

Le NbS-Nature-based Solutions per l'architettura e la città

L'approccio prestazionale alle tecnologie vegetate
Atti della conferenza 2023

a cura di Elena Giacomello, Leonardo Filesi,
Massimiliano Scarpa, Giovanni Perrucci



Ricerche di tecnologia dell'architettura
FrancoAngeli 

RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

diretta da Giovanni Zannoni (Università di Ferrara)

Comitato scientifico:

Andrea Boeri (Università di Bologna), Andrea Campioli (Politecnico di Milano), Joseph Galea (University of Malta), Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Giorgio Giallocosta (Università di Genova), Nancy Rozo Montaña (Universidad Nacional de Colombia)

La collana *Ricerche di tecnologia dell'architettura* tratta prevalentemente i temi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design con particolare attenzione alla costruibilità del progetto. In particolare gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle scale esecutive e quindi le modalità di realizzazione, trasformazione, manutenzione, gestione e recupero dell'ambiente costruito.

I contenuti scientifici comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi.

Nel campo del design i contenuti riguardano le teorie, i metodi, le tecniche e gli strumenti del progetto di artefatti e i caratteri produttivi-costruttivi propri dei sistemi industriali.

I settori nei quali attingere per le pubblicazioni sono quelli dei progetti di ricerca nazionali e internazionali specie di tipo sperimentale, le tesi di dottorato di ricerca, le analisi sul costruito e le possibilità di intervento, la progettazione architettonica cosciente del processo costruttivo.

In questi ambiti la collana pubblica progetti che abbiano finalità di divulgazione scientifica e pratica manualistica e quindi ricchi di spunti operativi per la professione di architetto.

La collana nasce sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi nel 1974.

I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata affidata a un Comitato scientifico, diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura e proseguire l'importante opera di divulgazione iniziata quarant'anni prima.

Con il contributo di:



Con il patrocinio di:



Titolo della conferenza:

**Le NbS-Nature-based Solutions per l'architettura e la città.
L'approccio prestazionale alle tecnologie vegetate – Conferenza 2023
NbS-Nature-based Solutions for the architecture and the city.
Performance oriented approach to vegetative systems – 2023 Conference**

La conferenza si è svolta il 13 ottobre 2023 presso l'Università Iuav di Venezia, aula Tafuri/Palazzo Badoer.

I contributi del Dipartimento di culture del progetto dell'Università Iuav di Venezia e della società Harpo verdepensile di Trieste hanno reso possibile l'organizzazione della conferenza e la pubblicazione degli atti.

Comitato scientifico della conferenza:

Simona Armeli Minicante, dott. Risorse biologiche marine, dott. ricerca Scienze naturali, tecnologo CNR-Consiglio Nazionale delle Ricerche di Venezia

Paolo Cornelini, ingegnere e dott. Scienze naturali, AIPIN-Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica

Leonardo Filesi, professore di Botanica ambientale e applicata, Università Iuav di Venezia

Matteo Fiori, professore di Architettura tecnica, Politecnico di Milano

Elena Giacomello, ricercatore di Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

Giovanni Perrucci, assegnista di ricerca di Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

Massimiliano Scarpa, professore di Fisica tecnica ambientale, Università Iuav di Venezia

Valeria Tatano, professore di Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

Ciascun contributo pubblicato è stato oggetto di valutazione da parte di due revisori anonimi (*double-blind peer-review*).

Sito web della conferenza

<https://sites.google.com/view/nature-based-solutions-iuav/home>



Le NbS-Nature-based Solutions per l'architettura e la città

**L'approccio prestazionale alle tecnologie vegetate
Atti della conferenza 2023**

a cura di Elena Giacomello, Leonardo Filesi,
Massimiliano Scarpa, Giovanni Perrucci

Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 

In copertina: Sede Allianz di Trieste: copertura a verde a prato naturale
(Fonte: Harpo verdepensile, Trieste).

Isbn e-book Open Access: 9788835157557

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Publicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate*
4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0)

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore.
L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni
della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito*
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Indice

Introduzione, di *Elena Giacomello* pag. 7

Tema 1 – Gestione idrologica urbana

Valorizzare l’impatto delle soluzioni basate sulla natura:
dalla singola installazione alla diffusione alla scala urbana
di *Anna Palla, Ilaria Gnecco, Sabrina Sposito* » 11

Restituire spazio all’acqua e agli ecosistemi degli ambienti
umidi: fitodepurazione e altri benefici
di *Carlo Bendoricchio, Paolo Cornelio* » 25

Tema 2 – Biodiversità e servizi eco-sistemici

NbS a diverse scale per problemi complessi:
il caso di Civita di Bagnoregio (VT)
di *Leonardo Filesi, Paolo Cornelini* » 41

Applicazione di NBS per il comfort e l’efficienza lavorativa
degli utenti in ambienti ad uso ufficio: uno studio
in Realtà Virtuale
di *Marco D’Orazio, Arianna Latini, Elisa Di Giuseppe* » 53

Biomimetic patterns for designing Nature-based Solutions
by *Leonardo Marotta* » 67

NbS, fornitura di habitat e modelli ecologici
di *Daniele Brigolin* » 79

Specie selvatiche autoctone, considerazioni ecologiche
su utilizzo e gestione per prati a bassa manutenzione
di *Silvia Assolari* pag. 88

Tema 3 – Impatti sul microclima urbano e benefici termici

Modellazione termo-igrometrica a supporto della
progettazione di Nature-based Solutions
di *Massimiliano Scarpa, Elena Giacomello, Fabio Peron,
Ugo Mazzali* » 99

Comportamento termico di una copertura innovativa a verde
estensivo: monitoraggio di un campo-prove
di *Elena Giacomello* » 105

