

Ricerca di Sistema elettrico



**Analisi preliminari per lo sviluppo dei modelli
energetici e microclimatici per l'ottimizzazione
dell'applicazione di tecnologie verdi d'involucro alle
città (LA2.1)**

T. Susca, F. Zanghirella, V. Del Fatto

ANALISI PRELIMINARI PER LO SVILUPPO DEI MODELLI ENERGETICI E MICROCLIMATICI PER L'OTTIMIZZAZIONE DI TECNOLOGIE VERDI D'INVOLUCRO ALLE CITTÀ (LA2.1)

T. Susca (ENEA)
F. Zanghirella (ENEA)
V. Del Fatto (ENEA)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Linea di attività: LA2.1

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: gennaio 2022

Mese inizio effettivo: gennaio 2022

Mese fine previsto: giugno 2023

Mese fine effettivo: giugno 2023

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	5
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	13
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	14
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	15

1 Risultati attesi

Lista dei risultati attesi come da capitolato vigente

Qui deve esserci un elenco puntato che riassume esattamente i risultati previsti dalla LA come da capitolato.

1.1

Al termine della presente LA, ci si attende di aver:

- aggiornato la revisione della letteratura e le analisi dei risultati della stessa circa l'impiego di tecnologie verdi d'involucro (TVI) (i.e., tetti verdi estensivi, facciate verdi e living wall) al fine del contenimento del consumo energetico degli edifici considerando anche gli elementi di contesto dell'ambiente costruito come, ad esempio, il morfotipo, la tecnologia verde d'involucro impiegata e la stagione;
- aggiornato la revisione della letteratura e le analisi dei risultati della stessa circa l'impiego di tecnologie verdi d'involucro (i.e., tetti verdi estensivi, facciate verdi e living wall) al fine della mitigazione del surriscaldamento urbano considerando anche gli elementi di contesto dell'ambiente costruito come, ad esempio, il morfotipo, la tecnologia verde d'involucro impiegata e la stagione;
- analizzato la letteratura circa gli strumenti utilizzabili o implementabili al fine di simulare energeticamente in regime dinamico gli edifici considerando la potenziale installazione di tecnologie verdi d'involucro. A valle di tale analisi sarà stato individuato e acquistato il software che meglio si presta a tali attività;
- collezionato i dati propedeutici alle attività di modellazione e simulazione previste dalla LA2.2. Nello specifico, saranno state individuate le aree urbane rappresentative delle tipologie di tessuto urbano oggetto di studio, saranno state definite nel dettaglio le tecnologie verdi d'involucro da applicare agli scenari di mitigazione dell'UHI e saranno stati collezionati, di conseguenza, i parametri termici e idraulici relativi ai componenti delle stesse che durante la LA2.2 andranno ad implementare il database di ENVI-met;
- realizzato un rapporto tecnico di sintesi delle attività e dei risultati attesi sopra descritti.

2 Risultati ottenuti

Nel presente studio sono state riportate due revisioni della recente letteratura, ovvero dal 2019 alla fine del 2022, circa gli effetti che le TVI hanno sui consumi energetici degli edifici e sull'isola di calore urbana. È risultato che le TVI possono ridurre i consumi energetici invernali fino a circa il 20% e quelli estivi fino a circa il 60%, mentre possono mitigare le temperature urbane fino a circa 2 °C, con gli interventi relativi all'applicazione di TVI alla scala di quartiere risultanti di gran lunga più efficaci rispetto all'installazione delle TVI su edifici singoli.

Inoltre, si è investigata la letteratura scientifica internazionale circa i software che possono simulare in regime dinamico gli effetti dell'installazione delle TVI sugli edifici sui consumi energetici degli stessi. Dalla revisione della letteratura è risultato che, ad oggi, non esistono software in grado di simulare il comportamento termico sia di tetti sia di pareti verdi, infatti, solo il software EnergyPlus contiene un modulo che simuli il comportamento dei tetti verdi ma non le pareti verdi. Dall'analisi dei software è anche risultato che EnergyPlus è strutturato in modo tale da poter essere implementato in tal senso. Pertanto, nella prossima LA verrà utilizzato questo software, opportunamente implementato, per poter condurre analisi del comportamento termico delle TVI.

