



Ricerca di Sistema elettrico

Tecnologie verdi: effetti sui consumi energetici degli edifici, sulla mitigazione dell'isola di calore urbana, scenari, modelli e *Life Cycle Inventory*

Tiziana Susca, Fabio Zanghirella, Luca Colasuonno, Vincenzo Del Fatto

TECNOLOGIE VERDI: EFFETTI SUI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI, SULLA MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE URBANA, SCENARI, MODELLI E *LIFE CYCLE INVENTORY*

Tiziana Susca, Fabio Zanghirella, Luca Colasuonno, Vincenzo Del Fatto (ENEA)

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *2 - Materiali e soluzioni innovative per ottimizzare l'isolamento dell'involucro edilizio*

Linea di attività: *LA2.7 - Sviluppo di modelli di simulazione microclimatica (Envi-met) e di strategie di mitigazione dell'isola di calore urbana*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Responsabile del Work package: Giovanni Puglisi

Indice

ABBREVIAZIONI E SIMBOLI	5
SOMMARIO.....	7
1. EFFETTO DELLE PARETI VERDI SULLA DOMANDA ENERGETICA DEGLI EDIFICI E SULL'ISOLA DI CALORE URBANA ...	9
1.1. EFFETTO SUL FABBISOGNO ENERGETICO PER RISCALDAMENTO.....	9
1.2. EFFETTO SUL FABBISOGNO ENERGETICO PER RAFFRESCAMENTO	12
1.3. EFFETTO SULLA TEMPERATURA SUPERFICIALE.....	15
1.4. EFFETTO SULLA TEMPERATURA DELL'ARIA	24
2. ISOLE DI CALORE URBANE SUPERFICIALI (SUHI) NELLE CITTÀ ITALIANE.....	32
2.1. DAI DATI SATELLITARI AI DATI UHI.....	32
2.1.1. Individuazione del dato satellitare opportuno e conseguente <i>download</i> dei dati.....	32
2.1.2. Riorganizzazione dei dati satellitari scaricati.....	34
2.2. LE TEMPERATURE SUPERFICIALI SONO STATE UTILIZZATE PER IL CALCOLO DELLA SUHI.....	40
3. INDIVIDUAZIONE DELLE CENTRALINE METEOROLOGICHE E DETERMINAZIONE DELLE AREE URBANE OGGETTO DI STUDIO.....	42
3.1. TORINO	42
3.2. ROMA	44
3.3. MILANO	45
4. INDIVIDUAZIONE DELLE GIORNATE RAPPRESENTATIVE	48
4.1. GIORNATA INVERNALE	48
4.2. GIORNATA ESTIVA.....	51
4.3. GIORNATA ESTIVA CARATTERIZZATA DA ONDATA DI CALORE.....	53
5. ASPETTI MORFOLOGICI, CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, TERMICHE E OTTICHE DELLE AREE URBANE OGGETTO DI STUDIO	60
5.1. ABACHI TORINO	63
5.2. ABACHI ROMA	81
5.3. ABACHI MILANO	89
6. MODELLAZIONE E SIMULAZIONE DELLO SCENARIO <i>BASELINE</i> DI ENVI-MET.....	108
6.1. IMPLEMENTAZIONE DEL DATABASE ENVI-MET.....	108
6.2. CREAZIONE DEL MODELLO ENVI-MET	113
6.3. <i>SETUP</i> DELLE ANALISI E SIMULAZIONE	118
6.4. <i>OUTPUT</i>	119
7. SCENARI DI MITIGAZIONE DELLE UHI E DELL'USO DI ENERGIA DEGLI EDIFICI	123
7.1. SCENARI DI MITIGAZIONE PER LA CITTÀ DI TORINO	124
7.2. SCENARI DI MITIGAZIONE PER LA CITTÀ DI MILANO	127
7.3. SCENARI DI MITIGAZIONE PER LA CITTÀ DI ROMA	128
8. IDENTIFICAZIONE DEGLI EDIFICI SIGNIFICATIVI	131
8.1. RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	134
8.2. CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO E TIPOLOGIA IMPIANTISTICA.....	135
9. TECNOLOGIE VERDI DI INVOLUCRO: COSA SONO, BENEFICI, CO-BENEFICI E LIMITI	140
9.1. TETTI VERDI	140
9.2. PARETI VERDI.....	142
9.3. SOLUZIONI VERDI: CO-BENEFICI, COMPROMESSI E LIMITI ALLA DIFFUSIONE SU VASTA SCALA	144

10. <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i> E <i>LIFE CYCLE INVENTORY</i> : CONFINI DEL SISTEMA, UNITÀ FUNZIONALI, <i>INPUT</i> E <i>OUTPUT</i>	145
10.1. <i>INPUT</i> E <i>OUTPUT</i>	146
10.2. TETTO VERDE ESTENSIVO	147
10.3. FACCIATA VERDE INDIRETTA	151
10.4. <i>LIVING WALL</i> IDROPONICO	153
11. CONCLUSIONI.....	157
12. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	161
APPENDICE.....	169

Abbreviazioni e simboli

UHI	Urban Heat Island – isola di calore urbana
SUHI	Surface Urban Heat Island – isola di calore superficiale
RdS	Ricerca di Sistema
LCA	Life Cycle Assessment – valutazione del ciclo di vita
LCI	Life Cycle Inventory – inventario di ciclo di vita
LAI	Leaf Area Index – indice di superficie fogliare
Af	Equatoriale, fully humid – equatoriale, totalmente umido
Am	Equatorial, monsoonal – equatoriale, monsonico
As	Equatorial, summer dry – equatoriale, estate secca
Aw	Equatorial, winter dry – equatoriale, inverno secco
BWk	Arid, desert, cold arid – arido, desertico, freddo arido
BWh	Arid, desert, hot arid – arido, desertico, molto caldo arido
BSk	Arid, steppe, cold arid – arido, steppico, freddo arido
BSh	Arid, steppe, hot arid – arido, steppico, molto caldo arido
Cfa	Warm temperate, fully humid, hot summer – caldo temperato, totalmente umido, estate molto calda
Cfb	Warm temperate, fully humid, warm summer – caldo temperato, totalmente umido, estate calda
Cfc	Warm temperate, fully humid, cool summer – caldo temperato, totalmente umido, estate fresca
Csa	Warm temperate, summer dry, hot summer – caldo temperato, estate secca, estate molto calda
Csb	Warm temperate, summer dry, warm summer – caldo temperato, estate secca, estate calda
Csc	Warm temperate, summer dry, cool summer – caldo temperato, estate secca, estate fresca
Cwa	Warm temperate, winter dry, hot summer – caldo temperato, inverno secco, estate molto calda
Cwb	Warm temperate, winter dry, warm summer – caldo temperato, inverno secco, estate calda
Cwc	Warm temperate, winter dry, cool summer – caldo temperato, inverno secco, estate fresca
Dfa	Snow, fully humid, hot summer – nevoso, totalmente umido, estate molto calda
Dfb	Snow, fully humid, warm summer – nevoso, totalmente umido, estate calda
Dfc	Snow, fully humid, cool summer – nevoso, totalmente umido, estate fresca
Dfd	Snow, fully humid, extremely continental – nevoso, totalmente umido, estremamente continentale
Dsa	Snow, summer dry, hot summer – nevoso, estate secca, estate molto calda
Dsb	Snow, summer dry, warm summer – nevoso, estate secca, estate calda
Dsc	Snow, summer dry, cool summer – nevoso, estate secca, estate fresca
Dsd	Snow, summer dry, extremely continental – nevoso, estate secca, estremamente continentale
Dwa	Snow, winter dry, hot summer – nevoso, inverno secco, estate molto calda
Dwb	Snow, winter dry, warm summer – nevoso, inverno secco, estate calda
Dwc	Snow, winter dry, cool summer – nevoso, inverno secco, estate fresca

Dwd	Snow, winter dry, extremely continental – nevoso, inverno secco, estremamente continentale
EF	Polar, polar frost – polare, gelo polare
ET	Polar, polar tundra – polare, tundra polare
cls	Calcestruzzo
HHWWS	Heat Health Watch Warning Systems
CCM	Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie del Ministero della Salute
U. V.	Ultravioletto
s. l. m.	Sul livello del mare
CO ₂	Anidride carbonica
ppm	Parti per milione

Sommario

Il fenomeno “isola di calore urbana” (UHI), ovvero l’aumento della temperatura in ambito urbano rispetto alle zone periferiche e rurali circostanti, è un fenomeno indesiderato che provoca numerosi effetti negativi sia in termini di aumento della richiesta energetica per condizionamento estivo degli edifici, sia in termini di salute pubblica.

Durante la seconda annualità del Piano Triennale di Realizzazione (PTR) 2019-2021 di Ricerca di Sistema (RdS) la revisione della letteratura pubblicata circa l’effetto dell’installazione delle pareti verdi sui consumi energetici degli edifici e sull’UHI, così come è stata condotta durante la prima annualità, è stata ampliata. I risultati di tale revisione e le meta-analisi condotte sono stati organizzati in un articolo scientifico che è stato presentato ad una rivista scientifica internazionale [1] e sono serviti per la definizione degli scenari di mitigazione della UHI per i casi di studio.

Per il territorio italiano sono state indagate, mediante l’uso di dati satellitari, le isole di calore superficiali (SUHI) diurne e notturne. Sono state individuate le città italiane afflitte dalle maggiori SUHI e quali potrebbero trarre maggiore giovamento dall’applicazione di strategie di mitigazione della UHI.

Tra le città italiane maggiormente colpite dalla SUHI, sono state selezionate tre città appartenenti a due zone climatiche differenti che fossero afflitte dalla maggiore SUHI o che potessero godere dei maggiori vantaggi dovuti all’eventuale applicazione delle strategie di mitigazione della UHI: Torino, Roma e Milano. Durante la terza annualità di RdS, per alcune zone delle città selezionate verranno condotte simulazioni microclimatiche mediante l’uso di un software (i.e., ENVI-met) per testare l’effetto dell’applicazione delle strategie di mitigazione.

Per ciascuna delle città selezionate, sono state individuate le stazioni di rilevamento meteorologico che potessero fornire dati come temperatura e umidità dell’aria da utilizzare per calibrare e/o validare i modelli ENVI-met.

All’interno di ciascuna città selezionata, sono state individuate le aree urbane che simultaneamente potessero risultare interessanti dal punto di vista dell’applicazione delle strategie di mitigazione della UHI e all’interno delle quali ricadesse almeno una stazione di rilevamento meteorologico. Per ciascuna area urbana selezionata sono stati rilevati tutti gli aspetti morfologici, le caratteristiche geometriche, termiche e ottiche. Tali dati sono stati utilizzati per creare la base per lo sviluppo di modelli delle aree urbane da utilizzare per le simulazioni ENVI-met nonché un *database* per le chiusure verticali e orizzontali, le superfici urbane e il verde urbano.

Sulla base della letteratura revisionata e delle analisi condotte, per ciascuna area urbana sono stati sviluppati tre scenari di mitigazione della UHI.

Inoltre, per ciascuna delle tre città è stato individuato un edificio significativo del patrimonio edilizio che verrà utilizzato durante la terza annualità di RdS per testare sia gli effetti che l’eventuale mitigazione della UHI ha sui consumi energetici, sia l’effetto che le tecnologie verdi hanno sui consumi energetici del patrimonio edilizio urbano.

Le strategie di mitigazione sono poi state analizzate anche in termini di co-benefici, compromessi e limiti. I risultati di tale analisi sono stati organizzati in forma di capitolo di testo scientifico in revisione [2]

A valle della definizione delle strategie di mitigazione della UHI per ciascuna città e dell’individuazione dei benefici, co-benefici, compromessi e limiti relativi all’installazione di strategie verdi di mitigazione, sono state

definite le strategie di applicazione di involucro verde che verranno analizzate durante la terza annualità in termini di ciclo di vita: tetto verde estensivo, facciata verde di tipo indiretto e *living wall*. Per ciascuna delle strategie verdi individuate è stato compilato un inventario per il *Life Cycle Assessment* (LCA) e sono state indicate le interazioni con l'ambiente urbano che potrebbero essere analizzate durante la prossima annualità di RdS. Inoltre, sono stati analizzati i *database* del *software* SimaPro per individuare i processi necessari per effettuare la LCA e presenti nei *database* stessi e quelli mancanti.

1. Effetto delle pareti verdi sulla domanda energetica degli edifici e sull'isola di calore urbana

Durante la seconda annualità del PTR 2019-2021 di RdS è stata ampliata la revisione della letteratura circa l'effetto delle pareti verdi sulla domanda energetica degli edifici e sull'isola di calore urbana nelle diverse aree climatiche. Oltre ad ampliare la revisione della letteratura circa l'effetto delle pareti verdi sulla domanda energetica degli edifici per il condizionamento estivo e la revisione circa gli effetti sull'UHI, è stato indagato anche l'effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico degli edifici per il riscaldamento invernale. In tutto sono stati selezionati 58 articoli scientifici pubblicati su giornali internazionali a cui corrispondono 654 casi di studio (vedi Appendice). I casi di studio sono stati utilizzati per eseguire meta-analisi che, in diverse zone climatiche in relazione alla tipologia di installazione di tecnologia verde d'involucro, all'area climatica, all'orientamento, alla selezione delle piante e al tipo di studio, consentissero di quantificare *ex-ante* l'effetto dell'installazione di pareti verdi sia sulla domanda energetica dell'edificio in inverno e in estate, sia sull'UHI.

Dal punto di vista termofisico le pareti verdi possono fungere da barriere frangisole nel caso di *green façade*, e da strato isolante aggiuntivo nel caso di *living wall*. La proprietà ombreggiante delle foglie può avere un effetto positivo durante la stagione di raffrescamento ma, allo stesso tempo, può risultare penalizzante durante la stagione fredda poiché riduce i carichi termici gratuiti provenienti dall'irraggiamento solare [3]. Inoltre, durante la stagione calda, grazie all'attività della vegetazione, il calore latente che viene allontanato a seguito della traspirazione delle piante può superare la quantità di calore che invece può essere trasferito attraverso lo strato di vegetazione [4]. Seppure i fenomeni termofisici che governano gli scambi termici tra parete verde e ambiente costruito siano noti, una generalizzazione degli stessi è tuttavia parziale poiché essi dipendono da diversi fattori, quali le caratteristiche delle piante, le proprietà del substrato, le condizioni meteorologiche e climatiche, le dimensioni dell'edificio, l'area e l'orientamento della copertura del verde [5]. Pertanto, gli effetti dell'installazione di pareti verdi sui consumi energetici degli edifici devono essere considerati caso per caso e suddivisi in categorie omogenee. Nel seguito verranno mostrati i risultati di meta-analisi condotte per zone climatiche e tipologie di pareti verdi.

Analogamente, l'effetto delle pareti verdi sulla temperatura dell'aria urbana dipende da diversi fattori, come la densità del fogliame, la copertura vegetale, la posizione geografica, l'orientamento, le condizioni climatiche, l'ora del giorno, la stagione [6]. È quindi fondamentale indagare il potenziale effetto delle pareti verdi in base ai fattori sopra citati. Nel seguito verrà presentata un'analisi dell'effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura superficiale sia nella stagione calda, sia in quella fredda, durante il giorno e durante la notte, poiché, sebbene l'UHI sia predominante durante la notte [7], [8], la mitigazione delle UHI potrebbe essere più vantaggiosa durante le ore diurne, quando è maggiore il numero di persone che popola le strade. Inoltre, questo studio esplora i potenziali effetti della realizzazione di pareti verdi sia sulla temperatura dell'aria sia sulla temperatura esterna della facciata, poiché può essere considerata una *proxy* del potenziale di mitigazione dell'UHI.

1.1. Effetto sul fabbisogno energetico per riscaldamento

Al fine di individuare l'effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico degli edifici per riscaldamento, è stata condotta un'analisi della letteratura selezionata. In quest'ultima, i casi di studio relativi ai fabbisogni energetici per riscaldamento fanno riferimento a solo tre aree climatiche: Cfb, Csa e Cwa.

Le meta-analisi condotte hanno rivelato che l'applicazione delle *green façade* determina una diminuzione mediana del fabbisogno energetico, calcolata considerando tutte le aree climatiche di cui si hanno dati, pari all'11%; mentre l'installazione dei *living wall* determina una diminuzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento degli edifici pari al 6%. Un'ulteriore analisi dei casi di studio rivela che tale risultato potrebbe essere viziato dal diverso numero di casi di studio relativi alle due tecnologie verdi per l'involucro edilizio. Infatti, tra la letteratura revisionata sono stati reperiti undici casi di studio circa l'effetto dei *living wall* sui consumi energetici per il riscaldamento invernale e solo quattro studi circa le *green façade*. Inoltre, i pochi casi di studio circa le *green façade* presentano valori mediani di riduzione molto più dispersi (i.e., compresi tra 1% e 29%) rispetto a quelli dei *living wall* (i.e., compresi tra 3% e 8%) (Figura 1).

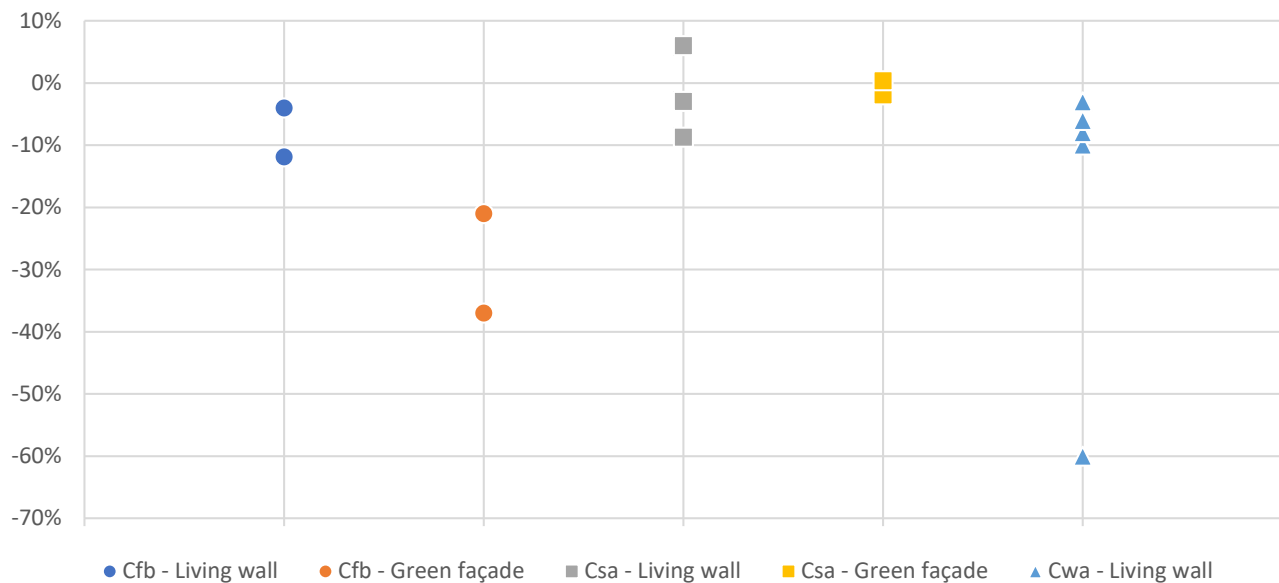


Figura 1. Effetto di *living wall* e *green façade* sul fabbisogno energetico per riscaldamento – valori mediani

La zona climatica Csa mostra dati più omogenei rispetto ad altre zone climatiche, con una riduzione mediana del fabbisogno di riscaldamento di circa il 2.4% e un intervallo di variazione compreso tra -8.7 e 6% (Figura 2). Tuttavia, i *living wall* e le *green façade* non mostrano un comportamento termico comune. Infatti, sia per i *living wall* sia per le *green façade*, le variazioni mediane del fabbisogno termico sono negative (e.g., -2% per la realizzazione di *living wall*, circa -1% per la realizzazione di *green façade*); d'altra parte, alcuni studi (i.e., [9], [10]) riportano un aumento del fabbisogno per il riscaldamento durante la stagione fredda pari rispettivamente allo 0.3 e al 6%.

I vari casi di studio sono stati analizzati in modo più approfondito e sono stati eliminati quelli che, per le proprie peculiarità, sono risultati incomparabili con gli altri. I casi di studio così selezionati sono stati poi suddivisi e analizzati a seconda della tipologia di parete verde e riportati in Figura 2 e Figura 3.

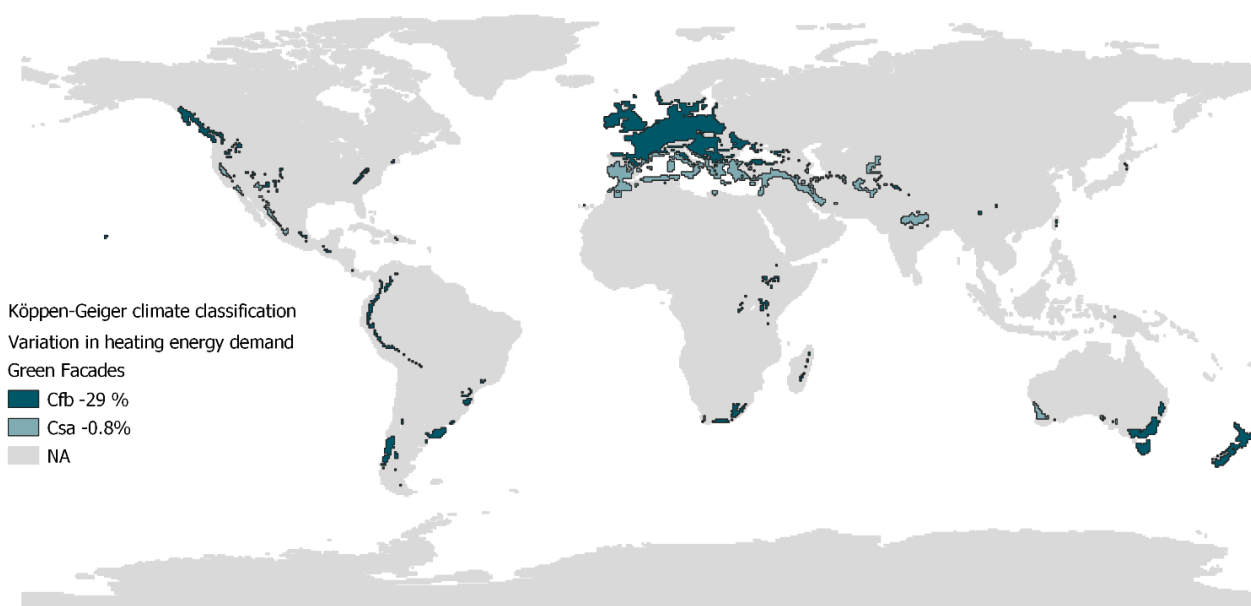


Figura 2. Effetto dell'installazione delle *green façade* sull'energia di riscaldamento degli edifici – valori medi

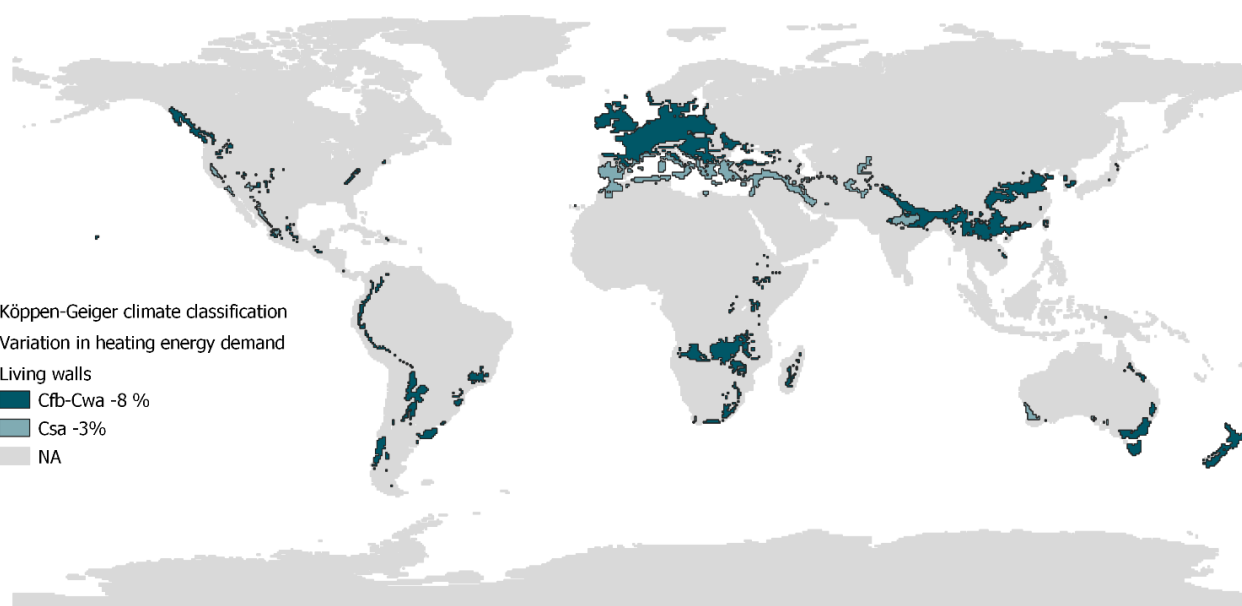


Figura 3. Effetto dell'installazione dei *living wall* sull'energia di riscaldamento degli edifici – valori medi

Figura 2 mostra che i casi di studio omogenei relativi all'effetto delle *green façade* sono riferibili alle sole aree climatiche Cfb e Csa e che i valori medi relativi alla variazione del fabbisogno energetico equivalgono rispettivamente a -29% e -0.8%. Invece, gli effetti sul fabbisogno energetico degli edifici durante la stagione fredda relativi alla installazione di *living wall* mostrano valori meno dispersi che variano dal -3% al -8% (Figura 3).

Il basso numero di dati relativi alle *green façade*, insieme all'ampio spettro dei valori di riduzione del fabbisogno per riscaldamento degli ambienti, suggerisce la necessità, da parte della comunità scientifica, di indagare ulteriormente l'applicazione di tale tipologia di parete verde per rafforzare i risultati delle analisi.

Per comprendere come il numero di facciate degli edifici destinate a pareti verdi influisce sul fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'edificio, abbiamo raggruppato gli studi esaminati in base al numero di pareti verdi per ciascuna zona climatica (Figura 4).

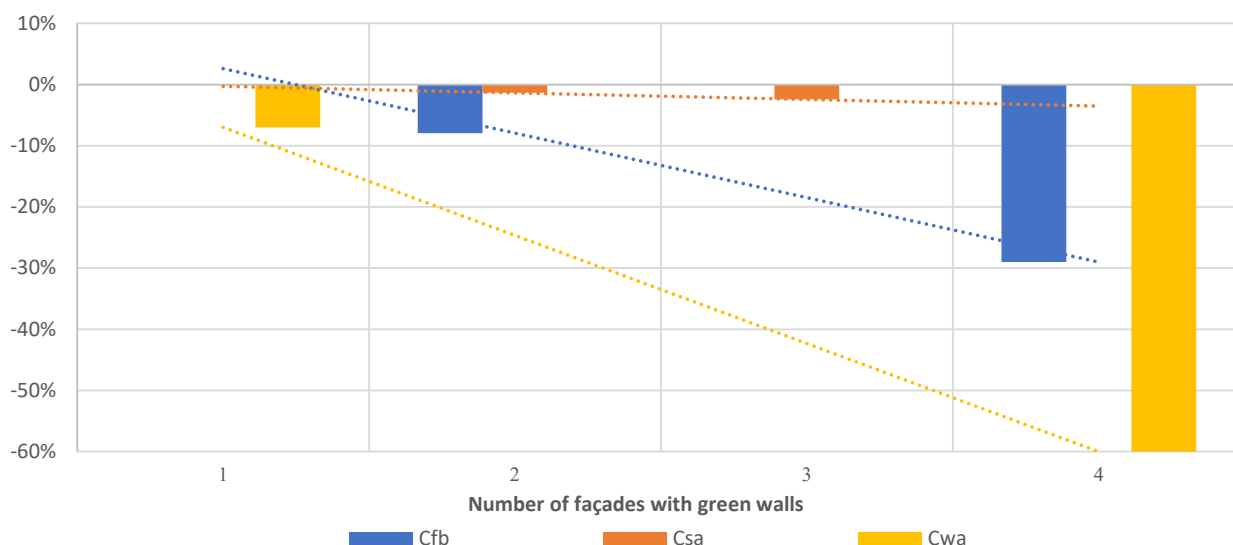


Figura 4. Variazione mediana del fabbisogno per riscaldamento in relazione al numero di pareti verdi

La Figura 4 mostra che, per tutte le zone climatiche, maggiore è il numero su cui vengono installati i *living wall* maggiore è la riduzione di energia per il riscaldamento. In particolare, abbiamo riscontrato che la riduzione più rilevante si ottiene nella zona climatica Cwa, dove l'applicazione di un *living wall* su un'unica facciata comporta una diminuzione mediana del fabbisogno termico pari al 7% e una diminuzione mediana del 60% quando sono applicate su tutto l'edificio. Per la zona climatica Cfb, abbiamo osservato che l'installazione di pareti verdi su due facciate riduce il consumo di energia per il riscaldamento dell'8% e del 30% quando sono applicate su tutto l'edificio. Le pareti verdi risultano essere meno performanti sulla riduzione del riscaldamento degli edifici quando vengono installate nella zona climatica Csa: il valore mediano relativo alla riduzione del fabbisogno termico a seguito dell'installazione su due facciate di edifici è infatti pari all'1.4%, mentre se applicate su tre facciate, la riduzione è pari al 2.4%.

1.2. Effetto sul fabbisogno energetico per raffrescamento

Di seguito sono mostrati i risultati delle meta-analisi condotte al fine di investigare l'effetto delle pareti verdi sul fabbisogno energetico per il raffrescamento degli edifici durante la stagione calda.

La letteratura selezionata è stata investigata in relazione agli effetti di *living wall* e *green façade* sul fabbisogno di energia per il raffrescamento degli ambienti (Figura 5). La Figura 5 mostra che, indipendentemente dal tipo di parete verde utilizzata, l'installazione di pareti verdi determina una riduzione del fabbisogno energetico in tutte le zone climatiche esaminate.

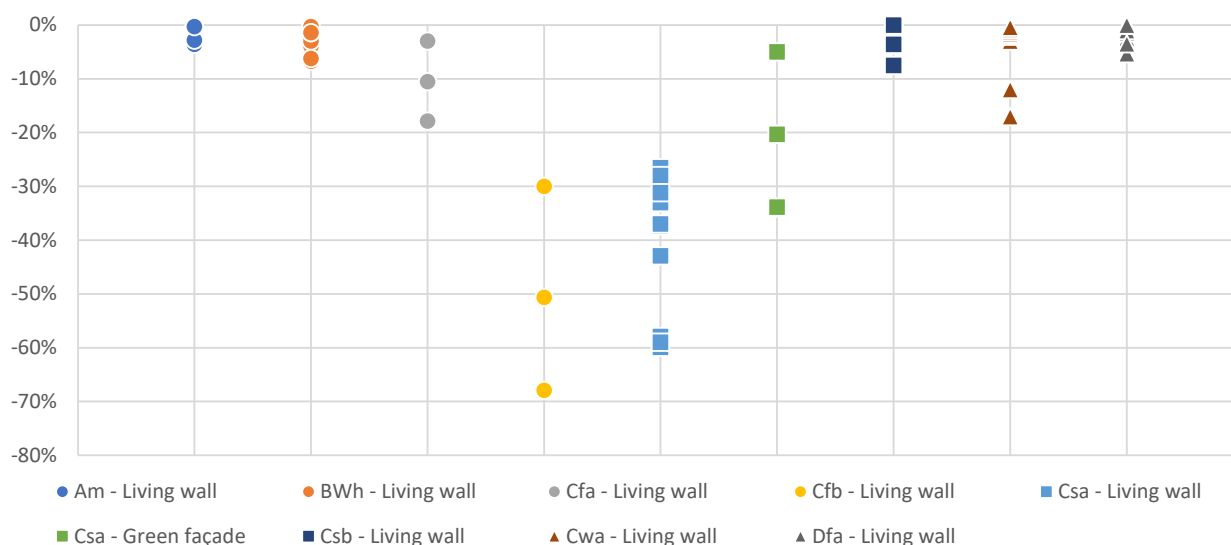


Figura 5. Effetto di *living wall* e *green façade* sul fabbisogno energetico per raffrescamento

Inoltre, si osserva che l'unica zona climatica con studi relativi all'applicazione di *green façade* è la Csa. Per le restanti zone climatiche sono disponibili solo i dati relativi ai *living wall*. Per le zone climatiche Am, BWh, Csb, Cwa e Dfa, i valori mediani di riduzione del fabbisogno per raffrescamento coprono uno spettro dal 2.2 allo 0.7%. Per le zone climatiche Cfa e Cfb, le riduzioni mediane del fabbisogno energetico per il raffrescamento sono pari rispettivamente a 10.5% e a 50.6%, mentre per l'area climatica Csa, la riduzione mediana è di circa 34%.

In un'ulteriore analisi dei casi studio, tutti gli studi che presentavano valori anomali sono stati eliminati così come gli studi che, per le proprie specificità, risultavano incomparabili con gli altri. I rimanenti casi di studio sono stati suddivisi per aree climatiche e per tipologia di parete verde. Per ciascuna area climatica e per ciascuna tipologia di parete verde sono stati calcolati i valori mediani di variazione di fabbisogno energetico relativi all'installazione della parete verde. I risultati così ottenuti sono stati utilizzati per realizzare due mappe: Figura 6 e Figura 7.

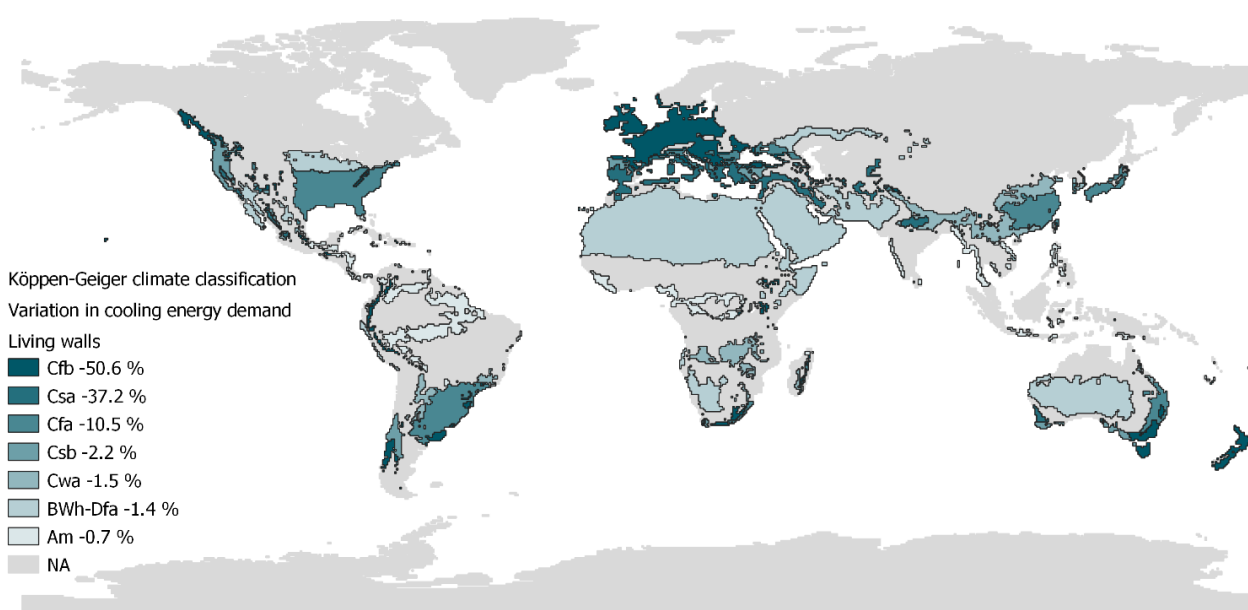


Figura 6. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla variazione di domanda energetica per il raffrescamento – valori mediani



Figura 7. Effetto dell'installazione di *green façade* sulla variazione di domanda energetica per il raffrescamento – valori medi

La Figura 6 mostra che nella zona climatica Csa l'applicazione di *living wall* fornisce una riduzione mediana del fabbisogno per raffrescamento di circa il 37%, con valori singoli che vanno dal 26.5% al 57%; mentre l'applicazione delle *green façade* nella stessa zona climatica riduce il fabbisogno energetico per il raffrescamento degli edifici del 33.8% (valore mediano).

È stato inoltre studiato il comportamento termico delle pareti verdi al variare del numero di facciate sulle quali queste vengono applicate e per capire quale orientamento sia più efficace.

La Figura 8 mostra i valori medi della variazione del fabbisogno per raffrescamento in base al numero di facciate dotate di pareti verdi. È possibile osservare che, per tutte le zone climatiche indagate, maggiore è il numero di pareti verdi installate, maggiore è la riduzione del fabbisogno per raffrescamento.

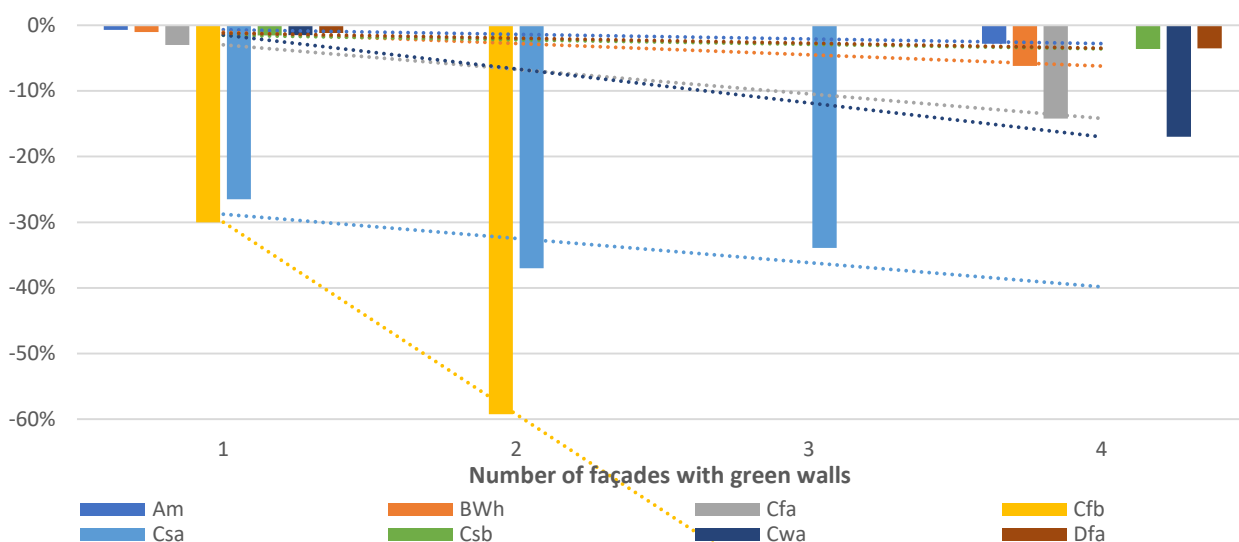


Figura 8. Variazione mediana del fabbisogno per riscaldamento in relazione al numero di pareti verdi – valori medi

Per le zone climatiche Am, BWh, Cfa, Csb, Cwa e Dfa, la riduzione mediana del fabbisogno per raffrescamento varia dallo 0.7% al 3% quando i *living wall* sono installati su una sola facciata; per l'applicazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici, si ottiene una diminuzione del fabbisogno energetico che varia dal 2.8% al 6.2% per le aree Am, BWh, Csb e Dfa, e pari al 14.2% e al 17% rispettivamente per le zone Cfa e Cwa. Le analisi condotte hanno evidenziato la mancanza di dati circa l'effetto dell'applicazione di pareti verdi su tutte le pareti sul fabbisogno energetico per raffrescamento sia per la zona climatica Cfb, sia per la zona Csa. Tuttavia, la Figura 8 mostra una tendenza all'aumento della riduzione del fabbisogno di raffrescamento all'aumentare del numero di pareti verdi installate. Per la zona Cfb la riduzione del fabbisogno per raffrescamento aumenta dal 30%, con l'applicazione di *living wall* su una facciata, a circa il 60% quando i *living wall* sono installati su due facciate. Per l'area Csa, che è l'unica con dati sia circa *living wall* sia su *green façade*, il fabbisogno per il raffrescamento diminuisce del 26.5% quando viene installata una sola parete verde e di circa il 34% quando vengono installate pareti verdi su tre facciate.

Abbiamo, inoltre, analizzato i dati relativi alla letteratura revisionata in merito all'effetto che l'orientamento ha sulla variazione di domanda energetica per il raffrescamento durante la stagione calda. Dalle meta-analisi condotte è risultato che, tranne che per la zona climatica Cwa, in tutte le zone climatiche per le quali erano disponibili dati su almeno due diversi orientamenti (i.e., Am, BWh, Csb e Dfa), il valore mediano di riduzione del fabbisogno di raffrescamento è maggiore quando la parete verde è installata su una facciata orientata a Sud.

Inoltre, i risultati delle meta-analisi hanno rivelato che l'applicazione di *green façade* sperimentali su tre pareti fornisce una riduzione del fabbisogno di raffrescamento compresa tra il 5% e il 34%, con un valore mediano del 34%. In generale, è stato possibile osservare che i *living wall*, sia simulati che sperimentali, sono più efficaci delle *green façade* sperimentali.

1.3. Effetto sulla temperatura superficiale

Dalla revisione della letteratura relativa alla variazione della temperatura superficiale delle pareti verdi rispetto alle pareti nude sono state ricavate le massime differenze di temperatura superficiale (i.e., differenza tra temperatura sulla parete verde e temperatura sulla parete nuda), raggruppate per zone climatiche.

La Figura 9 mostra il potenziale effetto dell'installazione dei *living wall* e delle *green façade* sulla temperatura superficiale durante le ore diurne della stagione calda. Si può osservare che l'installazione delle pareti verdi comporta una diminuzione mediana della temperatura superficiale in tutte le aree climatiche per le quali è stato possibile reperire dati. Inoltre, la Figura 9 mostra che gli studi relativi alle *green façade* sono riferibili ad un numero maggiore di zone climatiche rispetto ai *living wall*. Per tutte le zone climatiche che presentano studi sia sui *living wall* sia sulle *green façade*, si può osservare che l'installazione di *living wall*, comporta una diminuzione della temperatura mediana superficiale maggiore rispetto alle *green façade* ad eccezione della zona climatica Cfb.

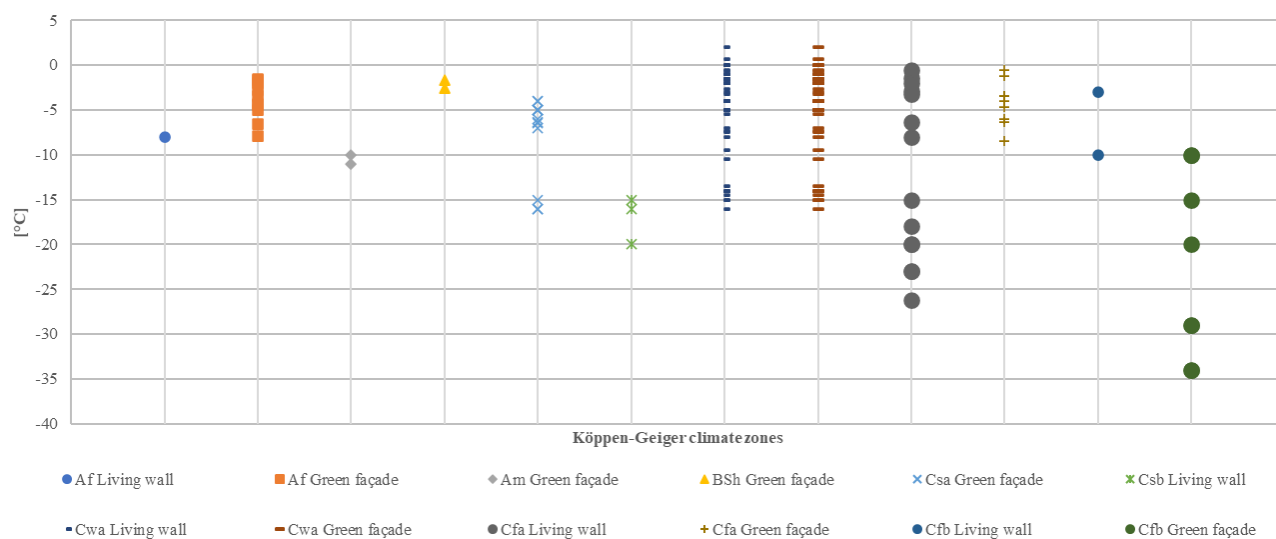


Figura 9. Effetto diurno delle pareti verdi sulla temperatura superficiale durante la stagione calda

I valori mediani relativi alla variazione della temperatura superficiale diurna dovuta all'installazione di *living wall* e *green façade* sono stati utilizzati per tracciare le mappe in Figura 10 e Figura 11.

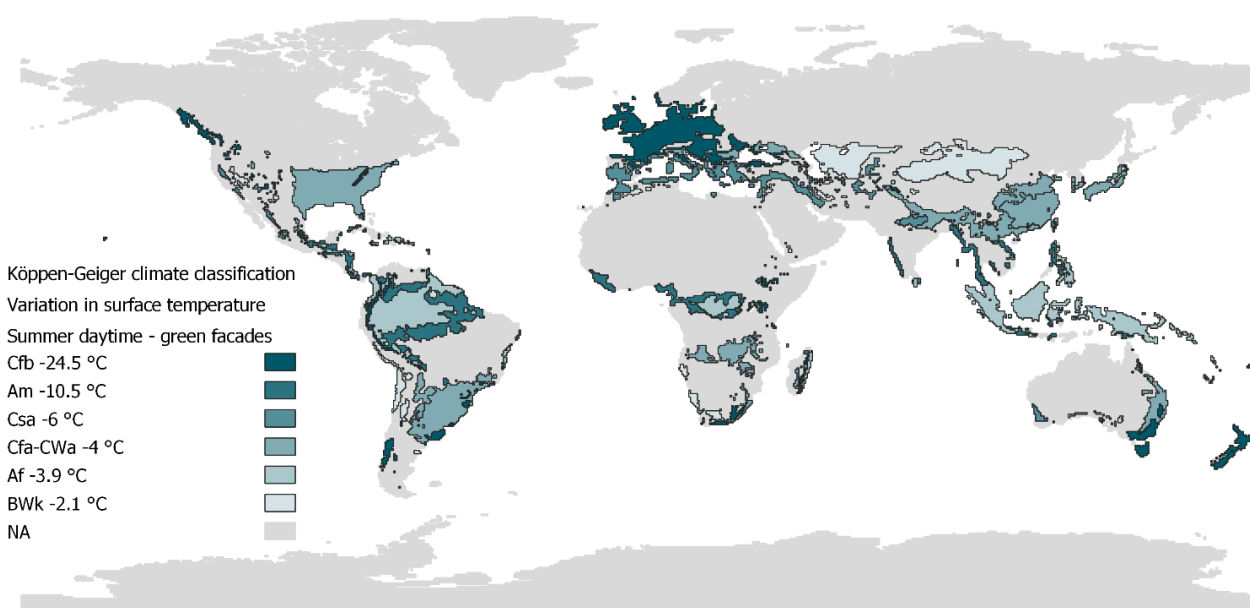


Figura 10. Effetto dell'installazione di *green façade* sulla variazione di temperatura superficiale diurna durante la stagione calda – valori mediani

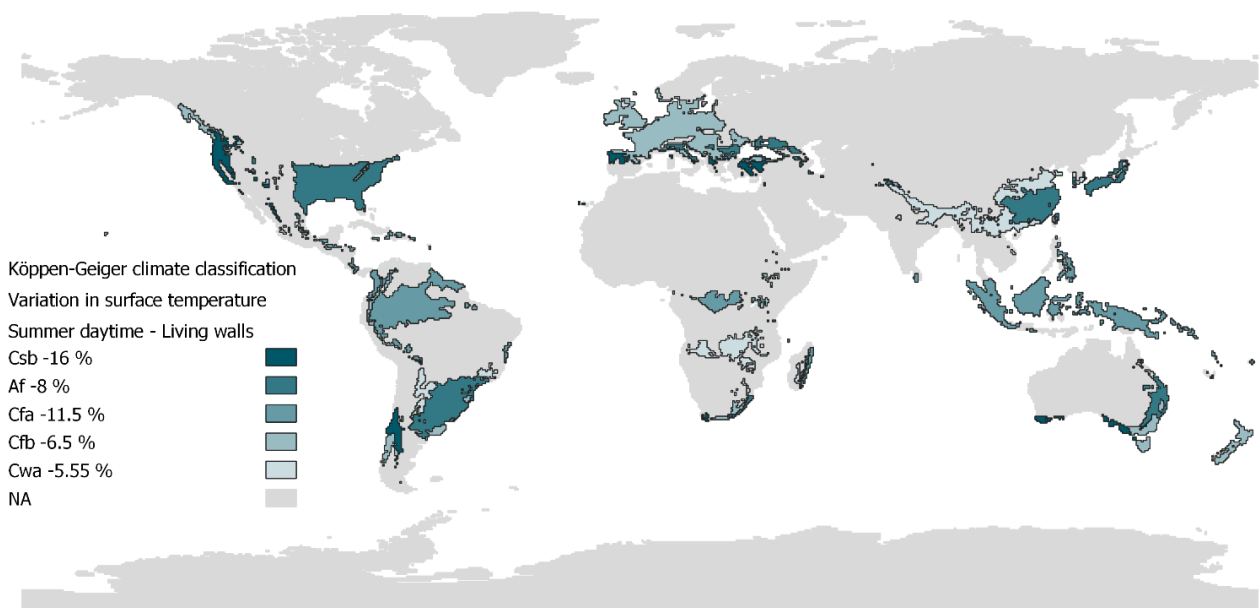


Figura 11. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla variazione di temperatura superficiale diurna durante la stagione calda – valori medi

La Figura 10 mostra che, per tutte le aree climatiche di cui si disponeva di dati, dalle meta-analisi condotte è risultata una riduzione della temperatura superficiale diurna durante la stagione calda relativa all'installazione di *green façade* rispetto ad una parete nuda che varia da ~2 a ~25 °C. In particolare, per le aree climatiche Csa e Cfa, che interessano la maggior parte del territorio italiano, le rispettive riduzioni in termini di temperatura superficiale sono di 6 e 4 °C. Mentre la zona climatica Cfb è quella in cui si riscontra la massima diminuzione di temperatura superficiale: 24.5 °C.

Invece, la Figura 11 mostra che l'installazione dei *living wall* determina una diminuzione della temperatura superficiale che varia da ~5.6 °C a 16 °C. In particolare, nella zona climatica Cfa, i casi di studio esaminati mostrano una diminuzione mediana della temperatura superficiale rispetto ad una parete spoglia di controllo pari a 11.5 °C.

Per capire quale orientamento possa essere più vantaggioso in termini di riduzione della temperatura superficiale a seguito dell'installazione di pareti verdi, abbiamo posto l'attenzione sulla zona climatica Cfa. La Figura 12 mostra che la temperatura superficiale sulle pareti verdi è inferiore a quella sulle pareti di riferimento, indipendentemente dal loro orientamento. L'analisi dei dati relativi ai casi di studio analizzati ha mostrato che sia per l'orientamento Nord sia per l'orientamento Sud, l'installazione di *living wall* riduce la temperatura superficiale più delle *green façade*. La diminuzione più elevata della temperatura superficiale si riscontra per *living wall* esposti a Ovest, ed è pari a circa 26 °C; mentre, per gli orientamenti Nord e Sud, la diminuzione della temperatura superficiale legata alla presenza di pareti verdi, relativa a studi di modellazione, è mediamente superiore a quella sperimentale.

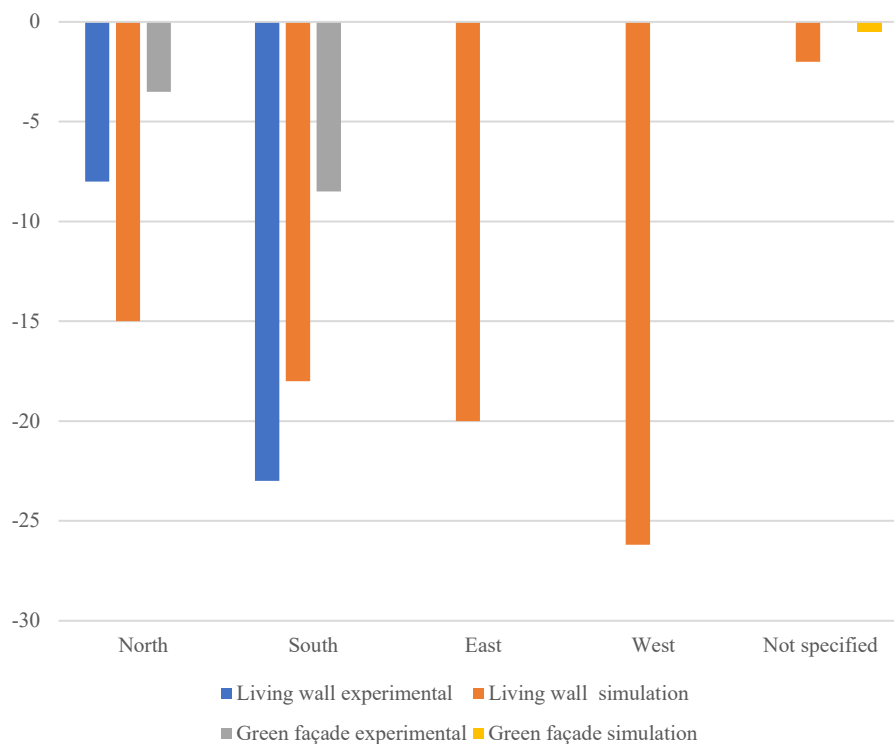


Figura 12. Effetto diurno della parete verde sulla temperatura superficiale nella stagione estiva in zona climatica Cfa – valori medi

Abbiamo anche esaminato il comportamento termico delle pareti verdi durante la stagione calda nelle ore notturne. La Figura 13 mostra che in alcune zone climatiche, come BSh, Cfa e Cwa, i dati reperiti dagli articoli recensiti mostrano una maggiore eterogeneità rispetto ai dati recuperati per le zone climatiche Af, Am, Cfb, Csa e Csb; pertanto, la variazione della temperatura superficiale è più ampia (i.e., circa 4÷5 °C) per le zone climatiche BSh, Cfa e Cwa.

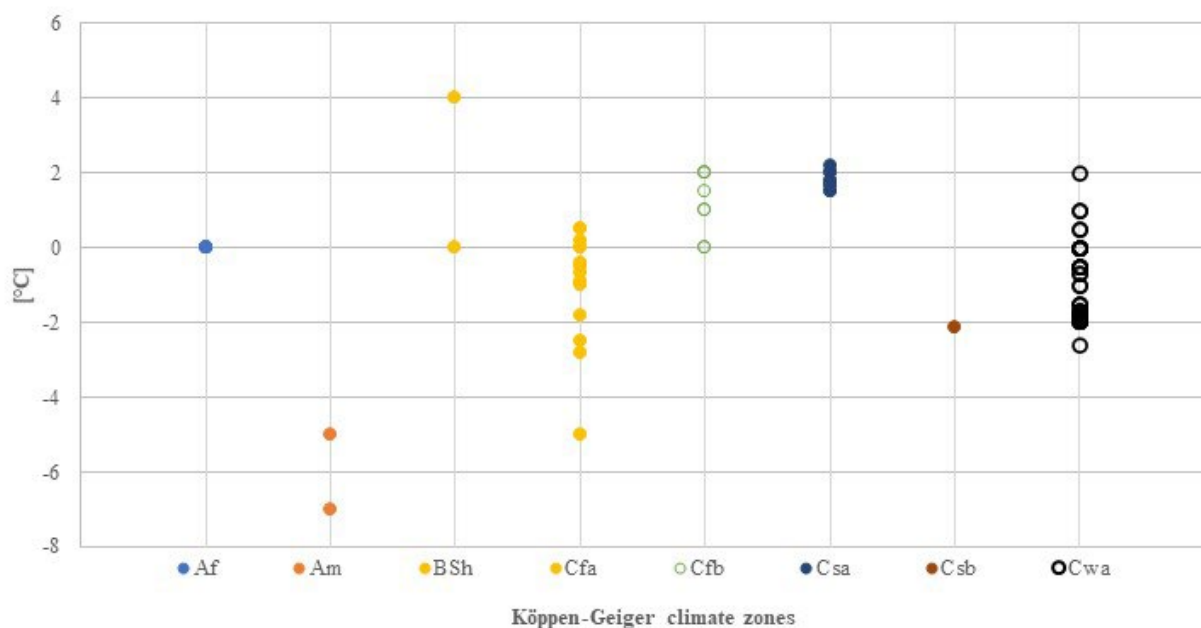


Figura 13. Effetto notturno relativo all'installazione di pareti verdi sulla temperatura superficiale nella stagione estiva – valori medi

Abbiamo ulteriormente distinto il comportamento termico dei *living wall* e delle *green façade*, trovando che la letteratura revisionata è eterogenea, che il comportamento termico delle pareti verdi durante le notti della stagione calda è stato studiato in misura limitata e che, quindi, in tale indagine, alcune zone climatiche sono state omesse.

I valori mediani relativi all'effetto dell'installazione di *living wall* e *green façade* sulla temperatura superficiale rispetto ad un muro nudo sono stati riportati di seguito in Figura 14 e in Figura 15.

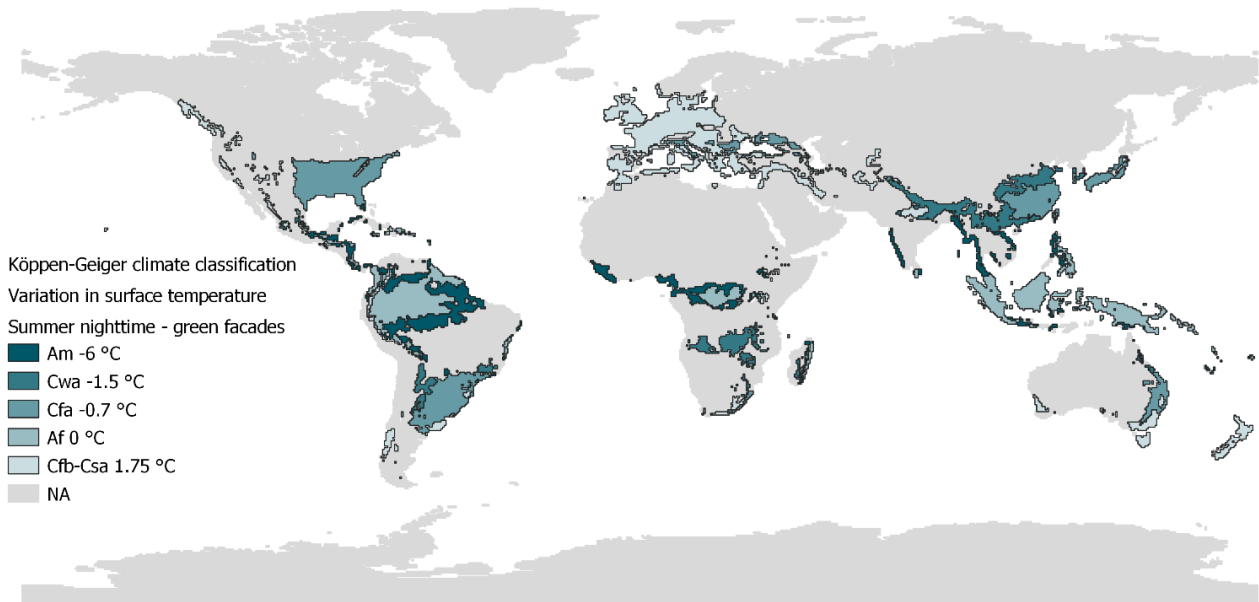


Figura 14. Effetto notturno dell'installazione di *green façade* sulla temperatura superficiale nella stagione calda – valori mediani

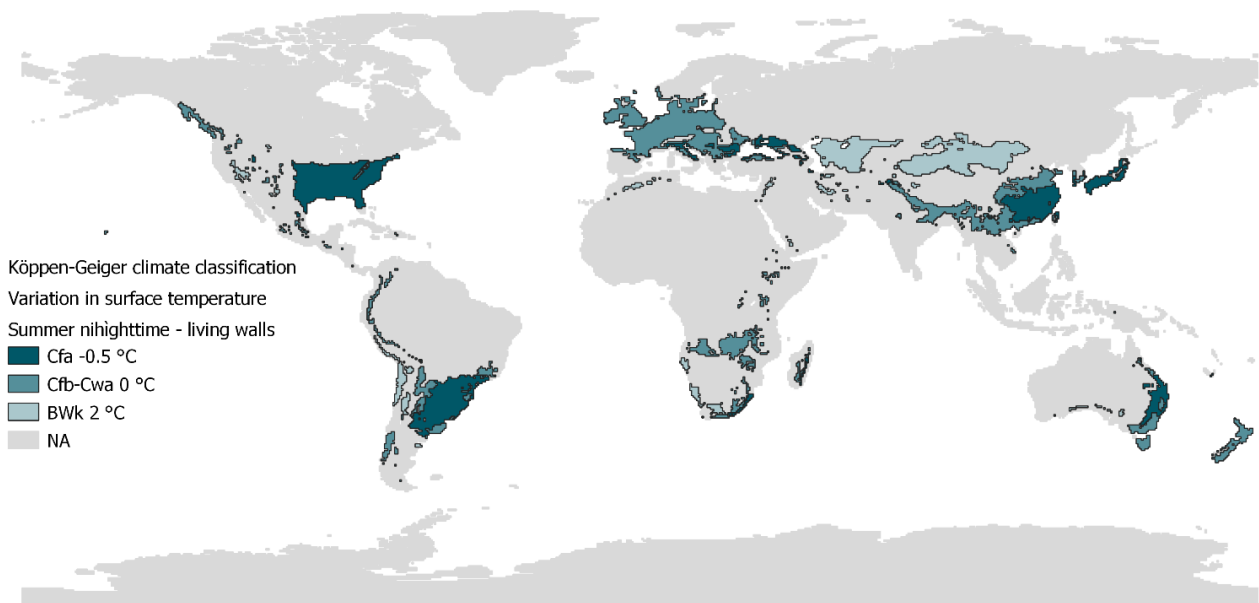


Figura 15. Effetto notturno dell'installazione di *living wall* sulla temperatura superficiale nella stagione calda – valori mediani

La Figura 14 mostra che l'installazione di *green façade* determina una diminuzione mediana della temperatura superficiale nelle aree climatiche Am, Cwa e Cfa pari a 6, 1.5 e 0.7 °C, mentre non ha effetto alcuno sulla temperatura superficiale nell'area climatica Af, e determina, invece, un aumento della temperatura superficiale nelle aree climatiche Cfb e Csa pari a 1.75 °C.

Per quel che riguarda i *living wall*, i risultati delle meta-analisi hanno mostrato per la zona climatica Cfa un decremento della temperatura superficiale durante le ore notturne della stagione calda pari a 0.5 °C; l'effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura superficiale di chiusure verticali di confine è invece nullo nel caso delle zone climatiche Cfb e Cwa. Nella zona climatica BWk, l'installazione di *living wall* determina un aumento della temperatura superficiale rispetto ad una parete nuda di controllo pari a 2 °C.

Per la zona climatica Cfa abbiamo investigato l'effetto sulla temperatura superficiale in relazione all'orientamento della parete e alle condizioni meteorologiche. Le meta-analisi condotte hanno mostrato che per l'orientamento Nord, durante le ore notturne della stagione calda, l'installazione di *green façade* provoca un aumento della temperatura superficiale rispetto ad una parete esterna di riferimento. Allo stesso modo, le *green façade* esposte a Sud nella zona climatica Cfa mostrano, durante le ore notturne della stagione calda, in condizioni di tempo nuvoloso, un aumento della temperatura superficiale rispetto ad una parete di riferimento. In condizioni di cielo sereno, invece, mostrano una diminuzione della temperatura superficiale. In particolare, la diminuzione della temperatura superficiale in condizioni di cielo sereno varia da 0.4 a 2.8 °C rispetto alla parete di riferimento (Figura 16). La massima diminuzione della temperatura superficiale si registra in corrispondenza della maggiore quantità di copertura vegetale.

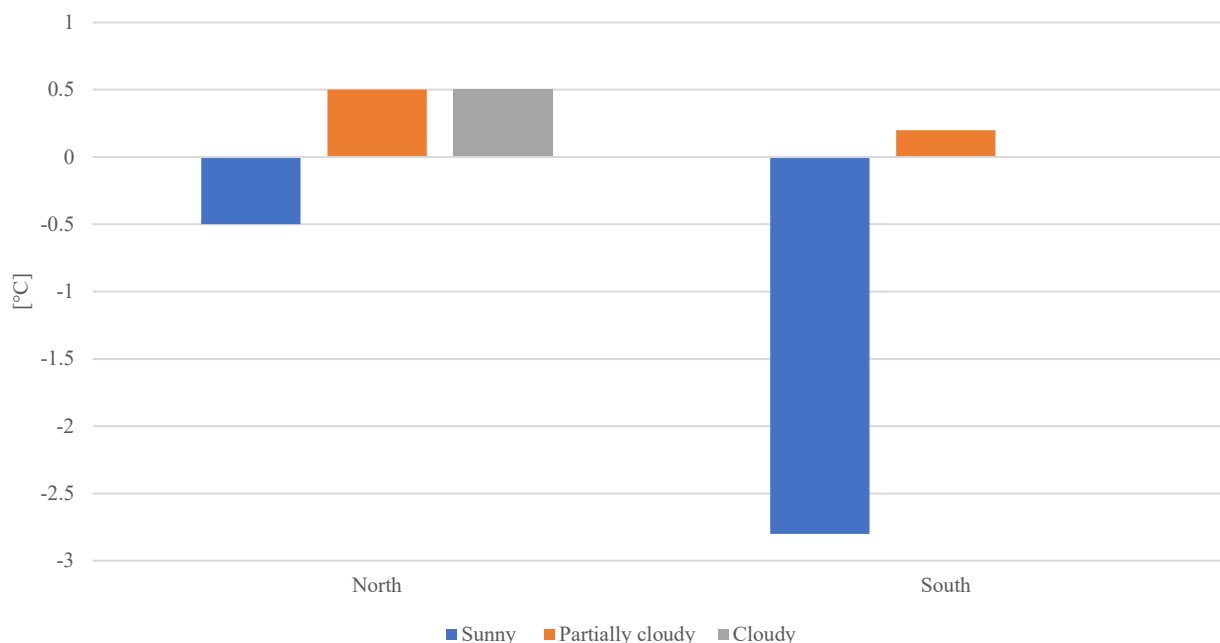


Figura 16. Effetto notturno di pareti verdi sperimentali sulla temperatura superficiale nella stagione calda in zona Cfa

Abbiamo inoltre analizzato il comportamento termico delle pareti verdi durante la stagione fredda. I dati analizzati hanno mostrato che le due zone climatiche con un maggior numero di casi di studio sono la zona Cfb e la Cwa con otto e 37 casi di studio, rispettivamente. Le altre zone climatiche mostrano un numero inferiore di casi di studio che varia da uno a cinque. È anche possibile osservare che la maggior parte delle zone climatiche dimostrano che l'installazione di pareti verdi comporta, in alcuni casi, un aumento della temperatura superficiale (Figura 17).

