

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

Introduzione

di *Elena Giacomello*

Le *Nature-based Solutions-NbS* (soluzioni basate sulla natura) sono oggetto di importanti investimenti da parte della Commissione europea-CE, la quale, attraverso i programmi di sostegno alla ricerca *Horizon 2020* (2014-2020) e *Horizon Europe* (2021-2027), vuole favorirne una maggiore diffusione, con l'obiettivo di contrastare e mitigare il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità delle nostre città, migliorando la salute e il benessere della popolazione.

La Commissione definisce le *NbS* come “soluzioni ispirate e sostenute dalla natura, che sono economicamente vantaggiose, forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiutano a costruire la resilienza” (Cardinali *et al.*, 2021), ma rileva altresì 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).

Con questa premessa è stata organizzata, presso l'Università Iuav di Venezia, la conferenza intitolata “Le *NbS-Nature-based Solutions* per l'architettura e la città. L'approccio prestazionale alle tecnologie vegetate – Conferenza 2023”.

Avendo a riferimento l'auspicata progettualità, segnalata dalla CE come necessaria e al contempo lacunosa, la conferenza ha voluto riunire quei relatori che potessero fornire contributi maturi e innovativi negli ambiti di ricerca e di realizzazione delle soluzioni basate sulla natura. Il programma ha posto al centro della riflessione il tema della quantificazione dei benefici resi, frequentemente denominati servizi eco-sistemici, richiamando l'ap-

proccio esigenziale-prestazionale tipico delle tecnologie delle costruzioni applicato alle *NbS*, per questo motivo qui definite *tecnologie vegetate*.

Se nell'ambito delle costruzioni la definizione dei requisiti e la progettazione delle prestazioni costituiscono prassi note, disciplinate e normative ormai da molti anni, ciò non vale analogamente per le *NbS*, poiché la quantificazione dei benefici forniti è tutt'ora oggetto di numerose ricerche che, auspicabilmente, daranno risultati via via più circostanziati per descrivere il comportamento delle tecnologie vegetate nelle diverse condizioni ambientali, d'uso e di sollecitazione. Obiettivo della conferenza, quindi, è stato raccogliere quelle competenze che hanno analizzato il comportamento e il funzionamento delle *NbS* per ricavare valori e quantità precisamente descrittivi dei fenomeni che portano vantaggio all'ambiente e alla collettività.

Pur nella consapevolezza che non sia possibile ricondurre il progetto delle *NbS* ad approcci universalmente applicabili per territori e contesti diversi (come accade invece per gran parte dei sistemi costruttivi), data la vocazione sito-specifica di queste soluzioni, la misurazione dei benefici consente di gettare le basi per definire le prestazioni, nonché le così dette capacità e specifiche di prestazione. Si tratta di indagini complesse, che spesso impongono di accettare alcuni "compromessi di approssimazione" per la natura variabile e mutevole della vegetazione e dei sistemi atti a sostenerne la vita, ma che sono richieste a gran voce da parte di vari attori del processo edilizio e di chi operi scelte di politica pubblica.

I relatori della conferenza hanno restituito con efficacia la complessità che ruota attorno alla ricerca e alla realizzazione delle *NbS*, grazie alle diverse provenienze disciplinari (architetti, ingegneri, agronomi, naturalisti, biologi) e professionali (ricercatori, progettisti, gestori del patrimonio pubblico, produttori). I contributi, riferiti a ricerche, analisi, pratiche professionali e osservazioni empiriche attuate, sono stati ricchi di conoscenze ed esperienze, evidenziando approcci inter-disciplinari oltre che multi-scalari.

La conferenza è stata suddivisa in quattro temi: (1) gestione idrologica urbana, (2) biodiversità e servizi eco-sistemici, (3) impatti sul microclima urbano e benefici termici, (4) gestione, manutenzione e fabbisogno idrico della vegetazione.

I risultati sono raccolti in questo volume *open-access* al fine di rendere quanto più divulgabili i contributi presentati dai relatori e patrimonio condiviso la conoscenza tecnico-scientifica delle *Nature-based Solutions*.