Successivamente, sono state individuate le città e le aree urbane di interesse per la modellazione e la simulazione delle stesse nella prossima LA. Dall'analisi delle città italiane sono state selezionate tre città — invece delle due come indicate dalla proposta di progetto—: Roma, Bari e Firenze ed altrettante aree urbane, una per ogni città, che saranno oggetto di studio futuro. Per le tre città sono stati individuati i giorni tipici estivi e la magnitudo dell'isola di calore urbana.

Infine, sono state definite le tipologie di TVI che verranno utilizzate per lo sviluppo e l'applicazione di scenari di mitigazione: un tetto verde estensivo, una facciata verde e un living wall. Per queste ultime sono state reperite le caratteristiche termo-idrauliche che ne consentono la modellazione nel software ENVI-met.

3 Prodotti attesi

- Rapporto tecnico sui risultati ottenuti nella LA2.1

4 Prodotti sviluppati

- Rapporto tecnico sui risultati ottenuti nella LA2.1
- Articolo scientifico: J. Iaria e T. Susca, «Analytic Hierarchy Processes (AHP) evaluation of green roof- and green wall- based UHI mitigation strategies via ENVI-met simulations», *Urban Climate*, vol. 46, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101293.
- Articolo scientifico: T. Susca, F. Zanghirella, e V. Del Fatto, «Building integrated vegetation effect on micro-climate conditions for urban heat island adaptation. Lesson learned from Turin and Rome case studies», *Energy and Buildings*, vol. 295, pag. 113233, set. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113233. (disponibile online dal 13 giugno 2023)

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Il budget previsto per l'acquisto di dati meteo non è stato utilizzato poiché è stato possibile reperire dati meteorologici gratuiti.

Le licenze annuali dei software di simulazione energetica e microclimatica, il cui acquisto era previsto nel terzo semestre della LA2.1, saranno acquistate nel primo semestre della LA2.2 poiché l'attività di simulazione è prevista durante tale LA.

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività svolte sono state:

- Revisione della letteratura circa gli effetti dell'installazione di pareti verdi (i.e., facciate verdi e living wall) e tetti verdi estensivi sui consumi energetici degli edifici;
- Revisione della letteratura circa gli effetti dell'installazione di pareti verdi (i.e., facciate verdi e living wall) e tetti verdi estensivi sul microclima urbano;
- Revisione della letteratura circa i software per la simulazione dinamica degli effetti dell'installazione di tecnologie verdi d'involucro sul consumo energetico degli edifici;
- Determinazione del software da implementare durante la LA2.7 e da utilizzare per la simulazione del comportamento termico di tetti e pareti verdi nella LA2.2;
- Determinazione delle città, delle aree urbane oggetto di studio e della magnitudo della loro isola di calore urbana estiva;
- Determinazione delle tecnologie verdi d'involucro da utilizzare per le simulazioni che verranno eseguite durante la LA2.2 e dei loro dati termo-idraulici.

7 Dettaglio delle attività svolte

Durante la presente LA sono state svolte le attività come da proposta di progetto e descritte di seguito in dettaglio.

