

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:



Università Iuav
di Venezia



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 Cornolini* » 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

Modellazione termo-igrometrica a supporto della progettazione di Nature-based Solutions

di *Massimiliano Scarpa, Elena Giacomello, Fabio Peron, Ugo Mazzali**

Abstract

Thermal and hygrometric modelling to support the design of Nature-Based Solutions

La modellazione termica consiste nello sviluppo e nell'applicazione di algoritmi computazionali, tipicamente basati su un approccio puramente fisico. Tali algoritmi sono finalizzati a calcolare come un componente interagisca con il suo ambiente, tipicamente in termini di temperatura, umidità e flussi di calore. Di conseguenza, la modellazione termica può essere utilizzata anche per prevedere le prestazioni delle Nature-Based Solutions e, quindi, per aiutare nella progettazione di questi componenti. Questo articolo presenta due casi di applicazione della modellazione termica: previsione delle prestazioni di pareti vegetali e stima dei risparmi energetici derivanti dalla vegetazione circostante un appartamento.

1. Introduzione

I processi fisici che governano le prestazioni delle Nature-Based Solutions, già ben noti, sono ora più facilmente modellizzabili grazie alla crescente disponibilità di misurazioni di caratteristiche termofisiche di piante e terreni. Ne conseguono simulazioni termiche dettagliate utili a valutare con precisione il comportamento di tali soluzioni, anche con riferimento alla specifica specie vegetale o allo specifico terreno.

Inoltre, la modellazione termica si estende oltre il calcolo della temperatura, dell'umidità e dei flussi di calore; essa può comprendere anche la

* Università Iuav di Venezia.

valutazione dei flussi d'acqua, includendo l'acqua piovana assorbita, accumulata e scaricata. Di conseguenza, i modelli termici possono fornire ai progettisti e ai pianificatori la capacità di calcolare anche gli impatti degli eventi di pioggia, estendendo potenzialmente la loro applicabilità a scenari su scala urbana, in funzione delle diverse opzioni di progettazione.

2. Casi studio

2.1. Caso 1 – Pareti vegetali

Uno dei principali vantaggi offerti dalle pareti vegetali è la loro capacità di fornire ombra all'involucro edilizio, con conseguenti notevoli vantaggi, specialmente durante i periodi di raffrescamento. Inoltre, le prestazioni termiche delle pareti vegetali sono influenzate da diversi fattori chiave, tra cui il tipo di specie vegetale, l'indice di area fogliare (Leaf Area Index, LAI), il tasso di evapotraspirazione, l'emissività delle foglie e la configurazione della cavità d'aria. Tutti questi fattori sono stati presi in considerazione e integrati nel modello matematico sviluppato. Il modello è stato poi adattato a due tipi specifici di pareti vegetali, rappresentati in Fig. 1: una dotata di un giardino verticale e una cavità d'aria aperta (a) e l'altra caratterizzata da erba e una cavità d'aria chiusa (b).

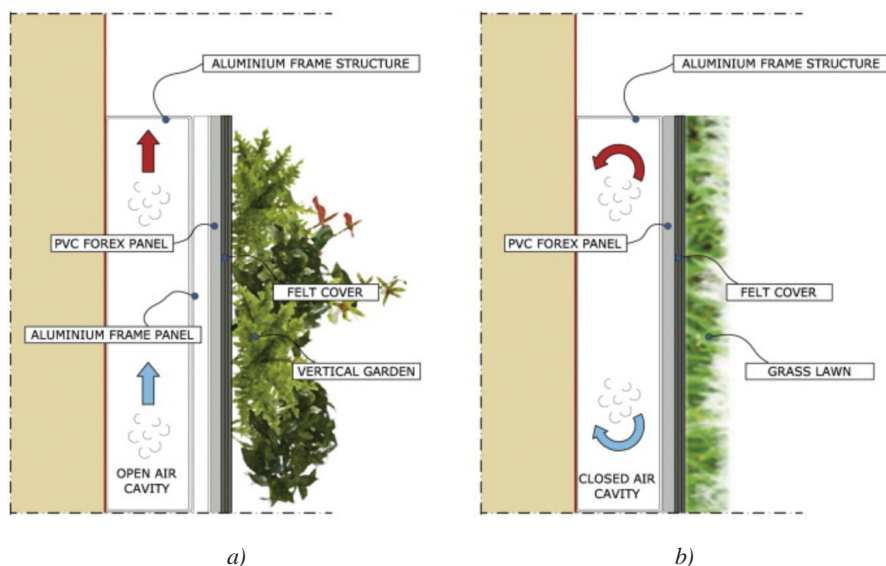


Fig. 1 – Tipi di pareti vegetali simulate

L'ombreggiamento dell'involucro edilizio si distingue come il principale vantaggio delle pareti vegetali, soprattutto durante i mesi estivi (Cheng *et al.*, 2010; Jim *et al.*, 2011). Inoltre, le pareti vegetali rilasciano una quantità sostanziale di calore latente, a causa del processo di evapotraspirazione (Stec *et al.*, 2005), distinguendosi così dagli altri dispositivi di ombreggiamento.