NbS, fornitura di habitat e modelli ecologici

di *Daniele Brigolin**

Abstract

NbS, habitat provisioning, and ecological models

Urban environments can be regarded as complex socio-ecological systems, in which ecosystem services result as emergent properties from the interactions between ecological processes and human activities. Such systems are threatened by multiple drivers of change, including those connected to resource exploitation and ecosystem fruition, along with climate related drivers. NbS and restoration intervention can represent a way to foster urban resilience, by acting on important habitat services, including life cycle maintenance. However, the accounting of habitat services is rarely taken into consideration in EIA and SEA impact assessment procedures. Ecological models could support practitioners in the bio-physical accounting of such services, also allowing to compare quantitatively alternative choices of intervention. This contribution presents a narrative review on models supporting the quantification of habitat services, discussing challenges and opportunities connected to their application, which are identified through a preliminary test case carried out in an urbanized area of the Veneto region.

1. Introduzione

I servizi ecosistemici (SE) emergono dalle molteplici e complesse interazioni uomo-ambiente, che caratterizzano i sistemi socio ecologici (*sensu* Ostrom, 2009). Una di queste interazioni è la dipendenza delle società umane dal funzionamento degli ecosistemi, e mira a evidenziare e rappresentare le modalità in cui il nostro benessere è intrinsecamente connesso alla componente ecologica dei sistemi in cui viviamo (Costanza *et al.*,

* Università Iuav di Venezia.

2017). Un secondo aspetto rilevante è legato alle relazioni esistenti tra i diversi SE, che possono presentare comportamenti sia sinergici (ad esempio protezione della costa e sequestro del carbonio) che antagonisti (ad esempio raccolta del legname e ricarica degli acquiferi) – si veda Bennett *et al.* (2009). Gli ambienti urbani e peri-urbani possono essere considerati come sistemi socio-ecologici complessi, in cui i SE risultano come proprietà emergenti dalle interazioni tra processi ecologici e attività umane. I sistemi delle città sono minacciati da molteplici fattori di cambiamento, connessi allo sfruttamento delle risorse e alla fruizione dell'ecosistema, e legati a modificazioni di tipo climatico (Alberti, 2008). NbS, Nature based Solutions (Cohen-Shacham *et al.*, 2016) e interventi di ripristino possono rappresentare un modo per promuovere la resilienza urbana, favorendo la disponibilità di habitat, e supportando quindi il mantenimento del ciclo di vita (TEEB, 2010). Tuttavia, la contabilizzazione dei servizi dell'habitat è raramente presa in considerazione dagli operatori nell'ambito delle procedure di Valutazione Ambientale Strategica (VAS). Lavori recenti hanno applicato approcci valutativi, come il Life Cycle Assessment (LCA) agli interventi di ripristino (Chiu *et al.*, 2022) e agli scenari di implementazione delle NbS in ambiente urbano (Susca and Pomponi, 2020). Tuttavia, esiste ampio consenso in letteratura su un vincolo chiave che ostacola l'applicabilità delle tecniche di valutazione LCA a questo tipo di interventi, che è rappresentato dalla mancanza di indicatori sotto la categoria "biodiversità", come già evidenziato in lavori pionieristici sul tema LCA (ad es. Schenck, 2001). I modelli ecologici, e in particolare quelli spazialmente espliciti, possono rappresentare un importante strumento a supporto della contabilizzazione biofisica di tali servizi, consentendo di confrontare quantitativamente alternative di intervento.

Questo contributo mira a presentare una rassegna narrativa della letteratura *peer-reviewed* esistente, concentrandosi sui servizi dell'habitat associati all'implementazione di NbS. Il lavoro si concentra in due aree tematiche principali, prendendo in considerazione sia approcci statici che dinamici:

1. valutazione della connettività ecologica all'interno del paesaggio urbano;
2. rappresentazione deterministica della nicchia ecologica.

Sulla base dei risultati della revisione, viene proposta una procedura per l'applicazione dei modelli di tipo 1 e 2, e viene eseguito un caso-test, applicando gli strumenti in condizioni semplificate, definite per rappresentare un'area urbanizzata tipica della regione Veneto. I risultati sono discussi rispetto all'applicabilità del modello e ai relativi vincoli di dati.