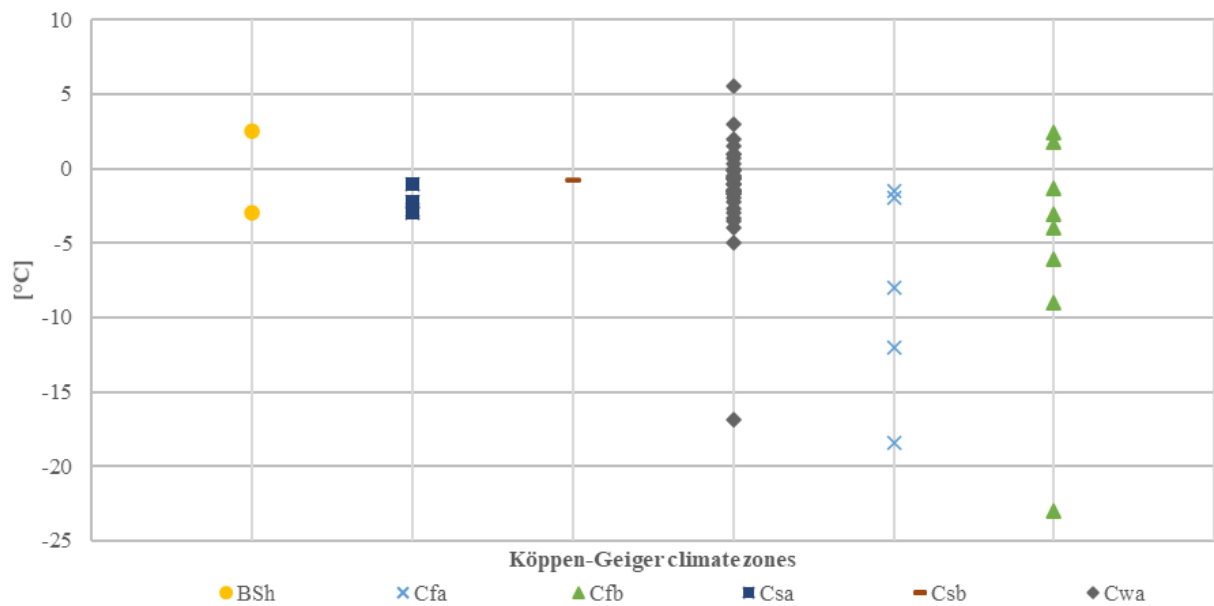


Figura 17. Effetto diurno di pareti verdi sulla temperatura superficiale durante la stagione fredda

I dati collezionati sono stati ulteriormente raggruppati differenziando gli effetti relativi alla distribuzione di *living wall* e quelli relativi all'installazione di *green façade* (Figura 18 e Figura 19).

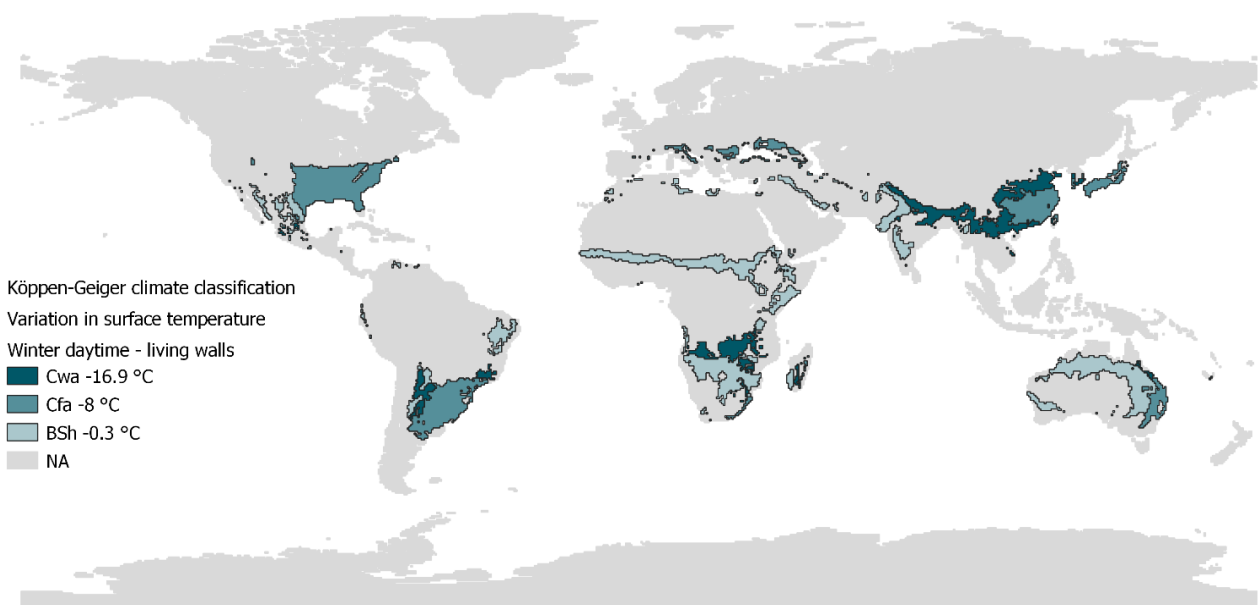


Figura 18. Effetto dei *living wall* sulla temperatura superficiale durante le ore diurne nella stagione invernale – valori medi



Figura 19. Effetto di *green façade* sulla temperatura superficiale durante le ore diurne nella stagione invernale – valori medi

La Figura 18 e la Figura 19 mostrano che all'installazione di *living wall* corrisponde una maggiore diminuzione della temperatura superficiale rispetto alle *green façade*.

L'installazione di *living wall* nella zona climatica Cfa comporta una riduzione della temperatura superficiale delle chiusure verticali esterne che va da 1.5 a 18.4 °C (Figura 18) rispetto ad una parete nuda di controllo. La maggiore diminuzione della temperatura superficiale è stata riscontrata in corrispondenza di un *living wall* esposto a Ovest in uno studio di simulazione [11]; mentre gli altri dati si riferiscono a un *living wall* sperimentale esposto a Sud [3]. Quest'ultimo caso di studio mostra la dipendenza tra la diminuzione della temperatura superficiale e le condizioni meteorologiche. In particolare, le massime diminuzioni della temperatura superficiale (i.e., -8 e -12 °C) si raggiungono in condizioni di tempo soleggiato; mentre, la diminuzione più bassa (i.e., -1.5 e -2 °C) viene raggiunta in condizioni di tempo nuvoloso. Lo stesso comportamento termico è stato riscontrato nella zona climatica Cfb.

Per la zona climatica Csa, risulta che l'installazione sperimentale di *green façade* esposte a Sud comporta, in media, una diminuzione della temperatura superficiale di 2.25 °C [12]. Tale diminuzione della temperatura superficiale è solo marginalmente influenzata dalle condizioni meteorologiche e dalle specie vegetali. Si può invece notare che la massima diminuzione della temperatura superficiale (i.e., -3 °C e -2.8 °C) si ottiene in corrispondenza delle specie vegetali con l'indice di superficie fogliare (LAI) più alta.

Abbiamo ulteriormente analizzato il comportamento termico delle pareti verdi durante le ore notturne nella stagione fredda. La Figura 20 mostra che l'installazione di pareti verdi comporta un aumento mediano della temperatura superficiale mediana nelle zone climatiche Cfb, Csa e Csb; mentre in Cfa e Cwa abbiamo riscontrato una moderata diminuzione della stessa temperatura.

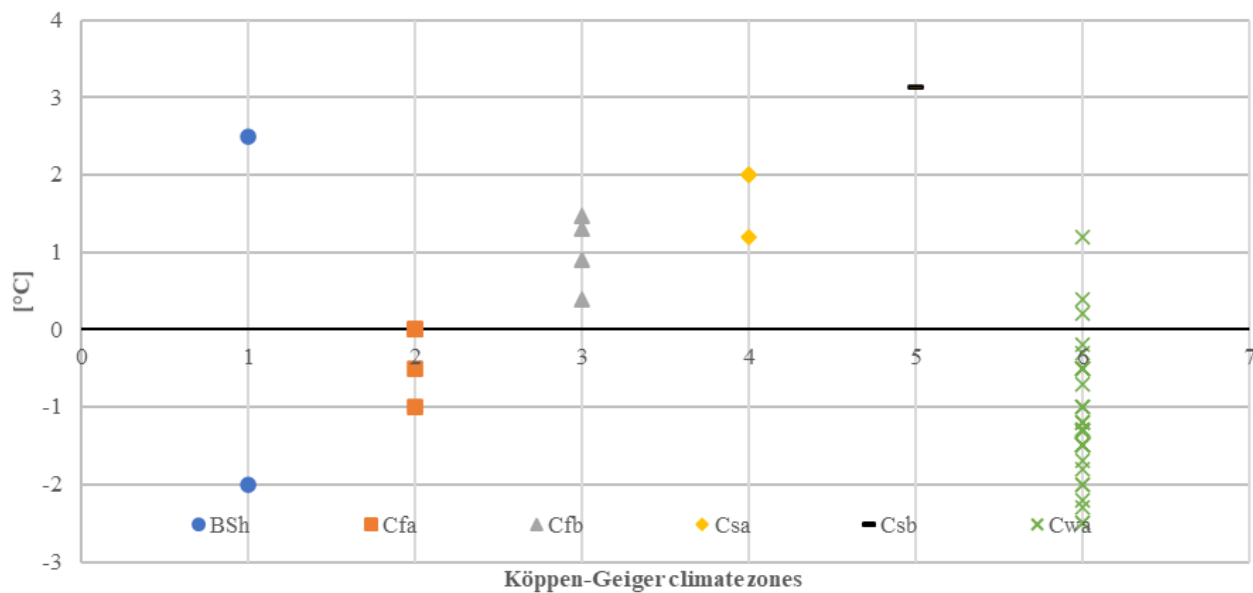


Figura 20. Effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura superficiale notturna nella stagione fredda – valori medi

La Figura 20 mostra, inoltre, che la differenza di temperatura superficiale rispetto a una parete di riferimento è limitata entro un intervallo massimo di 4.5 °C. Si può anche notare che i casi studio riferiti alle zone climatiche BSh e Cwa mostrano la maggiore variabilità nella differenza di temperatura superficiale.

L'effetto dell'installazione di pareti verdi sulle temperature superficiali relative alle ore notturne della stagione fredda è stato ulteriormente analizzato scindendo il contributo delle *green façade* da quello dei *living wall* (Figura 21 e Figura 22).

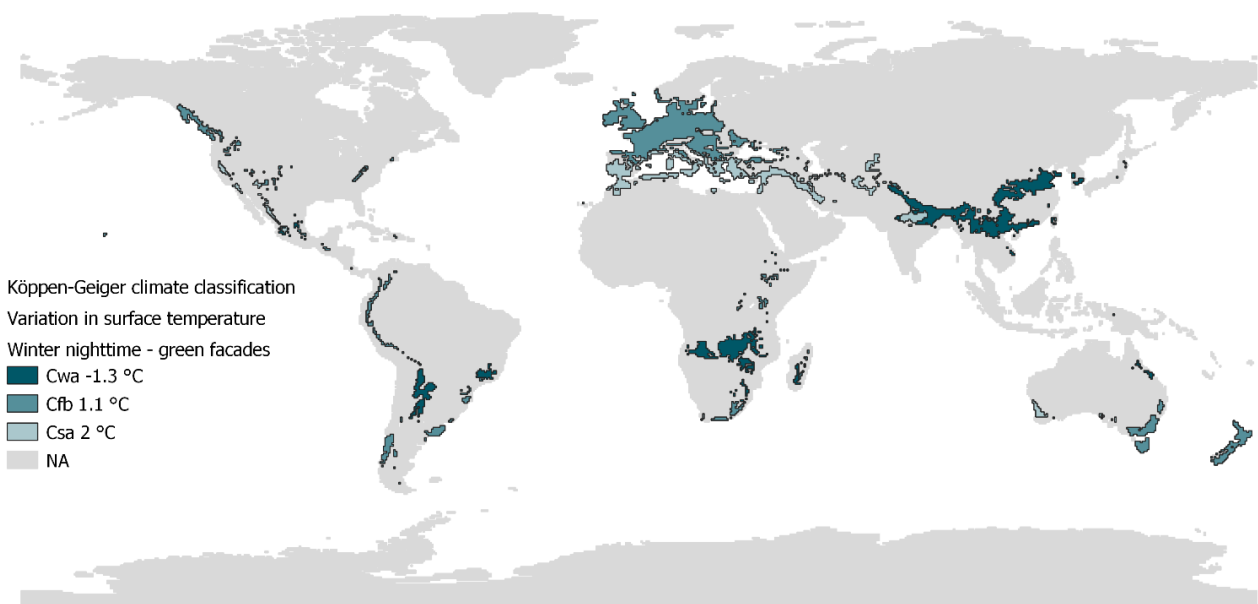


Figura 21. Effetto dell'installazione di *green façade* sulla temperatura superficiale notturna nella stagione fredda – valori medi

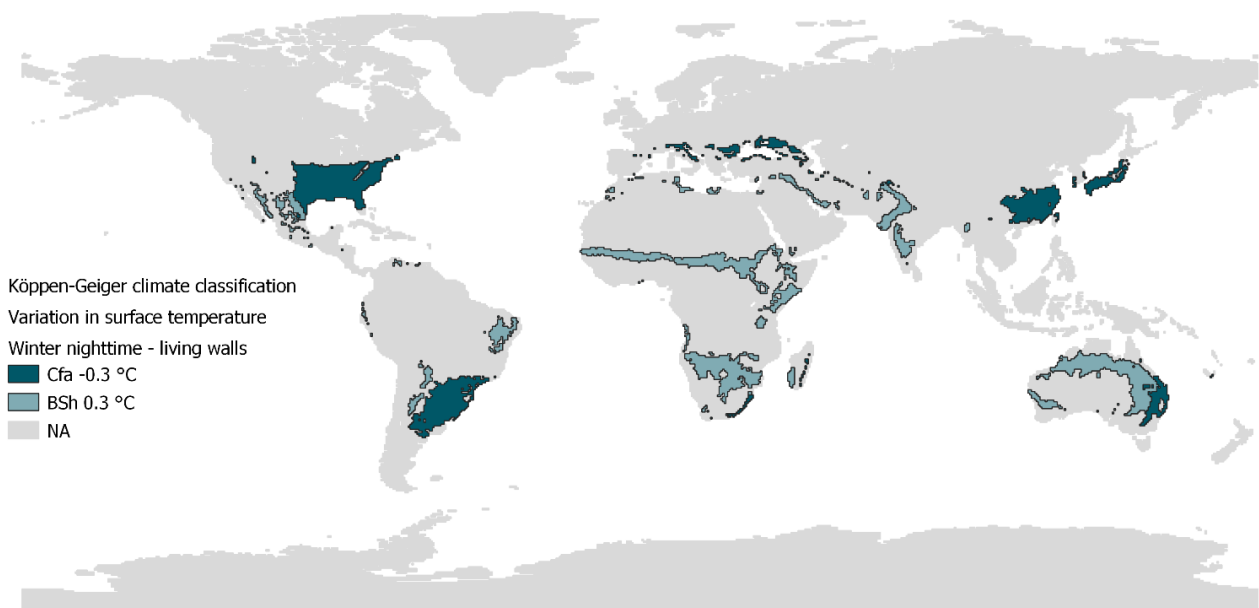


Figura 22. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura superficiale notturna nella stagione fredda – valori medi

In Figura 21 e Figura 22 si può osservare che per alcune zone climatiche erano disponibili dati di letteratura circa una sola tipologia di parete verde: *green façade* o *living wall*. Ciò dimostra che sebbene negli ultimi anni siano stati pubblicati molti articoli sulle pareti verdi, l'effetto sulla temperatura notturna è stato meno studiato rispetto all'effetto durante le ore diurne. Ciò impedisce il confronto tra *living wall* e *green façade* per la stessa zona climatica. Si può notare che le differenze mediane delle temperature superficiali sono prossime allo zero per le zone climatiche BSh e Cfa in corrispondenza dell'installazione di *living wall*; mentre, è maggiore per le restanti aree climatiche. In corrispondenza di Cfb e Csa risulta che l'installazione di *green façade* provoca un aumento mediano della temperatura superficiale che va da ~ 1 a ~ 2 °C.

Abbiamo ulteriormente studiato il comportamento termico della vegetazione verticale, nelle ore notturne durante la stagione di riscaldamento, nelle diverse zone climatiche. Per la zona climatica Csa, la Figura 22 mostra una diminuzione della temperatura mediana superficiale di 0.3 °C, con una variazione che va da -1 a 0 °C; mentre, per la zona climatica BSh le analisi hanno rivelato un aumento mediano della temperatura superficiale pari a 0.3 °C.

1.4. Effetto sulla temperatura dell'aria

Abbiamo esaminato i dati di letteratura circa l'effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura dell'aria diurna e notturna sia durante la stagione fredda che durante quella calda. In accordo con i risultati di ricerche precedenti (e.g., [13]), i dati analizzati hanno mostrato che il numero di studi che esplorano il comportamento termico delle pareti verdi durante la stagione calda supera notevolmente il numero degli studi che indagano il comportamento termico durante la stagione fredda (Figura 23 e Figura 24). Infatti, per la stagione calda, i casi di studio relativi all'effetto dell'installazione delle pareti verdi sulla temperatura diurna dell'aria si riferiscono a undici aree climatiche (i.e., Af, Am, Aw, BWh, BSk, Cfa, Cfb, Csa, Csb, Cwa e Dfb), mentre per la stagione fredda si riferiscono solo a due aree climatiche (i.e., Csa e Csb) (Figura 23).

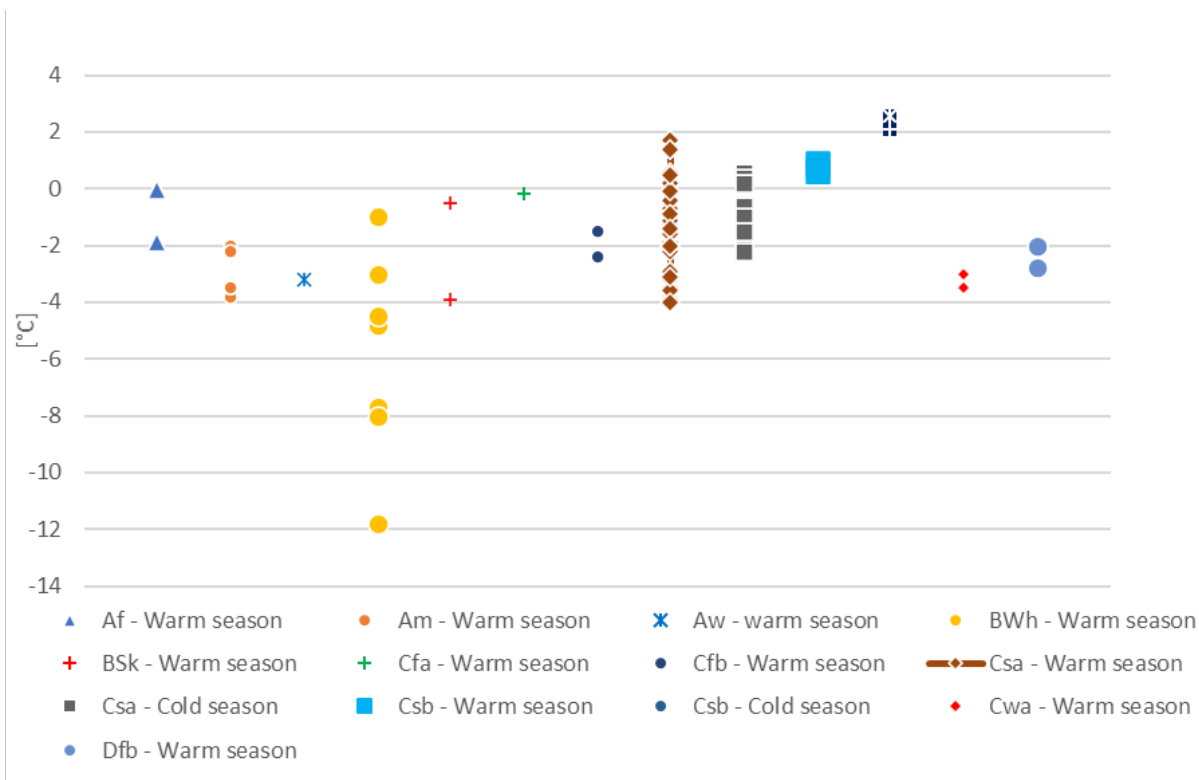


Figura 23. Variazione diurna della temperatura dell'aria nella stagione calda e in quella fredda

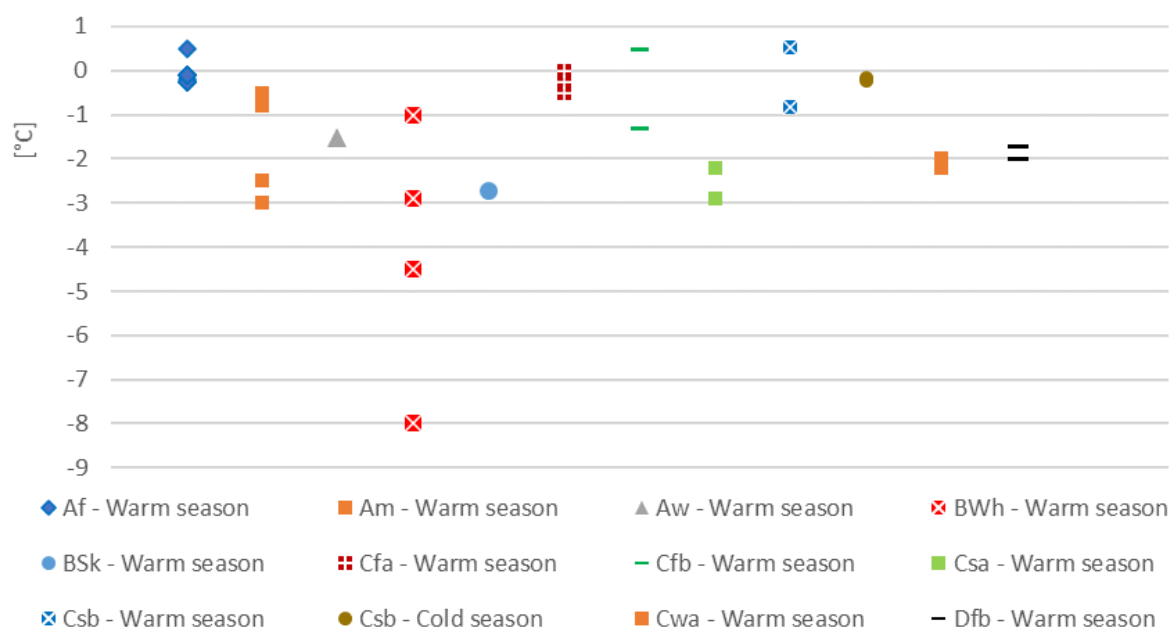


Figura 24. Variazione notturna della temperatura dell'aria nella stagione calda e in quella fredda

Invece, per quel che riguarda l'effetto dell'installazione delle pareti verdi sulla temperatura notturna dell'aria, i casi di studio fanno riferimento a undici aree climatiche (i.e., Af, Am, Aw, BWh, BSk, Cfa, Cfb, Csa, Csb, Cwa e Dfb) nel caso della stagione calda, mentre fanno riferimento ad una sola area climatica (i.e., Csb) nel caso della stagione fredda (Figura 24).

La Figura 23 mostra che l'installazione di pareti verdi nella zona climatica Cfa determina una diminuzione della temperatura dell'aria pari a 0.2 °C indipendentemente dalla parete verde installata (i.e., *green façade*, parete verde con contenitori e *living wall*).

Per la zona climatica Csa, la Figura 23 mostra una potenziale variazione della temperatura dell'aria in un intervallo di 6 °C. In particolare, la massima diminuzione della temperatura dell'aria (i.e., 4 °C) si raggiunge quando l'installazione di pareti verdi viene estesa ad un *canyon* stradale. Inoltre, l'analisi della letteratura ha mostrato che l'effetto dell'installazione di un *living wall* varia al variare della distanza dalla stessa parete verde. In particolare, all'aumentare della distanza dal *living wall* aumenta anche la temperatura. Pertanto, l'effetto di mitigazione del *living wall* è più forte vicino alla parete stessa e diminuisce con l'aumentare della distanza.

Dopo una prima analisi della letteratura rispondente alle parole chiave oggetto di analisi, i casi di studio selezionati sono stati epurati di tutti i valori anomali e per tutte le aree climatiche che presentassero più di un caso di studio proveniente da almeno due articoli scientifici è stata calcolata la mediana dell'effetto dell'installazione delle pareti verdi distinguendo tra stagione calda e stagione fredda, tipologia di parete verde e tra temperature notturne e diurne.

La Figura 25 mostra l'effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura diurna dell'aria durante la stagione calda. In particolare, è possibile notare che i valori mediani relativi a tutte le aree climatiche, di cui si disponevano di dati, mostrano una diminuzione della temperatura dell'aria, e quindi una potenziale mitigazione della UHI. Tale diminuzione della temperatura dell'aria varia da 0.2 a 1.6 °C.

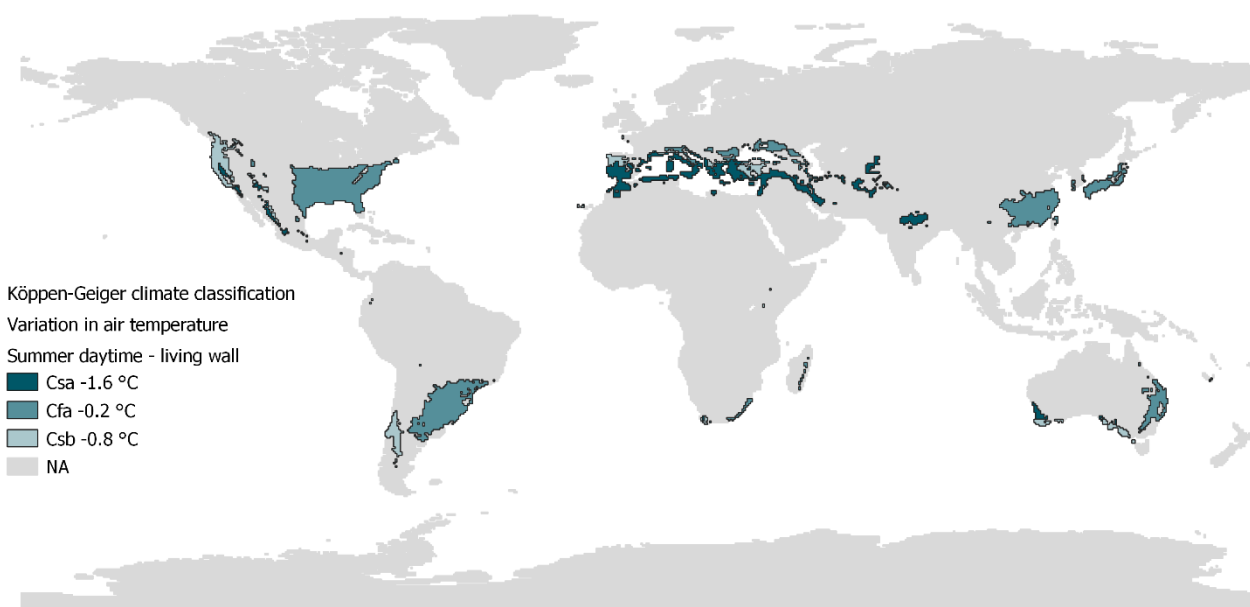


Figura 25. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura diurna dell'aria durante la stagione calda – valori mediani

L'installazione di pareti verdi nella zona climatica Cfa mostra una diminuzione della temperatura dell'aria pari a 0.2 °C dovuta all'installazione di un *living wall*. Analogamente, gli articoli recensiti per la zona climatica Csa, mostrano che l'installazione di *living wall* comporta una diminuzione mediana della temperatura dell'aria pari a 1.6 °C e una diminuzione dei 0.8 °C nell'area climatica Csb (Figura 25).

Analogamente, è stato analizzato l'effetto che l'installazione di *green façade* produce sulla temperatura diurna dell'aria durante la stagione calda nelle diverse aree climatiche di cui si possedevano dati (Figura 26).

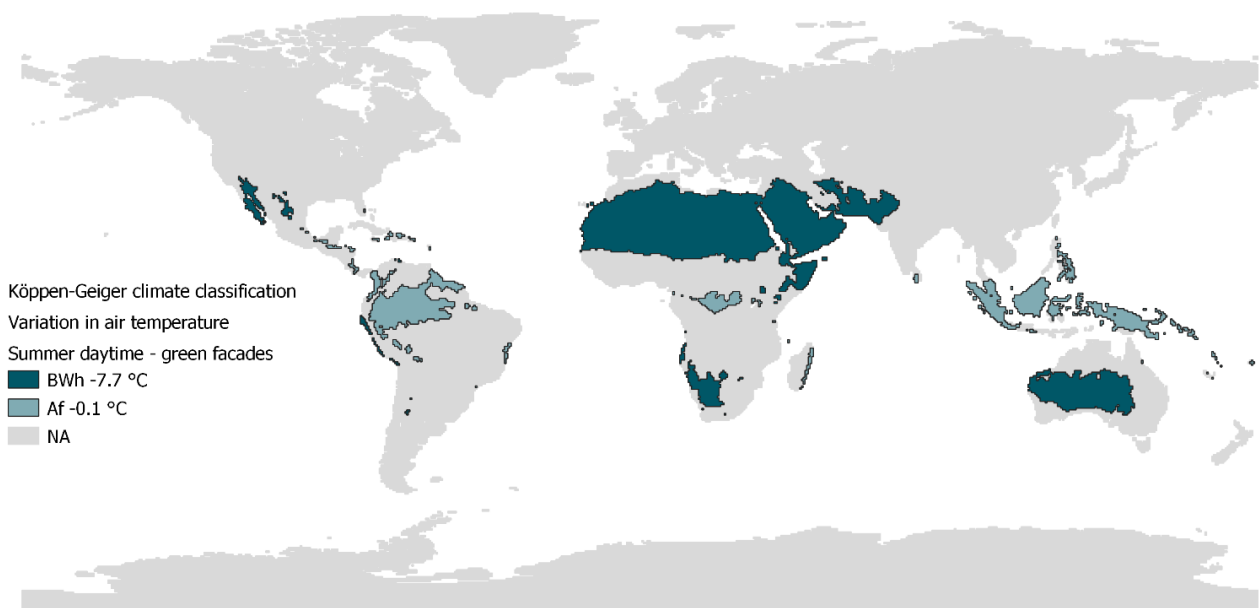


Figura 26. Effetto dell'installazione di *green façade* sulla temperatura diurna dell'aria durante la stagione calda – valori medi

La Figura 26 mostra come i dati relativi ai casi di studio si riferiscano a due sole aree climatiche: BWh e Af. È possibile notare che nella zona climatica BWh l'installazione di *green façade* dà origine ad una mitigazione della temperatura dell'aria ben maggiore rispetto alla mitigazione che si ottiene nell'area climatica Af. Tale differenza tra la magnitudo dell'effetto dell'installazione delle *green façade* è essenzialmente attribuibile ad una differenza di scala. Ovvero, la mitigazione della temperatura dell'aria ottenuta per l'area climatica BWh risente dell'applicazione ad una scala maggiore, cioè alla scala di isolato urbano, della tecnologia verde rispetto alla zona climatica Af per la quale i casi di studio esaminati si riferiscono ad una sola facciata.

L'effetto dell'installazione di pareti verdi è stato analizzato anche con riferimento alla stagione fredda (Figura 23 e Figura 24). Durante la stagione fredda le pareti verdi mostrano, secondo la letteratura recensita, due distinti comportamenti termici. Infatti, la Figura 24 mostra che per la zona climatica Csa, una diminuzione mediana della temperatura dell'aria pari a 0.85 °C; mentre per la zona climatica Csb si riscontra un aumento mediano della temperatura dell'aria pari a 2.32 °C.

La Figura 23 mostra anche che i dati recuperati relativi alla zona climatica Csa sono compresi in un intervallo più ampio di quelli relativi a Csb. I dati relativi alla zona climatica Csa sono stati tratti da un singolo studio (i.e., [14]) che esplora il comportamento termico di un *living wall* sperimentale esposto a Sud-Est installato a Madrid. I dati di de Jesus et al. (2017) [14] mostrano che la realizzazione di *living wall* comporta sia un aumento che una diminuzione della temperatura dell'aria, a seconda dei diversi momenti della giornata, delle diverse condizioni meteorologiche e delle distanze dal *living wall*. Al contrario, per la zona climatica Csb, i risultati delle analisi condotte hanno mostrato che l'installazione di un *living wall* sperimentale esposto a Ovest ad Adelaide, in Australia, aumenta la temperatura dell'aria di $2.08 \div 2.56$ °C, con il maggiore aumento della temperatura dell'aria registrato a 0.5 m di distanza e il più basso a 1 m di distanza dalla parete (Figura 23).

I dati reperiti da letteratura sono anche stati analizzati in relazione alla tipologia di parete verde (Figura 27). È possibile, tuttavia, notare che la revisione della letteratura non ha mostrato dati riferibili all'installazione di *green façade* e che i valori medi riportati in Figura 27 coincidono con i valori medi riportati in Figura 23.



Figura 27. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura diurna dell'aria durante la stagione fredda – valori medi

Abbiamo anche analizzato il comportamento termico delle pareti verdi sulla temperatura dell'aria notturna. La Figura 24 mostra che durante la stagione calda nella zona climatica Af, l'installazione di *green façade* comporta una diminuzione mediana della temperatura dell'aria di 0.1 °C. Si può notare che l'effetto di *green façade* è quasi influente sulla variazione della temperatura dell'aria. Tuttavia, la maggior parte dei casi di studio reperiti dalla bibliografia revisionata appartengono a un singolo articolo (i.e., [6]) che indaga l'effetto di una *green façade* installata in un cortile circondato da grattacieli. Pertanto, l'effetto dell'installazione della parete verde potrebbe essere stato inibito parzialmente dalla particolare configurazione urbana.

La Figura 24 mostra che nella zona climatica Am, l'installazione di pareti verdi alla scala del *canyon* stradale comporta una diminuzione media della temperatura dell'aria pari a circa 2 °C. Tuttavia, si può notare che la diminuzione della temperatura dell'aria oscilla tra -0.5 °C e -3 °C. Tale differenza di temperatura dell'aria può essere principalmente spiegata dalla diversa larghezza del *canyon* stradale su cui sono state modellate le pareti verdi. Si osserva che le maggiori diminuzioni della temperatura dell'aria (i.e., 2.5÷3 °C) si ottengono modellando *canyon* stradali larghi 10 m; mentre, per i *canyon* stradali più larghi (i.e., 15 m), l'effetto di mitigazione è minore (i.e., ~0.8 °C). Allo stesso modo, i risultati delle meta-analisi condotte mostrano che la realizzazione di pareti verdi su scala del *canyon* stradale nella zona climatica Aw riduce la temperatura dell'aria di 1.5 °C.

Le meta-analisi condotte esaminando la letteratura pubblicata mostrano che nella zona climatica BWh, l'installazione di pareti verdi alla scala del *canyon* urbano riduce la temperatura dell'aria da 1 a 8 °C. Tale mitigazione della temperatura urbana notturna durante la stagione calda dipende dalla geometria del *canyon* urbano [15]. In particolare, risulta che nella zona climatica BWh, più ampio è il *canyon* urbano minore è l'effetto di mitigazione delle pareti verdi e che più è alto il *canyon* urbano, maggiore è l'effetto di mitigazione. Allo stesso modo, è risultato che nell'area climatica BSk, l'installazione di pareti verdi alla scala del *canyon* urbano riduce la temperatura dell'aria notturna della stagione calda di circa 3 °C.

Uno studio di modellazione mostra che l'installazione di una singola parete verde può ridurre la temperatura dell'aria al massimo di 0.5 °C nella zona climatica Cfa [16]. La variazione della temperatura dell'aria nelle notti della stagione calda dipende principalmente dalla tipologia di parete vegetale. Li et al. (2019) [16] mostrano

che, ad esempio, considerando le stesse specie di vegetazione e lo stesso LAI, l'installazione di *green façade* non influisce sulla temperatura dell'aria, mentre una parete verde con tasche e un *living wall* diminuiscono la temperatura dell'aria di 0.25 °C e di 0.5 °C, rispettivamente.

Analogamente alle zone climatiche Csa, Alexandri e Jones (2008) [15] mostrano che l'installazione di pareti verdi a scala di *canyon* urbano nella zona climatica Cwa riduce la temperatura dell'aria notturna della stagione calda da 2 a 2.2 °C (Figura 24). La differenza nel potenziale di mitigazione dipende dall'orientamento del *canyon* urbano; infatti, risulta che l'orientamento Est-Ovest è più vantaggioso di quello Nord-Sud (Appendice).

La letteratura esaminata ha anche mostrato che l'installazione di pareti verdi alla scala di *canyon* urbano riduce la temperatura dell'aria notturna nella stagione calda di circa 2-3 °C in zona Csa (Figura 24). La variazione nell'effetto relativo all'installazione di pareti verdi è attribuibile al diverso orientamento. Abbiamo infatti riscontrato che la massima diminuzione della temperatura dell'aria si raggiunge quando il *canyon* urbano è orientato secondo la direttrice Est-Ovest, mentre la diminuzione più bassa si raggiunge con un orientamento Nord-Sud.

I casi di studio revisionati relativi all'effetto delle pareti verdi sulla temperatura notturna durante la stagione calda sono stati ulteriormente analizzati alla luce delle diverse tipologie di pareti verdi (Figura 28 e Figura 29).

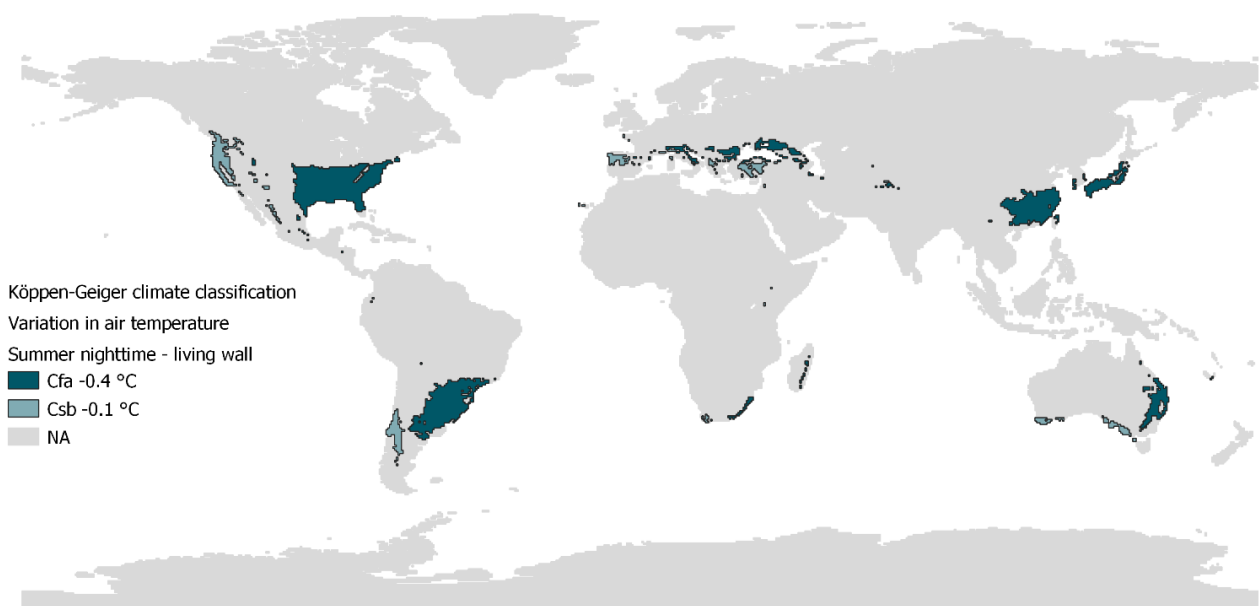


Figura 28. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura notturna dell'aria durante la stagione calda – valori medi

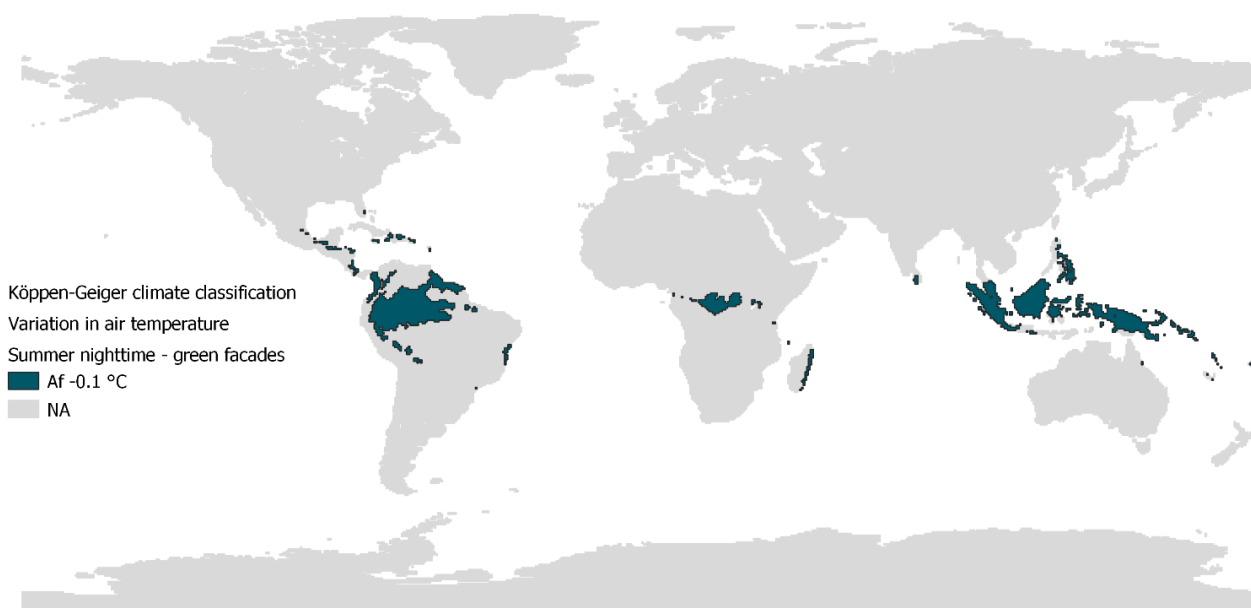


Figura 29. Effetto dell'installazione di *green façade* sulla temperatura notturna dell'aria durante la stagione calda – valori medi

La Figura 28 e la Figura 29 mostrano che i casi di studio relativi sia all'effetto dell'installazione di *living wall* sia di *green façade* sulla temperatura dell'aria notturna fanno riferimento ad un numero di aree climatiche molto esiguo. In particolare, Figura 28 mostra che i casi di studio relativi all'effetto dell'installazione di *living wall* fanno riferimento alle sole aree climatiche Cfa e Csb. In entrambi i casi l'installazione di *living wall* determina una diminuzione mediana della temperatura dell'aria durante le ore notturne della stagione calda pari a 0.1 e 0.4 °C. Mentre l'installazione di *green façade* nell'area climatica Af determina una diminuzione di 0.1 °C (Figura 29).

Il numero di studi sull'effetto di pareti verdi sulla temperatura notturna dell'aria della stagione fredda revisionati tra la letteratura selezionata è notevolmente inferiore a quello relativo ai casi di studio che fanno riferimento alla variazione di temperatura notturna dell'aria dovuta all'installazione di pareti verdi durante la stagione calda. La revisione della letteratura mostra la presenza di dati relativi alla sola area climatica Csb, che mostrano che l'installazione di un *living wall* sperimentale riduce la temperatura notturna durante la stagione fredda di $0.17 \div 0.24$ °C (Figura 24). L'intervallo di variazione dell'effetto dell'installazione dei *living wall* è giustificato dalle diverse geometrie dei *canyon* urbani in cui l'effetto dei *living wall* è stato testato. In particolare, ad una maggiore ampiezza del *canyon* urbano corrisponde una minore diminuzione della temperatura dell'aria. Poiché tra i casi di studio relativi all'effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura notturna dell'aria durante l'inverno non sono stati reperiti studi circa l'effetto dell'installazione di *green façade*, di seguito è riportata la sola mappa relativa all'installazione di *living wall* (Figura 30).



Figura 30. Effetto dell'installazione di *living wall* sulla temperatura notturna dell'aria durante la stagione fredda – valori medi

La Figura 30 mostra che la variazione mediana della temperatura notturna dell'aria durante la stagione fredda e relativa all'installazione di *living wall* si attesta sui -0.2 °C.

2. Isole di calore urbane superficiali (SUHI) nelle città italiane

“Il territorio italiano per la massima parte risulta compreso nell'ambito dei climi della classe C (nei quali la media del mese più freddo è inferiore a +18 °C ma superiore a -3 °C) e in particolare nei tipi Csa e Cfa; questi ultimi da soli occupano circa i due terzi di tutta la superficie dell'Italia” [17]. La zona climatica successiva per diffusione è la Cfb [18].

Come si potrà leggere nel seguito, utilizzando la classificazione di Köppen-Geiger e mediante l'uso di dati satellitari, abbiamo identificato le città italiane che soffrono delle maggiori SUHI. Tra le città con maggiori SUHI notturne e diurne abbiamo individuato le tre città maggiormente colpite dalla SUHI e che potrebbero trarre maggiore giovamento dalla mitigazione della UHI¹.

2.1. Dai dati satellitari ai dati UHI

In questa sezione viene descritta la procedura utilizzata per ottenere i dati sulle SUHI partendo da specifici dati satellitari. Tale procedura è strutturata in diversi passi che verranno illustrati nei seguenti paragrafi. Il paragrafo 2.1.1 descrive in che modo sono stati individuati i dati satellitari opportuni e il successivo download. Il paragrafo 2.1.2 riguarda la riorganizzazione e l'elaborazione dei dati scaricati, necessarie per renderli utilizzabili. Ogni passo di elaborazione dei dati è stato automatizzato implementando degli script ad hoc in linguaggio di programmazione Python, con l'uso di specifiche librerie geospaziali e del *software open source* QGIS.

2.1.1. Individuazione del dato satellitare opportuno e conseguente *download* dei dati

Il riferimento principale per la ricerca dei dati satellitari è stato il sito EARTHDATA [20] della NASA (mostrato in Figura 31), che da oltre 30 anni, grazie al sistema di dati e informazioni del sistema di osservazione della Terra (EOSDIS), fornisce misurazioni a lungo termine del nostro pianeta. Le migliaia di prodotti di dati forniti nella raccolta EOSDIS provengono da una varietà di fonti tra cui la stazione spaziale internazionale, satelliti, campagne aeree, campagne sul campo, strumenti *in situ* e risultati di modelli.

¹ La connessione tra *Land Surface Temperature* (LST) e UHI è un argomento ampiamente dibattuto in ambito scientifico. Infatti, se da un lato la SUHI—calcolata come differenza tra le LST in ambito urbano e rurale—fornisce una indicazione di squilibrio energetico tra ambiente urbano e ambiente rurale, dall'altro non comprende tutti i meccanismi che invece determinano la UHI, in quanto esclude i meccanismi di scambio termico ed energetico che avvengono tra superficie e la troposfera. Tuttavia, le temperature superficiali incorporano gli effetti delle proprietà termodinamiche e radiative delle superfici [19]. Pertanto, nonostante sia molto diffusa la pratica di utilizzare valori di SUHI nel presente studio i dati di SUHI per le città italiane non sono stati utilizzati per stimare le UHI ma per effettuare una scrematura tra le città italiane con la presunta maggiore UHI

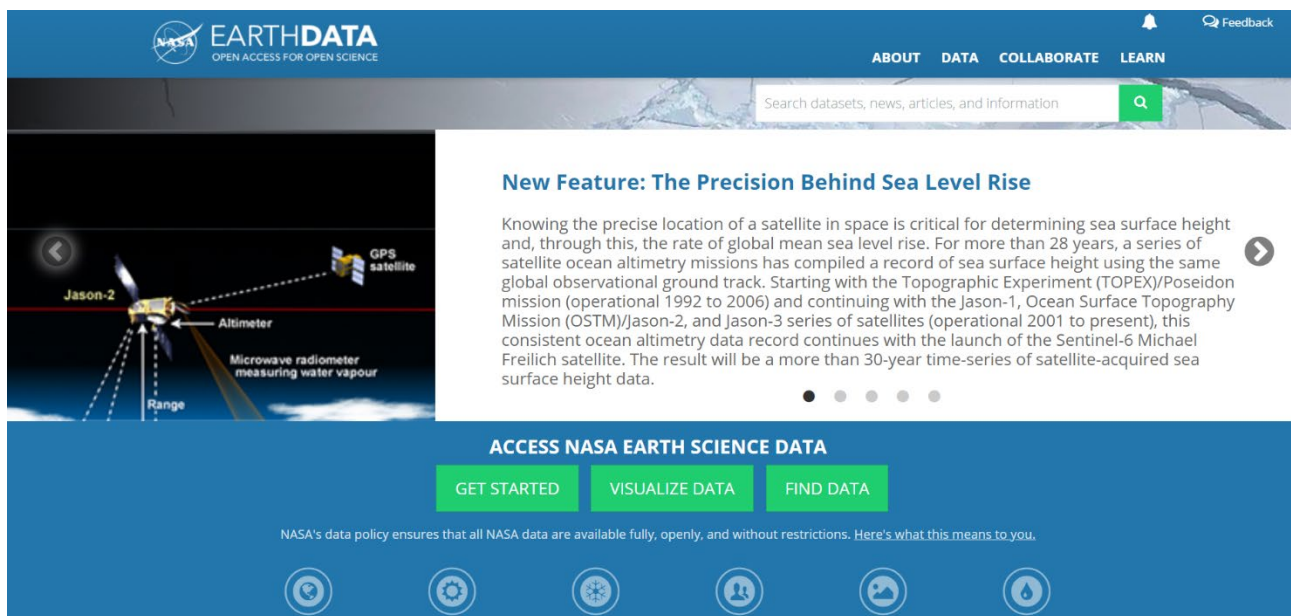


Figura 31. Sito web EARTHDATA della NASA

Dopo aver analizzato gli svariati prodotti offerti dal sito della NASA, la scelta è caduta sul prodotto MOD11A2 versione 6 [21] (Figura 32), che include dati raccolti tramite i satelliti Terra e Aqua. Tale prodotto fornisce una media di otto giorni per pixel della temperatura della superficie terrestre e dell'emissività, con una risoluzione spaziale di 1 km in una griglia di 1200 per 1200 km. Ogni valore di *pixel* in MOD11A2 è una media semplice dei pixel del prodotto MOD11A1 corrispondenti (i.e., dati giornalieri), raccolti in un periodo di 8 giorni. Insieme alle temperature superficiali diurne e notturne, il prodotto fornisce anche valutazioni del controllo di qualità, tempi di osservazione, angoli di visualizzazione dello zenit e coperture del cielo sereno insieme alle bande 31 e 32 delle emissività dei tipi di copertura del suolo.

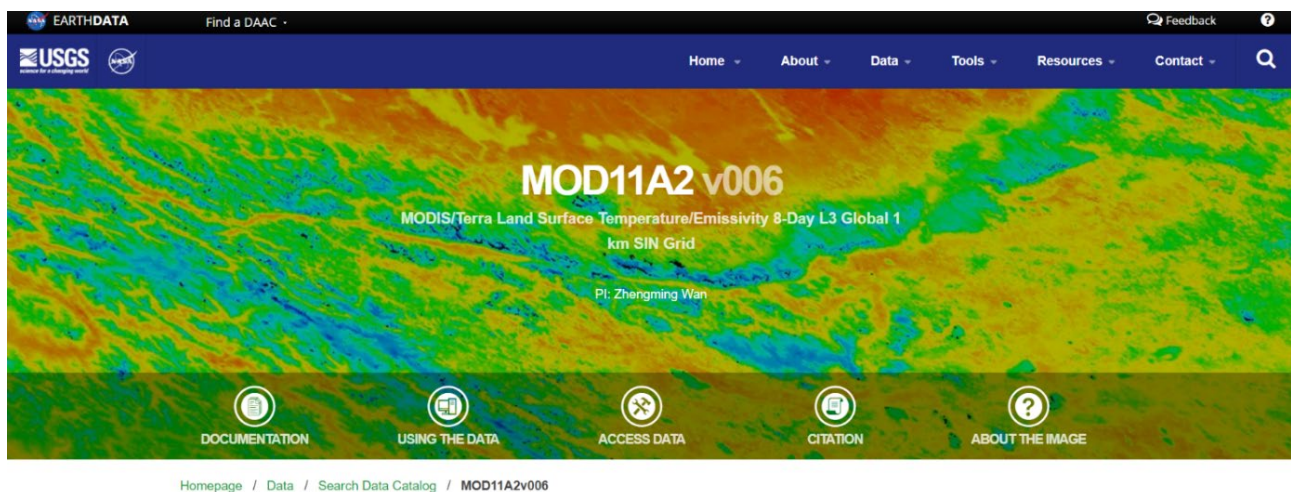


Figura 32. Pagina web del prodotto MOD11A2 versione 6

Una volta individuato il prodotto di dati confacente alla necessità del progetto, ovvero dati riguardo temperature diurne e notturne della superficie terrestre disponibili in un ampio *range* temporale con una risoluzione del pixel di 1 km, è stato necessario organizzare il *download* di una rilevante quantità di dati disponibili sulle due dimensioni, geografica e temporale. Infatti, come mostrato in Figura 33, il territorio italiano è diviso in 4 porzioni, per ognuna delle quali è possibile scaricare i dati delle temperature al suolo diurne e notturne per uno specifico periodo di otto giorni.

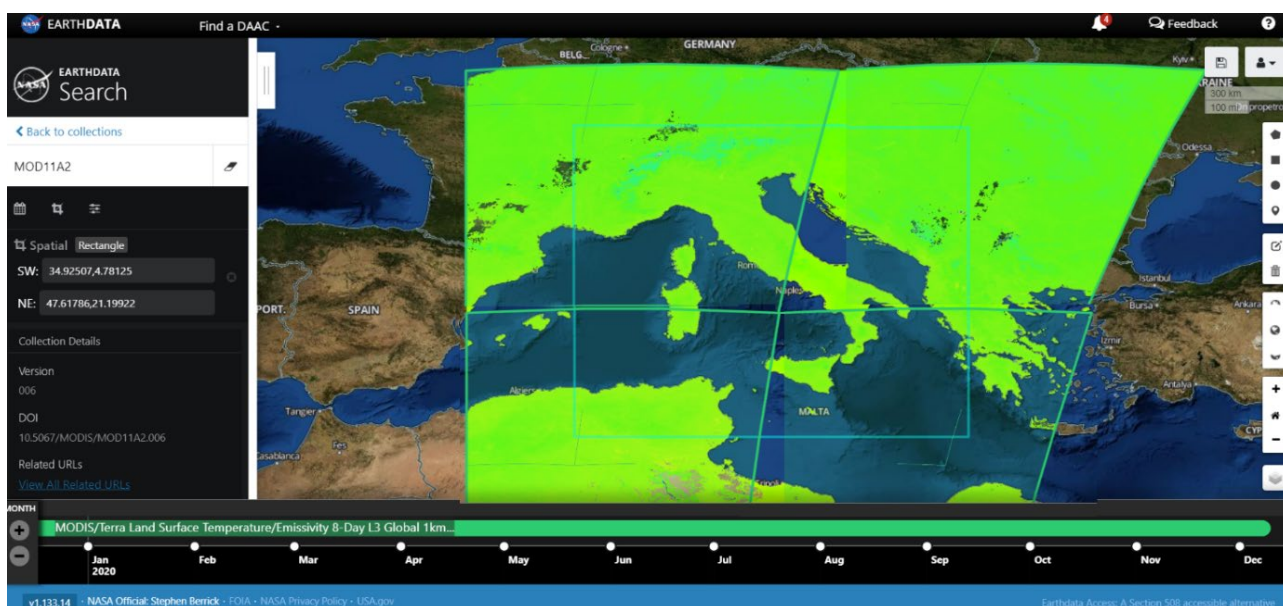


Figura 33. Pagina del download dei dati satellitari

Nel dettaglio, essendo stato scelto come periodo temporale di analisi il periodo estivo dell'anno 2010, per ognuna delle 4 porzioni geografiche evidenziate in Figura 33 sono stati scaricati 12 *file* con estensione .hdf (i.e., dal 18 giugno al 21 settembre 2010), per un totale di 48 *file*.

2.1.2. Riorganizzazione dei dati satellitari scaricati

I file scaricati in formato hdf hanno richiesto un primo *step* di elaborazione per ottenere i dati delle temperature al suolo, diurni e notturni in maniera separata. Infatti, il formato hdf include nello stesso *file* diverse informazioni. Nello specifico, ogni *file* hdf contiene i 12 strati di informativi elencati in Tabella 1.

Tabella 1. Strati informativi contenuti in un singolo file formato hdf

SDS Name	Description	Units	Data Type	Fill Value	No Data Value	Valid Range	Scale Factor	Additional Offset
LST_Day_1km	Daytime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02	N/A
QC_Day	Daytime LST Quality Indicators	Bit Field	8-bit unsigned integer	N/A	N/A	0 to 255	N/A	N/A
Day_view_time	Local time of day observation	Hours	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 240	0.1	N/A
Day_view_angl	View zenith angle of day observation	Degree	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 130	N/A	-65
LST_Night_1km	Nighttime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02	N/A
QC_Night	Nighttime LST Quality indicators	Bit Field	8-bit unsigned integer	N/A	N/A	0 to 255	N/A	N/A
Night_view_time	Local time of night observation	Hours	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 240	0.1	N/A
Night_view_angl	View zenith angle of night observation	Degree	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 130	N/A	-65
Emis_31	Band 31 emissivity	N/A	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	0.002	0.49
Emis_32	Band 32 emissivity	N/A	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	0.002	0.49
Clear_sky_days	Day clear-sky coverage	Bit Field	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	N/A	N/A
Clear_sky_nights	Night clear-sky coverage	Bit Field	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	N/A	N/A

Per ognuno dei 48 *file* in formato hdf sono stati estratti in maniera automatica due *file* in formato tiff (i.e., file di immagini), contenuti rispettivamente le temperature diurne e quelle notturne corrispondenti ai due strati informativi *Daytime Land Surface Temperature* e *Nighttime Land Surface Temperature* per un totale di 96 *file*.

In Figura 34 viene mostrato un esempio dei dati ottenuti da questa prima elaborazione di *file*, ovvero uno dei 96 *file* con estensione tiff ottenuti, riguardante i dati delle temperature diurne della porzione Nord Ovest del periodo dal 18 al 25 giugno 2010. Inoltre, in questo stesso passo, le temperature sono state trasformate da gradi Kelvin in gradi Celsius.

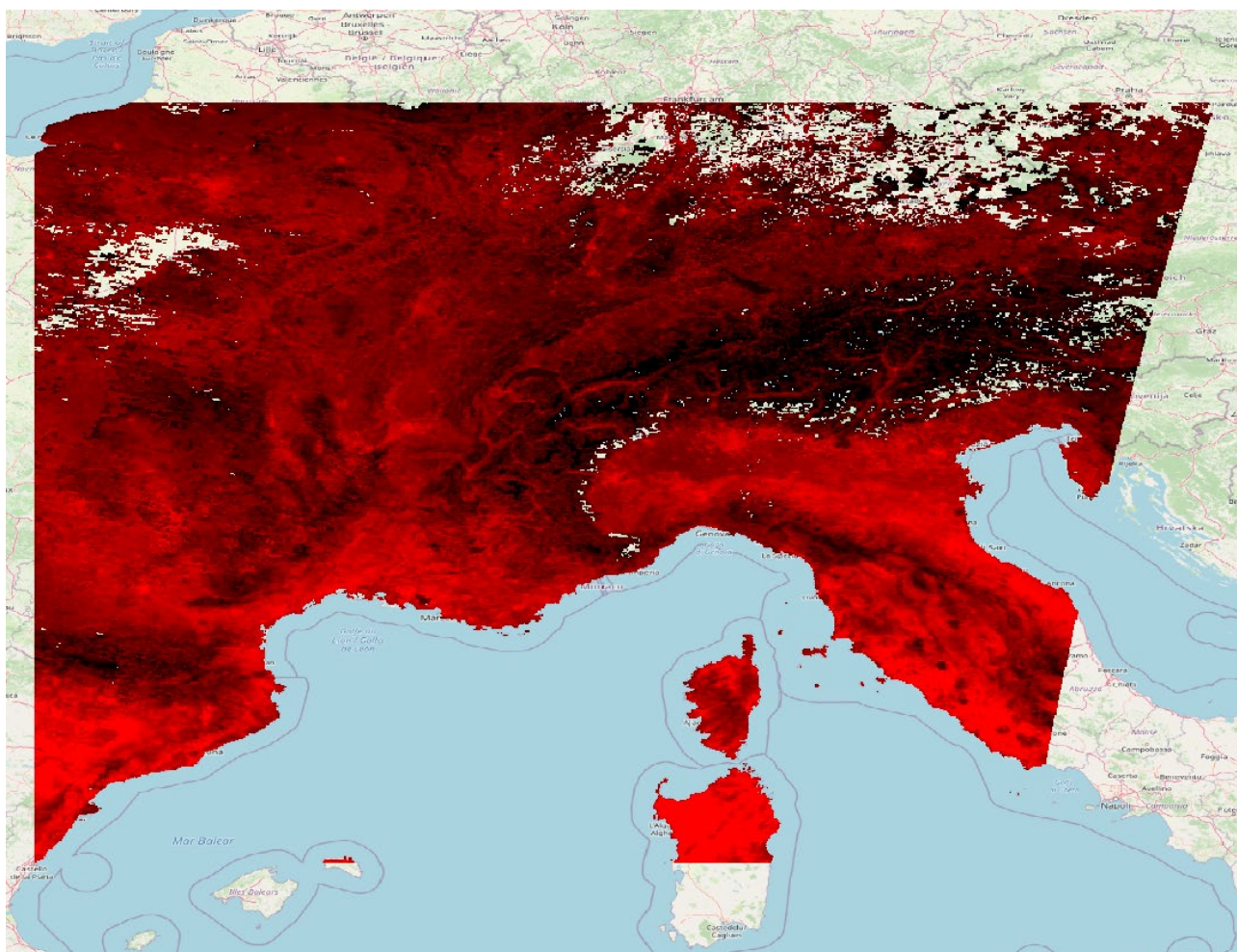


Figura 34. Esempio di un *file* scaricato dal sito della NASA, inerente a una singola porzione territoriale

Un secondo *step* necessario è stato quello di fondere insieme i dati delle quattro diverse porzioni territoriali in un unico *file* che contenesse tutti i dati a livello nazionale.

In Figura 35 viene mostrato un esempio di *output* di questa secondo elaborazione, riguardante i dati delle temperature diurne di tutto il territorio italiano dal 18 al 25 giugno 2010.

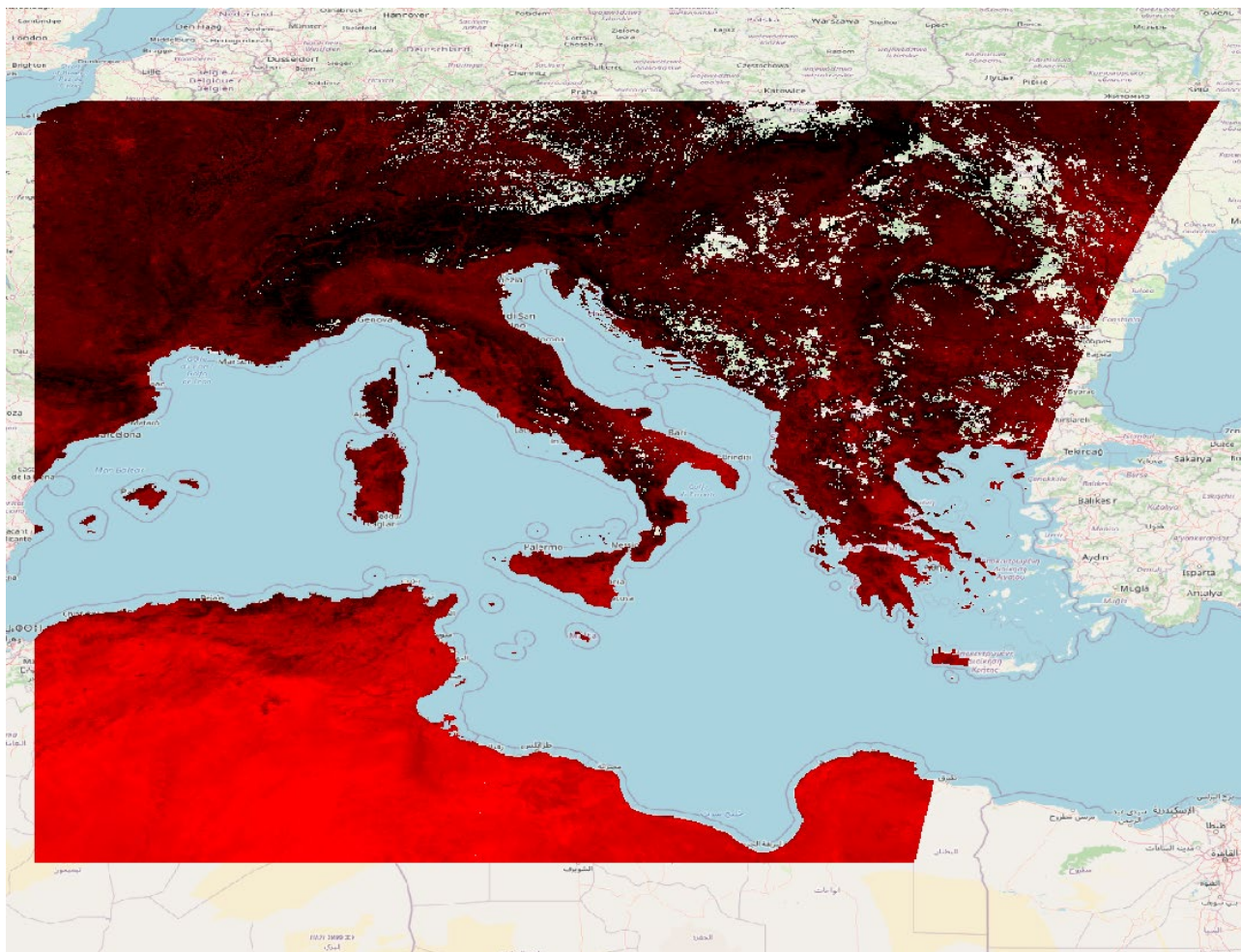


Figura 35. Esempio di un *file* che fonde insieme le quattro porzioni territoriali

Dal terzo *step* di elaborazione dei dati a seguire, ai dati *raster* presentati fino ad ora, di cui un esempio è mostrato in Figura 35, vengono utilizzati nelle varie elaborazioni anche dati vettoriali di forma poligonale rappresentanti limiti comunali e/o aree di copertura del suolo.

In particolare, il terzo *step* di elaborazione è servito per effettuare un “ritaglio” dei dati delle temperature utilizzando i *file* vettoriali dei limi amministrativi comunali, in modo da avere i dati delle temperature al suolo per ogni singolo comune italiano. Una fase di filtro ha preceduto questa elaborazione. Infatti, sono stati scelti dei parametri utili a filtrare il numero dei comuni italiani ed escludere quei comuni la cui conformazione territoriale e la situazione demografica poteva rendere poco affidabile l’*output* finale, ovvero i valori di SUHI per quello specifico comune. Nello specifico, sono stati esclusi comuni con meno di 5000 abitanti², quelli con un’altitudine maggiore di 600 metri³ e quelli che avevano più di 600 metri di dislivello altimetrico all’interno dell’area comunale perché avrebbero potuto presentare differenze nella temperatura superficiale dovute alla differenza di quota piuttosto che alla presenza di una SUHI. Utilizzando tali filtri, il numero di comuni utilizzati nella terza elaborazione di “ritaglio” sono risultati circa 1700. La Figura 36 mostra la distribuzione di tali comuni sul territorio italiano.