Tema 4 – Gestione, manutenzione e fabbisogno idrico della vegetazione

Theoretical and applied knowledge of plant water relations
to minimise water needs of green roofs
by *Andrea Nardini, Martina Tomasella, Sergio Andri* » 123

Aspetti chiave per pareti vegetate sostenibili
di *Paolo Pignataro* » 133

Il piano di gestione del patrimonio arboreo. Far vivere
gli alberi per far vivere la città
di *Ciro Degl'Innocenti* » 147

Piante mediterranee: una scelta “nature based solution”
per il verde urbano
di *Leonardo Capitano* » 161

Casi studio

Soluzioni a verde pensile per le più recenti realizzazioni
ospedaliere del Gruppo San Donato
di *Massimo Semola* » 165

Il ruolo delle Water Utilities nello sviluppo di un approccio
NBS allo stormwater management
di *Kivilcim Cornelia Di Finizio, Anacleto Rizzo,
Massimiliano Ferazzini* » 175

Comportamento termico di una copertura innovativa a verde estensivo: monitoraggio di un campo-prove

di *Elena Giacomello**

Abstract

Monitoring of an innovative extensive green roof: results from a field-test

The green roof is characterized by an interesting thermal behavior particularly in summer season, thanks to: its consistent mass and thickness, the presence of plants that use solar energy for their physiological functions, and the presence of water. The green roof is “a cold surface”, unlike most of the constructed surfaces which, in summer, during the hottest hours of the day, can reach very high temperatures, above 50°C and even 60°C contributing to the urban heat island effect.

This research analyzes the temperatures of an innovative extensive green roof during the hot season. The sample green roof – which is placed in the Venice hinterland – is characterized by highly drought-resistant vegetation and an intelligent irrigation system aimed at reducing the use of water. The tested irrigation saves the water resource, accustoms plants to limit of their water-need, and, as a consequence, reduces the biomass production. Monitoring the temperatures of the support course helps to understand the links between vegetation-substrate-water with the climatic elements, in order to make the green roof system more efficient.

1. Introduzione

Le coperture a verde sono sistemi tecnologici vegetati capaci di fornire benefici e prestazioni a favore dell'ambiente interno dell'edificio, ma anche dell'ambiente esterno immediato e urbano. Una stratigrafia di spessore consistente (nel caso delle coperture a verde estensivo, almeno 15 cm oltre

* Università Iuav di Venezia.

alla vegetazione), unitamente alla capacità di drenaggio/accumulo idrico e alle numerose funzioni vegetali contribuiscono positivamente: all'isolamento termico dell'edificio (Campiotti *et al.*, 2021; Maiolo *et al.* 2020; La Roche, Berardi, 2014), anche durante la stagione estiva (Del Barrio, 1998; Theodosiou, 2003; Onmura *et al.*, 2001), al contenimento dell'effetto isola di calore urbana (Akbari, Kolokotsa, 2016; Dwivedi, Mohan, 2018; Santamouris, 2014) e alla riduzione dei deflussi delle acque meteoriche (Palla *et al.*, 2010; Carter, Jackson, 2007; Giacomello, Gaspari, 2021). Inoltre, la vegetazione delle coperture a verde concorre a migliorare la qualità dell'aria attraverso i processi di fotosintesi clorofilliana e assorbimento delle polveri sottili (Speaka *et al.*, 2012; Currie, Bass, 2008) e sostiene la biodiversità urbana (Benvenuti, 2014; Blank *et al.*, 2017). Infine le coperture a verde, in virtù del ripristino di "suolo apparentemente naturale", si prestano ad essere progettate, attrezzate e utilizzate similmente a un tradizionale spazio aperto inverdito, presentando risvolti funzionali e formali peculiari, accomunati dalla restituzione di uno spazio verde e naturale (altrimenti sottratto dall'edificio e dalla sua copertura) fruibile come tale con innumerevoli possibilità e destinazioni d'uso.

Fra i benefici elencati, quelli legati alle temperature della stratigrafia sono caratterizzati da elevata variabilità in relazione allo spessore del sistema, alle specie vegetali presenti, alle loro dimensioni e al contenuto d'acqua che varia per effetto dell'evapo-traspirazione. Per questo motivo il contributo presenta il monitoraggio di una copertura a verde estensivo svolto durante il periodo estivo, quando il sistema è maggiormente sollecitato da temperature elevate e quindi da potenziali stress termici e idrici a danno della vegetazione¹. È importante sottolineare il monitoraggio ha testato un sistema di controllo dell'irrigazione a deficit idrico controllato (Tomasella, 2022) che tende a stabilizzare il contenuto idrico del sistema su valori inferiori alla massima ritenzione.

2. Obiettivi

Gli obiettivi principali del monitoraggio sono stati la verifica del funzionamento e del comportamento termico di una copertura a verde caratterizzata da alcuni elementi di innovazione inerenti in particolare lo strato vegetale e il sistema di irrigazione (specificati di seguito).

1. La ricerca è stata condotta in collaborazione con i professori Valeria Tatano e Fabio Peron dell'Università Iuav di Venezia.

Le analisi sono state rivolte a verificare alcuni parametri, in regime estivo, ossia:

- lo sfasamento dei picchi di temperatura fra aria e copertura a verde;
- le temperature a diverse profondità dello strato colturale;
- le temperature dello strato colturale in presenza di aerazione della copertura e meno;
- la presenza di irrigazione e meno;
- la presenza di vegetazione e meno.

3. Metodologia

La metodologia di ricerca ha previsto azioni ripetitive di controllo del campo prove, trascrizione e analisi dei dati registrati dalle sonde installate e dalla successiva rielaborazione dei dati al fine di raggiungere gli obiettivi prestabiliti.

3.1. Il campo prove

Il campo prove consiste in una falda di copertura a verde, delle dimensioni di 6 m² (2,40 × 2,50 m), collocata su una superficie pavimentata sub-orizzontale². La stratigrafia del sistema è rappresentata in Fig. 1.