Prima di tutto la letteratura circa gli effetti dell'installazione di pareti verdi (i.e., facciate verdi e living wall) e tetti verdi estensivi sui consumi energetici degli edifici è stata revisionata. La revisione della letteratura è stata condotta per gli anni 2019-2022 a completamento della revisione fatta nel precedente triennio di RdS. Inoltre, per lo stesso periodo di tempo, è stata condotta la revisione della letteratura circa gli effetti dell'installazione di pareti verdi (i.e., facciate verdi e living wall) e tetti verdi estensivi sul microclima urbano a completamento della revisione fatta nel precedente triennio di RdS. In particolare, su Scopus, al fine di selezionare gli articoli è stata utilizzata la seguente stringa: "Extensive green roof" OR "green façade" OR "living wall" AND "building energy" OR "heating energy" OR "cooling energy" OR "urban heat island" OR "UHI" utilizzando il booleano "OR" per includere le parole chiave o i sinonimi di queste e il booleano "AND" per congiungere le parole chiave. Sono risultati 187 articoli dall'inserimento delle parole chiave. Da questi 187 articoli sono stati eliminati tutti gli articoli di revisione, quelli il cui titolo non era inerente gli argomenti della revisione, gli articoli pubblicati su atti di convegno perché non sempre peer-reviewed, quelli pubblicati in una lingua diversa dall'inglese, pubblicati su riviste nazionali, così come la letteratura grigia e quella non revisionata da pari. Dall'applicazione dei criteri di esclusione sono risultati 25 articoli. Questi sono stati revisionati considerando gli effetti delle tecnologie verdi d'involucro sia sull'uso dell'energia sia sul surriscaldamento urbano. È risultato che 19 articoli sono relativi all'effetto delle tecnologie verdi d'involucro sull'uso dell'energia e otto sul surriscaldamento urbano, con due articoli che trattano entrambi gli argomenti. I 19 articoli relativi alle tecnologie verdi d'involucro e al consumo energetico degli edifici corrispondono a 151 casi di studio, mentre gli otto articoli relativi alle tecnologie verdi d'involucro e all'isola di calore urbana corrispondono a 44 casi di studio.

Per quel che riguarda i casi di studio relativi agli effetti delle tecnologie verdi d'involucro sui consumi energetici degli edifici, sono stati raccolti dati circa l'area climatica e la città in cui lo studio viene condotto, la tipologia di tecnologia verde d'involucro, l'orientamento delle facciate su cui le pareti verdi sono installate, la stagione in cui le performance termiche delle TVI vengono considerate, l'altezza dell'edificio su cui la TVI viene applicata e il contesto urbano, il tipo di studio, la variazione del fabbisogno energetico per il riscaldamento e/o raffrescamento degli edifici, la percentuale di copertura della TVI, l'indice di area fogliare, le informazioni circa le dimensioni del canyon urbano qualora la TVI fosse installata in un canyon urbano, se la TVI è applicata ad un singolo edificio o ad un'area urbana, il numero di facciate coperte con pareti verdi, il tipo di pianta e di involucro edilizio e l'eventuale presenza di isolamento termico dello stesso. Mentre, per quel che riguarda l'effetto delle TVI sull'isola di calore urbana, sono stati raccolti dati circa l'area climatica e la città in cui lo studio viene condotto, la tipologia di tecnologia verde d'involucro, l'orientamento delle facciate su cui le pareti verdi sono installate, la stagione in cui le performance termiche delle TVI vengono considerate, l'altezza dell'edificio su cui la TVI viene applicata e il contesto urbano, il tipo di studio, la variazione della temperatura dell'aria per effetto dell'applicazione delle TVI, se tale variazione corrisponde a un valore puntuale o medio per l'area oggetto di studio, l'indice di area fogliare, le informazioni circa le dimensioni del canyon urbano qualora la TVI fosse installata in un canyon urbano, se la TVI è applicata ad un singolo edificio o ad un'area urbana, il numero di facciate coperte con pareti verdi, le condizioni meteorologiche in cui lo studio è condotto, il tipo di pianta e di involucro edilizio.

È stata condotta la revisione della letteratura circa i software per la simulazione dinamica degli effetti dell'installazione di tecnologie verdi d'involucro sul consumo energetico degli edifici. In particolare, sono stati revisionati i software disponibili che fossero in grado di simulare il comportamento energetico in regime

dinamico di tetti e pareti verdi quando installati sugli edifici. Dall'analisi della letteratura è risultato che ad oggi non esistono software già pienamente implementati in tal senso, tuttavia, EnergyPlus è in grado di simulare il comportamento termico dei tetti verdi ma non quello delle pareti verdi offrendo, però, la possibilità di aggiungere moduli che implementino le potenzialità del software stesso. Infatti, sono stati trovati esempi in letteratura di studi che hanno implementato moduli che simulassero il comportamento delle pareti verdi. Pertanto, il software EnergyPlus è stato scelto affinché venga implementato ad hoc durante la LA2.7 dal Politecnico di Torino per simulare il comportamento termico delle pareti. Il software così implementato verrà utilizzato durante la LA2.2.

