

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 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*.

Gestione idrologica urbana

#Impermeabilizzazione del suolo – *Soil sealing*

#Drenaggio urbano sostenibile – *SuDS-Sustainable Drainage Systems*

#Gestione delle acque meteoriche – *Stormwater management*

I suoli urbani sono caratterizzati da un'elevata impermeabilizzazione che altera il ciclo idrologico facilitando la formazione dei deflussi superficiali e riducendo l'infiltrazione dell'acqua nel terreno.

Ciò determina una catena di effetti avversi che – in concomitanza con il verificarsi di eventi meteorici sempre più intensi – impattano negativamente sulla sicurezza e la gestione delle aree urbane, il micro-clima, il *comfort*, la qualità dell'acqua.

Poiché la copertura del suolo con materiali impermeabili è un costo ambientale (CE 2013, “Superfici impermeabili, costi nascosti. Alla ricerca di alternative all'occupazione e all'impermeabilizzazione dei suoli”, Lussemburgo), le NBS e le tecnologie che ripristinano, almeno in parte, i deflussi naturali sono fattori imprescindibili della rigenerazione urbana.

Quali sistemi e quali strumenti favoriscono la transizione a una gestione virtuosa dell'acqua nelle nostre città?

Valorizzare l'impatto delle soluzioni basate sulla natura: dalla singola installazione alla diffusione alla scala urbana

di Anna Palla, Ilaria Gnecco, Sabrina Sposito*

Abstract

Enhancing the impact of nature-based solutions: from single installation to deployment at the urban scale

Urban flooding has become one of the most frequent natural disasters in recent years and Nature Based Solutions (NBS), including Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), are nowadays recognized as an alternative to be combined with traditional grey infrastructure (hybrid measures) to mitigate the negative impact of urbanization on hydrological processes.

The main objective of the present research is assessing the impact of SUDS to support the urban flood resilience by means of a Decision Support Tool (DST) implemented in the web-GIS application namely TRIG Eau recently developed within the homonymous INTERREG IT-FR Maritime Programme project. The hydrologic-hydraulic modelling is undertaken using EPASWMM 5.1.007. The simulation results are examined by means of the well-known hydrologic performance, Volume and Peak Reduction indexes (namely VR and PR, respectively). The indexes indicate respectively the relative differences of total runoff volume and the maximum flow rate observed at the outlet section of the catchment in the reference and the SUDS scenarios. Furthermore, the Network Stress Reduction (NSR) and Node Flooding Reduction (NFR) indexes are similarly assessed by evaluating respectively the Network Stress Index (NSI) and the Node Flooding Index (NFI), which quantifying the hydraulic functioning of the storm drainage network in the reference and the SUDS scenarios.

The impact of different SUDS scenarios is discussed for a case study located in the Liguria Region. Results indicate that the percentage of imperviousness reveals the limiting factors in the urban contexts of concern.

* Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica e Ambientale, Università di Genova.

1. Introduzione

Le aree urbane hanno ruolo centrale nella lotta ai cambiamenti climatici, poiché esse sono le principali responsabili delle emissioni climaticamente alterate e presentano al contempo un'elevata fragilità ed esposizione al rischio climatico essendo caratterizzate da una elevata eterogeneità per forma e disposizione di zone residenziali, servizi, aree produttive e infrastrutture (Spano *et al.*, 2020). In tema di gestione dei deflussi, gli effetti del cambiamento climatico si aggiungono ai processi di urbanizzazione avvenuti spesso in modo poco controllato contribuendo ad aumentare il rischio di allagamenti. Le soluzioni basate sulla natura (NBS) rappresentano una possibile risposta per la mitigazione dei rischi e l'adattamento climatico e sono riconosciute come un elemento strategico in diverse iniziative e politiche promosse dalla Comunità Europea (Cardinali *et al.*, 2021). Le soluzioni NBS, tra cui i sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SUDS), sono soluzioni ispirate e sostenute dalla natura, efficaci dal punto di vista dei costi che forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici. Le soluzioni SUDS contribuiscono a costruire la resilienza urbana, apportando benefici alla biodiversità e fornendo una serie di servizi ecosistemici (EEA, 2021).

In questo contesto si inserisce il progetto RES_Eau “Rete strategica per la riduzione del rischio alluvione attraverso l'utilizzo di infrastrutture verdi e la creazione di comunità consapevoli e resilienti al cambiamento climatico”, finanziato come progetto di capitalizzazione del progetto TRIG-Eau nell'ambito del programma Interreg-Marittimo IT-FR. L'obiettivo specifico del progetto RES_Eau è diffondere presso le istituzioni pubbliche le conoscenze necessarie alla progettazione partecipata di nuovi spazi urbani in risposta al cambiamento climatico e al rischio alluvioni proponendo un approccio di sviluppo territoriale capace di ricondurre le dinamiche divergenti del sistema economico, sociale e naturale verso un modello “ecosistemico” che, dai principi generali dello sviluppo sostenibile, porti una sua concreta realizzazione nella città e nel territorio transfrontaliero, dal livello gestionale-attuativo fino a quello strategico.

Nella presente memoria sono discussi i risultati ottenuti nel corso dell'esercitazione pratica dal titolo “Progettare soluzioni NBS valutandone le prestazioni: la piattaforma web-GIS TRIG Eau” sviluppata nell'ambito del corso di formazione del progetto RES_Eau che ha visto la partecipazione di 26 professionisti, tenutasi il 15 maggio 2023.

2. Metodologia

L'impatto dei SUDS sulla risposta idrologica di un comprensorio urbano dell'estensione di 2 ettari viene valutata attraverso l'applicativo DST "Strumento operativo per la valutazione del rischio idraulico" della piattaforma TRIG-Eau disponibile online all'indirizzo www.trigeau.servergis.it/it/mappa_ipotetico.

La piattaforma TRIG Eau (www.trigeau.servergis.it/), sviluppata nell'ambito dell'omonimo progetto si configura come una piattaforma Web-GIS dell'applicativo SWMM v. 5.1.007 relativo alla simulazione idrologico-idraulica del comportamento di una rete di drenaggio in ambiente urbano (Palla e Gnecco, 2021).

La piattaforma è stata sviluppata con l'obiettivo di sensibilizzare e promuovere la diffusione dei SUDS configurandosi anche come uno strumento di supporto alle decisioni in merito alla scelta di soluzioni progettuali e tecnologiche innovative ad oggi scarsamente implementata alla scala urbana.

2.1. L'applicativo DST della piattaforma TRIG Eau

L'applicativo DST della piattaforma TRIG Eau si configura come uno strumento semplice per condurre simulazioni idrologico-idrauliche di interventi SUDS in piccoli comprensori urbani di estensione pari a 2 ha.

L'utente utilizza l'applicativo DST della piattaforma TRIG Eau costruendo uno scenario di riferimento (prima dell'intervento) sul quale valutare uno o più interventi SUDS. Lo scenario di riferimento è definito sulla base di caratteristiche climatiche e del bacino urbano avendo a disposizione per ciascuna diverse opzioni. Nello specifico l'utente seleziona:

- il regime di precipitazione scegliendo tra 4 opzioni (Temperato umido, Temperato caldo, Sublitoraneo, Mediterraneo continentale);
- il grado di impermeabilizzazione tra 5 opzioni (15%, 30%, 45%, 75% e 90%);
- la tipologia di rete di drenaggio tra 3 opzioni (costiero/a pettine collinare/radiale ad elevata pendenza).

Per definire l'intervento SUDS, l'utente può selezionare 4 diverse tipologie di interventi (tetti verdi, pavimentazioni permeabili, tetti verdi e pavimentazioni permeabili, e sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche) differenziandone anche il livello di diffusione sul ter-

ritorio ovvero indicando una percentuale di area da convertire. Per quanto concerne la percentuale di area da convertire, si noti che per l'opzione tetti verdi il riferimento sono le coperture piane mentre per le pavimentazioni permeabili sono le aree di parcheggio non private. Le opzioni selezionabili differiscono in funzione della percentuale di superficie permeabile selezionata per lo scenario di riferimento, secondo una relazione empirica tra area impermeabile totale ed area di coperture piane o area di parcheggi non privati. In particolare, in base alla percentuale di impermeabilizzazione dello scenario di riferimento l'applicativo valuta le aree di coperture piane e di parcheggi non privati e stima l'estensione degli interventi SUDS applicando le corrispettive percentuali di conversione selezionati dall'utente.

Definito lo scenario di riferimento (prima dell'intervento) e gli interventi di mitigazione, l'utente seleziona il parametro relativo alla simulazione idrologico-idraulica (ovvero il tempo di ritorno della precipitazione, rappresentativo della severità dell'evento di progetto) ed esegue le simulazioni. Per la valutazione dell'impatto delle soluzioni, l'utente visualizza due mappe, rappresentative rispettivamente della condizione prima e dopo l'intervento (posizionate rispettivamente a sinistra e a destra nella pagina web dell'applicativo DST) e degli indicatori prestazionali relativi al funzionamento idraulico della rete di drenaggio e al ripristino del ciclo idrologico. Le mappe illustrano il grado di riempimento massimo degli elementi della rete di drenaggio nonché il coefficiente di deflusso associato a ciascun sottobacino.

Per utilizzare l'applicativo DST in riferimento ad un caso specifico, è stato recentemente predisposta una nuova pagina dedicata alla personalizzazione avanzata (Fig. 1), che guida l'utente nella caratterizzazione del caso, ovvero individua i criteri per la selezione:

- del regime di precipitazione in funzione della località geografica;
- della rete di drenaggio in funzione della topografia;
- del grado di impermeabilizzazione in funzione dell'uso del suolo;
- della tipologia di intervento/i in funzione delle aree riconvertibili.

Nella pagina personalizzazione avanzata (accessibile al link www.trigEAU.servergis.it/it/dst_evo per utenti registrati) è possibile stimare i costi dei diversi interventi, registrare risultati e condurre un'analisi prestazionale delle diverse soluzioni per definire l'intervento ottimale.

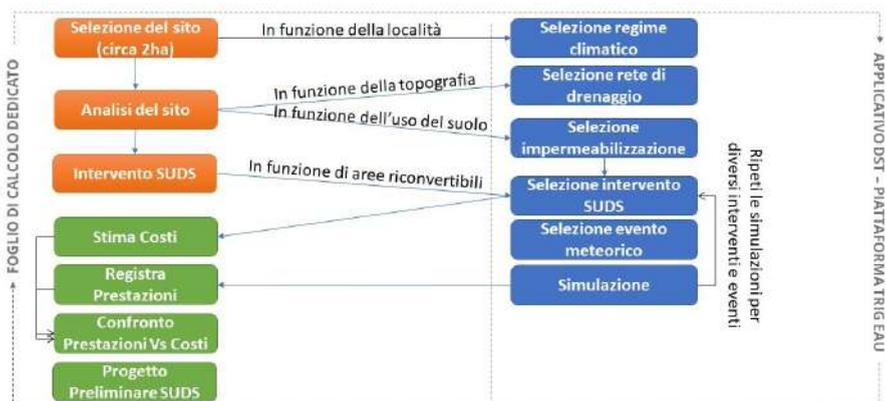


Fig. 1 – Diagramma di flusso per utilizzo dell'applicativo DST – personalizzazione avanzata della piattaforma TRIG-Eau

2.2. Indicatori prestazionali

Gli indicatori prestazionali utilizzati nella piattaforma TRIG-Eau fanno riferimento a semplici indici che quantificano l'impatto dell'installazione di interventi SUDS sul funzionamento idraulico della rete di drenaggio (e.g. Ercolani *et al.*, 2008) e nel ripristino del ciclo idrologico naturale al fine di condurre la selezione di uno o più interventi ottimali (e.g. Palla e Gnecco, 2022).

Gli indicatori relativi alla condizione di funzionamento della rete di drenaggio vengono calcolati prima dell'intervento e dopo l'intervento SUDS come segue:

- NSI (Indice di Stress della Rete) calcolato come il numero di rami che presentano un grado di riempimento massimo superiore o pari a 0.8 rispetto al numero di rami totale;
- NFI (Indice di Allagamento dei nodi) calcolato come il numero dei nodi che presentano allagamento rispetto al numero di nodi totale.

Le prestazioni di sistema, relative all'intervento selezionato sono valutate mediante i sopraindicati indicatori come segue:

- NSR (Riduzione dello Stress della rete) calcolato come riduzione relativa percentuale tra la condizione di riferimento (prima dell'intervento) e quella dopo l'intervento;
- NFR (Riduzione dell'allagamento nei nodi) calcolato come riduzione relativa percentuale tra la condizione prima dell'intervento e quella dopo l'intervento.

Per valutare la capacità di ripristinare il ciclo idrologico naturale sono valutate le classiche prestazioni idrologiche mediante i seguenti indicatori così valutati:

- PR: riduzione relativa percentuale della portata al colmo di piena valutata prima dell'intervento e dopo l'intervento;
- VR: riduzione relativa percentuale del volume di deflusso superficiale complessivo alla sezione di chiusura valutato prima dell'intervento e quella dopo l'intervento.

3. Risultati

L'analisi dell'impatto delle soluzioni SUDS alla scala urbana è stata condotta mediante l'applicativo DST della piattaforma TRIG Eau.

I risultati relativi all'applicazione ad un caso di studio sito a San Bartolomeo al Mare (IM), sono discussi al fine di selezionare la combinazione di soluzioni ottimali in termini di tipologia di soluzione (Tetti Verdi, Pavimentazioni Permeabili) e di numerosità degli interventi (estensione areale) per mitigare il rischio da allagamenti generati da insufficienza della rete di drenaggio artificiale.

3.1. Analisi del sito

Il blocco di edifici intorno a Piazza Andrea Doria del comune di San Bartolomeo al Mare (IM), è stato selezionato per testare l'applicativo DST-TRIG Eau nell'ambito dell'esercitazione pratica del corso di formazione transfrontaliera del progetto RES_Eau.

In Fig. 2, sono riportate alcune viste dell'area di studio in cui sono evidenziati i risultati dell'analisi del sito, ovvero la perimetrazione dell'area di 2 ha (Fig. 2a); la selezione della tipologia di rete di drenaggio, ovvero costiero a pettine (Fig. 2b) e la valutazione delle aree riconvertibili ovvero tetti piani e parcheggi non privati (Fig. 2c).

In Tab. 1 si riportano i risultati relativi alla caratterizzazione dell'uso del suolo, in particolare l'area si conferma fortemente impermeabilizzata con una percentuale di aree impermeabili pari al 90%, con una limitata presenza di aree destinate a edificati (tetti pari a 26%) e di parcheggi (8%). Si osservi inoltre che l'aliquota di aree permeabili è estremamente limitata (6%) ma vegetata (giardini ed aree verdi).

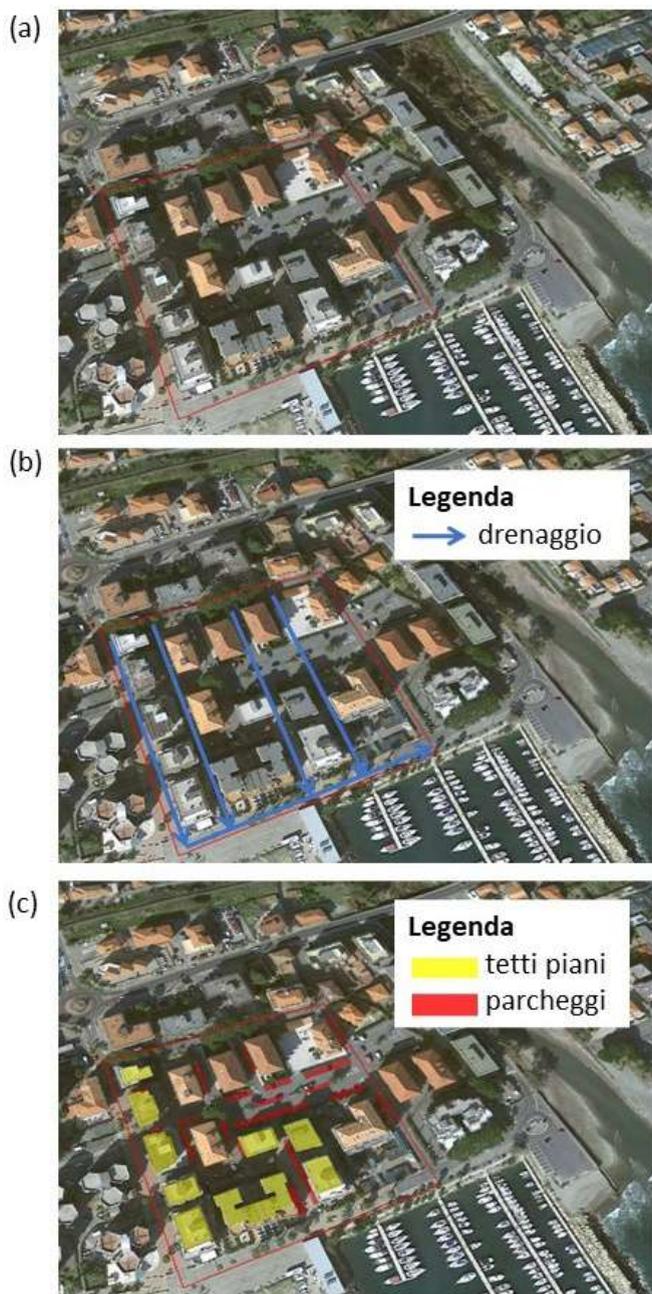


Fig. 2 – Applicazione per un quartiere residenziale nel Comune di San Bartolomeo al Mare (IM): Vista dell'area di studio (a), analisi topografica del sito per la selezione della tipologia di rete di drenaggio (b), analisi delle aree riconvertibili (c)

| Uso del suolo | Area [ha] | Area [%] |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Strade | 1.21 | 60% |
| Coperture piane | 0.28 | 12% |
| Coperture a falda | 0.23 | 14% |
| Aree di parcheggio | 0.17 | 8% |
| Area impermeabile | 1.88 | 94% |
| Aree verdi | 0.12 | 6% |
| Aree permeabili | 0.12 | 6% |
| Area Totale | 2 | 100% |

Tab. 1 – Analisi dell’uso del suolo per l’area di studio a San Bartolomeo al Mare

3.2. Costruzione degli scenari SUDS

Sulla base dell’analisi spaziale, condotta mediante Google Earth, sono state rilevate le aree riconvertibili ovvero tetti piani e parcheggi non privati (Fig. 2c) e valutate le estensioni areali in ha (Tab. 2). Nell’ambito del foglio di calcolo dedicato le aree convertibili sono state confrontate con le opzioni selezionabili, rispettivamente corrispondenti a 100%, 50%, 30% per i tetti verdi e a 100%, 50%, 30% e 20% per le pavimentazioni permeabili, per selezionare sul portale una coerente percentuale di conversione (Tab. 2). Si noti in particolare che le coperture piane presenti nell’area consentono solo la selezione della percentuale 30%, mentre le aree di parcheggio non private presenti nell’area sono superiori alle convertibili dal portale; pertanto, sebbene sia selezionata l’opzione 100% viene simulata la conversione di 0.06 ha di parcheggio a fronte dei 0.12 ha disponibili.

Gli scenari di intervento SUDS oggetto di simulazione sono pertanto i seguenti: tetti verdi per una conversione del 30% (30%TV), pavimentazioni permeabili per una conversione del 100% (100%PP) e combinazione di entrambi gli interventi, ovvero tetti verdi per una conversione del 30%, pavimentazioni permeabili per una conversione del 100% (30%TV e 100%PP).

| Tipologia Intervento | Area convertibile [ha] | Opzioni selezionabili [ha] | Scenario selezionato [%] |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Verde pensile | 0.28 | 0.26; 0.44; 0.88 | 30% |
| Pavimentazioni permeabili | 0.12 | 0.01; 0.02; 0.03; 0.06 | 100% |

Tab. 2 – Costruzione di scenari di intervento SUDS per tipologia di intervento: area convertibile, opzioni selezionabili nell'applicativo DST del portale TRIG-Eau espresse in termini di area e scenario selezionato

3.3. Analisi prestazionale

L'analisi prestazionale per i tre interventi SUDS (30%TV, 100%PP e 30%TV e 100%PP) è condotta mediante confronto tra i 4 indicatori prestazionali, NSR, NFR, VR e PR per i tre eventi di progetto differenziati per severità, ovvero per periodo di ritorno (Fig. 3). Dal confronto degli indicatori prestazionali, rappresentati in Fig. 3, si evince che le prestazioni per i diversi interventi variano con la severità dell'evento, come atteso, ma presentano comportamenti diversi in funzione degli specifici obiettivi prestazionali. In particolare, le prestazioni relative alle condizioni della rete di drenaggio (NSR e NSR) variano in un intervallo 0-100% mentre le prestazioni idrologiche variano in un intervallo molto più limitato 0-15%.

È prevista inoltre una valutazione dei costi di realizzazione degli interventi previsti, condotta sulla base di stime medie a metro quadro per tetti verdi di tipo intensivo (Andri e Sauli, 2012; UNI 11235, 2015) e pavimentazioni permeabili realizzati con strato drenante di circa 40 cm (Woods Ballard *et al.*, 2015) rispettivamente pari a 140 e 100 €/m².

La selezione dell'intervento ottimale (in termini di tipologia di soluzione SUDS e del relativo grado di diffusione) viene pertanto condotta valutando specifici obiettivi prestazionali che possono anche essere differenziati sulla base dell'evento di progetto ed abbinando una valutazione economica non esaustiva ovvero non comprensiva né dei costi di manutenzione, né di strategie di incentivazione.