Le principali caratteristiche innovative del sistema sono:

1. lo strato di vegetazione: si tratta di un sistema a verde estensivo “a prato naturale” costituito da una mescolanza di 53 specie selvatiche autoctone – di cui 11 annuali e 42 perenni – e 1 sola commerciale (Figg. 6 e 7) che, fra varie caratteristiche, presentano la capacità di vivere con un apporto idrico molto contenuto (condizione ideale per lo sviluppo vegetale di una copertura a verde);
2. il sistema di “irrigazione intelligente”: la centralina di irrigazione si avvale di 1 sonda di temperatura e 2 di umidità per irrigare autonomamente mantenendo l'idratazione dello strato colturale al minimo fisiologico necessario per le specie vegetali impiegate. La centralina è programmata per irrigare 2 volte al giorno (alle 9.00 e alle 21.00), se necessario, e per una durata che viene determinata dalla centralina sulla base dei valori rilevati dalle sonde, in tempo reale.

2. Il campo prove è stato installato nell'area del Fistec Laboratorio di fisica tecnica ambientale e del Labsco Laboratorio di scienza delle costruzioni dell'Università Iuav di Venezia.

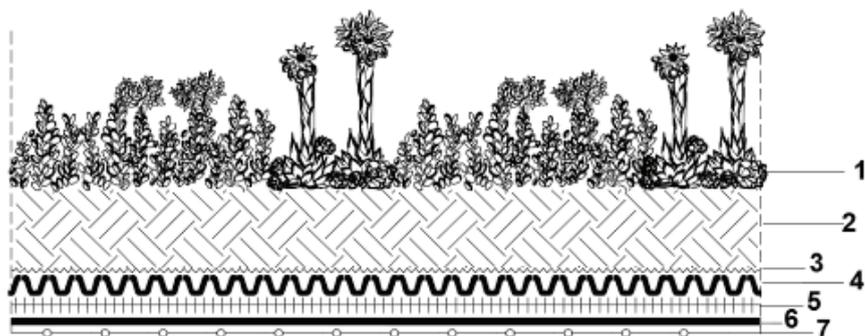


Fig. 1 – Sezione della copertura oggetto del monitoraggio (sistema fornito da Harpo verdepensile): (1) strato di vegetazione: verde estensivo a prato naturale (sementi fornite da Semenostrium); (2) strato colturale, 15 cm: tefriti espanse + 3% sostanza organica (3) elemento filtrante (4) strato di accumulo idrico, drenaggio, aerazione, 4 cm: pannelli preformati di polistirene, (5) strato di protezione e accumulo idrico (6) elemento di tenuta all'acqua: membrana in bitume-polimero, (7) strato di separazione. Al di sotto si trovano i pallet, 14 cm, riempiti di inerti fini nella metà di sx, vuoti nella metà di dx

Le altre caratteristiche rilevanti del sistema sono:

1. lo strato colturale è un substrato minerale costituito prevalentemente da tefriti di diverso chimismo e una parte di sostanza organica del 3%, di spessore pari a 15 cm (Fig. 5);
2. lo strato di drenaggio e accumulo idrico è un pannello preformato dello spessore di 4 cm (Fig. 4);
3. una delle due metà dell'impalcato del sistema – costituito da bancali in legno Europallet – è stato riempito di inerti fini (analogamente a una struttura portante di calcestruzzo), mentre l'altra metà è vuota (analogamente a una copertura ventilata/aerata), Fig. 2.

3.2. La strumentazione installata

La copertura è stata monitorata attraverso 11 sonde disposte a 2 diverse profondità, -6 cm e -12 cm come rappresentato in Fig. 8:

- 1 sonda di temperatura della centralina di irrigazione collocata nello strato colturale a -6 cm dalla superficie: sonda viola “irrigation control unit”;
- 2 sonde di umidità della centralina di irrigazione collocate a -6 cm: sonde grigie “water control (1); water control (2)”;
- 8 sonde di temperatura (termoresistenze al platino con resistenza nominale pari a 100 Ω a 0°C) collegate a un registratore di dati. Di queste, 4 sono collocate a -6 cm (sonde “(2); (8); (4); (6)”) e 4 a -12 cm (“(1); (7); (3); (5)”); 4 sono collocate sopra la stratigrafia che presenta contro terra il riempimento di inerti fini e sabbia (a sinistra: sonde “(1); (2); (7); (8)”) e 4 sopra la stratigrafia che presenta contro terra il vuoto (a destra: sonde “(3); (4); (5); (6)”).

Oltre ai dati registrati dalle sonde, sono stati raccolti e utilizzati i dati Arpav³ inerenti i seguenti parametri ambientali: temperatura dell’aria e umidità relativa dell’aria, precipitazioni, radiazione solare, intensità e direzione del vento.



Fig. 2 – L'impalcato è riempito di inerti fini nella metà di sx, mentre è vuoto nella metà di dx



Fig. 3 – L'impalcato è impermeabilizzato da una membrana in bitume polimero

3. Agenzia regionale per la protezione e prevenzione ambientale del Veneto. I dati sono acquisiti dalla stazione meteorologica di Favaro Veneto, distante 1 km dal campo prove.



Fig. 4 – Lo strato di drenaggio e accumulo idrico è costituito da pannelli preformati il polistirene

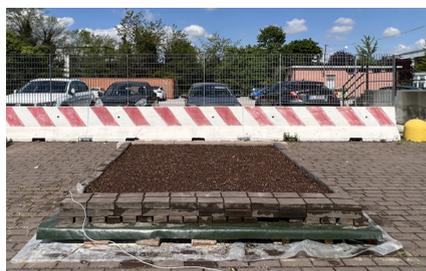


Fig. 5 – Lo strato colturale è costituito da una miscela prevalentemente minerale di zeolite con 3% di sostanza organica



Fig. 6 – 11/05/2022 primi germogli a un mese dalla semina



Fig. 7 – 22/07/2022 La copertura vegetale è al 90%

3.3. L'elaborazione dei dati

I dati sono stati raccolti per un periodo di tempo di 5 mesi dal 03/05/2022 al 01/10/2022.

