nella zona della Foce e in prossimità del sottopasso di Viale Brigade Partigiane permetterà di costruire una mappa delle performance di MosSkin in funzione delle variabili microclimatiche e dei livelli di inquinamento, aprendo la strada a

modelli predittivi applicabili ad altri contesti urbani italiani ed europei.

Sul piano tecnologico, la messa a punto del protocollo di coltivazione in vitro e la sperimentazione con specie diverse da *Barbula unguiculata*, in particolare *Grimmia pulvinata* e *Homalothecium sericeum*, che hanno mostrato capacità di copertura superiori, suggeriscono margini di miglioramento significativi sia in termini di velocità di attecchimento che di resistenza agli agenti atmosferici. Lo sviluppo di miscele di specie ottimizzate per specifici contesti climatici e orientamenti espositivi potrebbe rappresentare il passo successivo verso una vera e propria personalizzazione ecologica del sistema.

Sul piano progettuale e normativo, la scalabilità di MOSS-RAIL apre interrogativi rilevanti sul ruolo che le amministrazioni pubbliche potrebbero svolgere nell'incentivare l'adozione di sistemi di verde verticale a basso costo. L'integrazione di MosSkin nei piani di riqualificazione energetica previsti dalla direttiva europea EPBD, che impone obiettivi stringenti entro il 2030 e il 2035, potrebbe rappresentare un'opportunità concreta per accelerarne la diffusione, configurando il verde verticale non come un'opzione facoltativa ma come componente strutturale

della transizione ecologica del patrimonio costruito.

In conclusione, questo elaborato di tesi ha cercato di dimostrare che la distanza tra ricerca scientifica e pratica architettonica può essere ridotta, e che strumenti semplici, quali un pannello di feltro, del muschio, un sistema di irrigazione a goccia, possono contenere una risposta efficace a problemi complessi. La natura non ha bisogno di essere importata nelle città attraverso interventi spettacolari e costosi.

Sta all'architettura creare le condizioni perché questo accada.

«Le città non possono essere pensate come

RISULTATI CHIAVE →

-13,9
°C



Riduzione temperatura
superficiale a pannello bagnato
Comparabile ai LWS costosi

45.600

particelle/mm²

Capacità cattura PM
45–55% frazioni ul
«Filtri ad alta precisi

136

MOSS-RAIL – sintesi tra domande

Stazioni liguri come nodi ecologici ·

SCENARI F

Dati longitudinali
DAD e 5 siti urbani GE

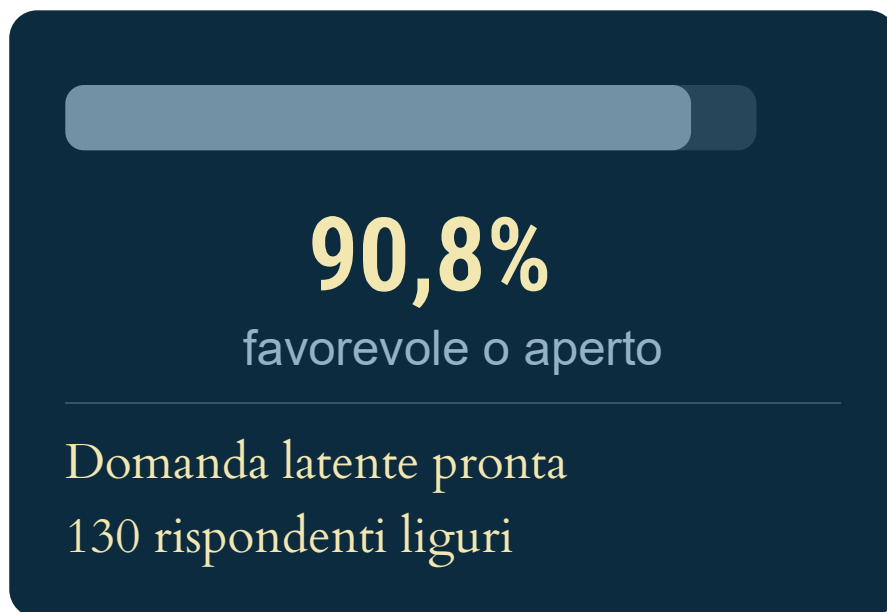
Miscele di spec
per clima e o

*Strumenti semplici come un pannello a
possono contenere una risposta*

CONCLUSIONI

sistemi impermeabili alla natura»

7 ANNI DI RICERCA



137

la sociale e potenziale del sistema

Direttiva EPBD · Green Deal europeo

FUTURI

ie ottimizzate
rientamento

Politiche pubbliche
e incentivi normativi

*di feltro, del muschio, un sistema a goccia
ta efficace a problemi complessi.*

BIBLIOGRAFIA

138

9

Italia. Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155: Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Modificato dal D.Lgs. 24 dicembre 2012, n. 250. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.

World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: WHO, 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.

Blanc, Patrick. *The Vertical Garden: From Nature to the City*. New York: W. W. Norton & Company, 2008.

Alexandri, Elena, e Philip Jones. "Temperature Decreases in an Urban Canyon due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates." *Building and Environment* 43, n. 4 (2008): 480–493.