² Ai sensi del Disegno di legge N. 2259, per piccoli comuni si intendono i comuni con popolazione residente pari o inferiore a 5000 abitanti [22]

³ “sono considerati territori montani i Comuni censuari situati per almeno l'80 per cento della loro superficie al disopra dei 600 metri di altitudine sul livello del mare e quelli nei quali il dislivello tra la quota altimetrica inferiore e la superiore del territorio comunale non è minore di 600 metri” [23, pag. 99]

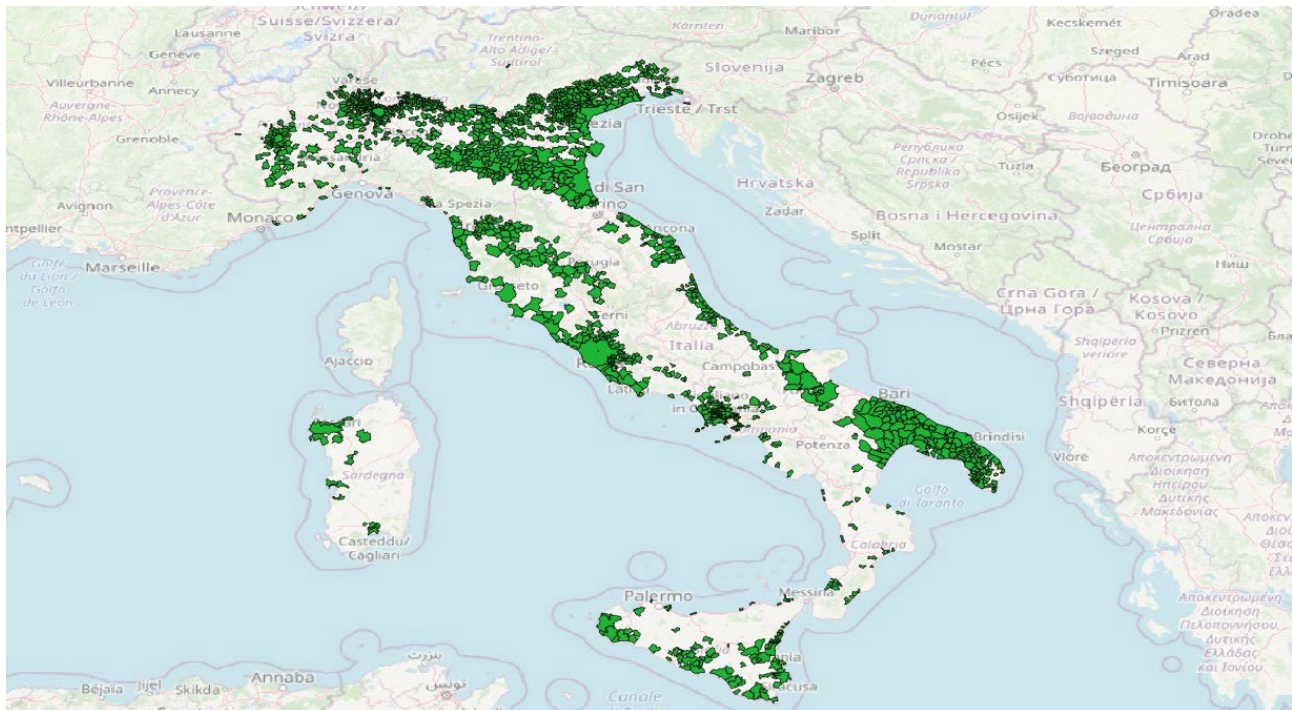


Figura 36. Comuni filtrati secondo i parametri definiti

In seguito, in maniera automatica sono stati creati circa 160000 *file* .tiff dei dati a livello comunale, ovvero il prodotto tra i 96 *file* contenenti le temperature diurne e notturne a livello nazionale e i 1700 circa limiti comunali prescelti.

In Figura 37 viene mostrato un esempio di tale ritaglio delle temperature diurne per il comune di Roma nel periodo tra il 18 al 25 giugno 2010.

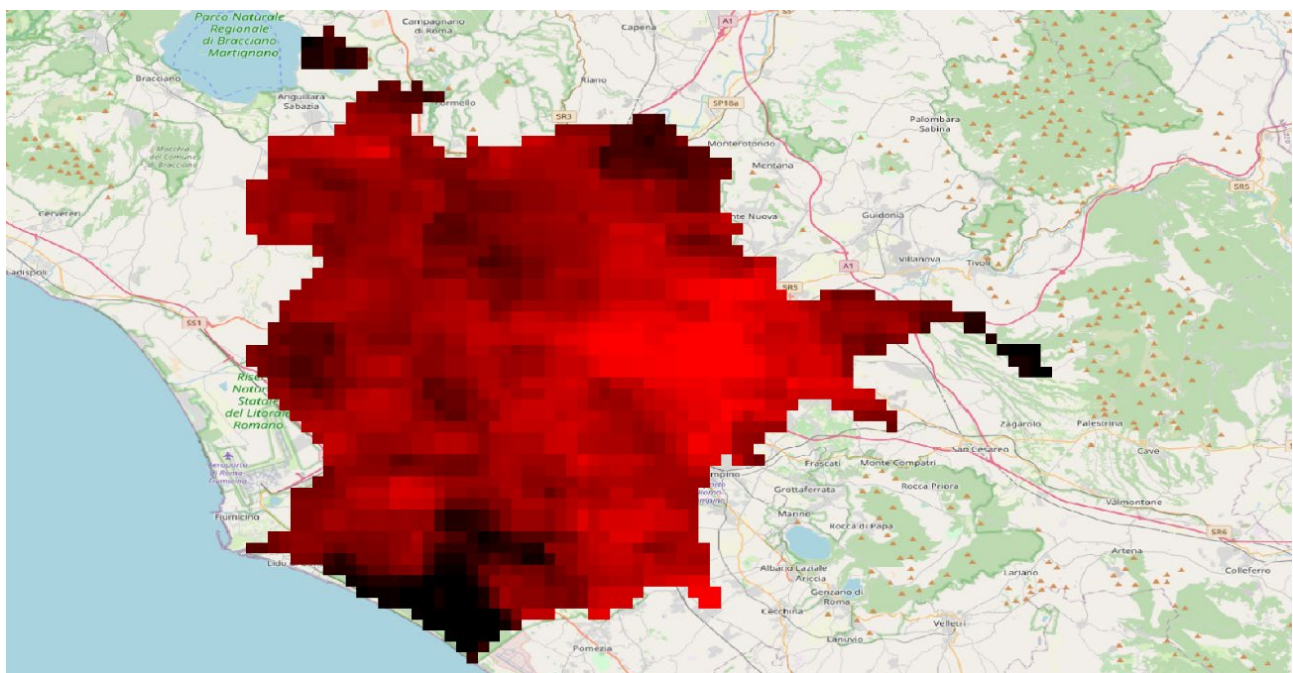


Figura 37. Temperature del suolo del comune di Roma

Una volta ottenuti i dati a livello comunale, c'è stata la necessità di inserire nell'elaborazione altri dati vettoriali riguardanti la copertura del suolo, in particolare i dati dell'iniziativa europea *Corine Land Cover* (CLC) [24], per poter distinguere all'interno dei comuni le aree urbane e le aree rurali, entrambi utili al calcolo del dato di SUHI.

Nel dettaglio, le 15 classi del secondo livello di CLC sono state riclassificate per distinguere le aree urbane da quelle rurali di uno specifico comune. In Tabella 2 sono elencate le 15 classi di CLC e la corrispondente riclassificazione. Alcune zone, come quelle contenenti acque, sono state escluse dalla riclassificazione e quindi dal calcolo delle aree urbane e rurali dei comuni.

Tabella 2. Riclassificazione delle 15 classi di secondo livello di CLC.

Classe Corine Land Cover (secondo livello)	Riclassificazione
1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale	Area urbana
1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	Area urbana
1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati	Area urbana
1.4. Zone verdi artificiali non agricole	Area urbana
2.1. Seminativi	Area rurale
2.2. Colture permanenti	Area rurale
2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)	Area rurale
2.4. Zone agricole eterogenee	Area rurale
3.1. Zone boscate	Area rurale
3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	Area rurale
3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente	Area rurale
4.1. Zone umide interne	Area rurale
4.2. Zone umide marittime	Area rurale
5.1. Acque continentali	Esclusa
5.2. Acque marittime	Esclusa

Quindi, nel quarto *step* di elaborazione, sono state prodotte per ogni comune le temperature diurne e notturne della zona urbana e della zona rurale. In Figura 38 e Figura 39 vengono visualizzati i dati delle zone rurali e delle zone urbanizzate del comune di Roma nel periodo tra il 18 al 25 giugno 2010.

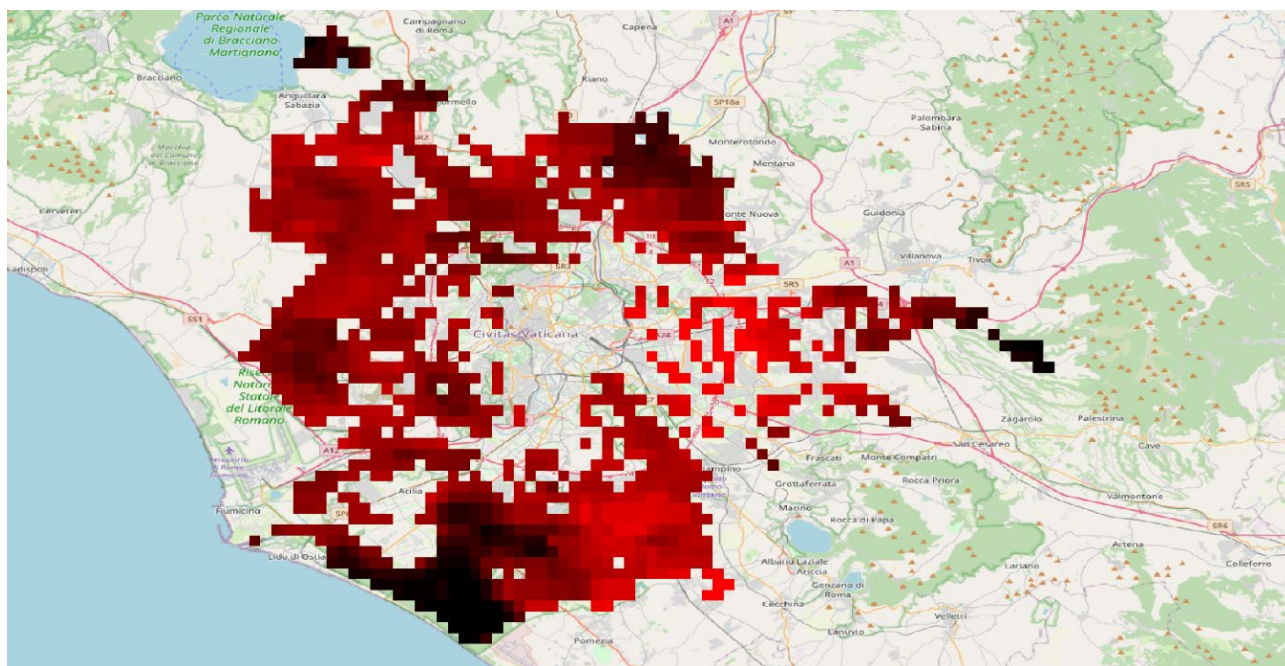
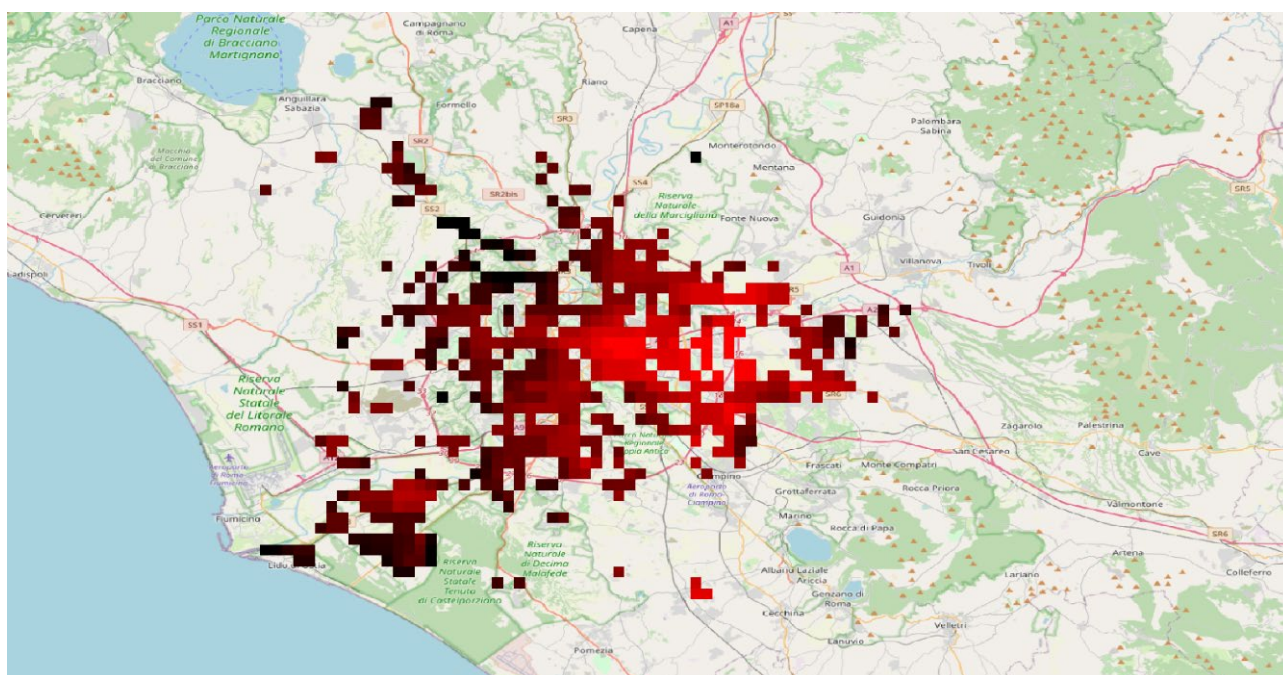


Figura 38. Temperature del suolo della zona rurale del comune di Roma



Un quinto *step* di elaborazione dati è stato usato per ottenere la media delle temperature su tutto il periodo temporale analizzato, dal 18 giugno al 21 settembre 2010. Ovvero, partendo da 24 *file*, di cui 12 relativi alle temperature diurne e 12 relativi alle temperature notturne di ogni specifica area urbana e rurale del comune, sono stati prodotti 4 *file*: un *file* con la media delle temperature diurne urbane, un *file* con la media delle temperature diurne rurali, un *file* con la media delle temperature notturne urbane e un *file* con la media delle temperature notturne rurali.

Il sesto ed ultimo *step* di elaborazione è servito per calcolare, a partire dai file prodotti nello *step* precedente, dei dati di riepilogo utili al calcolo delle SUHI per ognuno dei circa 1700 comuni scelti. La Tabella 3 mostra uno stralcio dei dati ottenuti per ogni comune per le temperature diurne.

Tabella 3. Stralcio dei dati di riepilogo sui dati diurni dei comuni

Comune	t_max	t_min	dif_max_min	pix_temp_val	pixel_tot	from	to	d/n
Acqui Terme	32.86	27.0	5.86	55	108	2010-06-18	2010-09-14	day
Acri	32.99	22.34	10.65	308	620	2010-06-18	2010-09-14	day
Adelfia	35.65	33.58	2.07	46	81	2010-06-18	2010-09-14	day
Adrano	42.06	28.93	13.13	113	336	2010-06-18	2010-09-14	day
Adria	31.47	27.45	4.02	201	390	2010-06-18	2010-09-14	day
Adro	31.81	25.61	6.2	26	54	2010-06-18	2010-09-14	day
Afragola	36.35	33.7	2.65	32	42	2010-06-18	2010-09-14	day
Agerola	25.44	21.47	3.97	37	54	2010-06-18	2010-09-14	day
Agira	43.38	36.71	6.67	241	450	2010-06-18	2010-09-14	day
Agliana	35.63	31.8	3.83	17	30	2010-06-18	2010-09-14	day
Agnone	30.6	22.94	7.66	151	361	2010-06-18	2010-09-14	day
Agrate Brianza	34.27	31.59	2.68	17	40	2010-06-18	2010-09-14	day
Agrigento	38.57	30.09	8.48	355	1260	2010-06-18	2010-09-14	day
Agropoli	34.37	28.32	6.05	46	99	2010-06-18	2010-09-14	day
Airola	31.13	27.06	4.07	42	184702	2010-06-18	2010-09-14	day
Ala	26.32	16.43	9.89	200	396	2010-06-18	2010-09-14	day

Alassio	28.13	24.82	3.31	21	60	2010-06-18	2010-09-14	day
Alatri	35.7	22.23	13.47	157	500	2010-06-18	2010-09-14	day

In particolare, oltre alla temperatura media minima ($t_{\min}$) e la temperatura media massima ($t_{\max}$), viene calcolata la differenza tra temperatura media massima e minima (dif_max_min), il numero di *pixel* totali che fanno parte dell'immagine (pixel_tot) e quelli con valore di temperatura valido (pix_temp_val)⁴. Sono inoltre evidenziati il *range* temporale di riferimento (i.e., *from*, *to*) e se ci si riferisce a temperature diurne o notturne (*d/n*).

2.2. Le temperature superficiali sono state utilizzate per il calcolo della SUHI

Per ciascun Comune italiano sono state utilizzate la temperatura massima superficiale in ambito urbano e la minore temperatura in ambito rurale. La differenza tra questi valori è la massima SUHI per ciascuna città. Inoltre, tra tutti i Comuni italiani sono stati eliminati quelli aventi SUHI nulla o negativa, ovvero che presentassero centri urbanizzati con una temperatura superficiale inferiore rispetto alle aree rurali. Abbiamo ordinato le città affette da SUHI in modo decrescente, ovvero dalle città con una SUHI più intensa a quelle con una SUHI meno intensa. Abbiamo selezionato le 100 città con le SUHI diurne e notturne più intense. Abbiamo selezionato, tra queste, i Comuni che avevano un numero di *pixel*⁵ di temperature validi urbani o rurali maggiori di 20, in modo da poter scartare tutti quei Comuni che avessero un'area urbana o un'area rurale con temperature disponibili che fosse troppo piccola e che potesse essere influenzata da fenomeni puntuali di innalzamento della temperatura superficiale.

Da questa prima scrematura, sono risultati 34 Comuni con SUHI diurna e 31 con SUHI notturna. Di seguito abbiamo selezionato, tra i Comuni individuati secondo la procedura riportata sopra, i Comuni che presentassero contemporaneamente una SUHI sia diurna sia notturna: sono quindi risultati 24 Comuni, elencati in Tabella 4, tutti capoluoghi di Provincia.

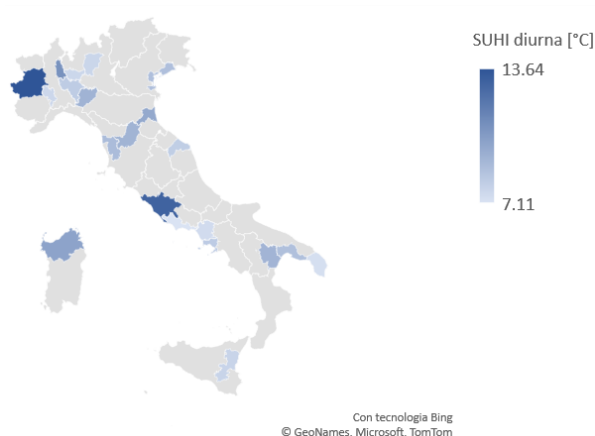


Figura 40. SUHI diurna dei 24 Comuni selezionati. I Comuni in mappa sono indicati con le Province di cui sono capoluogo

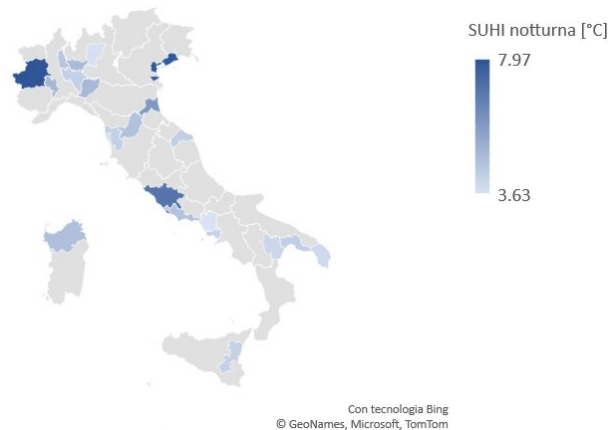


Figura 41. SUHI notturna dei 24 Comuni selezionati. I Comuni in mappa sono indicati con le Province di cui sono capoluogo

Tra i Comuni così individuati, abbiamo selezionato i primi due, in ordini decrescente, appartenenti ad aree climatiche differenti (Tabella 4), ovvero Torino e Roma e tra le rimanenti città, dato che queste appartengono tutte alle stesse aree climatiche (i.e., Cfa e Csa), abbiamo selezionato la città con la maggiore popolazione,

⁴ Ovvero i *pixel* che ricadono all'interno dell'area comunale

⁵ Ogni *pixel* ha una dimensione di 1x1 km

ovvero Milano. Quest'ultima scelta è motivata da fatto che la mitigazione dell'isola di calore urbana in una città molto popolata come Milano potrebbe giovare ad un numero cospicuo di abitanti.

Tabella 4. Elenco dei Comuni con SUHI, indicazione dei numeri di *pixel* di temperatura validi, magnitudo della SUHI e classificazione di Köppen-Geiger

Comune	Numero <i>pixel</i> di temperature diurne urbane valide	Numero <i>pixel</i> di temperature diurne rurali valide	Numero <i>pixel</i> di temperature notturne urbane valide	Numero <i>pixel</i> di temperature notturne rurali valide	SUHI diurna	SUHI notturna	Classificazione Köppen-Geiger
Torino	144	52	114	28	13.64	7.97	Cfa
Roma	587	1302	452	1283	12.98	7	Csa
Novara	33	148	33	148	10.84	4.5	Cfa
Sassari	47	782	47	782	10.04	4.7	Csa
Ravenna	69	857	51	834	9.78	5.9	Cfa
Piacenza	42	138	40	136	9.33	4.91	Cfa
Firenze	74	73	54	61	9.29	4.65	Csa
Matera	25	554	25	554	9.25	3.99	Csa
Pisa	47	208	47	208	8.9	4.21	Csa
Venezia	90	123	72	75	8.76	7.89	Cfa
Taranto	77	245	77	245	8.72	4.25	Csa
Napoli	119	40	93	34	8.2	4.1	Csa
Pavia	25	74	25	74	8.19	4.19	Cfa
Ancona	28	158	28	158	8.09	4.25	Cfa
Vigevano	25	105	25	105	7.87	4.48	Cfa
Catania	78	175	78	175	7.8	4.14	Csa
Bergamo	33	28	33	28	7.72	3.68	Cfa
Milano	208	69	117	22	7.67	4.84	Cfa
Asti	22	206	22	206	7.65	4.95	Cfa
Caserta	21	53	21	53	7.46	3.63	Csa
Fiumicino	55	270	55	270	7.44	4.49	Csa
Lecce	47	298	39	297	7.31	3.92	Csa
Latina	37	391	37	391	7.12	4.6	Csa
Bologna	95	124	61	118	7.11	3.97	Cfa

3. Individuazione delle centraline meteorologiche e determinazione delle aree urbane oggetto di studio

Le condizioni meteorologiche di riferimento sono state definite attraverso la consultazione dei dati storici di centraline meteorologiche già presenti nelle città in esame.

La determinazione delle aree urbane oggetto dello studio è quindi avvenuta identificando condizioni “favorevoli” alla creazione delle UHI, riassunte in tre caratteristiche: alta densità del costruito, presenza di *canyon* urbani e scarsa presenza di verde urbano esteso in prossimità dell’area.

La rilevazione dei dati meteorologici prevede l’acquisizione, ove disponibili, dei seguenti dati orari:

- temperatura;
- umidità relativa;
- velocità e direzione del vento;
- radiazione.

Di seguito sono mostrate le scelte effettuate per le singole città.

3.1. Torino

Per la città di Torino, tra le centraline meteorologiche disponibili è stata scelta una centralina meteorologica privata situata in via Beaulard 7 (Figura 42 e Figura 43).

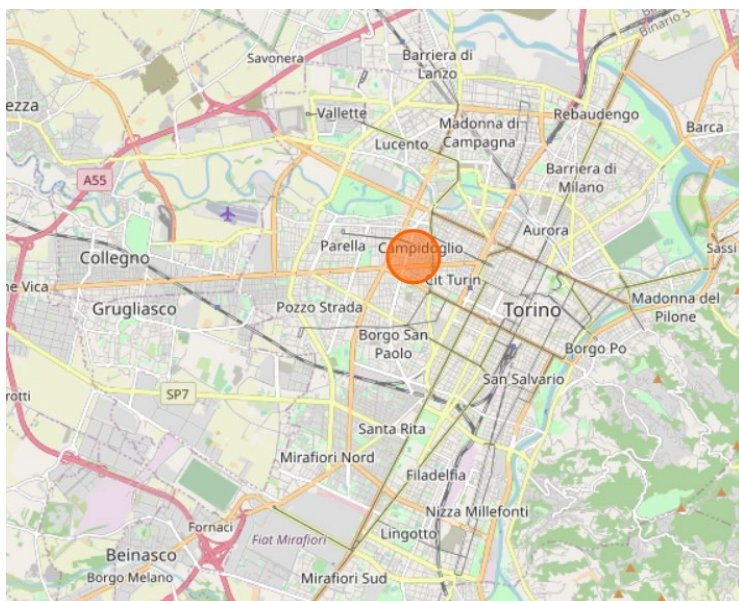


Figura 42. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto urbano di Torino

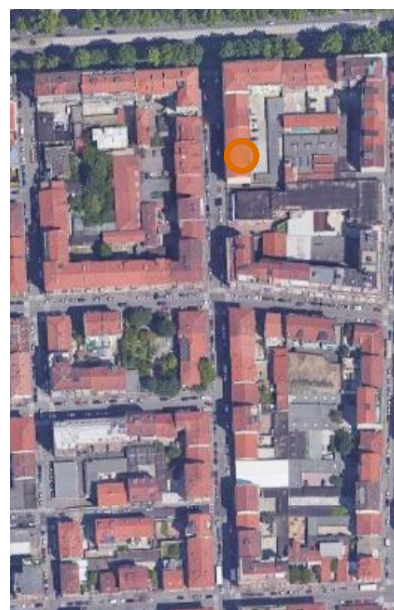


Figura 43. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto di quartiere

Il contesto urbano in cui la centralina è inserita è situato in un’area esterna al centro città, caratterizzato da una elevata densità di costruito e dalla presenza del Parco della Tesoriera a Nord. All’interno di tale contesto urbano è stata identificata un’area di circa 84000 m², dalle dimensioni principali pari a circa 200 m x 400 m, all’interno della quale ricade la centralina meteorologica selezionata. L’area urbana selezionata è caratterizzata da un contesto edilizio alquanto eterogeneo con una grande prevalenza di edifici residenziali. La maggior parte dei corpi di fabbrica presenti nell’area sono costituiti da un solo piano fuori terra e sono verosimilmente adibiti ad autorimessa. Mentre, i rimanenti edifici presenti nell’area hanno un’altezza media di 4÷5 piani fuori terra, con tre edifici che raggiungono un’altezza massima di nove piani fuori terra. L’epoca costruttiva della grande maggioranza degli edifici presenti nell’area risale agli anni 1960-1980. Nell’area urbana selezionata e mostrata in Figura 44 sono stati evidenziati in grigio scuro gli edifici in essa compresi.

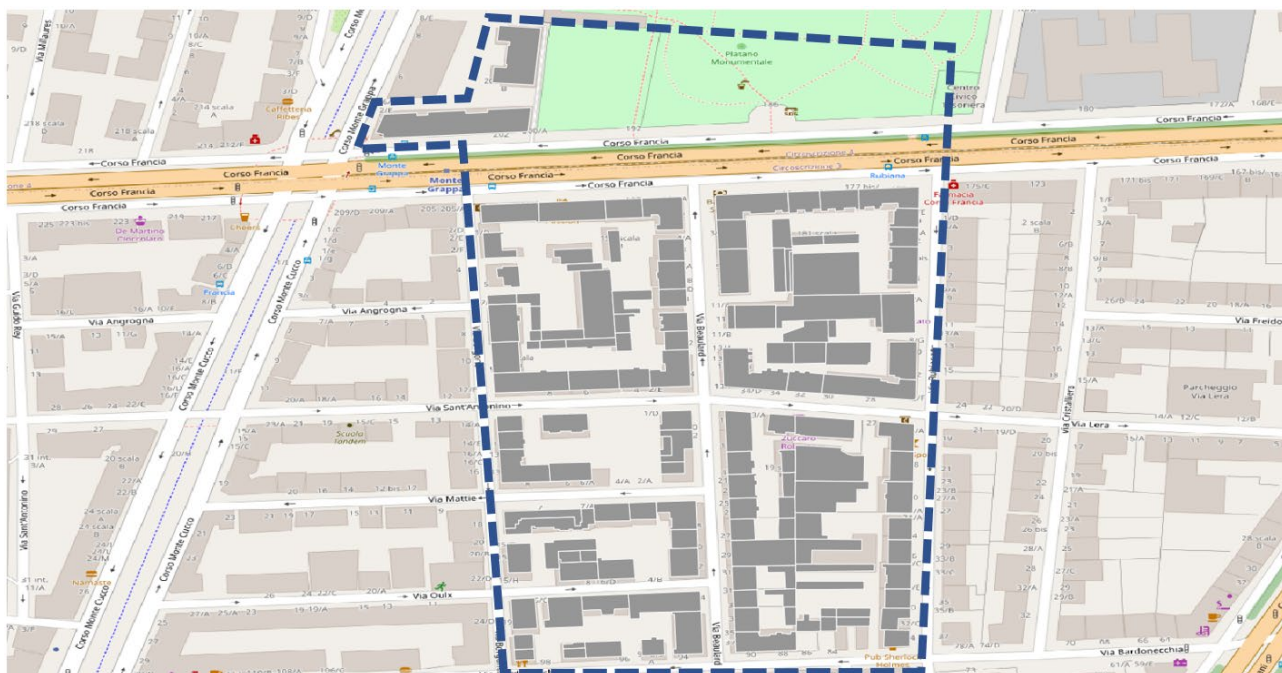


Figura 44. Identificazione dell'area urbana torinese oggetto di studio

Il Parco della Tesoriera è stato incluso solo parzialmente nell'area urbana selezionata per la modellazione e la simulazione (Figura 44) che verranno condotte mediante l'utilizzo del *software* ENVI-met. L'area urbana selezionata è caratterizzata da un tessuto compatto che si estende anche a Sud, Est e Ovest dell'area stessa. Tale scelta nasce da esigenze legate alla modellazione stessa. Infatti, si è scelto un tessuto urbano tendenzialmente omogeneo che non subisse l'influenza micro-climatica dovuta alla presenza di corpi idrici o verde urbano di grandi dimensioni. Nel caso dell'area urbana selezionata a Torino l'unico elemento che potrebbe indurre difformità in termini di dati micro-climatici in *output* derivanti dalle simulazioni rispetto alla situazione reale è costituito dalla presenza del parco. Tuttavia, rispetto alle aree urbane circostanti le altre centraline meteorologiche di cui si poteva disporre di dati, l'area urbana in Figura 44 è risultata la più adatta e pertanto è stata selezionata per le simulazioni micro-climatiche.

La centralina di cui verranno utilizzati i dati è una stazione *wireless* "Davis Vantage Pro2 Plus", con sensori U. V. e radiazione solare i cui dettagli sono riportati in Tabella 5. La centralina è installata sul tetto di un edificio costituito da cinque piani fuori terra a due metri dalla falda, ed è di uso amatoriale.

Tabella 5. Dati della centralina meteorologica di Torino, via Beaulard 7

	Marca e modello	Davis Vantage Pro2 Plus
	Installazione	Tetto
	Posizione	45.074577 N, 7.638075 E
	Quota	260 m s. l. m.
	Info e dati	[25], [26]

3.2. Roma

Per la città di Roma è stata scelta una stazione appartenente alla rete dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio (ARSIAL). In particolare, è stata scelta la centralina presente sul palazzo della sede ARSIAL, in via Lanciani 38 (Figura 45 e Figura 46).

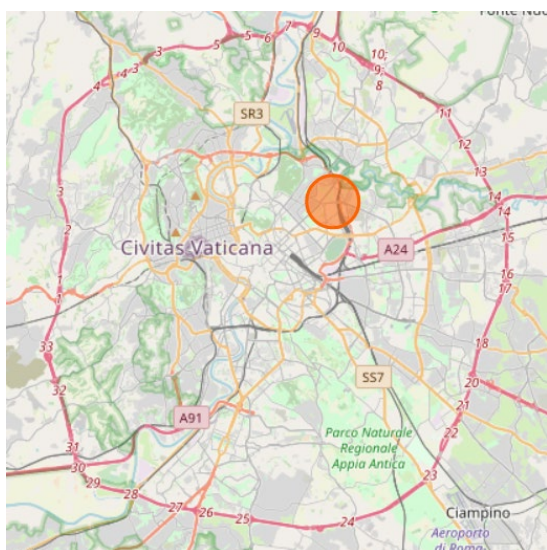


Figura 45. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto urbano di Roma

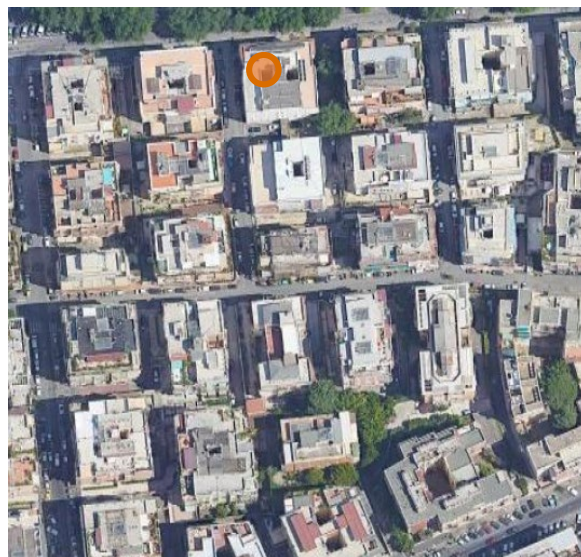


Figura 46. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto di quartiere

Il contesto urbano in cui la centralina è inserita è situato in un'area prossima al centro della città, in prossimità della tangenziale Est, caratterizzato da una distribuzione urbanistica molto regolare di edifici tra loro omogenei. All'interno di tale contesto urbano è stata identificata un'area di circa 37000 m², dalle dimensioni principali pari a circa 270 m x 150 m, all'interno della quale è collocata la centralina scelta. Quasi tutti gli edifici presenti nell'area sono residenziali ed hanno un'altezza media di 5÷6 piani fuori terra, con un edificio che raggiunge un'altezza massima di otto piani fuori terra. L'epoca costruttiva della grande maggioranza degli edifici presenti nell'area risale agli anni 1960-1970. Nell'area urbana selezionata e mostrata in Figura 47 sono stati evidenziati in grigio scuro gli edifici in essa inclusi.



Figura 47. Identificazione dell'area urbana romana oggetto di studio

L'area urbana selezionata è caratterizzata da un tessuto urbano costituito da singoli edifici tra loro abbastanza simili per dimensioni. Tale tessuto si estende anche a Sud e a Ovest dell'area stessa, e parzialmente a Nord e ad Est. Si è scelto un tessuto urbano tendenzialmente omogeneo che non subisse l'influenza micro-climatica dovuta alla presenza di corpi idrici o verde urbano di grandi dimensioni. Nel caso dell'area urbana selezionata a Roma gli elementi che potrebbero indurre difformità in termini di dati micro-climatici in output derivanti dalle simulazioni rispetto alla situazione reale sono la presenza della Tangenziale Est, posta ad Est dell'area selezionata ma non confinante con la stessa, e il Parco di Villa Blanc, posto a Nord, anch'esso non confinante con l'area scelta. Rispetto alle aree urbane circostanti le altre centraline meteorologiche di cui si poteva disporre di dati, l'area urbana in Figura 47 è risultata la più adatta e pertanto è stata selezionata per le simulazioni micro-climatiche.

La centralina meteorologica di cui saranno utilizzati i dati, e le cui caratteristiche principali sono riassunte in Tabella 6, è una stazione "Campbell modello CR1000". La stazione è installata sul tetto piano di un edificio costituito da sei piani fuori terra, è posizionata a circa due metri dal piano di calpestio del tetto e può fornire i seguenti parametri:

- temperatura;
- umidità relativa;
- pressione atmosferica;
- precipitazione;
- direzione del vento;
- velocità del vento;
- radiazione solare globale.

Tabella 6. Dati della centralina meteorologica di Roma, via Lanciani 38

	Marca e modello	Campbell CR1000
	Installazione	Tetto
	Posizione	41.920555 N, 12.523626 E
	Quota	36 m s. l. m.
	Info e dati	[27], [28]

3.3. Milano

Per la città di Milano è stata scelta una stazione appartenente alla rete di centraline per il controllo della qualità dell'aria dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) Lombardia. In particolare, è stata selezionata quella sita in viale Marche 71/73, presso l'Istituto d'Istruzione Superiore "Cremona" (Figura 48, Figura 49).

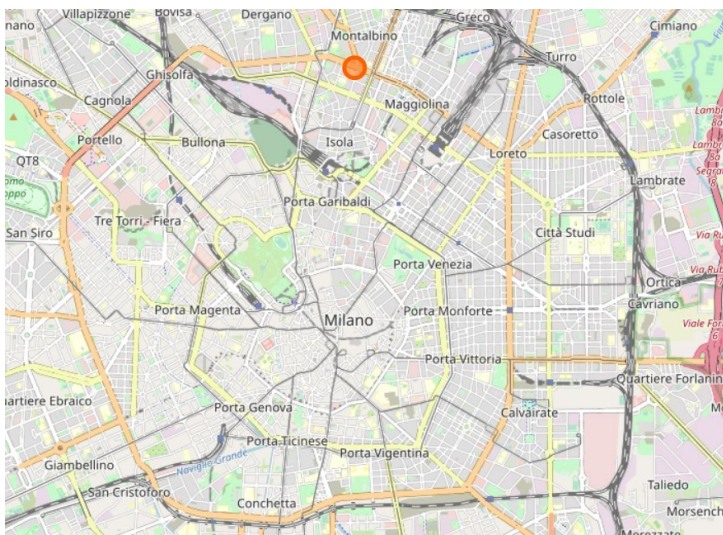


Figura 48. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto urbano di Milano

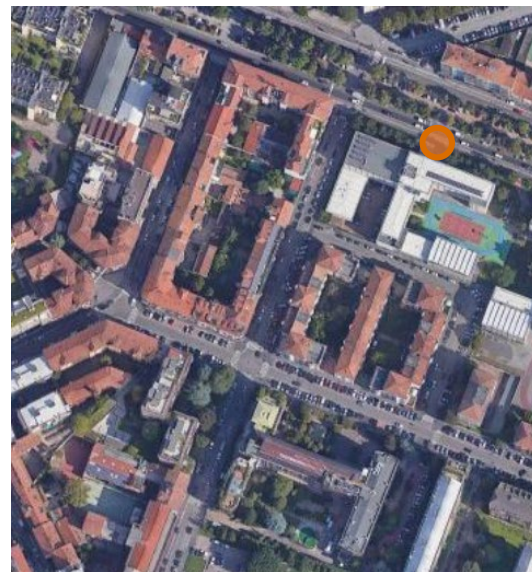


Figura 49. Localizzazione della centralina meteorologica nel contesto di quartiere

Il contesto urbano in cui la centralina è inserita è caratterizzato da un'evoluzione urbanistica stratificata negli anni, che ha portato ad un'alta eterogeneità del quartiere. Sono infatti presenti edifici costruiti dalla prima metà del secolo scorso fino ad arrivare agli anni 2000, con presenza promiscua di edifici residenziali, del terziario—incluso il complesso scolastico—e capannoni industriali. All'interno di tale contesto urbano è stata identificata un'area di circa 57000 m², dalle dimensioni principali pari a circa 360 m x 160 m, all'interno della quale è collocata la centralina scelta. Gli edifici presenti nell'area sono residenziali o terziari, in particolare scolastici, ed hanno un'altezza media di 4÷5 piani fuori terra, con un edificio che raggiunge un'altezza massima di otto piani fuori terra. L'epoca costruttiva degli edifici presenti nell'area individuata presenta la stessa eterogeneità del contesto urbano di cui fa parte: dalla prima metà del '900 agli anni 2000. Nell'area urbana selezionata e mostrata in Figura 50 sono stati evidenziati in grigio scuro gli edifici in essa inclusi.

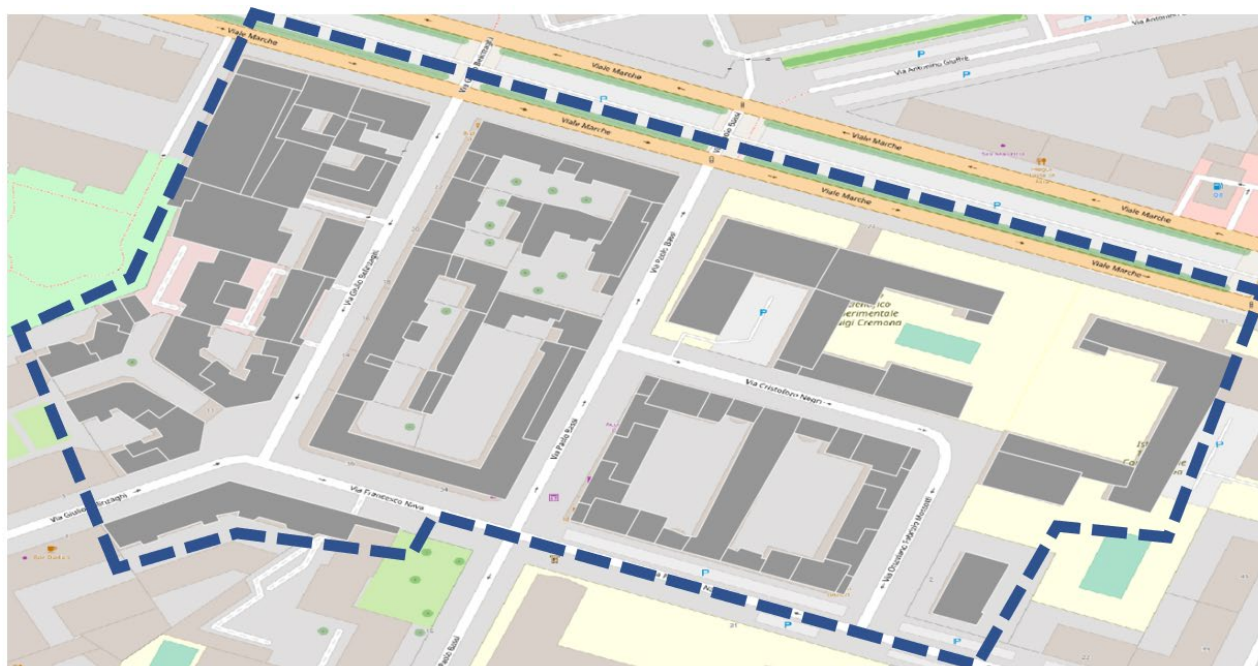


Figura 50 Identificazione dell'area urbana milanese oggetto di studio

L'area urbana selezionata è caratterizzata da un contesto edilizio eterogeneo in cui sono presenti edifici che racchiudono cortili interni. Le zone densamente costruite si estendono anche a Est e a Ovest dell'area stessa. Si è scelto un tessuto urbano che non subisse l'influenza micro-climatica dovuta alla presenza di corpi idrici o verde urbano di grandi dimensioni. Nel caso dell'area urbana selezionata a Milano gli elementi che potrebbero indurre difformità in termini di dati micro-climatici in *output* derivanti dalle simulazioni rispetto alla situazione reale sono la presenza di un parco quartiere dalle dimensioni ridotte, circa 3000 m², posto a Nord dell'area selezionata, e il Parco Viale Stelvio, dalle dimensioni di circa 10000 m², posto a Sud, prossimo ma non confinante con l'area scelta. Rispetto alle aree urbane circostanti le altre centraline meteorologiche di cui si poteva disporre di dati, l'area urbana in Figura 50 è risultata la più adatta e pertanto è stata selezionata per le simulazioni micro-climatiche.

La centralina meteorologica di cui saranno utilizzati i dati, e le cui caratteristiche principali sono riassunte in Tabella 7, è dotata di sensoristica "Lastem". La stazione è installata sul piano stradale e può fornire i dati delle seguenti grandezze:

- temperatura;
- umidità relativa;
- velocità e direzione del vento;
- velocità e direzione della raffica di vento.

Tabella 7. Dati della centralina meteorologica di Milano, viale Marche 71/73

	Marca e modello	LASTEM (sensoristica)
	Installazione	Terra
	Posizione	45.4956453 N, 9.19126794 E
	Quota	122 m s. l. m.
	Info e dati	[29], [30]

4. Individuazione delle giornate rappresentative

La valutazione degli effetti dell'applicazione degli scenari di mitigazione dell'isola di calore sarà realizzata, nell'annualità 2021, utilizzando i modelli ENVI-met sviluppati per le tre città oggetto di studio.

A tal proposito si è scelto di individuare, per ciascuna città oggetto di studio, tre giornate rappresentative di:

- una giornata estiva;
- una giornata invernale;
- una giornata estiva caratterizzata da ondata di calore.

Per ciascuna delle giornate individuate sono stati recuperati i dati registrati dalle stazioni meteorologiche scelte e descritte in Sezione 3.

I dati climatici delle giornate invernali ed estive, rappresentative per ciascuna delle città oggetto di studio, sono stati individuati tra quelli effettivamente registrati dalle stazioni meteorologiche scelte a Torino, Milano e Roma. Sono state scelte delle giornate "reali" che avessero degli andamenti di temperatura simili ai profili giornalieri, ricavati dai dati relativi agli anni climatici tipo per le tre città. Gli anni climatici tipo sono disponibili per ogni Regione italiana e per le principali località di riferimento e costituiscono la base di calcolo ufficiale utilizzata dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI) per la revisione della norma UNI 10349-1:2016 [31].

Per ciascuna città oggetto di studio, i giorni tipo invernale ed estivo sono stati ottenuti partendo dai dati dell'anno climatico tipo e calcolando le temperature medie orarie del mese con il valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna, rispettivamente, più basso e più alto.

I valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna sono ricavabili dalla norma UNI 10349-1:2016 [31] e sono riportati in Tabella 8.

Tabella 8. Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna, forniti dalla norma UNI 10349-1:2016 (UNI 10349-1 2016)

	GEN [°C]	FEB [°C]	MAR [°C]	APR [°C]	MAG [°C]	GIU [°C]	LUG [°C]	AGO [°C]	SET [°C]	OTT [°C]	NOV [°C]	DIC [°C]
Torino	1.3	3.2	8.4	12.0	18.1	22.2	23.7	22.7	19.2	12.4	6.9	2.7
Milano	4.0	7.1	10.6	13.4	19.4	22.8	24.5	24.3	19.8	14.1	7.5	3.5
Roma	8.0	9.0	11.4	15.8	19.1	22.5	26.3	26.5	21.6	17.7	12.6	8.6

4.1. Giornata invernale

Nelle tre città, i mesi scelti per il calcolo dei valori orari medi mensili della temperatura dell'aria sono:

- per Torino: gennaio, con una temperatura media giornaliera di 1.3 °C;
- per Milano: dicembre, con una temperatura media giornaliera di 3.5 °C;
- per Roma: gennaio, con una temperatura media giornaliera di 8.0 °C.

I corrispondenti profili di temperatura dell'aria orari medi mensili, calcolati a partire dai valori orari dell'anno climatico tipo di ciascuna città, sono illustrati in Figura 51. Tali profili sono stati utilizzati come riferimento per la scelta delle giornate invernali per Torino, Milano e Roma, i cui dati climatici sono riportati nelle tabelle da Tabella 9 a Tabella 13.

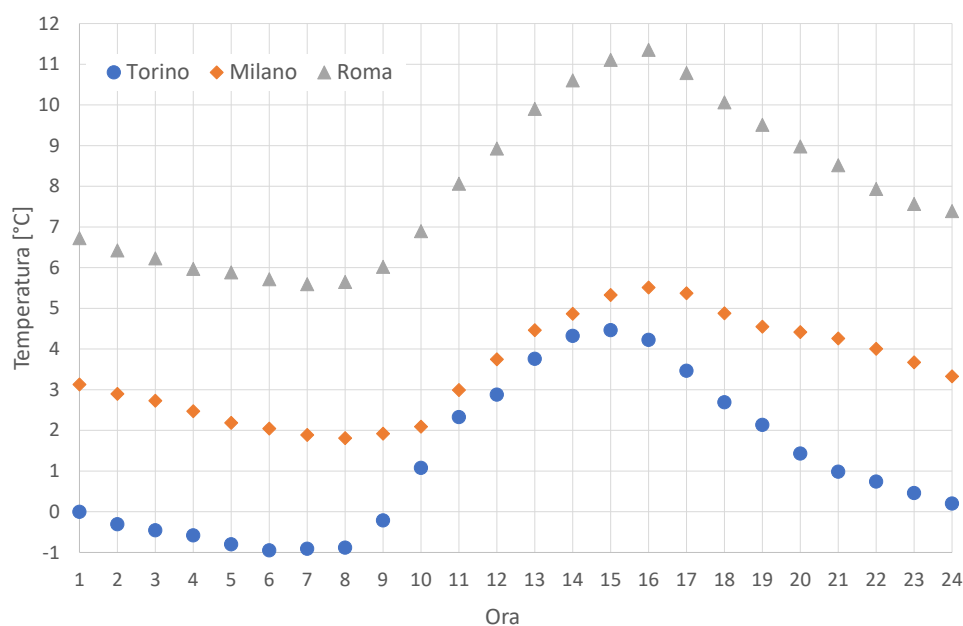


Figura 51. Temperature orarie medie del mese con il più basso valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria

Tabella 9. Torino: dati climatici della giornata invernale rappresentativa

Data	Ora	Ta Med.	U.R. Med.	Vel. Vento	Dir. Vento	Rad. Sol.
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
19/01/2016	1	0.8	46	0.4	-	0.00
19/01/2016	2	0.8	46	0.2	-	0.00
19/01/2016	3	0.8	46	0.0	-	0.00
19/01/2016	4	0.5	50	0.0	-	0.00
19/01/2016	5	0.2	51	0.2	-	0.00
19/01/2016	6	0.1	50	0.4	-	0.00
19/01/2016	7	-0.4	47	0.6	-	0.00
19/01/2016	8	-0.6	49	0.2	-	0.00
19/01/2016	9	-0.6	53	0.5	-	0.02
19/01/2016	10	-0.7	54	0.6	-	0.08
19/01/2016	11	0.2	49	0.8	-	0.14
19/01/2016	12	1.4	47	0.6	-	0.26
19/01/2016	13	3.8	39	0.5	-	0.47
19/01/2016	14	4.3	37	0.8	-	0.44
19/01/2016	15	4.8	29	0.9	-	0.36
19/01/2016	16	4.7	28	0.8	-	0.20
19/01/2016	17	4.1	28	1.1	-	0.04
19/01/2016	18	3.4	30	1.1	-	0.00
19/01/2016	19	2.9	32	0.8	-	0.00
19/01/2016	20	2.6	39	0.6	-	0.00
19/01/2016	21	1.5	46	0.7	-	0.00
19/01/2016	22	1.0	47	0.3	-	0.00
19/01/2016	23	0.7	50	0.4	-	0.00
19/01/2016	24	0.3	50	0.6	-	0.00

Tabella 10. Milano: dati climatici della giornata invernale rappresentativa

Data	Ora	Ta Med.	U.R. Med.	Vel. Vento	Dir. Vento	Rad. Sol.
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
14/12/2018	1	3.6	60.5	0.7	63	0.00
14/12/2018	2	3.4	60.8	0.7	69	0.00
14/12/2018	3	2.9	63.5	0.5	313	0.00
14/12/2018	4	2.5	65.5	0.5	273	0.00
14/12/2018	5	2.1	68.3	0.7	266	0.00
14/12/2018	6	2.0	68.6	0.8	270	0.00
14/12/2018	7	1.7	69	0.7	263	0.00
14/12/2018	8	1.9	68.6	0.7	312	0.00
14/12/2018	9	1.9	70.9	0.7	49	0.03
14/12/2018	10	2.2	68.8	1.3	67	0.13
14/12/2018	11	2.9	64	1.1	54	0.23
14/12/2018	12	3.6	59.9	0.9	17	0.30
14/12/2018	13	4.5	55.5	0.6	42	0.32
14/12/2018	14	5.7	50.3	0.7	338	0.30
14/12/2018	15	6.1	41.1	1.4	150	0.24
14/12/2018	16	5.1	45.1	1.5	162	0.13
14/12/2018	17	4.6	48.5	1.1	163	0.02
14/12/2018	18	4.2	51.2	0.6	150	0.00
14/12/2018	19	3.9	52.1	0.3	134	0.00
14/12/2018	20	3.5	55.4	0.7	25	0.00
14/12/2018	21	3.4	58.9	0.7	41	0.00
14/12/2018	22	2.9	60.2	0.8	42	0.00
14/12/2018	23	2.0	63.5	0.8	67	0.00
14/12/2018	24	1.6	65.4	0.8	66	0.00

Tabella 11. Roma: dati climatici della giornata invernale rappresentativa

Data	Ora	Ta Med.	U.R. Med.	Vel. Vento	Dir. Vento	Rad. Sol.
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
13/02/2015	1	6.9	100	0.9	305	0.00
13/02/2015	2	6.3	100	0.7	323	0.00
13/02/2015	3	5.9	100	0.8	314	0.00
13/02/2015	4	5.2	100	1.0	316	0.00
13/02/2015	5	5.4	100	0.7	318	0.00
13/02/2015	6	5.4	100	0.8	328	0.00
13/02/2015	7	5.7	100	1.0	318	0.00
13/02/2015	8	6.0	100	0.8	322	0.01
13/02/2015	9	6.7	100	0.9	127	0.06
13/02/2015	10	7.2	100	0.6	82	0.20
13/02/2015	11	8.1	100	0.8	52	0.30
13/02/2015	12	9.8	96	0.9	164	0.35
13/02/2015	13	11.2	85	1.5	180	0.48
13/02/2015	14	12.2	73	1.6	212	0.41
13/02/2015	15	12.1	70	2.0	200	0.21

13/02/2015	16	11.4	74	2.2	206	0.07
13/02/2015	17	10.4	82	1.8	206	0.01
13/02/2015	18	10.1	83	1.1	205	0.00
13/02/2015	19	9.8	85	1.2	196	0.00
13/02/2015	20	9.7	85	1.0	168	0.00
13/02/2015	21	9.4	88	0.6	120	0.00
13/02/2015	22	8.8	92	0.7	63	0.00
13/02/2015	23	8.2	96	0.6	62	0.00
13/02/2015	24	8.0	98	0.4	67	0.00

4.2. Giornata estiva

Alla luce dei dati riportati in Tabella 8, i mesi scelti per il calcolo dei valori orari medi mensili della temperatura dell'aria, nelle tre città, sono:

- per Torino: luglio, con una temperatura media giornaliera di 23.7 °C;
- per Milano: luglio, con una temperatura media giornaliera di 24.5 °C;
- per Roma: agosto, con una temperatura media giornaliera di 26.5 °C.

I corrispondenti profili di temperatura dell'aria orari medi mensili, calcolati a partire dai valori orari dell'anno climatico tipo di ciascuna città, sono illustrati in Figura 52. Tali profili sono stati utilizzati come riferimento per la scelta delle giornate estive per Torino, Milano e Roma, i cui dati climatici sono riportati nelle tabelle da Tabella 12 a Tabella 14.

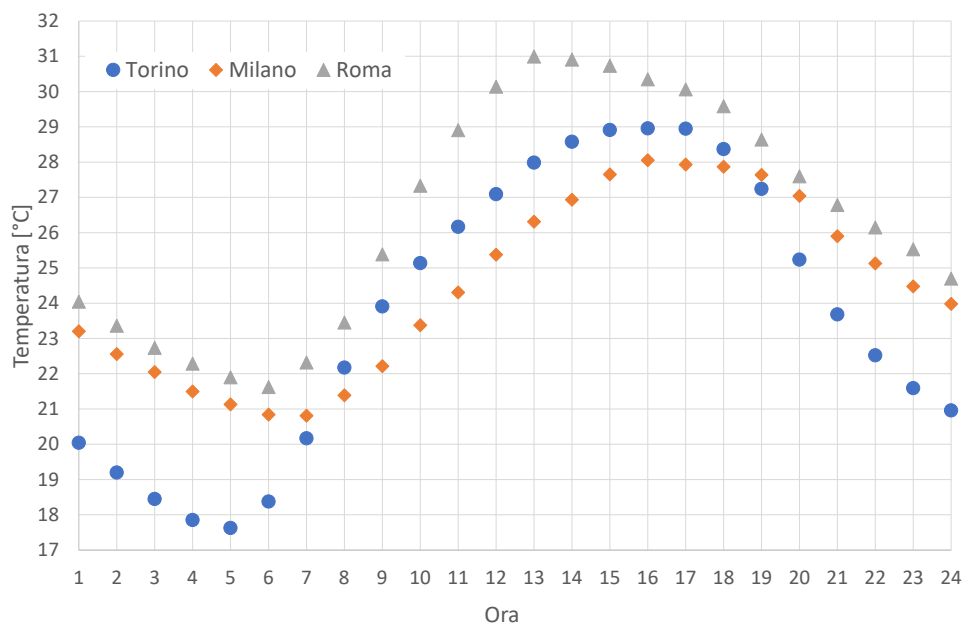


Figura 52. Temperature orarie medie del mese con il più alto valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria

Tabella 12. Torino: dati climatici della giornata estiva rappresentativa

Data	Ora	Ta Med	U.R. Med	Vel V	Dir V	Rad Sol
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
27/07/2014	1	20.1	84	0.4	-	0.00
27/07/2014	2	19.7	86	0.5	-	0.00
27/07/2014	3	19.4	87	0.4	-	0.00
27/07/2014	4	18.9	88	0.2	-	0.00

27/07/2014	5	18.6	88	0.3	-	0.00
27/07/2014	6	18.1	87	0.3	-	0.00
27/07/2014	7	17.6	86	0.6	-	0.01
27/07/2014	8	18.2	84	0.1	-	0.14
27/07/2014	9	20.1	20	0.1	-	0.39
27/07/2014	10	22.0	72	0.3	-	0.60
27/07/2014	11	23.5	67	0.6	-	0.79
27/07/2014	12	24.7	63	0.6	-	0.86
27/07/2014	13	25.7	58	0.6	-	1.03
27/07/2014	14	27.2	53	1.0	-	1.08
27/07/2014	15	28.1	47	1.3	-	1.07
27/07/2014	16	28.7	44	1.6	-	0.99
27/07/2014	17	29.1	42	1.7	-	0.88
27/07/2014	18	29.1	40	1.9	-	0.70
27/07/2014	19	28.9	40	1.8	-	0.48
27/07/2014	20	28.8	36	1.1	-	0.19
27/07/2014	21	28.4	37	0.7	-	0.04
27/07/2014	22	26.7	56	0.4	-	0.00
27/07/2014	23	24.5	72	0.9	-	0.00
27/07/2014	24	23.9	71	0.6	-	0.00

Tabella 13. Milano: dati climatici della giornata estiva rappresentativa

Data	Ora	Ta Med.	U.R. Med.	Vel. Vento	Dir. Vento	Rad. Sol.
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
19/06/2015	1	21.7	54.9	0.8	61	0.00
19/06/2015	2	21.4	58.2	1.1	67	0.00
19/06/2015	3	21.1	60	1.0	90	0.00
19/06/2015	4	20.7	63.9	1.2	85	0.00
19/06/2015	5	20.6	64	0.8	115	0.00
19/06/2015	6	20.8	62	1.1	85	0.02
19/06/2015	7	20.8	63.6	1.4	80	0.08
19/06/2015	8	21.7	59.1	1.1	95	0.24
19/06/2015	9	23.9	50.4	1.2	69	0.55
19/06/2015	10	24.7	46.7	1.6	123	0.61
19/06/2015	11	26.0	44.7	1.7	125	0.69
19/06/2015	12	26.0	46.3	1.6	148	0.78
19/06/2015	13	26.4	45.9	1.2	186	0.61
19/06/2015	14	27.2	43.2	1.6	199	0.59
19/06/2015	15	27.6	40	1.6	227	0.59
19/06/2015	16	28.0	38.9	1.9	230	0.54
19/06/2015	17	28.1	37.8	1.6	239	0.48
19/06/2015	18	28.1	38.5	1.9	254	0.30
19/06/2015	19	27.7	41.5	2.2	246	0.24
19/06/2015	20	27.6	20.8	3.9	355	0.13
19/06/2015	21	26.0	25.1	2.7	29	0.01

19/06/2015	22	23.8	37.3	3.3	58	0.00
19/06/2015	23	21.1	56	4.6	91	0.00
19/06/2015	24	20.0	69	3.4	83	0.00

Tabella 14. Roma: dati climatici della giornata estiva rappresentativa

Data	Ora	Ta Med.	U.R. Med.	Vel. Vento	Dir. Vento	Rad. Sol.
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
01/07/2015	1	22.9	76	0.8	80	0.00
01/07/2015	2	22.5	74	0.8	64	0.00
01/07/2015	3	22.1	77	0.7	57	0.00
01/07/2015	4	21.7	80	0.6	351	0.00
01/07/2015	5	22.0	79	0.8	37	0.08
01/07/2015	6	24.0	67	0.9	51	0.25
01/07/2015	7	25.5	59	1.1	50	0.44
01/07/2015	8	27.0	55	0.8	52	0.62
01/07/2015	9	28.5	48	0.9	83	0.77
01/07/2015	10	30.1	40	1.0	66	0.88
01/07/2015	11	31.0	36	1.4	5	0.93
01/07/2015	12	31.5	35	1.6	247	0.85
01/07/2015	13	31.0	43	2.9	226	0.89
01/07/2015	14	30.7	43	2.7	232	0.80
01/07/2015	15	30.5	43	2.8	240	0.68
01/07/2015	16	30.0	47	2.5	235	0.51
01/07/2015	17	28.7	56	2.5	252	0.32
01/07/2015	18	28.3	59	1.7	246	0.14
01/07/2015	19	27.7	61	1.3	231	0.02
01/07/2015	20	26.7	66	1.4	244	0.00
01/07/2015	21	26.0	69	1.0	280	0.00
01/07/2015	22	25.7	73	0.7	274	0.00
01/07/2015	23	25.3	77	0.8	276	0.00
01/07/2015	24	24.7	81	0.4	338	0.00

4.3. Giornata estiva caratterizzata da ondata di calore

In Italia, il piano operativo nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute, avviato a partire dal 2004 dal Ministero della Salute, prevede la presenza di sistemi di allarme denominati *Heat Health Watch Warning Systems* (HHWWS); tali piani sono specifici per ogni città e, utilizzando le previsioni meteorologiche, sono in grado di prevedere, fino a 72 ore di anticipo, il verificarsi di condizioni climatiche a rischio per la salute della popolazione. Durante il periodo estivo, per 27 città (i.e., Ancona, Bari, Bologna, Bolzano, Brescia, Cagliari, Campobasso, Catania, Civitavecchia, Firenze, Frosinone, Genova, Latina, Messina, Milano, Napoli, Palermo, Perugia, Pescara, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Torino, Trieste, Venezia, Verona, Viterbo), sono emanati bollettini sintetici contenenti le previsioni meteorologiche riassuntive ed un livello di allarme graduato e compreso tra 0 (i.e., assenza di allarme) e 3 (i.e., massimo allarme).

Con cadenza periodica, il centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie del Ministero della Salute (CCM), pubblica i risultati dei sistemi di allarme e del sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera e degli accessi in pronto soccorso. In tali *report* sono individuate, per ciascuna delle 27 città incluse nel sistema HHWWS, le giornate che, per le condizioni climatiche registrate, il CCM definisce caratterizzate da ondata di calore.

Le ondate di calore sono indicate in grafici simili a quello riportato in Figura 53, dove, per ciascuna delle 27 città e per il periodo considerato, sono riportati anche i valori della mortalità giornaliera delle persone con 65 o più anni, registrata e di riferimento, e della temperatura apparente massima registrata e di riferimento⁶.

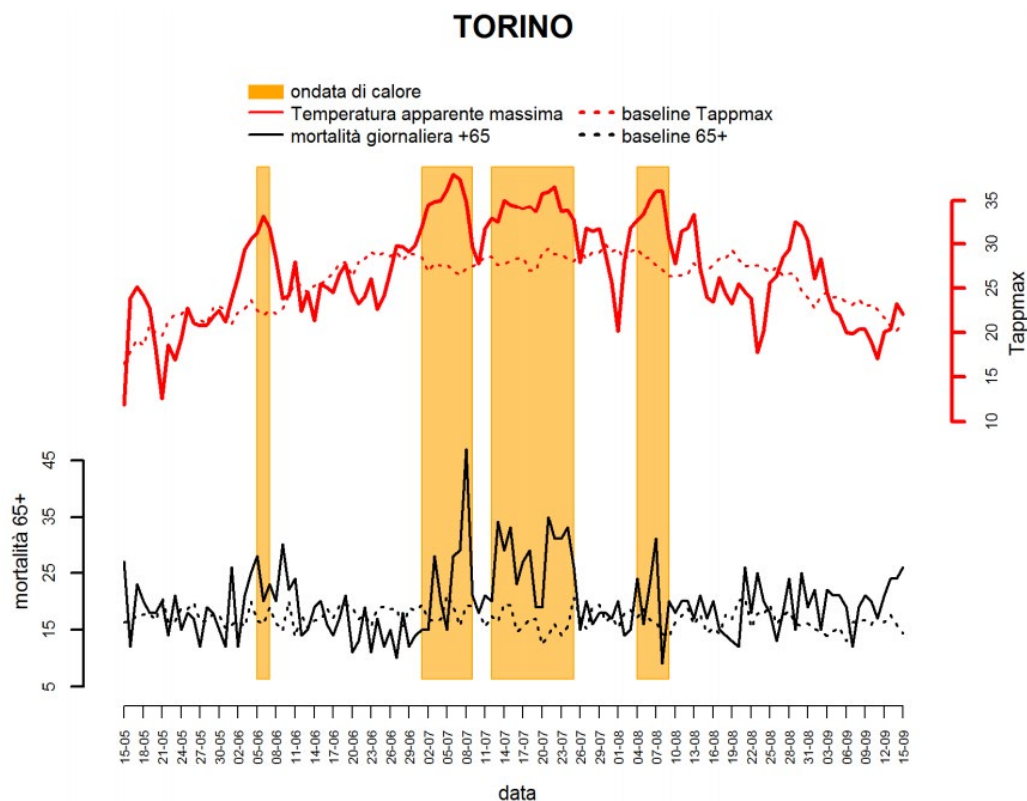


Figura 53. Città di Torino. Andamento giornaliero della temperatura apparente massima e del numero di decessi osservati e attesi nella classe di età 65 anni e oltre. Periodo 15 maggio – 15 settembre 2015. Fonte: [32]

Nell'ultimo report, disponibile e relativo ad un'intera stagione estiva, sui risultati dei sistemi di allarme e del sistema di sorveglianza della mortalità giornaliera e degli accessi in pronto soccorso [33], si osserva in Figura 54 che nel periodo 2008-2018 l'anno con il maggior numero di giorni di allarme (i.e., livelli 2 e 3) è di gran lunga il 2015.