L'elaborazione è avvenuta analizzando dapprima l'andamento dei dati e dei parametri a intervalli giornalieri, di 3 giorni e settimanali, selezionando e confrontando successivamente quegli intervalli più utili a descrivere il comportamento termico della copertura e a rispondere agli obiettivi della ricerca.

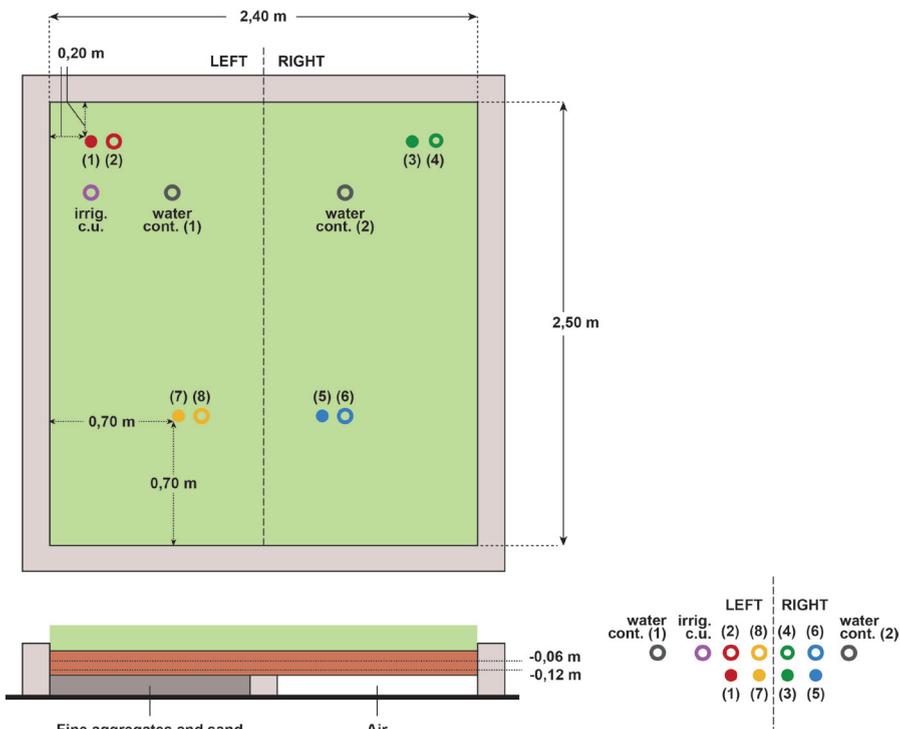


Fig. 8 – Schema del campo prove in cui è evidenziata la posizione di ciascuna sonda

4. Risultati

Una parte dei risultati del monitoraggio viene riportata nelle sezioni che seguono.

4.1. Sfasamento dei picchi di massima temperatura

Sono stati selezionati due periodi di 5 giorni ciascuno – il primo periodo va dal 17 al 21 giugno 2022 (p_1) e il secondo dal 16 al 20 luglio 2022 (p_2) – in cui la radiazione solare è stata caratterizzata da curve regolari e valori elevati per tutti i giorni (Figg.9 e 10).

Come illustrato nelle Tab. 1 e 2 i picchi della radiazione solare si verificano fra le 12.00 (5 picchi) e le 13.00 (5 picchi) e il valore medio della radiazione solare è 879 W/m^2 .

I picchi di massima temperatura (T_{\max}) dell'aria si verificano fra le 13.00 (1 picco il giorno 19/06) e le 18.00 (1 picco il 18/06) con maggiore frequenza fra le 14.00 (3 picchi) e le 15.00 (3 picchi). Quindi i picchi di T_{\max} dell'aria si verificano con maggiore frequenza 2-3 ore dopo i picchi di radiazione solare.

Nella settimana di giugno i picchi di T_{\max} delle sonde superficiali si verificano come segue: 4 picchi alle 14.00 delle sonde 4 e 8; 15 picchi alle 15.00 di tutte e quattro le sonde; 1 picco alle 16.00 della sonda 2 (il 21/06). Nella maggior parte dei casi, quindi, i picchi di T_{\max} delle sonde superficiali si verificano alla stessa ora e 1 ora dopo i picchi di T_{\max} dell'aria. Analogamente nella settimana di luglio la maggior parte dei picchi di T_{\max} delle sonde superficiali avvengono alle 15.00: 13 picchi alle 15.00 delle sonde 8, 4 e 6; 1 picco alle 14.00 della sonda 6 (il 16/07); 1 picco alle 16.00 della sonda 4 (il 18/07); mentre tutti e 5 i picchi della sonda 2 avvengono alle 17.00. Il giorno 18/07 i picchi delle sonde superficiali, invece, avvengono 1 o 2 ore prima dei picchi di T_{\max} dell'aria. Similmente, il 19/07 tutti i picchi di T_{\max} delle sonde superficiali avvengono 1 ora prima dei picchi di T_{\max} dell'aria.

Gli ultimi picchi di T_{\max} , in sequenza temporale, sono quelli delle sonde profonde che presentano una più marcata differenza fra la condizione di sx (impalcato riempito di inerti fini) e dx (impalcato vuoto). Nella settimana di giugno i picchi di delle sonde profonde di sx avvengono fra le 17.00 (5 picchi della sonda 1) e le 18.00 (5 picchi della sonda 7), mentre quelli delle sonde profonde di dx avvengono fra le 16.00 (3 picchi) e le 17.00 (2 picchi) della sonda 3 e fra le 17.00 (4 picchi) e le 18.00 (1 picco il 21/06) della sonda 5. Nella settimana di luglio, 9 dei picchi delle sonde profonde di sx si verificano alle 18.00 e 1 alle 19.00 della sonda 7 (il 16/07); 7 dei picchi delle sonde profonde di dx, invece, si verificano alle 17.00 e 3 alle 18.00 quindi, con buona approssimazione, i picchi di dx si verificano 1 ora prima dei picchi di sx.