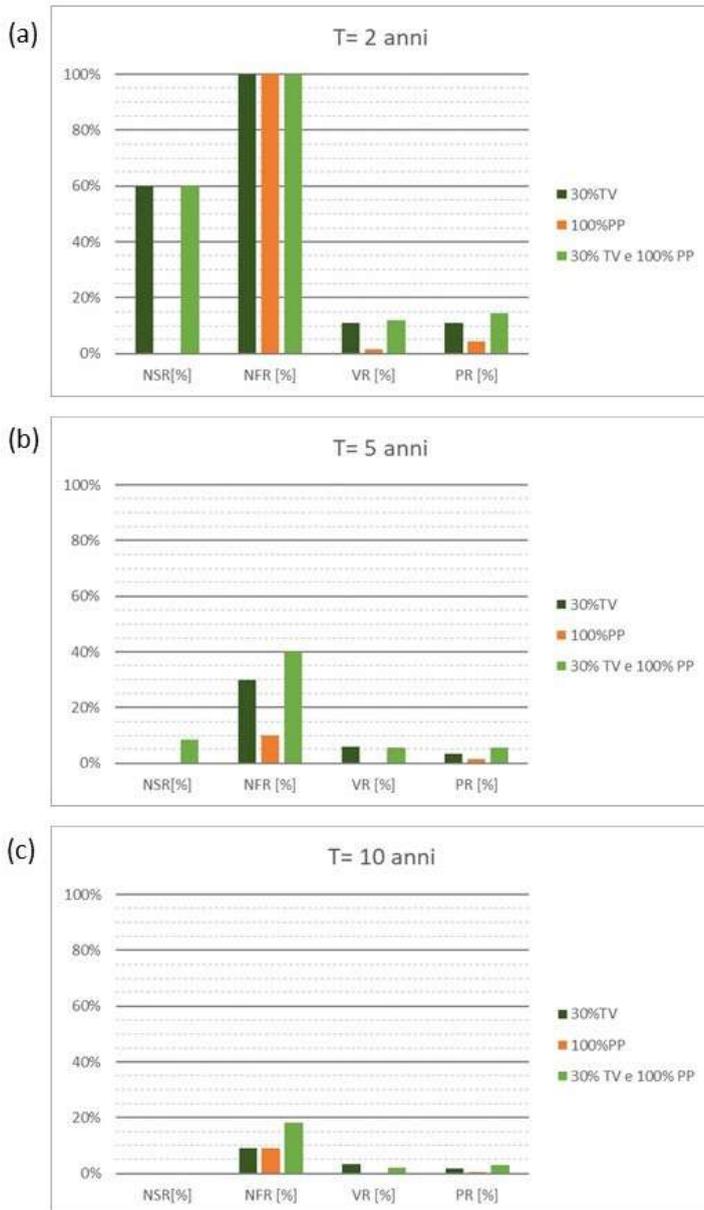


Fig. 3 – Indicatori prestazionali di riduzione di stress della rete (NSR) di nodi allagati (NFR), di volume meteorico (VR) e di portata al colmo di piena (PR) per i tre scenari di intervento SUDS (30% TV, 100%PP; 30% TV e 100%PP). L'analisi prestazionale è riportata per tre periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni rispettivamente illustrate nei grafici (a), (b) e (c)

In Fig. 4, l'analisi comparativa delle prestazioni e del costo di installazione per i tre scenari di intervento SUDS è condotta per obiettivo prestazionale specifico. Ad esempio, analizzando l'obiettivo prestazionale NSR, riduzione dello stress della rete, illustrato in Fig. 4a si evince che per l'evento più severo (T=10 anni) nessuno degli interventi proposti risulta efficace come confermato dal valore nullo dell'indicatore, mentre per l'evento di progetto più modesto (T=2 anni) le prestazioni dell'intervento 30%TV e 30%TV e 100%PP risultano confrontabili. Se invece si analizza, l'obiettivo prestazionale NFR, riduzione dei nodi allagati della rete, illustrato nella Fig. 4b, si rileva che tutti gli eventi proposti hanno un impatto come confermato da valori dell'indicatore pari al 10% anche per l'intervento economicamente più modesto corrispondente alla conversione delle aree di parcheggio non private in pavimentazioni permeabili (100%PP). Diverse considerazioni emergono dall'analisi degli indici prestazionali idrologici VR e PR, riduzione del volume e della portata al colmo di piena, illustrati

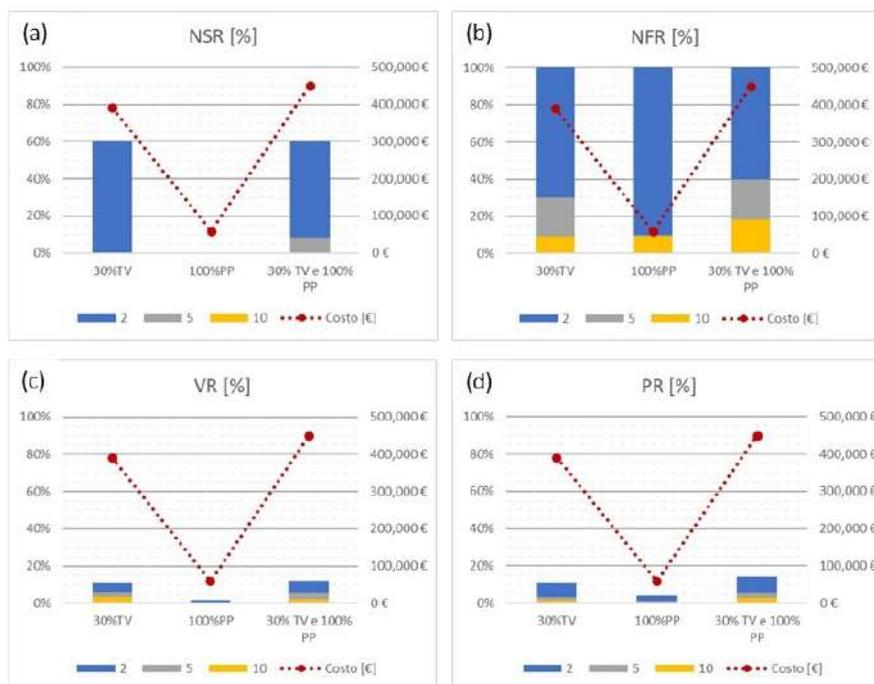


Fig. 4 – Analisi comparativa del costo di installazione e delle prestazioni per i tre scenari di intervento SUDS (30% TV, 100% PP; 30% TV e 100%PP) ed i tre periodi di ritorno pari a 2, 5 e 10 anni. L'analisi comparativa è riportata per i quattro indicatori prestazionali: riduzione di stress della rete (NSR), di nodi allagati (NFR), di volume meteorico (VR) e di portata al colmo di piena (PR) rispettivamente illustrati nei grafici (a), (b), (c) e (d)

rispettivamente in Fig. 4c e Fig. 4d: in particolare, risulta evidente che il solo intervento sulle aree di parcheggio non private, riguardando una superficie limitata (0.06ha) non ha impatto significativo nel ripristino del ciclo naturale nemmeno per l'evento di precipitazione più modesto. Si osservi inoltre che anche gli altri interventi SUDS previsti (30%TV e 30%TV e 100%PP) hanno un impatto marginale nel ripristino del ciclo idrologico naturale con percentuali di riduzione inferiori al 5% per eventi caratterizzati da un periodo di ritorno pari a 5 anni.

Sebbene la percentuale di impermeabilizzazione dell'area sia estremamente elevata (90%) e le prestazioni idrologiche siano limitate per tutti gli interventi SUDS previsti, gli impatti sulla rete non sono trascurabili.

Tali risultati confermano quanto documentato in letteratura (e.g. Palla e Gnecco, 2015; Palla e Gnecco, 2022), ovvero per avere effetti significativi nel ripristino della risposta idrologica è necessario ridurre significativamente l'area impermeabile, ovvero intervenire in maniera diffusa sul tessuto urbano; tuttavia, ipotizzare interventi localizzati può comunque supportare la mitigazione del rischio di allagamenti.

4. Conclusioni

Nella presente memoria, sono presentati e discussi i risultati ottenuti utilizzando l'applicativo DST della piattaforma TRIG-Eau per la valutazione dell'impatto degli interventi SUDS alla scala del comprensorio urbano. Le valutazioni sono relative ad un caso di studio sito nel Comune di San Bartolomeo al Mare affrontato nell'ambito del corso di formazione transfrontaliero del progetto RES_Eau.

Lo sviluppo di un foglio di calcolo dedicato all'applicativo-DST ha consentito agli utilizzatori di riprodurre nel portale il caso di studio e di progettare preliminarmente diversi scenari di interventi SUDS. Per la semplicità di utilizzo, l'applicativo DST-TRIG Eau è stato molto apprezzato come uno strumento quantitativo, versatile ed efficace nella valutazione degli impatti di interventi SUDS nella gestione delle acque meteoriche, sebbene limitato in alcune funzionalità rispetto a modellazione ed analisi più complete degli interventi (modellazione di dettaglio della rete di drenaggio con flessibilità su geometrie e dimensioni di rami e sottobacini, valutazioni di fattibilità tecnico-economica).

I risultati presentati, la loro discussione e gli approfondimenti dimostrano il potenziale dell'applicativo DST-TRIG Eau per migliorare la valutazione delle inondazioni urbane e per supportare meglio l'implementazione dei sistemi SUDS. Inoltre, tali risultati dimostrano che l'applicativo

DST-TRIG Eau può essere utilizzato per facilitare il processo pianificatorio e la successiva progettazione di interventi di drenaggio urbano sostenibile, anche nell'ambito di processi di partecipazione necessari per la messa a sistema di interventi SUDS anche nelle linee di indirizzo della pianificazione urbanistica delle nostre città. L'applicativo DST-TRIG Eau potrebbe migliorare la consapevolezza di differenti stakeholder su molti elementi della mitigazione della pericolosità da rischio di allagamento in area urbana, tra cui l'analisi della permeabilità dell'area, il ruolo del regime delle precipitazioni, la caratterizzazione della rete di drenaggio, e la selezione di scenari ottimali di conversione sostenibile, che diversamente risultano molto poco accessibili a chi non ha specifiche competenze tecniche.

Infine, la piattaforma TRIG Eau nel suo complesso dovrebbe essere aggiornata sviluppando elementi di mappatura partecipativa per includere le conoscenze socio-esperienziali locali, dando luogo a una serie di soluzioni basate sul luogo e sulla comunità e sostenendo ulteriormente la diffusione delle soluzioni basate sulla natura alla scala urbana.

Riferimenti bibliografici

- Andri S. and Sauli G. (2012), “Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico”, *Manuale e Linee Guida ISPRA*, n. 78.3.
- Cardinali M., Dumitru A., Vandewostijne S. and Wendling L. (Eds.) (2021), *Evaluating the impact of Nature-based Solutions: A Summary for Policy Makers*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/521937>.
- Ercolani G., Chiaradi E.A., Gandolfi C., Castelli F. and Masseroni D. (2018), “Evaluating performances of green roofs for storm water runoff mitigation in a high flood risk urban catchment”, *J. Hydrol.*, 566, 830-845.
- EEA – European Environmental Agency (2021), *Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*, EEA Report No 1/2021.
- Palla A. and Gnecco I. (2022), “On the Effectiveness of Domestic Rainwater Harvesting Systems to Support Urban Flood Resilience”, *Water Resources Management*, 36, 15: 5897-5914.
- Palla A. and Gnecco I. (2021), “The web-gis TRIG Eau platform to assess urban flood mitigation by domestic rainwater harvesting systems in two residential settlements in Italy”, *Sustainability (Switzerland)*, 13, 13: 7241.
- Palla A. and Gnecco I. (2020), “A continuous simulation approach to quantify the climate condition effect on the hydrologic performance of green roofs”, *Urban Water Journal*, 17, 7: 609-618.
- Palla A. and Gnecco I. (2015), “Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale”, *Journal of Hydrology*, 528: 361-368.

Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M.V., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V. and Zavatarelli M. (2020), *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia*. doi: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO.

UNI 11235, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture a verde*, Ed. UNI Italia, Milano, 2015.

Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R. and Kellagher R. (2015), *The SuDS Manual (C753)*, pp. 964.

Restituire spazio all'acqua e agli ecosistemi degli ambienti umidi: fitodepurazione e altri benefici

di Carlo Bendoricchio, Paolo Cornelio*

Abstract

Restoring space to water and wetlands ecosystems: phytoremediation and other advantages

Acque Risorgive Land Reclamation Authority designs and realizes projects aimed at restoring the natural state and functioning of river systems under the initiative named “Piano Direttore 2000”, a planning instrument developed and financed by the Veneto Region for pollution prevention and the improvement of water quality in the river network flowing into the Venice Lagoon. These projects are realized with the aim to decrease the concentration of pollutants known to cause eutrophication processes in the water of the Venice Lagoon, especially nitrogen and phosphorus. The Veneto Region guidelines recommend the achievement of this goal through the phytoremediation of water. While accomplishing its work, this reclamation consortium prefers to use this opportunity to increase natural environments rather than adopt biotechnology, thus supporting biodiversity and the arise of spontaneous ecosystem dynamics. The average annual reduction of nutrients ensured by these new areas is significant, with total nitrogen decrease varying between 36% and 70% and nitrate decrease between 52% and 94%. Only sporadic failures have been observed as a result of the complexity in bringing irrigation needs in line with environmental opportunities. Besides of depuration performances, wetlands represent a pole of attraction for scientific, educational and recreational activities, encouraging this reclamation consortium to improve its abilities in the correct design and management of natural environments.

Acque Risorgive Consorzio di Bonifica progetta e realizza interventi diffusi di riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua, nell'ambito del “Piano per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia”,

* Acque Risorgive Consorzio di Bonifica, Venezia Mestre.

finanziato dalla Regione del Veneto. Le opere realizzate hanno l'obiettivo di ridurre i carichi inquinanti che possono causare fenomeni di eutrofizzazione delle acque all'interno della laguna di Venezia, concentrandosi sul controllo delle sostanze azotate e del fosforo. L'indicazione della Regione è stata di raggiungere questo obiettivo attraverso processi di fitodepurazione delle acque. Nel suo lavoro, il consorzio ha deciso di non adottare l'approccio delle biotecnologie ma di restituire spazio agli ambienti naturali, favorendo l'incremento della biodiversità e assecondando le dinamiche spontanee degli ecosistemi di nuova formazione. Nei diversi ambienti che si sono venuti a sviluppare le riduzioni medie annue dei nutrienti sono state consistenti, ad esempio tra il 36% e il 70% per l'azoto totale e tra il 52% e il 94% per l'azoto nitrico, con solo qualche sporadico insuccesso dovuto alla locale difficoltà di commisurare le esigenze irrigue con le opportunità ambientali. Oltre alla loro efficacia depurativa, le nuove zone umide sono diventate un polo di attrazione per attività scientifiche, didattiche, educative e ricreative, risultando per il consorzio stesso uno stimolo ad accrescere le proprie competenze nella corretta progettazione e gestione di ambienti di interesse naturalistico.

1. Introduzione

Il consorzio realizza le proprie opere in modo da favorire i processi di fitodepurazione delle acque, attraverso la restituzione di spazio agli ambienti umidi naturali, l'incremento della biodiversità e il rispetto delle dinamiche spontanee degli ecosistemi di nuova formazione. Su queste basi, vengono progettate zone umide e sistemi lineari di fasce tampone vegetali che possano sfruttare i processi naturali di depurazione delle acque, che nel caso dell'azoto sono essenzialmente due: l'assorbimento diretto da parte delle specie vegetali, con l'ingresso nelle catene trofiche, e le trasformazioni messe in atto dalle popolazioni batteriche, che vivono nel suolo grazie alla presenza delle piante. Quest'ultimo processo risulta determinante per la rimozione definitiva dei carichi eccessivi di azoto, grazie alla capacità dei batteri denitrificanti di scomporre l'azoto nitrico ($N-NO_3$), fino ad arrivare all'azoto molecolare (N_2), con il risultato di sottrarre i carichi eccessivi alle acque e liberare azoto in forma gassosa. L'efficacia delle zone umide e delle fasce tampone nel controllo dell'inquinamento diffuso le rende delle tipiche soluzioni basate sulla natura (NBS Nature-based Solutions). Il Joint Research Centre (JRC) della Commissione europea ha sostenuto, a partire dal 2019, una serie di studi di approfondimento che costituissero una base omogenea di prove sulla

fattibilità pratica, l'efficacia e i limiti delle NBS, con particolare riferimento ai diversi problemi di gestione delle acque in agricoltura. Nell'ambito di questo programma di raccolta dati, il JRC ha finanziato la società di consulenza ingegneristica IRIDRA Srl di Firenze per una ricerca dal titolo "Nature-based solutions for climate change adaptation and water pollution in agricultural regions" (Borsacchi *et al.*, 2021). Acque Risorgive Consorzio di Bonifica è stato scelto come caso studio da IRIDRA, con due esempi di progetti di zone umide e due di fasce tampone, che saranno descritti in questo articolo.

2. Zone umide

Le zone umide naturali sono caratterizzate da un'elevata biodiversità ma gli habitat e le specie legati a questi ambienti sono tra quelli maggiormente minacciati a livello globale. Le principali cause della progressiva scomparsa delle zone umide derivano dall'agricoltura intensiva (inquinamento, consumo delle risorse idriche, banalizzazione ecologica dei territori rurali), dall'urbanizzazione (inquinamento e consumo di suolo) e dai cambiamenti climatici (inaridimento degli ecosistemi). Negli ultimi 50 anni, la drastica diminuzione delle risorse idriche ha determinato la scomparsa del 35% delle zone umide a livello globale e del 48% delle zone umide dell'area del Mediterraneo (Mediterranean Wetlands Observatory, 2018). Ma se i cambiamenti climatici rappresentano una grave minaccia per gli ambienti umidi, la loro tutela e il loro ripristino vanno considerati a tutti gli effetti una NBS fondamentale per il contrasto ai cambiamenti stessi, in virtù della grande capacità di cattura e stoccaggio del carbonio di questi ecosistemi. Acque Risorgive mira quindi a raggiungere i propri obiettivi di fitodepurazione delle acque attraverso la restituzione di spazio alle zone umide, cercando di ricostituire ambienti che si avvicinino quanto più possibile agli ecosistemi naturali. Per questa ragione, negli interventi che vengono realizzati, si evita di impermeabilizzare il fondo dei bacini, di utilizzare pompe per alimentare le zone umide, di servirsi di materiali plastici o incoerenti con l'ambiente, di utilizzare singole specie performanti a discapito della colonizzazione spontanea della vegetazione, di intervenire con manutenzioni che possano ostacolare la libera evoluzione degli ecosistemi e di proporre percorsi di fruizione invasivi. A titolo di esempio, vengono presentati di seguito due casi studio di zone umide, di diverse dimensioni, progettate e realizzate da Acque Risorgive.

2.1. Bacini di piccole dimensioni: lo scolo Rusteghin

A ridosso del centro abitato di Mogliano Veneto, Acque Risorgive ha realizzato due bacini contigui di fitodepurazione delle acque, per una superficie complessiva di 3.5 ettari. I bacini sono interni al corso dello scolo Rusteghin e sono stati progettati in modo da rendere quanto più lungo possibile il percorso di deflusso, così da aumentare il tempo di residenza dell'acqua nel sistema e favorire i processi naturali di depurazione. In caso di piena l'area può essere utilizzata per contenere le eventuali acque in eccesso, ed è quindi in grado di svolgere un ruolo anche in termini di sicurezza idraulica. A conclusione degli scavi si è preferito non eseguire interventi di semina di specie erbacee, al fine di favorire la colonizzazione della vegetazione spontanea. I rilievi floristici, svolti a partire dai terreni nudi, hanno portato a individuare nelle prime due stagioni vegetative un numero considerevole di specie, in rapporto alla superficie indagata: 137 specie in 13.900 m² (Zanaboni e Fasolo, 2019). Nonostante l'area di fitodepurazione fosse di recente formazione, e i suoi bacini siano contornati da una rete viaria trafficata, anche l'avifauna ha iniziato fin da subito a frequentare gli ambienti umidi, tanto che a due anni dalla fine dei lavori, si sono potute censire 23 specie diverse di uccelli e alcune nidificazioni. L'elevata biodiversità che caratterizza queste nuove zone umide ha permesso di ottenere ottime rese in termini di abbattimento dei nutrienti, con tassi di ritenzione e bilanci di massa superiori alle stime di progetto, anche a fronte di dimensioni e portate limitate (50-70 litri/secondo) (Tab. 1).

| Forme di azoto (N) e fosforo (P) | Input | Ritenz. | Input | Ritenz. | Ritenz. |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| | Q 50 L/s | Q 50 L/s | Q 70 L/s | Q 70 L/s | media |
| | <i>t/anno</i> | <i>t/anno</i> | <i>t/anno</i> | <i>t/anno</i> | % |
| N-NO _x | 2.6 | 1.4 | 3.9 | 2.0 | 52% |
| N totale | 10.6 | 3.8 | 15.9 | 5.8 | 36% |
| P-PO ₄ | 0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 51% |
| P totale | 5.7 | 1.3 | 8.6 | 1.9 | 22% |
| Solidi Sospesi Totali | 13.6 | 7.0 | 20.4 | 10.6 | 51% |

Tab. 1 – Zona umida Rusteghin (Mogliano Veneto TV): ritenzione delle diverse forme di azoto e fosforo, con portate in ingresso di 50 e 70 Litri/secondo. Monitoraggio svolto a tre anni dal termine dei movimenti terra



Fig. 1 – Zona umida Rusteghin (Mogliano Veneto TV)

2.2. Aree di interesse naturalistico: l'Oasi Lycaena

Le cave senili di Villetta di Salzano (VE), comprese tra il fiume Marzenego e il rio Roviego, occupano una superficie di 64 ettari e sono un'area protetta della Rete Natura2000, in gran parte di proprietà della Città Metropolitana di Venezia (Buffa e Lasen, 2010). Il sito è conosciuto anche come Oasi Lycaena, in riferimento alla presenza della Licena delle paludi (*Lycaena dispar*), farfalla diurna molto rara, legata agli ambienti umidi di pianura. A seguito della valutazione delle alternative di progetto, si è preferito lasciare inalterata sia l'area più a est delle cave, in virtù della presenza di una piccola zona umida rimasta dopo il progressivo imbonimento dei bacini, che l'area più a ovest, caratterizzata da formazioni boschive più evolute. L'intervento è stato quindi circoscritto all'area centrale dell'oasi, dove Acque Risorgive ha eliminato parte della vegetazione arborea e sagomato una superficie di 20 ettari, allo scopo di realizzare un ecosistema filtro per la fitodepurazione delle acque. Il ricorso a un intervento così invasivo, all'interno di un'area protetta, è stato

giustificato dall'opportunità di arricchire ulteriormente la biodiversità di un sito già di notevole interesse naturalistico. L'introduzione di acque derivate dal fiume Marzenego e gli scavi eseguiti a diverse profondità hanno infatti permesso di creare una vasta zona umida, in un contesto che si presentava completamente coperto da formazioni arboree. Questo incremento di biodiversità, a seguito dei lavori, è stato testimoniato ad esempio dall'insediamento di una nuova garzaia, composta da quattro diverse specie di ardeidi (*Ardea cinerea*, *Egretta garzetta*, *Bubulcus ibis* e *Nycticorax nycticorax*) e da esemplari di Marangone minore (*Microcarbo pygmeus*), per un totale di 157 nidi (Sartori e D'Alterio, 2016). Oggi l'oasi è attraversata dalle acque che provengono dal fiume Marzenego (portata derivata: 120-130 L/s) e che vengono recapitate nel rio Roviego dopo 5 giorni di lento deflusso, secondo un percorso che ha salvaguardato le formazioni arboree di pregio (es. Ontanete di *Alnus glutinosa* e arbusteti di *Salix cinerea*). Il transito delle acque avviene per gravità, senza l'ausilio di pompe, grazie al gradiente altimetrico tra le quote dei due corsi d'acqua. Le dimensioni dell'area e la sua complessità ecologica hanno permesso di avere rese di abbattimento dei nutrienti (azoto e fosforo) molto elevate, già a un anno dal termine dei lavori. Di seguito si riporta l'andamento stagionale dei processi di ritenzione dei diversi inquinanti (Tab. 2).

| Forme di azoto (N) e fosforo (P) | Ritenz. inverno | Ritenz. primavera | Ritenz. estate | Ritenz. autunno | Ritenz. media |
|----------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------|---------------|
| | % | % | % | % | % |
| N-NO _x | 42.3 | 92.8 | 94.4 | 74.8 | 76 |
| N totale | 44.0 | 42.6 | 59.8 | 49.5 | 49 |
| P-PO ₄ | 53.4 | 47.9 | 63.2 | 62.4 | 57 |
| P totale | 71.2 | 21.0 | 42.3 | 36.7 | 43 |
| Solidi Sospesi Totali | 91.8 | 31.7 | 71.2 | 69.2 | 66 |

Tab. 2 – Oasi Lycaena (ex Cave Villetta di Salzano VE): percentuali di ritenzione delle diverse forme di azoto e fosforo nelle diverse stagioni, a un anno dal termine dei movimenti terra

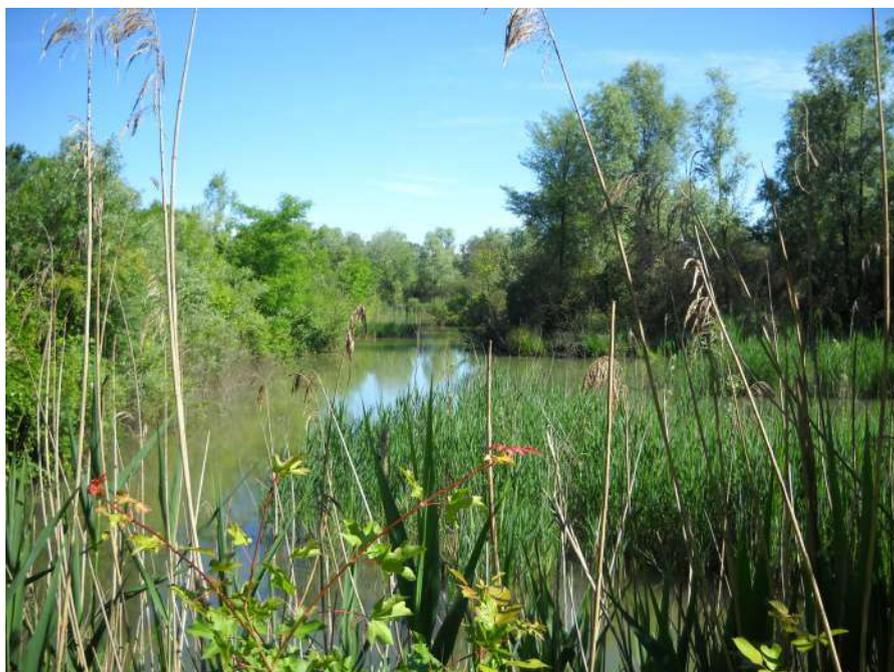


Fig. 2 – Oasi Lycaena (ex Cave Villetta di Salzano VE)

3. Fasce tampone

Con il termine generico “zona tampone” si intende un qualsiasi elemento del paesaggio (come può essere un prato, un bosco, un filare di alberi, una zona umida, ecc.) in grado di limitare l’impatto dell’inquinamento diffuso di origine agricola sulle risorse idriche. Le “fasce tampone” non sono altro che zone tampone che seguono l’andamento di un fosso, di un canale, di un fiume, o anche la sponda di un lago, e che di conseguenza hanno uno sviluppo prevalentemente lineare. La loro efficacia nella tutela della qualità delle acque è legata alla capacità di intercettare i carichi inquinanti diffusi (soprattutto di azoto e fosforo, ma anche di alcuni pesticidi e metalli pesanti), prima che questi raggiungano i corsi d’acqua. Perché la vegetazione possa avere una effettiva funzione tampone sugli inquinanti, è fondamentale che gli apparati radicali e la sostanza organica prodotta dalle piante siano in grado di raggiungere la falda superficiale e i deflussi sotterranei che arrivano dai coltivi, una delle fonti principali di inquinamento diffuso. Nonostante sia i dati reperibili in bibliografia che quelli raccolti

localmente dimostrino che anche fasce tampone di ampiezza ridotta (3.5 ÷ 5.0 m) sono in grado di risultare molto efficaci (Gumiero e Boz, 2012), negli interventi di fitodepurazione progettati da Acque Risorgive si tende a realizzare fasce molto più ampie (fino a 50 m). Questo per non limitarsi all'obiettivo depurativo e poter valorizzare la funzione naturalistica e paesaggistica degli interventi, anche attraverso fasce tampone composte sia da vegetazione arboreo-arbustiva che da vegetazione erbacea palustre. Come nel caso delle zone umide, viene lasciato ampio spazio alla colonizzazione della vegetazione spontanea e allo sviluppo naturale delle aree, evitando di introdurre nell'ambiente singole specie performanti. Di seguito vengono presentati due casi studio di fasce tampone: il primo scelto perché rappresentativo degli interventi realizzati da Acque Risorgive lungo il proprio reticolo idrografico, il secondo per la sua natura di campo sperimentale per attività di monitoraggio e raccolta dati.