⁶ La temperatura apparente massima è un indice di *discomfort*, definito come: $T_{app_max} = -2.653 + 0.994T_a + 0.0153(T_d^2)$, dove T_a è la temperatura dell'aria e T_d è la temperatura di rugiada.

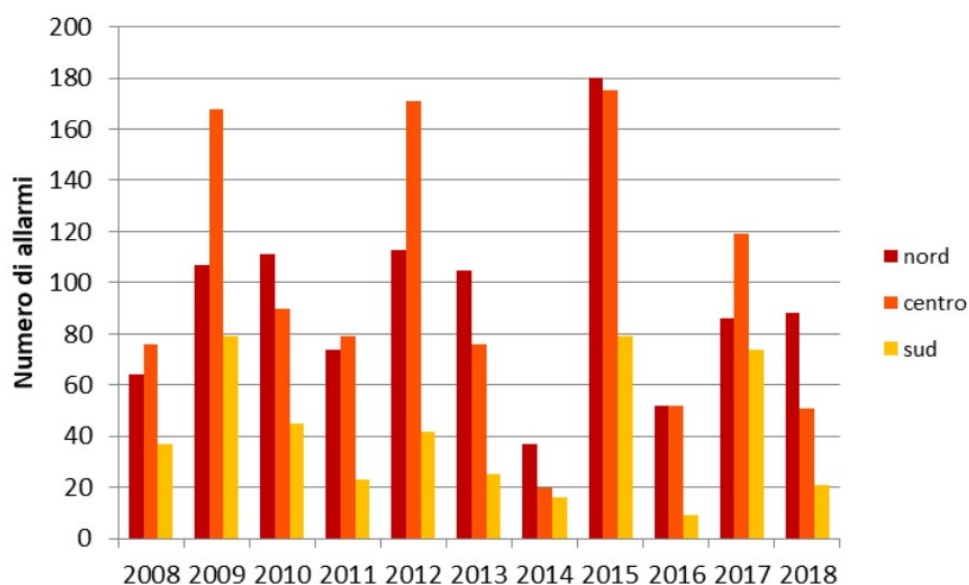


Figura 54. Numero di giorni di allarme (i.e., livello 2 e 3) osservati durante l'estate (i.e., 15 maggio – 15 settembre) nel periodo 2008-2018 nelle città del nord, centro e sud. Fonte: [33]

Per tale motivo le giornate estive caratterizzate da ondata di calore sono state scelte tra quelle dell'estate del 2015 ed indicate come "ondata di calore" nel relativo report del CCM [32]. In particolare, per tutte e tre le città oggetto di studio, è stata scelta la giornata caratterizzata dal massimo valore della temperatura apparente massima registrata: per Torino il 7 luglio (Figura 53), per Milano il 7 luglio (Figura 54), per Roma il 22 luglio (Figura 55).

MILANO

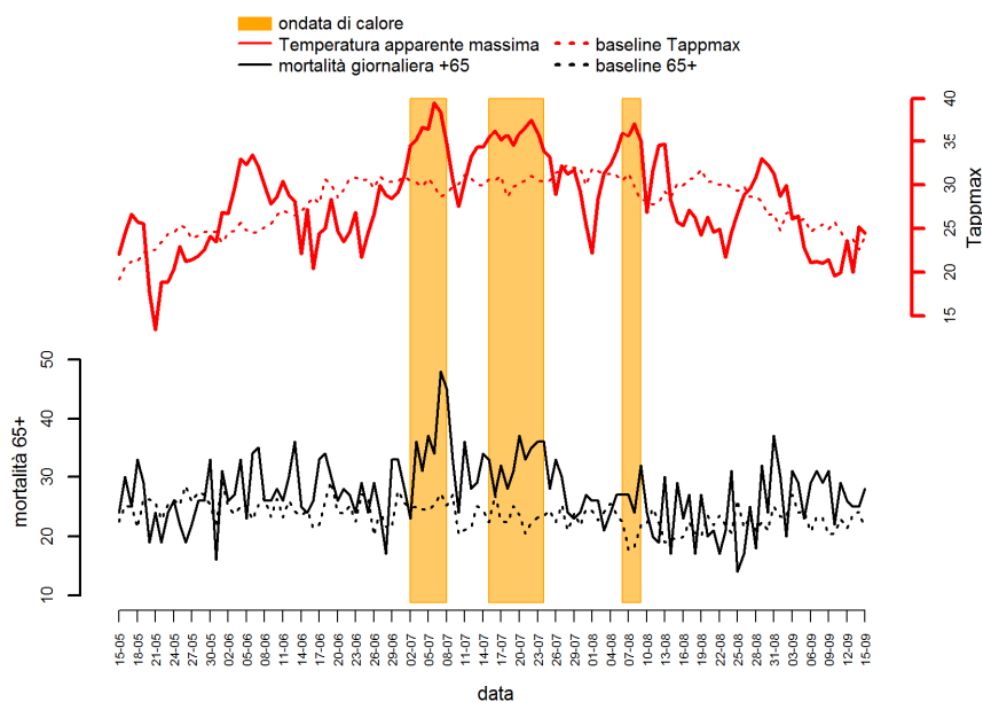


Figura 55. Città di Milano. Andamento giornaliero della temperatura apparente massima e del numero di decessi osservati e attesi nella classe di età 65 anni e oltre. Periodo 15 maggio – 15 settembre 2015. Fonte: [32]

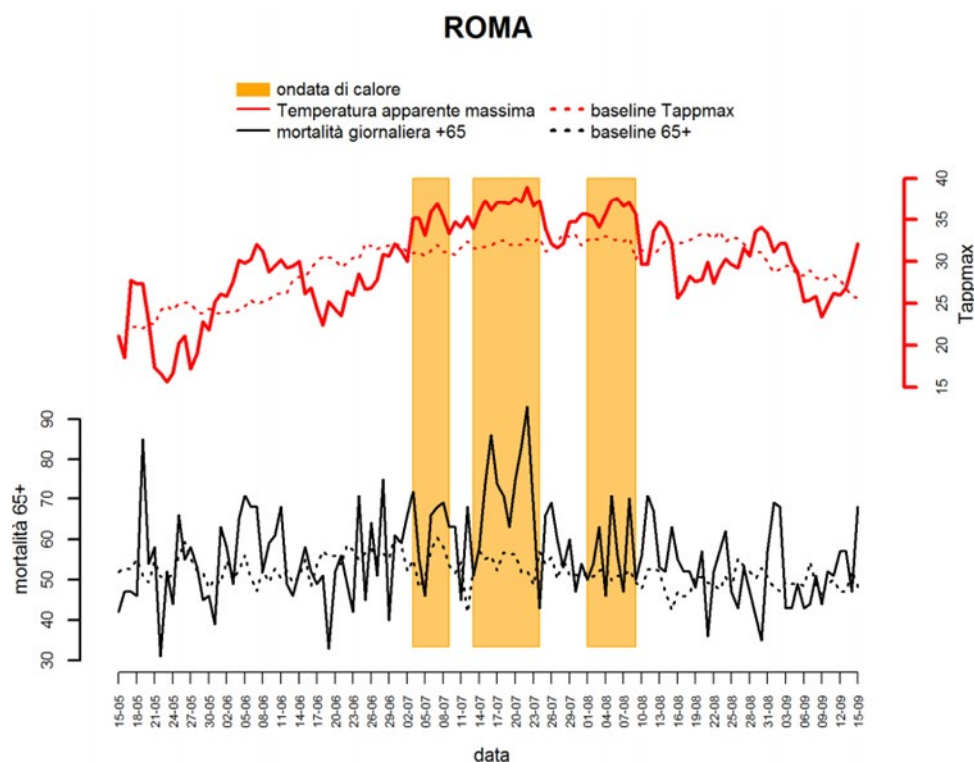


Figura 56. Città di Roma. Andamento giornaliero della temperatura apparente massima e del numero di decessi osservati e attesi nella classe di età 65 anni e oltre. Periodo 15 maggio – 15 settembre 2015. Fonte: [32]

I dati climatici delle giornate scelte per essere rappresentative, per ciascuna città, di una giornata estiva caratterizzata da ondata di calore, sono riportati nelle tabelle da Tabella 15 a Tabella 17.

Tabella 15. Torino: dati climatici della giornata estiva con ondata di calore

Data	Ora	Ta Med	U.R. Med	Vel V	Dir V	Rad Sol
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
07/07/2015	1	29.0	62	1.3	-	0.00
07/07/2015	2	28.6	64	0.7	-	0.00
07/07/2015	3	27.7	73	1.7	-	0.00
07/07/2015	4	27.0	76	2.2	-	0.00
07/07/2015	5	26.7	79	1.8	-	0.00
07/07/2015	6	26.9	78	0.3	-	0.00
07/07/2015	7	27.0	77	0.0	-	0.03
07/07/2015	8	26.9	78	2.3	-	0.09
07/07/2015	9	27.7	72	1.5	-	0.27
07/07/2015	10	28.9	68	3.3	-	0.51
07/07/2015	11	30.1	66	3.2	-	0.63
07/07/2015	12	31.5	60	2.8	-	0.86
07/07/2015	13	32.4	58	3.0	-	0.65
07/07/2015	14	32.5	58	3.8	-	0.54
07/07/2015	15	32.6	58	4.3	-	0.44
07/07/2015	16	33.7	53	3.0	-	0.65
07/07/2015	17	34.1	51	3.2	-	0.64
07/07/2015	18	34.2	50	4.2	-	0.46
07/07/2015	19	33.6	52	4.3	-	0.23

07/07/2015	20	32.9	56	3.7	-	0.06
07/07/2015	21	32.3	56	3.7	-	0.03
07/07/2015	22	31.7	53	3.0	-	0.00
07/07/2015	23	30.7	57	2.8	-	0.00
07/07/2015	24	29.6	64	1.7	-	0.00

Tabella 16. Milano: dati climatici della giornata estiva con ondata di calore

Data	Ora	Ta Med	U.R. Med	Vel V	Dir V	Rad Sol
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
07/07/2015	1	29.8	48	1.8	47	0.00
07/07/2015	2	28.8	57	2.4	72	0.00
07/07/2015	3	28.2	57	1.9	87	0.00
07/07/2015	4	28.1	57	2.1	90	0.00
07/07/2015	5	27.9	54	2.2	100	0.00
07/07/2015	6	27.8	51	1.8	87	0.03
07/07/2015	7	27.8	50	1.9	118	0.14
07/07/2015	8	29.3	46	1.7	83	0.29
07/07/2015	9	31.0	40	1.8	95	0.47
07/07/2015	10	31.8	40	1.9	93	0.53
07/07/2015	11	33.2	37	1.6	66	0.62
07/07/2015	12	33.9	37	1.7	66	0.71
07/07/2015	13	34.5	35	1.4	190	0.74
07/07/2015	14	35.0	35	1.5	211	0.74
07/07/2015	15	35.4	34	1.8	217	0.66
07/07/2015	16	35.2	34	1.8	192	0.55
07/07/2015	17	35.0	34	2.1	215	0.48
07/07/2015	18	34.2	38	2.2	193	0.36
07/07/2015	19	33.9	38	1.9	197	0.20
07/07/2015	20	33.6	36	1.9	238	0.05
07/07/2015	21	32.6	41	1.4	223	0.00
07/07/2015	22	31.3	41	2.2	231	0.00
07/07/2015	23	30.0	41	2.0	233	0.00
07/07/2015	24	28.9	43	2.3	246	0.00

Tabella 17. Roma: dati climatici della giornata estiva con ondata di calore

Data	Ora	Ta Med	U.R. Med	Vel V	Dir V	Rad Sol
		[°C]	[%]	[m/s]	[°]	[kW/m²]
22/07/2015	1	27.0	68	1.0	343	0.00
22/07/2015	2	27.4	65	0.4	74	0.00
22/07/2015	3	26.7	64	0.6	60	0.00
22/07/2015	4	25.5	71	0.8	318	0.00
22/07/2015	5	25.0	72	0.9	328	0.04
22/07/2015	6	26.5	66	1.0	351	0.19
22/07/2015	7	28.5	56	1.0	39	0.37
22/07/2015	8	30.4	50	1.0	59	0.54
22/07/2015	9	31.9	45	0.8	357	0.70

22/07/2015	10	33.7	39	0.7	318	0.81
22/07/2015	11	34.9	34	1.3	292	0.87
22/07/2015	12	35.6	35	2.0	260	0.88
22/07/2015	13	35.2	41	3.0	248	0.85
22/07/2015	14	35.7	36	2.3	248	0.69
22/07/2015	15	34.8	37	2.0	212	0.16
22/07/2015	16	31.3	44	3.9	338	0.20
22/07/2015	17	29.2	50	2.9	35	0.26
22/07/2015	18	29.7	47	1.8	32	0.11
22/07/2015	19	28.0	56	1.6	346	0.01
22/07/2015	20	28.5	52	1.1	345	0.00
22/07/2015	21	28.9	47	1.0	14	0.00
22/07/2015	22	28.7	44	1.2	32	0.00
22/07/2015	23	27.9	47	1.4	41	0.00
22/07/2015	24	25.6	60	1.4	347	0.00

I dati climatici della città di Milano, relativi alle ore 13:00 del 7 luglio 2015, riportati in Tabella 16, sono stati parzialmente ricostruiti, poiché i valori della temperatura dell'aria riferiti alle misure delle ore 12:10 e 12:20 non sono presenti nel *dataset* disponibile per la stazione meteorologica di viale Marche. Per ottenere il corrispondente valore medio orario riferito alle ore 13:00 (Figura 57), i valori mancanti sono stati desunti interpolando linearmente i valori riferiti alle misure delle ore 12:00 e 12:30 (Figura 58).

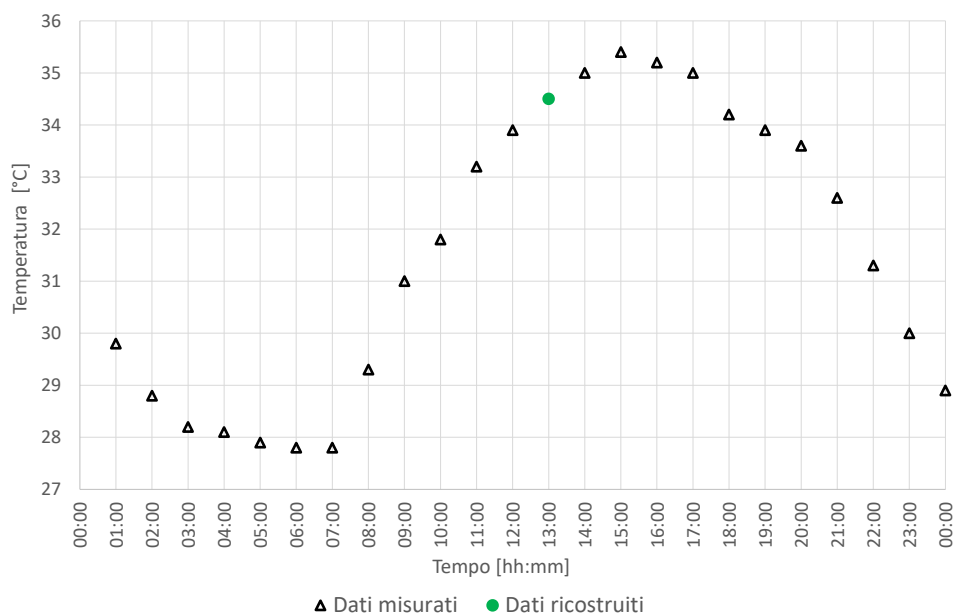


Figura 57. Temperatura dell'aria, dati medi orari, Milano, 7 luglio 2015, stazione meteorologica di viale Marche

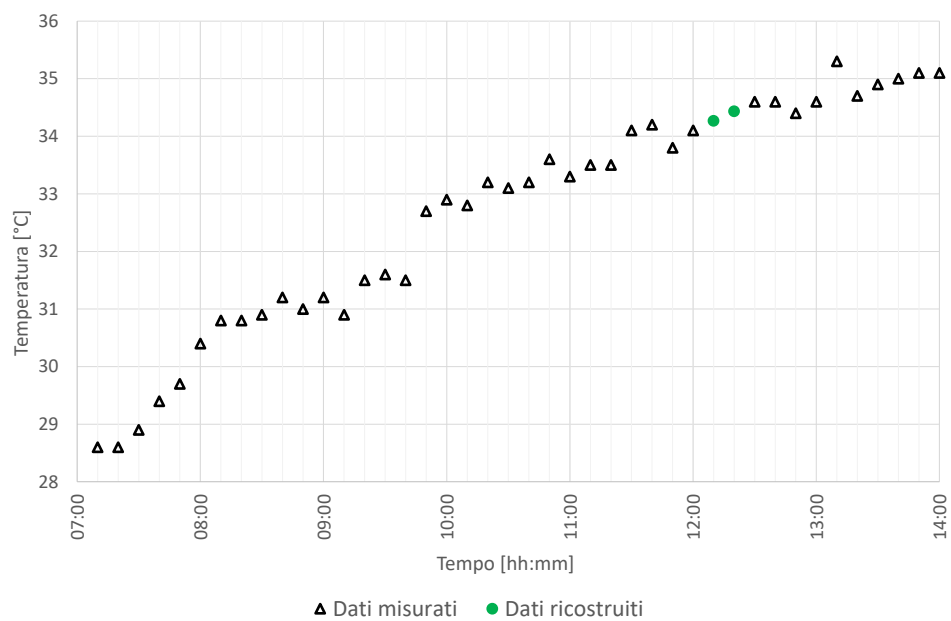


Figura 58. Temperatura dell'aria, dati ogni 10 minuti, Milano, 7 luglio 2015, stazione meteorologica di viale Marche

5. Aspetti morfologici, caratteristiche geometriche, termiche e ottiche delle aree urbane oggetto di studio

Per ciascuna delle tre città individuate appartenenti alle due aree climatiche più estese sul territorio italiano (i.e., Cfa e Csa) che presentano la maggiore SUHI e che contemporaneamente potrebbero giovare dei maggiori benefici relativi alla mitigazione della UHI (i.e., Torino, Roma e Milano) (vedi Sezione 2) abbiamo raccolto informazioni relative alle aree urbane selezionate (vedi Sezione 3). In particolare, al fine di creare un modello ENVI-met che potesse simulare le interazioni tra aree urbanizzate e microclima urbano, abbiamo raccolto dati circa la morfologia delle aree urbane in questione e le caratteristiche termiche e ottiche dei materiali e dei componenti edilizi ivi presenti.

I dati relativi agli edifici (e.g., la quota del suolo sul livello del mare, la quota di gronda, l'altezza dell'edificio, la geometria della base) sono stati reperiti dal Geoportale nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [34]. Poiché i dati si riferiscono alla situazione urbana relativa al 2003, in caso di mutata situazione nelle aree di interesse, gli edifici e le loro caratteristiche sono stati adattati alla situazione attuale. I dati reperiti dal geoportale sono stati confrontati con la situazione reale mediante l'utilizzo di *Google Street View* e sono stati aggiornati mediante i dati di *Open Street Map* [35].

Per quel che riguarda le caratteristiche ottiche dei materiali che costituiscono le finiture esterne delle aree urbane selezionate, mediante una ispezione visiva è stato determinato il colore più simile al reale ed è stato desunto il valore di albedo superficiale [36].

Per quanto riguarda le tipologie di chiusure orizzontali di copertura e verticali di confine, abbiamo proceduto mediante, prima di tutto, un'analisi visiva per la definizione delle caratteristiche macroscopiche. Dopodiché abbiamo proceduto a desumere il presunto periodo di costruzione, il numero di piani fuori terra e la presunta tipologia costruttiva. Sulla base di tali considerazioni sono stati ipotizzati i dati termofisici dei componenti di involucro opaco, ricavandoli dalle stratigrafie proposte nel rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014 [37] e nel rapporto "Stato dell'arte di soluzioni tecnologiche di involucro edilizio esistenti come base per interventi di *Deep Renovation* del patrimonio immobiliare nel settore abitativo" [38].

I dati delle caratteristiche termofisiche degli elementi d'involucro opaco adottati sono riassunti in Tabella 18.

Tabella 18. Stratigrafie degli elementi di involucro opaco verticali e orizzontali

Componente d'involucro opaco	Strato	s	ρ	c	λ	R	U	Y _{ie}
		[cm]	[kg·m ⁻³]	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	[m ² ·K·W ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
CIN02(1) Copertura inclinata in legno, isolata	Assito in legno	3	550	1600	0.15	-	1.18	-
	Pannello isolante in polistirolo	2	30	1220	0.045	-		
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99	-		
CIN03(1) Copertura in laterocemento inclinata, isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	0.60	0.168
	Soletta	16	1800	1000	-	0.33		
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-			
	Malta	2	2000	1000	-			
	Pannello isolante in polistirolo	5	35	1220	0.045	-		
	Membrana bituminosa	0.4	1200	1000	0.17	-		
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99	-		
CIN03(2) Copertura in	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	0.30	0.075
	Soletta	16	1800	1000	-	0.33		

laterocemento inclinata, isolata	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Malta	2	2000	1000	-				
	Pannello isolante in poliuretano	7	35	1400	0.026				-
	Membrana bituminosa	0.4	1200	1000	0.17				-
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99				-
CIN04(1) Copertura in laterocemento inclinata, non isolata, con tegole	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.79	-	
	Soletta	16	1800	1000	-	0.33			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Malta	2	2000	1000	-				
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99	-			
CIN04(2) Copertura in laterocemento inclinata, non isolata, con lastra di metallo	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.79	-	
	Soletta	16	1800	1000	0.66	0.33			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	0.58				
	Malta	2	2000	1000	1.40				
	Lastra di metallo	0.1	7800	450	52	-			
CIN05(1) Copertura inclinata in legno, non isolata, con tegole	Assito in legno	3	550	1600	0.15	-	2.50	-	
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99	-			
CIN05(2) Copertura inclinata in legno, non isolata, con lastra di metallo	Assito in legno	3	550	1600	0.15	-	2.50	-	
	Lastra di metallo	0.1	7800	450	52	-			
COP01(1) Copertura in laterocemento piana, non isolata, con tegole	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.74	-	
	Soletta	16	900	1000	0.66	0.33			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	0.58				
	Malta	2	2000	1000	1.40				
	Massello in calcestruzzo	2	2000	1000	1.06	-			
	Membrana bituminosa	0.4	1200	1000	0.17	-			
COP01(2) Copertura in laterocemento piana, non isolata, con lastra di metallo	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.74	1	
	Soletta	16	900	1000	0.66	0.33			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	0.58				
	Malta	2	2000	1000	1.40				
	Massello in calcestruzzo	2	2000	1000	1.06	-			
	Lastra di metallo	0.1	7800	450	52	-			
CV.20 Muratura a cassa vuota con mattoni forati, isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	0.59	0.269	
	Mattoni forati	6	800	1000	-	0.15			
	Intercapedine d'aria	4		1006	-	0.18			
	Isolante	4	30	1220	0.045	-			
	Mattoni forati	12	800	1000	-	0.29			
CV.27 Muratura in mattoni alveolati, isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	0.34	0.059	
	Mattoni alveolati	25	800	1000	-	0.15			
	Isolante poliuretano espanso	5	35	1400	0.023	-			
	Intonaco esterno	2	1400	1000	0.70	-			
F.CONT Pannello per facciata continua	Policarbonato	2	1200	1200	0.20	-	3.90	3.3	
	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.14	0.433	

MCO04(1) Muratura a cassa vuota con blocchi a vista, non isolata	Mattoni forati	8	800	1000	-	0.2		
	Intercapedine d'aria	15		1006	-	0.18		
	Blocchi di cemento	15	1400	1000	0.50	-		
MCV01(1) Muratura a cassa vuota in laterizio forato, non isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.10	0.594
	Mattoni forati	8	800	1000	-	0.2		
	Intercapedine d'aria	16		1006	-	0.18		
	Mattoni forati	12	800	1000	-	0.625		
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.90	-		
MCV03(1) Muratura in mattoni pieni con intercapedine, non isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.05	0.152
	Mattoni forati	8	800	1000	-	0.2		
	Intercapedine d'aria	4		1006	-	0.18		
	Mattoni pieni	25	1800	1000	0.72	-		
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.90	-		
MCV06(1) Muratura a cassa vuota in laterizio forato e mattoni faccia a vista pieni, non isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.17	0.45
	Mattoni forati	12	800	1000	-	0.31		
	Intercapedine d'aria	14		1006	-	0.18		
	Mattoni pieni	12	1800	1000	0.72	-		
MPF01(1) Parete in calcestruzzo, non isolata	Intonaco interno	1	1400	1000	0.70	-	1.63	0.599
	Parete in calcestruzzo	25	1400	1000	0.58	-		
MPL01(1) Muratura in mattoni pieni, non isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.34	0.136
	Mattoni pieni	38	1800	1000	0.72	-		
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.90	-		
MPL02(1) Muratura in mattoni pieni, faccia a vista, non isolata	Intonaco interno	1.5	1400	1000	0.70	-	1.39	0.167
	Mattoni pieni	38	1800	1000	0.72	-		
MPL03(1) Muratura in laterizio semipieno, non isolata	Intonaco interno	2	1400	1000	0.70	-	1.18	0.423
	Blocchi in laterizio	25	1000	1000	.	0.625		
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.90	-		

Similmente, è stato redatto un abaco delle strade e delle superfici urbane rilevando mediante una base di *Open Street Map* le superfici con le diverse destinazioni e confrontando i dati con la situazione reale. Nel caso di difformità tra le informazioni presenti in *Open Street Map* e la situazione “reale” osservata tramite *Google Street View* i dati sono stati aggiornati.

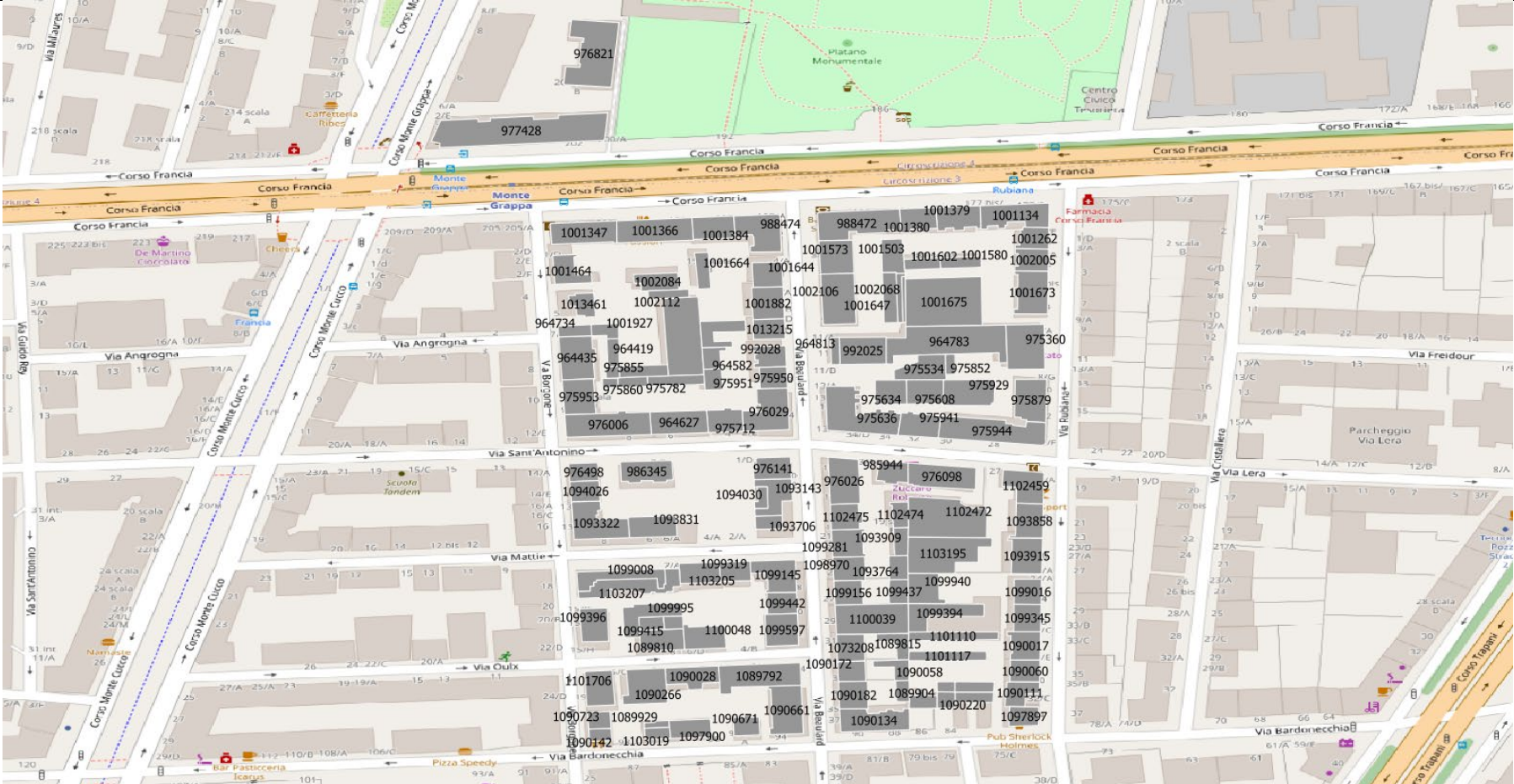
Per ciascuna delle aree urbane selezionate, è stato realizzato un abaco della vegetazione in cui sono state riportate tutte le specie arboree e vegetali presenti. Per la città di Milano è stata utilizzata la pagina web Patrimonio del Verde [39] come sorgente dati per l'individuazione e la definizione delle specie verdi. Tuttavia, i dati provenienti da questa pagina web sono stati aggiornati mediante ispezione visiva tramite l'utilizzo di *Google Street View*. Per la città di Torino e Roma, come sorgente sono stati utilizzati i dati del geoportale del Comune di Torino [40] e quelli del Comune di Roma [41], rispettivamente. Per Torino è stato necessario completare l'abaco inserendo i dati relativi agli alberi mancanti. Per Roma abbiamo utilizzato solo la posizione data dal sito del Comune di Roma ma gli altri dati (e.g., specie arborea e altezza) sono stati desunti dal confronto visivo.

Tutti i dati riportati negli abachi sono stati organizzati in diversi *shapefile* ESRI utilizzando il *software open source* QGIS [42].

5.1. Abachi Torino

Abaco degli edifici

Torino, stazione meteorologica via Beaulard 7



Codice identificativo dell'edificio	Presunta data di costruzione dell'edificio	Numero piani fuori terra	Chiusura orizzontale di copertura				Chiusura verticale di involucro			
			Tipologia	Codice stratigrafia ⁷	Codice ENVI-met	Albedo superficiale prevalente 1	Tipologia	Codice stratigrafia	Codice ENVI-met	Albedo superficiale prevalente 1

⁷ Come da Tabella 18

976821	1971-1980	4	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN041	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
977428	1971-1980	8	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN041	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1001347	1930	8	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.27
1001366	1961-1970	8	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV016	0.22
1001384	1920	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL016	0.70
988474	1920	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL016	0.70
1001644	1920	3	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN021	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.6
1001882	1920	5	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN021	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.6
1013215	1920	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.6
992028	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.6
975950	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
976029	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.6
975712	1930	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL016	0.70
964627	1930	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
976006	1930	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60

975953	1930	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
964435	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
964734	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1013461	1920	2	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN022	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1001464	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP014	0.04	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL032	0.60
1002084	1930	3	Inclinata in legno, con metallo	CIN05(2)	CIN058	0.7	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1001664	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1002112	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL032	0.60
1001801	1961-1970	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL032	0.60
1001824	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
964582	1930	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
975951	1930	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
975782	1930	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
975860	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975385	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70

975696	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975855	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
964419	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1001927	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
988472	1961-1970	9	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.6
1001380	1930	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
1001379	1961-1970	9	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN041	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1001134	1961-1970	9	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1001262	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1002005	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1001673	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
975360	1946-1960	2	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP014	0.04	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
964783	1946-1960	2	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP014	0.04	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
992025	1946-1960	2	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP014	0.04	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
964813	1946-1960	2	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP014	0.04	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975879	1961-1970	6	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70

975944	1961-1970	6	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
975941	1961-1970	6	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
975636	1961-1970	7	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1002106	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1001573	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1001503	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1001647	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1002068	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1029478	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1001602	1961-1970	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
1001580	1961-1970	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
1001675	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975929	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975608	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con metallo	COP01(2)	COP013	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975534	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con metallo	COP01(2)	COP013	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
975852	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con metallo	COP01(2)	COP013	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70

975634	1961-1970	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1102459	1946-1960	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1093858	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV018	0.60
1093915	1961-1970	7	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV019	0.70
1099016	1920	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL022	0.27
1099345	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1090017	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN053	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO042	0.22
1090060	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1090111	1961-1970	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN053	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1097897	1946-1960	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1090220	1961-1970	2	Inclinata in legno, con metallo	CIN05(2)	CIN058	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV010	0.80
1090521	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1089904	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1090134	1961-1970	7	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1090182	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO042	0.22
10900172	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.27
1073208	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV018	0.60
1100039	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con metallo	COP01(2)	COP013	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV018	Strada: 0.60 Cortile: 0.70

1099156	1946-1960	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV018	Strada: 0.60 Cortile: 0.70
1098970	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1099281	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1102475	1930	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.70
976026	1930	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
985944	1930	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
976098	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1102474	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL024	Cortile: 0.70
1093909	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL024	Cortile: 0.70
1102472	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1103195	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1099940	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1099394	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1101110	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1101117	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70

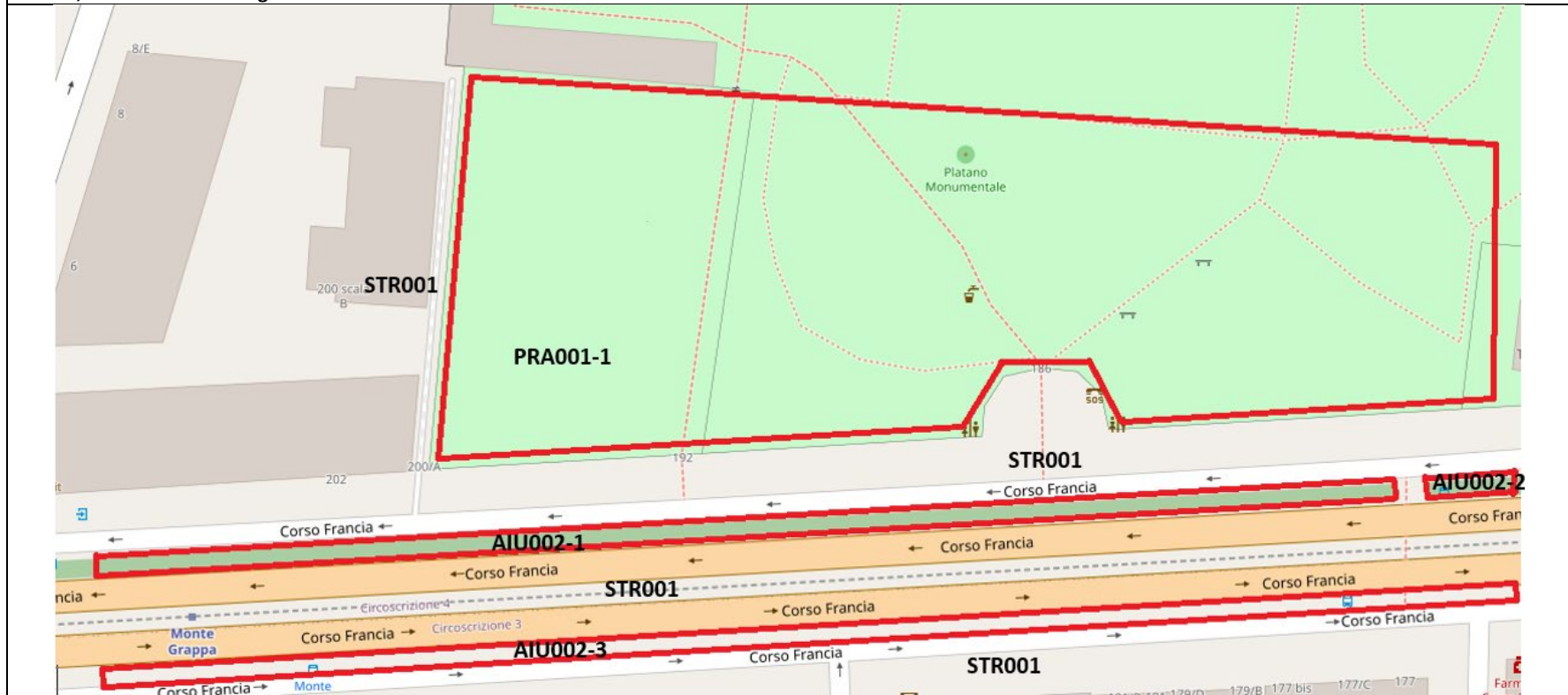
1090183	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1090473	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1089912	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1090058	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1089815	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1099437	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
1093764	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MPL03(1)	MPL033	0.70
976141	1920	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1093143	1920	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1094030	1920	2	Inclinata in legno, non isolata, bitume	CIN05(1)	CIN053	0.16	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1093706	1920	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1093831	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV01(1)	MCV018	0.60
1093322	1961-1970	7	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO043	0.27
1094026	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
976498	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60

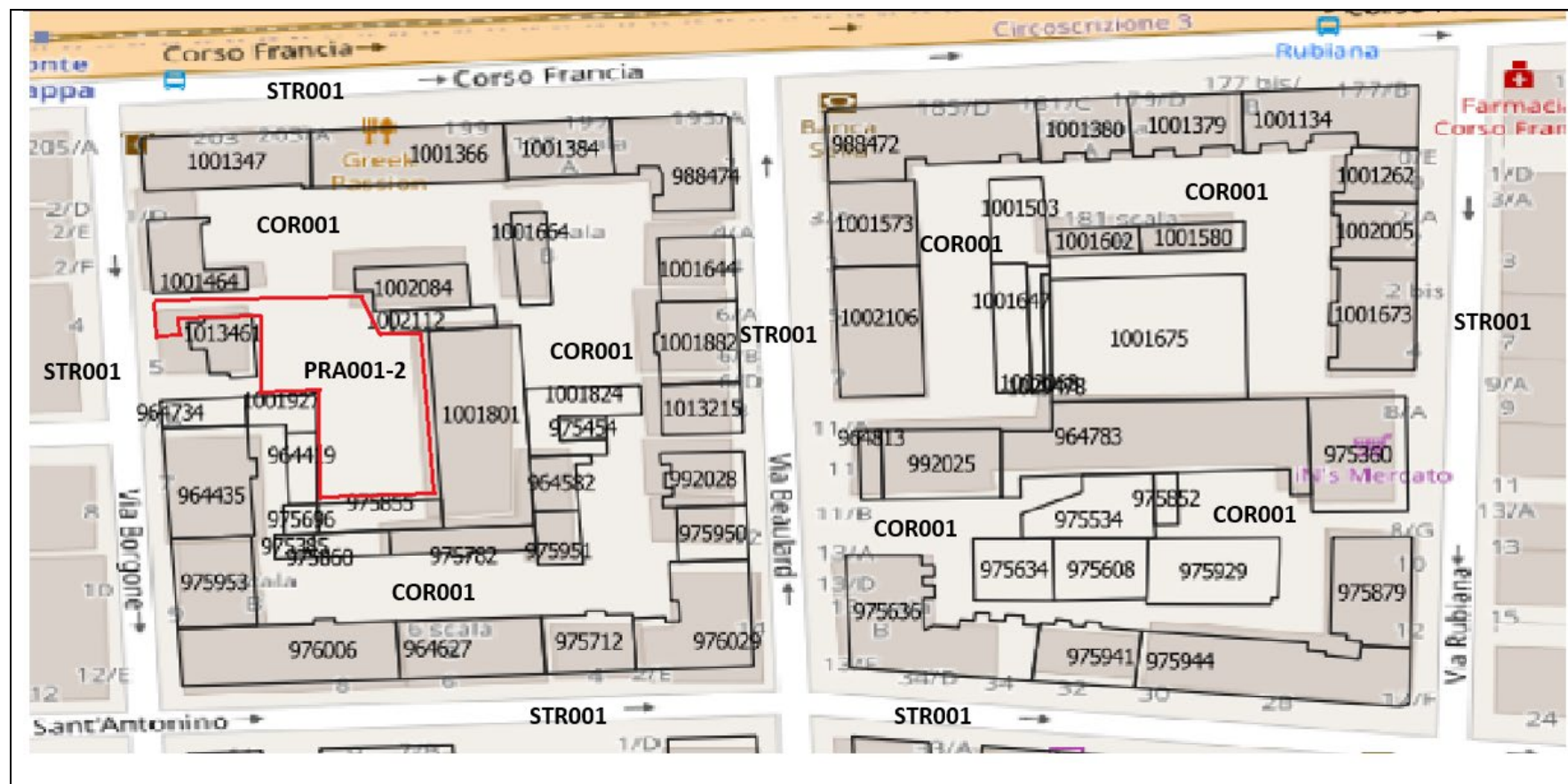
986345	1930	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Cortile: Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1099145	1930	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
1099442	1930	2	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Cortile: Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.70
1099597	1930	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
1100048	1961-1970	4	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1089810	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Cortile: Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL015	0.60
1099396	1971-1980	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1099995	1971-1980	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1099415	1971-1980	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1099753	1971-1980	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1099008	1971-1980	8	Inclinata in laterocemento, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN047	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1103207	1971-1980	8	Inclinata in laterocemento, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN047	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1103205	1961-1970	6	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con blocchi a vista	MCO04(1)	CMO044	0.60
1099319	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60

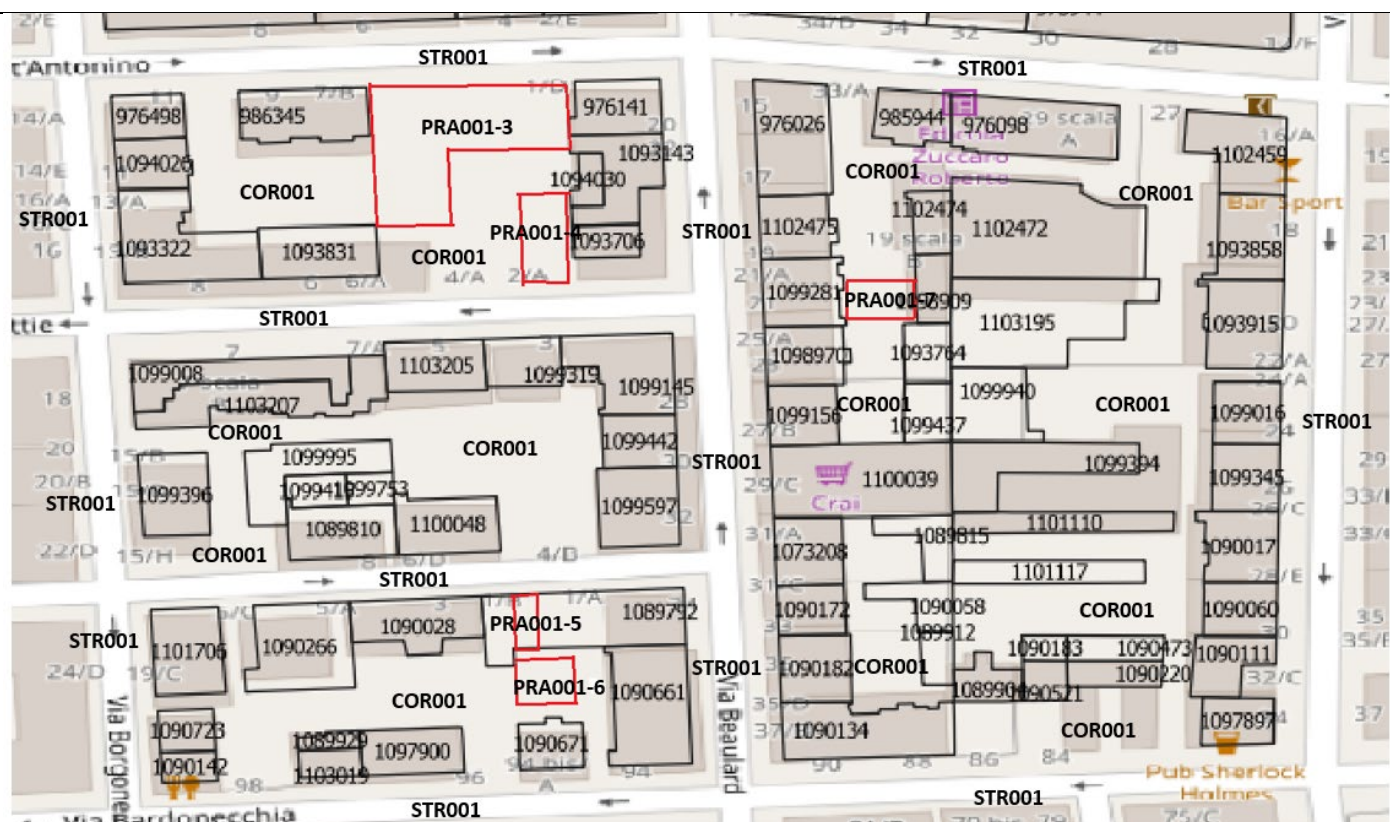
1089792	1991-2005	6	Inclinata in laterocemento, isolata, tegole	CIN03(1)	CIN031	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	CV.20	CV0020	0.60
1090661	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1090671	1930	3	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN041	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL022	0.27
1097900	1971-1980	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni a vista	MCV06(1)	MCV061	0.60
1103019	1930	2	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1089929	1930	2	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1090142	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1090723	1930	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1101706	1930	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni con intonaco	MPL01(1)	MPL013	0.60
1090266	>=2006		Inclinata in laterocemento, isolata	CIN03(2)	CIN032	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	CV.27	CV0028	0.70
1090028	1946-1960	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN051	0.4	Struttura a muratura portante, mattoni pieni faccia a vista	MPL02(1)	MPL023	0.60
¹ [36]										

Abaco delle strade e dei prati

Torino, stazione meteorologica via Beaulard 7







Codice identificativo della strada (o sua parte)	Codice ENVI-met	Tipologia (e.g., marciapiede, sede stradale etc..)	Materiale di superficie	Albedo superficiale ¹
AIU002-1	AIU001	Aiuola (pietrisco)	Foglie + pietrisco	0.30
AIU002-2	AIU001	Aiuola (pietrisco)	Foglie + pietrisco	0.30
AIU002-3	AIU001	Aiuola (pietrisco)	Foglie + pietrisco	0.30
STR001	STR001	Strada (sede stradale e marciapiede)	Asfalto	0.10
COR001	COR001	Cortile	Cemento/Asfalto	0.16
PRA001-1	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-2	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-3	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-4	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-5	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-6	PRA001	Prato	Erba	0.40
PRA001-7	PRA001	Prato	Erba	0.40

¹ [36]

Abaco della vegetazione urbana

Torino, stazione meteorologica via Beaulard 7



Codice identificativo vegetazione stradale (o sua parte)	Codice ENVI-met	Tipologia (e.g., prato o albero ad alto fusto)	Specie arborea	Altezza specie arborea
123078	FAG014	Albero	Fagus Sylvatica	14
9305	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	17
122750	PLAT25	Albero	Platanus Acerifolia	27
9304	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	17

9328	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
9963	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	19
9988	PLAT10	Albero	Platanus Orientalis	11
122861	IPPO20	Albero	Aesculus Hippocastanum	20
123033	ACER14	Albero	Acer Negundo	14
126936	TIGL16	Albero	Tilia Europea	18
122758	CED022	Albero	Ginkgo Biloba	25
123071	IPPO05	Albero	Aesculus Hippocastanum	5
9987	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
126961	PRUN05	Albero	Prunus Serrulata	5
9325	PLAT10	Albero	Caducifoglie	11
9306	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	21
126952	FAG019	Albero	Fagus Sylvatica	19
122867	CED015	Albero	Juglans Nigra	18
9327	PLAT10	Albero	Caducifoglie	9
126957	ACER04	Albero	Acer Palmatum	4
9991	PLAT10	Albero	Platanus Orientalis	12
122763	ACER09	Albero	Acer Negundo	9
122766	ACER03	Albero	Liquidambar Styraciflua	3
9321	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
9332	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	15
126941	BET015	Albero	Betula Alba	15
126942	BET015	Albero	Betula Alba	14
9310	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	21
126958	ACER07	Albero	Acer Palmatum	7
126939	TIGL16	Albero	Tilia Europea	16
122764	ACER05	Albero	Liquidambar Styraciflua	5
126932	ACER05	Albero	Acer Palmatum	5
126943	PRUN14	Albero	Prunus Avium	14
9990	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	15
9965	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	17
126955	ACER04	Albero	Acer Palmatum	4
126947	ACER05	Albero	Liquidambar Styraciflua	5
126935	TIGL16	Albero	Tilia Europea	15
9326	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	21
126948	TAS014	Albero	Taxus Baccata	14
126960	ACER06	Albero	Acer Platanoides	6
9968	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
121874	PLAT25	Albero	Platanus Acerifolia	26
122761	FAG014	Albero	Fagus Sylvatica	14
126950	TAS006	Albero	Taxus Baccata	7
122873	CED015	Albero	Juglans Nigra	15

126945	CED009	Albero	Cedrus Atlantica Glauca	9
9324	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
126951	TAS006	Albero	Taxus Baccata	5
126959	CED022	Albero	Cedrus Atlantica Glauca	22
122760	FAG008	Albero	Fagus Sylvatica	8
126962	ACER05	Albero	Acer Platanoides	5
126949	TAS006	Albero	Taxus Baccata	6
122871	CED015	Albero	Juglans Nigra	12
126954	FAG019	Albero	Fagus Sylvatica	18
9980	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	15
122860	IPPO23	Albero	Aesculus Hippocastanum	23
126934	TIGL16	Albero	Tilia Europea	18
9979	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
123069	FAG014	Albero	Fagus Sylvatica Asplenifolia	13
9978	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	15
122752	FRAS20	Albero	Fraxinus Excelsior	20
9985	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	13
126963	TIGL03	Albero	Tilia Europea	3
122749	FAG019	Albero	Liriodendron Tulipifera	19
123123	ACER03	Albero	Liquidambar Styraciflua	3
9981	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	13
126940	TIGL16	Albero	Tilia Europea	16
9317	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
9329	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
9316	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
9983	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
9314	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
123072	FAG014	Albero	Fagus Sylvatica	16
122751	PRUN10	Albero	Prunus Avium Florepleno	10
149751	QUER14	Albero	Quercus Crenata	14
109779	CED009	Albero	Celtis Australis	12
123122	ACER04	Albero	Liquidambar Styraciflua	4
9969	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	13
126933	CED022	Albero	Cedrus Atlantica Glauca	22
9322	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
9307	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	21
122870	CED015	Albero	Juglans Nigra	16
126967	ACER14	Albero	Cercidiphyllum Japonicum	13
126938	TIGL16	Albero	Tilia Europea	17
9315	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	18
9973	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
9334	PLAT05	Albero	Platanus Orientalis	7

126956	ACER04	Albero	Acer Palmatum	4
9318	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	21
123070	FAG008	Albero	Fagus Sylvatica Pendula	9
149753	PRUN05	Albero	Prunus Serrulata	3
9961	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
9982	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
122755	PLAT25	Albero	Platanus Acerifolia	24
126482	ACER05	Albero	Acer Palmatum	5
9967	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	14
9970	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	19
9313	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	20
126929	ACER05	Albero	Acer Palmatum	5
9319	PLAT05	Albero	Caducifoglie	5
9974	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	16
9984	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	14
122767	FAG004	Albero	Liriodendron Tulipifera	4
9323	PLAT20	Albero	Platanus Orientalis	19
123084	PLAT25	Albero	Platanus Acerifolia	25
126953	FAG019	Albero	Fagus Sylvatica	19
9333	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	17
106359	CED022	Albero	Celtis Australis	18
9971	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	17
123130	ACER03	Albero	Acer Palmatum	3
9962	PLAT16	Albero	Platanus Orientalis	15
123080	FAG019	Albero	Fagus Sylvatica	19
1	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
2	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
3	PINO10	Albero	Conifera (abete)	8
4	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
5	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
6	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
7	PLAT10	Albero	Caducifoglie	12
8	PLAT05	Albero	Caducifoglie	7
9	PLAT05	Albero	Caducifoglie	7
10	PINO16	Albero	Conifera	15
11	PINO16	Albero	Conifera	15
12	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
13	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
14	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
15	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
16	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
17	PLAT10	Albero	Caducifoglie	12

18	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
19	PLAT03	Albero	Caducifoglie	3
20	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
21	PLAT03	Albero	Caducifoglie	3
22	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
23	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
24	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
25	PLAT20	Albero	Caducifoglie	20
26	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
27	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
28	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
29	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
30	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
31	PINO10	Albero	Conifera	10
32	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
33	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
34	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
35	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
36	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
37	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
38	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
39	PLAT16	Albero	Caducifoglie	15
40	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
41	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
42	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
43	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
44	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
45	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
46	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
47	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
48	PLAT10	Albero	Caducifoglie	12
49	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
50	PLAT10	Albero	Caducifoglie	10
51	PLAT10	Albero	Caducifoglie	12
52	PINO16	Albero	Conifera	15
53	PLAT10	Albero	Caducifoglie	8
54	PLAT05	Albero	Caducifoglie	6
55	PLAT03	Albero	Caducifoglie	3
56	PLAT04	Albero	Caducifoglie	4
57	PLAT20	Albero	Caducifoglie	18
58	PLAT20	Albero	Caducifoglie	18

5.2. Abachi Roma

Abaco degli edifici										
Roma: Municipio Roma II, Quartiere V Nomentano, stazione meteorologica via Lanciani, 38										
										
Codice identificativo dell'edificio	Presunta data di costruzione dell'edificio	Numero piani fuori terra	Chiusura orizzontale di copertura				Chiusura verticale di involucro			
			Tipologia	Codice stratigrafia ⁸	Codice ENVI-met	Albedo superficiale prevalente ¹	Tipologia	Codice stratigrafia	Codice ENVI-met	Albedo superficiale prevalente ¹
1537830	1960-1970	1	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1537606	1960-1970	5	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con	MCV01(1)	MCV011	0.74

⁸ Come da Tabella 18

							superficie intonacata			
1537810	1970-1980	7	Tetto a falde con tegole	CIN03(1)	CIN031	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1538315	1970-1980	6	Tetto a falde con tegole	CIN03(1)	CIN031	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV012	0.45
1509182	1960-1970	7	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1509213	1960-1970	7	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV012	0.45
1508899	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP013	0.74	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1509268	1960-1970	7	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1509255	1960-1970	5	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1537429	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1509374	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV013	0.77
1509325	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1539172	1960-1970	5	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con	MCV01(1)	MCV011	0.74

							superficie intonacata			
1537442	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP012	0.49	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1509571	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP013	0.74	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1563125	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP013	0.74	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV011	0.74
1563515	1960-1970	8	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP013	0.74	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV014	0.34
1538613	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP013	0.74	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV012	0.45
1539110	1960-1970	5	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con mattoni faccia a vista	MCV01(1)	MCV015	0.16
1539063	1960-1970	6	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV012	0.45
1563612	1960-1970	5	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV013	0.77
1563625	1960-1970	4	Solaio piano in c.a.	COP01(1)	COP011	0.39	Struttura intelaiata in c.a. con superficie intonacata	MCV01(1)	MCV014	0.34
¹ [36]										

Abaco delle strade

Roma: Municipio Roma II, Quartiere V Nomentano, stazione meteorologica via Lanciani, 38

- Siepi
- Campi
- Parcheggi
- Strade
- Marciapiedi e strade private



Codice identificativo dell'area	Codice ENVI-met	Tipologia (e.g., marciapiede, sede stradale etc..)	Materiale di superficie	Albedo superficiale ¹
COURT1 (C2)	COURT1	Campo da basket	Gomma	0.61
COURT2 (C2)	COURT2	Campo da basket	Gomma	0.46
PARK01 (P1)	PARK01	Parcheggio	Terreno	0.14
PARK02 (P2)	PARK01	Parcheggio	Terreno	0.14
PSTR01 (STRADE)	PSTR01	Strada pubblica (sede stradale e marciapiede)	Asfalto	0.10
PRSTR1 (Marciapiedi e strade private)	PRSTR1	Strada private e marciapiede	Asfalto	0.10

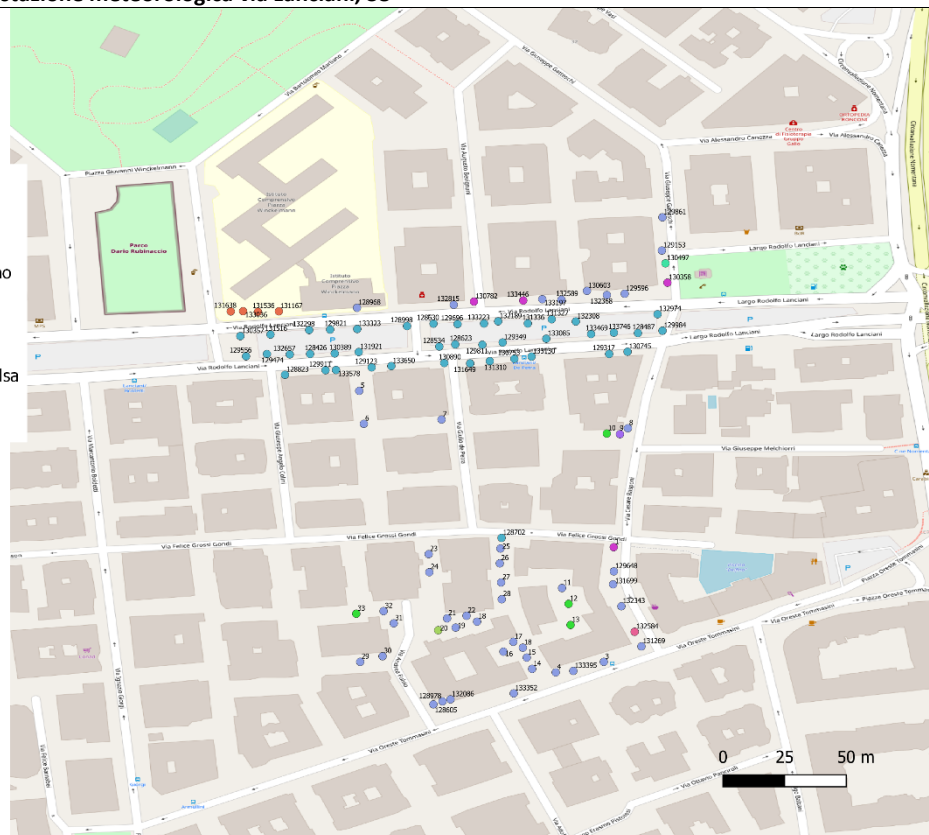
¹ [36]

Abaco della vegetazione urbana

Roma: Municipio Roma II, Quartiere V Nomentano, stazione meteorologica via Lanciani, 38

Alberi

- Caducifoglie
- Caducifoglie - arancio
- Caducifoglie - mandarino
- Caducifoglie - pioppo
- Conifera
- Conifera - abete
- Palma Chamerops excelsa
- Pitosforo
- Yucca



Codice identificativo vegetazione stradale	Codice ENVI-met	Tipologia (e.g., prato o albero ad alto fusto)	Specie arborea	Altezza specie arborea [m]
131638	CON010	Albero	Conifera	10
133036	CON010	Albero	Conifera	10
131536	CON010	Albero	Conifera	10
131167	CON015	Albero	Conifera	15
128968	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
132815	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
130782	YUC001	Pianta	Yucca	4
133446	YUC002	Pianta	Yucca	1
133197	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
132589	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
130603	DEC001	Albero	Caducifoglie	5

132368	DEC003	Albero	Caducifoglie	6
129596	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
130358	YUC002	Pianta	Yucca	1
130497	BUSH01	Cespuglio	Pitosforo	4
129153	DEC004	Albero	Caducifoglie	4
129861	DEC005	Albero	Caducifoglie	10
132974	PA0001	Albero	Caducifoglie - pioppo	5
132308	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
131327	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
131336	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
132189	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
133223	PA0003	Albero	Caducifoglie - pioppo	20
129696	PA0003	Albero	Caducifoglie - pioppo	20
128630	PA0003	Albero	Caducifoglie - pioppo	20
128998	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
133323	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
129821	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
132298	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
131516	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
130357	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
129984	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
128487	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
133746	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
133469	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
133085	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
129349	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
129811	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
128623	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
128534	PA0002	Albero	Caducifoglie - pioppo	12
131921	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
130389	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
128426	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
132657	PA0004	Albero	Caducifoglie - pioppo	15
129474	PA0003	Albero	Caducifoglie - pioppo	20
129556	PA0003	Albero	Caducifoglie - pioppo	20
130745	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
129317	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7
133130	PA0007	Albero	Caducifoglie - pioppo	4
130753	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
131310	PA0005	Albero	Caducifoglie - pioppo	10
131649	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7
130890	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7

133650	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7
129123	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7
133578	PA0006	Albero	Caducifoglie - pioppo	7
129911	PA0007	Albero	Caducifoglie - pioppo	4
128823	PA0007	Albero	Caducifoglie - pioppo	4
128702	PA0001	Albero	Caducifoglie - pioppo	5
131269	DEC006	Albero	Caducifoglie	3
132584	DEC004	Albero	Caducifoglie - arancio	4
132343	DEC007	Albero	Caducifoglie	2
131699	DEC007	Albero	Caducifoglie	2
129648	DEC007	Albero	Caducifoglie	2
1	YUC003	Pianta	Yucca	6
2	BUSH02	Cespuglio	Pitosforo	2
3	DEC004	Albero	Caducifoglie	4
133395	DEC004	Albero	Caducifoglie	4
4	DEC004	Albero	Caducifoglie	4
133352	DEC008	Albero	Caducifoglie	1
128605	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
128978	DEC007	Albero	Caducifoglie	2
132086	DEC003	Albero	Caducifoglie	6
129791	DEC008	Albero	Caducifoglie	1
5	DEC005	Albero	Caducifoglie	10
6	DEC009	Albero	Caducifoglie	12
7	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
8	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
9	PAL001	Albero	Palma Chamerops excelsa	5
10	CON001	Albero	Conifera - abete	7
11	DEC009	Albero	Caducifoglie	12
12	CON002	Albero	Conifera - abete	20
13	CON002	Albero	Conifera - abete	20
14	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
15	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
16	DEC006	Albero	Caducifoglie	3
17	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
18	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
19	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
20	DEC001	Albero	Caducifoglie - mandarino	5
21	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
22	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
23	DEC005	Albero	Caducifoglie	10
24	DEC005	Albero	Caducifoglie	10
25	DEC004	Albero	Caducifoglie	4

26	DEC007	Albero	Caducifoglie	2
27	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
28	DEC001	Albero	Caducifoglie	5
29	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
30	DEC002	Albero	Caducifoglie	7
31	DEC009	Albero	Caducifoglie	12
32	DEC009	Albero	Caducifoglie	12
33	CON003	Albero	Conifera - abete	18

Abaco degli edifici

[illegible]

Codice identificativo dell'edificio	Presunta data di costruzione dell'edificio	Numero piani fuori terra	Chiusura orizzontale di copertura				Chiusura verticale di involucro			
			Tipologia	Codice stratigrafia ⁹	Codice ENVIMET	Albedo superficiale ¹	Tipologia	Codice stratigrafia	Codice ENVIMET	Albedo superficiale
1100782	1991-2005	8	Inclinata in laterocemento, bitume	CIN03(2)	CIN033	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	CV.27	CV0027	0.6

89

1100892	1991-2005	10	Inclinata in laterocemento, bitume	CIN03(2)	CIN033	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	CV.27	CV0027	0.6
1092946	1961-1970	2	Inclinata in legno, non isolata, Lamiera	CIN05(2)	CIN057	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1103158	1961-1970	2	Inclinata in legno, non isolata, Lamiera	CIN05(2)	CIN057	0.4	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1093116	1961-1970	3	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1092606	1961-1970	5	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura in mattoni pieni faccia vista	MPL02(1)	MPL025	0.4
100825	1961-1970	5	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura in mattoni pieni faccia vista	MPL02(1)	MPL025	0.4
1103161	1961-1970	1	Laterocemento inclinata, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN048	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1100969	1961-1970	1	Laterocemento inclinata, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN048	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1092733	1961-1970	1	Laterocemento inclinata, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN048	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1100681	1961-1970	1	Laterocemento inclinata, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN048	0.7	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MPL03(1)	MPL032	0.6
1103178	1961-1970	4	Laterocemento inclinata, bitume	CIN04(1)	CIN043	0.16	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1100778	1961-1970	4	Laterocemento inclinata, bitume	CIN04(1)	CIN043	0.16	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6

1100954	1961-1970	1	Inclinata in legno, con metallo	CIN05(2)	CIN056	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MCV01	MCV018	0.6
1100670	1961-1970	1	Inclinata in legno, con metallo	CIN05(2)	CIN056	0.22	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco (industriale)	MCV01	MCV018	0.6
1103514	1961-1970	1	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086420	1961-1970	5	(terrazzo)	CIN05(1)	CIN055	0.6	Pannelli Facciata continua	F CONT	F.CONT	0.27
1086995	1961-1970	5	tetto piano con bitume	COP01(1)	CIN043	0.16	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV03(1)	MCV031	0.4
1086520	1961-1970	4	Laterocemento piana	CIN04(1)	CIN045	0.6	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV03(1)	MCV031	0.6
1086528	1961-1970	4	Laterocemento piana	CIN04(1)	CIN045	0.6	Struttura intelaiata in c.a. con intonaco	MCV03(1)	MCV031	0.6
1087029	1961-1970	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096247	1961-1970	5	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN022	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1087036	1961-1970	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086572	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1095860	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086814	1961-1970	4	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN022	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1095871	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6

1086630	1961-1970	5	Inclinata in legno, isolata, tegole	CIN02(1)	CIN022	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086951	1961-1970	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096273	1961-1970	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1100525	1961-1970	6	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101206	1961-1970	6	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101181	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1100997	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101188	1961-1970	4	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101430	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL012	0.22
1086318	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL014	0.4
1086616	1961-1970	3	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL012	0.22
1086931	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL014	0.4
1095926	1961-1970	5	Laterocemento inclinata, lastra di metallo	CIN04(2)	CIN046	0.16	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL014	0.4
1095862	1961-1970	4	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL013	0.27

1101007	1961-1970	5	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.6	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1103508	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101195	1961-1970	2	Inclinata in laterocemento, bitume	COP01(1)	COP015	0.16	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1101192	1961-1970	2	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086439	1961-1970	1	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086322	1961-1970	1	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086529	1961-1970	1	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086533	1961-1970	1	Piana in laterocemento, con bitume	COP01(1)	COP015	0.6	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1092733	1961-1970	1	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1100868	1961-1970	1	Inclinata in laterocemento, tegole	CIN04(1)	CIN044	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
992906	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, lamiera	CIN05 (2)	CIN048	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL014	0.4
1096283	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1095973	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
10866626	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6