In sintesi, nei due periodi selezionati, di giugno e luglio 2022 di 5 giorni consecutivi ciascuno, in cui la radiazione solare è stata massima, nella maggior parte dei casi la frequenza dei picchi di T_{\max} ha evidenziato che:

- i picchi dell'aria avvengono alle 15.00, nell'arco della stessa ora dei picchi delle sonde superficiali e dopo 2-3 ore dei picchi di radiazione solare;
- i picchi delle sonde profonde di sx (impalcato riempito con inerti fini) avvengono fra le 17.00 e le 18.00, mentre i picchi delle sonde profonde di dx fra le 16.00 e le 18.00 con una frequenza maggiore alle 17.00.

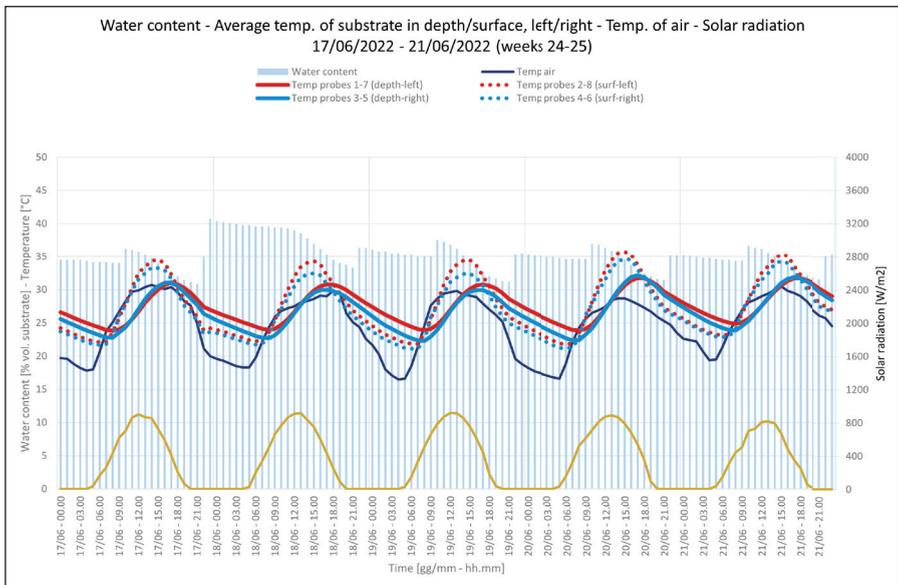


Fig. 9 – Valori registrati nel periodo p_1 dal 17/06 al 21/06/2022

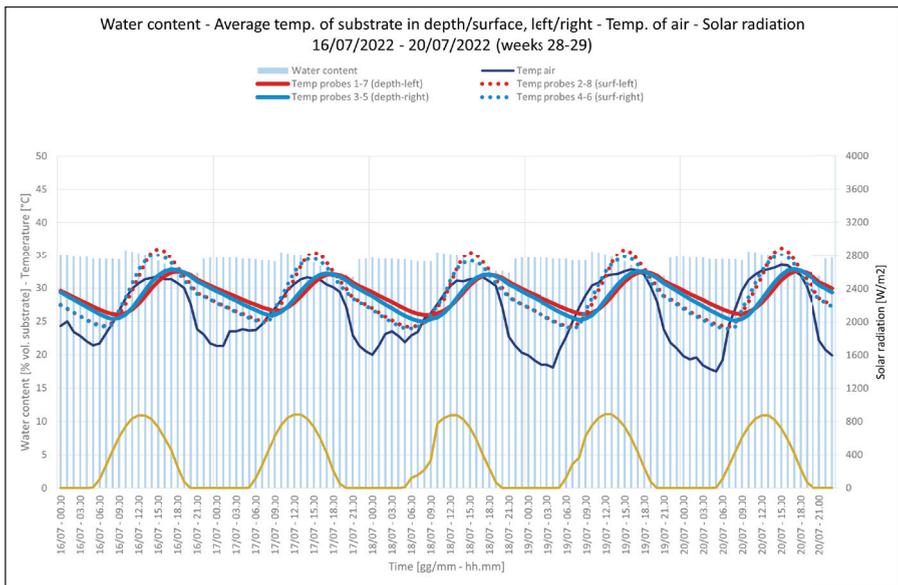


Fig. 10 – Valori registrati nel periodo p_2 dal 16/07 al 20/07/2022

Time	Solar radiation	Temperature air	Temperature probe 1 (depth-left)	Temperature probe 7 (depth-left)	Temperature probe 3 (depth-right)	Temperature probe 5 (depth-right)	Temperature probe irrigation control unit	Temperature probe 2 (surf-left)	Temperature probe 8 (surf-left)	Temperature probe 4 (surf-right)	Temperature probe 6 (surf-right)
hh	W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0
15	0	1	0	0	0	0	1	4	3	3	5
16	0	0	0	0	3	0	4	1	0	0	0
17	0	0	5	0	2	4	0	0	0	0	0
18	0	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 1 – Frequenza oraria dei picchi di T_{max} nel periodo p_1 dal 17/06 al 21/06/2022