3.1. Fasce tampone arboree riparie: la Piovega di Scandolara

Acque Risorgive ha realizzato un intervento di vasta scala per la riqualificazione ambientale degli affluenti del medio corso del fiume Dese, un progetto che ha coinvolto diversi collettori, per un'estensione complessiva di 14 km. L'intervento mirava a incrementare la capacità di fitodepurazione dei corsi d'acqua, al fine di ridurre le quantità di nutrienti sversati nella laguna di Venezia; inoltre, per alcune aree dei territori dei comuni di Zero Branco (TV), Scorzè (VE) e Trebaseleghe (PD) l'allargamento dei canali ha portato anche a una riduzione dei rischi di allagamento. Il progetto ha previsto la realizzazione di zone umide e la messa a dimora di 5.3 km di fasce tampone arboree interne all'alveo. Oltre a svolgere una funzione depurativa, la presenza delle fasce tampone arboree ha dato vita a corridoi ecologici che stanno acquisendo nel tempo un valore naturalistico sempre più elevato. Sono stati quindi realizzati canali di bonifica più complessi e più interessanti, grazie alla maggiore varietà di ambienti presenti; un nuovo contesto che ha impegnato Acque Risorgive nello studio e nell'applicazione di piani di manutenzione specifici, che potessero garantire il regolare deflusso delle acque ma che al contempo preservassero la maggior parte delle formazioni vegetali presenti. Gli impianti arborei sono stati realizzati con materiale vivaistico forestale di piccole dimensioni (piante fornite in vasi da 3 litri) che, a quattro anni dall'impianto, si sono dimostrate molto efficaci nell'intercettare i carichi di azoto presenti nei deflussi della falda superficiale e provenienti dai terreni agricoli circostanti. L'attività di monitoraggio svolta lungo la Piovega di Scandolara

è stata utile anche ad evidenziare come alcune pratiche di manutenzione messe in atto da Acque Risorgive possano ridurre l'efficienza delle fasce tampone. La deposizione della vegetazione erbacea falciata dal fondo del canale nelle golene ha infatti portato a un incremento di azoto in forma ammoniacale (N-NH_4), a seguito della decomposizione della sostanza organica (Tab. 3).

| Forme azotate | Input | Output | Ritenzione | |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| | <i>Kg/1000m/anno</i> | <i>Kg/1000m/anno</i> | <i>Kg/1000m/anno</i> | <i>%</i> |
| N-NO ₃ | 216.4 | 26.7 | 189.7 | 88 |
| N-NO ₂ | 1.3 | 0.6 | 0.7 | 54 |
| N-NH ₄ | 3.5 | 26.6 | -23.1 | -760 |
| N organico | 37.6 | 24.9 | 12.7 | 34 |
| N totale | 258.8 | 78.8 | 180.0 | 70 |

Tab. 3 – Piovega di Scandolara (TV), fascia Tampone arborea larga 7m: input, output e tasso di ritenzione delle diverse forme di azoto, a quattro anni dall'impianto



Fig. 3 – Piovega di Scandolara (TV)

3.2. Zona tampone irrigata: il sito Nicolas

Il sito Nicolas si trova all'interno di una zona tampone arborea di 30 ettari, realizzata presso l'Azienda Diana di Veneto Agricoltura, nel Comune di Mogliano Veneto (TV). Per zona tampone arborea si intende, in questo caso, un bosco che viene irrigato con acqua del fiume Zero e che ha la capacità di ridurre i carichi inquinanti di azoto. L'area boscata è nata dalla collaborazione tra Acque Risorgive e Veneto Agricoltura, che ha progettato diversi moduli di impianto con valenza dimostrativa, in modo da proporre associazioni di specie che potessero soddisfare sia esigenze produttive (produzione di biomassa legnosa a scopi energetici), che esigenze più naturalistiche. L'impianto di irrigazione è composto da 5 pompe e da una trentina di scoline di distribuzione dell'acqua, scavate in corrispondenza del colmo degli appezzamenti. Questa semplice sistemazione dei terreni induce un deflusso sotterraneo delle acque e permette all'azoto di essere assorbito dalle piante, o in alternativa di essere trasformato in forma gassosa dai batteri denitrificanti del suolo. Il ricorso all'utilizzo di pompe è indotto esclusivamente dalla possibilità di quantificare con precisione i volumi di deflusso a fini sperimentali. La zona tampone arborea è dotata infatti di una stazione di monitoraggio della qualità delle acque, realizzata da Acque Risorgive per poter valutare l'efficacia della fitodepurazione e ricavare indicazioni utili alla corretta gestione delle fasce tampone riparie. Il sito di monitoraggio deve il suo nome al disegno sperimentale di questa area di studio, che ha ricalcato quello adottato da tutti gli Istituti coinvolti nel Progetto di Ricerca Europeo "NICOLAS 1997-2000" (Nitrogen Control by Landscape Structures in Agricultural Environment). Negli anni questo sito è stato utilizzato per la raccolta di una vastissima mole di dati e per lo svolgimento di diverse sperimentazioni, che hanno riguardato sia i carichi in ingresso (con addizioni di azoto nitrico) che la gestione della vegetazione arborea (Gumiero e Boz, 2012). A titolo di esempio, si riporta l'efficacia di una fascia di 15 m di larghezza, formata da 4 filari di piante: il sito è stato realizzato utilizzando materiale vivaistico di piccole dimensioni, che ha garantito un rapido ed equilibrato sviluppo delle piante, che sono state monitorate a 3 anni dall'impianto (Tab. 4); le perdite di azoto organico sono imputabili alla lisciviazione dei residui delle attività agricole presenti prima della realizzazione della zona tampone (Gumiero *et al.*, 2011). A 13 anni di distanza dai primi impianti arborei, i rilievi faunistici hanno dimostrato come la zona tampone abbia acquisito nel tempo anche un valore naturalistico, con la presenza di alcune specie di particolare pregio, come il tritone crestato italiano (*Triturus carnifex*) e la rana di Lataste (*Rana latastei*).

| Forme azotate | Input | Output | Ritenzione | |
|-------------------|------------|------------|------------|------|
| | Kg/ha/anno | Kg/ha/anno | Kg/ha/anno | % |
| N-NO ₃ | 85.2 | 11.6 | 73.6 | 86 |
| N-NO ₂ | 2.5 | 0.3 | 2.2 | 87 |
| N-NH ₄ | 18.0 | 18.1 | 0.0 | -0.1 |
| N organico | 12.0 | 13.3 | -1.3 | -11 |
| N totale | 117.7 | 43.3 | 74.5 | 63 |

Tab. 4 – Sito Nicolas (Mogliano Veneto TV), zona tampone arborea larga 15 m: input, output e tasso di ritenzione delle diverse forme di azoto, a tre anni dall’impianto



Fig. 4 – Sito Nicolas (Mogliano Veneto TV)

4. Criticità, sfide e soddisfazioni

Per un consorzio di bonifica, la principale criticità nella progettazione e gestione di questi interventi è rappresentata dalle esigenze irrigue. La necessità d’uso della risorsa idrica a fini produttivi può andare in contrasto con l’equilibrio ecologico di corsi d’acqua e zone umide. La presenza lun-

go fiumi e canali di sbarramenti, necessari per la gestione e distribuzione dell'acqua a fini irrigui, rappresenta una discontinuità per le cenosi acquatiche, interferisce con gli equilibri idromorfologici e induce a regolazioni artificiali dei livelli idrici, che possono comportare la mortalità per sommersione della vegetazione e, più in generale, l'alterazione delle comunità biotiche. La sfida attuale e futura per Acque Risorgive è la ricerca di un equilibrio tra le tradizionali funzioni di sostegno alle attività agricole e gli indispensabili interventi di riqualificazione ambientale del reticolo idrografico, con l'obiettivo di *salvaguardare le aspettative e i diritti delle generazioni future a fruire di un patrimonio ambientale integro*, come testualmente indicato nella Legge regionale n. 12/2009 “Nuove norme per la bonifica e la tutela del territorio”. Per Acque Risorgive, in questi anni, lo stimolo a un'evoluzione culturale è arrivato soprattutto dal constatare come la restituzione di spazio agli ecosistemi degli ambienti umidi naturali abbia portato molteplici benefici, in linea con la crescente consapevolezza europea del valore dei servizi ecosistemici. I risultati ottenuti non si limitano soltanto alla fitodepurazione delle acque ma comprendono anche: riduzione del rischio idraulico, protezione e incremento della biodiversità, miglioramento dei microclimi, tutela della salute, servizi ricreativi, funzioni educative e culturali (Pistocchi, 2022). Un lavoro che, come per ogni cambiamento, richiede energia e capacità di mettersi in discussione. Una sfida impegnativa che viene alimentata dalla soddisfazione di vedere l'ente accrescere le proprie competenze, e riscontrare come le nuove zone umide diventino ambienti ospitali per le altre specie e luoghi di approfondimento delle conoscenze scientifiche.

Riferimenti bibliografici

- Acque Risorgive Consorzio di Bonifica (2018), *Guida alla scoperta di Oasi e Aree di interesse naturalistico nel comprensorio di Acque Risorgive Consorzio di Bonifica*, Edizioni Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua.
- Borsacchi L., Boz B., Bresciani R., Conte G., de Carli A., Masi F. e Rizzo A. (2021), *Nature-based solutions for climate change adaptation and water pollution in agricultural regions*. IRIDRA Srl, testo disponibile come “Technical Report – Borsacchi et al 2021b” al sito: <https://urlsand.esvalabs.com/?u=https%3A%2F%2Fwater.jrc.ec.europa.eu%2Fnbs.html&e=71047750&h=ac84d085&f=y&p=n> (consultato il 17.07.2023).
- Buffa G. e Lasen C. (2010), *Atlante dei siti Natura 2000 del Veneto*. Regione del Veneto – Direzione Pianificazione Territoriale e Parchi, Venezia. pp. 298-299.
- Gumiero B. e Boz B. (2012), *Il sito sperimentale NICOLAS, Monitoraggio dell'efficacia di un'area tampone arborea presso l'azienda Diana di Veneto*

- Agricoltura per il disinquinamento della Laguna di Venezia*, Report finale, Consorzio di Bonifica Acque Risorgive – Regione del Veneto, edizioni Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua.
- Gumiero B., Boz B., Cornelio P. e Casella S. (2011), “Shallow groundwater nitrogen and denitrification in a newly afforested, subirrigated riparian buffer”, *British Ecological Society – Journal of Applied Ecology*, 48: 1135-1144.
- Mediterranean Wetlands Observatory (2018), *Mediterranean Wetlands Outlook 2: Solutions for sustainable Mediterranean Wetlands*, Tour du Valat, France.
- Pistocchi A. (a cura di) (2022), *Nature-based solutions for agricultural water management – Characteristics and enabling factors for a broader adoption*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022.
- Sartori S. e D'Alterio S. (2016), “Una nuova garzaia nel SIC/ZPS Ex cave di via Villetta di Salzano-Venezia”, *Lavori Società Veneziana di Scienze Naturali*, 41: 27-32.
- Zanaboni A. e Fasolo T. (2019), “Analisi floristica e considerazioni sulla dinamica dei popolamenti vegetali in una zona umida di nuova formazione in località Campocroce di Mogliano Veneto (TV)”, *Lavori Società Veneziana di Scienze Naturali*, 44: 31-48.

Biodiversità e servizi eco-sistemici

#Corridoi verdi – *Green corridors*

#Progettazione ecologica – *Eco-design*

#Transizione ecologica – *Ecological transition*

#Biomimetica – *Biomimicry*

L'estensione delle aree urbanizzate è in costante aumento con conseguente perdita di ambienti naturali e semi-naturali. Come evidenziato nel *Green Deal europeo* e nella *Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030*, alla bio-diversità è riconosciuto un valore fondamentale: “per essere sana e resiliente, una società deve dare spazio alla natura”, poiché “la nostra salute e la salute degli eco-sistemi sono inscindibili [...] la protezione della biodiversità ha giustificazioni economiche ineludibili e la biodiversità è alleato vitale nella lotta ai cambiamenti climatici”.

L'analisi degli eco-sistemi urbani e semi-urbani è un tema in forte sviluppo, che però presenta difficoltà nella definizione dei relativi approcci.

Quando animali e piante interagiscono con l'uomo in maniera positiva? Quali sono i principi e i sistemi per proteggere e ripristinare la natura in città?

NbS a diverse scale per problemi complessi: il caso di Civita di Bagnoregio (VT)

di *Leonardo Filesi**, *Paolo Cornelini***

Abstract

NbS at different scales for complex problems: the case of Civita di Bagnoregio (VT)

Soil and water Bioengineering is a discipline founded on Nature Based Solutions. If it remains faithful to its principles, it can set itself ambitious goals. The masters of the discipline have always recommended that a careful botanical analysis be carried out before intervening, so that the most suitable native species can be chosen for the intervention. This contribution aims to support two hypotheses: 1) a study of vegetation attentive to its dynamism allows us to rationalize the choice of the most suitable plant species. 2) a localized intervention may not be sufficient if the problem is on a territorial scale. Civita di Bagnoregio (Central Italy) is a suggestive medieval village of Etruscan origin that has inspired artists from all over the world. Civita has a marked destiny: it was built on an ignimbritic flow that rests on highly erodible clays and, over the centuries, has seen the urban site gradually shrink. The landscape that surrounds it, the large expanses of gullies, heralds what is destined to become what remains of the ancient city. Our goal is to push this moment away as much as possible.

1. L'Ingegneria Naturalistica

Il termine Ingegneria va inteso nell'accezione francese di Genie (da cui in italiano Genio civile, Genio militare) cioè di disciplina finalizzata alla costruzione e Naturalistica che indica la sua applicazione all'ambiente naturale inteso come ecosistema. Ingegneria Naturalistica (IN) quindi come costruzione di ecosistemi per finalità tecniche (antierosive, stabi-

* Università Iuav di Venezia.

** AIPIN (Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica).

lizzanti, consolidanti) e/o naturalistiche (conservazione o realizzazione di unità eco-sistemiche, corridoi ecologici faunistici per la conservazione e l'aumento di biodiversità). L'IN è quindi una disciplina tecnico – naturalistica che utilizza le piante vive come materiale da costruzione, in abbinamento con altri materiali (paglia, legno, pietrame, reti metalliche, biostuoie, geotessuti, ecc.). La presenza delle piante vive diviene così l'elemento qualificante e discriminante di un intervento di IN. Opere di IN relative alla stabilità dei versanti ma anche al settore idraulico, al settore costiero, o alla sistemazione di strade, cave, discariche si affidano, in ultima analisi, alla capacità della vegetazione di contrastare processi erosivi e franosi o di accelerare i processi di recupero della stessa anche a scopi paesaggistici. In definitiva un'opera di IN è un sistema composto da più elementi diversi adattati al contesto e alle condizioni ed è sempre un'opera multifunzionale (Cornelini, 2016). Gli effetti prodotti sono, il più delle volte, più efficaci e duraturi di quelli di pura ingegneria e la loro convenienza economica diviene ancora più evidente se nel bilancio consideriamo anche i Servizi Ecosistemici (Wallace, 2007) che tali opere svolgono nel tempo (Fig. 1).

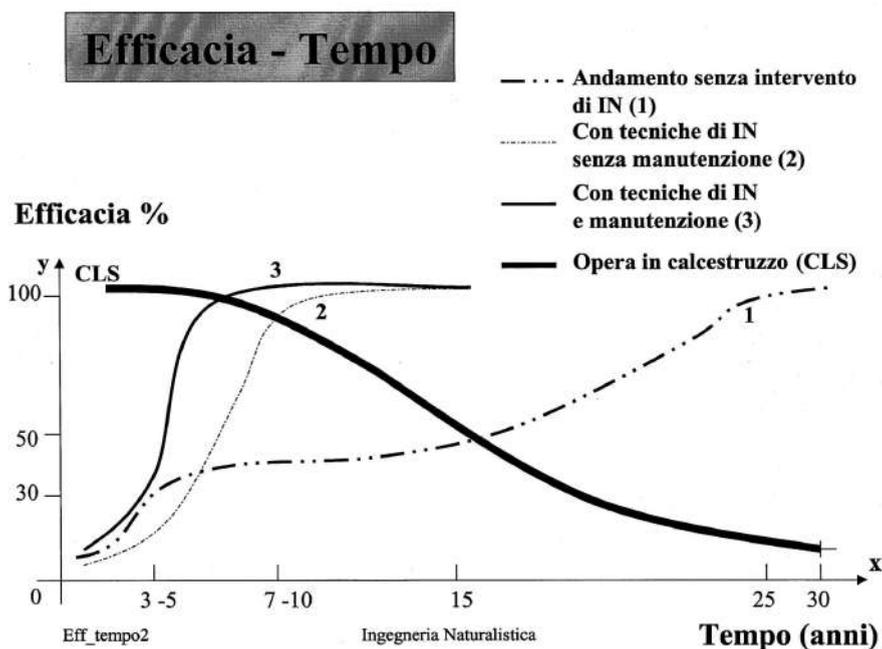


Fig. 1 – Confronto tra l'efficacia di un'opera in calcestruzzo e un'opera di IN

La Commissione Europea (2015) definisce le NbS come “risposte alle sfide sociali che sono ispirate e sostenute dalla natura, che sono economicamente efficaci, forniscono simultaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiutano a costruire resilienza”. Per l’IUCN (2020) “Le NbS sono azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare gli ecosistemi naturali e quelli modificati che affrontano le sfide sociali in modo efficace e adattivo, fornendo al contempo benessere per gli esseri umani e benefici per la biodiversità”. Entrambe queste definizioni evidenziano come le opere di IN rientrino, a pieno titolo, tra le NbS, come ben evidenziato da Preti *et al.* (2022).

Le opere di Ingegneria Naturalistica, per come le intendiamo oggi, trovano riferimenti specifici, almeno in Italia, già nella legislazione dei primi anni del secolo scorso. Nel D.M. 20 agosto 1912 (Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani), si introducono raccomandazioni quali: Intervenire con “... economia, modestia e semplicità e... evitare dispendiosi lavori di muratura”. “... impiegare i materiali rustici del sito, pietre, legnami, chiedendo alla forza di vegetazione, i materiali viventi per il consolidamento dei terreni, ricorrendo anche a opere miste di legname e sasso. Nelle frane, sono da evitare le costruzioni murali, adottando invece piccole palizzate, graticciate o fascinate basse, inerbamenti e semine o piantagioni di alberi di pronto accrescimento”.

La legislazione italiana riconosce ufficialmente l’Ingegneria Naturalistica in tempi relativamente recenti. Nella legge 102 del 2 maggio 1990 per la Valtellina viene per la prima volta citato l’impiego delle tecniche della “bioingegneria” (allora veniva chiamata così).

Gli effetti antiersivi della vegetazione, sia in ambito fluviale, sia per quanto riguarda la stabilità dei versanti erano noti sin dall’antichità. Tipiche opere dell’antica Roma riferibili all’IN (Sauli, Cornelini, Preti, 2002) e quindi NbS ante litteram:

- Talee di salice: *Taleae sesquipedales terreno immersae paulum obruntur*. Columella De Re Rustica IV, 30.1-5;
- Zolle erbose a semplici file: *Singulis ordinibus cespitum*. Cesare De Bello Gallico 5, 51;
- Vimate: *Contexa viminibus membra*. Cesare De Bello Gallico 6, 16;
- Graticciate di rivestimento delle torri: *Vimineae loricae*. Cesare De Bello Gallico 8, 9;
- Drenaggi tecnici, fascinate drenanti: *Si lapis non erit, perticis saligneis viridibus controversus conlatis consternito; si pertica non erit, sarmentis conligatis*. Catone De Agricoltura, 43.

Per andare oltre le buone pratiche conosciute già nell'antica Roma un'opera di Ingegneria Naturalistica necessita di analisi ambientali adeguate relative a geolitologia, geomeccanica, geomorfologia, idrologia, pedologia, macro e microbioclimatologia, flora e vegetazione. Deve inoltre considerare la tecnologia dei materiali e le interazioni con la fauna. Date le analisi il progetto deve essere calibrato sulle reali necessità per le quali si interviene, altrimenti si rischia di incorrere in due principali categorie di errore: realizzare un'opera insufficiente a contrastare le forze distruttive in gioco (errore tecnico) oppure sovradimensionare l'opera ed incorrere in un errore di carattere deontologico (Sauli, Cornelini, Preti, 2003) (Fig. 2).



Fig. 2 – Errore tecnico ed errore deontologico (Codice deontologico AIPIN)

2. Vegetazione autoctona

Relativamente all'analisi botanica è importante verificare quali sono le specie spontanee dell'area vasta ma anche capire quali comunità vegetali, boschi, cespuglieti, praterie, occupano gli ambiti che si diversificano per litologia, geomorfologia e clima. È importante riconoscere le diverse comunità vegetali legate da dinamiche di successione vegetale (Sauli, Corne-

lini, Preti, 2005). Ogni ambito, che potremmo definire “unità ambientale” secondo l’approccio della Classificazione gerarchica del territorio (Blasi *et al.*, 2000) ha la sua vegetazione naturale potenziale, che alle nostre latitudini è in genere un bosco al quale sono dinamicamente collegate una o più tipologie di cespuglieto e di prateria. L’insieme di prateria, cespuglieto e bosco che insistono su una stessa Unità ambientale, viene definito “serie di vegetazione”. Avere chiaro quale potrebbe essere l’evoluzione di un inerbimento o di un intervento nel quale si utilizzano arbusti è importante. Non va dimenticato però che un intervento di IN deve rispondere in tempi stretti alle domande di consolidamento, stabilizzazione, contrasto all’erosione per le quali è stato proposto. Spesso conviene utilizzare specie con buone capacità di attecchimento: classiche sono le talee di salice per la capacità, che hanno le specie di questo genere, di formare radici avventizie. Per interventi antierosivi si ricorre spesso ad inerbimenti di graminacee (che con le loro radici fascicolate riescono a costituire un feltro continuo) e leguminose (con radici a fittone che entrano in profondità e migliorano il suolo grazie alle simbiosi con batteri azotofissatori). In generale su versanti scoscesi si tende a non favorire direttamente la vegetazione forestale per evitare di caricare di un peso eccessivo il pendio. Ecco allora che abbinate ai salici arbustivi possiamo inserire specie arbustive tipiche della serie di vegetazione, come pure alle specie erbacee più efficienti in termini di riuscita tecnica, alcune tipiche della prateria coerente con la vegetazione spontanea. Come indicato in Fig. 1, l’obiettivo finale degli interventi è quello di ottenere delle comunità vegetali capaci di frenare l’erosione o episodi franosi di modesta entità. Sul lungo periodo non saranno le “palificate”, o le altre opere tecniche, a trattenere il terreno ma le radici delle piante, l’importante è avviare il processo e confidare nel principio cardine secondo cui: La vegetazione induce stabilità e la stabilità produce vegetazione.

Talvolta potremmo essere tentati di utilizzare specie non autoctone in quanto molto performanti, pensiamo ad esempio a quante scarpate ferroviarie si tengono in piedi grazie alle radici della nord-americana *Robinia pseudoacacia* o quante anse fluviali sono state stabilizzate dall’archofito *Arundo donax*, entrambe presenti nell’area di Civita. Si tratta di specie “troppo” efficienti, le cosiddette alloctone invasive, specie che tendono a diffondersi e ad invadere habitat naturali togliendo spazio alle autoctone. Costituiscono insieme ai cambiamenti di uso del suolo e ai cambiamenti climatici una delle principali cause di perdita di biodiversità a livello mondiale. Molte Regioni italiane si stanno occupando del tema, il Lazio ha avviato il progetto di un atlante (ARP, 2005), la Regione Veneto come altre ha stilato un elenco di specie da non utilizzare nelle opere a verde, la cosiddetta “black list” (Sezione veneta della SBI, 2022).