2. Metodi per la valutazione della connettività

La continua estensione delle superfici costruite a carico di quelle naturali ha portato ad una progressiva diminuzione della connettività a livello di paesaggio, limitando importanti processi alla base del funzionamento degli ecosistemi, quali dinamiche migratorie a livello di specie e la circolazione di energia e nutrienti. Esistono molteplici esempi di studio della connettività ecologica in contesti urbani e di interfaccia urbano-rurale – in una rassegna sul tema, LaPoint *et al.* (2015) identificano 174 studi focalizzati su connettività in ambito urbano. In questo contesto, una classe di approcci modellistici molto interessante è quella basata sulla caratterizzazione della “resistenza” del paesaggio. Facendo uso di dati telerilevati, ormai largamente accessibili sulla base di programmi di monitoraggio di lungo termine (vedi ad es. Lumia *et al.*, 2023), questi approcci partono dalla caratterizzazione del mosaico di paesaggio basata su mappe di uso del suolo e su immagini in grado di tracciare l'intensità delle attività umane nell'area – ad esempio tracciando differenze nell'intensità luminosa (Fan *et al.*, 2023). Completano il quadro gli aspetti morfologici, quali la diversa pendenza del terreno, indici vegetazionali, differenze di elevazione legate al costruito (Bhakti *et al.*, 2021), permettendo quindi di classificare lo spazio sulla base di diversi valori di resistenza. A questo punto, è possibile applicare algoritmi di calcolo – come ad es. *least-cost path analysis* (Adriaensen *et al.*, 2003), *circuit theory* (McRae *et al.*, 2008) ed altri approcci basati sulla teoria dei grafi (Urban and Keitt, 2001) – confrontando dunque diverse opzioni di connessione mediante creazione di nuovi corridoi e/o *stepping-stones*.

3. Metodi per una rappresentazione deterministica della nicchia ecologica

I modelli trattati al punto 2 rappresentano metodologie riconosciute per la valutazione ed il confronto di scelte alternative volte a rafforzare la connettività. La risposta al diverso grado di “resistenza” deve però essere valutata rispetto alla specie target (o alle diverse specie, vedi il caso di Lumia *et al.*, 2023) per la quale si intende implementare la rete ecologica. Una delle strade possibili per differenziare tali risposte a livello specifico è quella di utilizzare un approccio eco-fisiologico, basato sul bilancio energetico del singolo individuo in risposta alle diverse condizioni ambientali, quali ad esempio temperatura, umidità, morfologia dell'area, disponibilità di alimento. Questo tipo di approccio è stato recentemente

adottato da Strubbe *et al.* (2023), che hanno rappresentato, su scala spaziale ampia, la nicchia termica di diverse specie di uccelli con modelli eco-fisiologici, per valutarne la tendenza a modificare la propria distribuzione in risposta a cambiamenti climatici a scala regionale. Modelli eco-fisiologici a bilancio di massa o energia sono stati parametrizzati per diversi *phyla* e sono riconducibili a due principali teorie, la “dynamic energy budget theory” e la “metabolic theory of ecology” – per un inquadramento sul tema vedi van der Meer (2006). Una interessante prospettiva di sviluppo sembrerebbe quindi essere rappresentata da un approccio valutativo che integri questi modelli, deterministici, in grado di valutare il bilancio metabolico in modo dinamico in risposta a serie storiche di forzanti ambientali, con modelli statici ma spazialmente espliciti di valutazione della connettività. Va comunque sottolineato che, in seguito all’aumento delle capacità di calcolo, i modelli ad agenti “agent-based models” (Railsback and Grimm, 2011) hanno registrato un rapido sviluppo negli ultimi decenni e possono quindi rappresentare ulteriore strumento di interesse in questo ambito (vedi ad esempio Scherer *et al.*, 2020).