Cui, Dongjin, et al. "Effects of Different Vertical Façade Greenery Systems on Pedestrian Thermal Comfort in Deep Street Canyons." *Urban Forestry & Urban Greening* 72 (2022): 127582. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127582>.

De Groeve, M., et al. "Impact of Vertical Greening on Urban Microclimate and Historic Building Materials: A Meta-Analysis." *Building and Environment* 253 (2024): 111365. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111365>.

Köhler, Manfred. "Green Façades — A View Back and Some Visions." *Urban Ecosystems* 11, n. 4 (2008): 423–436.

Perini, Katia, Paola Castellari, Mariasole Calbi, Sonja Prandi, e Enrica Roccotiello. "Fine Dust Collection Capacity of a Moss Greening System for the Building Envelope: An Experimental Approach." *Building and Environment* 267 (2025): 112203. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112203>.

Perini, Katia, Paola Castellari, Andrea Giachetta, Claudia Turcato, e Enrica Roccotiello. "Experiencing Innovative Biomaterials for Buildings: Potentialities of Mosses." *Building and Environment* 172 (2020): 106708. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106708>.

Perini, Katia, Paola Castellari, Andrea Giachetta, Claudia Turcato, e Enrica Roccotiello. "MosSkin: A Moss-Based Lightweight Building System." *Building and Environment* 221 (2022): 109283. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109283>.

Perini, Katia, Marc Ottelé, A. L. A. Fraaij, E. M. Haas, e R. Raiteri. “Vertical Greening Systems and the Effect on Air Flow and Temperature on the Building Envelope.” *Building and Environment* 46, n. 11 (2011): 2287–2294.

Perini, Katia, e Paolo Rosasco. “Cost–Benefit Analysis for Green Façades and Living Wall Systems.” *Building and Environment* 70 (2013): 110–121.

Qiao, Liang. “Study on the Dynamic Heat Transfer Role of Vertical Greening in Building Microclimate Based on Multi-Objective Coupling.” *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 17, n. 2 (2025): 025101. <https://doi.org/10.1063/5.0249028>.

Wei, Ting, Junliang Wu, e Shaoqing Chen. “Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide.” *Frontiers in Sustainable Cities* 3 (2021): 696381. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.696381>.

IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

Legambiente. *CittàClima: Il Clima Cambia le Città — Atti della Conferenza sull’Adattamento Climatico in Ambito Urbano*. Roma, maggio 2013. https://cittaclima.it/wp-content/uploads/2017/05/climacitta_atticonferenza.pdf.

Legambiente. *Elaborazione su dati ARPA: qualità dell’aria nelle città italiane*. Fonte dati: Agenzie Regionali per la Protezione dell’Ambiente (ARPA).

Nigro, Gennaro, et al. *Il verde verticale nella pianificazione urbana sostenibile: aspetti architettonici ed idraulici, analisi sperimentale e applicazione progettuale*. ResearchGate, 2016. <https://www.researchgate.net/publication/308791991>.

“Case, classificazione energetica UE: in Italia 20 milioni di abitazioni a rischio.” *Corriere della Sera*, 21 dicembre 2009. https://www.corriere.it/economia/casa/21_dicembre_09/case-classificazione-energetica-ue-italia-11-milioni-edifici-rischio-f429233a-58de-11ec-95ed-0f7dcc6ae2dd.shtml.

Mancuso, Stefano (intervistato da Chiara Alessi). “Stefano Mancuso: L’intelligenza delle piante chiede l’audacia dei progetti.” *Domus*, 15 giugno 2023. <https://www.domusweb.it/it/architettura/2023/06/15/domus-intervista-stefano-mancuso.html>.

“La direttiva europea sulle case green.” *Il Post*, 15 aprile 2024. <https://www.ilpost.it/2024/04/15/direttiva-europea-case-green/>.

CNA — Confederazione Nazionale dell’Artigianato. “La direttiva europea sulle case green: cosa cambia per gli edifici esistenti.” Aprile 2024. <https://www.mc.cna.it/wp-content/uploads/mc.cna.it/2024/04/La-direttiva-europea-sulle.pdf>.

Focus.it. “I vantaggi dei giardini verticali per il clima.” Consultato il 12 giugno 2026. <https://www.focus.it/ambiente/ecologia/i-vantaggi-dei-giardini-verticali-per-il-clima>.

Fondazione Vico Magistretti. Archivio storico — scheda edificio. Consultato il 12 giugno 2026. <https://archivio.vicomagistretti.it/magistretti/archive/document/IT-FVM-A001-000495>.

IAUC — International Association for Urban Climate. Sito ufficiale. Consultato il 12 giugno 2026. <https://urban-climate.org/>.

Lombardia Beni Culturali. “Scheda architetture del Novecento — P4010-00259.” Consultato il 12 giugno 2026. <https://www.lombardiabeniculturali.it/architetture900/schede/p4010-00259/>.

Milano Città Stato. “San Felice: la prima città satellite di Milano.” Consultato il 12 giugno 2026. <https://www.milanocittastato.it/featured/san-felice-la-prima-citta-satellite-di-milano/>.