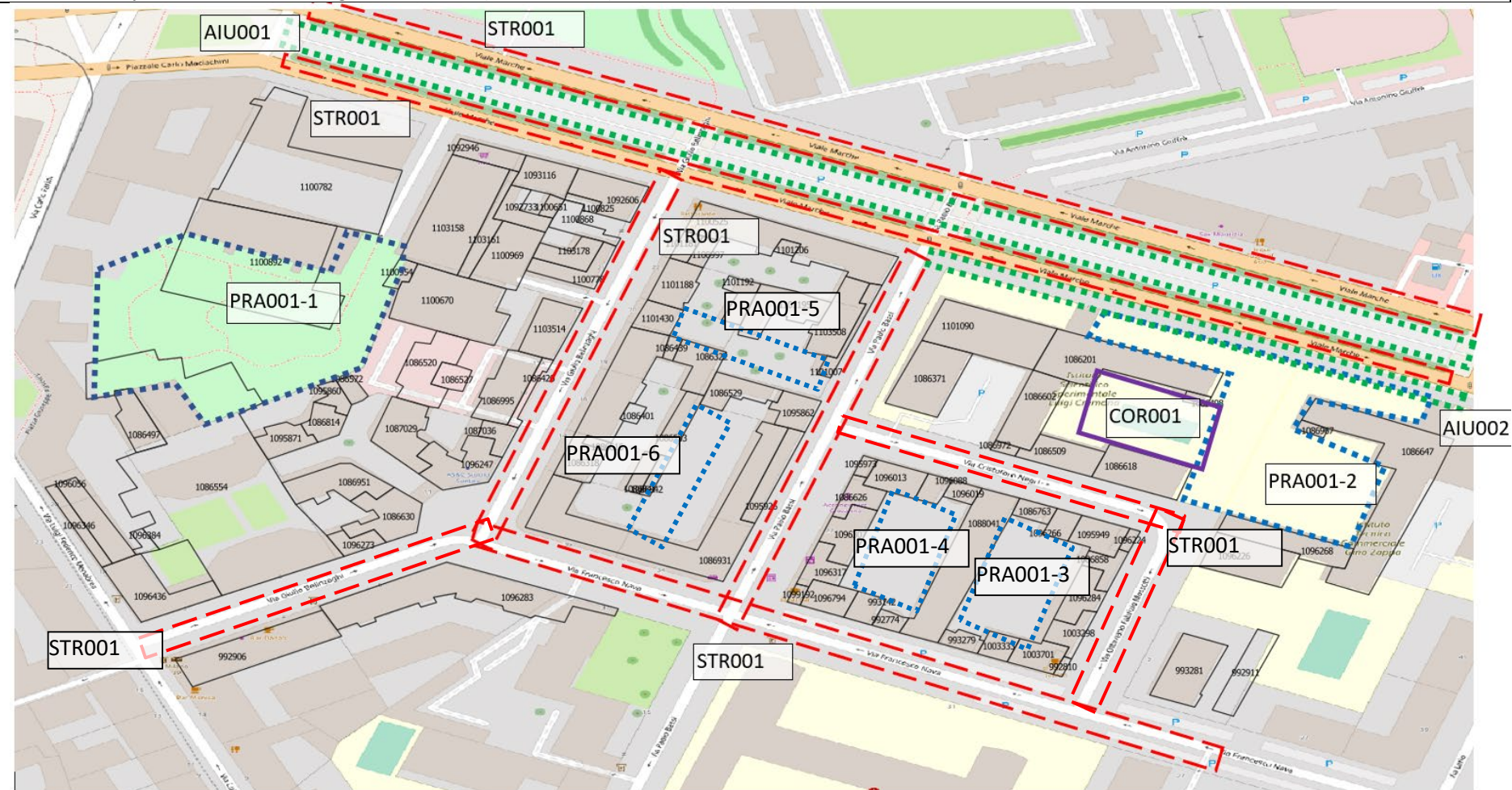
1096307	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
7096317	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1099192	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096794	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
993142	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
992774	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096013	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096088	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096019	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1088041	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086763	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096266	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1095949	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096224	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6

1086858	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1096284	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1003298	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
992810	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1003701	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1003333	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
993279	1961-1970	5	Inclinata in legno, non isolata, tegole	CIN05(1)	CIN054	0.22	Muratura portante intonacata	MPL01(1)	MPL015	0.6
1086371	1971-1980	2	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1101090	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	(prevalente): Pannelli Facciata continua	F.CONT	FCONT1	0.6
1086201	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	(prevalente): Pannelli Facciata continua	F.CONT	FCONT1	0.6
1086498	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1086647	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Pannelli Facciata continua	F.CONT	FCONT1	0.6
1086987	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1096268	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6

1096226	1971-1980	5	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1086602	1971-1980	4	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Pannelli Facciata continua	F.CONT	FCONT1	0.6
1086972	1971-1980	4	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1086509	1971-1980	4	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
1086618	1971-1980	4	Piana in legno, lastra di metallo	CIN05(2)	CIN052	0.6	Struttura in pannelli di calcestruzzo	MPF01 (1)	MPF011	0.6
¹ [36]										

Abaco delle strade

Milano: Municipio 9, stazione meteorologica viale Marche (Liceo Cremona)

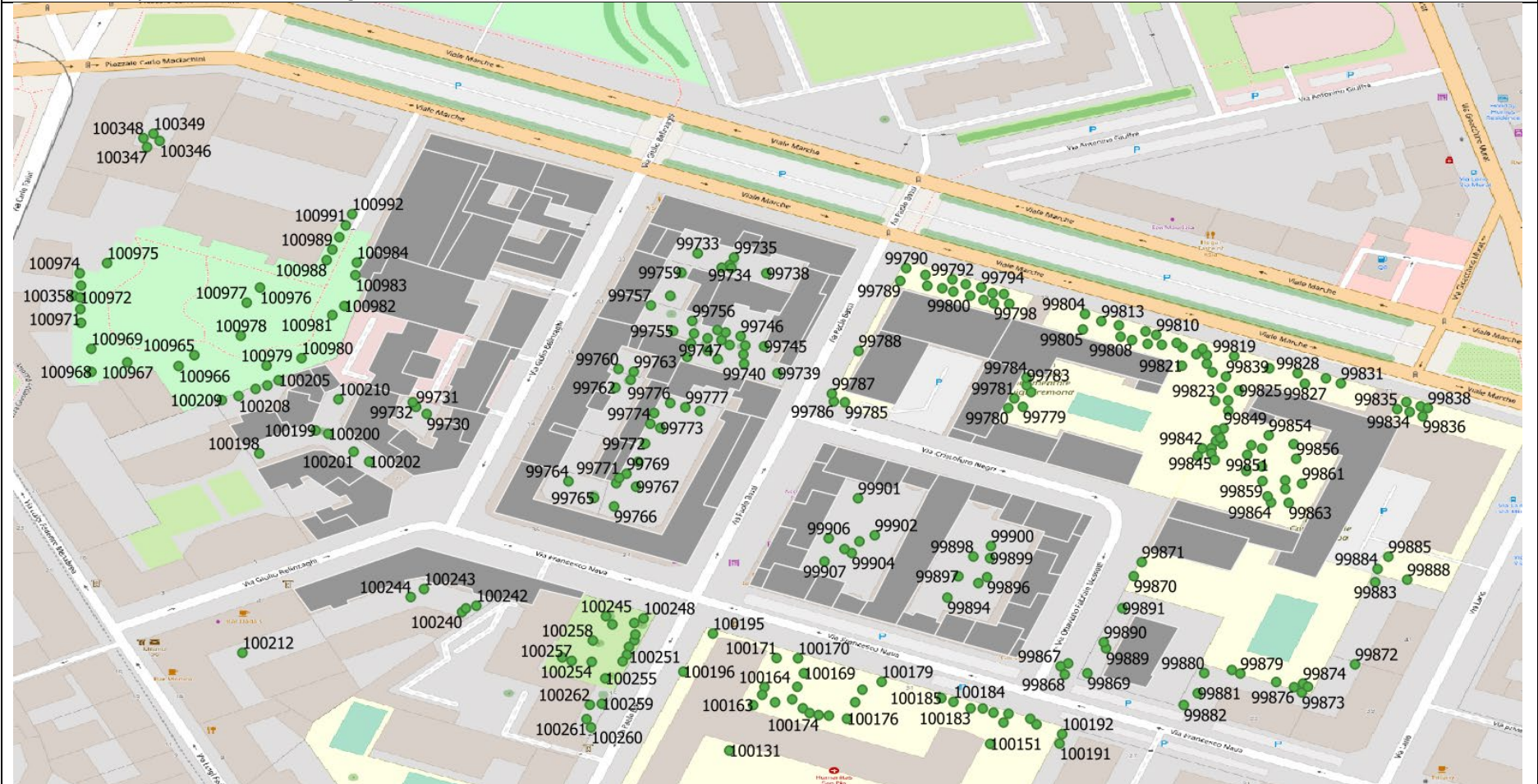


Codice identificativo della strada (o sua parte)	Codice ENVIMET	Tipologia (e.g., marciapiede, sede stradale etc..)	Materiale di superficie	Albedo superficiale ¹
STR001	STR001	Strada (sede stradale e marciapiede)	Asfalto	0.10
PRA001-1	PRA001	Prato	Erba	0.2
PRA001-2	PRA001	Prato	Erba	0.2
PRA001-3	PRA001	Prato	Erba	0.2
PRA001-4	PRA001	Prato	Erba	0.2
PRA001-5	PRA001	Prato	Erba	0.2

PRA001-6	PRA001	Prato	Erba	0.2
COR001	COURT1	Cortile	Gomma	0.22
AIU001	AIU001	Aiuola (parcheggio)	Terreno e pietrisco	0.3
AIU002	SIE003	Siepe (vegetazione)	Arbusto da siepe (sempreverde)	0.2
¹ [36]				

Abaco della vegetazione urbana

Milano: Municipio 9, stazione meteorologica viale Marche (Liceo Cremona)



Codice identificativo vegetazione stradale (o sua parte)	Codice ENVIMET	Tipologia (e.g., prato o albero ad alto fusto)	Specie arborea	Altezza specie arborea
99730	PINO03	Albero	pino	3
99731	PINO03	Albero	pino	3
99732	PINO03	Albero	pino	3
99733	PINO16	Albero	pino	16
99734	PINO03	Albero	pino	3
99735	PINO03	Albero	pino	3
99736	PINO03	Albero	pino	3
99737	PINO03	Albero	pino	3

99738	PINO03	Albero	pino	3
99739	PINO16	Albero	pino	16
99740	PINO16	Albero	pino	16
99741	PLAT05	Albero	Platano	5
99742	PLAT05	Albero	Platano	5
99743	PLAT05	Albero	Platano	5
99744	PLAT05	Albero	Platano	5
99745	PLAT05	Albero	Platano	5
99746	PLAT05	Albero	Platano	5
99747	PLAT05	Albero	Platano	5
99748	PLAT05	Albero	Platano	5
99749	PLAT05	Albero	Platano	5
99750	PLAT05	Albero	Platano	5
99751	PLAT05	Albero	Platano	5
99752	PLAT05	Albero	Platano	5
99753	PLAT05	Albero	Platano	5
99754	PLAT05	Albero	Platano	5
99755	PLAT05	Albero	Platano	5
99756	PLAT05	Albero	Platano	5
99757	PINO16	Albero	pino	16
99758	PINO16	Albero	pino	16
99759	PINO16	Albero	pino	16
99760	PINO05	Albero	pino	5
99761	PINO05	Albero	pino	5
99762	PINO05	Albero	pino	5
99763	PINO05	Albero	pino	5
99764	PINO10	Albero	pino	10
99765	PINO10	Albero	pino	10
99766	PINO16	Albero	pino	16
99767	PINO16	Albero	pino	16
99768	PINO10	Albero	pino	10
99769	PINO05	Albero	pino	5
99770	PINO05	Albero	pino	5
99771	PINO05	Albero	pino	5
99772	PINO05	Albero	pino	5
99773	PINO05	Albero	pino	5
99774	PINO05	Albero	pino	5
99775	PINO05	Albero	pino	5
99776	PINO16	Albero	pino	16
99777	PINO10	Albero	pino	10
99778	PINO10	Albero	pino	10

99779	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99780	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99781	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99782	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99783	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99784	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99785	PLAT03	Albero	Platano	3
99786	PLAT03	Albero	Platano	3
99787	PLAT03	Albero	Platano	3
99788	PLAT03	Albero	Platano	3
99789	PLAT03	Albero	Platano	3
99790	PINO16	Albero	pino	16
99791	PINO16	Albero	pino	16
99792	PINO16	Albero	pino	16
99793	PINO16	Albero	pino	16
99794	PINO16	Albero	pino	16
99795	PINO16	Albero	pino	16
99796	PINO16	Albero	pino	16
99797	PINO10	Albero	pino	10
99798	PINO10	Albero	pino	10
99799	PINO10	Albero	pino	10
99800	PINO10	Albero	pino	10
99801	PINO10	Albero	pino	10
99802	PINO10	Albero	pino	10
99803	PINO10	Albero	pino	10
99804	PINO10	Albero	pino	10
99805	PINO10	Albero	pino	10
99806	PINO10	Albero	pino	10
99807	PINO10	Albero	pino	10
99808	PINO10	Albero	pino	10
99809	PINO10	Albero	pino	10
99810	PINO16	Albero	pino	16
99811	PINO16	Albero	pino	16
99812	PINO16	Albero	pino	16
99813	PINO16	Albero	pino	16
99814	PINO16	Albero	pino	16
99815	PINO03	Albero	pino	3

99816	PINO03	Albero	pino	3
99817	PINO03	Albero	pino	3
99818	PINO03	Albero	pino	3
99819	PLAT16	Albero	Platano	16
99820	PLAT16	Albero	Platano	16
99821	PLAT16	Albero	Platano	16
99822	PLAT10	Albero	Platano	10
99823	PLAT10	Albero	Platano	10
99824	PLAT10	Albero	Platano	10
99825	PLAT16	Albero	Platano	16
99826	PLAT16	Albero	Platano	16
99827	PLAT16	Albero	Platano	16
99828	PINO16	Albero	pino	16
99829	PINO16	Albero	pino	16
99830	PINO16	Albero	pino	16
99831	PINO16	Albero	pino	16
99832	PINO16	Albero	pino	16
99833	PINO16	Albero	pino	16
99834	PINO16	Albero	pino	16
99835	PINO16	Albero	pino	16
99836	PINO03	Albero	pino	3
99838	PINO03	Albero	pino	3
99839	PINO03	Albero	pino	3
99840	PINO03	Albero	pino	3
99841	PINO03	Albero	pino	3
99842	PINO03	Albero	pino	3
99843	PINO03	Albero	pino	3
99844	PINO03	Albero	pino	3
99845	PINO03	Albero	pino	3
99846	PLAT10	Albero	Platano	10
99847	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99848	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99849	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99850	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99851	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99852	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1

99853	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99854	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99855	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99856	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99857	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99858	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99859	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99860	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99861	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99862	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99863	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99864	PLAT05	Albero	Platano	5
99865	PLAT10	Albero	Platano	10
99866	SIE002	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	1
99867	PRUN05	Albero	Pruno	5
99868	PRUN05	Albero	Pruno	5
99869	PRUN05	Albero	Pruno	5
99870	PINO10	Albero	pino	10
99871	PINO10	Albero	pino	10
99872	PINO16	Albero	pino	16
99873	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99874	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99875	PINO10	Albero	pino	10
99876	PINO10	Albero	pino	10
99877	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99878	PINO10	Albero	pino	10
99879	PINO10	Albero	pino	10
99880	PINO16	Albero	pino	16

99881	PLAT10	Albero	Platano	10
99882	ARB002	Albero	Sempreverde da giardino	9
99883	PLAT10	Albero	Platano	10
99884	PLAT10	Albero	Platano	10
99885	PLAT10	Albero	Platano	10
99888	PLAT16	Albero	Platano	16
99889	ACER03	Albero	Acero	3
99890	PLAT05	Albero	Platano	5
99891	PLAT16	Albero	Platano	16
99894	PINO16	Albero	pino	16
99895	PINO10	Albero	pino	10
99896	PINO10	Albero	pino	10
99897	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99898	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99899	SIE001	Aiuola	Arbusto (da aiuola)	2
99900	PINO16	Albero	pino	16
99901	PINO25	Albero	pino	25
99902	PINO16	Albero	pino	16
99903	PINO16	Albero	pino	16
99904	PINO10	Albero	pino	10
99905	PINO10	Albero	pino	10
99906	PINO16	Albero	pino	16
99907	PINO25	Albero	pino	25
100131	PLAT16	Albero	Platano	16
100151	LARI16	Albero	Larice	16
100163	PLAT16	Albero	Platano	16
100164	PLAT10	Albero	Platano	10
100165	PLAT16	Albero	Platano	16
100166	PLAT10	Albero	Platano	10
100167	PLAT16	Albero	Platano	16
100168	PLAT05	Albero	Platano	5
100169	PLAT05	Albero	Platano	5
100170	PLAT05	Albero	Platano	5
100171	PLAT25	Albero	Platano	25
100172	PLAT03	Albero	Platano	3
100173	PLAT03	Albero	Platano	3
100174	PLAT05	Albero	Platano	5
100175	PLAT05	Albero	Platano	5
100176	PLAT05	Albero	Platano	5

100177	PLAT03	Albero	Platano	3
100178	PLAT03	Albero	Platano	3
100179	PLAT03	Albero	Platano	3
100180	PLAT03	Albero	Platano	3
100181	PLAT03	Albero	Platano	3
100182	PLAT03	Albero	Platano	3
100183	PLAT03	Albero	Platano	3
100184	PLAT03	Albero	Platano	3
100185	PLAT03	Albero	Platano	3
100186	PLAT03	Albero	Platano	3
100191	PLAT10	Albero	Platano	10
100192	PINO16	Albero	pino	16
100193	PLAT10	Albero	Platano	10
100194	PLAT10	Albero	Platano	10
100195	SIE001	Aiuola (siepe)	Arbusto da siepe	2
100196	PLAT10	Albero	Platano	10
100198	PINO10	Albero	pino	10
100199	PINO10	Albero	pino	10
100200	PINO10	Albero	pino	10
100201	PINO10	Albero	pino	10
100202	PINO10	Albero	pino	10
100205	PINO10	Albero	pino	10
100206	PINO10	Albero	pino	10
100207	PINO10	Albero	pino	10
100208	PINO10	Albero	pino	10
100209	PINO10	Albero	pino	10
100210	PINO10	Albero	pino	10
100212	PINO10	Albero	pino	10
100240	PINO10	Albero	pino	10
100241	PINO10	Albero	pino	10
100242	PINO25	Albero	pino	25
100243	PINO10	Albero	pino	10
100244	PINO10	Albero	pino	10
100245	PINO16	Albero	pino	16
100246	PINO25	Albero	pino	25
100247	PINO16	Albero	pino	16
100248	PINO25	Albero	pino	25
100249	PINO25	Albero	pino	25
100250	PINO16	Albero	pino	16
100251	PINO25	Albero	pino	25
100252	PINO16	Albero	pino	16
100253	PINO16	Albero	pino	16

100254	PINO16	Albero	pino	16
100255	PINO16	Albero	pino	16
100256	PINO16	Albero	pino	16
100257	PINO16	Albero	pino	16
100258	PINO16	Albero	pino	16
100259	PINO10	Albero	pino	10
100260	PINO10	Albero	pino	10
100261	PINO10	Albero	pino	10
100262	PINO10	Albero	pino	10
100346	SIE001	Aiuola	Arbusto	1
100347	SIE001	Aiuola	Arbusto	1
100348	SIE001	Aiuola	Arbusto	1
100349	PINO16	Albero	pino	16
100358	PLAT25	Albero	Platano	25
100965	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100966	ORNI05	Albero	Orniello (latifoglie)	5
100967	ARB001	Albero	Ligustro del Giappone (latifoglie)	5
100968	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100969	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100970	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100971	ORNI05	Albero	Orniello (latifoglie)	5
100972	ARB001	Albero	Ligustro del Giappone (latifoglie)	5
100973	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100974	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100975	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100976	ORNI05	Albero	Orniello (latifoglie)	5
100977	ARB001	Albero	Ligustro del Giappone (latifoglie)	5

100978	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100979	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100980	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100981	ORNI05	Albero	Orniello (latifoglie)	5
100982	ARB001	Albero	Ligustro del Giappone (latifoglie)	5
100983	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100984	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100988	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100989	ORNI05	Albero	Orniello (latifoglie)	5
100990	ARB001	Albero	Ligustro del Giappone (latifoglie)	5
100991	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5
100992	ARB001	Albero	Clerodendro (latifoglie)	5

6. Modellazione e simulazione dello scenario *baseline* di ENVI-met

Le aree urbane definite nella Sezione 3 sono state utilizzate per la realizzazione di modelli per la simulazione dinamica in ambiente ENVI-met [43] (v4.4.5). In particolare, la modellazione ENVI-met è stata condotta seguendo le seguenti fasi:

- sviluppo di componenti relative alle chiusure orizzontali e verticali di confine degli immobili, alle superfici urbane e al verde urbano presenti nell'area di studio di ciascuna città, al fine di implementare il *database* ENVI-met;
- creazione e importazione degli *shapefile* prodotti in QGIS;
- creazione del modello nel modulo *Monde*;
- creazione del modello nel modulo *Spaces*;
- *setup* delle analisi.

6.1. Implementazione del *database* ENVI-met

Il *software* ENVI-met contiene un *database* di materiali e stratigrafie *standard* che possono essere attribuiti ad elementi tridimensionali che si possono realizzare o importare in ENVI-met e che rappresentano gli edifici all'interno di un'area urbana. Il *database* di ENVI-met contiene un cospicuo numero di schede relative a materiali e stratigrafie per murature per involucro e a solai di copertura. Inoltre, il *software* consente di creare i materiali e le stratigrafie non presenti nel *database*, data l'impossibilità di includere *a priori* tutti i materiali e le stratigrafie esistenti.

Pertanto, al fine di realizzare un modello ENVI-met è necessario definire materiali e stratigrafie che caratterizzano gli edifici dell'area urbana. Nel presente progetto i materiali e le stratigrafie sono stati definiti nella Sezione 5. Sulla base degli abachi riportati in Sezione 5 sono stati individuati tutti i materiali e le stratigrafie non presenti nel *database* di ENVI-met. Ogni qualvolta è stato trovato un materiale presente nell'abaco ma non compreso nel *database* di ENVI-met, è stata realizzata una scheda *ad-hoc* contenente le caratteristiche termofisiche e ottiche del materiale stesso (Figura 59 e Figura 60) al fine di aggiungere il materiale stesso al *database*.

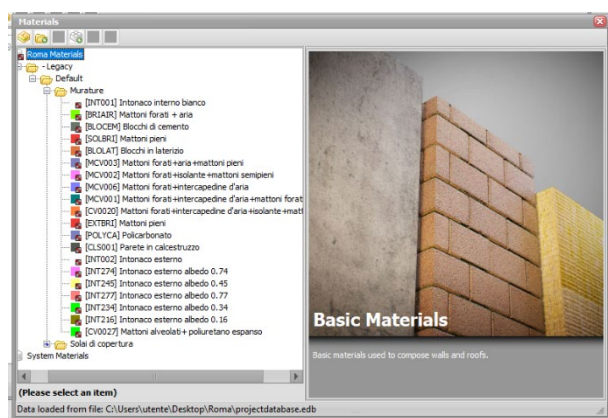


Figura 59. Elenco di materiali per murature presenti nella libreria ENVI-met del progetto relativo all'area urbana di Roma

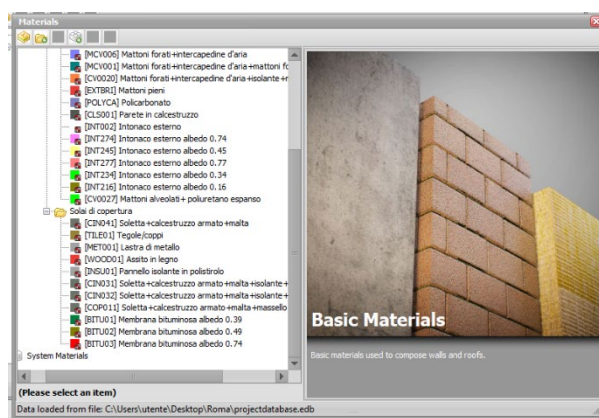


Figura 60. Elenco di materiali per solai presenti nella libreria ENVI-met del progetto relativo all'area urbana di Roma

Per ciascun materiale che è stato implementato nel *database*, è stato definito un codice univoco costituito da sei caratteri alfanumerici. All'interno della scheda del materiale così definita sono stati riportati i valori relativi ad alcune caratteristiche termofisiche quali:

- spessore di *default*;
- coefficiente di assorbimento;
- coefficiente di trasmissione;
- coefficiente di riflessione;
- emissività;
- calore specifico;
- conducibilità termica;
- densità.

Materiali con le stesse caratteristiche termiche, come nel caso di intonaco esterno (Figura 59 e Figura 60), sono stati differenziati tra loro per il coefficiente di riflessione essendo caratterizzati da coefficienti di albedo superficiale diversi.

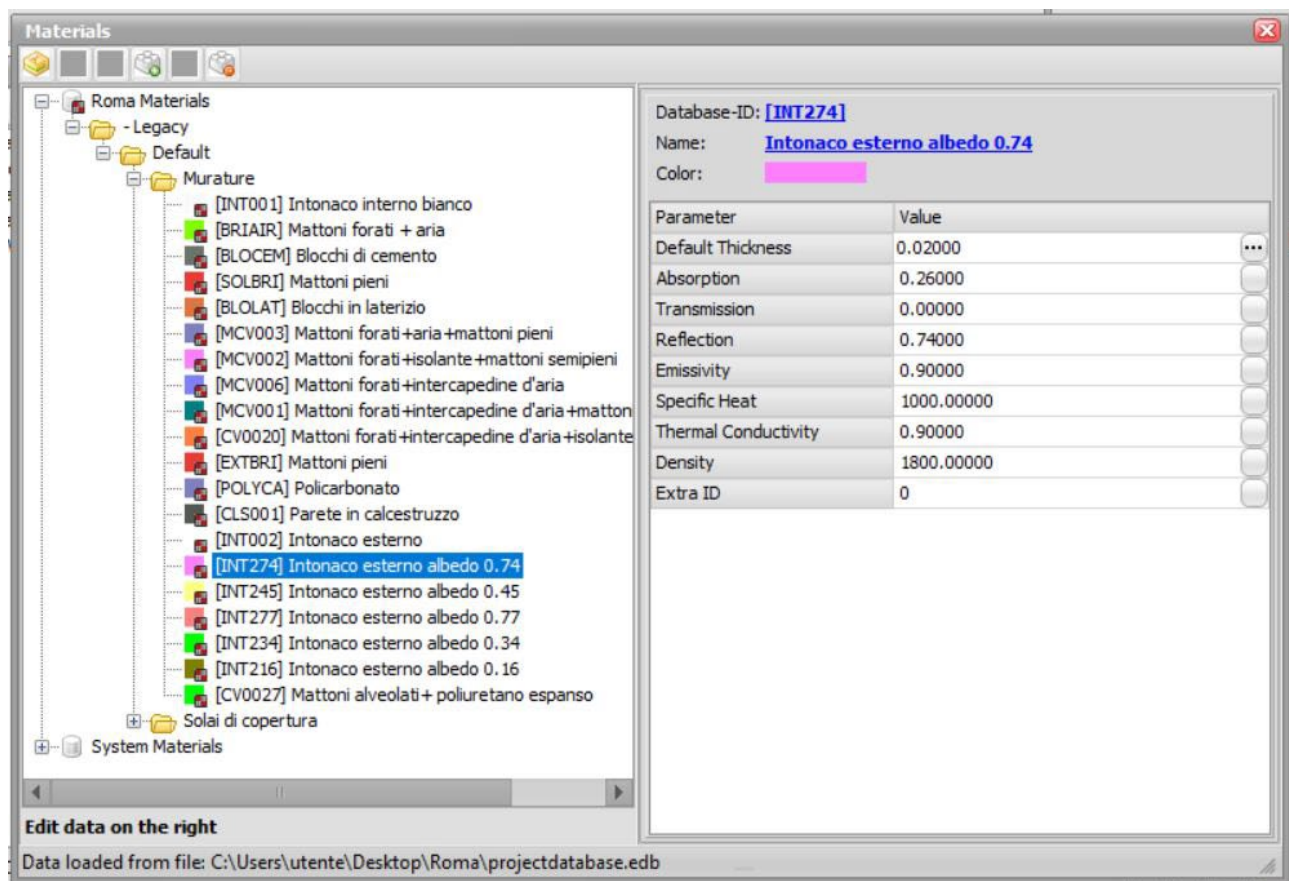


Figura 61. Scheda relativa all'intonaco con albedo esterno pari a 0.74

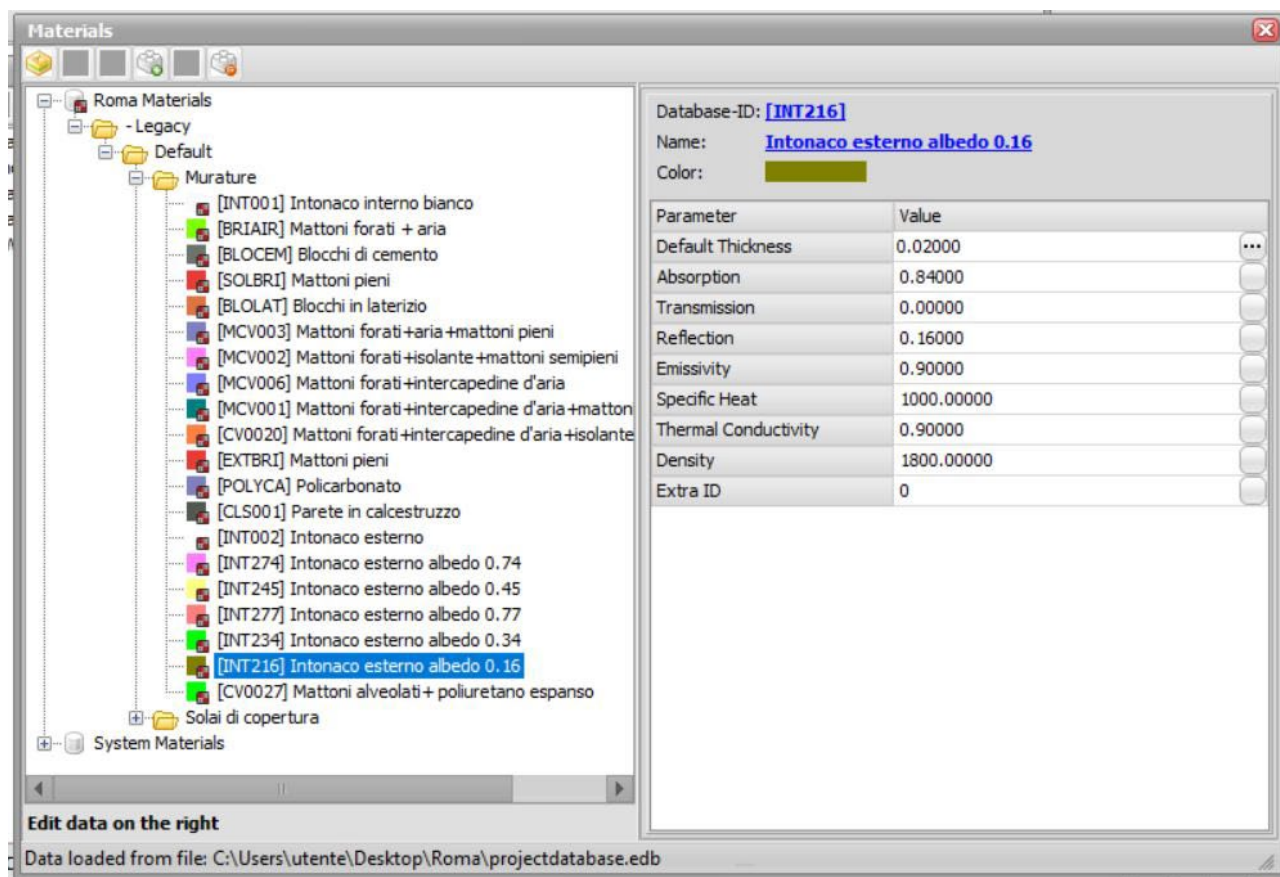


Figura 62. Scheda relativa all'intonaco con albedo esterno pari a 0.16

A loro volta i materiali le cui schede sono state sviluppate *ad hoc* al fine di implementare il database di ENVI-met, insieme ai materiali inclusi nel database di ENVI-met, sono stati utilizzati per realizzare le schede delle chiusure di copertura e verticali esterne degli edifici.

In particolare, le caratteristiche tipologiche e prestazionali delle stratigrafie delle chiusure orizzontali e verticali definite negli abachi in Sezione 5 sono state adattate all'utilizzo in ENVI-met. Infatti, poiché il *software* consente la realizzazione di elementi caratterizzati da una stratigrafia a tre componenti, ogni qualvolta nell'abaco fosse riportata una stratigrafia costituita da più di tre materiali, è stato necessario definire, per i materiali che si trovavano nel mezzo della stratigrafia, un materiale che avesse caratteristiche termofisiche equivalenti.

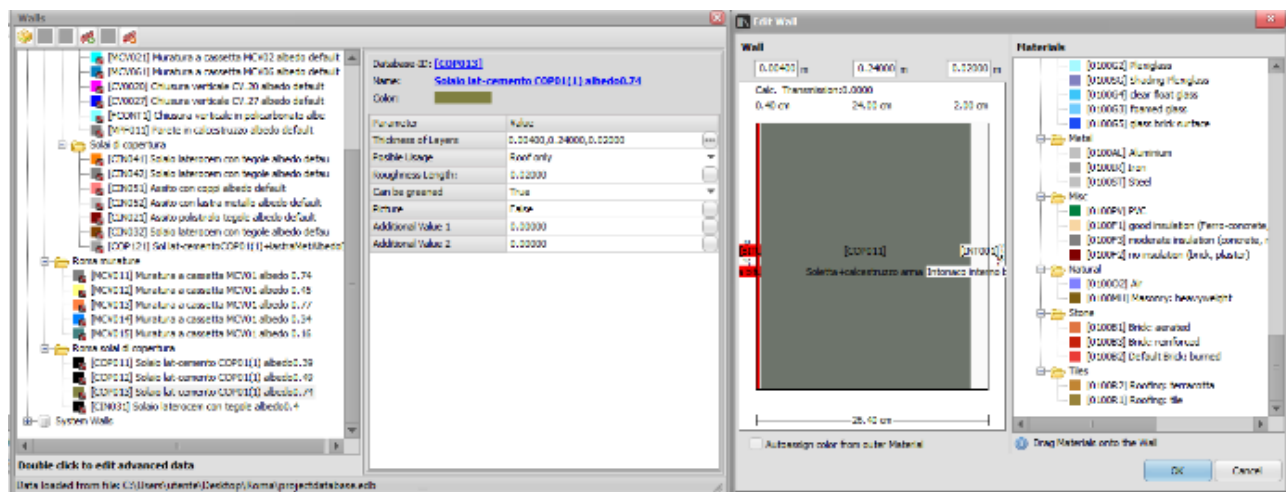


Figura 65. Esempio di stratigrafia per chiusura orizzontale

Nel complesso, al fine di implementare il database ENVI-met in modo da poter sviluppare i modelli di area urbana per Torino, Roma e Milano, sono state realizzate 36 schede relative a materiali utilizzati per le murature, 21 schede relative a materiali utilizzati per solai, 36 nuove schede relative alle stratigrafie delle murature di confine e 28 schede relative a stratigrafie di solai di copertura.

Similmente a quanto fatto per i materiali e per le stratigrafie degli edifici, si è provveduto ad implementare il database di ENVI-met creando apposite schede per i materiali e le stratigrafie relative alle superfici urbane (i.e., strade, marciapiedi, cortili) e al verde urbano, sia areale (i.e., aiuole e prati) sia puntuale (i.e., alberi).

Il software ENVI-met possiede un database che racchiude al suo interno diverse tipologie di stratigrafie per il suolo e diverse specie vegetali ed arboree (Figura 66 e Figura 67). Questa banca dati è stata utilizzata come base.

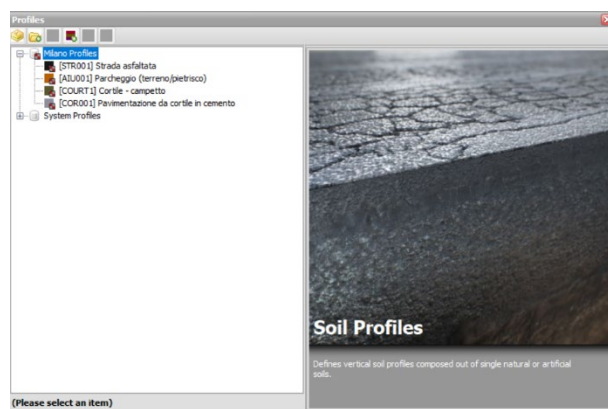


Figura 66. Elenco dei materiali per la caratterizzazione del suolo per l'area urbana di Milano

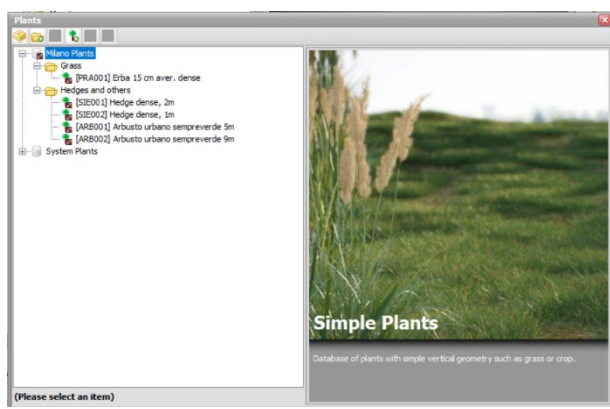


Figura 67. Elenco dei materiali per la caratterizzazione del verde areale per l'area urbana di Milano

Nello specifico, partendo dalle stratigrafie per il suolo presenti nel database, sono state utilizzate quelle che risultavano compatibili con quelle presenti all'interno delle aree urbane selezionate. Quando nelle aree urbane selezionate erano presenti stratigrafie o superfici non presenti nel database di ENVI-met si è proceduto a modificare quelle presenti o a crearne alcune *ex-novo*. In particolare, sono stati creati 20 diversi suoli e nove tipologie di superfici stradali a cui sono stati assegnati codici alfanumerici univoci.

Similmente, si è proceduto anche a modificare le specie arboree e vegetali tridimensionali presenti nel *database* in modo da ottenere tutte le specie da inserire nel modello. In particolare, gli alberi sono stati definiti a partire dalla specie arborea e caratterizzati dalla sola altezza, sfruttando la funzionalità di ENVI-met di scalabilità degli elementi albero nello specifico modulo.

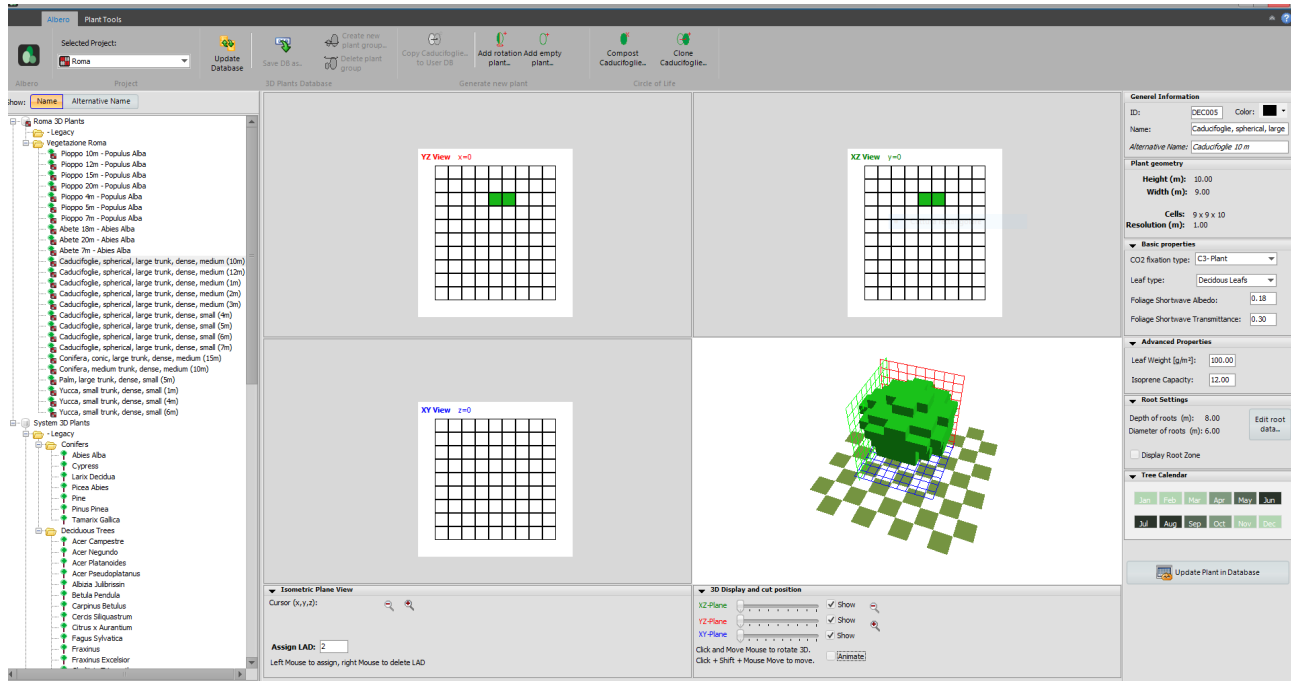


Figura 68. Esempio di albero modellato in ENVI-met

Complessivamente, sono state create 71 tipologie alberi per poter realizzare i tre modelli di area urbana.

6.2. Creazione del modello ENVI-met

Per la realizzazione dei tre modelli delle aree urbane, si è proceduto, prima di tutto, all'implementazione dello *shapefile* realizzato per gli edifici e descritto in Sezione 5. Nello specifico, a ciascun edificio sono stati attribuiti i codici univoci relativi ai solai di copertura e alle chiusure verticali esterne che lo caratterizzano. Inoltre, sono state disegnate mediante poligonale chiusa tutte le superfici urbane, così come indicato in Sezione 5, ed è stato realizzato un *file* che contenesse, invece, la posizione di oggetti singoli e che rappresentassero le piante tridimensionali. Anche in questo caso, ad ognuno degli oggetti presenti nei vari *file* è stato attribuito un codice identificativo della pianta presente nel database o della superficie la cui stratigrafia era presente o era stata implementata nel *database* di ENVI-met, in modo che vi fosse una corrispondenza tra gli attributi presenti negli *shapefile* e le schede presenti nel *database* di ENVI-met.

Gli *shapefile* generati da QGIS così creati sono stati importati in ENVI-met mediante l'applicativo *Monde*¹⁰ e per ciascuno dei *file* importati è stato creato un *layer* di modellazione (i.e., *modelling layer*). Nello specifico, ad ogni *shapefile* importato è stata assegnata una tipologia di *modelling layer*. Ovvero, allo *shapefile* relativo alle aiuole

¹⁰ *Monde* connette *file* vettoriali creati in QGIS, CAD, BIM o OSM ad ENVI-met

è stata attribuita la categoria “simple vegetation”, allo *shapefile* contenente gli alberi è stata attribuita la tipologia di “3D vegetation”; agli *shapefile* contenenti le superfici dei cortili, strade e marciapiedi è stata attribuita la tipologia “surfaces”; e, infine, allo *shapefile* contenente gli edifici è stata attribuita la tipologia “Buildings”.

Definiti tutti gli oggetti costituenti il modello, si è proceduto all’acquisizione dei dati relativi all’altimetria del territorio mediante uno dei *Digital Elevation Model* (DEM) proposti dal *software* stesso. Il modello digitale di elevazione utilizzato è un modello della *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) i cui dati sono prelevati durante la *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) con una risoluzione di circa 30 m (i.e., 1 Arc_Sec) e sono disponibili online [44].

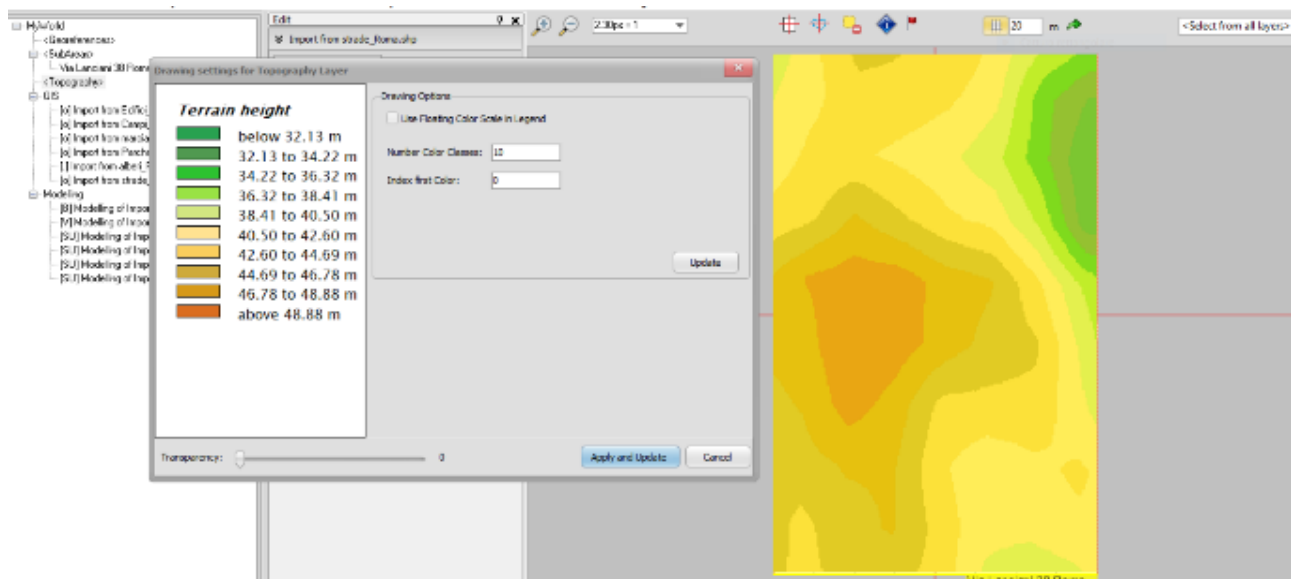


Figura 69. Acquisizione del DEM per il modello dell’area urbana di Roma

Successivamente, si è proceduto alla definizione della griglia di calcolo. In particolare, è stata scelta una griglia di 5 m (dx) x 5 m (dy) x 5 m (dz). Nella scelta della dimensione della griglia, si è optato per una griglia che non fosse troppo onerosa in termini di tempi computazionali, poiché in questa sede il fine era quello di realizzare un modello di area urbana e testarne la funzionalità.

Quindi, per ciascun modello ENVI-met è stata individuata la sub-area del modello da analizzare.

Per ciascuna città è stata definita una sub-area per la realizzazione del modello dell’area urbana. In particolare, le dimensioni della sub-area di Torino sono 270 m x 470 m, quelle della sub-area di Roma sono 240 m x 340 m e quelle della sub-area di Milano sono 415 m x 320 m.

I modelli delle tre aree sono stati quindi ispezionati in *Spaces*¹¹ per verificare che gli stessi non contenessero errori e che quindi la simulazione potesse essere eseguita correttamente. Al fine di poter procedere con la simulazione micro-climatica, è stato necessario inserire alcune celle vuote oltre i confini del modello stesso per evitare possibili anomalie dovuto all’“effetto bordo”. Questo margine è calcolato, per le dimensioni x e y, come il numero di celle corrispondenti all’altezza del più alto degli edifici più vicino al confine della sub-area; mentre,

¹¹ *Spaces* è lo spazio in cui viene modellato in ENVI-met

per la dimensione z, il numero di celle da aggiungere per evitare l'effetto bordo è stato assunto pari al numero di celle corrispondenti a circa due volte l'altezza dell'edificio più alto presente nel modello. Risulta quindi che per il modello relativo all'area urbana di Torino il modello è costituito da 54 x 94 x 35 celle, la distanza tra il modello e il suo bordo è di 11 celle in pianta; mentre, la distanza tra il punto più alto costituito dal DEM più gli edifici è pari a 59 m, l'edificio più alto è di 56 m e il numero di celle aggiunte tra il modello e il bordo in elevazione è pari a 23 (Figura 70).

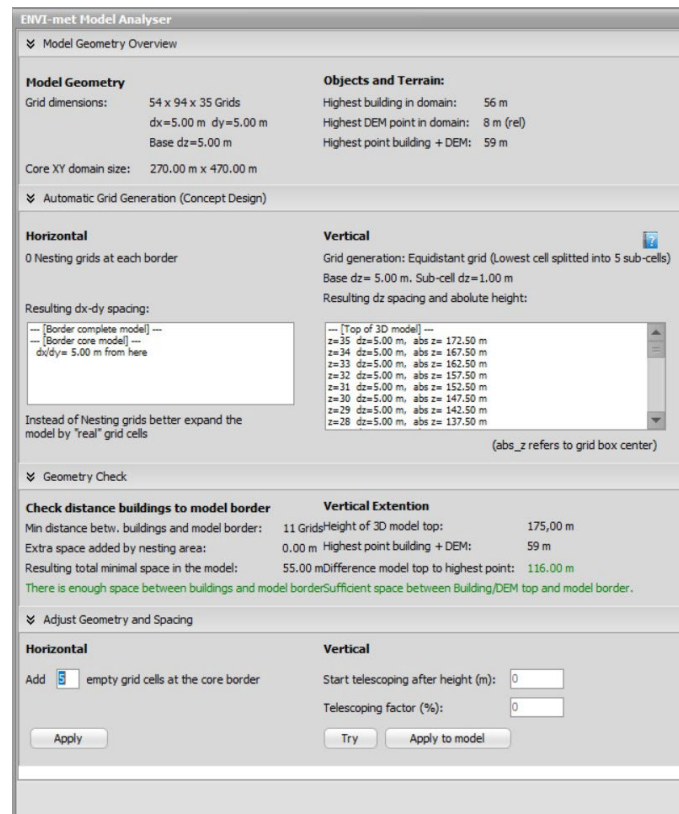


Figura 70. Dimensioni del modello e della griglia per l'area urbana di Torino

Per l'area urbana di Roma il modello è costituito da 48 x 68 x 18 celle e le celle aggiunte tra il modello e il suo bordo sono pari a 11 sia nel piano xy, sia lungo l'asse z (Figura 71).

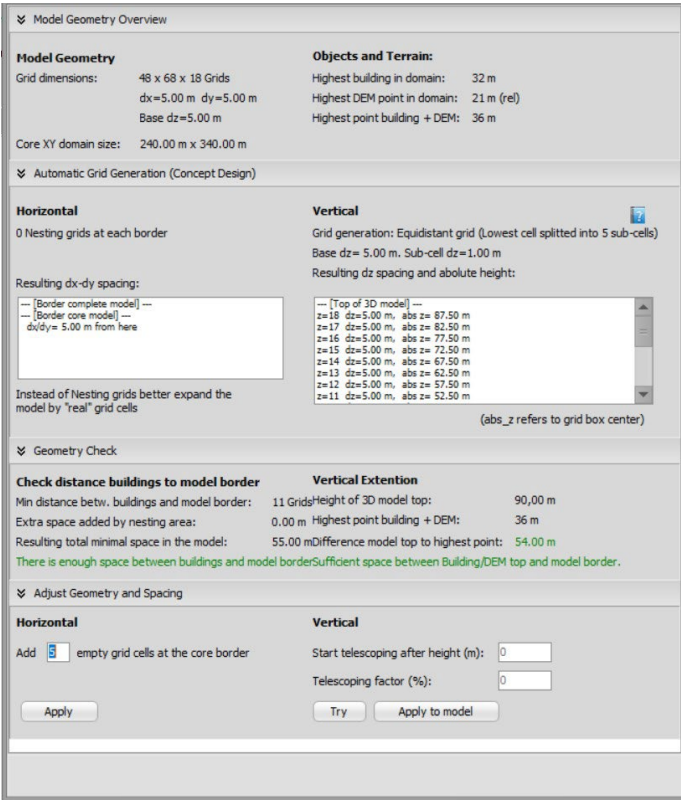


Figura 71. Dimensioni del modello e della griglia per l'area urbana di Roma

Per l'area urbana di Milano, il modello è costituito da 83 x 64 x 25 celle, con 11 celle aggiunte tra il modello e il bordo dello stesso sul piano xy e 15 celle tra il modello e il bordo lungo l'asse z (Figura 72).

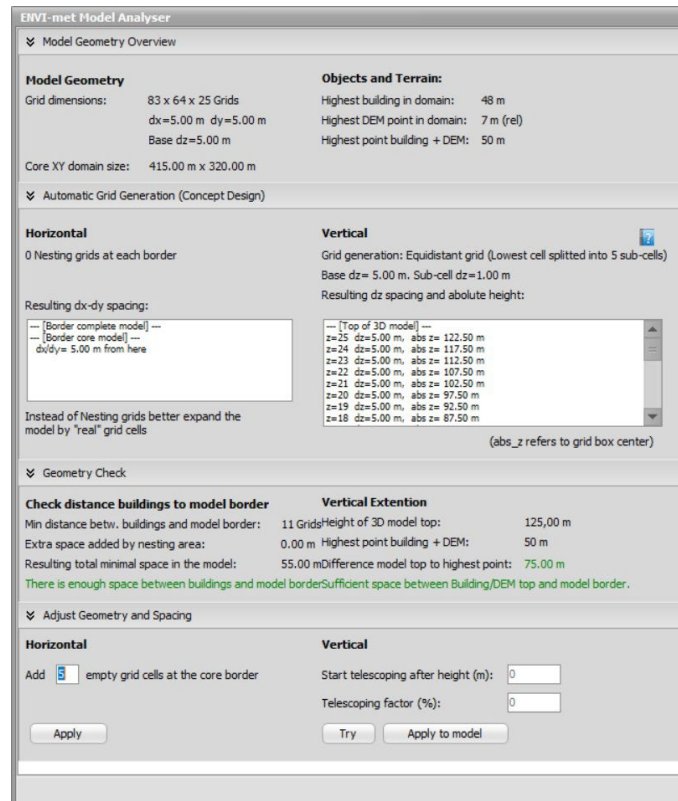


Figura 72. Dimensioni del modello e della griglia per l'area urbana di Milano

Per le tre aree urbane sono quindi stati ottenuti tre modelli. A titolo esemplificativo, in Figura 73 e Figura 74 sono riportate le visualizzazioni 2D e 3D, rispettivamente, del modello dell'area urbana di Roma.

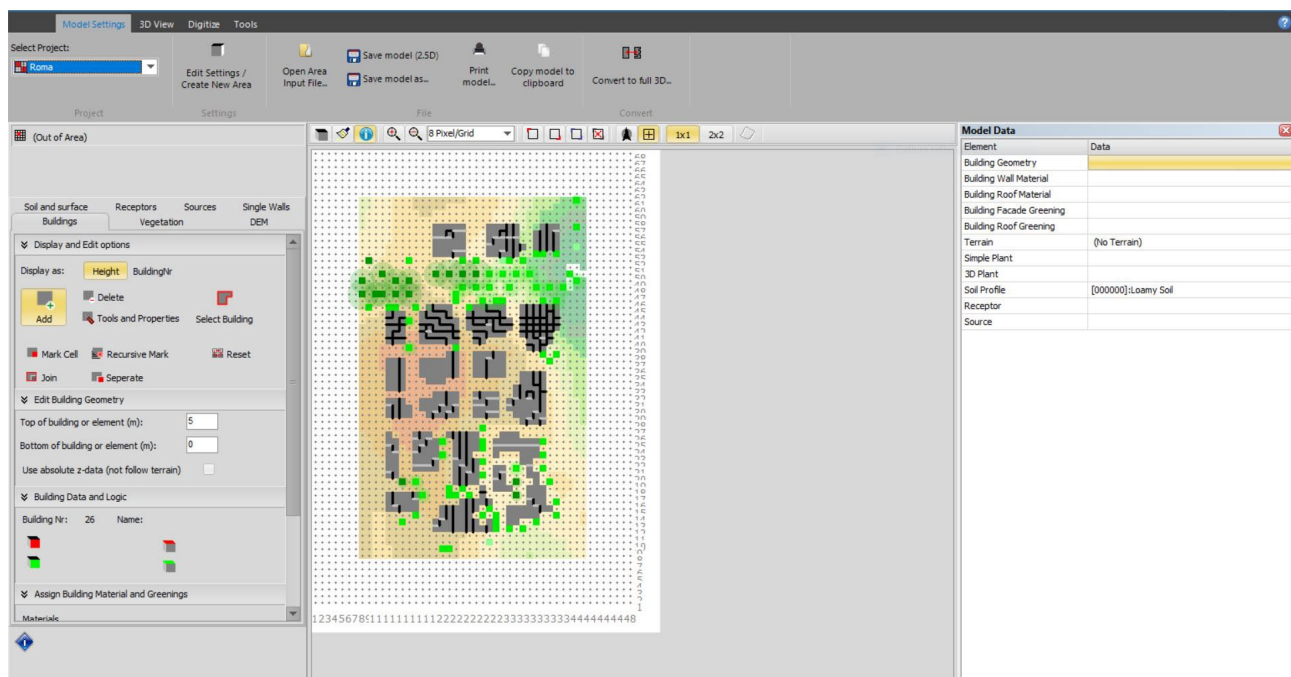


Figura 73. Rappresentazione 2D modello ENVI-met per l'area urbana di Roma

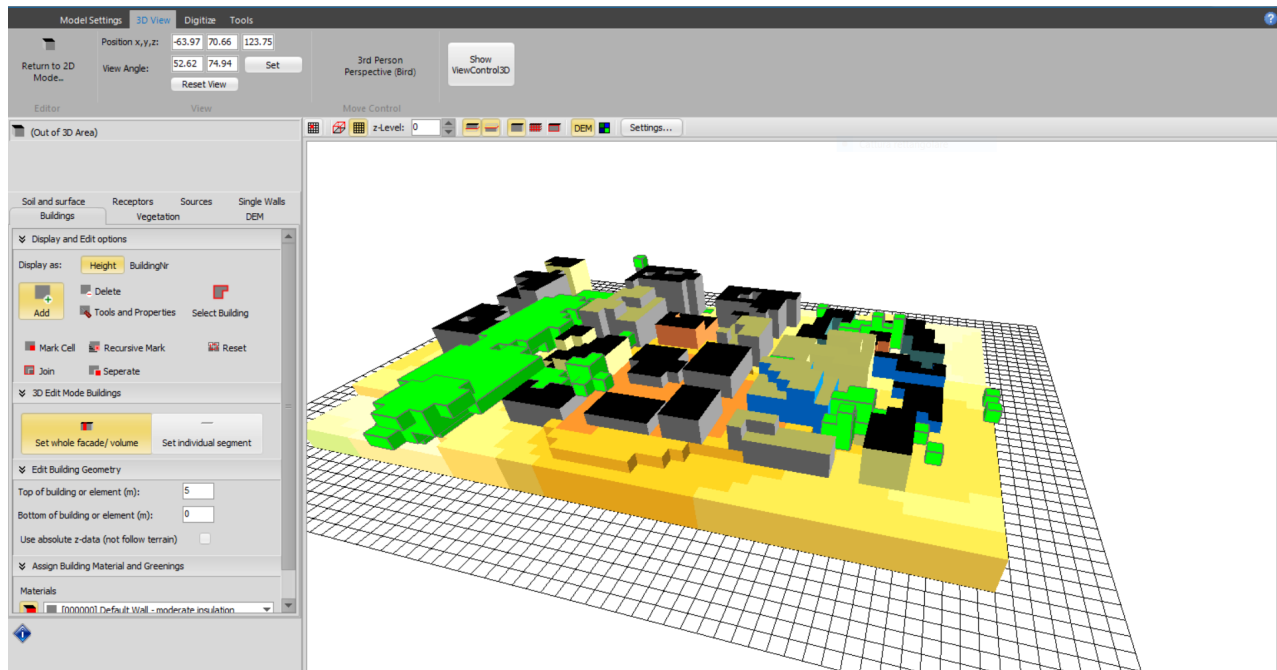


Figura 74. Rappresentazione 3D modello ENVI-met per l'area urbana di Roma

In Figura 75 e in Figura 76 sono invece riportate le immagini del modello 2D delle aree urbane di Milano e Torino, rispettivamente.

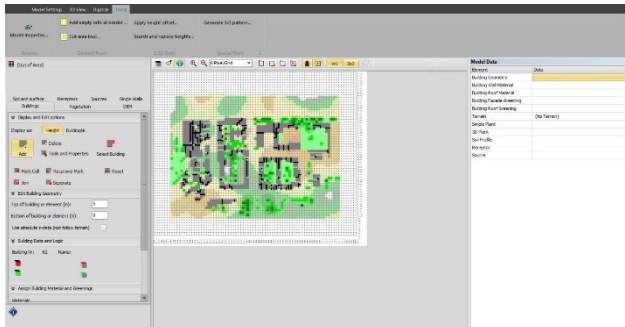


Figura 75. Rappresentazione 2D modello ENVI-met per l'area urbana di Milano

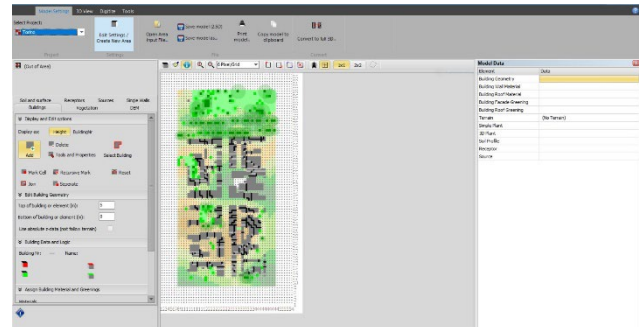


Figura 76. Rappresentazione 2D modello ENVI-met per l'area urbana di Torino

6.3. Setup delle analisi e simulazione

Dopo la creazione dei modelli, si è proceduto alla verifica della loro funzionalità. A tal fine, sono state avviate delle simulazioni test per i modelli usando come *input* dei dati meteorologici di *default*, ovvero quelli forniti dal *software* e riferiti al 23 giugno 2018. In particolare, è stata utilizzata la finestra temporale che va dalle ore 13.00 alle ore 14.00 (Figura 77).

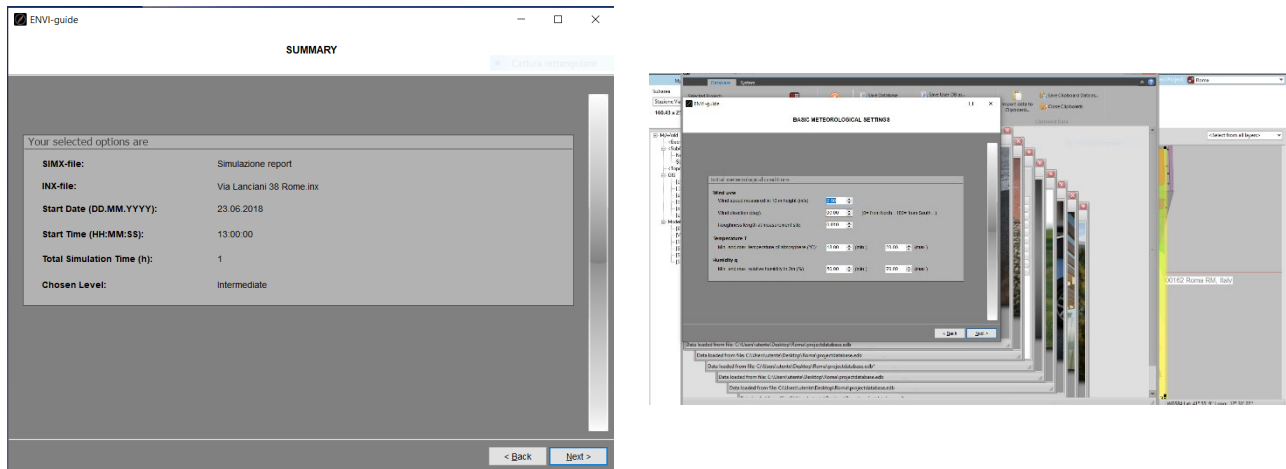


Figura 77. Condizioni iniziali per la simulazione

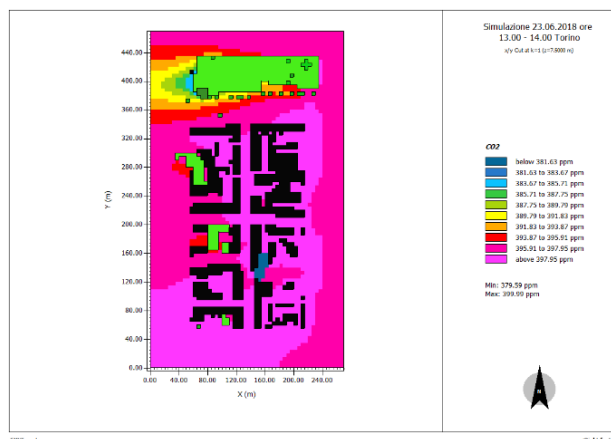
La simulazione è stata eseguita su di un calcolatore con processore Intel® Core (IM) i7-9700 CPU @3.00GHz con una RAM 32.0 GB per circa 20 minuti, per ciascun modello. Tutti e tre i modelli hanno portato a termine la simulazione per il tempo stabilito senza errori.

6.4. Output

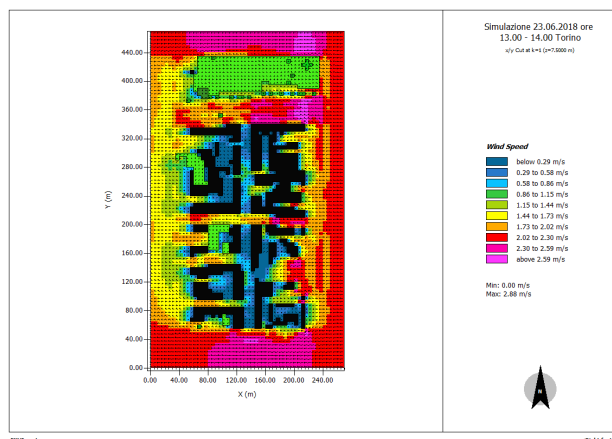
Il software ENVI-met offre la possibilità di ottenere svariati *output* che vengo organizzati per aree tematiche [45]:

- *Atmosphere*: raccoglie tutte le informazioni relative allo stato dell'atmosfera in diversi momenti della simulazione;
- *Buildings*: raccoglie i dati circa gli edifici (e.g., facciate e coperture) e include sia dati statici, come i valori di albedo superficiale o i materiali, sia dati dinamici, come dati meteorologici sugli edifici e dati di fisica dell'edificio;
- *Inflow*: fornisce dati circa gli influssi relativi alle aree adiacenti il dominio di simulazione;
- *Pollutants*: fornisce dati relativi alla concentrazione degli inquinanti nel modello;
- *Radiations*: fornisce dataset dettagliati riguardo i diversi flussi radiativi nel modello;
- *Receptors*: fornisce serie temporali e dati di profilo nei punti in cui sono presenti i recettori definiti nel modello;
- *Soil*: fornisce lo stato del modello del suolo in ENVI-met;
- *Solar Access*: fornisce un'analisi dettagliata di dati circa la radiazione solare come, ad esempio, diagrammi solari e ore di sole;
- *Surface*: fornisce lo stato della superficie del suolo come interfaccia tra l'atmosfera e il modello del suolo;
- *Vegetation*: fornisce lo stato della vegetazione, compreso l'elenco dettagliato delle piante 3D osservate.