4. Applicazione preliminare al caso di Mestre

Le Municipalità di Mestre-Carpenedo, Favaro, Zelarino e Marghera, localizzate all’interno dei confini comunali della città metropolitana di Venezia, presentano un’estensione complessiva di circa 130 km², ed una popolazione 177 mila abitanti. Il territorio è comprensivo di alcuni parchi cittadini e, a partire dai primi anni 2000, nell’area sono stati realizzati interventi per il ripristino e l’estensione del sistema di boschi urbani (Zanetti, 2008). In questo approfondimento sono stati presi in esame alcuni elementi emersi dalla precedente rassegna bibliografica, concentrandosi su una applicazione preliminare dello strumento Graphab (Foltête *et al.*, 2012). I dati geospaziali sono stati processati in QGis (v3.28.4) ed Rstudio (R version 4.2.0). Le informazioni, riassunte in Fig. 1, sono state acquisite attraverso il servizio Copernicus Land (Urban Atlas, 2018; Building Height, 2012; Small Woody Features, 2018) e attraverso il portale ARPAV (Veneto Atlas of artificial night sky brightness, 2016). Per l’applicazione sono state prese in esame due diverse specie di uccelli presenti nell’area considerata, il merlo, *Turdus merula*, ed il passero, *Passer domesticus* (Bon and Stival, 2013). Il bilancio metabolico di ciascuna delle due specie è stato simulato mediante DEB Shiny-app (Kearney and Porter, 2019) per un periodo di riferimento di 3 mesi e considerando una temperatura di 15.2 °C, relativa ad un’ipotetica condizione media primaverile



Fig. 1 – Mappa di inquadratura dell'area in esame (Urban Atlas 2018, Building Height 2012, Small Woody Features 2018, Artificial night sky bright-ness). Fonti: Copernicus Land Monitoring Service, ARPAV

(climatologia anni riferimento 2002-2020). I risultati preliminari di questa applicazione sono sintetizzati nelle Figure 2 e 3. In Figura 2 sono rappresentati i diversi bilanci metabolici e le curve di accrescimento simulati per ciascuna delle 2 specie di uccelli, successivamente considerati all'interno del modello Graphab per quantificare le mappe di resistenza – è possibile notare come il merlo, in virtù della maggiore taglia, presenti un flusso di energia per unità di tempo di un ordine di grandezza superiore a quello del passero, con una maggiore frazione energetica investita per il mantenimento delle funzioni metaboliche di base. La Figura 3 riporta i risultati del modello Graphab, portando in evidenza le *patches* di habitat, assimilate al verde urbano, nelle quali sono stati identificati i nodi della rete, e gli elementi che contribuiscono alla resistenza combinata per entrambe le specie, quali infrastrutture viarie, diversa elevazione del costruito e livello di inquinamento luminoso. L'importanza dei nodi è evidenziata dalla loro ampiezza, mentre le linee tracciate in nero rappresentano i percorsi di collegamento, nei quali si potrebbero concentrare iniziative di efficientamento della rete.

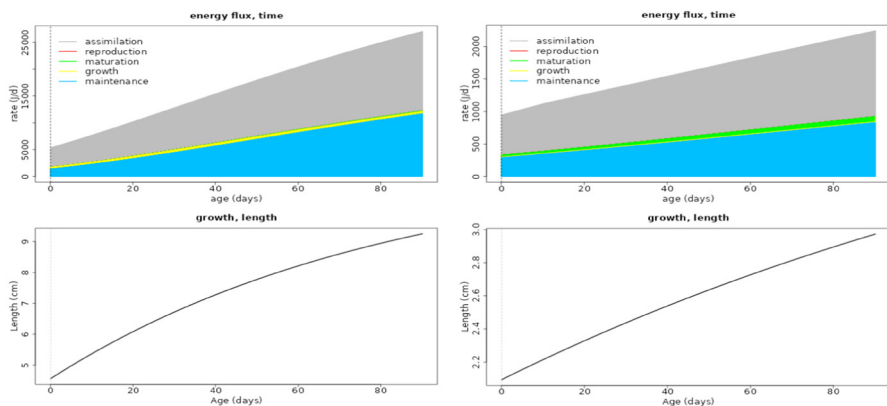


Fig. 2 – Bilancio metabolico ed accrescimento per ciascuna delle specie considerate durante un periodo di 90 giorni e considerando temperatura costante (sx: *Turdus merula*; dx: *Passer domesticus*)