Time	Solar radiation	Temperature air	Temperature probe 1 (depth-left)	Temperature probe 7 (depth-left)	Temperature probe 3 (depth-right)	Temperature probe 5 (depth-right)	Temperature probe irrigation control unit	Temperature probe 2 (surf-left)	Temperature probe 8 (surf-left)	Temperature probe 4 (surf-right)	Temperature probe 6 (surf-right)
hh	W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	0	2	0	0	0	0	0	0	5	4	4
16	0	1	0	0	0	0	5	5	0	1	0
17	0	1	0	0	4	3	0	0	0	0	0
18	0	0	5	4	1	2	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 2 – Frequenza oraria dei picchi di T_{max} nel periodo p_2 dal 16/07 al 20/07/2022

4.2. Differenze fra le temperature massime medie dei picchi

Le Tabb. 3 e 4 restituiscono i valori medi delle temperature (T_{av}) di entrambi i periodi considerati (p_1+p_2): a fronte di un picco di temperatura massima medi (T_{max-av}) dell'aria di 30,78°C alle 15.00 (2-3 ore dopo il picco di radiazione solare), i picchi di T_{max-av} delle sonde superficiali di sx (sonde 2 e 8) hanno un valore di 35,6°C, mentre quelle di dx (sonde 4 e 6) hanno un valore di 34,07°C (in entrambi i casi alle 15.00, quindi nello stessa ora dei picchi di temperatura massima dell'aria). Si nota che il valore delle sonde di sx è 4,58°C superiore al valore delle sonde di dx, mentre il valore di dx è 3,29°C superiore: osservando l'andamento della media delle temperature dell'intera giornata si evidenzia che la stratigrafia di sx disperde meno calore nelle ore notturne rispetto alla stratigrafia di dx, giustificando la differenza di temperatura fra i valori massimi medi di temperatura delle sonde superficiali.

I valori T_{max-av} delle sonde profonde di 31,71-31,73°C (0,93-0,95°C superiori al picco massimo medio di temperatura dell'aria), invece, si eguagliano, ma nel caso delle sonde di sx il picco avviene alle 18.00, mentre nel caso delle sonde di dx avviene alle 17.00.

4.3. Differenza di temperatura della copertura a verde con e senza irrigazione

Al fine di verificare l'andamento delle temperature dello strato colturale in assenza di acqua, nella copertura a verde è stata interrotta l'irrigazione per un periodo di 5 giorni (p_3) ossia dal 29/07 al 02/08/2022. Le Tabb. 5 e 6 riportano la media dei valori registrati in questo periodo. Il comportamento termico della copertura a verde senza irrigazione, nonostante la presenza di vegetazione sviluppata, è significativamente meno virtuoso, infatti, se confrontiamo i dati relativi alle medie dei valori di giugno e luglio (Tabb. 3 e 4) con questi (Tabb. 5 e 6, confronto possibile perché i valori medi di radiazione solare e temperatura dell'aria sono molto simili), si verifica che lo sfasamento dei picchi di T_{max-av} senza irrigazione ha una frequenza diversa rispetto alla condizione con l'irrigazione. Il picco di T_{max} delle sonde superficiali di sx si verifica 1 ora prima (ore 14.00) del picco di T_{max} dell'aria (ore 15.00) con una differenza di temperatura ΔT sonde-aria di 12,63°C; il picco di T_{max} delle sonde superficiali di dx si verifica 2 ore prima (ore 13.00) del picco di temperatura dell'aria (ore 15.00) con una differenza di temperatura ΔT sonde-aria di 8,32°C.

Time	Solar radiation	Temp air	Temp probes 1-7 (depth-left)	Temp probes 3-5 (depth-right)	Temp probes 2-8 (surf-left)	Temp probes 4-6 (surf-right)	Water content average
hh.mm	W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	%
00.00	0	20,71	28,34	27,54	25,89	25,57	35,51
01.00	0	20,53	27,87	26,99	25,36	25,04	35,40
02.00	0	20,34	27,41	26,47	24,86	24,54	35,36
03.00	0	19,83	26,97	25,97	24,39	24,06	35,27
04.00	0	19,34	26,52	25,46	23,96	23,61	35,18
05.00	20	19,41	26,10	24,99	23,55	23,19	35,09
06.00	140	20,93	25,71	24,55	23,36	23,00	35,01
07.00	283	23,37	25,36	24,20	23,34	23,01	34,93
08.00	434	25,37	25,16	24,05	24,32	23,72	34,90
09.00	585	27,09	25,20	24,49	25,94	26,37	34,84
10.00	743	28,43	25,62	25,18	27,84	28,06	36,49
11.00	832	29,31	26,33	26,23	29,93	29,90	36,31
12.00	879	29,94	27,31	27,52	31,94	31,75	36,01
13.00	879	30,46	28,44	28,84	33,66	33,00	35,61
14.00	833	30,62	29,56	30,00	34,90	33,84	35,10
15.00	732	30,78	30,55	30,93	35,36	34,07	34,46
16.00	592	30,63	31,28	31,54	34,88	33,71	33,84
17.00	430	30,32	31,69	31,73	33,46	32,65	33,24
18.00	241	29,84	31,71	31,53	31,98	31,14	32,70
19.00	69	28,91	31,43	31,03	30,42	29,67	32,32
20.00	1	26,90	30,93	30,36	29,13	28,51	32,08
21.00	0	23,94	30,15	29,52	27,79	27,41	31,85
22.00	0	22,38	29,55	28,86	27,07	26,72	34,93
23.00	0	21,29	29,03	28,28	26,59	26,27	35,63
Δ time max peak probes-air [hh]			2	3	0	0	
Δ temp max peak probes-air [°C]			0,93	0,95	4,58	3,29	
Δ time min peak probes-air [hh]			4	4	3	2	
Δ temp min peak probes-air [°C]			5,82	4,71	4,00	3,66	

Tabb. 3 e 4 – Valori medi di radiazione solare, temperatura dell'aria, temperatura del substrato in profondità/superficie e a sx/dx, dei due periodi p1+p2 (17-21/06/2022 e 16-20/07/2022)