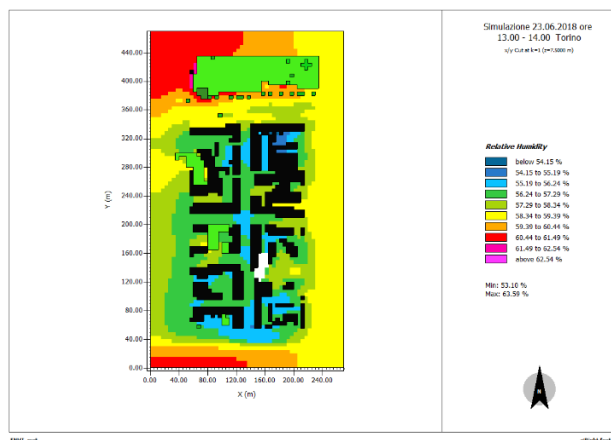
Di seguito, a titolo esemplificativo, sono stati riportati alcuni dei numerosi *output* ottenuti dalle simulazioni micro-climatiche di prova, effettuate per le tre aree urbane. La Figura 78 mostra una raccolta di *output* ottenuti dalla simulazione micro-climatica per l'area urbana selezionata di Torino. In particolare, Figura 78 a mostra la concentrazione del biossido di carbonio (CO₂) in termini di parti per milione (ppm); Figura 78 b mostra la velocità e la direzione del vento nell'area urbana; Figura 78 c e d mostrano le mappe dell'umidità relativa e assoluta, rispettivamente.



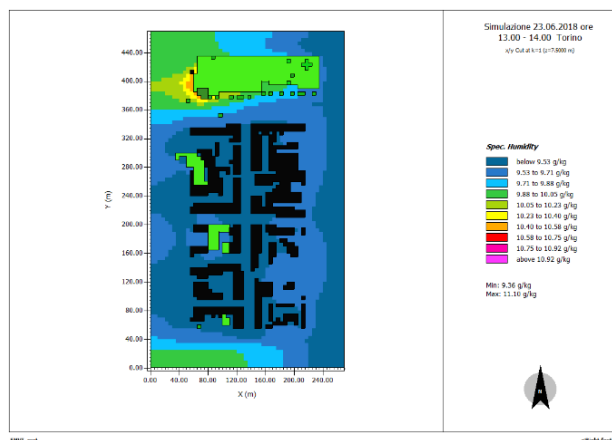
a. Mappa della concentrazione della CO₂ (ppm)



b. Mappa della velocità del vento



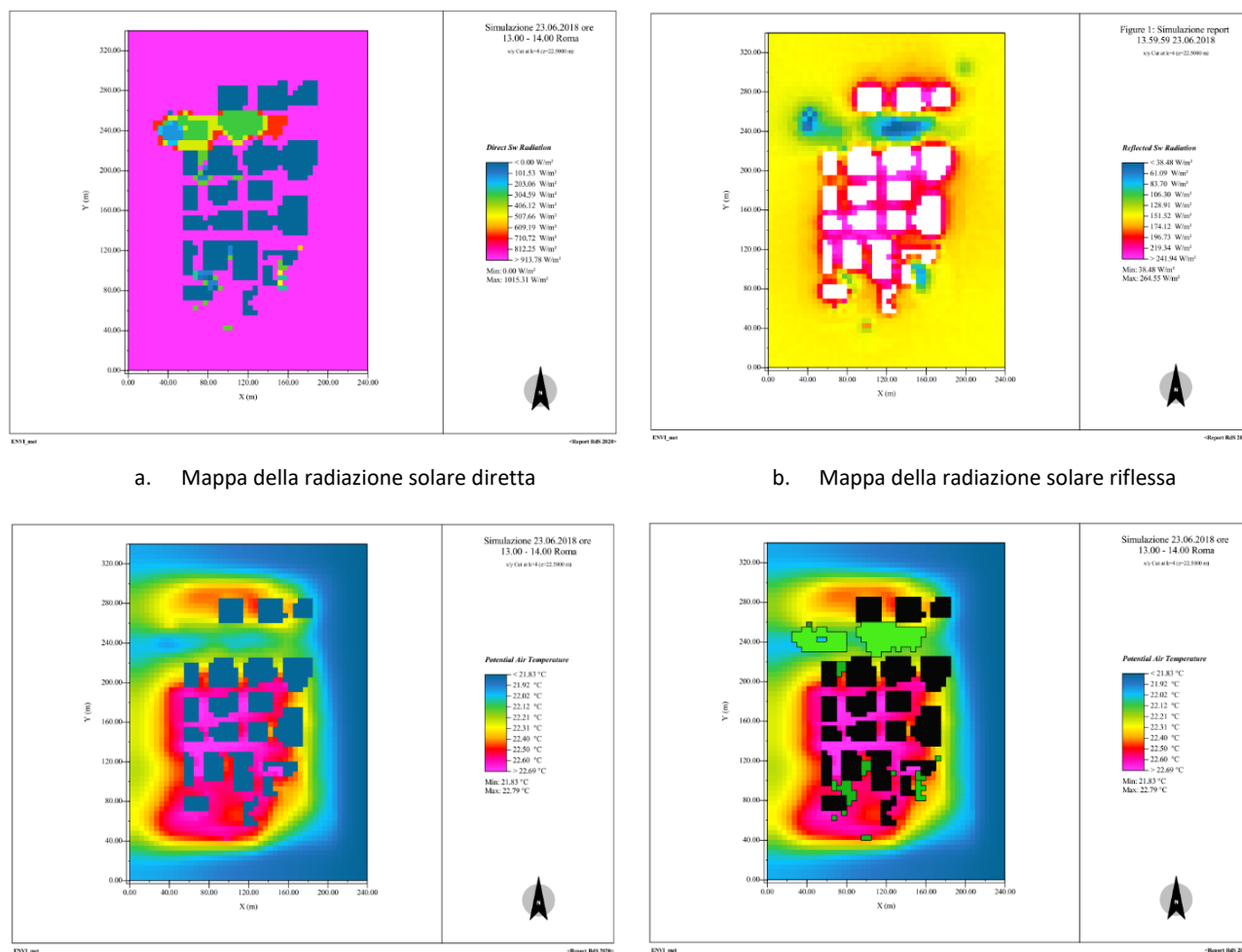
c. Mappa dell'umidità relativa



d. Mappa dell'umidità specifica

Figura 78. Output della simulazione test per l'area urbana di Torino

Similmente, Figura 79 mostra, a titolo esemplificativo, alcuni degli *output* relativi alla simulazione per l'area urbana di Roma. In particolare, in Figura 79 a è riportata la mappa della radiazione solare diretta; Figura 79 b mostra la mappa della radiazione solare riflessa; in Figura 79 c e d sono riportate le temperature dell'aria senza e con l'indicazione degli oggetti presenti nell'area di studio, rispettivamente.



a. Mappa della radiazione solare diretta

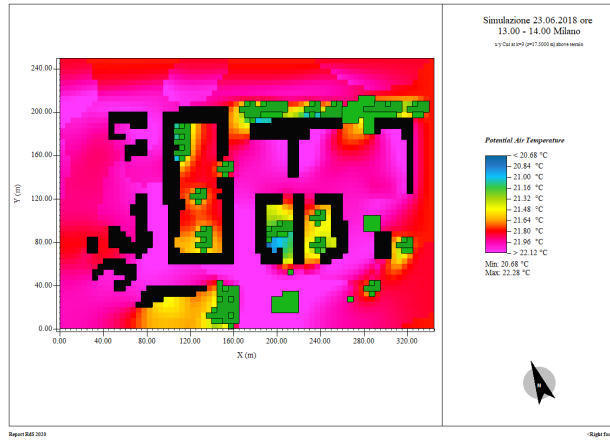
b. Mappa della radiazione solare riflessa

c. Mappa della temperatura dell'aria

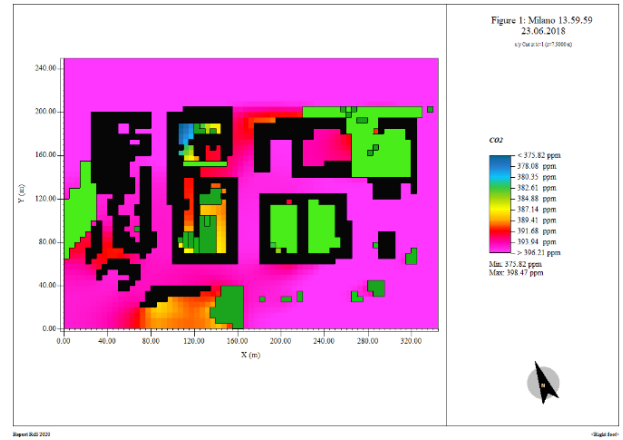
d. Mappa della temperatura dell'aria con indicazione degli oggetti presenti nell'area stessa

Figura 79. Output della simulazione test per l'area urbana di Roma

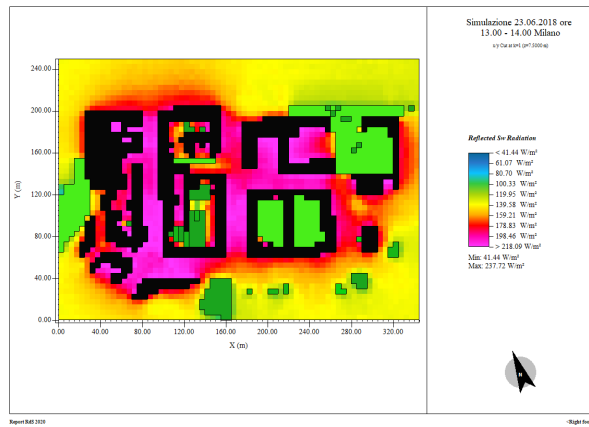
Analogamente, la Figura 80 mostra alcuni degli *output* relativi all'area urbana di Milano. In particolare, la Figura 80 a mostra la mappa della temperatura con indicazione degli oggetti presenti nell'area urbana; la Figura 80 b riporta la concentrazione della CO₂ in ppm; la Figura 80 c mostra la mappa della radiazione solare riflessa e la Figura 80 d quella della velocità del vento.



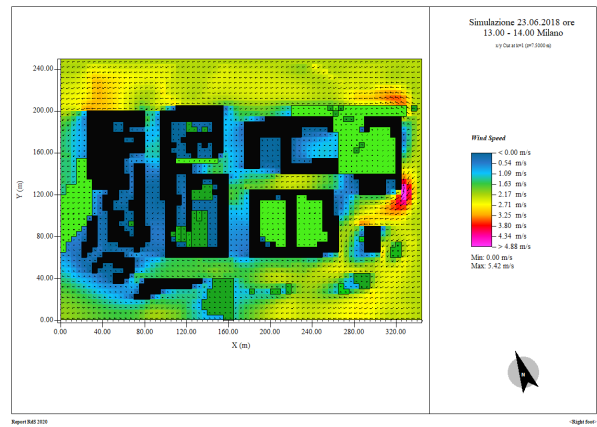
a. Mappa della temperatura dell'aria



b. Mappa della concentrazione della CO₂ (ppm)



c. Mappa della radiazione solare riflessa



d. Mappa della velocità del vento

Figura 80. Output della simulazione test per l'area urbana di Milano

7. Scenari di mitigazione delle UHI e dell'uso di energia degli edifici

Per definire gli scenari di mitigazione sono stati presi in considerazione i risultati ottenuti dalla ricerca effettuata in letteratura sugli effetti dell'applicazione di tetti e pareti verdi, nel corso della prima annualità del PTR 2019-2021 e in Sezione 1, sulla variazione di energia per il raffrescamento e per il riscaldamento degli edifici, sulla variazione della temperatura dell'aria esterna sul tetto e in strada al livello dei pedoni, e sulla variazione della temperatura superficiale delle pareti degli edifici.

Nelle tabelle da Tabella 19 a Tabella 26, per le zone climatiche in cui si trovano le città oggetto di studio (i.e., Cfa per Torino e Milano, Csa per Roma) sono riportati i valori di variazione delle grandezze sopra elencate. I valori sono presentati al variare di alcune condizioni al contorno (i.e., tipologia di solaio preesistente, nel caso dei tetti verdi), delle condizioni ambientali (i.e., diurne, notturne, estive o invernali), e della tecnologia di parete verde installata.

Tabella 19. Installazione di tetti verdi: variazione percentuale dell'energia per riscaldamento e raffrescamento, zona climatica Cfa

	Solai non isolati	Solai isolati
Δ Energia per riscaldamento	+33%	-17%
Δ Energia per raffrescamento	-67%	-8%

Tabella 20. Installazione di tetti verdi: variazione della temperatura dell'aria, zona climatica Cfa

	Giorno	Notte
Δ Temperatura al livello del tetto [°C]	-2	-1
Δ Temperatura a livello pedonale [°C]	-0.05	-0.02

Tabella 21. Installazione di tetti verdi: variazione percentuale dell'energia per riscaldamento e raffrescamento, zona climatica Csa

	Solai non isolati	Solai isolati
Δ Energia per riscaldamento	-42%	-32%
Δ Energia per raffrescamento	-67%	-8%

Tabella 22. Installazione di tetti verdi: variazione della temperatura dell'aria, zona climatica Csa

	Giorno	Notte
Δ Temperatura al livello del tetto [°C]	-7	-20
Δ Temperatura a livello pedonale [°C]	-0.04	N.D.

Tabella 23. Zona Installazione di pareti verdi: variazione percentuale dell'energia per riscaldamento e raffrescamento, zona climatica Cfa

	Green façade	Living wall
Δ Energia per riscaldamento	N.D.	N.D.
Δ Energia per raffrescamento	N.D.	-10.5%

Tabella 24. Installazione di pareti verdi: variazione della temperatura superficiale e della temperatura dell'aria, zona climatica Cfa

	Green façade				Living wall			
	Giorno estivo	Notte estiva	Giorno invernale	Notte invernale	Giorno estivo	Notte estiva	Giorno invernale	Notte invernale
Δ Temperatura superficiale [°C]	-4.00	-0.70	N.D.	N.D.	-11.5	-0.50	-8	-0.25
Δ Temperatura dell'aria a livello pedonale [°C]	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-0.20	-0.40	N.D.	N.D.

Tabella 25. Installazione di pareti verdi: variazione percentuale dell'energia per riscaldamento e raffrescamento, zona climatica Csa

	<i>Green façade</i>	<i>Living wall</i>
Δ Energia per riscaldamento	-0.8%	-3.0%
Δ Energia per raffrescamento	-33.8%	-37.2%

Tabella 26. Installazione di pareti verdi: variazione della temperatura superficiale e della temperatura dell'aria, zona climatica Csa

	<i>Green façade</i>				<i>Living wall</i>			
	Giorno estivo	Notte estiva	Giorno invernale	Notte invernale	Giorno estivo	Notte estiva	Giorno invernale	Notte invernale
Δ Temperatura superficiale [°C]	-6.00	+1.75	-2.50	+2.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Gli scenari di mitigazione sono esclusivamente basati sull'installazione di tetti e di pareti verdi.

Per quanto riguarda i tetti verdi, la loro applicazione ha effetti positivi sia sulla variazione delle energie per riscaldamento e raffrescamento, con l'eccezione dei solai non isolati, sia sulla variazione di temperatura dell'aria e superficiale. La tipologia di tetto verde considerata per gli scenari di mitigazione è quella di tetto verde di tipo estensivo. I tetti verdi di tipo intensivo necessitano infatti di un adeguamento strutturale consistente nella sostituzione dei solai di copertura per supportare l'aumento dei carichi, sono quindi una tecnologia considerata molto impegnativa per la riqualificazione in ambito urbano e per tale motivo non è stata scelta.

Per quanto riguarda l'applicazione delle pareti verdi, in zona Cfa la tecnologia di parete verde scelta "di default" è il *living wall* perché con tale tecnologia la diminuzione di temperatura superficiale in condizioni estive e diurne è più apprezzabile (Tabella 24).

In zona Csa la tecnologia di parete verde scelta è la *green façade*, principalmente in funzione di un contenimento dei costi impliciti in uno scenario di applicazione diffusa a tutti gli edifici possibili (scenario RM2).

In Sezione 9 è fornita una descrizione tecnologica delle tipologie di tetto verde e di parete verde ipotizzate per l'applicazione negli scenari di mitigazione.

7.1. Scenari di mitigazione per la città di Torino

Per la città di Torino non è stata considerata, tra le opzioni di scenario di mitigazione, l'applicazione di tetti verdi, poiché i tetti della zona oggetto di studio sono in larghissima parte tetti a falde e non adatti quindi all'applicazione di tale tecnologia. Si è scelto quindi di investigare l'applicazione di *living wall* (i.e., tecnologia di parete verde "di base" per la zona Cfa) in *canyon* urbano; l'applicazione di *living wall* può essere valutata al variare della sua disposizione rispetto alla direzione principale del vento, scegliendo, per uno scenario, l'installazione in una strada pressoché parallela alla direzione del vento, e per un altro scenario l'installazione in una strada pressoché ortogonale alla direzione principale del vento.

È possibile assumere come direzione dominante del vento in Torino quella registrata nella stazione meteorologica di Torino Alenia, dove prevalgono le direzioni NNE e SSW [46]. Via Beaulard è orientata lungo l'asse Nord-Sud, è quindi quasi parallela alla direzione principale del vento considerata; via Lera è invece orientata lungo l'asse Est-Ovest, ed è quindi quasi ortogonale alla direzione principale del vento considerata.

Infine, il caso di Torino consente di valutare le differenze dovute all'applicazione di due tecnologie di parete verde differenti: *living wall* e *green façade*.

Gli scenari individuati per Torino sono dunque:

Scenario TO1. Installazione di *living wall* in *canyon* urbano in una via parallela alla direzione principale del vento. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 81, prevede l'installazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Beaulard, ovvero una strada pressoché parallela alla direzione principale del vento.

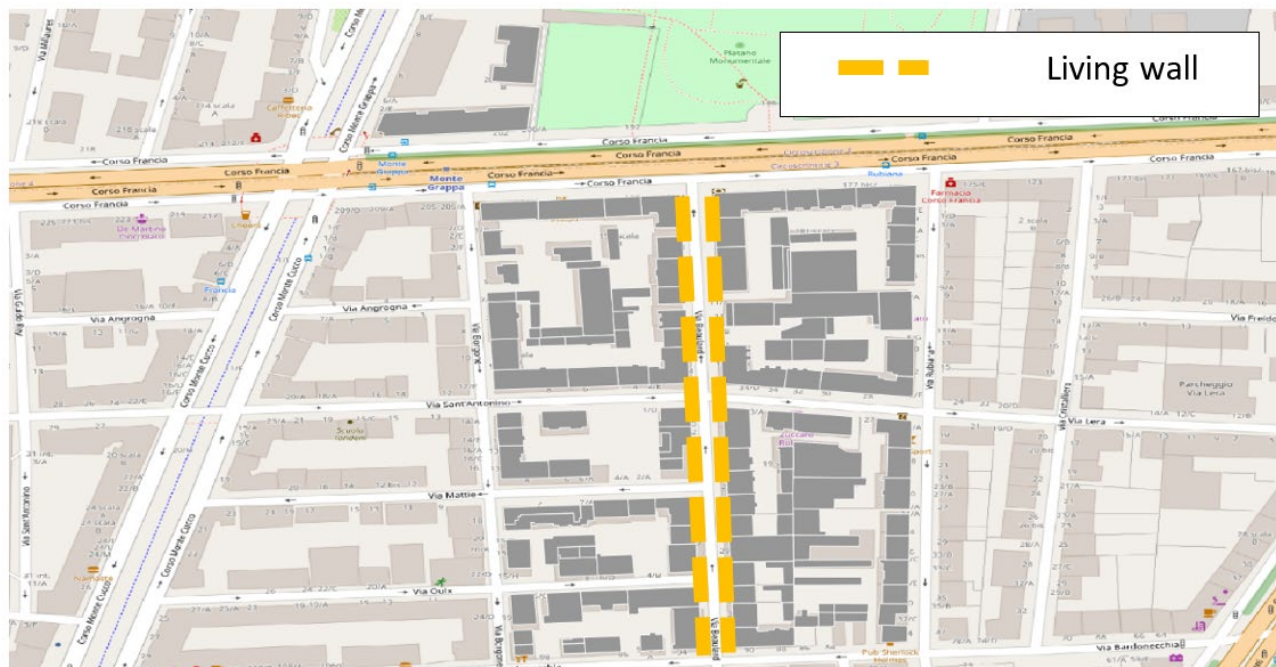


Figura 81. Scenario di mitigazione TO1

Scenario TO2. Installazione di *green façade* in *canyon* urbano in una via parallela alla direzione principale del vento. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 82, prevede l'installazione di *green façade* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Beaulard, ovvero una strada pressoché parallela alla direzione principale del vento, ed ha lo scopo di investigare l'influenza del tipo di parete verde installata.

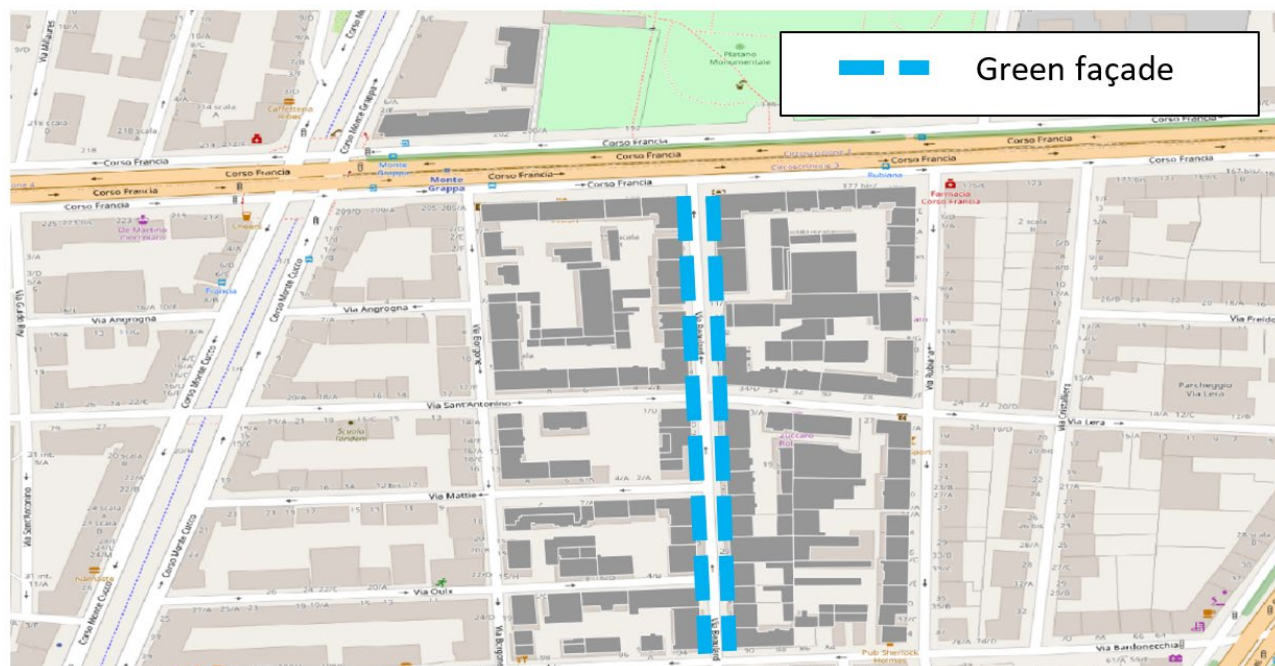


Figura 82. Scenario di mitigazione TO2

Scenario TO3. Installazione di *living wall* in *canyon* urbano in una via perpendicolare alla direzione principale del vento. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 83, prevede l'installazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Lera, ovvero una strada pressoché ortogonale alla direzione principale del vento, ed ha lo scopo di investigare l'influenza dell'orientamento del *canyon* urbano rispetto alla direzione principale del vento, a parità di pareti verdi installate.

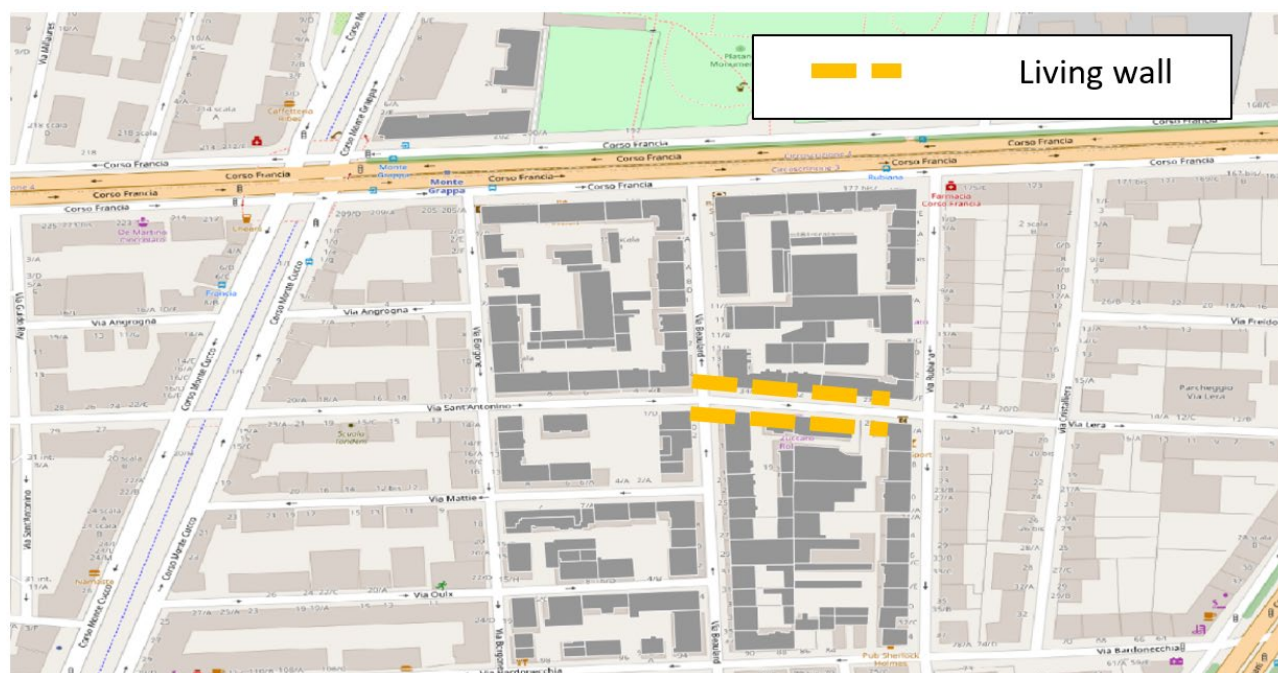


Figura 83. Scenario di mitigazione TO3

7.2. Scenari di mitigazione per la città di Milano

Nel caso di Milano è possibile osservare, nella zona oggetto di studio, la presenza di *canyon* urbani di larghezza differente (e.g., via Bellinzaghi e via Bassi) e di una superficie consistente di tetto piano del liceo “Luigi Cremona” su cui è possibile ipotizzare l’installazione di un tetto verde. Si è scelto dunque di riproporre lo scenario “base” per la zona Cfa, consistente nell’applicazione di *living wall*, e di valutarne l’effetto al variare della dimensione del canyon urbano e in affiancamento all’applicazione di un tetto verde estensivo.

Gli scenari individuati per Milano sono:

Scenario MI1. Installazione di *living wall* in *canyon* urbano. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 84, prevede l'installazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Bellinzaghi.

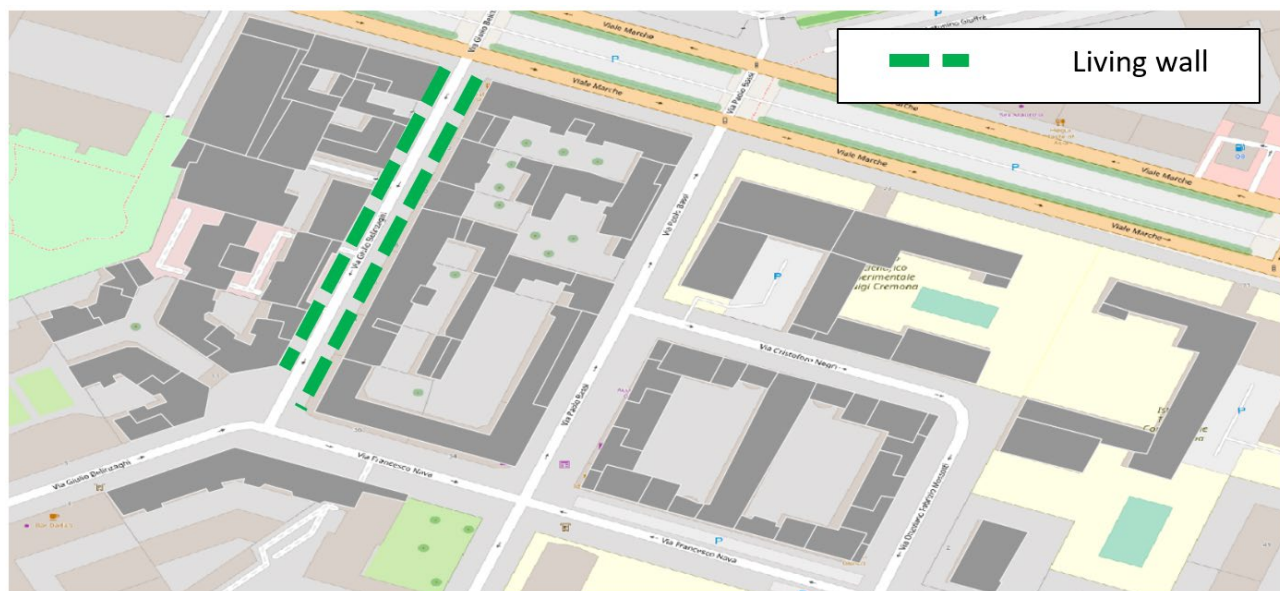


Figura 84. Scenario di mitigazione MI1

Scenario MI2. Installazione di *living wall* in un *canyon* urbano più ampio. Lo scenario, rappresentato schematicamente in Figura 85, prevede l'installazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Bassi e ha lo scopo di investigare l'influenza dell'ampiezza del *canyon* urbano, a parità di pareti verdi installate.

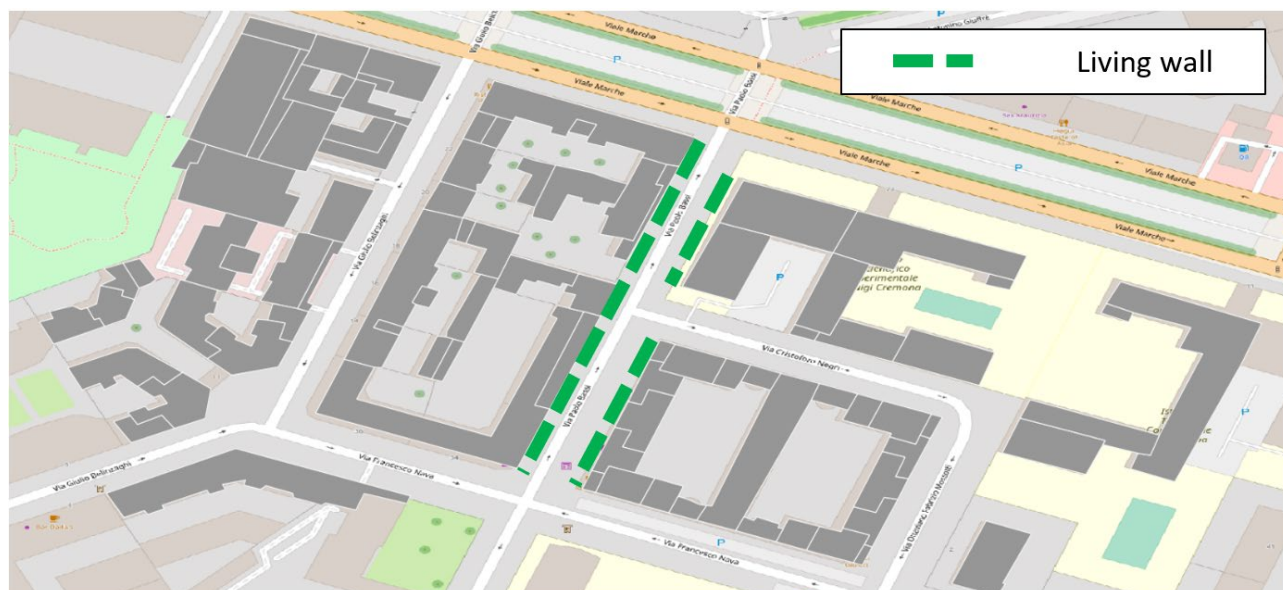


Figura 85. Scenario di mitigazione MI2

Scenario MI3. Installazione di *living wall* in un *canyon* urbano e di un tetto verde estensivo su un singolo edificio affacciato sul *canyon* urbano. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 86, prevede l'installazione di *living wall* su tutte le facciate degli edifici che si affacciano su via Bassi e di un tetto verde sull'edificio del liceo scientifico statale "Luigi Cremona". Lo scenario ha lo scopo di investigare l'influenza dell'installazione di un tetto verde in un contesto di *canyon* urbano in cui sono già presenti *living wall*.

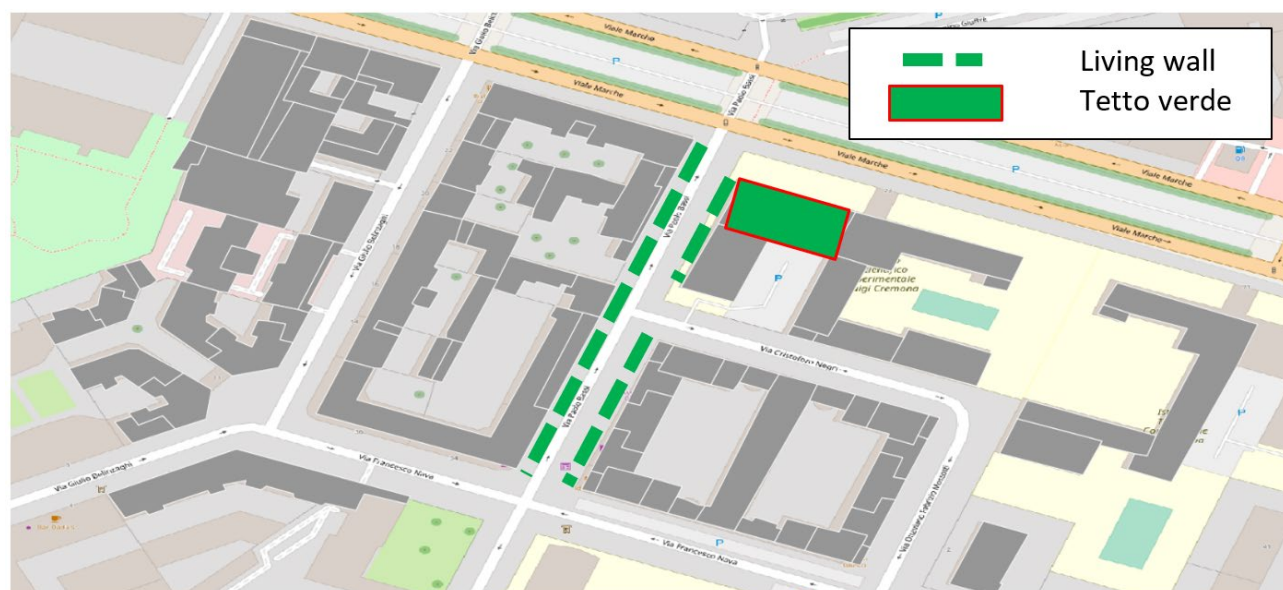


Figura 86. Scenario di mitigazione MI3

7.3. Scenari di mitigazione per la città di Roma

La zona oggetto di studio nella città di Roma presenta un tessuto urbano composto da edifici singoli separati gli uni dagli altri e non rappresenta la tipica condizione di *canyon* urbano. I tetti della grande maggioranza degli

edifici sono piani e consentono di ipotizzare l'applicazione di tetti verdi estensivi. Si è scelto di valutare l'effetto di applicazione estensiva di tetti verdi, della loro applicazione combinata con un'applicazione estensiva di pareti verdi, che per un contenimento dei costi sono state ipotizzate essere *green façade*, e dell'effetto di scala dell'applicazione di pareti verdi.

Gli scenari individuati per Roma sono:

Scenario RM1. Installazione estensiva di tetti verdi. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 87, prevede l'installazione di tetti verdi estensivi su tutti gli edifici della zona di studio su cui sia ipotizzabile.



Figura 87. Scenario di mitigazione RM1

Scenario RM2. Installazione estensiva di tetti verdi e di *green façade*. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 88, prevede l'installazione di tetti verdi estensivi e di *green façade* su tutti gli edifici della porzione urbana considerata su cui tali installazioni siano ipotizzabili. Lo scenario ha lo scopo di investigare effetto combinato dell'applicazione estensiva e contemporanea di tetti e pareti verdi ad una porzione di quartiere.



Figura 88. Scenario di mitigazione RM2

Scenario RM3. Installazione di *green façade* su un solo edificio. Lo scenario, illustrato schematicamente in Figura 89, prevede l'installazione di *green façade* sulle facciate di un singolo edificio collocato al centro della zona oggetto di studio. Lo scenario ha lo scopo di investigare l'influenza dell'effetto di scala dell'applicazione di pareti verdi.



Figura 89. Scenario di mitigazione RM3

8. Identificazione degli edifici significativi

Nella presente sezione si intende identificare, per ciascuna delle città individuate quali maggiormente esposte al fenomeno della SUHI e site nelle due aree climatiche maggiormente diffuse sul territorio nazionale, un edificio residenziale che sia rappresentativo di gran parte del parco edilizio locale.

Per la definizione del modello dei suddetti edifici si è scelto di utilizzare i dati del censimento generale della popolazione e delle abitazioni condotto dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) nel 2011 [47]. I dati del censimento, utilizzati direttamente o rielaborati, sono presentati nelle tabelle da Tabella 27 a Tabella 33.

Dai dati del censimento del 2011 si desume che in Italia l'88.5% degli edifici è destinato a uso residenziale e gli edifici residenziali sono 12'187'698. Come desumibile da Tabella 27, per il patrimonio residenziale nazionale il periodo di più intensa attività edilizia è il decennio 1971-1980 in cui si è assistito alla realizzazione del 17.4% degli edifici residenziali, poco inferiore è il numero di costruzioni del decennio 1961-1970 pari al 16.8%, seguito dal periodo del dopoguerra, 1946-1960 con il 14.0%.

Tabella 27. Distribuzione percentuale degli edifici residenziali per epoca di costruzione

	<=1918	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2005	>=2006
Torino	14.3%	20.8%	28.1%	20.8%	9.3%	3.0%	1.9%	1.2%	0.6%
Milano	12.4%	23.5%	27.7%	19.9%	8.6%	2.9%	2.0%	1.5%	1.5%
Roma	4.2%	8.0%	19.4%	21.2%	19.0%	12.9%	7.1%	4.4%	3.9%
Italia	15.0%	10.9%	14.0%	16.8%	17.4%	12.0%	7.1%	3.8%	3.0%

A differenza del panorama complessivo nazionale, nei comuni di Milano e Torino il periodo di maggiore costruzione edilizia è il periodo del dopoguerra, 1946-1960, durante il quale è stato realizzato il 27.7% degli edifici residenziali per Milano e il 28.1% per Torino, seguito dal periodo 1919-1945 in cui è stato realizzato il 23.5% degli edifici residenziali per Milano, e il 20.8% per Torino, e dal decennio 1961-1971 in cui il 19.9% degli edifici residenziali è stato costruito a Milano, e il 20.8% a Torino. Nel comune di Roma il periodo di maggiore attività edilizia è stato il decennio 1961-1970 nel quale è stato realizzato il 21.2% degli edifici residenziali, seguito dal periodo del dopoguerra, 1946-1960 con il 19.4% e dal decennio 1971-1980 con il 19.0%.

Gli edifici residenziali presi a modello per i comuni di Torino e di Milano faranno quindi riferimento alle tecniche costruttive diffuse nel periodo 1946-1960, l'edificio rappresentativo per il comune di Roma farà riferimento alle tecniche costruttive diffuse nel decennio 1961-1970.

La scelta strutturale è fatta sulla base dei dati di Tabella 28, che riporta il numero di edifici residenziali per tipologia strutturale, costruiti nei periodi 1946-1960 e 1961-1970. Per Torino e Milano, la tipologia strutturale più diffusa in entrambe le epoche costruttive è la struttura intelaiata in calcestruzzo armato; tale tipologia è la più diffusa anche a Roma nel periodo 1961-1970. Per gli edifici-tipo di tutte e tre le città la scelta strutturale ricade dunque su strutture intelaiate in calcestruzzo armato con tamponamenti in laterizi.

Tabella 28. Edifici residenziali per tipologia strutturale e per epoca di costruzione

	1946-1960			1961-1970		
	Muratura portante	cls armato	altro	Muratura portante	cls armato	altro
Torino	3'287	6'471	388	1'004	6'363	155
Milano	4'710	6'549	642	780	7'506	263
Roma	12'642	12'209	1'732	6'916	18'815	3'251
Italia	1'212'279	303'903	182'654	1'087'428	676'242	287'163

I dati del censimento consentono anche di analizzare le distribuzioni edilizie in funzione del numero dei piani fuori terra (i.e., elevazioni) degli edifici. I dati nazionali e per le città oggetto di analisi sono riportati in Tabella 29 e si evince che per tutte e tre le città considerate il gruppo più rappresentativo è quello con edifici con almeno quattro piani fuori terra.

Tabella 29. Edifici residenziali per numero di piani fuori terra (elevazioni)

	1 elevazione	2 elevazioni	3 elevazioni	4 o più elevazioni
Torino	3'217	7'368	4'446	21'127
Milano	2'940	6'043	5'503	28'494
Roma	17'523	34'802	29'998	54'698
Italia	2'083'389	5'981'256	2'948'147	1'174'906

Tale dato consente di stabilire che in tutte e tre le città l'edificio rappresentativo sarà dotato di almeno quattro piani fuori terra, non consente però di determinare direttamente il numero esatto di piani fuori terra di ciascun edificio rappresentativo. A tal fine sono state considerate le abitazioni presenti in ciascuna città, il numero di edifici residenziali ed il conseguente numero medio di abitazioni per edificio (Tabella 30).

Tabella 30. Numero medio di abitazioni per edificio residenziale

	Abitazioni	Edifici residenziali	Abitazioni medie per edificio residenziale
Torino	448'678	36'158	12.4
Milano	643'053	42'980	15.0
Roma	1'259'649	137'021	9.2
Italia	31'208'161	12'187'698	2.6

A livello nazionale negli edifici residenziali ci sono in media 2.6 abitazioni; nelle città oggetto di analisi tale valore è decisamente maggiore: a Torino è 12.4, a Milano 15.0, a Roma 9.6.

Al fine di stabilire il numero di piani da adottare per ciascun edificio rappresentativo, sono stati inoltre considerati i dati della suddivisione degli edifici residenziali per numero di scale presenti in ciascun edificio, circoscrivendo l'analisi agli edifici con 4 o più piani fuori terra; i dati sono riportati in Tabella 31.

Tabella 31. Edifici residenziali con quattro e più piani, per numero di scale

	Nessuna scala	Una scala	Due o più scale	Totale
Torino	18	13'087	8'022	21'127
Milano	18	18'640	9'836	28'494
Roma	88	38'995	15'615	54'698
Italia	96'768	806'641	271'496	1'174'905

Il gruppo più rappresentativo sia a livello nazionale sia nella città oggetto di studio è quello degli edifici con una sola scala: gli edifici rappresentativi delle tre città saranno quindi caratterizzati da una sola scala.

Considerazioni inerenti alla progettazione secondo regola d'arte e inerenti alla composizione architettonica portano a considerare che una singola scala dia accesso ad un numero di unità immobiliari per piano compreso fra due e quattro (Tabella 32).

Tabella 32. Piani ed abitazioni adottate per l'edificio rappresentativo di ciascuna città

	Abitazioni medie per edificio residenziale	Piani adottati	Abitazioni per piano adottate	Abitazioni per edificio adottate
Torino	12.4	4	3	12
Milano	15.0	5	3	15
Roma	9.2	5	2	10

Per ciascuna città è stato scelto un numero di piani nell'intervallo 4÷6 piani ed un numero di abitazioni per piano nell'intervallo 2÷4 abitazioni che consentissero di minimizzare la differenza tra il numero di abitazioni dell'edificio rappresentativo ed il numero di abitazioni medie per edificio residenziale della città stessa. Come illustrato in Tabella 32, per l'edificio di Torino sono stati assunti 4 piani e 3 abitazioni a piano, per un totale di 12 abitazioni, per l'edificio di Milano 5 piani e 3 abitazioni per piano, per un totale di 15 abitazioni; per l'edificio di Roma 5 piani e 2 abitazioni per piano, per un totale di 10 abitazioni.

Dai dati del quindicesimo Censimento [47] è inoltre possibile filtrare i risultati relativi al numero di abitazioni in funzione della "classe di superficie", illustrate in Tabella 33. La classe di superficie più rappresentativa a livello nazionale è quella delle abitazioni con superficie compresa fra 80 m² e 99 m² che conta 6'081'472 abitazioni, pari al 25.2% del totale; nelle tre città prese in considerazione il gruppo più rappresentativo è quello con superficie compresa fra 60 m² e 79 m²: a Roma sono 319'390 abitazioni pari al 28.1%, a Milano sono 162'900 abitazioni pari al 26.9%, a Torino sono 125'099 abitazioni pari al 30.4%.

Tabella 33. Numero di abitazioni occupate da persone residenti, per classe di superficie

	<=29 [m ²]	30-39 [m ²]	40-49 [m ²]	50-59 [m ²]	60-79 [m ²]	80-99 [m ²]	100-119 [m ²]	120-149 [m ²]	>=150 [m ²]
Torino	0.3%	4.2%	10.7%	13.1%	30.4%	19.3%	9.3%	6.2%	6.5%
Milano	0.3%	4.9%	11.0%	13.3%	26.9%	18.8%	10.1%	7.5%	7.1%
Roma	0.2%	2.8%	6.3%	9.9%	28.1%	23.6%	13.1%	8.3%	7.7%
Italia	0.1%	1.9%	4.6%	6.7%	20.7%	25.2%	17.4%	12.0%	11.3%

8.1. Riepilogo delle caratteristiche geometriche

Le caratteristiche degli edifici rappresentativi delle tre città oggetto di studio possono essere così riassunte:

Torino

- l'edificio, privo di piano cantinato, presenta quattro piani fuori terra ed è dotato di un solo corpo scala, a servizio di tre unità immobiliari per piano;
- ciascuna unità immobiliare ha una superficie utile di 70 m^2 , intermedia fra i valori estremi che definiscono la classe di superficie $60 \div 79 \text{ m}^2$;
- il vano scala comprensivo accesso agli appartamenti ha un'area complessiva di 30 m^2 [48];
- la superficie lorda di piano è assunta pari a 1.2 volte la superficie netta, cioè 288 m^2 [48];
- l'edificio è profondo 12 m e di conseguenza la larghezza è pari a 24 m;
- l'altezza netta di piano è pari a 2.70 m, valore minimo dell'altezza interna dei locali d'abitazione stabilito con D.M. del 5 luglio 1975;
- lo spessore dei solai di piano è pari a 30 cm al finito e in tal modo l'interpiano risulta pari a 3 m;
- la copertura è inclinata;
- la superficie degli infissi è pari a $1/8$ della superficie di pavimento, valore minimo stabilito nell'articolo 5 del D.M. del 5 luglio 1975 in merito alla superficie finestrata apribile.

Milano

- l'edificio, privo di piano cantinato, presenta cinque piani fuori terra ed è dotato di un solo corpo scala, a servizio di tre unità immobiliari per piano;
- ciascuna unità immobiliare ha una superficie utile di 70 m^2 , intermedia fra i valori estremi che definiscono la classe di superficie $60 \div 79 \text{ m}^2$;
- il vano scala comprensivo accesso agli appartamenti ha un'area complessiva di 30 m^2 [48];
- la superficie lorda di piano è pari a 1.2 volte la superficie netta, cioè 288 m^2 [48];
- l'edificio è profondo 12 m e di conseguenza la larghezza è pari a 24 m;
- l'altezza netta di piano è pari a 2.70 m, valore minimo dell'altezza interna dei locali d'abitazione stabilito con D.M. del 5 luglio 1975;
- lo spessore dei solai di piano è pari a 30 cm al finito e in tal modo l'interpiano risulta pari a 3 m;
- la copertura è inclinata;
- la superficie degli infissi è pari a $1/8$ della superficie di pavimento, valore minimo stabilito nell'articolo 5 del D.M. del 5 luglio 1975 in merito alla superficie finestrata apribile.

Roma

- l'edificio, privo di piano cantinato, si sviluppa per cinque elevazioni ed è dotato di un solo corpo scala, a servizio di due unità immobiliari per piano;
- ciascuna unità immobiliare ha una superficie utile di 70 m^2 , intermedia fra i valori estremi che definiscono la classe di superficie $60 \div 79 \text{ m}^2$;
- il vano scala comprensivo accesso agli appartamenti ha un'area complessiva di 30 m^2 [48];
- la superficie lorda di piano è pari a circa 1.2 volte la superficie netta, cioè 200 m^2 [48];
- l'edificio è profondo 10 m e di conseguenza la larghezza è pari a 20 m;
- l'altezza netta di piano è pari a 2.70 m, valore minimo dell'altezza interna dei locali d'abitazione stabilito con D.M. del 5 luglio 1975;
- lo spessore dei solai di piano è pari a 30 cm al finito e in tal modo l'interpiano risulta pari a 3 m;
- la copertura è piana;
- la superficie degli infissi è pari a $1/8$ della superficie di pavimento, valore minimo stabilito nell'articolo 5 del D.M. del 5 luglio 1975 in merito alla superficie finestrata apribile.

8.2. Caratteristiche termofisiche degli elementi di involucro e tipologia impiantistica

Per gli edifici-tipo di tutte e tre le città la scelta strutturale ricade dunque su strutture intelaiate in calcestruzzo armato con tamponamenti, cioè la soluzione più diffusa nell'edilizia residenziale italiana a partire dal secondo dopoguerra.

Per definire le caratteristiche termiche delle chiusure esterne, si ipotizza che gli edifici di Torino e Milano siano stati costruiti nel periodo 1946-1960 e che l'edificio di Roma sia stato costruito nel decennio 1961-1970. In tutti i casi l'epoca di costruzione è quindi antecedente all'emanazione della Legge 373 del 1976; si ipotizza inoltre che nei decenni successivi alla costruzione, gli edifici siano stati sottoposti a interventi di manutenzione ma non di riqualificazione energetica.

Componenti di involucro: edifici di Torino e Milano

Gli edifici rappresentativi di Torino e di Milano sono situati nella stessa zona climatica sia secondo la classificazione di Köppen-Geiger (i.e., zona Cfa), sia secondo la suddivisione del territorio italiano in zone climatiche introdotta dal D.P.R. n. 412/1993 s.m.i. (i.e., zona E). L'appartenenza alla stessa zona climatica, la scelta dello stesso periodo di costruzione e l'adozione della stessa tipologia strutturale, ci hanno fatto scegliere gli stessi elementi di involucro per entrambi gli edifici. I dati termofisici dei componenti di involucro opaco sono stati ricavati dal rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014 [37] riporta un abaco di soluzioni costruttive diffuse nel patrimonio edilizio esistente, con alcune indicazioni circa la loro diffusione territoriale.

In particolare, le pareti di tamponamento adottate sono costituite da un blocco di laterizio intonacato da entrambi i lati, con la stratigrafia corrispondente ad una "muratura in laterizio semipieno – MPL03" spessa 29 cm, con una trasmittanza pari a $1.18 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Per la scelta dello spessore e della conseguente trasmittanza si è tenuto conto che da un'analisi dei dati contenuti nel catasto degli attestati energetici della Regione Piemonte [49], risulta che oltre il 70% della superficie utile di pavimento del parco edilizio residenziale costruito nel periodo 1946-1960, ha una trasmittanza termica delle pareti opache compresa tra 1.04 e $2.0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Le partizioni tra gli alloggi e tra questi ed il vano scala sono ipotizzate con una stratigrafia corrispondente ad una "muratura in laterizio semipieno – MPL03", spessa 20 cm, con uno strato di mattoni forati da 16 cm rivestito su ciascun paramento da 2 cm di intonaco. La trasmittanza termica corrispondente, calcolata considerando le resistenze termiche fornite dalla UNI/TR 11552, è pari a $1.59 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

I solai di piano ipotizzati sono in laterocemento ($h = 16 + 4 \text{ cm}$), ed è ipotizzata la stratigrafia corrispondente al "solaio in laterocemento – blocchi non collaboranti – SOL05".

La chiusura superiore del volume riscaldato è ipotizzata costituita un solaio latero cementizio sotto ambiente non riscaldato, corrispondente alla stratigrafia "solaio in laterocemento – blocchi non collaboranti – SOL04", con trasmittanza pari a $1.61 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ per flusso termico ascendente.

La chiusura orizzontale inferiore del piano terra è ipotizzata costituita da un solaio latero cementizio su ambiente non riscaldato, corrispondente alla stratigrafia "solaio in laterocemento – blocchi non collaboranti – SOL04", con trasmittanza pari a $1.45 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ per flusso termico discendente.

La copertura ipotizzata è una copertura inclinata in laterocemento, corrispondente alla stratigrafia "copertura inclinata (i.e., solaio in laterocemento) – CIN04", con trasmittanza pari a $1.79 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

I dati dei componenti d'involucro opaco sono riassunti in Tabella 34.

Tabella 34. Componenti d'involucro opaco, edifici rappresentativi di Torino e di Milano

Componente d'involucro opaco (codice da UNI/TR 11552)	Strato	s	ρ	c	λ	R	U	κ _i	Y _{ie}
		[cm]	[kg·m ⁻³]	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	[m ² ·K·W ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	[kJ·m ⁻² ·K ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tamponamento verso ambiente esterno (MLP03)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-	1.18	58.5	0.423
	Blocchi in laterizio	25	1000	1000	-	0.625			
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-			
Tamponamento verso ambiente non riscaldato (MLP03)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-	1.59	-	-
	Mattoni forati	16	800	1000	-	0.400			
	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-			
Solaio di piano (SOL05)	Pavimentazione interna (grès)	1.5	1700	1000	1.470	-	1.87 (flusso ascendente) 1.65 (flusso discendente) 1.77 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	2	2000	1000	1.400	-			
	Massetto in cls ordinario	2	1500	1000	1.060	-			
	Malta di cemento	2	2000	1000	-	0.330			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Laterizi e travetti	16	900	1000	-				
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-			
Chiusura orizzontale superiore e inferiore (SOL04)	Pavimentazione interna (grès)	1.5	1700	1000	1.470	-	1.61 (flusso ascendente) 1.45 (flusso discendente) 1.54 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	2	2000	1000	1.400	-			
	Massetto in cls alleggerito	6	900	1000	0.580	-			
	Malta di cemento	2	2000	1000	-	0.330			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Laterizi e travetti	16	900	1000	-				
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-			
Copertura inclinata (CIN04)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.7	-	1.79		
	Soletta	16	1800	1000	-	0330			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Malta	2	2000	1000	-				
	Tegole/coppi	2	2000	840	0.99	-			

Gli infissi sono ipotizzati composti da un telaio in legno tenero dello spessore 70 mm e da una lastra vetrata singola. In base ai dati riportati nel prospetto B.3 della norma UNI/TS 11300-1:2014 [50], la trasmittanza termica è $U = 4.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Tale scelta è coerente con l'analisi dei dati contenuti nel catasto degli attestati energetici della Regione Piemonte [49], da cui risulta che oltre il 50% del patrimonio edilizio, presente nel catasto degli attestati energetici, costruito nel periodo 1946-1960 ha una trasmittanza termica dell'involucro trasparente superiore a $3.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Componenti di involucro: edificio di Roma

Anche per l'edificio rappresentativo della città di Roma, i dati termofisici dei componenti di involucro opaco sono stati ricavati dal rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014 [37].

Le pareti di tamponamento adottate sono in laterizio a cassa vuota, intonacate da entrambi i lati, con la stratigrafia corrispondente ad una “muratura a cassa vuota in laterizio forato – MCV01” spessa 40 cm, con una trasmittanza pari a $1.10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Le partizioni tra gli alloggi e tra questi ed il vano scala sono ipotizzate con una stratigrafia corrispondente ad una “muratura in laterizio semipieno – MPL03”, spessa 20 cm, con uno strato di mattoni forati da 16 cm rivestito su ciascun paramento da 2 cm di intonaco. La trasmittanza termica corrispondente, calcolata considerando le resistenze termiche fornite dalla UNI/TR 11552, è pari a $1.39 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

I solai di piano ipotizzati sono in laterocemento ($h = 16 + 4 \text{ cm}$), ed è ipotizzata la stratigrafia corrispondente al “solaio in laterocemento – blocchi non collaboranti – SOL05”.

La chiusura orizzontale inferiore del piano terra è ipotizzata costituita da un solaio latero cementizio su ambiente non riscaldato, corrispondente alla stratigrafia “solaio in laterocemento – blocchi non collaboranti – SOL04”, con trasmittanza pari a $1.45 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ per flusso termico discendente.

La copertura ipotizzata è una copertura piana non praticabile in laterocemento, corrispondente alla stratigrafia “copertura piana non praticabile” (i.e., COP01), con trasmittanza pari a $1.74 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ per flusso termico ascendente.

I dati dei componenti d’involucro opaco sono riassunti in Tabella 35.

Tabella 35. Componenti d’involucro opaco, edificio rappresentativo di Roma

Componente d'involucro opaco (codice da UNI/TR 11552)	Strato	s	ρ	c	λ	R	U	κ _i	Y _{ie}
		[cm]	[kg·m ⁻³]	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	[m ² ·K·W ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	[kJ·m ⁻² ·K ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tamponamento verso ambiente Esterno (MCV01)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-	1.10	57.9	0.594
	Mattoni forati	8	800	1000	-	0.200			
	Intercapedine d'aria	16			-	0.180			
	Mattoni forati	12	1000	1000	-	0.310			
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-			
Tamponamento verso ambiente non riscaldato (MLP03)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-	1.59	-	-
	Mattoni forati	16	800	1000	-	0.400			
	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-			
Solaio di piano (SOL05)	Pavimentazione interna (grès)	1.5	1700	1000	1.470	-	1.87 (flusso ascendente) 1.65 (flusso discendente) 1.77 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	2	2000	1000	1.400	-			
	Massetto in cls ordinario	2	1500	1000	1.060	-			
	Malta di cemento	2	2000	1000	-	0.330			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				
	Laterizi e travetti	16	900	1000	-				
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-			
Chiusura orizzontale inferiore (SOL04)	Pavimentazione interna (grès)	1.5	1700	1000	1.470	-	1.61 (flusso ascendente) 1.45 (flusso discendente) 1.54 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	2	2000	1000	1.400	-			
	Massetto in cls alleggerito	6	900	1000	0.580	-			
	Malta di cemento	2	2000	1000	-	0.330			
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-				

	Laterizi e travetti	16	900	1000	-		
	Intonaco esterno	2	1800	1000	0.900	-	
Copertura piana non praticabile (COP04)	Intonaco interno	2	1400	1000	0.700	-	1.62 (flusso ascendente) 1.55 (flusso discendente) 1.65 (flusso orizzontale)
	Soletta (blocchi di laterizio + travetti in calcestruzzo)	16	900	1000	-	0.330	
	Calcestruzzo armato	4	2400	1000	-		
	Malta di cemento	2	2000	1000	-		
	Massetto in cls ordinario	2	2000	1000	1.060	-	
	Membrana impermeabilizzante bituminosa	1	1200	1000	0.170	-	

Gli infissi sono ipotizzati composti da un telaio in legno tenero (spessore 70 mm) e da una lastra vetrata singola. In base ai dati riportati nel prospetto B.3 della norma UNI/TS 11300-1:2014 [50], la trasmittanza termica è $U = 4.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tipologia impiantistica

Relativamente alla scelta dell'impianto di riscaldamento, sono stati presi in considerazione i dati del censimento ISTAT 2011 [47] e un'elaborazione di tali dati da parte del Centro Studi sull'Economia Immobiliare di Tecnoborsa-CSEI [51].

Sul territorio nazionale, il 91.4% delle abitazioni occupate da persone residenti hanno un impianto di riscaldamento. Di queste abitazioni, il 65.1 % è dotato di un impianto di riscaldamento autonomo, il 20.2% di un impianto centralizzato, il 13.5% di apparecchi singoli fissi che riscaldano alcune parti dell'abitazione e l'8.9% di apparecchi singoli fissi che riscaldano l'intera abitazione o la maggior parte di essa.

Nelle grandi città, tuttavia, la quota di abitazioni con la presenza di impianto centralizzato è molto alta: considerando le tre città oggetto di indagine, a Torino la quota è pari al 70.8%, a Milano è il 77.2%, a Roma il 46.5%; in tutte e tre le altre tipologie di riscaldamento, le tre città presentano valori al di sotto della media nazionale.

Per quanto riguarda il vettore energetico di alimentazione dell'impianto di riscaldamento, in Tabella 36 è riportato il numero di abitazioni con impianto di riscaldamento per tipo di combustibile.

Tabella 36. Abitazioni con impianto di riscaldamento, per vettore energetico¹²

	Metano, gas naturale	Gasolio	Gpl	Combustibile solido	Olio combustibile	Energia elettrica	Altro
Torino	322'972	20'277	2'700	3'092	885	9'966	44'808
Milano	507'124	75'051	3'539	2'903	957	19'188	10'273
Roma	964'324	100'431	20'793	22'816	1'873	69'577	10'350
Italia	17'515'114	1'262'217	1'178'754	3'642'629	34'802	1'328'695	540'122

Il 72.6% delle abitazioni italiane dotate di riscaldamento è alimentato a metano o gas naturale. Tale tipo di alimentazione è molto diffusa anche nelle tre città oggetto di approfondimento: a Torino il 78.5% delle abitazioni è alimentato a metano, a Milano l'83.9%, a Roma l'84.8%.

¹² Nella stessa abitazione possono essere presenti più vettori energetici

In seguito alle considerazioni sopra esposte, si è assunto che in tutte e tre le città l'edificio rappresentativo sia dotato di impianto centralizzato di riscaldamento alimentato a metano, con distribuzione a colonne montanti e corpi radianti quali terminali di emissione.

9. Tecnologie verdi di involucro: cosa sono, benefici, co-benefici e limiti

Le tecnologie verdi di involucro sono tecnologie basate sull'utilizzo di vegetazione che vengono applicate all'involucro edilizio. Le più note e più diffuse tecnologie verdi di involucro sono i tetti e le pareti verdi.

L'installazione delle tecnologie verdi di involucro può avere, come già precedentemente visto (Sezione 1), effetti su diverse scale. Tuttavia, gli effetti di tale installazione non si limitano ai soli consumi energetici degli edifici o a quelli sulla temperatura urbana, che comunque restano i più evidenti. I numerosi benefici legati all'installazione di tecnologie verdi per l'involucro sono stati ampiamente riconosciuti e per questo motivo numerose municipalità hanno introdotto le tecnologie verdi in piani locali. Ad esempio, Amsterdam, Paesi Bassi, ha istituito "l'agenda verde 2015-2018" che, tra gli obiettivi, si proponeva di raggiungere i 200'000 m² di tetti verdi entro la fine del 2018 [52]. Similmente, a Bari il programma pilota "ombre verdi" si propone di convertire 2'000 m² di solai piani di copertura in tetti verdi al fine di limitare le acque piovane di dilavamento e i consumi energetici degli edifici [53].

In questa sezione sono state analizzate le soluzioni verdi applicate all'ambiente urbano attraverso un approccio multi-scala al fine di identificare co-benefici e limiti alla loro applicazione in ambito urbano e sono state presentate alcune delle numerose esperienze relative all'adozione di soluzioni verdi d'involucro in diverse municipalità.

9.1. Tetti verdi

Gli effetti benefici dell'installazione di tetti verdi o tetti vegetati sono ben noti sin dall'antichità dato che discendono dall'architettura vernacolare. In Scandinavia, Turchia e Iran, le popolazioni utilizzavano l'erba come materiale edile dal costo nullo per coprire i tetti delle proprie abitazioni. Tuttavia, in Europa occidentale, il primo esempio di tetto verde fu presentato solo nel 1868 all'esposizione universale che si tenne a Parigi. Nel 1914, Frank Lloyd Wright progettò i *Midway Gardens* a Chicago coperti da un tetto verde. L'edificio fu demolito nel 1929. Walter Gropius progettò, invece, un edificio con tetto verde per uffici a Colonia per la Mostra della lega degli artigiani (i.e., *Werkbund Exhibition*). Durante il XX secolo, l'uso diffuso del calcestruzzo armato offrì l'opportunità di installare più diffusamente i tetti verdi, i quali divennero il segno distintivo dell'architettura di Le Corbusier.

L'attenzione nei confronti dei tetti verdi ha anche influenzato la terminologia a essi relativa arricchendola con nuovi termini e sinonimi come: *rooftop garden*, *eco-roof*, *brown roof*, e *vegetated roof*. Tali termini mostrano come, nel corso del tempo, i tetti verdi abbiano acquisito diversi significati in relazione ai cambiamenti sociali e culturali. Ad esempio, alcuni dei termini conati sottolineano più di altri la funzione ecologica (e.g., *eco-roof*), mentre altri ne sottolineano il ruolo aggregante (e.g., *rooftop garden*).

I tetti verdi a seconda di una varietà di fattori possono fornire: benefici termici, la riduzione del ruscellamento urbano dovuto alle acque piovane, la riduzione dell'inquinamento sonoro, valore estetico, il risanamento della biodiversità, un contributo nella mitigazione dell'isola di calore urbana, un aumento della vita utile della membrana protettiva dei solai di copertura [54], [55].

La Figura 90 mostra la stratigrafia tipica di un tetto verde. Tipicamente, un tetto verde è costituito, procedendo dall'alto verso il basso, da uno strato di vegetazione, un substrato di coltivazione, uno strato drenante opzionale, uno strato anti radici, uno strato di coibente termico e una membrana impermeabile [56], [57].

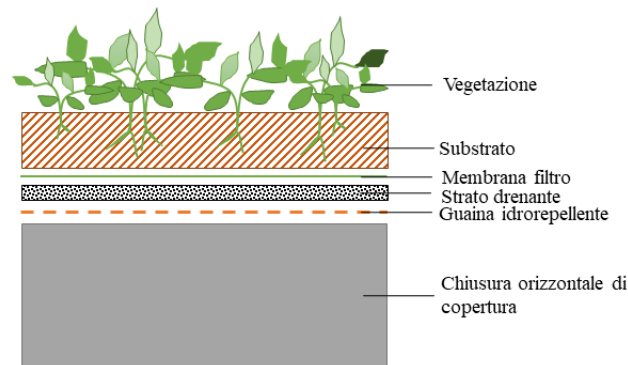


Figura 90. Stratigrafia tipica di un tetto verde

Generalmente il substrato di coltivazione è artificiale, ovvero è costituito da una miscela di materiali le cui caratteristiche sono pensate per la maggiore sopravvivenza e crescita della specifica vegetazione utilizzata per il tetto verde. La vegetazione utilizzata per il tetto verde è solitamente costituita da specie vegetali molto resistenti che necessitano di poca o di nessuna manutenzione [56].