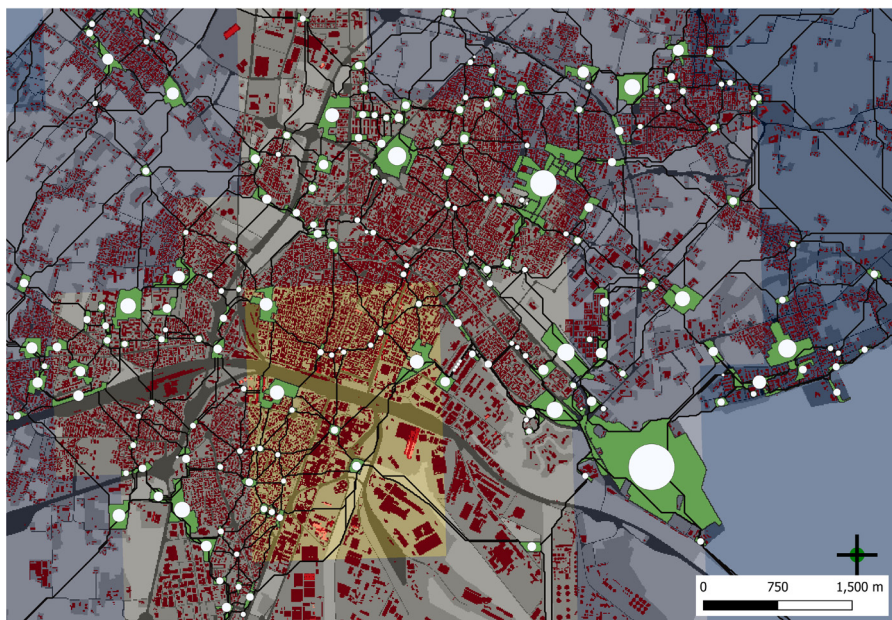


Fig. 3 – Risultati dell'applicazione del modello Graphab. Nodi e percorsi sono stati identificati a partire dalle patches di habitat per le due specie considerate – sulla base dei risultati dei modelli metabolici riportati in Figura 2 – e con una resistività quantificata sulla base dei dati di uso del suolo, altezza degli edifici, intensità luminosa

5. Conclusioni

Gli strumenti individuati mediante questa rassegna della letteratura possono fornire indicazioni utili rispetto al posizionamento di nuove *patches* collegate alla realizzazione di NbS, al fine di rafforzare i corridoi ecologici. I modelli dinamici individuali a bilancio energetico possono essere utilizzati per valutare la risposta delle singole specie a diverse condizioni ambientali associate a ciascun tipo di copertura/uso del suolo, permettendo quindi di realizzare mappe di resistenza più accurate e sito specifiche. In questo contesto sembrerebbe utile estendere le considerazioni anche ad altri studi recenti, che si sono concentrati sulla comprensione dei meccanismi che influenzano la relazione tra taglia ed *home-range* nei vertebrati (Tamburello *et al.*, 2015). Un aspetto di particolare interesse emerso nel contesto delle applicazioni realizzate riguarda le possibilità di utilizzo di dati geospaziali *open-source*, accessibili attraverso portali quali Copernicus, o ai geoportali realizzati dai diversi enti territoriali. I risultati della rassegna di letteratura e dell'applicazione preliminare qui presentate sottolineano l'opportunità di promuovere un maggior utilizzo di strumenti di analisi propri della modellistica ecologica, in ambiti di valutazione delle potenziali ricadute di interventi di realizzazione di nuove NbS, o di ripristino ecologico, su SE di supporto strettamente collegati al mantenimento della biodiversità.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata in parte condotta nel contesto del progetto MERGE “reMote sEnsing integrato per il monitoRaggio e la Gestione del tErri-torio”, finanziato da IUAV (Call ricerca 2023).

Riferimenti bibliografici

- Adriaensen F., Chardon J.P., De Blust G., Swinnen E., Villalba S., Gulinck H. *et al.* (2003), “The application of ‘least-cost’ modelling as a functional landscape model”, *Landscape and Urban Planning*, 64: 233-247.
- Alberti M. (2008), *Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems*, Springer Science+Business Media, LLC, 366 pp.
- Bennett E.M., Peterson G.D., Gordon L.J. (2009), “Understanding relationships among multiple ecosystem services”, *Ecological Letters*, 12: 1394-1404.