Il modello termico è stato sviluppato in linguaggio di programmazione VBA (Visual Basic for Applications) e ha eseguito una procedura di calcolo iterativa, per time step di calcolo sub-orari, tenendo conto della radiazione solare, della convezione, dell'irraggiamento e del trasferimento di umidità con gli ambienti interno ed esterno, nonché delle precipitazioni e del drenaggio dell'acqua.

2.2. Caso 2 – Ombra proiettata da alberi circostanti un appartamento

La seconda applicazione dei modelli termici è consistita nel calcolo degli effetti indotti da alberi circostanti un appartamento, in termini di guadagni solari e fabbisogno energetico per il riscaldamento/raffrescamento. La configurazione degli alberi in termini di distanza, dimensioni e specie è stata ipotizzata dal progettista e valutata attraverso il modello termico, che in questo caso tiene conto dell'appartamento nel suo complesso, ovvero dell'involucro edilizio, dei sistemi HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) e del comportamento degli occupanti (quindi: luci, apparecchi elettrici, temperature di setpoint, ecc.).

La vegetazione è modellata attraverso una procedura sperimentale che garantisce una valutazione affidabile dell'effetto di ombreggiamento della vegetazione e sintetizzabile come segue:

- misurazione del LAI su una superficie orizzontale (LAI_H), sotto alberi esemplificativi che rappresentano la specie vegetale scelta;
- calcolo del LAI equivalente (LAI_v , da cui il coefficiente di trasmissione solare, τ_{Solar}) per disposizione verticale, considerando la vegetazione isotropa, in funzione di forma, diametro medio e altezza dell'albero, in base a correlazioni empiriche presenti in letteratura.

Piante e alberi sono stati infatti modellati come superfici piane che proiettano ombra sull'involucro edilizio.

Infine, i valori di trasmissione solare sono stati variati nel corso dell'anno, tenendo conto della caduta autunnale delle foglie e della successiva ricrescita primaverile.

Il modello termico è stato sviluppato con il software di simulazione energetica edilizia EnergyPlus (NREL, 2023) e ha considerato il bilancio energetico complessivo di un appartamento, con riferimento sia all'anno che alla sola giornata estiva di progetto. In questo modo è stato possibile valutare i risparmi sia nel fabbisogno di riscaldamento/raffrescamento che nel dimensionamento del sistema di raffrescamento.

In particolare, sono state simulate due opzioni:

- la configurazione progettata, con alberi circostanti;
- la configurazione senza alberi circostanti.

3. Risultati

3.1. Caso 1 – Pareti vegetali

L'accuratezza del modello termico è stata convalidata attraverso misurazioni sul campo raccolte durante una campagna di monitoraggio condotta in Italia centrale e settentrionale dal 2009 al 2012, comprendendo così un ampio spettro di condizioni al contorno. Come mostrato in Fig. 2 e in Fig. 3, il modello matematico ha mostrato un alto grado di accuratezza. Questa precisione è stata ulteriormente supportata dal calcolo di due indici di prestazione, cioè il Root-Mean-Square Error (RMSE) e il Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSEC), che confermano l'accuratezza del modello termico (Tab. 1).

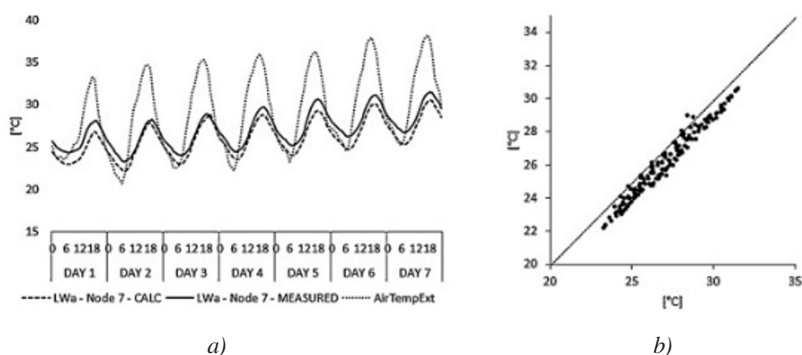


Fig. 2 – Confronto tra temperature simulate e misurate per la parete vegetale con giardino verticale e cavità d'aria aperta