Time	Solar radiation	Temperature air	Temp probes 1-7 (depth-left)	Temp probes 3-5 (depth-right)	Temp probes 2-8 (surf-left)	Temp probes 4-6 (surf-right)	Water content average
hh.mm	W/m2	°C	°C	°C	°C	°C	%
00.00	0	20,66	30,49	27,63	26,85	25,33	19,46
01.00	0	20,46	29,82	26,96	26,17	24,71	19,43
02.00	0	21,00	29,14	26,30	25,57	24,14	19,43
03.00	0	20,98	28,52	25,64	24,95	23,56	19,43
04.00	0	20,16	27,93	25,05	24,36	23,00	19,43
05.00	1	19,68	27,39	24,49	23,80	22,44	19,40
06.00	80	19,26	26,91	24,04	23,53	22,24	19,40
07.00	216	21,50	26,53	23,74	23,81	22,34	19,37
08.00	361	23,54	26,51	24,24	25,92	25,89	19,37
09.00	518	25,42	27,00	25,42	28,94	28,86	19,37
10.00	683	27,28	28,21	27,65	33,09	33,12	19,36
11.00	830	28,82	29,74	29,72	36,39	35,85	19,37
12.00	880	29,60	31,59	31,77	40,46	38,35	19,37
13.00	874	30,46	33,51	33,37	42,62	39,40	19,40
14.00	828	30,92	35,16	34,47	43,71	39,36	19,37
15.00	732	31,08	36,26	34,94	43,21	38,63	19,36
16.00	512	30,62	36,78	34,84	40,84	37,27	19,36
17.00	342	30,28	36,57	34,24	37,73	34,79	19,36
18.00	149	29,74	35,85	33,15	34,65	32,14	19,36
19.00	30	29,04	34,86	32,10	32,51	30,35	19,36
20.00	0	26,88	33,79	30,99	30,96	29,10	18,89
21.00	0	24,24	32,87	30,18	29,72	28,01	18,89
22.00	0	22,96	32,00	29,32	28,67	27,11	18,89
23.00	0	21,62	31,23	28,57	27,77	26,30	18,89
Δ time max peak probes-air [hh]			1	0	-1	-2	
Δ temp max peak probes-air [°C]			5,70	3,86	12,63	8,32	
Δ time min peak probes-air [hh]			2	1	0	0	
Δ temp min peak probes-air [°C]			7,25	4,48	4,27	2,98	

Tabb. 5 e 6 – Valori medi di radiazione solare, temperatura dell'aria, temperatura del substrato in profondità/superficie e a sx/dx, del periodo p₃ 29/07-02/08/2022

Confrontando i valori medi riferiti al periodo (p_3) di 5 giorni a cavallo fra luglio e agosto senza irrigazione con i valori medi dei 2 periodi (p_1+p_2) di 5 giorni ciascuno di giugno e luglio con irrigazione – a fronte di valori e frequenza dei picchi di radiazione solare e temperatura dell'aria fra i periodi p_{1+2} e p_3 – emerge che:

1. le $T_{\text{max-av}}$ delle sonde superficiali di sx del p_3 sono $8,05^\circ\text{C}$ superiori e avvengono 1 ora prima (alle 14.00) rispetto alle stesse sonde dei p_{1+2} ;
2. le $T_{\text{max-av}}$ delle sonde superficiali di dx del p_3 sono $5,03^\circ\text{C}$ superiori e avvengono 2 ore prima (alle 14.00) delle stesse sonde dei p_{1+2} ;
3. le $T_{\text{max-av}}$ delle sonde profonde di dx del p_3 sono $5,07^\circ\text{C}$ superiori e avvengono 2 ore prima (alle 16.00) rispetto alle stesse sonde dei p_{1+2} ;
4. le $T_{\text{max-av}}$ delle sonde profonde di dx del p_3 sono $3,21^\circ\text{C}$ superiori e avvengono 2 ore prima (alle 15.00) delle stesse sonde dei p_{1+2} .

Ciò dimostra che i processi di traspirazione dalle piante ed evaporazione dal substrato riducono e ritardano l'accumulo di calore nella stratigrafia della copertura a verde, come effetto dell'uso della radiazione solare per il passaggio di fase dell'acqua.

5. Conclusioni

Il monitoraggio della copertura innovativa a verde estensivo ha messo in rilievo, nella stagione estiva, un comportamento termico virtuoso, rappresentando una superficie «fredda», infatti – considerato che la vegetazione non aveva raggiunto il pieno sviluppo e che il programma di irrigazione prevedeva di irrigare in modo contenuto – si sono verificate le seguenti condizioni:

1. i picchi di $T_{\text{max-av}}$ delle sonde superficiali – durante i giorni estivi più caldi e assoluti – hanno un valore medio di circa 4°C superiore rispetto alla $T_{\text{max-av}}$ massima dell'aria;
2. i picchi di $T_{\text{max-av}}$ delle sonde profonde – nelle condizioni appena citate – hanno un valore di quasi 1°C superiore rispetto alla $T_{\text{max-av}}$ dell'aria.

Inoltre, dal confronto fra le condizioni di irrigazione (p_{1+2}) e non irrigazione (p_3) della copertura emerge che l'evapotraspirazione contribuisce molto significativamente all'abbassamento delle temperature del substrato.