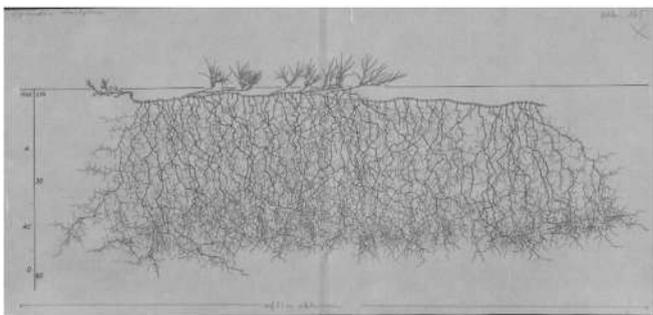


Fig. 3 – Radici della graminacea *Cynodon dactylon* (gramigna) (da: Wageningen University & Research – Root System Drawing)

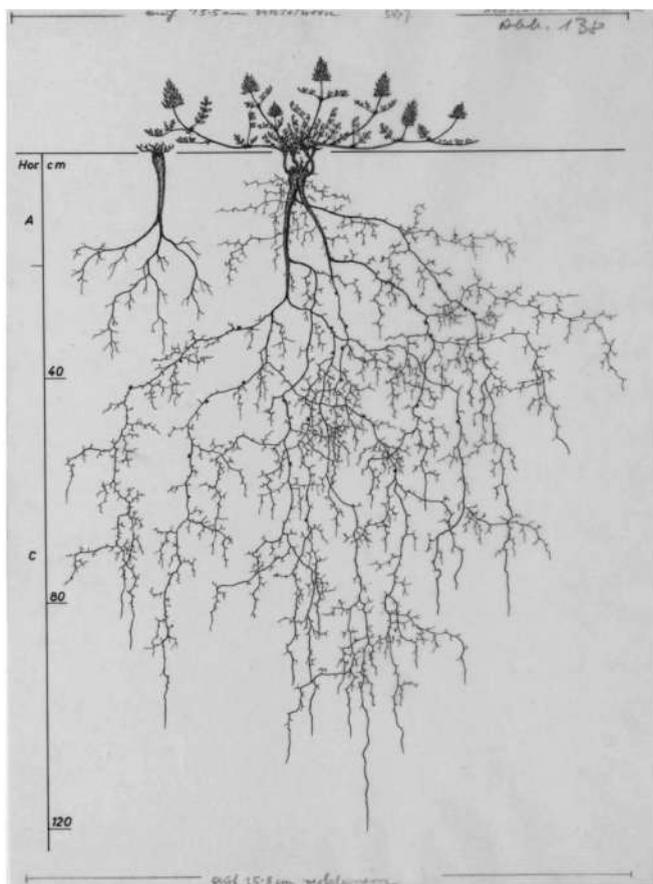


Fig. 4 – Radici della leguminosa *Hedysarum coronarium* (sulla) (da: Wageningen University & Research – Root System Drawing)

3. Un caso studio: Civita di Bagnoregio

Questo breve articolo non può e non vuole essere un breve trattato di IN. Vorrebbe semplicemente mostrare, come già detto, che le opere di IN sono delle NbS e che talvolta la vegetazione si comporta essa stessa come un'opera di IN. D'altronde le opere di IN non fanno altro che consentire alla vegetazione di svolgere i suoi compiti. Civita di Bagnoregio e la Valle dei Calanchi, rappresentano un'area d'interesse culturale e paesaggistico straordinariamente rilevante a livello nazionale e internazionale. Lo era anche prima che il grande regista e animatore giapponese Hayao Miyazaki in una delle sue opere più famose, "Laputa – Castello nel cielo", si ispirasse proprio a Civita.



Fig. 5 – Civita di Bagnoregio e la Valle dei Calanchi (foto)

Dal punto di vista geomorfologico si tratta di una mesa ossia di una struttura tabulare caratterizzata da una piastra rigida tufacea sub-orizzontale sopra un substrato plastico e molto erodibile. In questa situazione i fenomeni atmosferici, i sismi, le azioni antropiche tendono da una parte a rendere sempre più fragile la rupe e dall'altra ad asportare il supporto argilloso, creando i presupposti per frane, innescate per mancanza di contrasto al piede del versante (Gisotti, 2017). Fino ad oggi non si è mai seguito

un piano organico di bonifica integrale, come indicava Margottini già nel 1988. Nel corso del tempo sono state realizzate molte opere “a carattere preventivo” con l’intento di preservare la rupe dal degrado ma con risultati modesti se non, in qualche caso, addirittura peggiorativi.

Nel 2015 partecipammo ad un interessante convegno, curato da Giuseppe Gisotti e Claudio Margottini, dal titolo “Idee per salvare Civita di Bagnoregio” (gli atti uscirono poi nel 2017). In quell’occasione mettemmo in evidenza come fosse possibile rallentare i processi che stanno demolendo la rupe di Civita con azioni a livello locale e a livello di bacino idrografico (Cornelini, Filesi, 2017).

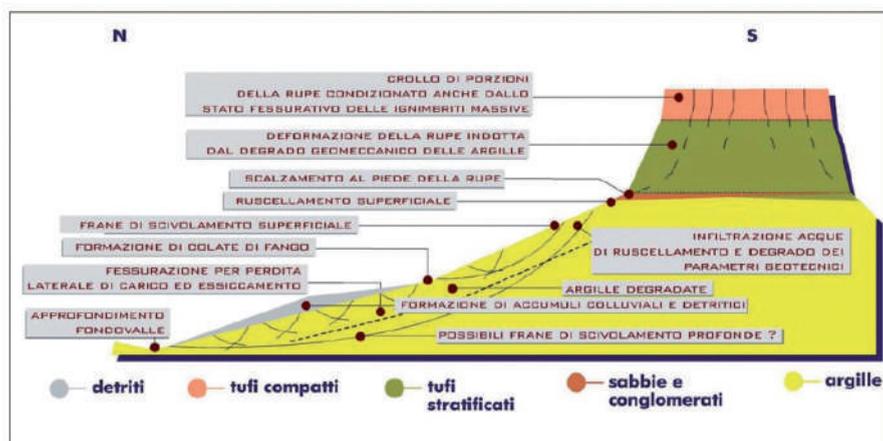


Fig. 6 – Fenomeni geomorfologici agenti sulla rupe di Bagnoregio (da Margottini 2017)

Per quanto riguarda la vegetazione dell’area, questa può essere divisa, molto sinteticamente, in tre macro serie: la vegetazione dei substrati ignimbritici, la vegetazione dei versanti argillosi, la vegetazione ripariale. Sulla piastra tufacea (ignimbritica) è preferibile contrastare lo sviluppo della vegetazione perché con le radici potrebbe fessurare la roccia. Al massimo si può favorire lo sviluppo di piccole piante succulente, *Sedum album* e *Sedum acre*, capaci di coprire le rocce e rallentare la dinamica successionale. La vegetazione potenziale dei versanti argillosi è il bosco di *Quercus pubescens* (roverella) con *Ulmus minor* (olmo campestre), *Fraxinus ornus* (orniello) e *Rosa sempervirens* (rosa sempreverde) ma la vegetazione forestale riesce ad affermarsi soltanto in limitati ambiti con scarsa inclinazione. Dinamicamente collegati a queste formazioni forestali sono i cespuglieti a *Spartium junceum* (ginestra odorosa) e *Rubus ulmifolius* (rovo comune),

cespuglieti che è possibile osservare soprattutto sul versante settentrionale e che svolgono una valida azione di contenimento dei fenomeni erosivi. Abbiamo poi due stadi erbacei, uno costituito prevalentemente da *Atriplex prostrata* e *Parapholis incurva* specie che essendo annuali non riescono a garantire adeguata protezione. Ai prati di specie annuali si accompagna un'erba perenne piuttosto efficiente che però tende a non formare tappeti continui, *Dittrichia viscosa*. Il vero eroe dei versanti argillosi è lo stadio ad *Arundo plinii* (canna di Plinio). Un'alta erba molto efficace nel trattenere il terreno in quanto abbina radici profonde a rizomi che creano una rete continua. In vari settori argillosi dell'Italia centromeridionale *Arundo plinii* giuoca un ruolo di stabilizzante naturale. È una specie con elevata capacità di evapotraspirazione e pertanto contribuisce a mantenere asciutti gli strati più superficiali di argilla, contrastando anche così l'erosione. Come



Fig. 7 – Fitocenosi ad *Arundo plinii* sulle argille di Civita

illustrato da Wu *et al.* (1988), evapotraspirazione e resistenza meccanica delle radici sono i due fattori principali per contrastare i movimenti franosi superficiali. La specie è già presente in alcuni settori dei versanti argillosi e crea una copertura continua che contrasta efficacemente i processi erosivi (Fig. 5). Pensare di salvare Civita con la sola *Arundo plinii* è però una pia illusione. Sarebbe necessario intervenire localmente anche con drenaggi biotecnici, viminate e gradonate vive. È necessario però affrontare il problema anche alla base: Civita di Bagnoregio è una cittadina di origine etrusca con la tipica posizione tra due corsi d'acqua disposti a "V". I due corsi d'acqua sono in approfondimento e questo determina una continua accentuazione della pendenza dei versanti argillosi.

Come si legge già in documenti del 1765 "Più proficuo sarebbe al secondo sito (Rio Vecchio) il vestito di piante di salci salvatici, Oppj, Ontani, ed altre piante atte a conservargli nell'umido piantati ben folti, che tenendo con le radici un talaro naturale alla ripa, che ivi giace tutta scoperta, la renderebbe immobile e pienamente sicura" (Polci e Lattanzi, 1988). Favorire la crescita della vegetazione ripariale (salici, aceri campestri e ontani) costituirebbe un valido contributo al contrasto dell'erosione fluviale ma sarebbe opportuno realizzare briglie o rafforzare le esistenti.

4. Conclusioni

Opere di IN per favorire specie pioniere capaci di contrastare l'erosione, opere di IN lungo le sponde dei corsi d'acqua per contenere il loro approfondimento, con il rafforzamento della vegetazione ripariale accompagnate da briglie (opere di pura ingegneria). Sarebbe anche opportuno rallentare la velocità delle acque dilavanti e quindi contenerne la loro capacità erosiva nell'intero bacino idrografico. Per tali ragioni anche l'agricoltura dovrebbe adeguarsi adottando tecniche con minimi movimenti di terra (Fukuoka, 1980) o secondo i principi della permacoltura (Mollison e Holmgren, 1992). Una delle conclusioni è quindi che si può sperare che gli interventi su Civita diano risultati soddisfacenti solo se si agisce a livello di paesaggio. L'altra conclusione potrebbe sembrare una provocazione ma cosa sarebbe la scienza senza provocazioni? Abbiamo visto che già gli antichi romani realizzavano NbS ma pensiamo ai primi uomini o, più probabilmente, alle prime donne quando si accorsero che i frutti selezionati tra quelli selvatici più grandi e dolci producevano semi che davano piante capaci di generare frutti grandi e dolci inventarono l'agricoltura. Non è stata forse la prima, rivoluzionaria NbS della storia? Non risponde alle definizioni di NbS sopra riportate? L'agricoltura industriale, praticata su vaste

estensioni, capace di cancellare quasi completamente la vegetazione spontanea di interi contesti (pensiamo alla Pianura Padano-Veneta ad esempio) non rientra più in questa categoria di azioni ma fintanto che si è sviluppata rispettando i suoli, il ciclo dell'acqua, una consistente porzione di vegetazione spontanea, gli insetti e le altre forme di vita, ha esaltato la biodiversità ed ha risposto a tutti i requisiti per essere annoverata tra le NbS.

Recuperare questa dimensione in agricoltura, restituire sostanza organica ai suoli per aumentarne la fertilità sottraendo anidride carbonica dall'atmosfera sarebbe la più grande NbS che possiamo immaginare.

Riferimenti bibliografici

- Blasi C., Carranza M.L., Frondoni R., Rosati L. (2000), "Ecosystem classification and mapping: a proposal for Italian Landscape", *Appl. Veg. Sci.*, 3: 233-242.
- Cornellini P. (2016), *Corso di Ingegneria Naturalistica, Dipartimento di Scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE)*, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, 199 pp. [https://old.ording.roma.it/archivio/18806-ingegnerianaturalisticatestounituscia\(cornellini\)\(1\).pdf](https://old.ording.roma.it/archivio/18806-ingegnerianaturalisticatestounituscia(cornellini)(1).pdf).
- Cornellini P., Filesi L. (2017), "Lo studio delle serie di vegetazione per ottimizzare la riqualificazione ambientale delle aree calanchive di Civita di Bagnoregio attraverso l'ingegneria naturalistica", *Geologia dell'ambiente*, 1 (suppl.): 29-35.
- European Commission (2015), *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on "Nature-based solutions and re-naturing cities" (full version)*, Publications Office of the European Union.
- Fuakuoka M. (1980), *La rivoluzione del filo di paglia*, Libreria Editrice Fiorentina.
- Gisotti G. (2017), "Si può rallentare il degrado del colle di Civita di Bagnoregio con opere ingegneristiche e biologiche, tenendo conto dei successi e insuccessi del passato?", *Geologia dell'ambiente*, 1 (suppl.): 6-14.
- IUCN (2020), *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*, First edition, Gland, Switzerland: IUCN.
- Margottini C. (1988), "Evoluzione morfologica del colle di Civita di Bagnoregio in tempi storici", in Lattanzi F., Polci S. (a cura di), *L'ambiente, la memoria, il progetto. Testimonianze su Civita di Bagnoregio*. Associazione Civita, SugarCo Edizioni, Milano.
- Margottini C. (2017), "Trent'anni di studi geologici, geomorfologici ed applicativi a Civita di Bagnoregio", *Geologia dell'ambiente*, 1 (suppl.): 15-28.
- Mollison B., Holmgren D. (1992), *Permacoltura. Un'agricoltura perenne per gli insediamenti umani*, Libreria Editrice Fiorentina.
- Polci S., Lattanzi F. (1988), *L'ambiente, la memoria, il progetto: testimonianze su Civita di Bagnoregio*, Sugarco, Milano.

- Preti F., Capobianco V., Sangalli P. (2022), “Soil and Water Bioengineering (SWB) is and has always been a nature-based solution (NBS): a reasoned comparison of terms and definitions”, *Ecological Engineering*, 181: 106687.
- Sauli G., Cornelini P., Preti F. (2002, 2003, 2005), *Manuale di Ingegneria Naturalistica*, voll. 1, 2 e 3 (“Applicabile al settore idraulico”, “Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose”, “Sistemazione dei versanti”), Regione Lazio, Roma.
- Wallace K.J. (2007), “Classification of ecosystem services”, *Problems and solutions Biological Conservations*, 139: 235-246.
- Wu T.H., McOmber R.M., Erb R.T., Beal P.E. (1988), “Study of soil-root interaction”, *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)*, 114(12): 1351-1375.

Siti web

- ARP – Agenzia Regionale per i Parchi della Regione Lazio (2005). Progetto Atlante Specie Alloctone del Lazio – PASAL. www.parchilazio.it/schede-11903-progetto_atlante_specie_alloctone_del_lazio_pasal
- Sezione veneta della Società Botanica Italiana (2022). Black list Specie esotiche invasive, Veneto – GPP Piano d’Azione della Regione Veneto: www.regione.veneto.it/web/gpp/guide-operative
- Wageningen University & Research – Root System Drawing: <https://images.wur.nl/digital/collection/coll13>

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*

Abstract

Application of Nature Based Solutions for users' comfort and work efficiency: a case study in Virtual Reality

Currently, the design of the built environment fails to address an integrated strategy that places equal concern on the efficiency of buildings and the individuals' domain. Nature Based Solutions (NBS) are innovative key approaches to achieving EU 2030 strategies for resilient and biodiversity-rich ecosystems that improve the health and well-being of individuals. While the focus on the latter is still limited, several psychological theories and building standards pointed out that the modern built environment, characterized by an insufficient human-nature connection, can be implemented through the introduction of NBS to promote a positive impact on individuals' comfort, health, emotions, cognitive functions, and behaviour. In the architectural and engineering sector, the aim is to integrate the performance of NBS in a holistic approach to consider both the efficiency of solutions in terms of environmental impact and indicators of impact on building users. Thus, a new design paradigm emerged: Biophilic Design (BD), which aims at both a low environmental impact strategy and a beneficial contact between nature and humans to design sustainable and comfortable buildings. Recently, researchers adopted Virtual Reality (VR) to study BD due to its many advantages as a flexible and low-cost solution. In this paper, a case study is presented to evaluate the potential of the introduction of NBS (green wall, potted plants) on the working efficiency of 132 participants within an office virtual environment under a constant indoor air temperature. The results show the potential of using VR to evaluate the integration of NBS within the indoor environment since the first building design phase and the decision-making process.

* Università Politecnica delle Marche (DICEA), Ancona.

1. Introduzione

Il rapporto tra uomo e ambiente costruito è un fattore determinante della qualità della vita umana (WorldGBC, 2020). Nel settore dell'ingegneria e dell'architettura è imperativo garantire un approccio progettuale per realizzare spazi che massimizzino il benessere delle occupanti degli edifici. Per questo, gli standard di valutazione e le certificazioni (quali WorldGBC, LEED) hanno spostato sempre più l'attenzione della ricerca scientifica sulla necessità di affiancare alle tematiche di qualità ambientale interna (qualità dell'aria, comfort termico, illuminazione, acustica) e ergonomia degli ambienti, la salute e benessere degli utenti per ottenere ambienti costruiti sostenibili, salubri e confortevoli. Le sole strategie tecnologiche (es.: strategie di *retrofit* degli edifici) raramente riescono a rispondere pienamente a queste sfide, poiché il dinamismo dei sistemi socio-ecologici, in termini di resistenza e resilienza, non viene pienamente considerato (Eggermont *et al.*, 2015).

In questo contesto, le Nature Based Solutions (NBS) si configurano come approcci innovativi, fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi dell'UE per il 2030 volti alla sostenibilità, resilienza climatica e aumento degli ecosistemi ricchi di biodiversità (IUCN, 2020). Tuttavia, le NBS non sono solo un punto cruciale per il clima, ma risultano fondamentali per migliorare la salute e il benessere degli individui e affrontare le richieste di coesistenza tra la natura e gli esseri umani all'interno dello stesso spazio. L'implementazione delle NBS nell'ambiente costruito potrebbe essere considerata uno strumento fondamentale in grado di supportare e migliorare la vita e le attività umane nel tempo. Il presente contributo intende evidenziare (paragrafo 2) la necessità di soddisfare le strategie dell'UE, integrando le valutazioni prestazionali delle NBS in un approccio più ampio riguardante anche indicatori aggiuntivi che favoriscano permettano di integrare il processo progettuale con quello preliminare di analisi degli effetti sugli individui. Successivamente nel paragrafo 3 è presentato un caso di studio.

2. NBS: ricerca e innovazione dalla “dimensione edificio” alla “dimensione umana”

Le tecnologie NBS sono state affrontate attraverso un approccio multidisciplinare per progettare, misurare, valutare e migliorare queste strategie da implementare da sole o in modo integrato con altre soluzioni, come quelle tecnologiche e ingegneristiche. L'IUCN ha individuato tre tipologie di NBS (Cohen-Shacham *et al.*, 2016) di cui il *Tipo 3* riguarda la creazione

di nuovi ecosistemi artificiali, quali l'introduzione di muri e/o coperture verdi in edifici, che comportano il massimo livello di approccio ingegneristico (Pereira *et al.*, 2023).

I benefici delle NBS sono ben consolidati nella comunità scientifica: il sesto rapporto di valutazione del Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) ne ha ampiamente riconosciuto l'efficacia nel "ridurre una serie di rischi per le persone, la biodiversità e i servizi ecosistemici con molteplici benefici". Tuttavia, il termine "NBS" è stato riconosciuto come un concetto globale. Nonostante tali soluzioni non siano solo focalizzate sugli aspetti tecnici relativi all'adattamento ai cambiamenti climatici questo tema risulta attualmente l'argomento principale di una vasta letteratura (Johnson *et al.*, 2022).

Una moltitudine di studi scientifici, *report* tecnici e revisioni di letteratura (Donatti *et al.*, 2022; Eggermont *et al.*, 2015; IUCN, 2020; Johnson *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023) hanno dimostrato che le NBS sono destinate a fornire "soluzioni" molto più ampie comprendendo anche opportunità per gli individui in termini di salute, benessere fisico ed emotivo, comportamento e funzioni cognitive. In particolare, è ben noto che la popolazione europea trascorre il 90% del proprio tempo in ambienti confinati (European Commission, 2003) e quindi deve disporre di ambienti *indoor* confortevoli e sani. Le teorie (Frumkin *et al.*, 2017; Kaplan, 1992; Stephen, 2005; Wijesooriya and Brambilla, 2021) e le certificazioni (ad esempio, WELL) (International WELL Building Institute, 2020) hanno sottolineato che l'ambiente costruito moderno è caratterizzato da una insufficiente connessione umana con la natura che può essere implementata con l'introduzione di NBS per promuovere un impatto positivo sul *comfort* umano, salute e benessere (ad esempio, riduzione di ansia e *stress*, emozioni positive (es.: felicità, soddisfazione), cognizione (es.: attenzione, memoria, *problem solving*, creatività) e atteggiamenti sostenibili.

Attualmente, il *design* ecosostenibile (*Sustainable Environmental Design*) non riesce pienamente a promuovere una strategia di progettazione integrata che ponga pari rilevanza all'efficienza degli edifici, basata su soluzioni tecnologiche avanzate, e al dominio umano, traducendosi di conseguenza in pochi benefici reali per gli occupanti degli edifici. Nonostante l'efficienza delle NBS sia associata, è ancora limitata, soprattutto per la dimensione individuale (Donatti *et al.*, 2022). Per soddisfare le strategie dell'UE, le valutazioni prestazionali delle NBS dovrebbe essere riviste e integrate in strategie progettuali che comprendano indicatori aggiuntivi che permettano di integrare il processo progettuale con quello preliminare di analisi degli effetti sugli individui

Un'opportunità per garantire l'integrazione della dimensione umana nella progettazione degli edifici è l'implementazione di NBS in un progetto biofilico. Infatti, è emerso un nuovo paradigma di progettazione chiamato design biofilico (*Biophilic Design*, BD) i cui attributi sono stati introdotti per la prima volta da S. Kellert nel 2008 (Kellert SR *et al.*, 2008). Kellert ha suggerito un paradigma di progettazione per realizzare un ambiente costruito che permetta la riconciliazione e l'armonizzazione dell'uomo con la natura. Infatti, il BD si occupa del contatto benefico uomo-natura tramite NBS per garantire ambienti più vivibili e confortevoli. Il design biofilico offre un grande potenziale per aggiungere bellezza naturale a un edificio e migliorarne la qualità e l'estetica generale (Wijesooriya and Brambilla, 2021).

È evidente che, anche se il BD offra numerose opportunità per aumentare la qualità dell'ambiente costruito, un aspetto cruciale è l'influenza delle NBS sugli occupanti dell'edificio stesso, che è una materia altamente soggettiva. Per i progettisti, i vantaggi dell'integrazione di NBS dovrebbero essere affrontati fin dalla fase iniziale della progettazione con un approccio olistico che comprenda anche la valutazione da parte degli utenti finali, in quanto le iniziali scelte progettuali hanno un impatto cruciale sulla vita del progetto, sui costi e sulla soddisfazione degli individui.

Ulteriormente, recenti studi hanno messo in luce il valore e l'importanza dell'implementazione della tecnologia digitale nello sviluppo delle NBS e del BD, al fine di aumentarne le potenzialità e la consapevolezza degli individui (Tsekeri *et al.*, 2022). Una delle tecnologie più note nell'*Internet of Things* è la Realtà Virtuale (*Virtual Reality*, VR). Recentemente, i ricercatori hanno adottato la VR per studiare il BD grazie ai suoi numerosi vantaggi come soluzione a basso costo e flessibile che facilita la raccolta di dati complessi in ambienti altamente realistici in scala 1:1 (Latini *et al.*, 2023). VR e ambienti virtuali immersivi (*Immersive Virtual Environments*, IVE) sono strumenti validi per simulare varie configurazioni progettuali, senza i limiti di studi di laboratorio tradizionali in termini di risorse e tempo necessari per realizzare modelli fisici (Latini *et al.*, 2021). Con queste tecnologie, ricercatori e professionisti sono agevolati nell'integrazione della dimensione umana fin dalle prime fasi di progettazione, ad esempio, per misurare il comportamento degli utenti finali, raccogliere *feedback* in tempo reale e migliorare la comunicazione per una migliore comprensione del progetto tramite ambienti 3D multi-sensoriali (Latini *et al.*, 2023). Ciò si traduce in una procedura di progettazione notevolmente abbreviata.