A seconda dello spessore dello strato di vegetazione, i tetti verdi possono essere suddivisi in due macro categorie: tetti verdi estensivi e tetti verdi intensivi. I tetti verdi estensivi sono caratterizzati da un substrato dello spessore di 5÷15 cm. Poiché il loro peso è ridotto, i tetti verdi estensivi possono essere facilmente installati su coperture preesistenti ai fini di un risanamento energetico degli edifici [55]. Inoltre i tetti verdi estensivi sono meno costosi dei tetti intensivi [58]. I tetti verdi estensivi possono essere installati anche su chiusure orizzontali con una inclinazione maggiore di 30°. Tuttavia, in questo caso, la loro capacità di trattenere l'acqua verrebbe notevolmente ridotta. I tetti verdi estensivi non possono essere utilizzati per usi ricreativi in quanto non sono calpestabili a causa della loro scarsa resistenza. Tra i tetti verdi estensivi i tetti verdi modulari sono abbastanza comuni. Essi sono costituiti dagli stessi strati di cui sono costituiti gli altri tetti verdi ma sono montati su moduli che possono essere installati facilmente sui solai di copertura [57].

I tetti verdi intensivi sono invece caratterizzati da uno strato più spesso di terreno di coltura che può variare dai 15 cm a 1.2 m. I tetti verdi intensivi, chiamati anche tetti giardino o *roof garden*, non possono essere installati su solai di copertura preesistenti che non siano stati opportunamente progettati per sopportare i loro carichi [56]. Essi sono pensati per fornire spazi ricreativi ed esteticamente piacevoli all'interno dell'ambiente costruito. Generalmente i tetti verdi intensivi richiedono acqua per l'irrigazione e molta manutenzione al fine di mantenerli al meglio. Il substrato profondo permette la crescita di arbusti, piccoli alberi, piante e prato. Essi possono essere installati solo su solai perfettamente orizzontali o con una pendenza inferiore al 3%. I benefici forniti sono gli stessi ma di maggiore intensità rispetto ai tetti verdi estensivi [55].

Dati gli effetti positivi derivanti dall'installazione dei tetti verdi, alcune municipalità illuminate hanno emanato regolamenti comunali per promuoverne la diffusione. Ad esempio, nel 2009, la municipalità di Toronto ha emanato un regolamento denominato "*Green Roof Bylaw*" che prevede che una percentuale variabile tra il 20 e

il 60% dello spazio disponibile sui tetti degli edifici di nuova costruzione con superficie calpestabile lorda superiore ai 2000 m² debba essere riservata all'installazione di tetti verdi [59]. La città di Basilea, tra il 1996 e il 1997 e tra il 2005 e il 2006, ha promosso programmi per sovvenzionare investimenti per l'installazione di tetti verdi [60].

9.2. Pareti verdi

Così come i tetti verdi anche le pareti verdi hanno un'origine antica. I primi esempi di sistemi con verde verticale irrigato risalgono al 600 a.C. e sono i giardini pensili di Babilonia [61]. Nel 1938 il professor Stanley Hart White brevettò il primo prototipo di parete verde [62]. Tuttavia, le pareti verdi cominciarono a essere più conosciute sono cinquant'anni dopo, quando il botanico francese Patrick Blanc sviluppò e brevettò il suo *Mur Végétal* [63]. La maggiore notorietà delle pareti verdi a seguito del brevetto di Patrick Blanc deriva anche dalla collaborazione dello stesso con noti architetti quali, ad esempio, Herzog e de Meuron con i quali ha realizzato il progetto del *Pam Museum* di Miami [64], la cui realizzazione è del 2013.

Nel tempo il concetto di parete verde si è evoluto non solo in termini di nomenclatura (e.g., muri verdi, giardino verticale, verde verticale, *bio wall* e *vertical gardening*) ma anche in termini di struttura, passando da strutture semplici come muri con piante rampicanti e supporti come tralicci o sistemi reticolari, a sistemi più complessi con sistemi di irrigazione integrati o con substrati posizionati verticalmente a ridosso delle murature. Proprio il posizionamento del substrato di coltura definisce la discriminante tra *green façade* e *living wall* [65].

Le *green façade* hanno il substrato nel suolo e quindi posizionato orizzontalmente. Esse possono essere suddivise in due categorie, ovvero facciate verdi dirette e indirette. Quando la vegetazione aderisce direttamente sulla chiusura verticale, la *green façade* è detta diretta (Figura 91).

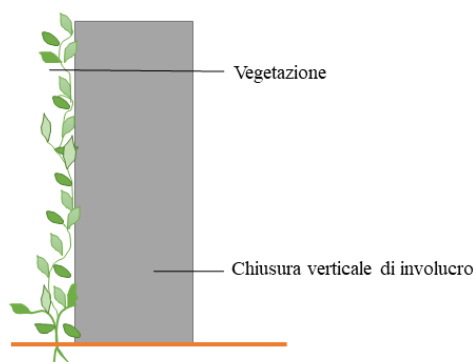


Figura 91. *Green façade* di tipo diretto

Invece, quando la vegetazione cresce su guide continue, trefoli, tralicci, cavi, reticolati posizionati davanti alla chiusura verticale, la *green façade* è detta indiretta (Figura 92).

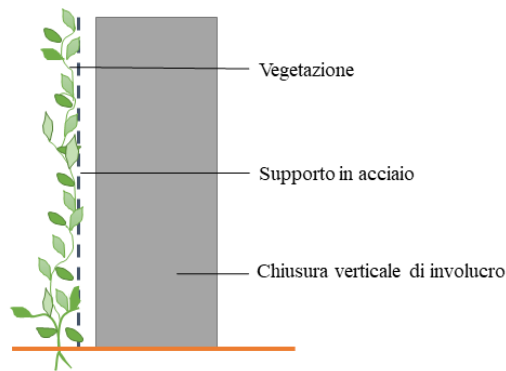


Figura 92. Green façade di tipo indiretto

I *living wall* sono invece caratterizzati da un supporto pre-vegetato che aderisce alla muratura e sul quale cresce la vegetazione (Figura 93) e un sistema di irrigazione che fornisce anche nutrimento alla vegetazione. Pertanto, nei *living wall* la vegetazione è integrata nella facciata stessa e per questo motivo la muratura sottostante deve essere protetta tramite l'utilizzo di una membrana idrorepellente [66].

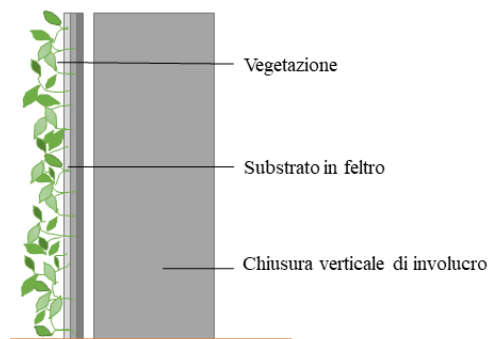


Figura 93. Living wall con substrato in feltro

Anche i *living wall* possono essere suddivisi in categorie: continui o modulati. I *living wall* continui sono costituiti da uno strato di tessuto, una membrana idrorepellente per proteggere la muratura sottostante, un supporto strutturale opzionale, e una griglia, anch'essa opzionale, per supportare meglio gli strati di tessuto in caso di forte vento. I *living wall* modulari sono costituiti da moduli che spesso sono realizzati in plastica, ma possono essere anche realizzati in metallo o in ceramica, del substrato, uno strato drenante, una membrana idrorepellente e una struttura di supporto [67]. Tra i più comuni sistemi continui e modulari di *living wall* ci sono quelli in cui il substrato di vegetazione è costituito da materassini in tessuto nei quali sono inserite specie vegetali alimentate mediante acqua opportunamente addizionata con nutrienti (i.e., coltura idroponica); sono inoltre diffusi anche *living wall* costituiti da elementi in plastica o metallo che hanno la forma di tasche con all'interno terreno di coltura nel quale crescono le specie vegetali [66].

Numerose municipalità in tutto il mondo hanno già pubblicato regolamenti urbani o adottato misure per sostenere l'integrazione di pareti verdi negli edifici. Ad esempio, la città di Sydney, sin dal 2014, ha cominciato una campagna di promozione dell'installazione di pareti verdi [68]. A Washington il "Green Area Ratio" stabilisce che tutti i nuovi edifici debbano includere elementi "verdi" tra cui anche pareti verdi [69]. A maggio del 2007, la

municipalità di Vancouver ha approvato il “*Passive Design Toolkits*” che tra gli altri elementi di design passivo include anche pareti verdi o *living wall* [70].

9.3. Soluzioni verdi: co-benefici, compromessi e limiti alla diffusione su vasta scala

Tra gli effetti positivi e che sono stati investigati durante la prima e la seconda annualità del PRT 2019-2021 di ricerca di sistema ci sono la riduzione della richiesta energetica degli edifici per riscaldamento e raffrescamento così come la mitigazione delle temperature urbane. Tuttavia, a parte questi benefici principali, i tetti e le pareti verdi possono fornire molti altri co-benefici.

Per esempio, tra i co-benefici, l’installazione di tetti e pareti verdi su scala urbana può influenzare positivamente il sistema urbano di drenaggio delle acque piovane superficiali [71]. Inoltre, l’installazione di tetti e pareti verdi fornisce un isolamento termico che riduce il bisogno di ricorrere a isolanti termici al fine di raggiungere gli standard di coibentazione termica imposti nei singoli Paesi. Poiché la maggior parte dei coibenti termici sul mercato sono petrolio-derivati, la riduzione nell’impiego degli stessi riduce, di conseguenza, la pressione antropica sull’ambiente. Inoltre, i tetti e le pareti verdi possono fornire all’involucro edilizio protezione dalle radiazioni solari smorzando le fluttuazioni termiche sulle stesse e prevenendo eccessivi *stress* termici che ne causerebbero il deterioramento, e pertanto, prolungandone la vita utile [66]. Ad esempio, l’installazione di un tetto verde può raddoppiare la vita utile della membrana idrorepellente che viene posta al disotto del tetto verde stesso, portandola da vent’anni a circa cinquant’anni [72]. Come conseguenza del prolungamento della vita utile di alcuni dei materiali da costruzione, tutti i costi relativi alla manutenzione e alla sostituzione così come gli impatti ambientali relativi alle fasi di manifattura, trasporto, e sostituzione diminuiscono.

Inoltre, ci sono anche co-benefici, definiti intangibili, relativi all’installazione di pareti e tetti verdi, come l’abbellimento che può essere difficilmente incluso quando vengono condotte analisi costi-benefici.

Nonostante gli innumerevoli benefici e co-benefici relativi all’installazione di tetti e pareti verdi, l’installazione su vasta scala degli stessi è tuttavia anche connessa ad alcune conseguenze indesiderate e ai relativi costi. Uno dei deterrenti principali all’installazione dei tetti verdi, specialmente nei climi molto caldi, è costituito dai costi; in particolare, i costi iniziali e i costi di gestione, ovvero i costi legati alla piantumazione delle specie verdi e i costi relativi all’innaffiamento [73]. Uno studio condotto da Carter e Keeler (2008) [58] ha mostrato che il valore attualizzato netto di un tetto verde estensivo è maggiore del 10-14% rispetto a tetto piano convenzionale. Uno studio condotto dalla Ryerson University ha mostrato che i costi di mantenimento di un tetto verde sono sei volte i costi di mantenimento di un solaio di copertura di tipo convenzionale [74].

I costi di una parete verde e i prezzi sono invece molto variabili in relazione alla tecnologia utilizzata. I prezzi di una parete verde diretta e indiretta sono stati stimati in 30-45 €/m² e 40-75€/m². Mentre il prezzo di un *living wall* può essere notevolmente più alto rispetto a quello di una parete verde variando tra 400 e 1200 €/m² [75].

10. Life Cycle Assessment e Life Cycle Inventory: confini del sistema, unità funzionali, input e output

Poiché lo studio relativo all'avanzamento metodologico della LCA si concentra sulla valutazione delle interazioni tra strategia di mitigazione dell'isola di calore urbana e il clima locale—un argomento largamente inesplorato nell'ambito della LCA applicata all'ambiente urbano—in questa sezione non verranno investigate né le chiusure verticali sulle quali le pareti verdi (i.e., *living wall* e *green façade*) vengono installate né i solai di copertura sui quali i tetti verdi vengono posti, in quanto questi sono invariati rispetto agli scenari di mitigazione che verranno esaminati durante la terza annualità di RdS. Al contrario, abbracciando un approccio multi-scala, in questa sezione verranno indagati gli aspetti che caratterizzano le tecnologie verdi e il loro effetto sia sull'edificio sia sull'ambiente urbano.

Nel seguito sono descritte le tecnologie verdi utilizzate per lo sviluppo degli scenari di mitigazione e pertanto indagate. Gli scenari di mitigazione sono stati pensati come scenari di *retrofit* urbano. Pertanto, non è stata considerata la potenziale installazione di tetti verdi intesivi—i quali richiederebbero la sostituzione dei solai di copertura che non sono pensati per sopportare tali carichi—bensì solo la potenziale installazione di tetti verdi estensivi. Inoltre, gli scenari di mitigazione sono stati sviluppati considerando le peculiari caratteristiche delle aree urbane delle tre città oggetto di studio: Torino, Roma e Milano. Ciò significa che non sempre sono stati considerati gli scenari di mitigazione che potessero determinare il maggiore risparmio energetico degli edifici e la maggiore mitigazione del microclima urbano; ma, gli scenari di mitigazione sono stati sviluppati considerando sia gli effetti potenzialmente migliori su energia e ambiente relativi all'installazione di strategie verdi sia le peculiari caratteristiche delle aree oggetto di studio (Sezione 7). Oltre all'installazione di tetti verdi estensivi, tra le tecnologie verdi di *retrofitting* degli edifici, gli scenari di mitigazione includono anche *green façade* indirette e *living wall* con substrato costituito da feltro.

Gli impatti ambientali relativi all'applicazione delle tre tecnologie verdi verranno calcolati in un'ottica di ciclo di vita durante la terza annualità. Per quel che riguarda l'analisi del ciclo di vita, che è stata impostata in questa sezione, sono state individuate le fasi significative che vanno dalla produzione, all'installazione, all'uso, fino al fine vita secondo quanto riportato nello standard CEN TC 350 (*"Sustainability of construction works"* [76] (Figura 94).

Fase: prodotto			Fase: processo di costruzione		Fase: Uso					Fase: fine vita				Benefici e carichi oltre i confini del sistema	
A1	A2	A3	A4		A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Fornitura del materiale grezzo	Trasporto	Manifattura	Trasporto	Costruzione - Installazione		Uso	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Rinnovo	Decostruzione e demolizione	Trasporto	Trattamento rifiuti	Smaltimento	Riuso – recupero – riciclo potenziale
					B6	Energia di funzionamento									
					B7	Acqua di funzionamento									

Figura 94. Fasi relative alla valutazione di sostenibilità dei lavori di costruzione. Immagine modificata da: [76]

Nella valutazione del ciclo di vita che verrà concluso durante la prossima annualità, l'intera strategia di mitigazione verrà considerata come unità funzionale. Invece, nell'input di inventario sono considerate solo le quantità di materiale relative ad una superficie pari a un metro quadrato sia per il tetto, sia per le pareti verdi. Tutte le quantità riportate come *input* per un metro quadrato verranno moltiplicate per il numero di metri quadrati effettivamente considerati nella strategia di mitigazione e incluse nella valutazione LCA degli scenari di mitigazione. Nella LCA verrà considerato un orizzonte temporale per la valutazione pari a cinquant'anni. La LCA che verrà condotta sarà di tipo comparativo, in particolare verranno confrontati gli impatti ambientali relativi ad uno scenario in cui viene applicata la strategia di mitigazione ed uno in cui la strategia di mitigazione non è applicata (i.e., scenario *baseline*).

L'inventario di LCA verrà condotto definendo tutti i flussi elementari in entrata e in uscita dall'unità funzionale durante l'orizzonte temporale definito (Figura 95).

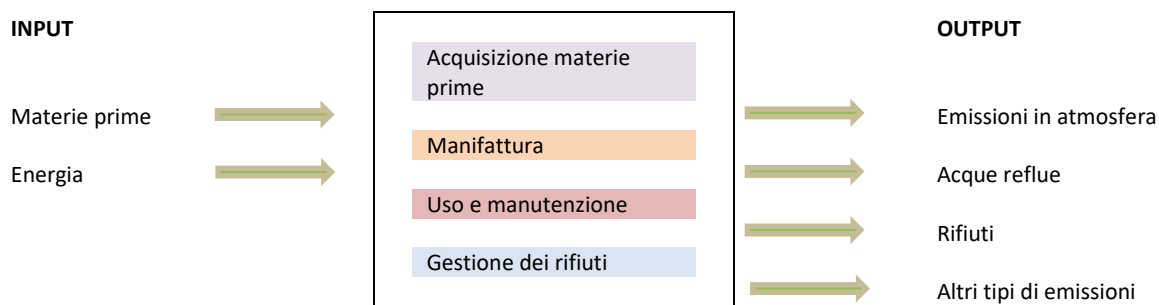


Figura 95. Schematizzazione dei dati di input e output in relazione ai confini del sistema considerati nel presente studio

Come flussi in entrata verranno considerate tutte le risorse necessarie all'unità funzionale per i cinquant'anni di orizzonte temporale e durante le fasi A1-C4. Come *output* verranno considerate non solo le emissioni e i rifiuti relativi all'unità funzionale durante le fasi A1-C4, ma anche le interazioni con l'ambiente che normalmente in una LCA "tradizionale" non vengono considerate (i.e., denominate in Figura 95 come "Altri tipi di emissioni").

10.1. Input e output

Per quel che riguarda gli *input* relativi alla fase prodotto (i.e., A1-3), le diverse sub-fasi relative alla produzione dei materiali (i.e., A1, A2 e A3) sono state aggregate. Per la fase A4, ovvero quella relativa al trasporto è stata individuata una distanza media, tale distanza è stata individuata ricercando sul mercato italiano le ditte produttrici di tetti e pareti verdi in Italia. Da tale indagine è risultato che molte di tali ditte si trovano nel Nord Italia, solo una minoranza molto esigua si trova al Sud. Pertanto, considerato tale distribuzione geografica, si è pensato di considerare una distanza media per il trasporto di tetti e pareti verdi (i.e., fase A4) pari a 700 km. Tale distanza include non solo il trasporto della tecnologia verde dal luogo di produzione fino al sito di installazione, ma anche il trasporto dal sito di produzione dei materiali fino al sito di produzione o assemblaggio della tecnologia verde, questo trasporto è da considerarsi molto più esiguo rispetto al trasporto fino al luogo di installazione della tecnologia verde, in quanto si assume che i materiali utilizzati siano prodotti nelle vicinanze del luogo di realizzazione della tecnologia verde.

La fase relativa all'utilizzo di pareti e tetti verdi (i.e., B) è quella di maggiore interesse perché è la fase in cui hanno luogo le interazioni tra tecnologie verdi oggetto di studio e il clima urbano, nonché la variazione di utilizzo di energia dovuto all'installazione di tetti e pareti verdi. Nella valutazione degli *input* per le fasi di uso B1-B3 e B5 è stato considerato l'utilizzo di materiali o risorse relative alla manutenzione del tetto verde e delle pareti verdi. La variazione della richiesta energetica degli edifici determinata dall'installazione delle tecnologie verdi (i.e., *input*), così come l'eventuale assorbimento di inquinanti da parte della vegetazione e il rilascio di ossigeno che verranno invece considerati nella fase di *output*. Alcuni di questi *output* verranno analizzati nel dettaglio durante la prossima annualità seguendo uno degli approcci sviluppati durante la prima annualità di ricerca di sistema e mostrati nella relativa pubblicazione scientifica (i.e., [77]).

Per la fase di fine vita (i.e., C) è stata considerata la decostruzione delle tecnologie verdi e il trasporto in discarica dei materiali così come lo smaltimento. In particolare, si assume che i materiali vengano trasportati per una distanza media di 60 km in discarica. Per la vegetazione, invece, è stato considerato il solo compostaggio come fine vita.

La fase D, ovvero il recupero o il riciclo dei materiali non è stato considerato perché è al di fuori dei confini del sistema.

10.2. Tetto verde estensivo

Per quel che riguarda il tetto verde estensivo, è stata considerata una stratigrafia tipica caratterizzata da un solaio piano o sub-orizzontale, una guaina impermeabilizzante idrorepellente, uno strato drenante dello spessore di 5 cm, una membrana filtro e anti-radici, un substrato costituito da terreno ingegnerizzato dello spessore di 10 cm e infine vegetazione (Figura 90). Il tipo di vegetazione considerata in questo studio è il *sedum* perché è la tipologia di pianta più comunemente utilizzata per popolare i tetti verdi estensivi in quanto è una pianta molto resistente e necessita di poca cura, manutenzione e irrigazione [78].

La Figura 96 mostra gli *input* e gli *output* considerati per il tetto verde estensivo e le fasi del ciclo di vita che verranno incluse nell'analisi di ciclo di vita.

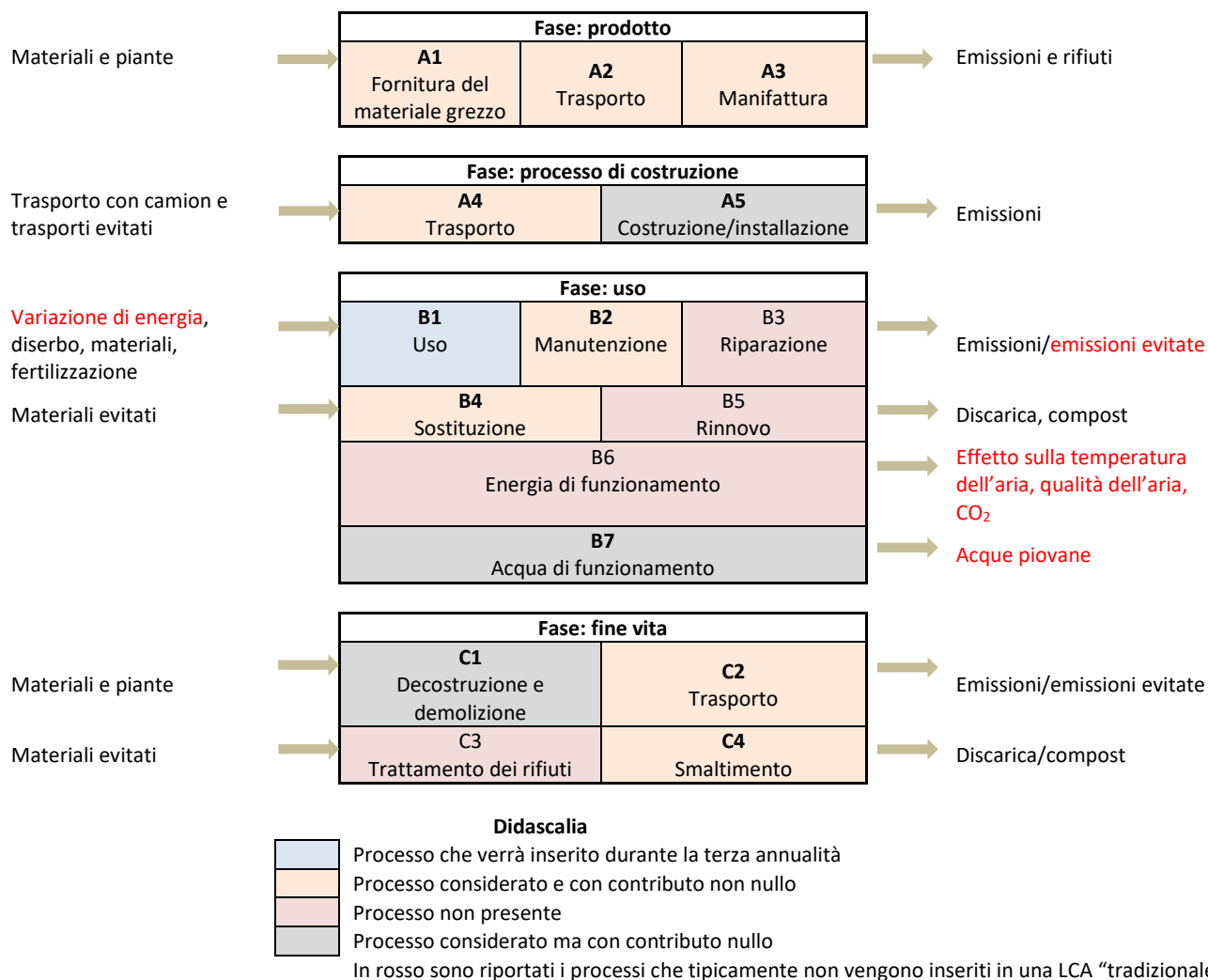


Figura 96. Confini del sistema, *input* e *output* relativi all'inventario di ciclo di vita del tetto verde estensivo

Fasi A1-A3: per la determinazione delle quantità di materiali che costituiscono il tetto verde e quindi relativi alle fasi A1-A3, si è fatto riferimento ad articolo scientifico di Susca et al. (2011) [79].

Tabella 37. Materiali e vita utile dei componenti costituenti un tetto verde estensivo. Dati modificati da: [79]

Tetto verde estensivo				
Componente	Materiale	Quantità (kg/m ²)	Vita utile (anni)	Disponibilità in SimaPro database
Vegetazione	Mix di <i>sedum</i>	5 ¹	25 ¹	no
Terreno ²	Pomice	48	³	sì
	Sabbia	24	³	sì
	Torba	6.5	³	sì
Membrana filtro	Polipropilene	0.16	50	sì
Strato drenante	Schiuma di polistirene in grani	1.5	50	sì
Guaina idrorepellente ⁴	Bitume	8	20	sì
¹ Dati rilevati da Brachet et al. (2019) [80] ² La composizione del terreno è una composizione tipica del terreno ingegnerizzato dei tetti verdi. Fonte: [81]. La composizione prevede 60% di pomice, 20% di sabbia e 20% di torba ³ Brachet et al. (2019) [80] riporta che in quarant'anni il 25% del terreno deve essere ripristinato a causa dell'erosione del vento. In modo proporzionale per un orizzonte temporale di 50 anni il 31.25% del terreno dovrà essere sostituito. Ciò equivale a 15 kg di pomice, 7.5 kg di sabbia e 2 kg di torba ⁴ Letteratura scientifica riporta che a seguito dell'azione protettiva del tetto verde, i materiali sottostanti hanno una vita utile maggiore. In particolare, Carter e Keeler (2008) [58] riporta che la vita della membrana idrorepellente aumenta del 200%. In questo studio non verranno riportati gli impatti della guaina idrorepellente perché non sono relativi al solaio sottostante. Tuttavia, l'incremento di vita utile della membrana idrorepellente che dà origine alla mancata sostituzione della stessa nell'orizzonte temporale prescelto (i.e., 50 anni) verrà considerato come danno evitato				

La Tabella 37 mostra tutti i dati disponibili nei *database* di SimaPro; i dati reperiti nei *database* sono da intendere “dalla culla al cancello”. È possibile osservare che in Tabella 37 è riportato che nelle banche dati del *software* SimaPro non è presente un processo specifico relativo al *sedum*. Per ovviare a tale carenza si farà riferimento a dati di letteratura oppure il processo “*sedum*” verrà approssimato ad un processo simile.

Fasi A4-A5: come precedentemente riportato, si assume una distanza di 700 km per il trasporto dei materiali dai luoghi di manifattura fino ai siti di realizzazione del tetto verde dal luogo e da qui fino ai siti dove i tetti verdi vengono installati. Inoltre, tra i trasporti verrà considerato il trasporto evitato della guaina bituminosa, che a seguito dell'installazione del tetto verde si prolunga per tutto l'orizzonte temporale evitandone la sostituzione dopo vent'anni. Per quel che riguarda le fasi di installazione (i.e., A5) e decostruzione (i.e., C1) gli impatti risultano essere tanto bassi (e.g., [82]–[84]) da poter essere considerati ininfluenti e pertanto omettibili.

Fasi B1-B7: nella fase B1, ovvero la fase d'uso, può essere considerata la variazione dell'uso di energia degli edifici relativa all'installazione dei tetti verdi. Durante la terza annualità si inserirà questa grandezza nella LCA a seguito della scelta dell'approccio LCA da applicare (vedi [77]).

Nella fase di manutenzione (i.e., B2) andrebbero considerate le operazioni di diserbo della vegetazione indesiderata o del *sedum* secco, di fertilizzazione, di sostituzione delle piante e di aggiunta del substrato di vegetazione. Tuttavia, le operazioni di diserbo e sostituzione delle piante vengono effettuate manualmente e pertanto non richiedono l'utilizzo di energia; di conseguenza, in accordo con altri studi (e.g., [83], [84]), verrà considerato un contributo nullo nella LCA. Similmente, non verrà considerata la fertilizzazione che è necessaria per tetti verdi intensivi, ma non lo è per tetti verdi estensivi [83]. A causa dell'erosione del vento e della sostituzione della vegetazione parte del substrato di vegetazione del tetto verde deve essere aggiunto periodicamente in modo da garantire la stessa quantità e lo stesso spessore di substrato. Brachet et al. (2019) [80] riporta che in quarant'anni il 25% del terreno deve essere ripristinato; nel presente studio abbiamo assunto

che, in modo proporzionale, per un orizzonte temporale di 50 anni il 31.25% del terreno dovrà essere sostituito. Ciò equivale a 15 kg di pomice, 7.5 kg di sabbia e 2 kg di torba. Le quantità di substrato riportate verranno spalmate durante i cinquant'anni con cadenza quinquennale e nelle seguenti quantità: 1.5 kg pomice, 0.75 kg di sabbia e 0.2 kg di torba.

Per la fase relativa alla riparazione (i.e., B3) del tetto verde non viene considerato nessun *input* per l'orizzonte temporale considerato.

Per la fase B4, ovvero la fase di sostituzione, sono stati considerati come risorse evitate che necessiterebbero di sostituzione nell'orizzonte temporale definito nello studio ma che, a seguito dell'installazione del tetto verde, hanno una vita utile maggiore; ovvero, la membrana bituminosa. Infatti Carter e Keeler (2008) [58] riportano che a seguito dell'installazione del tetto verde che riduce le oscillazioni termiche, la vita utile della membrana bituminosa si prolunga del 200%. Di conseguenza, le sostituzioni evitate della guaina bituminosa, così come il loro trasporto (i.e., A5), verranno inseriti nella LCA del tetto verde estensivo come impatti evitati. Tuttavia, un precedente lavoro di ricerca (i.e., [85]) ha mostrato che gli impatti relativi alla installazione della membrana bituminosa sono sufficientemente piccoli da poter essere considerati nulli. Inoltre, verrà considerata la sostituzione delle piante di *sedum*. Sulla base di letteratura internazionale pubblicata, abbiamo assunto la sostituzione delle piante di *sedum* per naturale mortalità in percentuale pari al 125% [80]. Ovvero, nei cinquant'anni la quantità di *sedum* sostituita ammonta a 6.25 kg.

Le fasi B5 e B6, ovvero la fase di rinnovo e quella relativa all'uso di energia di funzionamento, sono fasi che per il presente caso di studio non prevedono né l'uso di risorse né di energia; pertanto, non verranno considerate.

La fase B7, ovvero "acqua di funzionamento", viene considerata in questo studio, tuttavia letteratura pubblicata mostra che un tetto verde estensivo non necessita di essere innaffiato poiché la sola pioggia può risultare sufficiente, pertanto le risorse relative a questa fase sono assunte essere nulle.

Fasi C1-C4: la fase C1, ovvero la fase di decostruzione è una fase che è stata considerata nel LCI del tetto verde estensivo, tuttavia il suo contributo è nullo o assimilabile a zero così come indicato in letteratura scientifica (e.g., [80], [84], [85]).

Per il trasporto (i.e., C2) di materiali non pericolosi in discarica è stata considerata una distanza di 60 km. Nella fase di trasporto verranno considerati anche i trasporti evitati per la membrana bituminosa.

Non verrà considerata la fase di trattamento dei rifiuti (i.e., C3) poiché i rifiuti non sono pericolosi. Mentre per le piante di *sedum* verrà considerato il compostaggio come fine vita (i.e., C4).

Output: la Figura 96 mostra gli output per ciascuna delle fasi relative al ciclo di vita del tetto verde estensivo. Oltre agli *output* che ricorrono per molti prodotti come ad esempio le emissioni e i rifiuti, l'installazione di tetti verdi estensivi può: fornire benefici nella gestione delle acque piovane riducendo la probabilità di allagamento; avere un impatto sulla qualità dell'acqua e influenzare l'ecosistema acquatico e naturale; ridurre il bisogno di acque grigie; mitigare l'isola di calore urbana; migliorare la qualità dell'aria, ridurre la concentrazione di biossido di carbonio; migliorare l'estetica; ridurre l'inquinamento acustico; migliorare l'*habitat* urbano [86]. Inoltre, la variazione dell'albedo superficiale dovuta all'installazione dei tetti verdi può influenzare le forzanti radiative [79].

Gli effetti che i tetti verdi possono avere sull'ambiente urbano sono solo in parte quantificabili; per esempio, il beneficio estetico è difficilmente quantificabile e traducibile in un linguaggio comprensibile alle logiche di LCA. Mentre, tra gli effetti quantificabili alcuni, come per esempio l'effetto della variazione dell'albedo superficiale, sono stati già investigati in alcuni studi (e.g., [79], [87], [88]). Durante la terza annualità di ricerca di sistema verrà indicato quale degli *output* verrà investigato in modo approfondito per poter essere inserito nella LCA.

10.3. Facciata verde indiretta

Per quel che riguarda la facciata verde di tipo indiretto, è stata considerata una chiusura verticale—che non verrà considerata nell'analisi di ciclo di vita poiché non è inclusa nella strategia di mitigazione—su cui è ancorato un supporto in acciaio e da vegetazione che aderisce al supporto in acciaio (Figura 92). La vegetazione che verrà considerata sarà di tipo rampicante, in particolare, verrà considerata dell'*hedera helix*.

La Figura 97 mostra gli *input* e gli *output* considerati per la facciata verde indiretta e i confini del sistema, nonché le fasi che verranno incluse nella LCA del caso di studio che verrà condotto durante la terza annualità del progetto di ricerca.

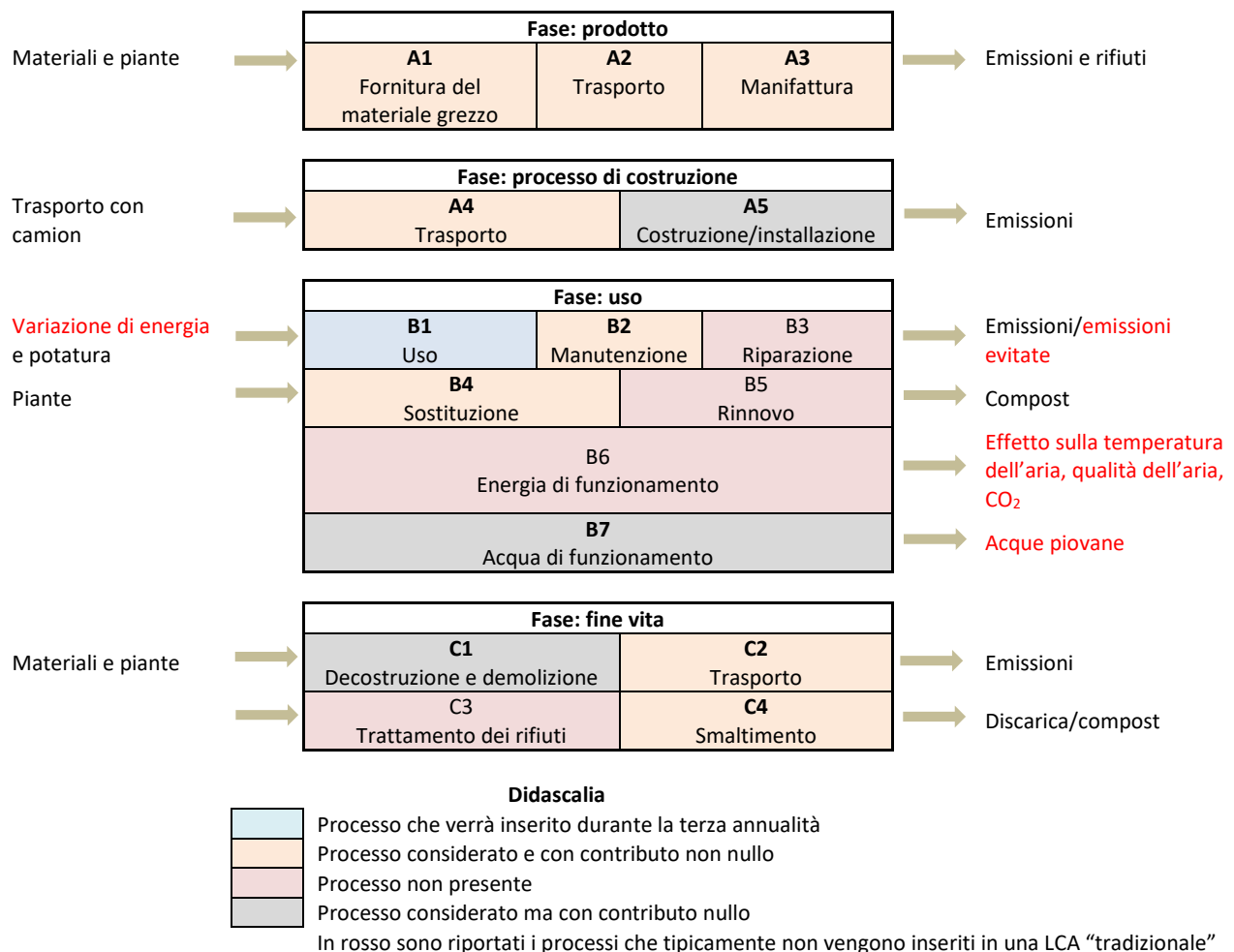


Figura 97. Confini del sistema, *input* e *output* relativi all'inventario di ciclo di vita della facciata verde indiretta

Fasi A1-A3: per la determinazione delle quantità di materiali che costituiscono la facciata verde indiretta che afferiscono alle fasi A1-A3, si è fatto riferimento ai dati forniti dallo studio di Ottel  et al. (2011) [89] e riportati in Tabella 38.

Tabella 38. Materiali e vita utile dei componenti costituenti una facciata verde indiretta. Dati modificati da: [89]

Facciata verde indiretta				
Componente	Materiale	Quantit� (kg/m ²)	Vita utile (anni)	Disponibilit� in SimaPro database
Vegetazione	<i>Hedera helix</i>	2.7	10 ¹	no
Griglia di supporto	Acciaio inossidabile	1.55	50	s�
Staffe distanziali	Acciaio inossidabile	0.045	50	s�
Bulloni	Acciaio inossidabile	0.015	50	s�

¹ Il dato circa la vita utile dell'edera   stato reperito da Oquendo-Di Cosola et al. (2020) [90]

La Tabella 38 mostra tutti i dati disponibile nelle banche dati di SimaPro e che sono da intendere “dalla culla al cancello”.   possibile osservare che nelle banche dati del *software* SimaPro non   presente un processo specifico relativo all'*hedera helix* (Tabella 38). Per ovviare a tale mancanza si ricorrer  a dati di letteratura oppure il processo “*hedera helix*” verr  approssimato ad un processo simile.

Fasi A4-A5: per il trasporto verr  considerata una distanza media di 700 km comprensivo del trasporto dal luogo di produzione dei materiali al luogo di realizzazione della parete verde e da qui fino al sito di installazione della stessa.

Per quel che riguarda le fasi di installazione (i.e., A5) e decostruzione (i.e., C1)   stata condotta un'indagine bibliografica che ha mostrato che le risorse e l'energia che vengono utilizzati per l'assemblaggio delle pareti verdi non vengono solitamente incluse nelle analisi di ciclo di vita (e.g., [89]). Ci  accade perch , in genere, le pareti verdi vengono assemblate facilmente e manualmente con l'ausilio di un ponteggio [91]. Pertanto il contributo che tali operazioni (i.e., A5 e C1) possono avere sugli impatti ambientali   talmente basso da poter essere considerato trascurabile [91].

Fasi B1-B7: nella fase B1, ovvero la fase d'uso, pu  essere considerata la variazione dell'uso di energia degli edifici relativa all'installazione dei tetti verdi che verr  indagata durante la terza annualit  di RdS.

Nella fase di manutenzione (i.e., B2) vanno considerate le operazioni di potatura della vegetazione e la sostituzione delle piante. Tuttavia, la potatura e la sostituzione delle piante vengono effettuate manualmente e pertanto non richiedono l'utilizzo di energia [91] e pertanto gli *input* relativi possono essere omessi.

Durante l'orizzonte temporale considerato non verr  effettuata nessuna sostituzione (i.e., B4)—pertanto gli *input* relativi a tale fase sono da considerare nulli—ad eccezione delle piante di edera, la cui vita utile   di vent'anni [91].

Durante l'orizzonte temporale di cinquant'anni non si prevede nessuna operazione di rinnovo (i.e., B5). Analogamente,   stato valutato che non vi   bisogno di energia di funzionamento (i.e., B6) per la facciata verde, essendo questa sprovvista di impianto di innaffiamento. Infatti, per la facciata verde indiretta non verr  considerata la fertilizzazione poich  le sostanze nutritive vengono fornite dall'acqua e dal terreno. Inoltre, non

verrà considerato l'utilizzo di acqua per l'innaffiatura (i.e., B7) basandoci sull'assunzione che l'edera verrà naturalmente irrigata o dalla pioggia o da acque di recupero [80].

Fasi C1-C4: la fase C1, ovvero la fase di decostruzione è una fase che è stata considerata nel *Life Cycle Inventory* (LCI) della parete verde indiretta, tuttavia il suo contributo è nullo o assimilabile a zero così come indicato in letteratura scientifica (e.g., [91]).

Per il trasporto (i.e., C2) di materiali non pericolosi in discarica è stata considerata una distanza di 60 km. Non verrà considerata la fase di trattamento dei rifiuti (i.e., C3) in quanto i rifiuti non sono pericolosi. Mentre per le piante di edera verrà considerato il compostaggio come fine vita (i.e., C4).

Output: la Figura 97 mostra gli *output* per ciascuna delle fasi relative al ciclo di vita della facciata verde indiretta. Oltre agli *output* che ricorrono per molti prodotti, come ad esempio le emissioni e i rifiuti, l'installazione di facciate verdi può avere effetti sia a livello di edificio sia a livello urbano. Le facciate verdi, a seconda dell'area climatica, possono influenzare i consumi energetici sia relativi al riscaldamento invernale, sia al raffrescamento estivo degli edifici. Tra i benefici forniti dalle facciate verdi e dal verde verticale in modo più generale, vi è la riduzione degli inquinanti atmosferici. In particolare, le tecnologie verdi di involucro assorbono la CO₂ dall'aria ed emettono ossigeno, possono rimuovere inquinanti dal suolo, abbattano il rumore ambientale, abbelliscono l'ambiente urbano con benefici sugli aspetti psicologici dei cittadini, possono contribuire a ripristinare la perdita di *habitat* naturale all'interno delle città, possono mitigare l'isola di calore urbana [92].

10.4. *Living wall idroponico*

Per quel che riguarda il *living wall*, è stata considerata una chiusura verticale di involucro, che non verrà considerata nell'analisi di ciclo di vita poiché non è inclusa nella strategia di mitigazione, su cui è stato installato un supporto in acciaio su cui sono posizionati tre strati di feltro che costituiscono il substrato di vegetazione che prevede l'installazione della pteropsida. Il *living wall* è anche dotato di un sistema di irrigazione che fornisce anche nutrienti alla vegetazione (Figura 93).

La Figura 98 mostra gli *input* considerati per il *living wall* e i confini del sistema, nonché le fasi che verranno incluse nella LCA del caso di studio che verrà condotto durante la terza annualità del progetto.

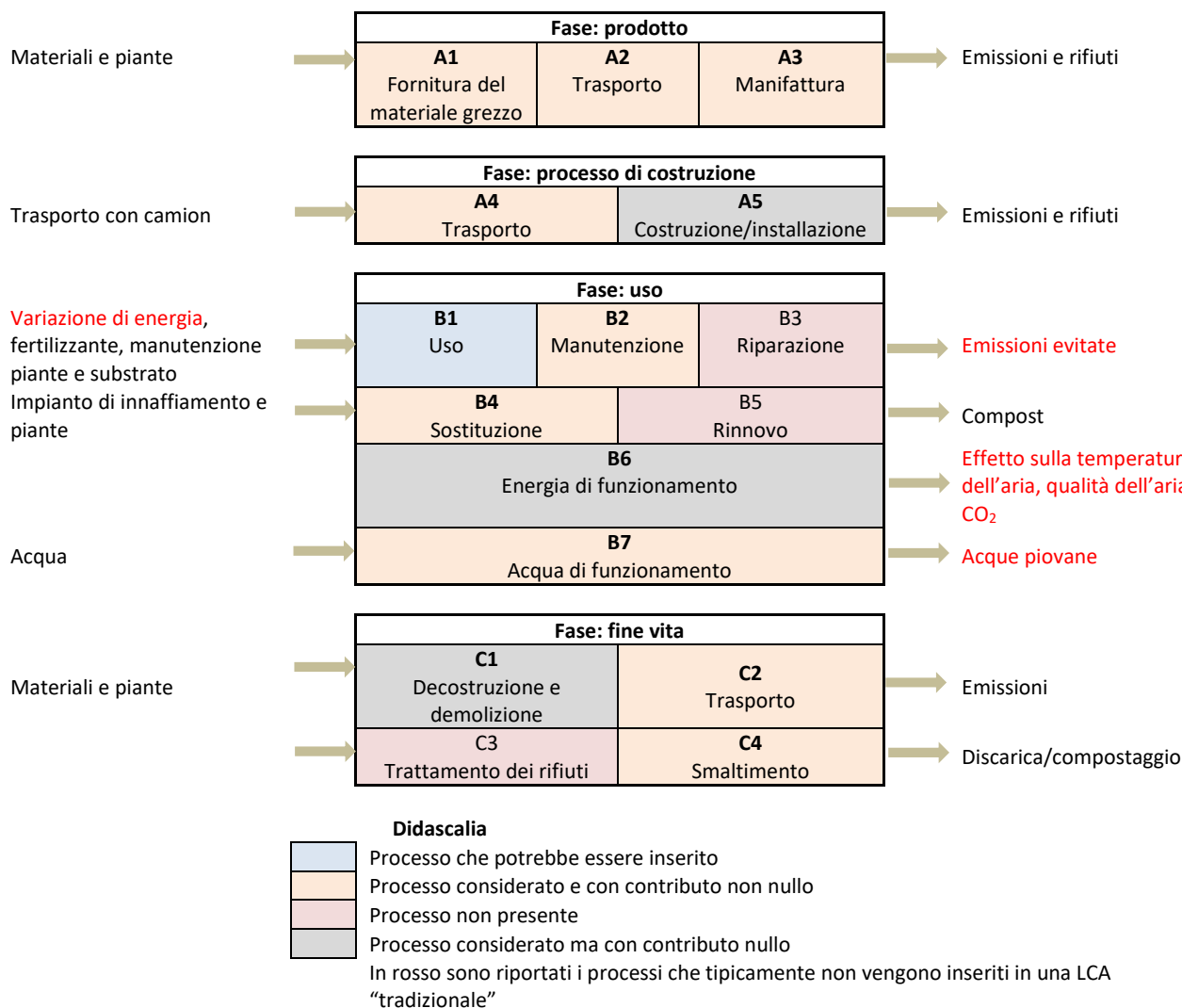


Figura 98. Confini del sistema, *input* e *output* relativi all'inventario di ciclo di vita del *living wall*

Fasi A1-A3: per la determinazione delle quantità di materiali che costituiscono il *living wall* (A1-A3), si è fatto riferimento principalmente ai dati forniti dallo studio di Ottelé et al. (2011) [89] che sono stati implementati per quel che riguarda l'uso del fertilizzante (Tabella 39).

Tabella 39. Materiali e vita utile dei componenti costituenti un *living wall*

<i>Living wall</i>				
Componente	Materiale	Quantità (kg/m²)	Vita utile (anni)	Disponibilità in SimaPro database
Bulloni	Acciaio	0.13	-	sì
Distanziatori	Acciaio	0.19	-	sì
Supporti con sezione a U	Acciaio	4.62	-	sì
Lastra di schiuma	PVC	7	-	sì
Feltro bianco (<i>white fleece</i>)	Polipropilene	0.3	10	sì
Feltro di lana (<i>wool fleece</i>)	Poliammide	0.6	10	sì
Strato in polietilene	Polietilene (LDPE)	0.045	10	sì
Feltro nero (<i>black fleece</i>)	Polipropilene	0.27	10	sì
Vegetazione	Pteropsida	7.5	3.5	no
Sistema di irrigazione	Polietilene (PE)	0.09	7.5	sì
Acqua	Acqua	1095	1	sì
Fertilizzante	Fertilizzante	0.017	1 ¹	sì
¹ [93]				

In Tabella 39 sono stati riportati tutti i materiali relativi al ciclo di vita di un *living wall* idroponico, così come i dati relativi alla loro vita utile, e l'eventuale presenza o assenza all'interno dei *database* di SimaPro. Si può notare come la specie vegetale scelta, ovvero la pteropsida, non sia presente nei *database*. Ai fini dell'esecuzione della LCA del *living wall*, per ovviare a tale mancanza si useranno dati di letteratura oppure si approssimerà il processo mancante ad un processo simile.

Fasi A4-A5: come precedentemente riportato per la fase di trasporto verrà considerata una distanza di 700 km comprensiva sia del trasporto dei materiali dai luoghi di produzione fino al sito in cui le ditte produttrici di *living wall* realizzano o assemblano le pareti stesse sia del trasporto fino al luogo di installazione.

Per quel che riguarda le fasi di installazione (i.e., A5) e decostruzione (i.e., C1) così come per le facciate verdi, anche l'installazione di *living wall* non richiede l'utilizzo di macchinari che richiedano l'utilizzo di energia, perché possono essere installati manualmente con il solo ausilio di un ponteggio [91]. Pertanto, il contributo che tali operazioni (i.e., A5 e C1) possono avere sugli impatti ambientali è talmente basso da poter essere considerato trascurabile.

Fasi B1-B7: nella fase B1, ovvero la fase d'uso, può essere considerata la variazione dell'uso di energia degli edifici relativa all'installazione della strategia di mitigazione dell'isola di calore urbana e nella fattispecie relativa all'installazione dei *living wall*. Durante la terza annualità si inserirà questa grandezza nella LCA a seguito dell'applicazione degli scenari di mitigazione scelti e dalla scelta dell'approccio LCA da applicare (vedi [77]).

Nella fase di manutenzione (i.e., B2) e sostituzione (i.e., B4) andrebbero considerate le operazioni di sostituzione della vegetazione così come la sostituzione degli strati di feltro al termine della loro vita utile. Tuttavia, entrambe le operazioni vengono effettuate manualmente senza l'ausilio di strumenti che richiedano un ingente quantitativo di energia e pertanto possono essere considerate trascurabili [90]. Durante l'orizzonte temporale prescelto dovrà essere considerata anche la sostituzione (i.e., B4) dell'impianto di irrigazione automatizzato integrato, la cui vita utile è stimata in 7.5 anni a causa della cristallizzazione dei sali [94]. Come in Ottelé et al. (2011) [89] i sistemi di controllo e il computer che gestisce l'impianto di innaffiamento non verranno considerati nella LCA del *living wall*.

Durante l'orizzonte temporale di cinquant'anni non si prevede nessuna operazione di riparazione (i.e., B3) e di rinnovo (i.e., B5).

Per quel che riguarda la fase B6 (i.e., "energia di funzionamento"), analogamente a quanto ipotizzato in altri studi (i.e., [94]) è stato valutato che il sistema automatico di innaffiamento utilizzi una quantità di energia così piccola da poter essere considerata trascurata e di conseguenza omettibile nella LCI.

Nella fase B7 (i.e., "acqua di funzionamento") verrà considerata l'acqua per l'innaffiamento del *living wall*. Un *living wall* con substrato in feltro necessita di 3 l/m² al giorno [94]. Dato che il *living wall* deve essere innaffiato regolarmente ogni giorno si considera che l'acqua utilizzata sia acqua potabile e non acqua di riciclo o acqua piovana.

Fasi C1-C4: per la fase relativa al fine vita (i.e., C) del *living wall* non verrà considerata energia per la decostruzione (i.e., C1) perché eseguita manualmente e senza l'impiego di strumentazione che richieda un ingente utilizzo di energia. Per il trasporto in discarica dei materiali (i.e., C2) verrà considerata una distanza media di 60 km. Mentre, non verrà considerato nessun trattamento dei rifiuti (i.e., C3) poiché non sono rifiuti pericolosi. Per tutti i materiali tranne la vegetazione verrà considerato lo smaltimento in discarica (i.e., C4), mentre per la vegetazione verrà considerato il compostaggio come fine vita.

Output: la Figura 98 mostra gli *output* per ciascuna delle fasi relative al ciclo di vita del *living wall*. Oltre agli *output* che ricorrono per molti prodotti, come ad esempio le emissioni e i rifiuti, l'installazione di *living wall* può avere effetti sia a livello di edificio che a livello urbano. I *living wall* possono influenzare i consumi energetici sia relativi al riscaldamento invernale, sia al raffrescamento estivo degli edifici. In particolare, il substrato e lo strato di vegetazione forniscono una resistenza termica ed evapotraspirazione che, in linea di massima, risultano benefici ai fini della diminuzione dei consumi energetici estivi e invernali. Pertanto, la riduzione dell'uso di energia per raffrescamento e riscaldamento figura tra gli *output* come emissioni evitate. Tra i benefici forniti dai *living wall* e dal verde verticale in modo più generale (vedi Sezione 9), vi è la riduzione degli inquinanti atmosferici. In particolare, le tecnologie verdi di involucro assorbono la CO₂ dall'aria ed emettono ossigeno, possono rimuovere inquinanti dal suolo, abbattano il rumore ambientale, abbelliscono l'ambiente urbano con benefici sugli aspetti psicologici dei cittadini, possono contribuire a ripristinare la perdita di *habitat* naturale all'interno delle città, possono mitigare l'isola di calore urbana [95]. Inoltre, alcuni *living wall* utilizzano acqua piovana che viene accumulata in contenitori. In questo modo i *living wall* possono influire positivamente sul sistema di smaltimento delle acque reflue urbane diminuendo la pressione ambientale durante gli eventi piovosi. Nel presente studio, tuttavia, non è stata considerata questa ipotesi poiché i *living wall* necessitano di un innaffiamento costante nel tempo che non può essere dipendente dagli eventi meteorologici.

11. Conclusioni

Attraverso l'estensione della revisione della letteratura pubblicata, il lavoro di ricerca condotto durante la seconda annualità del PTR 2019-2021 di RdS ha visto l'ampliamento delle conoscenze circa l'effetto dell'installazione di pareti verdi sia sui consumi energetici degli edifici, sia sul fenomeno micro-climatico dell'isola di calore urbana. Il primo risultato significativo relativo alla revisione della letteratura è che, nonostante negli ultimi anni l'interesse verso le tecnologie verdi d'involucro sia aumentato e con esso anche il numero di articoli scientifici pubblicati a tal riguardo, l'effetto dell'installazione di tali tecnologie rimane ancora inesplorato o perlomeno poco investigato rispetto ad alcune aree climatiche come, ad esempio, l'area climatica polare.

Inoltre, dalla revisione condotta è risultato che:

- gli articoli circa l'effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico per il raffrescamento durante la stagione calda sono riferibili alle aree climatiche Cfa, Cfb, Am, BWb, Csa, Csb, Dfa e Cwa;
- gli articoli relativi all'effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico degli edifici per il riscaldamento sono riferibili alle aree climatiche Cfb, Csa e Cwa.

I dati analizzati hanno mostrato che, indipendentemente dalla tipologia di parete verde, per tutte le zone climatiche l'installazione di una parete verde fornisce una riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio, sia per il riscaldamento che per il raffreddamento degli ambienti.

L'installazione di pareti verdi determina una variazione mediana del fabbisogno energetico di raffrescamento per le diverse zone climatiche compresa tra il -51% e il -0.7%. Nella zona climatica Csa, l'unica con dati sull'applicazione sia di *living wall* che di *green façade*, nonché una tra le due più diffuse sul territorio italiano, la realizzazione di *living wall* fornisce effetti maggiori rispetto alle *green façade*, ovvero -37% e -34%, rispettivamente.

L'impatto delle pareti verdi sul fabbisogno di riscaldamento degli ambienti è meno analizzato rispetto all'effetto dell'installazione di pareti verdi sul fabbisogno energetico degli edifici per il raffrescamento.

Il valore mediano di riduzione di fabbisogno per riscaldamento dovuto all'installazione di pareti verdi è compreso tra il 2% e il 16%, anche se in pochi casi è possibile riscontrare un aumento (e.g., in zona climatica Csa). Le *green façade* mostrano risultati migliori, con un valore mediano di riduzione di circa il 12% rispetto alla riduzione mediana del 6% relativa ai *living wall*, anche se il basso numero di dati (i.e., quattro) circa le *green façade* suggerisce la necessità di ulteriori indagini.

L'analisi dei dati ha mostrato che l'effetto dell'installazione di pareti verdi sul fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti dipende, tra l'altro, dal numero di facciate su cui è stata applicata la tecnologia verde e dal loro orientamento. Il numero di facciate di un edificio, disponibile per l'installazione di pareti verdi, può essere adottato come *proxy* delle diverse densità urbane. Ad esempio, contesti urbani in cui è disponibile una sola facciata per l'installazione di pareti verdi possono essere considerati densi e tipici di strutture urbane compatte perché gli edifici sono costruiti in continuità. Mentre i contesti urbani caratterizzati da un numero maggiore (e.g., tre o quattro) di facciate disponibili per l'installazione di verde verticale, sono più tipici di un ambiente urbano costituito da edifici mono o bifamiliari. Pertanto, dal numero di facciate che possono essere messe a verde e dal conseguente effetto sul fabbisogno energetico degli edifici si possono ricavare conclusioni sull'effetto dell'installazione di pareti verdi in diversi contesti urbani, che potrebbero supportare i responsabili

delle politiche urbane nella progettazione di politiche urbane efficienti per ridurre il fabbisogno energetico degli edifici e mitigare le UHI.

Sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento, abbiamo osservato che maggiore è il numero di pareti verdi installate, maggiore è la riduzione del fabbisogno energetico in tutte le zone climatiche. Le pareti verdi possono essere potenzialmente più efficaci nel ridurre l'energia di raffreddamento se applicate in contesti urbani meno densi. Se dislocati in contesti urbani più densi, i *living wall* sono più efficaci se rivolti a Sud, in tutte le zone climatiche ad eccezione della Cwa dove l'Ovest è l'orientamento più efficace. Per il fabbisogno di riscaldamento, l'impatto dell'aumento del numero di pareti verdi è più efficace nelle zone climatiche Cfb e Cwa rispetto a Csa.

Un altro importante risultato che è derivato dall'analisi dei casi di studio è relativo al fattore di scala; ovvero le meta-analisi condotte hanno mostrato che l'installazione di pareti verdi può comportare una maggiore variazione della temperatura dell'aria quando è estesa a intere porzioni di città piuttosto che alla scala del singolo edificio. In particolare, l'installazione di pareti verdi può ridurre la temperatura dell'aria diurna durante la stagione calda di 12 °C; mentre una singola parete verde può diminuire la temperatura dell'aria al massimo di circa 4 °C.

L'effetto delle pareti verdi dipende, tra l'altro, dalla geometria dell'area in cui le tecnologie verdi di involucro vengono applicate (e.g., *canyon* urbano o quartiere). La letteratura esaminata ha mostrato che le pareti verdi sono più efficaci nel mitigare la temperatura dell'aria nei *canyon* urbani quando questi sono costituiti da strade strette (e.g., 5 m) e edifici alti (e.g., 10 m) e che la capacità di mitigazione dell'aria è inversamente proporzionale alla larghezza del *canyon* urbano e direttamente proporzionale alla sua altezza.

Inoltre, abbiamo analizzato il potenziale effetto di mitigazione dell'installazione di pareti verdi nella stagione calda—la stagione durante la quale la UHI ha gli effetti più rilevanti sulla salute umana—sulle temperature dell'aria indagando l'installazione su scale diverse. Le meta-analisi condotte hanno mostrato che, in media, durante la stagione calda, l'installazione di una sola parete verde esercita un effetto di mitigazione della UHI esiguo. In modo significativo, le meta-analisi hanno mostrato che l'installazione di pareti verdi su scala più ampia, come il *canyon* urbano e l'isolato urbano, comporta un sostanziale effetto di mitigazione della UHI. In dettaglio, la realizzazione di pareti verdi su scala del *canyon* potrebbe ridurre la temperatura dell'aria di quasi 3 °C, in media; mentre, l'installazione di pareti verdi su scala di isolato può ridurre la temperatura dell'aria, durante la stagione calda, di circa 7 °C in media. Una tale diminuzione della temperatura urbana potrebbe uguagliare l'entità della UHI in alcune città; pertanto, l'installazione di pareti verdi, in alcuni casi, potrebbe risultare risolutiva per il fenomeno di isola di calore urbana.

Inoltre, lo studio della letteratura revisionata ha rivelato che durante le giornate invernali, in media, l'installazione di pareti verdi esercita una variazione della temperatura superficiale diurna dell'edificio su cui questa è installata compresa tra 0 e -8 °C. L'installazione di pareti verdi comporta invece, in media, nelle zone climatiche BSh, Cfb, Csa e Csb un aumento della temperatura superficiale durante le ore notturne con un beneficio per il *comfort indoor* e per i consumi energetici degli edifici. Mentre per Cfa e Cwa abbiamo riscontrato una diminuzione media della temperatura superficiale. In particolare, le meta-analisi hanno mostrato che a temperature estremamente fredde, l'installazione di *living wall* determina un aumento della temperatura superficiale rispetto a un muro spoglio. Mentre, quando le temperature dell'aria invernale sono miti, l'implementazione del *living wall* comporta un aumento della temperatura superficiale, mostrando, in questo

caso, un comportamento termico ottimale poiché agisce positivamente sulla temperatura dell'aria e sul consumo energetico dell'edificio. Inoltre, è risultato che i *living wall* possono fornire una maggiore diminuzione della temperatura superficiale rispetto alle *green façade* [96].

Gli effetti dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura superficiale degli edifici sono dovuti essenzialmente alla percentuale di copertura verde. Dalle meta-analisi effettuate, è risultata una dipendenza lineare tra la copertura della pianta (i.e., LAI) e la diminuzione della temperatura diurna superficiale nelle zone climatiche Cfb e Am durante la stagione calda. La stessa correlazione tra LAI e diminuzione della temperatura superficiale diurna si può trovare anche nella zona climatica Csa durante la stagione fredda.

I risultati delle meta-analisi condotte sono stati fondamentali non solo per avere una visione d'insieme circa gli effetti dell'installazione delle tecnologie verdi d'involucro sui consumi energetici degli edifici e sull'isola di calore urbana in diverse aree climatiche, ma anche per poter definire scenari di mitigazione dell'isola di calore urbana per tre città italiane.

Nello specifico, sono state selezionate tre città italiane, appartenenti a due aree climatiche diverse, che fossero colpite dalla maggiore isola di calore superficiale urbana diurna e notturna e che potessero trarre beneficio, in termini di effetti sulla salute umana, dalla mitigazione dell'isola di calore urbana. Tale selezione è avvenuta per mezzo di dati satellitari che sono stati esaminati per i giorni dal 18 giugno al 21 settembre 2010. Da tali analisi, le città selezionate sono risultate Torino, Roma e Milano. Delle tre città in questione, due ricadono nell'area climatica Cfa (i.e., Torino e Milano) e una nell'area climatica Csa (i.e., Roma).

Per ciascuna delle tre città sono state individuate le centraline meteorologiche che potessero fornire dati meteorologici quali temperatura dell'aria, umidità relativa e velocità e direzione del vento. Tra le aree urbane all'interno delle quali ricadono le centraline meteorologiche sono state scelte quelle che potessero essere più interessanti in termini di struttura urbana ai fini della mitigazione dell'isola di calore urbana. In particolare, per la città di Torino è stata selezionata un'area urbana in cui ricade la stazione meteorologica di via Beaulard 7, a Roma quella in cui ricade la stazione di via Lanciani 38 e a Milano quella in cui ricade la stazione meteorologica di viale Marche.

Durante la terza annualità del PTR 2019-2021 di RdS, a ciascuna delle aree urbane verranno applicati gli scenari di mitigazione dell'isola di calore urbana al fine di verificarne l'efficacia. Per ciascuna di queste aree urbane sono stati raccolti informazioni circa la morfologia, le caratteristiche termofisiche e ottiche dei materiali che costituiscono l'edificio e le infrastrutture urbane, nonché le caratteristiche del verde urbano. Tali informazioni sono state organizzate in tre abachi per ciascuna delle tre città. Mediante questi dati è stato possibile costruire per le tre aree urbane tre modelli in ENVI-met che sono stati poi testati per il giorno 23 giugno 2018 per un'ora di simulazione, ovvero dalle ore 13.00 alle ore 14.00, per verificarne il corretto funzionamento. I dati meteorologici forniti dalle centraline in ciascuna delle aree urbane selezionate verranno utilizzati durante la terza annualità di RdS.

Le tecnologie verdi di involucro sono state studiate in termini di benefici, co-benefici e limiti. Sono state selezionate, tra le varie possibili, tre soluzioni che potessero essere teoricamente applicate ai contesti urbani delle città selezionate. In particolare, sono stati selezionati un tetto verde di tipo estensivo, una *green façade* di tipo indiretto e un *living wall* idroponico.

Per mezzo delle informazioni desunte dalle meta-analisi effettuate, dello studio circa le tecnologie verdi d'involucro, e l'osservazione della struttura urbana delle tre aree selezionate, sono stati sviluppati per ciascuna area urbana tre scenari di mitigazione dell'isola di calore urbana. Gli scenari costituiranno la base per testare, durante la terza annualità di RdS, l'effetto dell'applicazione delle misure di mitigazione della UHI.

Inoltre, sono stati determinati dei giorni considerabili rappresentativi delle condizioni climatiche invernali, estive e relativi ad un'ondata di calore per le tre città. Nel dettaglio, le giornate tipiche per la stagione invernale che sono state selezionate per le tre città sono il 19 gennaio 2016 per Torino, il 14 dicembre 2016 per Milano e il 13 febbraio 2015 per Roma. Le giornate tipiche estive sono il: 27 luglio 2014 per Torino, 19 giugno 2015 per Milano e il primo di luglio 2015 per Roma. Per le giornate caratterizzate da un'ondata di calore, sono state selezionate le date del 7 luglio 2015 per Torino e Milano e 22 luglio 2015 per Roma.

Per ciascuna delle tre città selezionate, sulla base di dati ISTAT, sono stati tracciati i contorni degli edifici significativi per ciascuna delle tre città; ovvero sono state individuate le caratteristiche della tipologia di edificio maggiormente presente sul territorio comunale per ciascuna città. Ne sono derivati tre edifici-tipo per i quali sono stati definiti i pacchetti di chiusura sia orizzontali di copertura che verticali di confine e le relative caratteristiche termofisiche. Tali informazioni verranno utilizzate durante la terza annualità di RdS per determinare quali sono gli effetti sul consumo energetico degli edifici dovuti alla mitigazione dell'isola di calore urbana e all'applicazione delle tecnologie verdi di involucro agli stessi edifici tipo.

Durante la terza annualità di RdS verrà condotta un'analisi di ciclo di vita di una o più strategie di mitigazione della UHI includendo effetti e parametri che "tradizionalmente" vengono omessi in una LCA al fine di sopperire alle attuali carenze dell'applicazione della LCA a scale maggiori rispetto a quella del prodotto, come ad esempio la scala urbana. A tal fine, durante la presente annualità, sono stati determinati i confini del sistema, l'unità funzionale e, per ciascuna tecnologia verde d'involucro, sono stati definiti gli *input* e gli *output* rispettivamente relativi e risultanti dalla sua applicazione nel contesto urbano. È stato quindi definito un inventario di ciclo di vita per ciascuna tecnologia verde d'involucro, per ciascun materiale costituente il tetto o la parete verde sono state determinate la vita utile e le quantità necessarie per metro quadrato di superficie. Inoltre, è stata verificata la presenza di ciascun materiale all'interno dei *database* di SimaPro.