Inoltre, si è proceduto alla determinazione delle città, delle aree urbane oggetto di studio e della magnitudo della loro isola di calore urbana estiva. Nello specifico sono state selezionate tre città, invece delle due indicate nella proposta di progetto. La scrematura è stata condotta, prima di tutto, individuando l'area climatica più estesa nel nostro Paese, ovvero la Csa. Delle città appartenenti a tale area climatica sono state selezionate quelle per le quali fossero disponibili dati storici provenienti da una centralina meteorologica urbana. In particolare, le centraline dovevano essere posizionate in aree pronte alla formazione dell'isola di calore urbana. Per la determinazione delle tre città dovevano inoltre essere presenti dati provenienti da una centralina meteorologica posta in area rurale o aeroportuale in modo tale che confrontando le temperature registrate dalle centraline urbane e rurali fosse possibile determinare la magnitudo dell'isola di calore urbana delle tre città. Inoltre, tra le città rispondenti a tali requisiti sono state selezionate le aree urbane che fossero caratterizzate da una densità urbana compresa tra 0,3 e 0,4, ovvero densamente urbanizzate con edifici di altezza media di 15-20 m, e caratterizzate da una scarsa vegetazione urbana. Infine, tra le aree urbane rimanenti sono state selezionate quelle caratterizzate da tre diversi assetti urbani: puntiforme, lineare e chiuso. Le aree urbane derivanti da tale selezione sono quelle nei dintorni di via Lanciani a Roma, quella di viale Kennedy a Bari e Gavinana a Firenze (Figura 1).

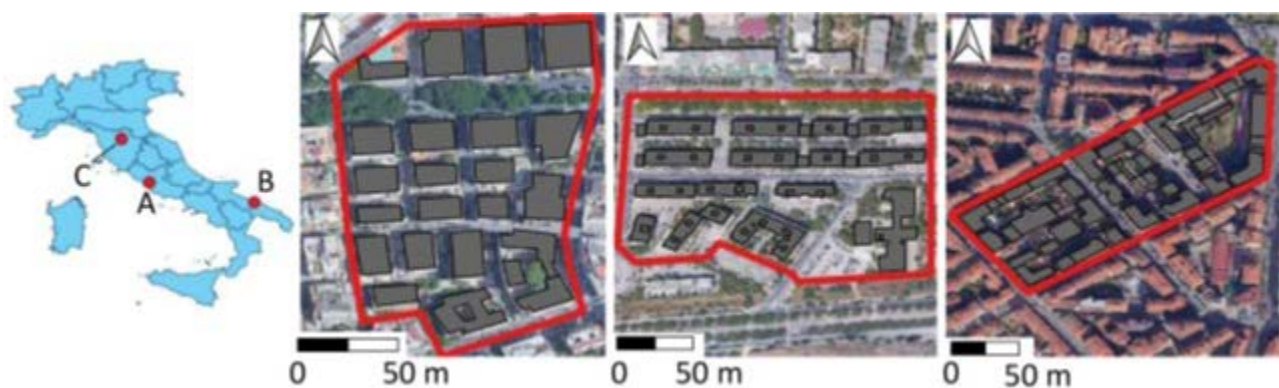


Figura 1. Indicazione delle città e delle aree urbane selezionate. Fonte: ¹

Per ciascuna area urbana selezionata è stata individuata la magnitudo dell'isola di calore urbana. In particolare, sono stati individuati i giorni tipici estivi per ciascuna città e da questi sono stati selezionati i giorni reali che rispetto ai giorni tipici presentassero il massimo coefficiente di correlazione e i minimi valori relativi all'errore quadratico medio e all'errore medio assoluto; tali giorni sono risultati essere il 1° luglio 2015 per Roma, per Bari il 21 agosto 2020 e per Firenze il 20 agosto 2016. Per queste giornate tipiche estive sono stati calcolati i profili orari dell'isola di calore urbana riportati in Figura 2.

¹ J. Iaria e T. Susca, «Analytic Hierarchy Processes (AHP) evaluation of green roof- and green wall- based UHI mitigation strategies via ENVI-met simulations», Urban Climate, vol. 46, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101293.