Sta emergendo sempre più l'utilizzo della VR per valutare le potenzialità di integrazione delle NBS nell'ambiente *indoor* tramite il *design*

biofilico, migliorando le connessioni uomo-natura. Nonostante ciò, gli studi su queste tematiche condotti in VR sono ancora limitati e sono principalmente focalizzati sulle risposte emotive e psicologiche degli utenti (Chamilothori *et al.*, 2022; Emamjomeh *et al.*, 2020; Haryndia and Ayu, 2020; Huang *et al.*, 2020; Kim and Gero, 2022; Lei *et al.*, 2021; Tawil *et al.*, 2021; Yeom *et al.*, 2020, 2021; Yin *et al.*, 2019, 2018) e raramente sulle potenzialità in termini di efficienza lavorativa con una valutazione completa delle funzioni cognitive umane (Lei *et al.*, 2021; Yin *et al.*, 2019). Pertanto, di seguito viene presentato un caso di studio con l'obiettivo di valutare le risposte all'esposizione visiva di NBS (ad esempio, parete verde, piante in vaso) all'interno di un ambiente virtuale a uso ufficio sottoposto a temperatura dell'aria interna costante.

3. NBS in VR: un caso studio

L'obiettivo principale di questa attività sperimentale è quello di presentare le potenzialità di integrazione di soluzioni NBS in un ambiente di ufficio tramite tecniche digitali (VR).

L'esperimento è stato approvato dal Comitato Etico di Ricerca dell'Università Politecnica delle Marche (n. 0216363, 01/12/2022).

3.1. Metodologia

L'attività sperimentale è stata svolta in una stanza ($5,93 \times 4,38 \times 3,00$ m) presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche (Ancona, Italia). Le prove sono state svolte con un *set-point* di temperatura dell'aria interna invernale costante (media: 23,34 C, sd: 0,45), umidità relativa (media: 31,81%, sd: 1,32) e velocità dell'aria (media: 0,01 m/s, sd: 0,02). Le condizioni ambientali sono state monitorate durante le prove con un *time-step* di 60 secondi (*range* temperatura: da -4 a $+100$, accuratezza 0.01 °C; *range* umidità relativa: da 0 a 100%UR, precisione 0.1%UR; *range* velocità dell'aria: da 0.1 a 5m/s, precisione 0.2 m/s). Lo studio ha coinvolto due gruppi indipendenti di partecipanti (*between-subject design*). 132 partecipanti (52% donne, 48% uomini, età: 20-30 anni, 70% studenti universitari, 53% senza familiarità con la VR) sono stati reclutati per eseguire tre test di valutazione dell'efficienza lavorativa e per rispondere a questionari in un ufficio virtuale.

In particolare, come scenario di riferimento è stato adottato un modello immersivo precedentemente validato di una stanza a uso ufficio (scenario

Non-Biophilic, NB) (Latini *et al.*, 2023). Successivamente, congruentemente con lo standard WELL (International WELL Building Institute, 2020), sono stati introdotti elementi NBS (muro verde e piante in vaso) per creare uno scenario *Indoor Green* (IG), superando i requisiti minimi imposti dalla certificazione (parete verde: 60% vs 2% della superficie del pavimento, piante in vaso: 4% vs 2% della superficie del pavimento). Il software *Unity* (Unity, 2021) ha permesso la virtualizzazione del modello 3D e l'introduzione di materiali, luce e telecamere, mentre il visore *HTC VIVE PRO Eye* (risoluzione 1440 × 1600 per occhio) è stato utilizzato dai soggetti per vivere l'ambiente virtuale grazie al *plugin SteamVR* (SteamVR Plugin, 2021). Fatta eccezione per la presenza delle NBS, i due scenari virtuale erano identici, come illustrato nella Fig. 1.



Fig. 1 – Scenari virtuali: *Non-Biophilic* (NB) e *Indoor Green* (IG); un partecipante durante l'esecuzione delle prove sperimentali

Ogni sessione di prova è durata circa 20 minuti, per ridurre al minimo l'esposizione all'ambiente virtuale. La procedura sperimentale è presentata in Fig. 2. Dopo il loro arrivo, i partecipanti hanno firmato un modulo di consenso e ricevuto le informazioni di prova. È stata pianificata una fase pre-esperienziale (15 minuti) per consentire di abituarti alle condizioni ambientali interne e completare un questionario pre-esperienziale su informazioni generali (es.: sesso, età, precedenti esperienze con la VR, caratteristiche del luogo di lavoro/studio quotidiano). La fase operativa ha seguito le linee guida sviluppate da Latini *et al.* (2023) per condurre studi sperimentali in VR. Dopo un breve riposo con gli occhi chiusi e un adattamento di 2 minuti al modello virtuale, i partecipanti hanno eseguito tre test cognitivi: il *test Magnitude-Parity*, per il *task switching*, il *test OSPAN*,

per la valutazione della memoria di lavoro e il *test Stroop*, per l'inibizione. Infine, hanno risposto ad un questionario post-sperimentale sull'efficacia dell'ambiente virtuale. In particolare, il senso di presenza e immersività è stato valutato attraverso quattro indicatori su una scala *Likert* (da «1 – totalmente in disaccordo» a «5 – totalmente d'accordo»): Apprezzamento Grafico (GS), Presenza Spaziale (SP), Coinvolgimento (INV) e Realismo (REAL). Inoltre, i sintomi associati alla cinetosi sono stati valutati utilizzando il *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ) su una scala di cinque punti (da «(1) per niente» a «(5) molto»): disagio generale, stanchezza, affaticamento agli occhi, difficoltà di messa a fuoco, mal di testa e vertigini. Sia il *test* di produttività che le domande sono stati visualizzati sul monitor del computer virtuale. Le risposte sono state date dalla voce e registrate dagli operatori.

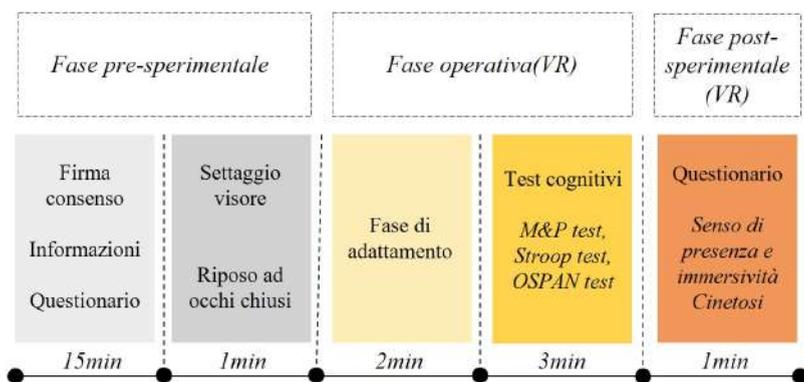


Fig. 2 – Procedura sperimentale

3.2. Risultati e discussione

I paragrafi successivi presentano i risultati dell'attività sperimentale. In primo luogo, gli autori hanno valutato l'*ecological validity* del modello virtuale e poi l'effetto dell'introduzione di NBS sulle funzioni cognitive dei partecipanti. I dati sono stati analizzati con *test* statistici ($\alpha = 0,05$) tramite il *software RStudio* (R Studio, 2021). La dimensione del campione è stata stabilita per raggiungere almeno $n = 30$ soggetti ottenendo di conseguenza la normalità della distribuzione e una potenza statistica di almeno l'80% (Gravetter, Frederick, Wallnau, 2013).

3.2.1. *Ecological validity*

I punteggi sul senso di presenza e immersività dei partecipanti sono stati confrontati con altri studi di riferimento secondo (Latini *et al.*, 2023); Latini *et al.* (2023), Tawil *et al.* (2021), Hong *et al.* (2019).

I punteggi medi ottenuti nella scala *Likert* (da «1 – totalmente in disaccordo» a «5 – totalmente d'accordo») nell'attività sperimentale superano un livello moderato (es. 4) per tutti e quattro gli indicatori considerati: i partecipanti hanno riportato un ottimo realismo (REAL = 4.36), coinvolgimento (INV = 4.10) e senso di presenza (SP = 4.35) nel modello virtuale, e apprezzano la sua grafica (GS = 4.39). Inoltre, tutti i valori sono più alti o simili (differenze trascurabili) rispetto agli articoli di riferimento: Latini *et al.* (2023) [4.47; 4.15; 4.21; 4.58], Tawil *et al.* (2021) [2.68; 3.27; 3.44; 3.93], Hong *et al.* (2019) [2.73; 3.23; 3.39; 3.65]. Quindi il modello virtuale ha offerto ai partecipanti un ottimo senso di presenza e di immersività.

Secondo i risultati del VRSQ, nessun soggetto ha riportato vertigini e mal di testa (100% dei voti assegnati a «per niente»). Inoltre, il disagio generale, stanchezza, e difficoltà di messa a fuoco sono stati valutati come trascurabili poiché tra l'80% e l'89% dei soggetti assegnato un punteggio a «per niente» e «leggermente». Il 33% ha rilevato, invece, un moderato affaticamento degli occhi, che non ha tuttavia invalidato la loro prova. Di conseguenza, questi risultati hanno permesso di verificare l'*ecological validity* del modello virtuale creato.

3.2.2. *Effetti delle NBS sull'efficienza lavorativa*

In primo luogo, gli autori hanno analizzato i risultati del questionario pre-esperienziale riguardante le caratteristiche dei luoghi di lavoro/studio dei partecipanti. In generale, solo il 21% si è dichiarato soddisfatto delle caratteristiche visive e del *layout* del proprio ambiente. L'83% ha riferito di avere accesso alla luce naturale e l'85% alla ventilazione naturale. Poiché, più della metà dei luoghi di lavoro/studio non è dotato di NBS (92%), le piante verdi sono state valutate come l'elemento più desiderato da introdurre nell'ambiente *indoor* come strategia di miglioramento (52%), seguita da materiali naturali (36%, ad esempio legno, pietra).

Successivamente, i dati dei tre *test* cognitivi sono stati analizzati qualitativamente e con analisi statistica parametrica per confermare le ipotesi (Fig. 3). In particolare, è stato eseguito un *t-test* per campioni indipendenti: l'ipotesi nulla afferma che non vi è differenza tra lo scenario IG e NB. La

zona critica è uguale a ± 1.98 per $df = 131$, $\alpha = 0.05$, da confrontare con i valori t calcolati.

L'analisi del *Magnitude-Parity test* prevedeva di calcolare il numero di errori nella classificazione delle cifre pari/dispari e maggiore/minore di "5". L'analisi delle medie e deviazioni standard ha rivelato errori leggermente inferiori nella condizione IG ($mean_{IG} = 0.50$, $sd = 0.64$) rispetto alla condizione NB ($mean_{NB} = 0.58$, $sd = 1.18$). Il *t-test* è stato condotto per testare l'ipotesi precedente. Il risultato ($p\text{-value} < 0.05$) ci ha permesso di confermare l'ipotesi nulla: il *t-value* ottenuto (-0.37) cade all'interno della regione critica, pertanto la funzione cognitiva *task-switching* dei soggetti non sembra essere influenzato dalla presenza di NBS anche se è stato rilevato un sufficiente aumento dell'accuratezza nella risoluzione del test pari al 15%.

Per l'analisi del *test Stroop*, gli autori hanno calcolato il numero di errori nel pronunciare il nome del colore e il tempo di esecuzione della prova. L'analisi qualitativa non ha rivelato differenze rilevanti negli errori tra IG ($mean_{IG} = 0.14$, $sd = 0.43$) e NB ($mean_{NB} = 0.24$, $sd = 0.50$), come confermato dai risultati del *t-test* ($t\text{-value} = 1.31$, $p\text{-value} = 0.19$). Tuttavia, è stata rilevata una differenza moderata nella velocità di esecuzione ($mean_{IG} = 27.55s$, $sd = 5.13s$; $mean_{NB} = 32.57s$, $sd = 7.74s$), con una diminuzione del 18% della velocità nella condizione IG, come confermato anche dall'analisi statistica ($t\text{-value} = -4.29$, $p\text{-value} < 0.05$). I partecipanti hanno completato l'attività più rapidamente in presenza di NBS rispetto all'ambiente non biofilico e questo risultato è coerente con la letteratura esistente (ad es. (Yin *et al.*, 2018)).

Lo stesso miglioramento in presenza di NBS è stato evidenziato considerando il *test OSPAN*. È stato calcolato il numero di errori nelle stringhe Vero-Falso ($mean_{IG} = 0.24$, $sd = 0.53$; $mean_{NB} = 0.27$, $sd = 0.48$), il numero di errori nelle lettere memorizzate ($mean_{IG} = 1.33$, $sd = 1.57$; $mean_{NB} = 2.15$, $sd = 1.19$), e il punteggio OSPAN totale, che è la somma dei V-F corretti e delle lettere correttamente riportate ($mean_{IG} = 8.39$, $sd = 1.80$; $mean_{NB} = 7.56$, $sd = 1.24$). Differenze trascurabili sono state rilevate solo per il numero di errori nei V-F ($t\text{-value} = -0.17$, $p\text{-value} = 0.86$), mentre differenze statisticamente significative tra i due ambienti sono state riscontrate nelle lettere memorizzate ($t\text{-value} = -3.37$, $p\text{-value} < 0.05$) e nel punteggio complessivo OSPAN ($t\text{-value} = 3.15$, $p\text{-value} < 0.05$). In particolare, è stata rilevata una riduzione delle prestazioni pari al 58% e 10%, rispettivamente nell'ambiente senza NBS.

Di conseguenza, per riassumere, i risultati hanno evidenziato che i partecipanti hanno ottenuto risultati migliori nei tre test cognitivi quando sono stati esposti a elementi naturali con un aumento dal 10% al 58% dell'ac-

curatezza complessiva. Ciò è in accordo con i precedenti studi condotti in VR che hanno valutato l’impatto dell’esposizione visiva degli individui alle NBS (es. Emamjomeh *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2018).

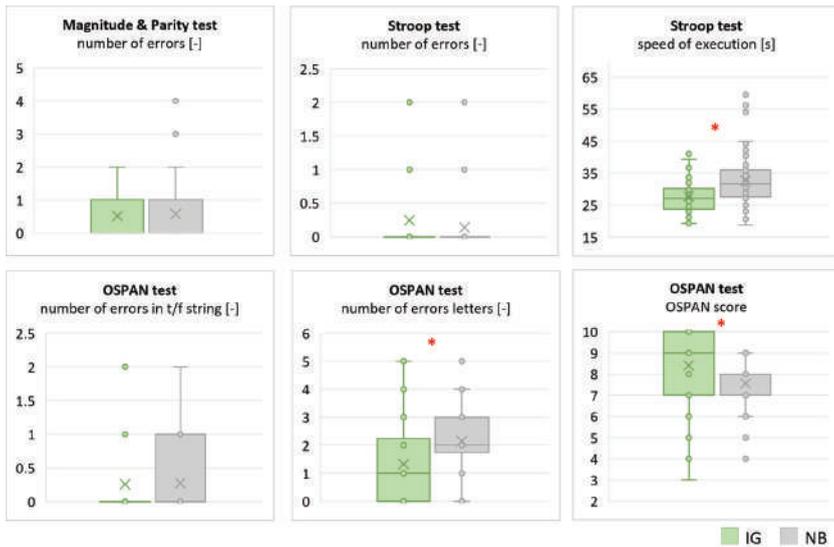


Fig. 3 – Risultati dei tre test cognitivi (le differenze statisticamente significative tra i due scenari sono evidenziate con “*”).

4. Conclusioni

Questo contributo ha presentato, in primo luogo, una discussione critica sulla necessità di focalizzare il settore della ricerca e dell’innovazione sulle NBS dalla dimensione dell’edificio alla dimensione degli individui. Infatti, il *design* biofilico rappresenta l’anello mancante nell’attuale progettazione sostenibile degli ambienti interni da integrarsi con NBS. In particolare, è necessario un nuovo approccio per consentire all’ambiente costruito di beneficiare di un passaggio da un semplice approccio di sostenibilità, resilienza climatica e biodiversità verso una progettazione più incentrata sulla salute dell’uomo, sul suo benessere e efficienza lavorativa.

In secondo luogo, è stato presentato un caso di studio per evidenziare le potenzialità di applicazione di tecnologie digitali emergenti (VR) al *design* biofilico. In particolare, gli autori hanno indagato le risposte di 132 partecipanti in un ambiente virtuale ad uso ufficio all’interno di due scenari con e senza NBS: *Indoor Green* (parete verde, piante in vaso) *versus Non-Biophilic*.

L'analisi dei dati della cinetosi e il confronto dei quattro indicatori (GS, REAL, INV, SP) con simili studi precedenti, ha permesso agli autori di sostenere la validità ecologica dell'ambiente virtuale: non sono stati riscontrati elevati livelli di sintomi e il modello ha indotto un ottimo livello di presenza e di immersività. Come ipotizzato, i risultati delle analisi qualitative e statistiche hanno mostrato un miglioramento generale nelle funzioni cognitive di *task-switching* (10%), inibizione (18%) e memoria di lavoro (10%), che sembravano dipendere dalla presenza visiva della natura all'interno dell'ambiente di lavoro.

Questa attività di ricerca evidenzia la possibilità di comprendere il potenziale di integrazione di soluzioni basate sulla natura in ambienti interni già dalla prima fase di progettazione tramite l'utilizzo di tecnologie digitali innovative e a basso costo.

Attività future sono necessarie per integrare la valutazione delle funzioni cognitive con una dimensione più soggettiva utilizzando questionari (ad esempio, PANAS per misurare i cambiamenti emotivi su una scala positiva-negativa). Grazie ai numerosi vantaggi della VR, sarebbe possibile: progettare e testare altri layout di uffici o ambienti interni (ad esempio, scuola, ufficio *open space*); valutare l'effetto di diverse posizioni e quantità di verde (ad esempio uno spazio fortemente "verde" rispetto ai requisiti minimi); combinare la dimensione visiva della natura con quella acustica per creare una valutazione multi-dominio del benessere degli utenti.

Riferimenti bibliografici

- Chamilothori K., Wienold J., Moscoso C., Matusiak B. and Andersen M. (2022), "Subjective and physiological responses towards daylight spaces with contemporary façade patterns in virtual reality: Influence of sky type, space function, and latitude", *Journal of Environmental Psychology*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101839>.
- Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C. and Maginnis S. (2016), "Nature-based solutions to address global societal challenges" in *Nature-based solutions to address global societal challenges*. https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_93FD38C8836B.P001/REF.
- Donatti C.I., Andrade A., Cohen-Shacham E., Fedele G., Hou-Jones X. and Robyn B. (2022), "Ensuring that nature-based solutions for climate mitigation address multiple global challenges", *One Earth*, 5(5), 493-504. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.010>.
- Eggermont H., Balian E., Azevedo J.M.N., Beumer V., Brodin T., Claudet J., Fady B., Grube M., Keune H., Lamarque P., Reuter K., Smith M., Van Ham C., Weisser W.W. and Le Roux X. (2015), "Nature-based solutions: New influence

- for environmental management and research in Europe”, *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 24(4), 243–248. <https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>.
- Emamjomeh A., Zhu Y. and Beck M. (2020), “The potential of applying immersive virtual environment to biophilic building design: A pilot study”, *Journal of Building Engineering*, 32(October 2019), 101481. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101481>.
- European Commission (2003), *Indoor air pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278.
- Frumkin H., Bratman G.N., Breslow S.J., Cochran B., Kahn P.H., Lawler J.J., Levin P.S., Tandon P.S., Varanasi U., Wolf K.L. and Wood S.A. (2017), “Nature contact and human health: A research agenda”, in *Environmental Health Perspectives* (Vol. 125, Issue 7). Public Health Services, US Dept of Health and Human Services. <https://doi.org/10.1289/EHP1663>.
- Gravetter F., Wallnau L. (2013), “Statistics for the Behavioural Sciences”, in *Wadsworth*.
- Haryndia D. and Ayu T. (2020), *Effects of Biophilic Virtual Reality Interior Design on positive emotion of university students responses*. <https://ssrn.com/abstract=3808042>.
- Hong T., Lee M., Yeom S. and Jeong K. (2019), “Occupant responses on satisfaction with window size in physical and virtual built environments”, *Building and Environment*, 166(April). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106409>.
- Huang Q., Yang M., Jane H., Ann Li S. and Bauer N. (2020), “Trees, grass, or concrete? The effects of different types of environments on stress reduction”, *Landscape and Urban Planning*, 193(August 2019), 103654. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103654>.
- International WELL Building Institute (2020), *WELL v2*. <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview>.
- IUCN (2020), *Global Standard for Nature-based Solutions* (First Edit). <https://doi.org/https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>.
- Johnson B.A., Kumar P., Okano N., Dasgupta R. and Shivakoti B.R. (2022), “Nature-based solutions for climate change adaptation: A systematic review of systematic reviews”, *Nature-Based Solutions*, 2(April), 100042. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100042>.
- Kaplan S. (1992), “The Restorative Environment: Nature and Human Experience”, in D. Relf (Ed.), *The role of horticulture in human well being and social development* (pp. 134-142), Timber Press.
- Kellert S.R., Heerwagen J. and Mador M. (2008), *Biophilic design : the theory, science, and practice of bringing buildings to life*.
- Kim N. and Gero J. (2022), “Neurophysiological Responses to Biophilic Design: A Pilot Experiment Using VR and EEG Biomimetic Inspired Architectural Design View project Design Neurocognition View project”, *Design Computing and Cognition*, 1-21. www.researchgate.net/publication/359892380.
- Latini A., Di Giuseppe E. and D’Orazio M. (2023), “Immersive virtual vs real office environments: A validation study for productivity, comfort and behavioural

- research”, *Building and Environment*, 109996. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.109996>.
- Latini A., Di Giuseppe E., D’Orazio M. and Di Perna C. (2021), “Exploring the use of immersive virtual reality to assess occupants’ productivity and comfort in workplaces: an experimental study on the role of walls colour”, *Energy and Buildings*, 253, 111508. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111508>.
- Latini A., Giuseppe E. Di and Orazio M.D. (2023), “Development and application of an experimental framework for the use of virtual reality to assess building users’ productivity”, *Journal of Building Engineering*, 70(March), 106280. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106280>.
- Lei Q., Yuan C. and Lau S.S.Y. (2021), “A quantitative study for indoor workplace biophilic design to improve health and productivity performance”, *Journal of Cleaner Production*, 324(September), 129168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129168>.
- Pereira P., Yin C. and Hua T. (2023), “Nature-based solutions, ecosystem services, disservices, and impacts on well-being in urban environments”, *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 33, 100465. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100465>.
- R Studio (2021), www.rstudio.com.
- SteamVR Plugin (2021), <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647>.
- Stephen K. (2005), *Building for Life: Designing and Understanding the Human-Nature Connection* (ISLANDPRESS (Ed.)).
- Tawil N., Sztuka I.M., Pohlmann K., Sudimac S. and Kühn S. (2021), “The living space: psychological well-being and mental health in response to interiors presented in virtual reality”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph182312510>.
- Tsekeri E., Lilli A., Katsiokalis M., Gobakis K., Mania A. and Kolokotsa D. (2022), “On the integration of nature-based solutions with digital innovation for health and wellbeing in cities”, *2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2022*, 1-6. <https://doi.org/10.23919/SpliTech55088.2022.9854269>.
- Unity (2021), <https://unity.com>.
- Wijesooriya N. and Brambilla A. (2021), “Bridging biophilic design and environmentally sustainable design: A critical review”, *Journal of Cleaner Production*, 283, 124591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124591>.
- WorldGBC (2020), *Health & Wellbeing Framework: Six Principles for a Healthy, Sustainable Built Environment. Executive report. November*, 18. [https://worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC Health %26 Wellbeing Framework_Exec Report_FINAL.pdf](https://worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC%20Health%20WellbeingFramework_ExecReport_FINAL.pdf).
- Yeom S., Kim H. and Hong T. (2021), “Psychological and physiological effects of a green wall on occupants: A cross-over study in virtual reality”, *Building and Environment*, 204(April), 108134. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108134>.
- Yeom S., Kim H., Hong T., Park H.S. and Lee D.E. (2020), “An integrated psychological score for occupants based on their perception and emotional

- response according to the windows' outdoor view size", *Building and Environment*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107019>.
- Yin J., Arfaei N., MacNaughton P., Catalano P.J., Allen J.G. and Spengler J.D. (2019), "Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality", *Indoor Air*, 29(6), 1028-1039. <https://doi.org/10.1111/ina.12593>.
- Yin J., Zhu S., MacNaughton P., Allen J.G. and Spengler J.D. (2018), "Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment", *Building and Environment*, 132(January), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.006>.