Riferimenti bibliografici

- Akbari H., Kolokotsa D. (2016), “Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research”, *Energy and Buildings*, 133: 834-842.
- Benvenuti S. (2014), “Wildflower green roofs for urban landscaping, ecological sustainability and biodiversity”, *Landscape and Urban Planning*, 124.
- Blank L., Vasl A., Schindler B.Y., Kadas G.J., Blaustein L. (2017), “Horizontal and vertical island biogeography of arthropods on green roofs: A review”, *Urban Ecosystems*, 20.
- Campiotti C.A. *et al.* (a cura di) (2021), “Il verde per la sostenibilità energetica e ambientale degli edifici”, in Laboratorio DUEE-SIST-NORD (a cura di), *Gli ecosistemi vegetati per la rigenerazione ecologica delle città*, RT/2021/13/ ENEA.
- Carter T., Jackson C.R. (2007), “Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales”, *Landscape and Urban Planning*, 80: 84-97.
- Currie B.A., Bass B. (2008), “Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model”, *Urban Ecosystem*, 11.
- Del Barrio E.P. (1998), “Analysis of the green roofs cooling potential in buildings”, *Energy and Buildings*, 27: 179-193.
- Dwivedi A., Mohan B.K. (2018), “Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island”, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10: 56-69.
- Giacomello E., Gaspari J. (2021), “Hydrologic Performance of an Extensive Green Roof under Intense Rain Events: Results from a Rain-Chamber Simulation”, *Sustainability*, 13: 3078.
- La Roche P., Berardi U. (2014), “Comfort and energy savings with active green roof”, *Energy and Buildings*, 82: 492-504.
- Maiolo M., Pirouz B., Bruno R., Palermo S.A., Arcuri N., Piro P. (2020), “The Role of the Extensive Green Roofs on Decreasing Building Energy Consumption in the Mediterranean Climate”, *Sustainability*, 12: 359.
- Onmura S., Matsumoto M., Hoko S. (2001), “Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens”, *Energy and Buildings*, 33: 653-666.
- Palla A., Gnecco I., Lanza G. (2010), “Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs”, *Water*, 2: 140-154.
- Santamouris M. (2014), “Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments”, *Solar Energy*, 103: 682-703.
- Speaka A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L. (2012), “Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in UK city”, *Atmospheric Environment*, 61.
- Theodosiou T.G. (2003), “Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique”, *Energy and Buildings*, 35: 909-917.
- Tomasella M. *et al.* (2022), “Green roof irrigation management based on substrate water potential assures water saving without affecting plant physiological performance”, *Ecohydrology*, 15.4: e2428.



OPEN ACCESS FrancoAngeli solution

This volume is published in open access format, i.e. the file of the entire work can be freely downloaded from the FrancoAngeli Open Access platform (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

On the FrancoAngeli Open Access platform, it is possible to publish articles and monographs, according to ethical and quality standards while ensuring open access to the content itself. It guarantees the preservation in the major international OA archives and repositories. Through the integration with its entire catalog of publications and series, FrancoAngeli also maximizes visibility, user accessibility and impact for the author.

Read more: [Publish with us \(francoangeli.it\)](https://www.francoangeli.it)

Readers who wish to find out about the books and periodicals published by us can visit our website www.francoangeli.it and subscribe to “[Keep me informed](#)” service to receive e-mail notifications.

Questa pubblicazione raccoglie gli atti della conferenza “Le NbS-Nature-based Solutions per l’architettura e la città. L’approccio prestazionale alle tecnologie vegetate”, organizzata il 13 ottobre 2023 presso l’Università Iuav di Venezia.

Da anni la CE-Commissione europea investe risorse economiche crescenti nella ricerca e nelle politiche per le NbS essendo stati dimostrati innumerevoli vantaggi ambientali derivanti dal loro utilizzo, fra cui il contributo all’adattamento ai cambiamenti climatici. La stessa CE, però, rileva un importante ostacolo alla loro diffusione: “Le NbS hanno il potenziale per stimolare le economie locali e creare opportunità di business. Tuttavia, molte autorità pubbliche segnalano una gamma di difficoltà nell’utilizzo degli appalti pubblici per attuare progetti NbS. Sono necessarie maggiore coerenza politica e trasversalità nella definizione delle priorità a livello dell’Unione europea, così come una maggiore progettualità” (Castellari et al., 2021).

Il focus dell’evento ha riguardato gli aspetti funzionali e prestazionali della vegetazione e dei sistemi tecnologici vegetati, con prevalente riferimento alle coperture a verde e alle facciate vegetate, nonché ai sistemi vegetati e drenanti impiegabili al suolo. Gli obiettivi della conferenza sono stati: diffondere la conoscenza scientifica e la cultura tecnica delle NbS e riunire in dibattito le competenze interdisciplinari che si interfacciano nelle attività di ricerca sulle NbS.

Elena Giacomello, laureata in Architettura, dottore di ricerca e ricercatore di Tecnologia dell’architettura all’Università Iuav di Venezia. Si occupa di sostenibilità e riqualificazione dell’ambiente costruito. Le sue ricerche riguardano le tecnologie che integrano la vegetazione alle costruzioni e l’accessibilità ambientale.

Leonardo Filesi, laureato in Scienze naturali, professore associato di Botanica ambientale e applicata allo Iuav di Venezia. Si occupa di ricerca nei seguenti ambiti: flora e vegetazione, pianificazione ambientale, conservazione della natura.

Massimiliano Scarpa, laureato in Ingegneria meccanica, dottore di ricerca in Energetica e professore associato di Fisica Tecnica Ambientale allo Iuav di Venezia. Gli argomenti di ricerca riguardano principalmente la modellizzazione termoeenergetica avanzata di edifici e componenti d’involucro e d’impianto, il monitoraggio di edifici per la valutazione del microclima per la conservazione di opere d’arte, nonché lo sviluppo di algoritmi d’intelligenza artificiale per il settore.

Giovanni Perrucci, laureato in Architettura, dottore di ricerca e assegnista di ricerca di Tecnologia dell’architettura allo Iuav di Venezia, svolge ricerche su vari temi della sostenibilità ambientale, in particolare inerenti l’LCA-life cycle assessment, e l’accessibilità degli edifici.



FrancoAngeli

La passione per le conoscenze