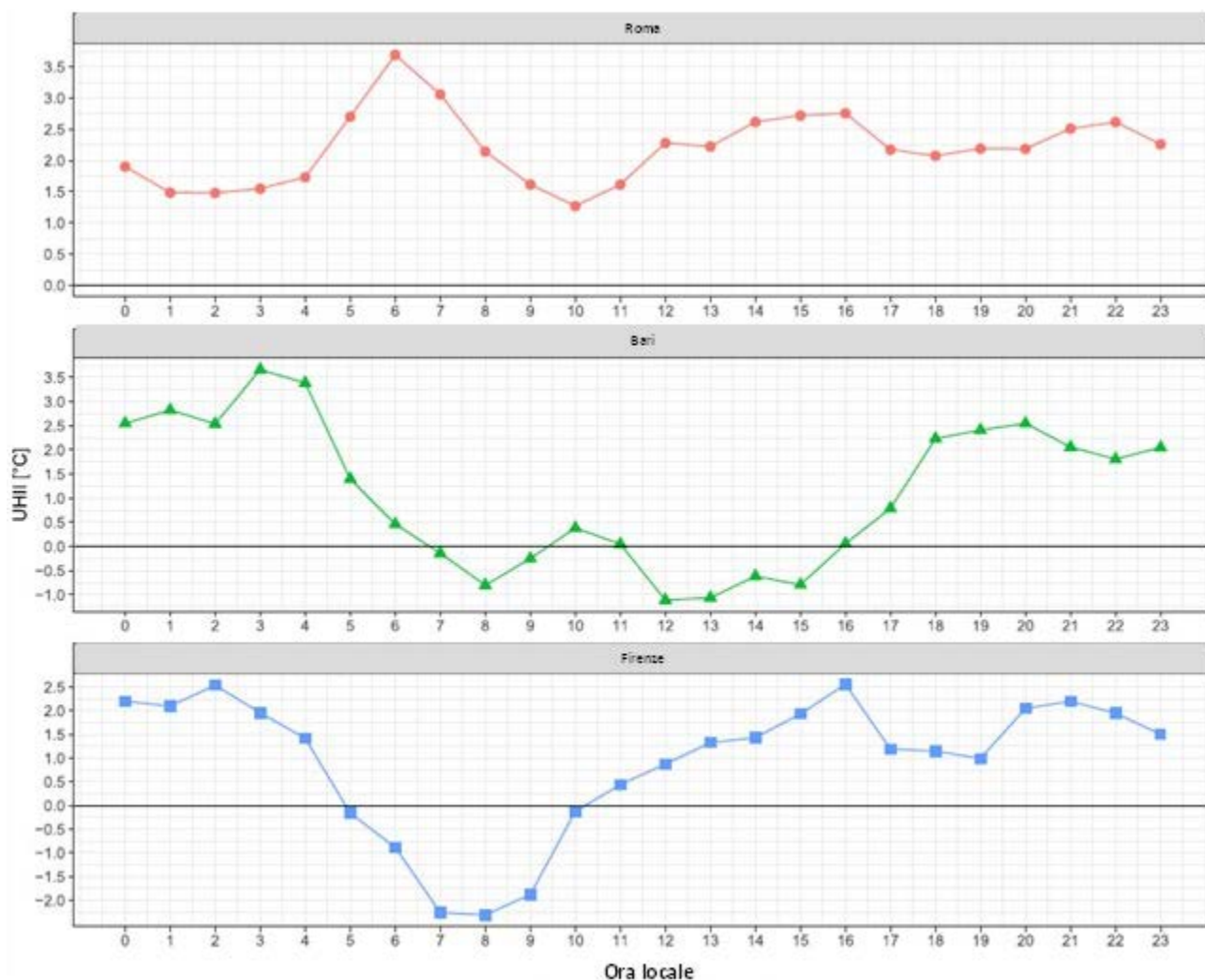


Figura 2. Magnitudo e variazione dell'isola di calore urbana per le tre città durante le tre giornate tipiche estive. Fonte: ¹