Biomimetic patterns for designing Nature-based Solutions

by *Leonardo Marotta**

Abstract

Pattern biomimetici per la progettazione di soluzioni basate sulla natura

A biomimetic model for designing and evaluating nature-based solutions is presented and tested through its application to 3 Italian cases. The conceptual model consists of a phase of defining biomimetic patterns, a phase of composing these into one or more nature-based solutions, an evaluation of the effectiveness of the project both in environmental terms, as an increase in the ecosystem services present, and in socioeconomic terms, through the involvement of stakeholders (government and owner/operator, and open communication to citizens).

1.1. Introduction

The broad debate inherent to Nature-based Solutions (NbS) is subsiding after many definitions and case studies. There are two widely used definitions that bring together two concepts the design of spatial and technological solutions that draw inspiration from nature (European Commission, 2015) and the restoration and conservation of ecosystems through design and management practices (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). For an in-depth discussion of all aspects, I refer to the contributions by Nathalie Seddon of the University of Oxford (Seddon *et al.*, 2019; Seddon *et al.*, 2021; Seddon, 2022) and Carsten Nesshöver and colleagues (2016). A key point I emphasize is that, by all definitions, Nature-based Solutions conserve or increase the value of ecosystem services, whether or not they are usable by humans

* Studio Professionale Associato Entropia, Recanati.

(Babí Almenar *et al.*, 2020; Cohen-Shacham *et al.*, 2016; Eggermont *et al.*, 2015; European Commission, 2015; Maes and Jacobs, 2017; Nesshøver *et al.*, 2017; Potschin *et al.*, 2016).

Marion Potschin *et al.* (2016) emphasized how Nature-based Solutions are connected to biomimicry, Henry Dicks (2017) argues that biomimicry “teaches” us how to implement NbS. Biomimicry is a design model that uses nature as a teacher, model and measure (Benyus, 1997). To a first approximation, it is the science and bio-eco-inspired design (and production) model for ecological materials, components, goods and services, processes and systems. These complex systems include biotic and abiotic components, thus living and nonliving systems, as Block (2017) points out.

Biomimicry is a design approach that spans a large number of scales and domains. Biomimetic analysis and design are concerned with chemical-physical reactions and processes (Swiegers, 2012), materials (Lepora *et al.*, 2013), the production of goods (Kennedy and Martin, 2016), and the design and implementation of systems and services (Wahl, 2006). Biomimicry also addresses systemic and cross-cutting issues such as sustainable innovation (Harman, 2014) and human-nature interactions (Block, 2017; Fish, 2017). Biomimetic design starts from two basic concepts: form and function. From these basic concepts it offers various possibilities that we find, for example, in the taxonomy developed by the Biomimicry Institute 3.8 (Baumeister, 2013). In this work, biomimicry – as a set of science, technology, and design models – is inspired by nature and uses it as a model, but also as a parameter to define the goodness of a solution. When this model is used to solve problems involving the health of ecosystems (Lackey, 2001; Rapport, 1998), the loss or maintenance of Natural Capital (Costanza and Daly, 1992), maintenance, augmentation, restoration and creation of ecosystem services (Nesshöver *et al.*, 2016; Maes and Jacobs, 2017; Loos *et al.*, 2023).

1.2. Some definitions

Below we define some concepts that will be the basis of the proposed conceptual model.

A biomimetic solution is a design that emulates the materials, the forms, the processes, the patterns of biology (Kennedy and Martin, 2016) and ecology (Wahl, 2006; Block, 2017); evaluating through an analysis of

environmental impacts its *ecoeffectiveness*¹; and improving the solution continuously (Domb and Bellows, 2002) with respect to the biological and ecological model, and the social approval.

Environmental impact analysis and assessment according to Virginio Bettini (Bettini *et al.*, 2000) is not the simple mitigation of negative impacts but a multiparametric analysis that identifies ecological values (Martinez-Alier *et al.*, 1998; Ulgiati *et al.*, 2006), existing and future impacts, including – in better cases – synergistic and cumulative impacts (Due *et al.*, 2013). To this approach the properly executed impact assessment adds the identification of environmental limit values and critical thresholds and considers whether the chosen solution falls short of the critical thresholds of negative environmental, social, and economic impacts (Bettini *et al.*, 2000; Duinker and Beanlands, 1986; Ehrlich and Ross, 2015). The Nature-based Solution as defined reduces cumulative impacts (see for example Dube *et al.*, 2013) over space and time. A Biomimetic Nature based Solution (BNbS) is Ecoeffective (in the sense of Braungart *et al.*, 2007); is regenerative (in the sense of Lyle, 1994; Mang, and Reed, 2012); increases the ecosystem services within a social justice perspective (Loos *et al.* 2023).

- i) A Nature-based Solution (NbS) includes some basic features that can be described by an open set of concepts that may or may not be included, through an air of family, or a set of “family resemblances” (“Familienähnlichkeiten” *sensu* Wittgenstein, 1953). NbS can be defined based on project goals (Seddon *et al.*, 2019; 2021): NbS are oriented to mitigate climate change, they are not a substitute for the rapid phase out of fossil fuels and must not delay urgent action to decarbonize our economies.
- ii) NbS involve the protection and/or restoration of a wide range of naturally occurring ecosystems on land and in the sea.

1. The difference between *ecoefficiency* and *ecoeffectiveness* is described below. Ecoefficiency evaluates the accuracy and completeness of the objectives achieved in relation to the resources expended: in other words, it identifies the ability to minimize the environmental cost of a process or minimize the impacts of a solution, production system, or infrastructure. In the best case it preliminarily evaluates the best design or the best solution among several possibilities. In each case the aims, however admirable, may be limited and may lead to insufficient results from the aspect of environmental ability to last over time (Bettini *et al.*, 2000). Ecoefficacy assesses the ability (of any process, project, or solution) to achieve the full attainment of its intended goals and outcomes, controlling that its impacts do not irreversibly compromise the original characteristics and dynamics of the ecosystems involved (i.e., are below critical thresholds), throughout its life cycle in a regenerative manner (McDonough and Braungart, 2002; Braungart *et al.*, 2007).

- iii) NbS are implemented with the full engagement and consent of Indigenous Peoples and local communities, including women and disadvantaged groups, and should be designed to build human capacity to adapt to climate change and to enhance provision of ecosystem services.
- iv) NbS sustain, support or enhance biodiversity, that is, the diversity of life from the level of the gene to the level of the ecosystem.

NbS can be defined based on the type of action (Potschin *et al.*, 2016):

1. Maintenance of the health status of an ecosystem so that it provides all ecosystem services.
2. Recovery of the health status of an ecosystem so that it increases ecosystem services.
3. Creation of new ecosystems or elements of new ecosystems.

NbS can be defined based on design elements (Bianciardi *et al.*, 2023; Preti *et al.*, 2022):

- A) Simultaneous presence of living and nonliving components (Bianciardi *et al.*, 2023; Cornellini and Sauli, 2005) and possibly technological (Sharma and Sarkar, 2019).
- B) Capacity reconstruction of ecosystem functions: primary producers, consumers, decomposers, and possibly all kingdoms of life so as to reconstruct ecosystem functions of production, consumption, and decomposition.
- C) Multifunctionality of ecosystem service: biodiversity enhancement and recovery (du Toit and Pettorelli, 2019; Eggermont *et al.*, 2015); climate change adaptation and mitigation (Seddon *et al.*, 2021); land management and reduction of hydraulic and geomorphological hazards (Preti *et al.*, 2022) and pollution reduction (Rizzo *et al.*, 2023).

2.1. Methods

The nature-based solution with biomimetic approach, BNbS (Dicks, 2017) that we develop here is based on analysis, design, evaluation, and continuous improvement (Domb and Bellows, 2002), which we can schematize in six steps:

1. analysis of the environmental system and problem;

2. identification of a general solution through the identification of biomimetic patterns and maintenance, restoration or construction of a system or ecosystem;
3. adaptation of the general solution to the local, historical and geographical context of the environmental system;
4. implementation of the NbS solution as Biomimicry elemental Patterns (elements) and Biomimicry functional Patterns (solution), see Fig. 1;
5. evaluation of the solution;
6. monitoring and improvement of the project.

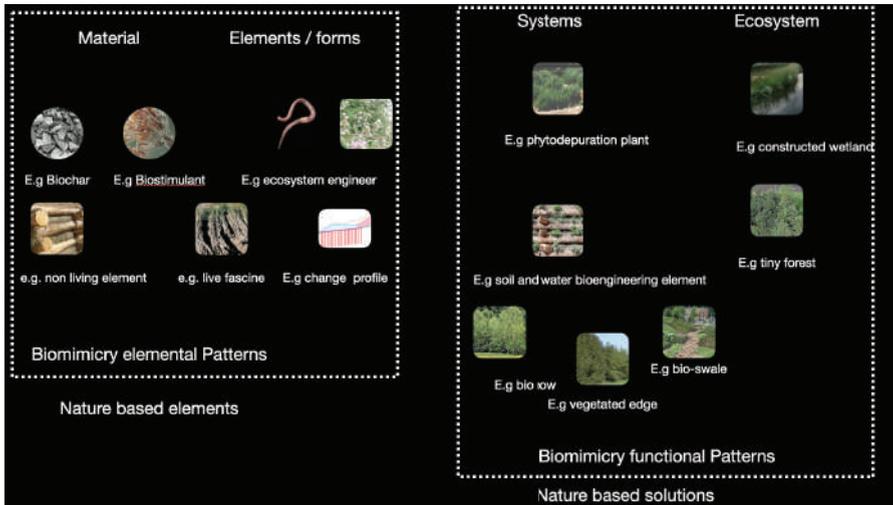


Fig. 1 – Biomimicry elemental Patterns and Biomimicry functional Patterns for NbS

These six steps are developed on three levels of the conceptual model:

1. a first level is given by the definition of a set of general solutions that – following the Patterns model of Christopher Alexander and colleagues (1977) – we call Biomimetic Patterns;
2. a second level is environmental system analysis (Pignatti and Trezza, 2000), which places the project and the chosen elemental and functional patterns in a geographic-environmental (spatial, historical) context to create a specific solution that has system or ecosystem functionality);
3. a third level of analysis of positive and negative impacts, evaluation of the ecoeffectiveness of the chosen solution and continuous improvement.

Operationally, the application of the model follows the following workflow:

1. first, the problem and project area is identified. A larger-scale analysis is added to the project area. The minimum analysis area is the area defined by the circumference whose radius is given by the maximum design dimension multiplied by the Fibonacci coefficient (i.e., the golden number 1,618). Ecological connectivity in the landscape, habitats present (in the sense of Directive 92/43/EEC of May 21, 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora), areas of risk (possibly assessing both size and level of vulnerability), carbon sink capacity, and economic value of ecosystem services are assessed on both areas. These values are the minimum evaluation parameters. Various small local solutions, areas of restoration or creation of new ecosystems, are put into the system;
2. then, the solution is evaluated after the project is implemented. In all cases the assessment must lead to an improvement in environmental quality;
3. at this point the project is shared with stakeholders and then implemented. The discussion with stakeholders takes the form of presenting the project in terms of environmental restoration with the local government, with the owner/operator, and through open communication with citizens.

2.2. Materials

The chosen model was applied on various cases. Three of them are given below as illustrative cases.

1. The first case concerns the design of a group of interventions within the area agri-environmental agreements of the Municipality of Appignano del Tronto (Marche, Italy), a project funded by the Rural Development Plan of the Marche Region. The Project financed works to control hydraulic and geomorphological instability. The project involved a group of 5 companies carrying out a naturalistic engineering and vegetated strip restoration project. The project was carried out in such a way as to make the interventions integrated, to create a continuity of habitat, and to control the instability in 6 sub-basins (see Fig. 2).
2. The second case concerns an environmental restoration project of one of the few undeveloped coastal areas in the Middle Adriatic, in the

municipality of Fermo (Marche, Italy), and in particular in the Marina Palmense hamlet (see Fig. 4). The project involves the recovery of the coastal forest (which existed until about 1920) and the creation of a wetland area that had been reclaimed in various stages between 1900 and 1930. Thus, the project involves the reconstruction of a coastal forest, an alder (*Alnus glutinosa*) wet forest, and a wetland area with a sandy habitat for nesting Kentish plover (*Charadrius alexandrinus*). This is not a restoration project, but it is the creation of a new habitat (rewilding, *sensu* du Toit and Pettorelli, 2019).

3. The third case involves the post-mining recover of a limestone quarry in Monteleone di Spoleto (Italy, Umbria), see Fig. 5. In this case, the extraction of limestone material is simultaneous with the environmental restoration, which consists of naturalistic engineering works (bioswale and insertion of vegetation with high geotechnical capacity for slope stabilization), and the restoration of the beech forest. Added to the restoration project is an ecotonal area restoration project between beech forest and grassland, so as to increase the biodiversity of the landscape.

3. Results and discussion

The three projects systematize the proposed conceptual model.

The design schemes are presented below and the matrix of quality values before and after the project is presented in Fig. 2, 3, 4, 5, Tab. 1.

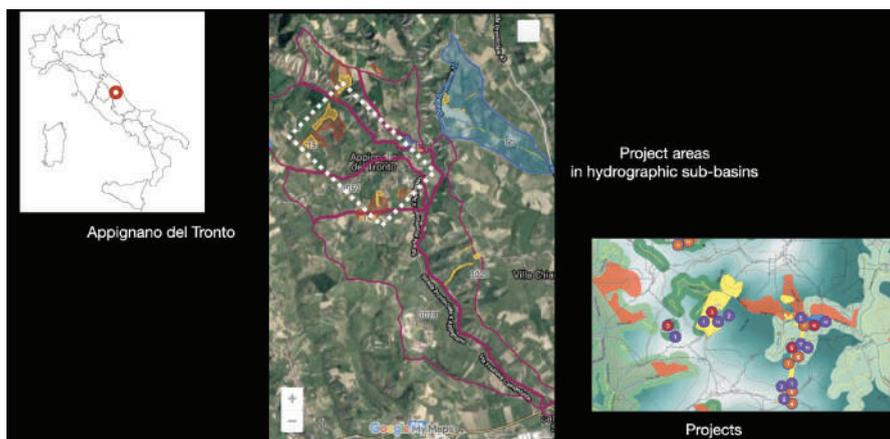


Fig. 2 – Project area of agri-environmental agreements of the Municipality of Appignano del Tronto

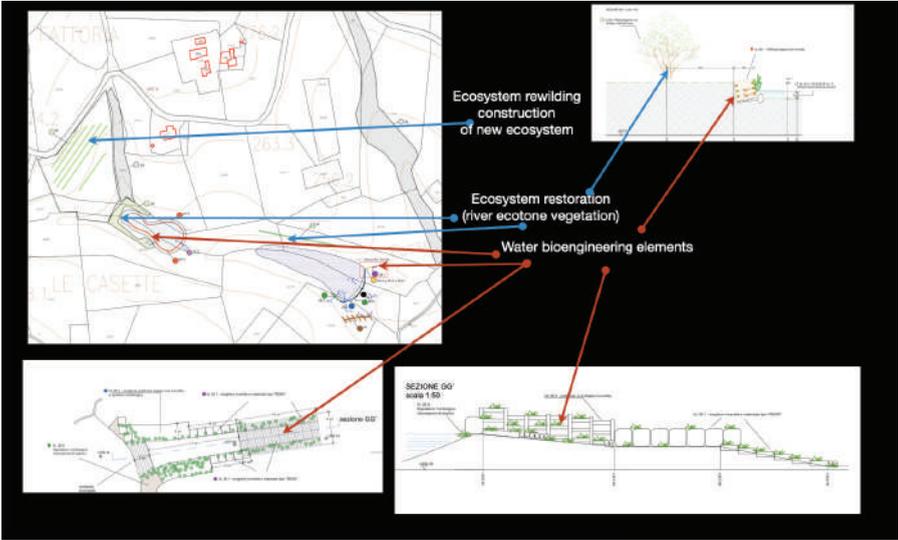


Fig. 3 – Example of Project for agri-environmental agreements, Appignano del Tronto

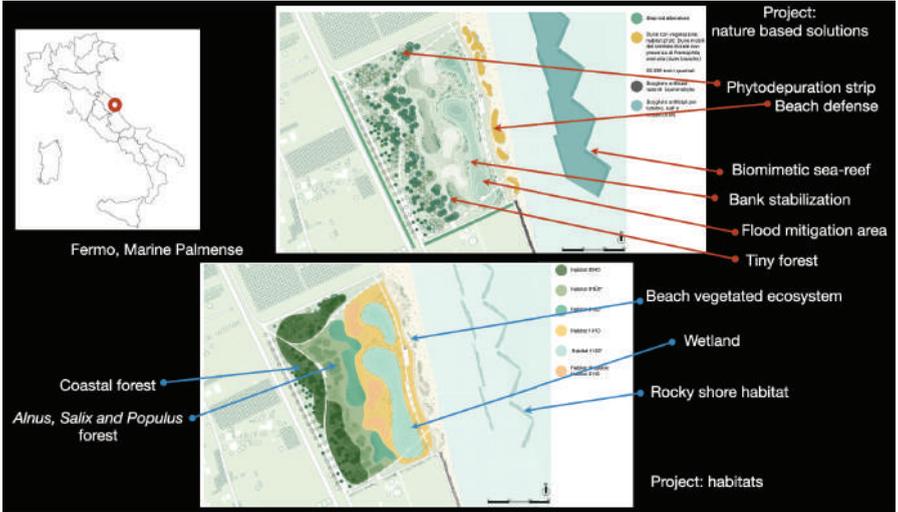


Fig. 4 – Project area of Marina Palmense and Project layout

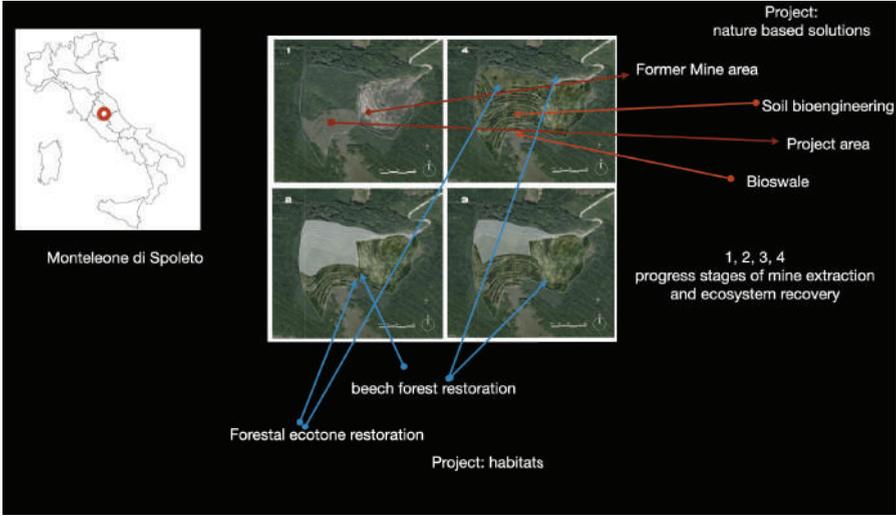


Fig. 5 – Project area of Monteleone di Spoleto and Project Layout

The conceptual and operational models presented are simple and allow the designer to integrate biomimetic element design with the creation of nature-based solutions (see Tab. 1). The examples demonstrate how the model is simple to use and evaluate.

| | Objectives | Assessment area | | Project area | | | |
|------------------------------|--|--|--|--|------------------------------|---|------------------------------|
| | | Connectivity (threshold 0,52: Lower value are not connected) | Ecosystem economic value (euro per hectare per year) | Before the project Ecosystem economic value (euro per hectare per year) | Diversity: number of habitat | After the project Ecosystem economic value (euro per hectare per year) | Diversity: number of habitat |
| Appignano del Tronto | Rewilding, Increasing of functional diversity, Increasing of landscape diversity | 0,85 | 6500,00 | 4062,50 | 5 | 5281,25 | 7 |
| Marina Palmense | Restoration and Rewilding, Increasing of functional and structural biodiversity, Increasing of landscape diversity | 0,64 | 3900,00 | 5744,70 | 3 | 9191,52 | 5 |
| Monteleone di Spoleto | Restoration and Rewilding, Increasing of functional biodiversity, Increasing of landscape diversity | 0,98 | 9650,00 | 9650,00 | 2 | 10518,50 | 3 |

Tab. 1 – Results for the case studies: in each case the ecosystem value and the functionality are increased after the project

4. Conclusions

The need for ubiquitous implementation of nature-based solutions is defined by the urgency to respond to climate change and biodiversity loss.

This need leads us to the need to build operational conceptual models that are simple, shared, and easy to implement.

The proposed model allows projects to be adapted to environmental differences, gives stakeholders choices, and optimizes possible elements chosen by stakeholders, with increased ecosystem services. The results show how the theoretical model works, improving environmental conditions and adding ecological value, in different contexts and on projects with several objectives.

References

- Alexander C., Ishikawa S. and Silverstein M. (1977), *A Pattern Language, Town, Building and Construction*, Oxford University Press, New York.
- Babí Almenar J., Elliot T., Rugani B., Philippe B., Gutierrez T., Sonnemann G., Geneletti D. (2021), “Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges”, *Land Use Policy*, 100: 104898.
- Baumeister D. (2013), *Biomimicry Resource Handbook: A seed bank of knowledge and best practices*, Biomimicry 3.8 Missoula (MT).
- Benyus J. (1997), *Biomimicry – Innovation Inspired by Nature*, Harper Collins Publishers, New York.
- Bettini V., Canter L.W., Ortolano L. (2000), *Ecologia dell’impatto ambientale*, UTET Libreria, Torino, p. 381.
- Bianciardi A., Becattini N., Cascini G. (2023), “How would nature design and implement nature-based solutions?”, *Nature-Based Solutions*, 3: 100047.
- Blok V. (2017), “Earthing Technology: Toward an Eco-centric Concept of Biomimetic Technologies in the Anthropocene”, *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 21 (2/3): 127-149.
- Braungart M., McDonough W., Bollinger A. (2007), “Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design”, *Journal of Cleaner Production*, 15 (13-14): 1337-1348.
- Cohen-Shacham E., Andrade A., Dalton J., Dudley N., Jones M., Kumar C., Maginnis S., Maynard S., Nelson C.R., Renaud F.G., Welling R. and Walters G. (2019), “Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions”, *Environmental Science & Policy*, 98, 20-29.
- Cornelini P., Sauli G. (2005), *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Ministero dell’Economia e delle Finanze. Ed. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Costanza R., Daly H.E. (1992), “Natural capital and sustainable development”, *Conservation Biology*, 6(1): 37-46.

- Dicks H. (2017), “A New Way of Valuing Nature: Articulating Biomimicry and Ecosystem Services”, *Environmental Ethics*, 39 (3): 281-299.
- Domb E. and Bellows W. (2002), “Opportunity Expansion: Enhancing TRIZ with Dr. Deming’s Philosophy”, *TRIZCON2002: Fourth Annual Altshuller Institute for TRIZ Studies International Conference*, Apr. 30 - May 2, St. Louis, MO.
- Dube M., Duinker P., Greig L., Carver M., Servos M., McMaster M., Noble B.F., Schreier H., Jackson L., Munkittrick K. (2013), “A framework for assessing cumulative effects in watersheds: an introduction to Canadian case studies”. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 9(3): 363-369.
- Duinker P., Beanlands G. (1986), “The significance of environmental impacts: an exploration of the concept”, *Environmental Management*, 10 (1): 1-10.
- du Toit J.T., Pettorelli N. (2019), “The differences between rewilding and restoring an ecologically degraded landscape”, *Journal of Applied Ecology*, 56: 2467-2471.
- Eggermont H., Balian E., Azevedo J.M.N., Beumer V., Brodin, T., Claudet J., Fady B., Grube M., Keune H., Lamarque P., Reuter K., Smith M., Van Ham C., Weisser W.W., Le Roux X. (2015), “Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe”, *Gaia*, 24 (4): 243–248.
- Ehrlich A., Ross W. (2015), “The significance spectrum and EIA significance determinations”, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 33(2): 87-97.
- European Commission (2015), *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities':* (full version), Publications Office of the European Union.
- Fish M. (2017), “The Nature of Biomimicry: Toward a Novel Technological Culture”, *Science, Technology, & Human Values*, 42(5): 1-27.
- Harman J. (2014), *The Shark’s Paintbrush: Biomimicry and How Nature Is Inspiring Innovation*, White Cloud Press, Ashland (OR).
- Kennedy E.B. and Martin T.A. (2016), “Biomimicry. Streaming the Front End of Innovation for environmentally sustainable products”, *Research – Technology Management*, 59 (4): 40-47.
- Lackey R.T. (2001), “Values, Policy, and Ecosystem Health”, *BioScience*, 51 (6): 437-443.
- Lepora N.F., Verschure P., Prescott T.J. (2013), “The state of the art in biomimetics”, *Bioinspiration Biomimetics*, 8: 1-11.
- Loos J., Benra F., Berbés-Blázquez M. et al. (2023). “An environmental justice perspective on ecosystem services”, *Ambio* 52: 477-488.
- Lyle J.T. (1994), *Regenerative design for sustainable development*, John Wiley & Sons, Hoboken.
- Maes J., Jacobs S. (2017), “Nature-based solutions for Europe’s sustainable development”, *Conserv. Lett.*, 10 (1): 121-124.
- Mang P. and Reed B. (2012), “Designing from place: A regenerative framework and methodology”, *Building Research & Information*, 40(1): 23-38.
- Martínez-Alier J., Munda G. and O’Neill J. (1998). “Weak Comparability of Values as a Foundation for Ecological Economics”, *Ecological Economics*, 26 (3): 277-86.