- Bhakti T., Pena J.C., Niebuhr B.B., Sampaio J., Goulart F.F., Schetini de Azevedo C., Ribeiro M.C., Antonini Y. (2021), “Combining land cover, animal behavior, and master plan regulations to assess landscape permeability for birds”, *Landscape and Urban Planning*, 214: 104171.
- Bon M., Stival E. (2013), *Uccelli di laguna e di città. L'atlante ornitologico del comune di Venezia*, Marsilio, 389 pp. ISBN-10: 8831715127.
- Chiu Y., Yang Y, Morse C. (2022), “Quantifying carbon footprint for ecological river restoration”, *Environment, Development and Sustainability*, 24: 952-970.
- Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C. and Maginnis S. (eds.) (2016), *Nature-based Solutions to address global societal challenges*, Gland, Switzerland: IUCN, xiii + 97pp.
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., Farber S., Grasso M. (2017), “Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?”, *Ecosystem Services*, 28, 1-16.
- Fan J., Wang Q., Ji M., Sun Y., Feng Y., Yang F., Zhang Z. (2023), “Ecological network construction and gradient zoning optimization strategy in urban-rural fringe: A case study of Licheng District, Jinan City, China”, *Ecological Indicators*, 150: 110251.
- Foltête J.C., Clauzel C., Vuidel G. (2012), “A software tool dedicated to the modelling of landscape networks”, *Environmental Modelling and Software*, 38: 316-327.
- Kearney M.R. and Porter W.P. (2019), “NicheMapR – an R package for biophysical modelling: the ectotherm and Dynamic Energy Budget models”, *Ecography*, doi:10.1111/ecog.04680.
- LaPoint S., Balkenhol N., Hale J., Sadler J. and van der Ree R. (2015), “Ecological connectivity research in urban areas”, *Functional Ecology*, 29: 868-878.
- Lumia G., Praticò S., Di Fazio S., Cushman S., Modica G. (2023), “Combined use of urban Atlas and Corine land cover datasets for the implementation of an ecological network using graph theory within a multi-species approach”, *Ecological Indicators*, 148: 110150.
- McRae B.H., Dickson B.G., Keitt T.H. and Shah V.B. (2008), “Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation”, *Ecology*, 89: 2712-2724.
- Ostrom E. (2009), “A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems”, *Science*, 325: 419-422.
- Schenck R.C. (2001), “Land Use and biodiversity indicators for Life Cycle Impact Assessment”, *International Journal of LCA*, 6: 114-117.
- Scherer C., Radchuk V., Franz M., Thulke H.H., Lange M., Grimm V., Kramer-Schadt S. (2020), “Moving infections: individual movement decisions drive disease persistence in spatially structured landscapes”, *Oikos*, 129: 651-667.
- Strubbe D., Jiménez L., Barbosa A.M., Davis A.J.S., Lens L., Rahbek C. (2023), “Mechanistic models project bird invasions with accuracy”, *Nature Communications*, 14: 2520.

- Railsback S.F., Grimm V. (2011), *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*, Princeton University Press, 352 pp.
- Susca T., Pomponi F. (2020), “Heat island effects in urban life cycle assessment: Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCA for effective policy making”, *Journal of Industrial Ecology*, 24, 410-423.
- Tamburello N., Côté I.M., Dulvy N.K. (2015), “Energy and the Scaling of Animal Space Use”, *American Naturalist*, 186: 196-211.
- TEEB (2010), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*, Edited by Pushpam Kumar, Earthscan, London and Washington.
- Urban D., Keitt T. (2001), “Landscape connectivity: a graph theoretic approach”, *Ecology*, 82: 1205-1218.
- van der Meer J. (2006), “Metabolic theories in ecology”, *Trends in Ecology & Evolution*, 21 (3): 136-140.
- Zanetti M. (2008), *Il bosco di Mestre*, Nuova Dimensione, 160 pp.