Parte del lavoro di ricerca condotto durante la seconda annualità di RdS è stato organizzato in forma di capitolo di libro. Quest'ultimo è stato accettato per la pubblicazione in un manuale scientifico dedicato all'istruzione terziaria (i.e., [2]) che verrà pubblicato nel corso del 2021. Le meta-analisi condotte e relative all'effetto delle pareti verdi sui consumi energetici degli edifici e sull'isola di calore urbana sono state organizzate in forma di articolo scientifico (i.e., [1]); tale articolo è al momento in revisione.

12. Riferimenti bibliografici

- [1] T. Susca, F. Zanghirella, L. Colasuonno, e V. Del Fatto, «Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: a climate-informed review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, In review.
- [2] T. Susca, «Nature-based-solutions applied to the built environment to alleviate climate change», in *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*, Springer Nature., Maximilian Lackner, Baharak Sajjadi, Wei-Yin Chen, In Press.
- [3] L. Bianco, V. Serra, F. Larcher, e M. Perino, «Thermal behaviour assessment of a novel vertical greenery module system: first results of a long-term monitoring campaign in an outdoor test cell», *Energy Effic.*, vol. 10, n. 3, pagg. 625–638, giu. 2017, doi: 10.1007/s12053-016-9473-4.
- [4] S. Yuan e D. Rim, «Cooling energy saving associated with exterior greenery systems for three US Department of Energy (DOE) standard reference buildings», *Build. Simul.*, vol. 11, n. 4, pagg. 625–631, ago. 2018, doi: 10.1007/s12273-018-0427-y.
- [5] K. C. Dahanayake e C. L. Chow, «Comparing reduction of building cooling load through green roofs and green walls by EnergyPlus simulations», *Build. Simul.*, vol. 11, n. 3, pagg. 421–434, giu. 2018, doi: 10.1007/s12273-017-0415-7.
- [6] J. A. Acero, E. J. Y. Koh, X. Li, L. A. Ruefenacht, G. Pignatta, e L. K. Norford, «Thermal impact of the orientation and height of vertical greenery on pedestrians in a tropical area», *Build. Simul.*, vol. 12, n. 6, pagg. 973–984, dic. 2019, doi: 10.1007/s12273-019-0537-1.
- [7] G. T. Johnson, T. R. Oke, T. J. Lyons, D. G. Steyn, I. D. Watson, e J. A. Voogt, «Simulation of surface urban heat islands under 'IDEAL' conditions at night part 1: Theory and tests against field data», *Bound.-Layer Meteorol.*, vol. 56, n. 3, pagg. 275–294, ago. 1991, doi: 10.1007/BF00120424.
- [8] H. E. Landsberg, *The Urban Climate*. Academic Press, 1981.
- [9] R. Djedjig, M. El Ganaoui, R. Belarbi, e R. Bennacer, «Thermal effects of an innovative green wall on building energy performance», *Mech. Ind.*, vol. 18, n. 1, pag. 104, 2017, doi: 10.1051/meca/2016015.
- [10] J. Coma, G. Pérez, A. de Gracia, S. Burés, M. Urrestarazu, e L. F. Cabeza, «Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades», *Build. Environ.*, vol. 111, pagg. 228–237, gen. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.11.014.
- [11] K. W. D. K. C. Dahanayake e C. L. Chow, «Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program», *Energy Build.*, vol. 138, pagg. 47–59, mar. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.002.
- [12] G. Vox, I. Blanco, e E. Schettini, «Green façades to control wall surface temperature in buildings», *Build. Environ.*, vol. 129, pagg. 154–166, feb. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.12.002.
- [13] J. S. Carlos, «Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal», *Build. Simul.*, vol. 8, n. 1, pagg. 3–11, feb. 2015, doi: 10.1007/s12273-014-0187-2.
- [14] M. P. de Jesus, R. M. Lourenco, R. M. Arce, e M. Marcias, «Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour - ScienceDirect», *Build. Environ.*, vol. 119, pagg. 11–19, 2017.
- [15] E. Alexandri e P. Jones, «Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates», *Build. Environ.*, vol. 43, n. 4, pagg. 480–493, apr. 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.055.
- [16] J. Li, B. Zheng, W. Shen, Y. Xiang, X. Chen, e Z. Qi, «Cooling and Energy-Saving Performance of Different Green Wall Design: A Simulation Study of a Block», *Energies*, vol. 12, n. 15, pag. 2912, gen. 2019, doi: 10.3390/en12152912.
- [17] M. Pinna, «Contributo alla classificazione del clima d'Italia», *Riv. Geogr. Ital.*, vol. 77, n. 2, pagg. 129–152, 1970.
- [18] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, e F. Rubel, «World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated», *Meteorol. Z.*, vol. 15, n. 3, pagg. 259–263, lug. 2006, doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

- [19] J. A. Voogt e T. R. Oke, «Thermal remote sensing of urban climates», *Remote Sens. Environ.*, vol. 86, n. 3, pagg. 370–384, ago. 2003, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
- [20] NASA, «Earthdata». <https://earthdata.nasa.gov/> (consultato dic. 22, 2020).
- [21] NASA, «Earthdata MOD11A2 v006», 2020. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006/> (consultato dic. 22, 2020).
- [22] Disegno di legge N. 2259, «Legislatura 16^a - Disegno di legge N. 2259», 2010. http://www.senato.it/japp/bgt/showdoc/frame.jsp?tipodoc=Ddlpres&leg=16&id=00492235&part=doc_dc-articolato_ddl-capo_cvnimdpd-art_a20ddpc&parse=no (consultato gen. 11, 2021).
- [23] LEGGE n. 991, «Gazzetta Ufficiale», 1952. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1952/07/31/052U0991/sg> (consultato gen. 11, 2021).
- [24] ISPRA, «Corine Land Cover», *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/copertura-del-suolo/corine-land-cover> (consultato dic. 22, 2020).
- [25] «Torino Ovest Stazione Meteo Amatoriale». <http://www.torinovevst.org/infos.php>.
- [26] «Dati archivio stazione Torino Ovest». <https://www.awekas.at/it/archiv.php?id=8986>.
- [27] «Centralina di Roma - Via Lanciani n. 38». <http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo/D5.asp>.
- [28] «Centralina di Roma - Via Lanciani n. 38 - DATI». http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo/D5_ca.asp?Date=11%2F02%2F2018.
- [29] «Stazione di rilevamento Milano Marche». <https://www.arpalombardia.it/Pages/Aria/Dettaglio-Stazione.aspx?idStaz=501>.
- [30] «Arpa Lombardia - Meteorologia - Richiesta Dati Misurati». <https://www.arpalombardia.it/Pages/Meteorologia/Richiesta-dati-misurati.aspx#>.
- [31] UNI 10349-1, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata*. 2016.
- [32] Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia SSR Regione Lazio, curatori, «Ondate di calore ed effetti sulla salute. Estate 2015. Sintesi dei risultati». 2015, [Online]. Disponibile su: http://www.ccm-network.it/imgs/C_27_MAIN_page_1046_listaFile_List11_itemName_5_file.pdf.
- [33] Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Dipartimento di Epidemiologia SSR Regione Lazio, curatori, «Risultati dei Sistemi di allarme (HHWWS) e del Sistema di Sorveglianza della Mortalità Giornaliera (SiSMG) e degli accessi in pronto soccorso (15 maggio-15 settembre 2018). Sintesi dei risultati». 2018, [Online]. Disponibile su: http://www.ccm-network.it/imgs/C_27_MAIN_page_1055_listaFile_List11_itemName_0_file.pdf.
- [34] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, «Geoportale nazionale», 2003. http://www.pcn.minambiente.it/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=m_amte%3A299FN3%3A24d2c4ab-0036-4be0-c803-f1eded63c3fb.
- [35] OpenStreetMap e contributors, «Open Street Map». <https://www.openstreetmap.org/>.
- [36] Resene, «Cool Colours | Colour Swatches | Resene Paints». <https://www.resene.co.nz/swatches/search.php?tofind=CoolColour+colours&submit3=List+colours&type=cool&page=> (consultato dic. 18, 2020).
- [37] UNI/TR 11552:2014, «Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici. Parametri termofisici». UNI, ott. 2014.
- [38] F. Cumo, F. Giustini, e E. Pennacchia, «Stato dell'arte di soluzioni tecnologiche di involucro edilizio esistenti come base per interventi di Deep Renovation del patrimonio immobiliare nel settore abitativo», ENEA, Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR2019/, dic. 2019.
- [39] SIT Comune di Milano, «Patrimonio del Verde», *Patrimonio del Verde*. <https://geoportale.comune.milano.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=3fbc3dc3d3e6449918f73a3840d519798> (consultato dic. 22, 2020).

- [40] Geoportale, «Geoportale Comune di Torino». <http://geoportale.comune.torino.it/geocatalogocoto/?sezione=mappa> (consultato dic. 22, 2020).
- [41] Roma Open Data, «Dati alberature distinti per Municipio Roma Capitale | Open Data | Roma Capitale». https://dati.comune.roma.it/cms/it/dettaglio_ambiente.page?contentId=DTS5749 (consultato dic. 22, 2020).
- [42] QGIS, «QGIS». <https://www.qgis.org/it/site/>.
- [43] ENVI_MET, «ENVI_MET», *Microclimate Simulations | ENVI_MET*, 2019. <https://www.envi-met.com/intro/> (consultato gen. 21, 2019).
- [44] «OpenTopography». <https://opentopography.org/>.
- [45] «ENVI-met output files». <https://envi-met.info/doku.php?id=filereference:output:start> (consultato feb. 02, 2021).
- [46] Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali Arpa Piemonte, A c. di, «Analisi di vulnerabilità climatica della Città di Torino». Comune di Torino, mar. 2020, Consultato: nov. 02, 2020. [Online]. Disponibile su: http://www.comune.torino.it/torinosostenibile/documenti/200806_analisi_vulnerabilita_climatica.pdf.
- [47] ISTAT, «Statistiche Istat», 2011. <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx> (consultato gen. 12, 2021).
- [48] F. Baldi, E. Genova, A. Gugliandolo, e M. A. Segreto, «Simulazione in regime dinamico di edifici rappresentativi del parco edilizio italiano», ENEA, Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR2019/, dic. 2019.
- [49] V. Corrado e I. Ballarini, *L'avanzamento della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio residenziale regionale (Regione Piemonte, IT). Report Nazionale. Seconda Edizione*. Torino: Politecnico di Torino, 2015.
- [50] UNI/TS 11300-1:2014, «Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale». UNI, 2014.
- [51] Centro Studi sull'Economia Immobiliare - CSEI Tecnoborsa, A c. di, «Una lettura del 15° censimento generale della popolazione e delle abitazioni». TECNOBORSA S.C.p.A., apr. 15, 2015, Consultato: nov. 02, 2020. [Online]. Disponibile su: https://www.tecnoborsa.com/Media/Default/doc_indagine/Tecnoborsa_Censimento-15.pdf.
- [52] Gemeente Amsterdam, «Agenda Groen 2015-2018». 2015, [Online]. Disponibile su: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwib5fLmwc7pAhUdSxUIHQA_CN8QFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.bondvanvolkstuijnders.nl%2Fbestanden%2Fconcept_agenda_groen_vrijgegeven_b_w_9_april_2015.pdf&usq=AOvVaw1BzVW_rA6rZCkoQ3zyM5Ro.
- [53] Naturvation, «Urban Nature Atlas», 2017. <https://naturvation.eu/nbs/bari/shagree-project-green-roofs>.
- [54] T. Susca, «Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate», *Build. Environ.*, vol. 162, pag. 106273, set. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106273.
- [55] K. Vijayaraghavan, «Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, pagg. 740–752, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.
- [56] Environmental Protection Agency, «Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Green Roofs». EPA, 2008, [Online]. Disponibile su: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi5y6-fqaLrAhXRDuwKHY4hBYEQFjAOegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fapo.org.au%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fresource-files%2F2008-10%2Fapo-nid181566_34.pdf&usq=AOvVaw321PwBEqpNin6bwxLU8t-j.
- [57] E. Oberndorfer *et al.*, «Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services», *BioScience*, vol. 57, n. 10, pagg. 823–833, 2007, doi: <https://doi.org/10.1641/B571005>.

- [58] T. Carter e A. Keeler, «Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems», *J. Environ. Manage.*, vol. 87, n. 3, pagg. 350–363, mag. 2008, doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.024.
- [59] Toronto Municipal code, *Green roofs*. 2017.
- [60] Climate ADAPT, «Green roofs in Basel, Switzerland: combining mitigation and adaptation measures», *Climate ADAPT*, 2020. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1> (consultato ago. 21, 2020).
- [61] D. Larson, U. Matthes, P. E. Kelly, J. Lundholm, e J. Gerrath, *The Urban Cliff Revolution: New Findings on the Origins and Evolution of Human Habitats*. Fitzhenry & Whiteside, 2004.
- [62] R. L. Hindle, «A vertical garden: origins of the Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938)», *Stud. Hist. Gard. Des. Landsc.*, vol. 32, n. 2, pagg. 99–110, giu. 2012, doi: 10.1080/14601176.2011.653535.
- [63] M. Gandy, «The Ecological Facades of Patrick Blanc», *Archit. Des.*, vol. 80, n. 3, pagg. 28–33, mag. 2010, doi: 10.1002/ad.1071.
- [64] P. Blanc, «Vertical gardens: the new challenges», in *Green Cities in the World*, WGIN, 2014, pag. 358.
- [65] T. Safikhani, A. M. Abdullah, D. R. Ossen, e M. Baharvand, «A review of energy characteristic of vertical greenery systems», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pagg. 450–462, dic. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.166.
- [66] I. Susorova, «Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads», in *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs*, F. Pacheco-Torgal, J. A. Labrincha, L. F. Cabeza, e C.-G. Granqvist, A c. di Oxford: Woodhead Publishing, 2015, pagg. 127–153.
- [67] A. B. Besir e E. Cuce, «Green roofs and facades: A comprehensive review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pagg. 915–939, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.106.
- [68] City of Sydney Council, *Green Roofs and Walls Policy*. 2014.
- [69] Department of Energy and Environment, «Green Area Ratio», 2017. <https://doee.dc.gov/node/619622> (consultato ago. 22, 2020).
- [70] City of Vancouver, *Passive design: demountable green walls*. 2011.
- [71] J. Liu *et al.*, «Assessing the mitigation of greenhouse gas emissions from a green infrastructure-based urban drainage system», *Appl. Energy*, vol. 278, pag. 115686, nov. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115686.
- [72] S. W. Tsang e C. Y. Jim, «Game-Theory Approach for Resident Coalitions to Allocate Green-Roof Benefits», *Environ. Plan. A*, feb. 2011, doi: 10.1068/a43230.
- [73] J. Sproul, M. P. Wan, B. H. Mandel, e A. H. Rosenfeld, «Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States», *Energy Build.*, vol. 71, pagg. 20–27, mar. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.058.
- [74] Ryerson University, «Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto». 2005, [Online]. Disponibile su: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.165.9334&rep=rep1&type=pdf>.
- [75] K. Perini, M. Ottelé, E. M. Haas, e R. Raiteri, «Greening the building envelope, facade greening and living wall systems», *Open J. Ecol.*, vol. 1, n. 1, pagg. 1–8, 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2011.11001>.
- [76] European Committee for Standardization, «CEN/TC 350». 2018, Consultato: ott. 14, 2020. [Online]. Disponibile su: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0::::FSP_ORG_ID:481830&cs=181BD0E0E925FA84EC4B8BCCC284577F8.
- [77] T. Susca e F. Pomponi, «Heat island effects in urban life cycle assessment: Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCAfor effective policy making», *J. Ind. Ecol.*, pagg. 1–14, 2019, doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12980>.

- [78] A. Nagase e N. Dunnett, «Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure», *Landsc. Urban Plan.*, vol. 104, n. 3, pagg. 356–363, mar. 2012, doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.11.001.
- [79] T. Susca, S. R. Gaffin, e G. R. Dell’Osso, «Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs», *Environ. Pollut.*, vol. 159, n. 8, pagg. 2119–2126, ago. 2011, doi: 10.1016/j.envpol.2011.03.007.
- [80] A. Brachet, N. Schiopu, e P. Clergeau, «Biodiversity impact assessment of building’s roofs based on Life Cycle Assessment methods», *Build. Environ.*, vol. 158, pagg. 133–144, lug. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.04.014.
- [81] E. England, B. Morgan, L. Usrey, M. Greiner, e C. Bleckmann, «Vegetated roofing technology: an evaluation», presentato al 4th International Life Cycle Assessment and Life Cycle Management Conference, lug. 2004.
- [82] S. Saiz, C. Kennedy, B. Bass, e K. Pressnail, «Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 40, n. 13, pagg. 4312–4316, lug. 2006, doi: 10.1021/es0517522.
- [83] G. Peri, M. Traverso, M. Finkbeiner, e G. Rizzo, «Embedding “substrate” in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site», *J. Clean. Prod.*, vol. 35, pagg. 274–287, nov. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.05.038.
- [84] P. Vacek, K. Struhala, e L. Matějka, «Life-cycle study on semi intensive green roofs», *J. Clean. Prod.*, vol. 154, pagg. 203–213, giu. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.188.
- [85] TEGNOS Research, «Life Cycle Inventory and Assessment of Selected Low Slope Roofing Systems in North America». 2010, Consultato: ott. 29, 2020. [Online]. Disponibile su: https://epdmroofs.org/wp-content/uploads/2018/04/2010_05_30_lifecycleinventoryassessmentofselectedlowsloperoofingsystemsinnorthamerica.pdf.
- [86] Center for Neighborhood Technology, «The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits». 2011, Consultato: nov. 01, 2020. [Online]. Disponibile su: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjfyjh7-HsAhVPqaQKHWdIAvMQFjAAegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.cnt.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpublications%2FCNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf&usg=AOvVaw0_gEa2LKp_AVIERX76q4G.
- [87] T. Susca, «Enhancement of life cycle assessment (LCA) methodology to include the effect of surface albedo on climate change: Comparing black and white roofs», *Environ. Pollut.*, vol. 163, pagg. 48–54, apr. 2012, doi: 10.1016/j.envpol.2011.12.019.
- [88] T. Susca, «Multiscale Approach to Life Cycle Assessment», *J. Ind. Ecol.*, vol. 16, n. 6, pagg. 951–962, dic. 2012, doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00560.x.
- [89] M. Ottelé, K. Perini, A. L. A. Fraaij, E. M. Haas, e R. Raiteri, «Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems», *Energy Build.*, vol. 43, n. 12, pagg. 3419–3429, dic. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.09.010.
- [90] V. Oquendo-Di Cosola, F. Olivieri, L. Ruiz-García, e J. Bacenetti, «An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems», *J. Environ. Manage.*, vol. 254, pag. 109743, gen. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109743.
- [91] H. Altan, N. John, e J. Yoshimi, «Comparative Life Cycle Assessment of green wall systems in the UK», in *ISBS*, Ankara - Turkey, mag. 2015, pagg. 991–999, [Online]. Disponibile su: <http://isbs2015.gazi.edu.tr/belgeler/bildiriler/991-999.pdf>.
- [92]  . B. Timur e E. Karaca, *Vertical Gardens (chapter 22) in Advances in Landscape Architecture*. London, UNITED KINGDOM: IntechOpen, 2013.
- [93] H. Feng e K. Hewage, «Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance», *J. Clean. Prod.*, vol. 69, pagg. 91–99, apr. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.041.
- [94] M. Ottelé e K. Perini, «Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings», *Ecol. Eng.*, vol. 108, pagg. 152–161, nov. 2017, doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.08.016.

- [95] F. Larcher *et al.*, «Sustainability of Living Wall Systems Through An Ecosystem Services Lens», in *Urban Horticulture: Sustainability for the Future*, D. Nandwani, A. C. di Cham: Springer International Publishing, 2018, pagg. 31–51.
- [96] R. U. Galagoda, G. Y. Jayasinghe, R. U. Halwatura, e H. T. Rupasinghe, «The impact of urban green infrastructure as a sustainable approach towards tropical micro-climatic changes and human thermal comfort», *Urban For. Urban Green.*, vol. 34, pagg. 1–9, ago. 2018, doi: 10.1016/j.ufug.2018.05.008.
- [97] R. W. F. Cameron, J. Taylor, e M. Emmett, «A Hedera green façade – Energy performance and saving under different maritime-temperate, winter weather conditions», *Build. Environ.*, vol. 92, pagg. 111–121, ott. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.04.011.
- [98] R. Djedjig, E. Bozonnet, e R. Belarbi, «Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program», *Energy Build.*, vol. 86, pagg. 93–103, gen. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.09.057.
- [99] S. Poddar, D. Park, e S. Chang, «Energy performance analysis of a dormitory building based on different orientations and seasonal variations of leaf area index | SpringerLink», *Energy Effic.*, vol. 10, pagg. 887–903, 2017.
- [100] V. Serra *et al.*, «A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project», *Energy Build.*, vol. 146, pagg. 333–352, lug. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.046.
- [101] A. de Gracia *et al.*, «Experimental set-up for testing active and passive systems for energy savings in buildings – Lessons learnt», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pagg. 1014–1026, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.109.
- [102] R. Djedjig, R. Belarbi, e E. Bozonnet, «Experimental study of green walls impacts on buildings in summer and winter under an oceanic climate», *Energy Build.*, vol. 150, pagg. 403–411, set. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.06.032.
- [103] L. Malys, M. Musy, e C. Inard, «Direct and Indirect Impacts of Vegetation on Building Comfort: A Comparative Study of Lawns, Green Walls and Green Roofs», *Energies*, vol. 9, n. 1, pag. 32, gen. 2016, doi: 10.3390/en9010032.
- [104] G. Pérez, J. Coma, S. Sol, e L. F. Cabeza, «Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect», *Appl. Energy*, vol. 187, pagg. 424–437, feb. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.055.
- [105] K. Perini, F. Bazzocchi, L. Croci, A. Magliocco, e E. Cattaneo, «The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate», *Energy Build.*, vol. 143, pagg. 35–42, mag. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.03.036.
- [106] P. Rosasco e K. Perini, «Evaluating the economic sustainability of a vertical greening system: A Cost-Benefit Analysis of a pilot project in mediterranean area», *Build. Environ.*, vol. 142, pagg. 524–533, set. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.017.
- [107] B. Sudimac, A. Andjelkovic, e S. Dubljevic, «Thermal extras of vegetation walls in Belgrade climatic conditions», *Therm. Sci.*, vol. 22, n. Suppl. 3, pagg. 945–955, 2018, doi: 10.2298/TSCI170919027S.
- [108] R. Widiastuti, W. Caesarendra, E. Prianto, e W. S. Budi, «Study on the Leaves Densities as Parameter for Effectiveness of Energy Transfer on the Green Facade», *Buildings*, vol. 8, n. 10, pag. 138, ott. 2018, doi: 10.3390/buildings8100138.
- [109] I. Wong e A. N. Baldwin, «Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region», *Build. Environ.*, vol. 97, pagg. 34–39, feb. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.11.028.
- [110] I. Blanco, E. Schettini, G. S. Mugnozza, e G. Vox, «Thermal behaviour of green façades in summer», *J. Agric. Eng.*, 2018, Consultato: dic. 04, 2019. [Online]. Disponibile su: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900316481>.

- [111] T. Šuklje, S. Medved, e C. Arkar, «On detailed thermal response Modelling of vertical greenery systems as cooling measure for buildings and cities in summer conditions», *Energy*, vol. 115, pagg. 1055–1068, nov. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.08.095.
- [112] C. Y. Jim, «Thermal performance of climber greenwalls: Effects of solar irradiance and orientation», *Appl. Energy*, vol. 154, pagg. 631–643, set. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.077.
- [113] M. S. Jimenez, «Green walls: a sustainable approach to climate change, a case study of London», *Archit. Sci. Rev.*, vol. 61, n. 1–2, pagg. 48–57, mar. 2018, doi: 10.1080/00038628.2017.1405789.
- [114] M. Razzaghamanesh e M. Razzaghamanesh, «Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia», *Build. Environ.*, vol. 112, pagg. 45–62, feb. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.11.023.
- [115] F. Vaezizadeh, S. Rashidisharifabad, e R. Afhami, «Investigating the Cooling Effect of Living Walls in the Sunken Courtyards of Traditional Houses in Yazd», *Eur. J. Sustain. Dev.*, vol. 5, n. 2, pagg. 27–27, giu. 2016, doi: 10.14207/ejsd.2016.v5n2p27.
- [116] H. Yin, F. Kong, A. Middel, I. Dronova, H. Xu, e P. James, «Cooling effect of direct green façades during hot summer days: An observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data», *Build. Environ.*, vol. 116, pagg. 195–206, mag. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.02.020.
- [117] F. Yang, F. Yuan, F. Qian, Z. Zhuang, e J. Yao, «Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 39, pagg. 43–51, mag. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.01.049.
- [118] G. Vox, I. Blanco, e E. Schettini, «Green façades to control wall surface temperature in buildings», *Build. Environ.*, vol. 129, pagg. 154–166, feb. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.12.002.
- [119] L. Pan, S. Wei, e L. M. Chu, «Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems», *Energy Build.*, vol. 175, pagg. 102–112, set. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.07.024.
- [120] L. Pan e L. M. Chu, «Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study», *Build. Environ.*, vol. 96, pagg. 293–300, feb. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.033.
- [121] M. Ottelé e K. Perini, «Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings», *Ecol. Eng.*, vol. 108, pagg. 152–161, nov. 2017, doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.08.016.
- [122] T. E. Morakinyo, A. Lai, K. K.-L. Lau, e E. Ng, «Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: Case study of Hong Kong», *Urban For. Urban Green.*, vol. 37, pagg. 42–55, gen. 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2017.11.010.
- [123] L. S. H. Lee e C. Y. Jim, «Transforming thermal-radiative study of a climber green wall to innovative engineering design to enhance building-energy efficiency», *J. Clean. Prod.*, vol. 224, pagg. 892–904, lug. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.278.
- [124] Y. He, H. Yu, A. Ozaki, N. Dong, e S. Zheng, «A detailed investigation of thermal behavior of green envelope under urban canopy scale in summer: A case study in Shanghai area», *Energy Build.*, vol. 148, pagg. 142–154, ago. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.03.014.
- [125] E. Cuce, «Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation», *Appl. Energy*, vol. 194, pagg. 247–254, mag. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.09.079.
- [126] M.-A. Kenai, L. Libessart, S. Lassue, e D. Defer, «Impact of plants occultation on energy balance: Experimental study», *Energy Build.*, vol. 162, pagg. 208–218, mar. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.024.
- [127] C. Li, J. Wei, e C. Li, «Influence of foliage thickness on thermal performance of green façades in hot and humid climate», *Energy Build.*, vol. 199, pagg. 72–87, set. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.06.045.
- [128] J. A. Sánchez-Reséndiz, L. Ruiz-García, F. Olivieri, e E. Ventura-Ramos, «Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico», *Energy Build.*, vol. 174, pagg. 31–43, set. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.05.060.

- [129] B. Sudimac, N. Cukovic-Ignjatovic, e D. Ignjatovic, «Experimental study on reducing temperature using modular system for vegetation walls made of perlite concrete», *Therm. Sci.*, vol. 22, n. Suppl. 4, pagg. 1059–1069, 2018, doi: 10.2298/TSCI170612227S.
- [130] B. Sudimac, B. Ilić, V. Munćan, e A. S. Anđelković, «Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity in Belgrade climate», *J. Clean. Prod.*, vol. 223, pagg. 907–916, giu. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.087.
- [131] C. Y. Jim, «Cold-season solar input and ambivalent thermal behavior brought by climber greenwalls», *Energy*, vol. 90, pagg. 926–938, ott. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.07.127.
- [132] R. Djedjig, E. Bozonnet, e R. Belarbi, «Modelling green wall interactions with street canyons for building energy simulation in urban context», *Urban Clim.*, vol. 16, pagg. 75–85, giu. 2016, doi: 10.1016/j.uclim.2015.12.003.
- [133] S. Wahba, B. Kamil, K. Nassar, e A. Abdelsalam, «Green Envelop Impact on Reducing Air Temperature and Enhancing Outdoor Thermal Comfort in Arid Climates», *Civ. Eng. J.*, vol. 5, n. 5, pagg. 1124-1135–1135, mag. 2019, doi: 10.28991/cej-2019-03091317.
- [134] A. B. Daemei, M. Azmoodeh, Z. Zamani, e E. M. Khotbehsara, «Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces», *J. Build. Eng.*, vol. 20, pagg. 277–284, nov. 2018, doi: 10.1016/j.job.2018.07.024.
- [135] H. M. P. I. K. Herath, R. U. Halwatura, e G. Y. Jayasinghe, «Evaluation of green infrastructure effects on tropical Sri Lankan urban context as an urban heat island adaptation strategy», *Urban For. Urban Green.*, vol. 29, pagg. 212–222, gen. 2018, doi: 10.1016/j.ufug.2017.11.013.

Appendice

Tabella 40. Effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico per il riscaldamento degli edifici. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter days, 4 days	Winter days – Plant species: B. Cordifolia
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Typical winter sunny day	Typical winter sunny day – Plant species: L. Nitida
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Typical winter cloudy day	Typical winter cloudy day – Plant species: L. Nitida
[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	Entire Building	Winter months (January - March)	Plant species: Hedera helix, season 1
[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	Entire Building	Winter months (December - March)	Plant species: Hedera helix, season 2
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	North	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Granite wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	North	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Brick wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	West	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Granite wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	East	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Granite wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	East	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Brick wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	South	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Granite wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	South	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity between the façade and planter boxes. Brick wall.
[13]	Living wall	Modelling	Bragança (Portugal)	Csb	West	Entire heating season	8 cm planter boxes deep filled with potting soil and evergreen species + 5 cm air cavity

							between the façade and planter boxes. Brick wall.
[10]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	December 2014, 17 days	Substrate: 8 cm of coconut fibre - 24 small plants for each pot - Plant species: Rosmarinus Officinalis and Helichrysum thianschanicum) - Dec 2014 - Set point: 22 °C - 17 days analysed
[10]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	February 2015, 9 days	Substrate: 8 cm of coconut fibre - 24 small plants for each pot - Plant species: Rosmarinus Officinalis and Helichrysum thianschanicum) - Jan-Feb 2015 - Set point: 22 °C - 9 days analysed
[10]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	February 2015, 9 days	GF: metal trellis of 2 mm, air chamber of 25 cm - Plant species: Boston Ivy "Parthenocissus tricuspidata" - Jan-Feb 2015- Set point: 22 °C - 9 days analysed
[10]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	December 2014, 17 days	GF: metal trellis of 2 mm, air chamber of 25 cm - Plant species: Boston Ivy "Parthenocissus tricuspidata" - Dec 2014 - Set point: 22 °C - 17 days analysed
[98]	Living wall	Modelling	La Rochelle (France)	Cfb	East and West	Entire heating season	Walls: 20 cm cinderblock - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[98]	Living wall	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East and West	Entire heating season	Walls: 20 cm cinderblock - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[9]	Living wall	Modelling	La Rochelle (France)	Cfb	East and West	Entire cooling season	Vertiss™
[9]	Living wall	Modelling	Casablanca (Morocco)	Csa	East and West	Entire cooling season	Vertiss™
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	Entire Building	Entire heating season	Building U-values - Wall <1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants = 0.2 m; Leaf emissivity = 0.95; Leaf absorptivity = 0.78; Minimum stomatal resistance = 180 s/m; Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	North	Entire heating season	Building U-values - Wall <1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants = 0.2 m; Leaf emissivity = 0.95; Leaf absorptivity = 0.78; Minimum stomatal resistance = 180 s/m; Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	West	Entire heating season	Building U-values - Wall <1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78,

							October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants = 0.2 m; Leaf emissivity = 0.95; Leaf absorptivity = 0.78; Minimum stomatal resistance = 180 s/m; Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	East	Entire heating season	Building U-values - Wall <1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants = 0.2 m; Leaf emissivity = 0.95; Leaf absorptivity = 0.78; Minimum stomatal resistance = 180 s/m; Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	South	Entire heating season	Building U-values - Wall <1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants = 0.2 m; Leaf emissivity = 0.95; Leaf absorptivity = 0.78; Minimum stomatal resistance = 180 s/m; Soil layer: 80 mm
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Heuchera Hybr. - Wall: U=0.25 Wm ⁻² K ⁻¹
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Bergenia Cordifolia - Wall: U=0.25 Wm ⁻² K ⁻¹

Tabella 41. Effetto dell'installazione delle pareti verdi sul fabbisogno energetico per il raffrescamento degli edifici. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[10]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	July 2015, 12 days	Substrate: 8 cm of coconut fibre - 24 small plants for each pot - Plant species: Rosmarinus officinalis and Helichrysum thianschanicum - July 2015 - Set point: 24 °C - 12 days analyzed
[10]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	June 2015, 11 days	Substrate: 8 cm of coconut fibre - 24 small plants for each pot - Plant species: Rosmarinus officinalis and Helichrysum thianschanicum - June 2015 - Set point: 21 °C - 11 days analyzed
[10]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	July 2015, 12 days	GF: metal trellis of 2 mm, air chamber of 25 cm - Plant species: Boston Ivy "Parthenocissus tricuspidata", - July 2015 - Set point: 24 °C - 12 days analyzed
[10]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	June 2015, 10 days	Substrate: 8 cm of coconut fibre - 24 small plants for each pot - Plant species: Rosmarinus officinalis and Helichrysum thianschanicum - June 2015 - Set point: 18°C - 10 days analyzed
[10]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	June 2015, 11 days	GF: metal trellis of 2 mm, air chamber of 25 cm - Plant species: Boston Ivy "Parthenocissus tricuspidata" - June 2015 - Set point: 21 °C - 11 days analyzed
[10]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	June 2015, 10 days	GF: metal trellis of 2 mm, air chamber of 25 cm - Plant species: Boston Ivy "Parthenocissus tricuspidata" - June 2015 - Set point 18°C - 10 days analyzed
[11]	Living wall	Modelling	Wuhan (China)	Cfa	West	Hot summer day	25 vegetation boxes and light growth medium - 500 mm in square and 10 mm in depth - July 25 th 2012
[11]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	South-West	Hot summer day	Vertical greening 8.22 m ² (flat surface: 7.03 m ²) – Plant species: Peperomia claviformis
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	Single-storey flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage 100% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	North	Summer months (from June to August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage 100% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	South	Summer months (from June to August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage 100% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m

[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	East	Summer months (from June to August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage 100% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ . green coverage: 50% of the facade. LAI = 3 plant height 0.3 m substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (from June to August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage: 75% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	Single-story flat, with a volume of 19.3 m ³ - Green coverage: 25% of the façade – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 100% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	East	Summer months (from June to August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 100% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	North	Summer months (from June to August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 100% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	South	Summer months (from June to August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 100% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 75% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 50% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[5]	Living wall	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	West	Summer months (June – August)	High-rise building (50 m (L) × 50 m (W) × 100 m (H)), with window-wall ratio 50% for each façade - Green area 25% wall – LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m
[101]	Living wall	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	Summer conditions, 7 days	Plant species: Rosmarinus officinalis and Helichrysum thianschanicum

[101]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South, East and West	Summer conditions, 7 days	Plant species: Boston Ivy “Parthenocissus tricuspidata”
[98]	Living wall	Modelling	La Rochelle (France)	Cfb	East and West	Entire cooling season	Walls: 20 cm cinderblock - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[102]	Living wall	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East and West	Entire cooling season	Walls: 20 cm cinderblock - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[102]	Living wall	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East and West	Entire cooling season	Walls: 20 cm cinderblock - Street canyon ratio height/width: 1 - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[102]	Living wall	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East and West	Entire cooling season	Walls: 20 cm cinderblock - Street canyon ratio height/width: 0 - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[102]	Living wall	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East and West	Entire cooling season	Walls: 20 cm cinderblock - Street canyon ratio height/width: 0.5 - Green wall substrate depth: 12 cm - Vegetation coverage ratio: 1 - LAI: 4
[9]	Living wall	Modelling	La Rochelle (France)	Cfb	East and West	Entire cooling season	Vertiss™
[9]	Living wall	Modelling	Casablanca (Morocco)	Csa	East and West	Entire cooling season	Vertiss™
[103]	Living wall	Modelling	Nantes (France)	Cfb	South	Hot summer day	LAI = 2 - Thickness: L: 0.2 m - Extinction coefficient ks: 0.8 - Transmissivity f: 0.2
[104]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	Entire test facility	Summer conditions, 7 days	Results from 1 monitored week
[105]	Living wall	Experimental	Genoa (Italy)	Csa	South	Entire cooling season	Wall transmittance: 0.44 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: 20 different plant species, both climbing plants and shrubs
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	Entire Building	Entire cooling season	Building U-values - Wall<1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: H. Helix - LAI: (May: 3.66, July: 2.78, October: 4.29, and February: 3.72) - Height of plants: 0.2 m - Leaf emissivity: 0.95 - Leaf absorptivity: 0.78 - Minimum stomatal resistance: 180 s/m - Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	East	Entire cooling season	Building U-values - Wall<1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72); Height of plants: 0.2 m - Leaf emissivity: 0.95 - Leaf absorptivity: 0.78 - Minimum stomatal resistance: 180 s/m - Soil layer: 80 mm

[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	South	Entire cooling season	Building U-values - Wall<1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72) - Height of plants: 0.2 m - Leaf emissivity: 0.95 - Leaf absorptivity: 0.78 - Minimum stomatal resistance: 180 s/m - Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	West	Entire cooling season	Building U-values - Wall<1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72) - Height of plants: 0.2 m - Leaf emissivity: 0.95 - Leaf absorptivity: 0.78 - Minimum stomatal resistance: 180 s/m - Soil layer: 80 mm
[99]	Living wall	Modelling	Daejeon (South Korea)	Cwa	North	Entire cooling season	Building U-values - Wall<1.8 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Ground floor <0.47 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Rooftop <0.40 Wm ⁻² K ⁻¹ ; Windows (double glazing) <2.0 Wm ⁻² K ⁻¹ . Plant species: H. helix; LAI: (May = 3.66, July = 2.78, October = 4.29, and February = 3.72) - Height of plants: 0.2 m - Leaf emissivity: 0.95 - Leaf absorptivity: 0.78 - Minimum stomatal resistance: 180 s/m - Soil layer: 80 mm
[106]	Living wall	Modelling	Genoa (Italy)	Csa	South	Entire cooling season (3 cooling seasons)	Wall transmittance: 0.44 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant species: 20 different plant species, both climbing plants and shrubs
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Heuchera hybr. - Wall: U = 0.25 W m ⁻² K ⁻¹
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Bergenia cordifolia - Wall: U = 0.25 W m ⁻² K ⁻¹
[107]	Living wall	Modelling	Belgrade (Serbia)	Cfa	Entire building	Summer conditions (August)	Modular vegetation module: 10 cm wide, containing 8 cm of glass wool - Modular vegetation module measured U-value U = 0.667 Wm ⁻² K ⁻¹ - Existing façade U = 0.776 Wm ⁻² K ⁻¹
[107]	Living wall	Modelling	Belgrade (Serbia)	Cfa	Entire building	Summer conditions (July)	Modular vegetation module: 10 cm wide, containing 8 cm of glass wool - Modular vegetation module measured U-value U = 0.667 Wm ⁻² K ⁻¹ - Existing façade U = 0.776 Wm ⁻² K ⁻¹
[108]	Green façade	Experimental	Semarang (Indonesia)	Am	Entire test facility	Typical Summer day	Wall U-value: 0.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Leaves Density 50%
[109]	Green façade	Simulation (feasibility study)	Hong Kong (China)	Cwa	Entire building	Typical summer conditions	U-value external concrete wall (Uwall): 0.74 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant species: Divided Creeper

							(family of Parthenocissus) - Solar transmittance of the DSGF: 0.2
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	Entire building	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	Entire building	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	South	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	South	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	West	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	West	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	Entire building	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	South	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Miami (USA)	Am	West	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	Entire building	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	Entire building	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	South	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf

							area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	South	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	Entire building	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	West	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	West	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	South	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Phoenix (USA)	BWh	West	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	Entire building	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	South	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	Entire building	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	South	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	West	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	West	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf

							area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	South	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	West	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Los Angeles (USA)	Csb	Entire building	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 1.31 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	Entire building	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	Entire building	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	South	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	South	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	West	Entire cooling season	Building: Medium Office - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	West	Entire cooling season	Building: Primary School - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	Entire building	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	South	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
[4]	Living wall	Modelling	Chicago (USA)	Dfa	West	Entire cooling season	Building: Hospital - Wall U-value: 0.89 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant layer: Height: 0.2 m; Leaf area index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95

							index: 2.5; Leaf reflectivity: 0.22; Leaf emissivity: 0.95
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabella 42. Effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura superficiale diurna. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[16]	Green façade	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall with boxes ⁵	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (28 June 2016)	Thermal conductivity: 0.28 W m ⁻¹ K ⁻¹ Plant species: Pandorea jasminoides variegated. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 1.5÷3.5 through the year
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (28 June 2016)	Thermal conductivity: 0.55 Wm ⁻¹ K ⁻¹

							Plant species: Rhyncospermum jasminoides. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (23 July 2016)	Thermal conductivity: 0.28 W m ⁻¹ K ⁻¹ Plant species: Pandorea jasminoides variegated. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 1.5÷3.5 through the year
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (23 July 2016)	Thermal conductivity: 0.55 W m ⁻¹ K ⁻¹ Plant species: Rhyncospermum jasminoides. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (27 August 2016)	Thermal conductivity: 0.28 W m ⁻¹ K ⁻¹ Plant species: Pandorea jasminoides variegated. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 1.5÷3.5 through the year
[110]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (27 August 2016)	Thermal conductivity: 0.55 W m ⁻¹ K ⁻¹ Plant species: Rhyncospermum jasminoides. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Lonicera nitida L. - Substrate: coconut fibre, Hydroretentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: Lonicera nitida L. - Substrate: 50% coconut fibre, Hydroretentors, mycorrhizae, and 50% shredded felt
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter cloudy day	Plant species: Lonicera nitida L. - Substrate: coconut fibre, Hydroretentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter cloudy day	Plant species: Lonicera nitida L. - Substrate: 50% coconut fibre, Hydroretentors, and mycorrhizae, 50% shredded felt
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Summer sunny day	Plant species: Lonicera nitida L. Substrate: coconut fibre, Hydroretentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Summer sunny day	Plant species: Lonicera nitida L. Substrate: 50% coconut fibre, Hydroretentors, and mycorrhizae, and 50% shredded felt
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer	Green façade with an 8 cm plant air gap with the façade. Surface temperature displayed refers to surface temperature of the wall behind the green façade. Plant species: Phaseolus Vulgaris - LAI: 6.1

[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer	Green façade with an 8 cm plant air gap with the façade. Surface temperature displayed refers to surface temperature of the wall behind the green façade. Plant species: Phaseolus Vulgaris - LAI: 7.2
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[113]	Living wall	Experimental	London (UK)	Cfb (	East	Summer (7 th June 2016). Typical sunny day	Plant species: Ivy, ferns
[113]	Living wall	Experimental	London (UK)	Cfb	East	Summer (15 th June 2016). Cold day	Plant species: Ivy, ferns
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in daily temperature. Calculated averaging the differences in max temperatures.

							Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in daily temperature. Calculated averaging the differences in max temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in daily temperature. Calculated averaging the differences in max temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in daily temperature. Calculated averaging the differences in max temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: Plaster/brick/plaster (15/37/15 cm) Grass/straw (15cm) exterior layer Substrate: cultivated peat soil, 20 cm
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: concrete (17 cm) Grass/straw material (15 cm) Substrate: cultivated peat soil 20 cm
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: Stone/gravel/stone (3/10/3 cm) grass/straw 15 cm Substrate: cultivated peat soil 20cm
[116]	Green façade	Experimental	Nanjing (China)	Cfa	South	Summer day	Plant species: Climbing Ivy (Parthenocissus Tricuspidata)
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	South	Summer day, partially cloudy	Wall thickness 300mm constructed of brick and mortar, with 20mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster. Plant species: Mucuna Sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging 4 days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	South	Summer day, sunny	Wall thickness 300mm constructed of brick and mortar, with 20mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster. Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging two days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	North	Summer day, partially cloudy	Wall thickness 300 mm constructed of brick and mortar, with 20 mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster. Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging three days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	North	Summer day, cloudy	Wall thickness 300 mm constructed of brick and mortar, with 20 mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster. Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'.

							LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging two days maximum temperatures
[108]	Green façade	Experimental	Semarang (Indonesia)	Am	East	Warm season (December)	Wall U value: 0.31 W m ⁻² K ⁻¹ . Leaves Density 50%
[108]	Green façade	Experimental	Semarang (Indonesia)	Am	East	Warm season (December)	Wall U value: 0.31 W m ⁻² K ⁻¹ . Leaves Density: 90%
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer sunny day	Wall thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Rhyncospermum jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer sunny day	Wall thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5-3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer cloudy day	Wall thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Rhyncospermum jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer cloudy day	Wall: Thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter sunny day	Wall: Thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Rhyncospermum jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter sunny day	Wall: Thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter cloudy day	Wall: Thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Rhyncospermum jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter cloudy day	Wall: Thermal conductance: 1.34 W m ⁻¹ K ⁻¹ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer day	Plant species: Phaseolus Vulgaris L – LAI: 6.1 - Transmittivity: 0.17
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer day	Plant species: Phaseolus Vulgaris L – LAI: 7.2 - Transmittivity: 0.09
[119]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Typical summer sunny day	Wall U- value 0.990 W m ⁻² K ⁻¹ Wall U value with VGS: 0.621 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant species: Schefflera octophylla
[90]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Typical summer sunny day	Wall U- value 0.990 W/m ² K Wall U value with VGS: 0.621 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant species: Schefflera octophylla
[90]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Typical summer sunny day	Wall U- value 0.990 W m ⁻² K ⁻¹ Wall U value with VGS: 0.621 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant species: Schefflera octophylla
[90]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Typical summer sunny day	Wall U- value 0.990 W m ⁻² K ⁻¹ Wall U value with VGS: 0.621 W m ⁻² K ⁻¹ - Plant species: Schefflera octophylla
[120]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South-West	Summer sunny day	Plant species: Peperomia claviformis - Sunny days

[120]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South-West	Summer cloudy day	Plant species: Peperomia claviformis - Cloudy days
[121]	Green façade	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state summer conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) - Plant species: Hedera Helix
[121]	Living wall	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state summer conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) - Planter boxes living wall. Plant species: Lamium galeobdolon, Carex, Alchemilla, Host
[121]	Living wall	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state summer conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) Mineral wool living wall. Plant species: Ferns, Geraniums, Carex
[121]	Green façade	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state winter conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) Plant species: Hedera Helix
[121]	Living wall	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state winter conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) Planter boxes living wall. Plant species: Lamium galeobdolon, Carex, Alchemilla, Host
[121]	Living wall	Experimental	Climate chamber	-	Indoor	Steady state winter conditions	Reference wall: limestone, mineral insulation, cavity, brick (10/10/5/10 cm) Mineral wool living wall. Plant species: Ferns, Geraniums, Carex
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 10 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are installed on the entire building. However, the data about increase/decrease in surface temperature are referred to the façade with the orientation reported in the column orientation
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 10 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32 Green façades are installed on East and West building orientations. However, the value showed is referred to the green façade east oriented
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 10 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façade on East building orientation
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Building height: 10 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32 Green façade on West building orientation

[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Building height: 10 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are North and South oriented. However, the data showed refer to South orientation
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 30 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are installed on the entire building. However, the data related to decrease/increase in surface temperature are referred to the East facing green facade
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 30 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are installed on East and West oriented walls. However, the data displayed refer to the East facing facade
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 30 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façade on East building orientation
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Building height: 30 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32 Green façade on West building orientation
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Building height: 30 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are installed on North and South facing facades. However, the data displayed refer to the South facing green wall
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 60 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32 Green façades are installed on the entire building. However, the data displayed are referred to the East facing green façade
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 60 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are installed on East and West facing walls. However, the data displayed refer to the East facing green facade
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Building height: 60 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façade East facing

[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Building height: 60 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façade West facing
[122]	Green façade	Modelling	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Building height: 60 m - Plant species Grass i.e. simple 1D plant - Leaf Area Density 2 m ² m ⁻³ - Plant albedo 0.32. Green façades are North and South facing. However, the data displayed refer to the South facing green facade
[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Sunny summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (Lonicera japonica) - LAI: 0.69
[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Cloudy summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (Lonicera japonica) - LAI: 0.69
[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Rainy summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (Lonicera japonica) - LAI: 0.69
[124]	Living wall	Modelling	Shanghai (China)	Cfa	East	Sunny summer day	U value of wall 0.6 Wm ⁻² K ⁻¹ - LAI: 4 - Reflectivity of foliage 0.3 - Emissivity of foliage 0.95 - Minimum stomatal resistance 150 - Thickness of soil layer 6 cm
[124]	Living wall	Modelling	Shanghai (China)	Cfa	West	Sunny summer day	U value of wall 0.6 Wm ⁻² K ⁻¹ - LAI: 4 - Reflectivity of foliage 0.3 - Emissivity of foliage: 0.95 - Minimum stomatal resistance 150 - Thickness of soil layer: 6 cm
[124]	Living wall	Modelling	Shanghai (China)	Cfa	South	Sunny summer day	U value of wall 0.6 Wm ⁻² K ⁻¹ - LAI: 4 - Reflectivity of foliage: 0.3 - Emissivity of foliage: 0.95 - Minimum stomatal resistance: 150 - Thickness of soil layer: 6 cm
[124]	Living wall	Modelling	Shanghai (China)	Cfa	North	Sunny summer day	U value of wall 0.6 Wm ⁻² K ⁻¹ - LAI: 4 - Reflectivity of foliage: 0.3 - Emissivity of foliage: 0.95 - Minimum stomatal resistance: 150 - Thickness of soil layer: 6 cm
[11]	Living wall	Modelling	Hong Kong	Cwa	Not specified	Hot summer day	(1st July) Vertical greening 8.22 m ² (flat surface: 7.03 m ²) – Plant species: Peperomia claviformis
[11]	Living wall	Modelling	Hong Kong	Cwa	Not specified	Cold winter day	(17th dec) Vertical greening 8.22 m ² (flat surface: 7.03 m ²) – Plant species: Peperomia claviformis
[11]	Living wall	Modelling	Wuhan (China)	Cfa	West	Hot summer day	(31st July) 25 vegetation boxes and light growth medium, 500 mm in square and 10 mm in depth
[11]	Living wall	Modelling	Wuhan (China)	Cfa	West	Cold winter day	(24th January) 25 vegetation boxes and light growth medium, 500 mm in square and 10 mm in depth
[11]	Living wall	Modelling	Hong Kong	Cwa	West	Hot summer day	LAI: 3 - Plant height 0.3 m - Substrate thickness 0.1 m - Single-storey flat floor area of 19.3 m ² - Green area 6.5 m ² (100% wall)

[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	NSEW – whole building	Winter	Mean temperature value of the 4 facades February (21st÷28th)
[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	NSEW – whole building	Winter	Mean temperature value of the 4 façades March (1st÷25th)
[125]	Green façade	Experimental	Nottingham (UK)	Cfb	Not specified	Sunny	Hedera Helix attaching to the surface of the brick wall and growing directly from the ground. Lacks info about orientation and period of observations. The data are referred to a wall (not to an entire building)
[125]	Green façade	Experimental	Nottingham (UK)	Cfb	Not specified	Cloudy	Hedera Helix attaching to the surface of the brick wall and growing directly from the ground. Lacks info about orientation and period of observations. The data are referred to a wall (not to an entire building)
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny spring day	Only masking effect. 100% occultation
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny spring day	Only masking effect. 50% occultation
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny summer day	Ivy, 41% coverage
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny summer day	Virginia creeper, 38% coverage
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Cloudy winter day	Ivy, 55% coverage
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Cloudy winter day	Virginia creeper, 15% coverage
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny winter day	Ivy, 55% coverage
[126]	Green façade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny winter day	Virginia Creeper, 15% coverage
[127]	Green façade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 7.2 cm thickness
[127]	Green façade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 19.8 cm thickness
[127]	Green façade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 30.5 cm thickness
[104]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	East	Summer	Boston Ivy, LAI: 3.5÷4.0
_[68]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	South	Summer	Boston Ivy, LAI: 3.0
_[68]	Green façade	Experimental	Puigverd de Lleida (Spain)	Csa	West	Summer	Boston Ivy, LAI: 2.2.
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Winter (January)	
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Spring (April)	In Querétaro the hottest period occurs in spring and not in summer
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Summer (July)	
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Autumn (October)	
[129]	Living wall	Experimental	Belgrade (Serbia)	Cfa	South	Summer	Plant species: Geranium macrorrhizum; substrate: mixture of 90% light peat and 10% black peat

[129]	Living wall	Experimental	Belgrade (Serbia)	Cfa	South	Summer	Plant species: Cordifolia stock; substrate: mixture of 90% light peat and 10% black peat
[129]	Living wall	Experimental	Belgrade (Serbia)	Cfa	South	Summer	Plant species: Nitida lemon; substrate: mixture of 90% light peat and 10% black peat
[130]	Living wall	Experimental	Belgrade (Serbia)	Cfa	South	Summer	
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	North	Typical summer day	Plant species: Lonicera nitida
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila

[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[96]	Living wall	Experimental	Rathmalana (Sri Lanka)	Af	Not clearly identified	Typical summer sunny day	Mixture of plants (Dracaena reflexa, Ficus pumila, Ferns (Caledonium)); Foliage thickness: 6÷10 inches; Calculation of maximum potential temperature reduction, based on experimental results of three different façades. Orientation "South to East"
[96]	Green façade	Experimental	Rathmalana (Sri Lanka)	Af	Not clearly identified	Typical summer sunny day	Indirect green façade; Plant: Thumbergia; Foliage thickness: 5÷12 inches; Calculation of maximum potential temperature reduction, based on experimental results of 3 different façades. Orientation "North to East"
[96]	Green façade	Experimental	Rathmalana (Sri Lanka)	Af	West	Typical summer sunny day	Direct green façade; Plant: Ficus pumila; Foliage thickness: 3÷6 inches; Calculation of maximum potential temperature reduction, based on experimental results of three different façades.

Tabella 43. Effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperature superficiale notturna. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	Low radiation conditions (December 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	High radiation conditions (March 15 th)	The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[16]	Green façade	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall with boxes	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	Boxes containing plants are placed at different heights on the wall. The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	Living wall with substrate constituted by fibres, perlite, and volcanic ash. The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (28 June 2016)	Thermal conductivity: $0.28 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ Plant species: Pandorea jasminoides variegated. Plants are placed on an iron net at a distance of 15 cm from the wall LAI: $1.5 \div 3.5$ through the year

[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (28 June 2016)	Thermal conductivity: $0.55 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Plant species: <i>Rhynchospermum jasminoides</i> . Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (23 July 2016)	Thermal conductivity: $0.28 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Plant species: <i>Pandorea jasminoides</i> variegated. Plants are placed on an iron net 15 cm from the wall LAI: 1.5÷3.5 through the year
[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (23 July 2016)	Thermal conductivity: $0.55 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Plant species: <i>Rhynchospermum jasminoides</i> . Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (27 August 2016)	Thermal conductivity: $0.28 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Plant species: <i>Pandorea jasminoides</i> variegated. Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 1.5÷3.5 through the year
[110]	Green facade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Summer (Shaded. I.e., low incoming radiation) (27 August 2016)	Thermal conductivity: $0.55 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Plant species: <i>Rhynchospermum jasminoides</i> . Plants are placed on an iron net at 15 cm from the wall LAI: 2.0÷4.0 through the year
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter sunny day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa (warm and temperate)	South	Winter sunny day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: 50% coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae, and 50% shredded felt
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter cloudy day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Winter cloudy day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: 50% coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae, and 50% shredded felt
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Summer sunny day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae
[3]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	South	Summer sunny day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i> L. - Substrate: 50% coconut fibre, Hydrotentors, and mycorrhizae, and 50% shredded felt
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer	Surface temperature refers to the temperature of the wall behind the green façade. Green façade with an 8 cm plant air gap with the façade. Plant species: <i>Phaseolus Vulgaris</i> L. - LAI: 6.1

[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer	Surface temperature refers to the temperature of the wall behind the green façade. Green façade with an 8 cm plant air gap with the façade. Plant species: Phaseolus Vulgaris L - LAI: 7.2
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer sunny day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer cloudy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Bauhinia corymbosa
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Pyrostegia venusta
[112]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Summer rainy day	Plant species: Ficus pumila
[113]	Living wall	Experimental	London (UK)	Cfb	East	Summer (7 th June 2016). Typical sunny day	Plant species: Ivy, ferns
[113]	Living wall	Experimental	London (UK)	Cfb	East	Summer (15 th June 2016). Cold day	Plant species: Ivy, ferns
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in temperature was calculated averaging the differences in max

							temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in temperature was calculated averaging the differences in max temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: Plaster/brick/plaster (15/37/15 cm) Grass/straw(15cm) exterior layer - Cultivated peat soil, 20 cm
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: concrete (17 cm) Grass/straw material (15 cm). Cultivated peat soil 20 cm
[115]	Living wall	Simulation	Yadz (Iran)	BWh	South-East	Summer day	Original wall: Stone/gravel/stone (3/10/3 cm) grass/straw 15cm. Cultivated peat soil 20cm
[116]	Green façade	Experimental	Nanjing (China)	Cfa	South	Summer day	Plant species: climbing ivy (Parthenocissus tricuspidata)
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	South	Summer day, partially cloudy	Wall width 300mm constructed of brick and mortar, with 20mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster - Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging 4 days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	South	Summer day, sunny	Wall width 300mm constructed of brick and mortar, with 20mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster - Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging two days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	North	Summer day, partially cloudy	Wall width 300 mm constructed of brick and mortar, with 20 mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster - Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging three days maximum temperatures
[117]	Green façade	Experimental	Shanghai (China)	Cfa	North	Summer day, cloudy	Wall width 300 mm constructed of brick and mortar, with 20 mm cement plaster, 240 mm brick, and 40 mm granitic plaster - Plant species: Mucuna sempervirens 'Hemsl'. LAI: 3.0÷3.5. Difference in surface temperature calculated averaging two days maximum temperatures
[108]	Green façade	Experimental	Semarang (Indonesia)	Am	East	Cooling period day (December)	Wall U value: 0.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Leaves Densities 50%
[108]	Green façade	Experimental	Semarang (Indonesia)	Am	East	Cooling period day (December)	Wall U value: 0.31 Wm ⁻² K ⁻¹ - Leaves Densities 90%

[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer sunny day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Rhyncospermum Jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer sunny day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer cloudy day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Rhyncospermum Jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Hot summer cloudy day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5-3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter sunny day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Rhyncospermum Jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter sunny day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter cloudy day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Rhyncospermum Jasminoides - LAI: 2÷4
[118]	Green façade	Experimental	Valenzano, Bari (Italy)	Csa	South	Cold winter cloudy day	Wall: Thermal conductance: $1.34 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ - Plant species: Pandorea jasminoides Variegated - LAI: 1.5÷3.5
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer day	Plant species: Phaseolus Vulgaris L – LAI: 6.1. Transmissivity: 0.17
[111]	Green façade	Experimental	Ljubljana (Slovenia)	Cfb	South	Summer day	Plant species: Phaseolus Vulgaris L - LAI 7.2 - Trasmittivity: 0.09
[119]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	North		Wall U- value $0.990 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ Wall U value with VGS: $0.621 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Plant species: Schefflera octophylla
[119]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	East		Wall U- value $0.990 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ Wall U value with VGS: $0.621 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Plant species: Schefflera octophylla
[119]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South		Wall U- value $0.990 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ Wall U value with VGS: $0.621 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Plant species: Schefflera octophylla
[119]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	West		Wall U- value $0.990 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ Wall U value with VGS: $0.621 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Plant species: Schefflera octophylla
[120]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South-West	Summer sunny day	Plant species: Peperomia claviformis - Sunny days
[120]	Living wall	Experimental	Hong Kong	Cwa	South-West	Summer cloudy day	Plant species: Peperomia claviformis - Cloudy days
[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Sunny summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (Lonicera japonica) LAI: 0.69
[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Cloudy summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (Lonicera japonica) LAI: 0.69

[123]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Rainy summer day	Plant: Japanese Honeysuckle (<i>Lonicera japonica</i>) LAI: 0.69
[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	Entire building	Winter	Mean temperature value of the 4 façades February (21st+28th)
[97]	Green façade	Experimental	Reading (UK)	Cfb	Entire building	Winter	Mean temperature value of the 4 façades March (1st+25th)
[126]	Green facade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny summer day	Ivy, 41% coverage
[126]	Green facade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny summer day	Virginia creeper, 38% coverage
[126]	Green facade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny winter day	Ivy, 55% coverage
[126]	Green facade	Experimental	Lille (France)	Cfb	South	Sunny winter day	Virginia creeper, 15% coverage
[127]	Green facade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 7.2 cm thickness
[127]	Green facade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 19.8 cm thickness
[127]	Green facade	Experimental	Suzhou (China)	Cfa	South	Summer	Boston ivy, 30.5 cm thickness
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Cold (January)	
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Warm (April)	In Querétaro the hottest period occurs in spring and not in summer
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Warm (July)	
[128]	Living wall	Experimental	Queretaro (Mexico)	BSh	South	Cold (October)	
[100]	Living wall	Experimental	Turin (Italy)	Cfa	North	Typical summer day	Plant species: <i>Lonicera nitida</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Bauhinia corymbosa</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Pyrostegia venusta</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Ficus pumila</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Bauhinia corymbosa</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Pyrostegia venusta</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Ficus pumila</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Bauhinia corymbosa</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Pyrostegia venusta</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Ficus pumila</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Bauhinia corymbosa</i>
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: <i>Pyrostegia venusta</i>

[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Sunny Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Cloudy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	East	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	South	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	West	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Bauhinia corymbosa
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Pyrostegia venusta
[131]	Green façade	Experimental	Hong Kong	Cwa	North	Winter Rainy Day	Wall: concrete; Plant species: Ficus pumila

Tabella 44. Effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura diurna dell'aria. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air temperature related to near-façade (< 3 m) and one meter from pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[16]	Green façade	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its Leaf Area Index (LAI) is 1.5; leaf angle distribution is 0.7

[16]	Living wall with boxes	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	Boxes containing plants are placed at different heights on the wall. The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[132]	Green façade	Experimental	La Rochelle (France)	Cfb	West	Summer (August 2012)	
[133]	Green façade	Modelling	Mohandessin (Egypt)	BWh	City block scale	Summer (August)	Difference in temperature at 2 m above the ground Façade thickness: 10 cm
[133]	Green façade	Modelling	Mohandessin (Egypt)	BWh	City block scale	Summer (August)	Difference in temperature at 2 m above the ground Façade thickness: 30 cm
[133]	Green façade	Modelling	Mohandessin (Egypt)	BWh	North (street scale)	Summer (August)	Difference in air temperature 1.5 m above the ground
[134]	Green façade	Modelling	Tehran (Iran)	BSk	East (street scale)	Summer	
[135]	Green façade	Modelling	Colombo metropolitan area (Sri Lanka)	Af	North-South (city scale)	Summer (29 th -30 th August 2016)	Difference in air temperature 1.5 m above the ground 50% of surface covered with green façades
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in daily temperature calculated averaging the differences in max temperatures. Plant species: Fytogreen, Holman and Elmich. The difference in air temperature is calculated at 0.5 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in daily temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 0.5 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in daily temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 1 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in daily temperature. Calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 1 m from the walls

[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (23 rd September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall

[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 01.00pm – 02.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (24 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall

[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 10.00am – 11.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 01.00pm – 02.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Summer (25 th September 2016. 03.00pm – 06.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa (	South-East	Autumn (16 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (16 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall

[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (17 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 0.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 1.5 m from the wall

[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 1.5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 3 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016. 09.00am – 10.00am)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 12.00pm – 01.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[14]	Living wall	Experimental	Madrid (Spain)	Csa	South-East	Autumn (19 th November 2016 02.00pm – 05.00pm)	Measurement taken at 5 m from the wall
[15]	Not specified	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	London (UK)	Cfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Montreal (Canada)	Dfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm) Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Moscow (Russia)	Dfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Beijing (China)	BSk	East-West	June	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m

[15]	Not specified	Modelling	Brasilia (Brasil)	Aw	East-West	September	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m.
[15]	Not specified	Modelling	Athens (Greece)	Csa	North-South	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	North-South	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m. It has been considered wind blowing parallel to the canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m. It has been considered wind blowing perpendicular to the canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m. Wind blowing parallel to the canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m. Wind blowing perpendicular to canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 5 m, height 10 m
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m

Tabella 45. Effetto dell'installazione di pareti verdi sulla temperatura notturna dell'aria. Tabella modificata da [1]

Riferimento bibliografico	Tipologia di parete verde	Tipo di studio	Città	Zona climatica [18]	Orientamento della parete verde	Condizioni climatiche	Note
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	Low radiation conditions (December 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	North	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings.
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	South	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	East	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[6]	Green façade, as in ENVI-met v 4.3	Modelling	Singapore	Af	West	High radiation conditions (March 15 th)	Difference in air near-façade (< 3 m) temperature and at 1 m from the pedestrian level. The green façade is installed in a courtyard surrounded by high-rise buildings
[16]	Green façade	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[16]	Living wall with boxes	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	Boxes containing plants are placed at different heights on the wall. The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7

[16]	Living wall	Modelling	Chenzhou (China)	Cfa	Not specified	Typical summer day in Chenzhou	Substrate constituted by fibres, perlite, and volcanic ash. The model was run considering the meteorological condition of a summer day (23 rd July 2016). The specie planted is Ivy. Its thickness is 0.3; its LAI is 1.5; leaf angle distribution is 0.7
[102], [132]	Green façade	Experimental	La Rochelle (France)	Cfb	West	Summer (August 2012)	
[135]	Green façade	Modelling	Colombo metropolitan area (Sri Lanka)	Af	North-South (city scale)	Summer (29 th -30 th August 2016)	Air temperature at 1.5 m above the ground. 50% of surface covered with green façades
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in nightly temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 0.5 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in nightly temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 0.5 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Warm season	Maximum difference in nightly temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 1 m from the walls
[114]	Living wall	Experimental	Adelaide (Australia)	Csb	West	Cold season	Maximum difference in nightly temperature calculated averaging the differences in max temperatures. The difference in air temperature is calculated at 1 m from the walls
[15]	Not specified	Modelling	Athens (Greece)	Csa	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	London (UK)	Cfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Montreal (Canada)	Dfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Moscow (Russia)	Dfb	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m

[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	East-West	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Beijing (China)	BSk	East-West	June	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Brasilia (Brasil)	Aw	East-West	September	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 am). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Athens (Greece)	Csa	North-South	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Hong Kong (China)	Cwa	North-South	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m. It has been considered wind blowing parallel to the canyon
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m. It has been considered wind blowing perpendicular to the canyon
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m. Wind blowing parallel to the canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Mumbai (India)	Am	East-West	May	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 12.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m. Wind blowing perpendicular to canyon's axis
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 10 m, height 5 m
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 5 m, height 10 m
[15]	Not specified	Modelling	Riyadh (Saudi Arabia)	BWh	Not specified	July	Green walls extended to a street canyon (variation in air temperature related at 4.00 pm). Green canyon width 15 m, height 5 m