- McDonough W., Braungart M. (2002), *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York.
- Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G., Waylen K., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Tormáné Kovács E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M., Wittmer H. (2016), “The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective”, *Science of The Total Environment*, 579: 1215-1227.
- Pignatti S., Trezza B. (2000), *Assalto al pianeta. Attività produttiva e crollo della biosfera*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Potschin M., Kretsch C., Haines-Young R., Furman E., Berry P., Baró F. (2016), *Nature-based-solutions. OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*. C FP7 Grant Agreement no. 308428. Available at: www.openness-project.eu/library/reference-book, last visited 12/05/2024.
- Preti F., Capobianco V., Sangalli P. (2022), “Soil and Water Bioengineering (SWB) is and has always been a nature-based solution (NBS): a reasoned comparison of terms and definitions”, *Ecological Engineering*, 181: 106687.
- Rapport D.J. (1998), “Defining ecosystem health”, in Rapport D.J. (ed.), *Ecosystem Health*, Blackwell Scientific, Oxford pp. 18-33.
- Rizzo A., Sarti C., Nardini A., Conte G., Masi F., Pistocchi A. (2023), “Nature-based solutions for nutrient pollution control in European agricultural regions: A literature review”, *Ecological Engineering*, 186: 106772.
- Seddon N. (2022), “Harnessing the potential of nature-based solutions for mitigating and adapting to climate change”, *Science*, 376, 6600: 1410-1416.
- Seddon N., Smith A., Smith P., Key I., Chausson A., Girardin C., House J., Srivastava S., Turner B. (2021), “Getting the message right on nature-based solutions to climate change”, *Global Change Biology*, 27, 8: 1518-1546.
- Seddon N., Turner B., Berry P., Chausson A., Girardin C.A.J. (2019), “Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science”, *Nature Climate Change*, 9, 2: 84-87.
- Sharma S., Sarkar P. (2019), “Biomimicry: Exploring Research, Challenges, Gaps, and Tools”, in A. Chakrabarti (ed.), *Research into Design for a Connected World, Smart Innovation, Systems and Technologies*, 134, Springer Nature, Singapore.
- Swiegers G.F. (ed.) (2012), *Bioinspiration and biomimicry in chemistry: reverse-engineering nature*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Ulgiate S., Raugei M., Bargigli S. (2006), “Overcoming the inadequacy of single criterion approaches to Life Cycle Assessment”, *Ecological Modelling*, 190: 432-442.
- Wahl D.C. (2006), “Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 87: 289-298.
- Wittgenstein L. (1953), *Philosophische Untersuchungen* (eng. trans. *Philosophical investigations*, Hrsg.: G.E.M. Anscombe, Blackwell, Oxford).

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

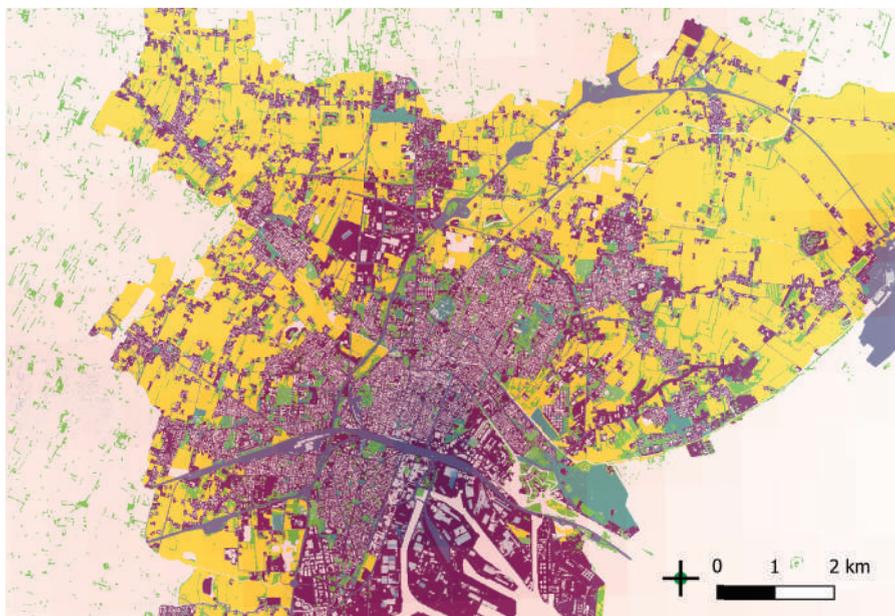


Fig. 1 – Mappa di inquadratura dell'area in esame (Urban Atlas 2018, Building Height 2012, Small Woody Features 2018, Artificial night sky bright-ness). Fonti: Copernicus Land Monitoring Service, ARPAV

(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.

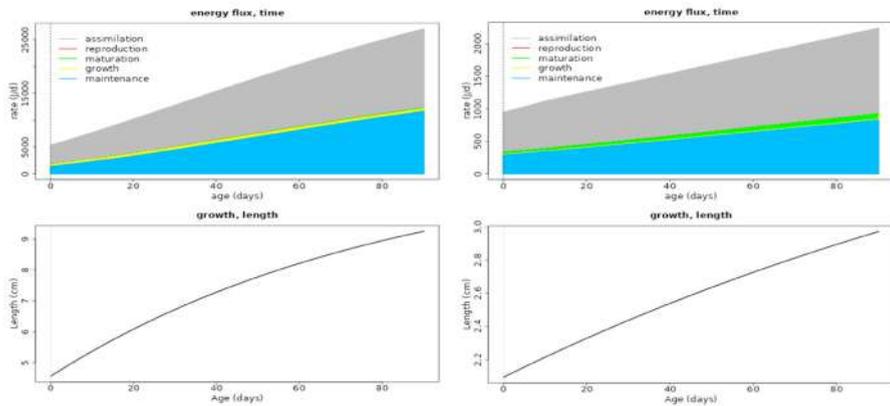


Fig. 2 – Bilancio metabolico ed accrescimento per ciascuna delle specie considerate durante un periodo di 90 giorni e considerando temperatura costante (sx: *Turdus merula*; dx: *Passer domesticus*)

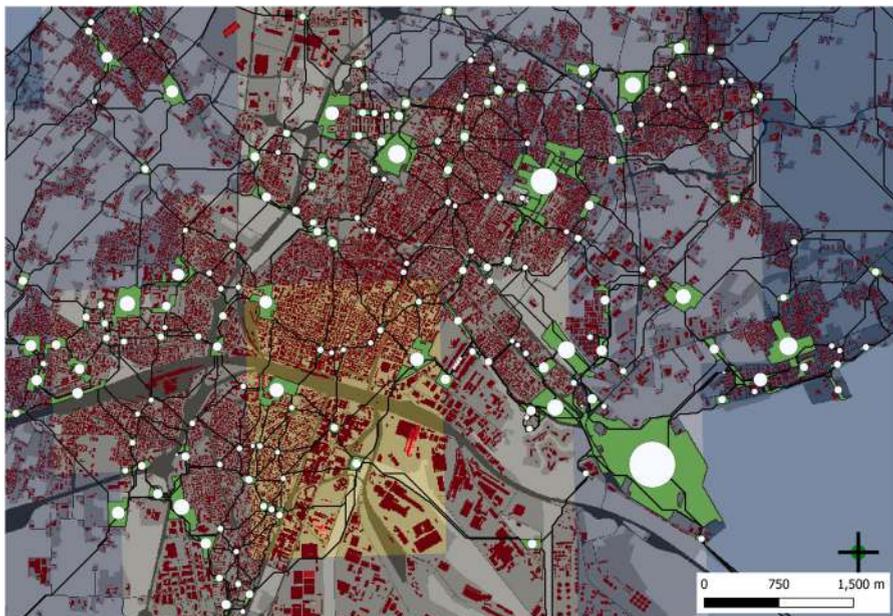


Fig. 3 – Risultati dell'applicazione del modello Graphab. Nodi e percorsi sono stati identificati a partire dalle patches di habitat per le due specie considerate – sulla base dei risultati dei modelli metabolici riportati in Figura 2 – e con una resistività quantificata sulla base dei dati di uso del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

Specie selvatiche autoctone, considerazioni ecologiche su utilizzo e gestione per prati a bassa manutenzione

di *Silvia Assolari**

Abstract

Native wild species, ecological considerations on use and management to create low-maintenance meadows

Very often we don't know much about wild species, or how vegetation behaves in nature. However, these ecological notions are the basis of any choice, because they allow the creation of low-maintenance lawns that last over time with dynamics similar to natural ones. The choice to use ecological criteria leads to respecting environmental aspects, such as the natural distribution of species on the territory, or avoiding the introduction of non-native species, which can seriously damage the environment. But the ecological criteria are also a correct technical choice because I use – as seed supplier for landscape design – wild species in situations similar to those in which they normally develop in nature, and where they can express their full potential. Management is also fundamental, and must take into account the natural characteristics of wild species that are not cultivated plants and do not have the same needs. Fertilizing, mowing too frequent and too low are all common practices that prevent the development of many wild species. There are, also, unrealistic expectations such as low flower meadows, blooms all year round, plant development from sowing to flowering in non-physiological times. Furthermore, there is the unsubstantiated opinion that no maintenance or irrigation is needed using wild species. But when we place the plants in conditions closer to the limit of their capabilities, such as in critical built contexts like road roundabouts, slopes, green roofs, etc., we should also consider minimum compensatory intervention at least in the critical moments. The correct choice of species associated with a correct management, are the basis that allows to maintain the vegetation over the time with the lowest possible costs.

* SemeNostrum, Udine.

1. Premessa

La conoscenza dei comportamenti delle specie selvatiche in natura e delle dinamiche presenti nelle vegetazioni naturali dovrebbe diventare il punto di riferimento per le scelte progettuali, non solo dal punto di vista botanico ma anche edilizio: questo permetterebbe di porre le piante in condizioni adatte al loro sviluppo, con una più facile gestione e di conseguenza un risparmio economico. Troppo spesso le richieste dei progettisti e dei clienti sono al limite delle possibilità eco-fisiologiche delle piante, perché già in fase progettuale non si considerano questi aspetti. Con l'idea di creare giardini che richiedano poca acqua o bassa manutenzione si pretendono cose impossibili, come ad esempio costruire un tetto verde senza prevedere irrigazione; non ci si rende conto che spesso i giardini, le città, le aree pubbliche non hanno le stesse caratteristiche dell'ambiente naturale e che quindi le piante hanno bisogno di un minimo di supporto.

Sappiamo molto bene come si coltiva una pianta ma non sappiamo come la specie si comporta in natura. Cerchiamo di coltivare la vegetazione naturale, ma le tecniche agronomiche spesso danno risultati negativi con le specie selvatiche e i prati fioriti, perché queste non si comportano come le piante coltivate.



Fig. 1 – Fioritura di prato naturale “Magredo” tipico della pianura friulana

Ad esempio la concimazione viene considerata un'operazione imprescindibile; invece è deleteria perché squilibra i rapporti di competizione tra le specie del prato, di solito favorendo le graminacee a discapito delle specie da fiore, riducendo drasticamente la biodiversità.



Fig. 2 – Prato fiorito seminato su ex terreno agricolo ricco di azoto al secondo anno dalla semina, senza fioritura



Fig. 3 – Lo stesso prato di fig. 2 l'anno successivo, con inizio della fioritura grazie alla diminuzione dell'azoto



Fig. 4 – Lo stesso prato negli anni successivi, in cui le fioriture sono diventate simili a quelle di un prato naturale

2. Considerazioni ecologiche e indicazioni tecniche

- Ci si aspetta che un prato abbia delle caratteristiche che sia possibile scegliere, come l'altezza: è comune la richiesta del “prato fiorito basso”, che dovrebbe avere un'altezza massima di 15 cm. Il problema è che in natura la maggior parte delle specie diventa in fioritura ben più alta, in media 50-60 cm (ma ci sono specie che possono superare il metro).
- Spesso il committente o il progettista che predilige le specie selvatiche è portato a pensare che l'irrigazione non serva, invece è essenziale per il corretto sviluppo del prato appena seminato, ma anche per evitare danni in caso di siccità.
- Si sottovaluta il fatto che in natura ci possano essere morie di piante, che vengono recuperate dalla vegetazione naturale grazie alla risemina continua negli anni delle specie presenti nel prato. Per questo motivo in un prato naturale all'apparenza non sembrano esserci stati danni, anche in annate molto siccitose, nella realtà invece c'è stata una sostituzione delle fallanze da parte del seme presente nel terreno. Questo meccanismo, però, non è ancora presente in un prato appena seminato, non avendo, di conseguenza, la medesima capacità di recupero di un prato

presente da molti anni. Le dinamiche spiegate non vengono spesso tenute in considerazione dall'utenza, perché la vegetazione viene osservata quando essa attraversa la fase di massimo vigore e bellezza, che coincide con la fioritura, durante la stagione primaverile-estiva. Ma un prato progettato è fruito visivamente, nella quotidianità, pertanto eventuali danneggiamenti vengono subito notati.

- Per quanto riguarda gli sfalci, la corretta gestione del prato fiorito ne prevede un primo a fine fioritura tra giugno e luglio, e un secondo a fine stagione vegetativa indicativamente ad ottobre. È importante asportare lo sfalcio perché altrimenti agirebbe da pacciamatura, soffocando lo sviluppo del prato stesso. È importante altresì non sfalciare raso terra: specialmente le specie da fiore vengono molto danneggiate dai tagli rasi; uno sfalcio ottimale ha un'altezza di 5-10 cm, preservando le foglie basali delle piante.
- Un altro importante fraintendimento sul prato perenne riguarda i tempi di sviluppo. Un prato non si forma immediatamente, perché non si considera che un prato, è di fatto un ecosistema, e non basta la presenza delle piante ma si devono ricostituire connessioni ed equilibri tra le specie che coinvolgono i batteri e i funghi del terreno, correlati con le diverse specie vegetali. Si devono ristabilire i cicli dei nutrienti del terreno, i rapporti di competizione tra le specie, ma anche di mutualismo, simbiosi, ecc., non solo tra piante ma anche tra piante e animali, in particolare gli insetti impollinatori.
- Le specie bienni e perenni, che tipicamente costituiscono i prati, di solito non fioriscono il primo anno, per cui saranno necessari almeno due anni per avere una prima fioritura di queste specie.
- È possibile avere una fioritura appariscente il primo anno solo utilizzando dei miscugli che contengano anche specie a ciclo annuale: queste, opportunamente scelte, hanno anche il vantaggio di favorire lo sviluppo del prato perenne (ma è importante ricordare che le specie annuali non ritorneranno gli anni successivi).
- Al fine di permanere nel tempo, come già accennato precedentemente, nel prato si deve formare anche la *seed bank* del terreno, formata dai semi prodotti caduti a terra e accumulati nel terreno. In natura questi semi rimangono dormienti anche per anni, e germinano quando si creano delle fallanze nel cotico erboso. Queste fallanze possono dipendere da fattori avversi come forti siccità, ma anche dalla morte delle piante che sono arrivate alla fine del loro ciclo vitale.



Fig. 5 – Fioritura di specie annuali

- Un'altra richiesta frequente è quella di un prato fiorito perenne usando solo specie da fiore; in realtà questo approccio non funziona, perché le graminacee sono fondamentali per la creazione del cotico del prato. Il cotico permette di mantenere coperto il terreno durante tutto l'arco dell'anno: ciò limita lo sviluppo delle specie infestanti, trattiene il terreno e ombreggia il terreno permettendo una maggiore resistenza all'aridità del prato (il terreno ombreggiato si scalda di meno e, in questo modo, perde meno acqua per traspirazione). Evitare gli sfalci a raso serve anche a mantenere il terreno sempre ombreggiato. Senza le graminacee si possono avere delle fioriture, ma esse non permarranno nel tempo, a meno di risemine annuali (è il caso delle semine di specie annuali come papaveri o fiordalisi) o al massimo ogni due anni, se sono presenti anche specie bienni.
- Un altro aspetto molto sottovalutato riguarda l'uso di specie alloctone, cioè specie non appartenenti alla flora locale, che possono diventare una grave minaccia alla biodiversità e al mantenimento della vegetazione naturale anche protetta. Quando una specie alloctona si adatta e incomincia a riprodursi autonomamente, si diffonde nell'ambiente e può diventare una specie infestante e invasiva, con danni sia all'agricoltura che all'ambiente: la specie alloctona sostituisce le specie della flora locale distruggendo così la vegetazione naturale.

- Un'altro aspetto grave, correlato alla diffusione delle specie alloctone, è l'impossibilità di eradicare queste specie una volta che esse si siano diffuse nell'ambiente: il danno creato risulta irreparabile. Spesso la presenza di specie alloctone comporta anche danni che hanno importanti ricadute economiche, perché gli interventi per contenerne la diffusione e contrastare eventuali problemi comportano inevitabili costi, che spesso devono essere continuamente ripetuti¹.

- Le specie alloctone comprendono due categorie di specie: le archeofite e le neofite.

Le archeofite sono specie introdotte dall'uomo prima della scoperta dell'America, avvenuta nel 1492. Le neofite invece sono state introdotte dopo il 1492. È stata scelta questa data perché da questo momento storico i contatti tra zone lontane del mondo, grazie ai viaggi navali, diventano frequenti come mai prima nella storia, e con essi anche il trasferimento di specie vegetali da parte dell'uomo.

Le archeofite sono considerate comunemente parte della flora locale, mentre le specie invasive fanno parte delle neofite, che sono da considerare pericolose per l'ambiente.

È bene tenere a mente questa distinzione quando si consultano dati botanici provenienti da database online².

- Per evidenziare cosa comporta la presenza delle specie alloctone, è stato calcolato, come riportato sul sito del Progetto life Asap, che “le specie aliene invasive sono uno dei fattori chiave, talvolta l'unico, nell'estinzione di una specie su due”, e che “12,5 miliardi di euro è la spesa sostenuta ogni anno dall'Unione Europea per i danni causati dalle specie aliene invasive”.
- Per creare qualcosa di ecosostenibile, difendere la biodiversità e l'ambiente non ci si può permettere di fare l'errore di introdurre e diffondere specie alloctone. Nella pratica comune sono molte le specie alloctone usate a scopo ornamentale e non solo; è bene tuttavia evitare di introdurre nuove specie, dato che non si può prevedere se esse diventeranno invasive. Inoltre è fondamentale non usare assolutamente

1. Per maggiori informazioni sulle specie alloctone e come contrastarle potete fare riferimento al sito www.specieinvasive.it/ e <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/protecting-biodiversity-from-invasive-alien-species.html>.

2. A titolo di esempio: “Il portale della flora d'Italia”, in cui è possibile consultare l'elenco della flora italiana autoctona e alloctona, con la loro distribuzione sul territorio a livello regionale – <https://dryades.units.it/floritaly/>; “Acta Plantarum”, riferimento per la consultazione di schede botaniche complete che descrivono le specie dal punto di vista morfologico ed ecologico – www.actaplantarum.org/.

quelle che hanno già dimostrato la loro potenzialità invasività, non solo a livello europeo ma anche a livello italiano.

- Quando si utilizzano le specie alloctone, inoltre, non si considera che le specie vegetali sono alla base degli ecosistemi e che sono fondamentali per la vita animale, la quale è coevoluta con le specie vegetali della flora locale creando relazioni anche specie-specifiche: la sostituzione della flora locale da parte di specie alloctone ha un forte impatto negativo anche sulla biodiversità animale, non solo su quella vegetale.

Infine occorre considerare che le piante e la vegetazione sono una componente importante del paesaggio, ma, cambiando le specie presenti, anche l'aspetto del paesaggio si modifica. L'impatto delle specie alloctone può manifestarsi anche a questo livello: considerando la vocazione turistica dell'Italia, basata molto spesso sulle peculiarità del suo territorio e dell'ambiente, è ancora più insensato l'utilizzo di specie alloctone che andrebbero a banalizzare e uniformare il paesaggio.



Fig. 6 – Fioritura prato naturale con specie autoctone



Fig. 7 – Fioritura massiva di specie alloctona, in questo caso *Erigeron annuus* (L.) Desf.

Riferimenti bibliografici e siti web

Blasi C. (ed.) (2010), *La vegetazione d'Italia*, Palombi Editori, Roma.

www.isprambiente.gov.it/it/servizi/sistema-carta-della-natura

<https://dryades.units.it/floritaly/>

www.specieinvasive.it/

<https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/protecting-biodiversity-from-invasive-alien-species.html>

Impatti sul microclima urbano e benefici termici

#Efficienza energetica – *Energy efficiency*

#Comfort in ambiente esterno – *Outdoor comfort*

Le tecnologie NBS offrono inoltre vantaggi dal punto di vista energetico. Consentono infatti il raggiungimento di elevati obiettivi prestazionali mediante soluzioni più naturali e in grado di produrre benefici termoeenergetici anche nell'ambiente che ospita l'edificio, in particolare grazie al contenimento dell'effetto isola di calore urbana.

Quali sono i vantaggi energetici, *indoor* e *outdoor*, ottenibili con le NBS?

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).

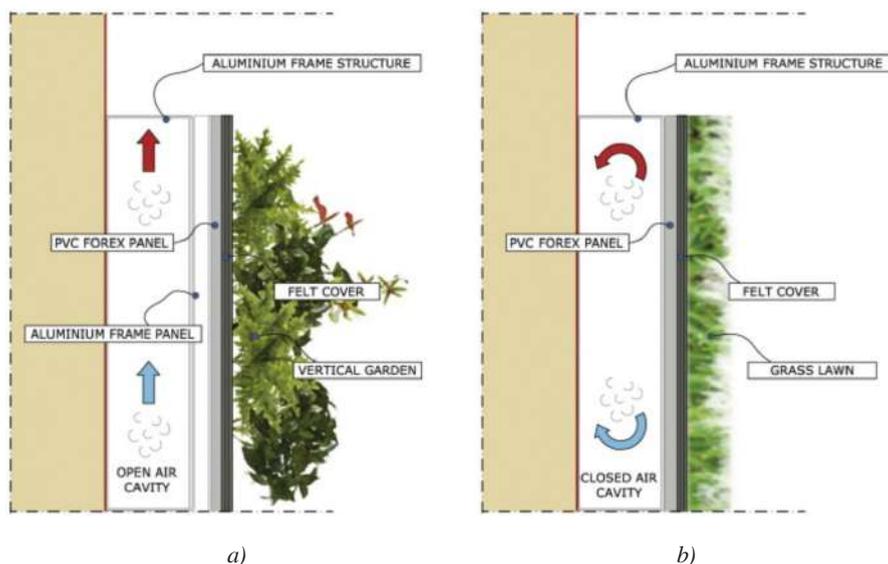


Fig. 1 – Tipi di pareti vegetali simulate

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 (NSE), che confermano l'accuratezza del modello termico (Tab. 1).