Infine, sono state determinate le tecnologie verdi d'involucro da utilizzare per sviluppare scenari che verranno simulati, mediante l'utilizzo del software ENVI-met, durante la LA2.2. In particolare, dato che sono state selezionate aree urbanizzate, verranno utilizzati per lo sviluppo degli scenari i tetti verdi estensivi che, per il loro ridotto peso, possono essere installati su edifici esistenti. Inoltre, per gli stessi scenari, verranno utilizzati anche facciate verdi perché estremamente economiche e facili da realizzare e living wall che, se pur più complesse nella struttura e più costose, potrebbero fornire maggiori vantaggi sia in termini di risparmio energetico degli edifici sia in termini di mitigazione dell'isola di calore urbana. Nel dettaglio, sono stati selezionati una facciata verde con hederà helix, un living wall a fioriere con felce e un tetto verde estensivo con un mix di sedum (Figura 3).

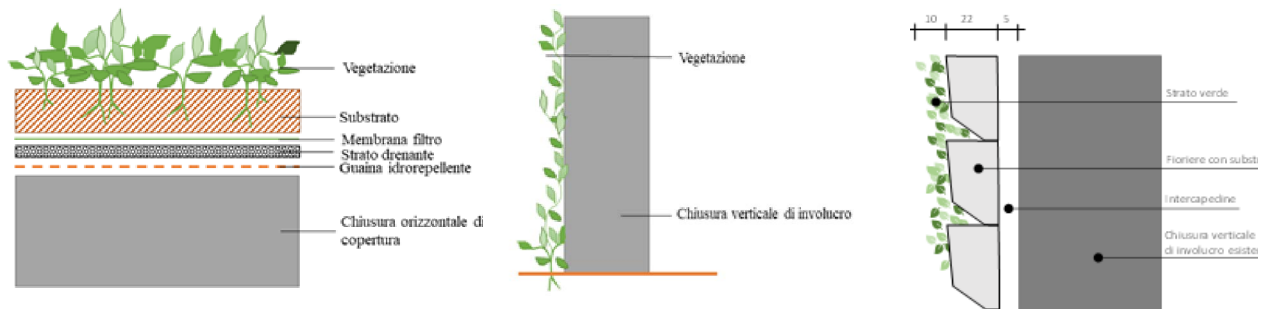


Figura 3. Tecnologie verdi d’involucro selezionate per lo sviluppo di scenari di mitigazione

Per le tecnologie verdi d’involucro selezionate, sono stati raccolti i dati circa le caratteristiche termo-idrauliche degli strati che le costituiscono. In particolare, tali dati sono stati reperiti dalla letteratura scientifica pubblicata e contattando direttamente un produttore di living wall.

Alcune delle analisi fatte durante la presente LA sono state organizzate e sintetizzate in due articoli scientifici pubblicati su giornali scientifici internazionali, ovvero:

- J. Iaria e T. Susca, «Analytic Hierarchy Processes (AHP) evaluation of green roof- and green wall- based UHI mitigation strategies via ENVI-met simulations», Urban Climate, vol. 46, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101293.
- T. Susca, F. Zanghirella, e V. Del Fatto, «Building integrated vegetation effect on micro-climate conditions for urban heat island adaptation. Lesson learned from Turin and Rome case studies», Energy and Buildings, vol. 295, pag. 113233, set. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113233. (disponibile online dal 13 giugno 2023)

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non è prevista nessuna consulenza.

9 Pubblicazioni scientifiche

- J. Iaria e T. Susca, «Analytic Hierarchy Processes (AHP) evaluation of green roof- and green wall-based UHI mitigation strategies via ENVI-met simulations», *Urban Climate*, vol. 46, 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101293.
- T. Susca, F. Zanghirella, e V. Del Fatto, «Building integrated vegetation effect on micro-climate conditions for urban heat island adaptation. Lesson learned from Turin and Rome case studies», *Energy and Buildings*, vol. 295, pag. 113233, set. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113233 (disponibile online dal 13 giugno 2023).

10 Eventi di disseminazione

Non è stato effettuato nessun evento di disseminazione.