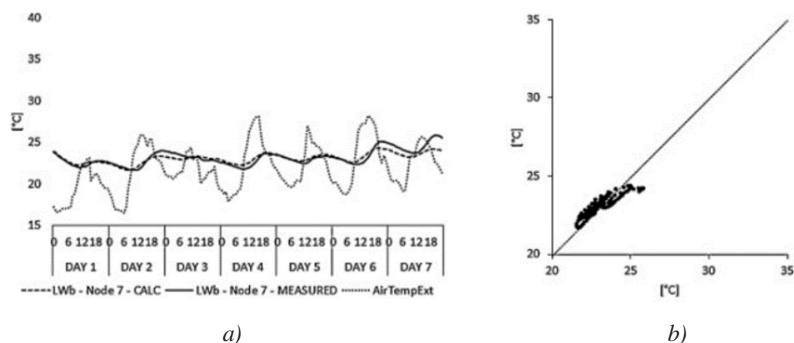


Fig. 3 – Confronto tra temperature simulate e misurate per la parete vegetale con erba e cavità d'aria chiusa

Caso	RMSE	NSEC
Parete vegetale a – Estate – Temperatura	1.1	0.7
Parete vegetale a – Inverno – Temperatura	0.4	1.0
Parete vegetale b – Estate – Temperatura	0.5	0.7
Parete vegetale b – Inverno – Temperatura	0.5	0.9

Tab. 1 – RMSE e NSEC nella previsione di temperature

3.2. Caso 2 – Ombra proiettata da alberi circostanti un appartamento

La Tab. 2 raffigura la radiazione solare che entra nell'appartamento in inverno e in estate, nonché i conseguenti fabbisogni energetici per il riscaldamento/raffrescamento, in ciascuna configurazione. La configurazione (con alberi) scelta dal progettista offre vantaggi inferiori a quanto previsto, poiché comporta un risparmio energetico del 10,1% in estate, ma anche un sovraconsumo di energia di riscaldamento di simile entità.

Opzione	Guadagni termici solari [kWh]		Fabbisogno energetico [kWh]	
	Inverno	Estate	Inverno	Estate
Senza alberi	19768	19497	14668	15607
Con alberi	17765	18492	16124	14023
Differenza	10.1%	5.2%	-9.9%	10.1%

Tab. 2 – Guadagni termici solari in inverno/estate e fabbisogno energetico per il riscaldamento/raffrescamento, senza alberi e con alberi

La Fig. 4 conferma i risultati della tabella precedente, mostrando un picco di raffreddamento massimo circa il 7% inferiore nel caso di alberi circostanti l'appartamento.

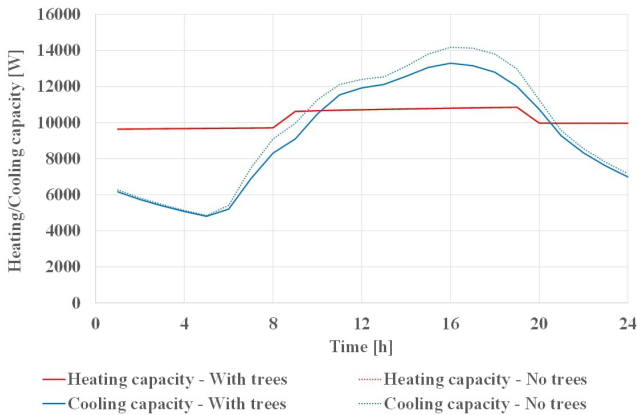


Fig. 4 – Capacità di riscaldamento/raffrescamento in una giornata di progettazione invernale/estiva, con e senza alberi

4. Conclusioni

Le applicazioni di modellazione termo-igrometrica menzionate sopra rendono possibile comprendere la capacità di un tale approccio nel quantificare i reali effetti conseguenti all’uso di Nature-Based Solutions, nonché il vantaggio che può conseguire al progettista lungo il processo di scelta e progettazione dettagliata di tali tecnologie, al fine di migliorarne l’effettivo risultato o anche di prevederne il comportamento in condizioni climatiche anomale, come quelle derivanti dal riscaldamento globale.

Bibliografia

- Cheng C.Y., Cheung, Ken K.S., Chu L.M. (2010), “Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls”, *Building and Environment*, 45(8): 1779-1787.
- Jim C.Y., He Hongming (2011), “Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem”, *Ecological Engineering*, 37(8): 1112-1122.
- Stec W.J., Van Paassen A.H.C., Maziarz A. (2005), “Modelling the double skin façade with plants”, *Energy and Buildings*, 37(5): 419-427.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2023), *EnergyPlus*, <https://energyplus.net/>, 2023-08-29.



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 termoelettrica 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