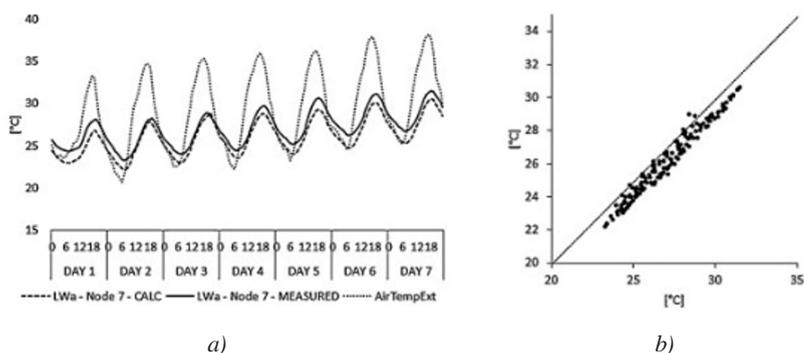


Fig. 2 – Confronto tra temperature simulate e misurate per la parete vegetale con giardino verticale e cavità d'aria aperta

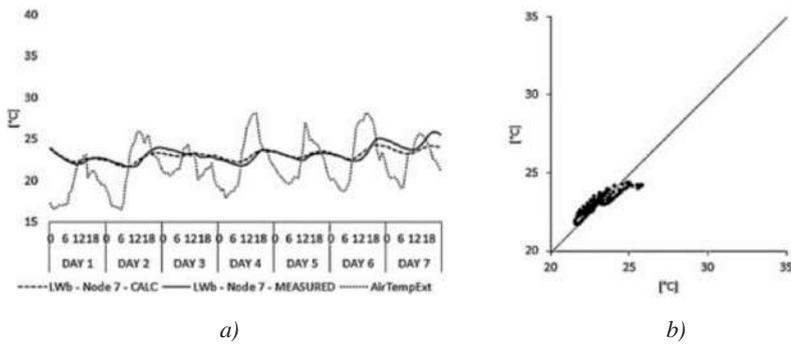


Fig. 3 – Confronto tra temperature simulate e misurate per la parete vegetale con erba e cavità d'aria chiusa

| 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.

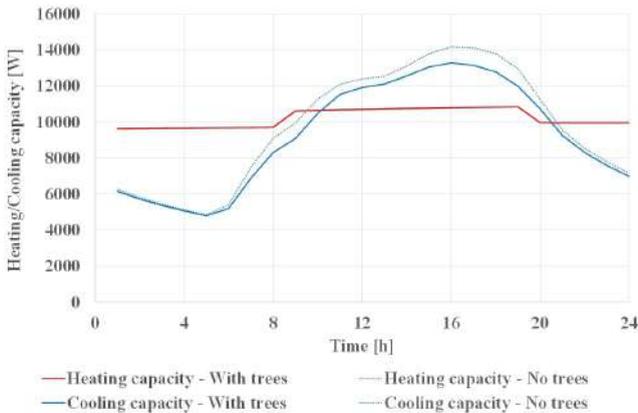


Fig. 4 – Capacità di riscaldamento/raffreddamento in una giornata di progettazione invernale/estiva, con e senza alberi

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.

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

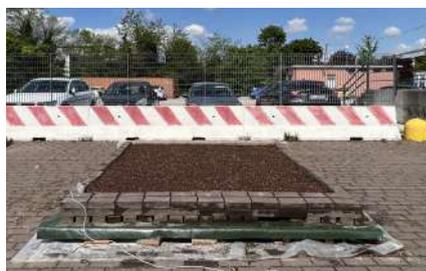


Fig. 5 – Lo strato culturale è costituito da una miscela prevalentemente minerale di zeolite con 3% di sostanza organica



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.

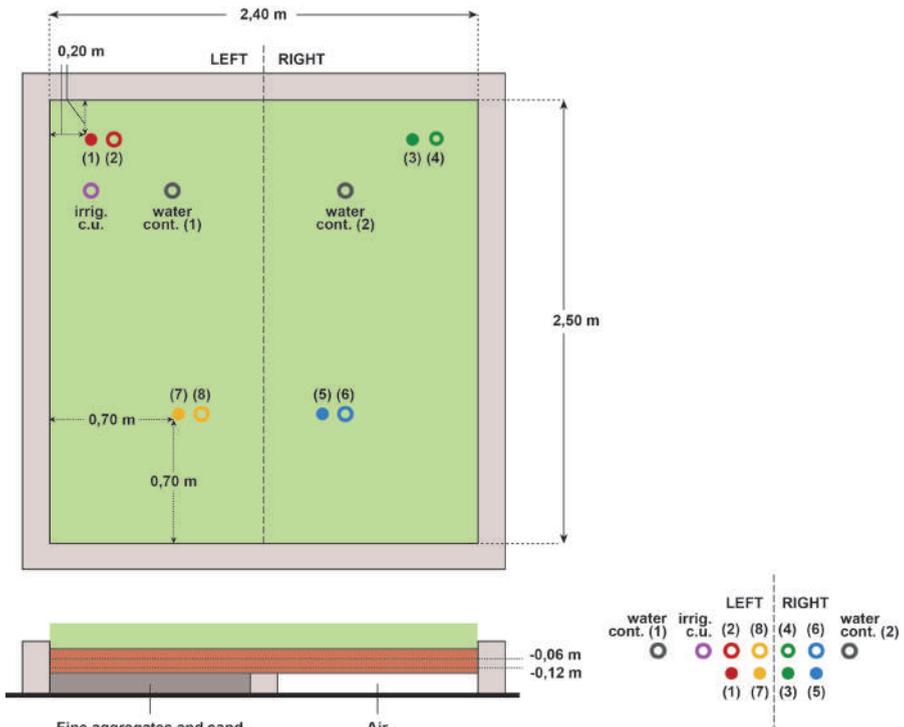


Fig. 8 – Schema del campo prove in cui è evidenziata la posizione di ciascuna sonda

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.

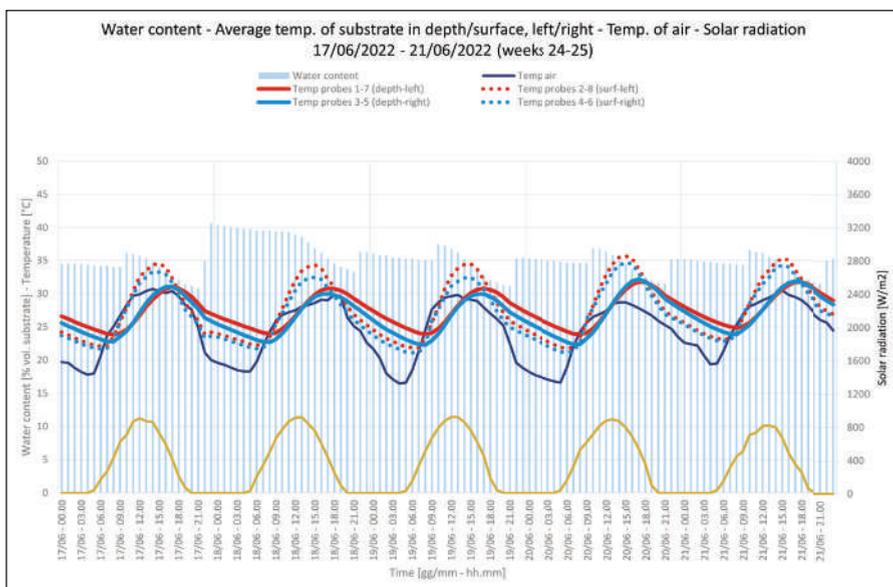


Fig. 9 – Valori registrati nel periodo p_1 dal 17/06 al 21/06/2022

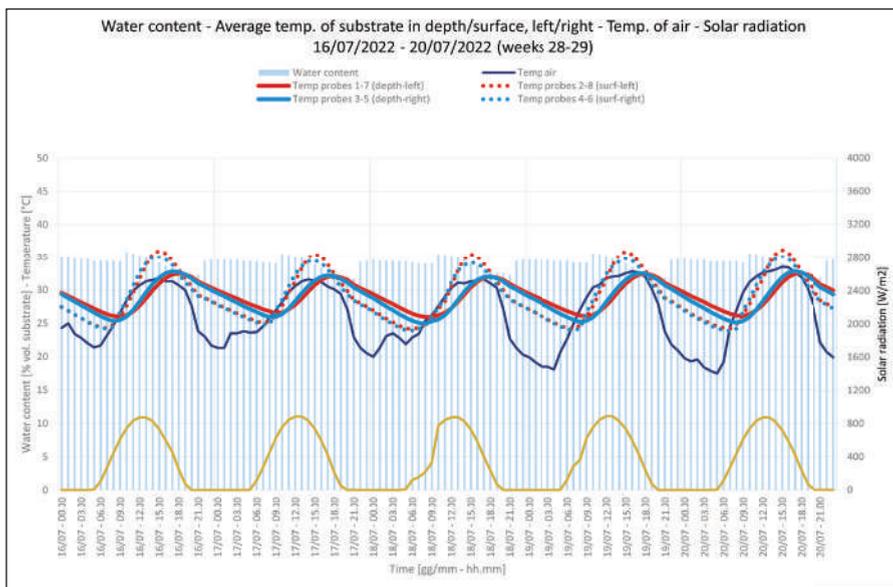


Fig. 10 – Valori registrati nel periodo p_2 dal 16/07 al 20/07/2022

| 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 Tab. 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 Tab. 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 (Tab. 3 e 4) con questi (Tab. 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.

*Gestione, manutenzione
e fabbisogno idrico della vegetazione*

#Manutenzione programmata – *Programmed maintenance*

#Fabbisogno idrico – *Water needs*

#Analisi dei costi – *Cost analysis*

Un importante problema funzionale del patrimonio naturale urbano, anche in ottica economica, consiste nello svolgimento di interventi manutentivi secondo criteri aggiornati, nel rispetto di tecniche colturali scientificamente fondate e rivolte alla riduzione degli input esterni.

La riduzione dell'apporto di energia per la gestione della vegetazione urbana incontra moltissimi vantaggi che possono colmare, almeno in parte, le criticità legate alla diffusione del verde nelle città italiane, fra cui la mancanza di una corretta pianificazione, di appropriate regole di progettazione, di strutture stabili di gestione e di proporzionate risorse economiche per la manutenzione.

Theoretical and applied knowledge of plant water relations to minimise water needs of green roofs

by *Andrea Nardini**, *Martina Tomasella**, *Sergio Andri***

Abstract

Conoscenze teoriche e applicate delle relazioni pianta-acqua per minimizzare il fabbisogno idrico del verde pensile

The implementation of green roof systems in drought prone areas is an urgent need in the frame of nature-based solutions for adaptation of urban areas to ongoing climate changes. However, installation of green roofs in hot and dry regions is difficult because of challenges associated with plant survival and sustainable water use in irrigation systems. Here, we present a brief overview of basic concepts of soil-plant water relations as based on principles of irreversible thermodynamics. We highlight how the definition of critical substrate- and species-specific water potential (free energy of water per unit molar volume) levels, with specific reference to the turgor loss point, can inform: (i) the production of substrates with high amounts of water available to plants, (ii) the selection and introduction in green roofs of plant species with higher drought tolerance, and (iii) the design of deficit-irrigation systems based on monitoring of substrate water potential targeted at minimising water supply while maximising some of the plant- and substrate-specific technical performances.

1. Promises and challenges of green roofs in Mediterranean areas

Green roofs are one of the components of urban green infrastructures, and contribute to adaptation of modern cities to ongoing climate change (Zölch *et al.*, 2016). Green roofs provide several benefits to urban areas in terms of stormwater management, mitigation of air temperatures, removal

* Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste.

** Harpo verdepensile, Trieste.

of air pollutants, energetic efficiency of buildings, protection of biodiversity, health and well-being of residents (Liu *et al.*, 2021; Manso *et al.*, 2021). In particular, the potential of green roofs for mitigation of the urban heat island effect (Bevilacqua *et al.*, 2017), and related positive impacts on energy consumption and human health (Fioretti *et al.*, 2010; Marvuglia *et al.*, 2020), suggest that these infrastructures should be widely included in adaptation strategies for towns in tropical and subtropical climates, where anomalous heat waves are more likely to produce dramatic effects over the next decades (Guo *et al.*, 2018). In particular, the Mediterranean basin is a hot spot of climate warming (Giorgi, 2006), and urban areas in this region have already experienced extreme summer events (Founda *et al.*, 2019), calling for urgent adoption of nature-based solutions to mitigate the related economic and social impacts (Gilabert *et al.*, 2021). Despite holding great promises for adaptation of Mediterranean towns to climate change, green roofs have struggled to gain momentum in this area, also because of the challenge posed by harsh environmental conditions to vegetation survival and performance. In fact, the Mediterranean climate is characterised by dry and hot summers, further exacerbated by recent climate change. Water is the most limiting factor for plant survival in natural habitats (McElrone *et al.*, 2013) as well as over green roofs (Du *et al.*, 2019a), although temperature extremes *per se* have the potential to damage or kill plants even under adequate water availability (Savi *et al.*, 2016; Marchin *et al.*, 2022). Considering that cost-effective green roofs require thin substrates with limited water storage capacity (Vijayaraghavan, 2016), it is not surprising that climatic features of Mediterranean towns pose special challenges to the implementation of this technology. Here, we highlight how a detailed knowledge of soil-plant water relations can inform the design of green roofs in drought-prone areas, in terms of substrate features, selection of plant species and implementation of water-saving irrigation systems.

2. Key concepts of plant water relations

Vascular plants are homoiohydric organisms that need to maintain relatively stable their hydration level to survive, grow and reproduce. The functional dilemma of terrestrial plants lies in the fact that sustained gas exchange rates with the atmosphere are necessary to allow CO₂ diffusion through stomata in photosynthetic tissues, forcing exposure of well-hydrated cells to the relatively drier atmosphere. Because of its relatively low concentration in the atmosphere (0.042%), the uptake on one CO₂ molecule is typically coupled to the loss of hundreds of H₂O molecule in

the form of vapour (Venturas *et al.*, 2017). Plants try to maintain stable hydration, despite large water losses, by continuously absorbing water at the root level and transporting it to the leaves through vascular tissues, provided that water is available in the substrate.

In simplistic terms, the water status of plants and soils can be described based on water content, but this metrics is not strictly correlated to the plant metabolism and health status. A more accurate descriptor of water status is the so-called water potential (Ψ), i.e. the free energy of water per unit molar volume (expressed in pressure units, MPa) (Boyer, 1969). As a reference, pure water at atmospheric pressure has a conventional $\Psi = 0$. Hydrostatic pressure, solute concentration and gravity effects can alter the value of Ψ in different systems and conditions. Fully hydrated and non-transpiring plants also have Ψ close or equal to 0. However, when stomata open during the day to allow CO_2 uptake, water loss from the leaf cells due to transpiration leads to a drop in water potential ($\Psi < 0$) and a transient decrease in leaf water content. The drop in water potential propagates from leaf cells through xylem conduits down to the roots, generating a ‘pulling force’ (i.e. negative water potential) that allows roots to reclaim water from the soil and drives water transport to the foliage to buffer the water content around relatively stable values. This is only possible as far as $\Psi_{\text{plant}} < \Psi_{\text{soil}}$, because water always moves down water potential gradients. The water potential of water-saturated soil (Ψ_{soil}) is close to 0. However, upon water evaporation to the atmosphere or water uptake from the plants, soil water content drops and so does Ψ_{soil} , because of capillary forces generating into soil pores and inducing negative hydrostatic pressure in soil water.

Under high air temperature and low relative humidity, the vapour pressure deficit in the atmosphere increases dramatically (Grossiord *et al.*, 2020), accelerating evaporation from the leaves. Hence, the amount of water lost to the atmosphere increases and the water potential declines. Eventually, water loss can even exceed the plant capacity to absorb and transport water, as related to organ-specific and whole-plant hydraulic conductance (Tyree and Ewers, 1991), and hence the water potential becomes more and more negative. When high air temperature is coupled to a dry period, even soil water content and Ψ_{soil} declines, making more difficult for the plant to extract water due to the lower energy levels of residual water, and this further contributes to the decline of Ψ_{plant} . Under this scenario, soon or later the plant reaches a critical water status level, i.e. a Ψ_{plant} value inducing cell turgor loss and plasmolysis (Bartlett *et al.*, 2016), which can be visually detected in herbaceous plants or soft leaves as wilting. This value is known as the turgor loss point (Ψ_{tip}) and is critical because it forces the plant to close completely the

stomata to prevent excessive damage to the cells. Stomatal closure blocks CO₂ diffusion and thus photosynthesis, and under these conditions the plant relies only on stored carbohydrates for survival, facing the risk of carbon starvation (McDowell and Sevanto, 2010).

Ψ_{tip} shows large inter-specific variability (typically from -0.5 to -3.5 MPa), with species displaying lower values of this trait typically occupying drier habitats (Bartlett *et al.*, 2012). This makes Ψ_{tip} a possible target for selection of plant species to be employed in Mediterranean green roofs. At the same time, the knowledge of species-specific Ψ_{tip} allows to make useful predictions about the amount of water extractable from different soil types, thus guiding the development of substrates dedicated to green roofs. Finally, the definition of Ψ_{tip} offers the opportunity to design irrigation systems based on the supply of water amounts sufficient to keep plants right above this critical threshold rather than targeted to substrate saturation, paving the way for effective water savings in Mediterranean green roof systems.

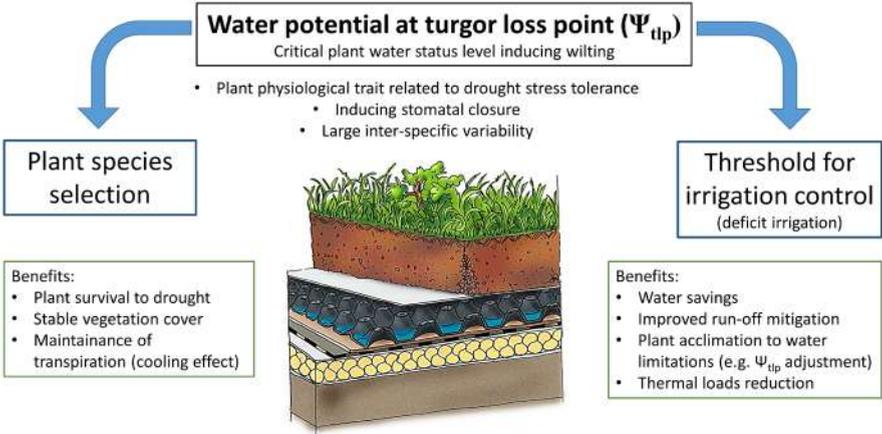


Fig. 1 – Leaf water potential at turgor loss point (Ψ_{tip}) as a key parameter for selection of plant species and of substrate water potential thresholds for irrigation management in Mediterranean extensive green roofs

3. The importance of substrate water relations

Green roofs are based on a more or less complex stratigraphy, including root-proof impermeable layers covered by water-retaining geotextiles, drainage systems, filters and substrate. Although the properties and design of both the geotextile and drainage layers can influence

the amount of water available to plants (Savi *et al.*, 2013), the substrate still represents the most important and critical layer for vegetation performance and drought survival. From the point of view of plant water relations, the most important characteristic of the substrate is the available water content (AWC), i.e. the amount of stored water that can be actually absorbed by roots and used by the plant to sustain transpiration and maintain tissue hydration (Cousin *et al.*, 2022).

AWC can be defined as the difference between the substrate water content at field capacity (FC, i.e. the maximum water content after drainage of excess water by gravity through the larger pores; FC typically corresponds to $\Psi_{\text{soil}} \sim 0$ MPa) and that at the permanent wilting point (PWP), i.e. when soil water potential equals the species-specific Ψ_{tip} . PWP is a critical water content because residual water stored in the substrate at this water potential is actually not available to the plant, considering that Ψ_{plant} should drop below Ψ_{tip} in order to allow water flow from the substrate to the roots. As mentioned above, once Ψ_{tip} is reached, plants strongly reduce transpiration and try to avoid further drops in water potential.

Because Ψ_{tip} is species-specific, AWC itself does not depend solely on substrate features (composition, porosity), but also on the plant species hosted in any specific green roof. In order to easily compare different soils and substrates, the PWP is conventionally set at $\Psi_{\text{soil}} = -1.5$ MPa, corresponding to the Ψ_{tip} of most herbaceous crops (Bartlett *et al.*, 2012). In recent years, accurate selection of materials has allowed the development of very light green roof substrates but with FC values up to 0.5 g/g, i.e. similar to those of heavy clay (Savi *et al.*, 2014). Most importantly, up to 85% of water stored at FC in a professional substrate is actually available to plants, in sharp contrast with natural soils where at best 50% of FC can turn into AWC.

These data highlight the importance of the accurate choice of professional substrates, certified in terms of FC and AWC, as a first strategy to favour plant growth and performance over green roofs in drought-prone areas, even with relatively thin substrate layers.

4. Selecting plant species for Mediterranean green roofs on the basis of physiological criteria

Accurate selection of plant species for Mediterranean green roofs is a crucial step to assure adequate vegetation cover and survival despite harsh environmental conditions. In fact, vegetation cover and health are important not only for the aesthetic values of green roofs, but also

for their adequate technical performance in terms of temperature and runoff reduction. In both cases, evapotranspiration plays a critical role by cooling the roof surface and maintaining substrate water content at relatively low values, so that any eventual precipitation can be intercepted and stored in the system. Several different approaches have been tested to select the best species for green roofs in drought-prone areas. The large adoption of *Sedum* spp. as a lead group of species over Mediterranean green roofs likely derives from the assumption that leaf or stem succulence might improve plant survival (Rayner *et al.*, 2016), but some studies have shown that succulence *per se* is not a good predictor of plant performance over green roofs (Guo *et al.*, 2021). In some cases, ecological approaches were used to select plant species based on their occurrence in natural habitats characterised by stressful conditions, to produce lists of potentially suitable species (Benvenuti and Bacci, 2010; Van Mechelen *et al.*, 2014). In both circumstances, the mechanistic link between plant features and performance over green roofs remains vague, thus limiting the possibility to predict which species will more likely survive over green roofs even without previous specific testing. In this sense, Ψ_{tip} emerges as a promising trait for pre-selection of suitable species (Savi *et al.*, 2017; Du *et al.*, 2019b; Petruzzellis *et al.*, 2022).

The main limitation to the wide use of this sound physiological trait in plant pre-selection for Mediterranean green roofs lies in the fact that Ψ_{tip} values are mostly available for woody species, while herbaceous plants are less represented in global plant trait databases. This is because measuring Ψ_{tip} is a complex and time-consuming procedure (Tyree and Hammel, 1972) and only the recent introduction of relatively simple and fast techniques (Petruzzellis *et al.*, 2019) is fostering the measurement of this functional trait in several herbaceous species. These new techniques are already producing important results when Ψ_{tip} is applied to studies modelling natural vegetation responses to climate change (Tordoni *et al.*, 2022), and offer the possibility to generate a database of the best plant species for Mediterranean green roofs as based on their physiological drought tolerance.

5. Water-saving irrigation strategies

The maintenance of aesthetic and technical functions of green roofs in arid regions cannot be probably guaranteed in the absence of irrigation systems, at least during the plant establishment phase and the warmest and driest part of the growing season. Because of increasing scarcity of water resources and conflicting needs on their use, it is important to opti-

mise irrigation practices to foster the introduction of green roofs in the Mediterranean areas. Classical irrigation practices, based on frequent and abundant water supply, favour plant growth but reduce green roof sustainability and efficiency, not only because of the large water needs. Indeed, saturated substrates cannot store any eventual precipitation event, and most importantly they do not favour plant acclimation to water stress (Savi *et al.*, 2015), making green roof vegetation very vulnerable to even occasional dry periods caused by possible failure of irrigation systems. More sustainable water management of green roofs can be achieved by modulation of irrigation based on monitoring of atmospheric evaporative demand or soil moisture content (Van Mechelen *et al.*, 2015). Both these approaches, however, do not take into account the species-specific physiological water needs and ultimately can result in irrigation volumes above or below optimality in terms of plant survival. Introducing technical concepts derived on soil-plant water relations in the design of green roof irrigation systems can overcome these limitations. Irrigation timing and volume can be regulated on the basis of substrate- and species-specific PWP, in order to maintain soil water content right above the critical water potential leading to turgor loss. Substrates close to PWP contain much less water than at saturation (see above) but, ensured that there is still contact among fine roots and the substrate, they can still provide some water allowing plants to keep stomata open, thus favouring transpiration and evaporative cooling. At the same time, the low water content at PWP assures ample storage volume for any possible rainfall, thus improving the runoff regulation properties of green roofs. Irrigation systems based on Ψ_{soil} detection require dedicated sensors, which can be expensive, but even common sensors for soil moisture monitoring can be used, provided that they are pre-calibrated against substrate water potential at different water contents in a specialised laboratory. A recent study (Tomasella *et al.*, 2022) has demonstrated that Ψ_{soil} -based modulation of irrigation can lead to nearly 70% reduction of water volumes when compared to a traditional irrigation system based on constant daily water supply. Most importantly, this deficit-irrigation system did not induce any negative effect on plant physiological status, and also improved some technical functions of the green roof, by increasing rainfall interception and decreasing surface temperature via accurate timing of irrigation during the warmest part of the day.

In conclusion, recent experimental evidence, based on well-established understanding of the bio-physics of soil-plant water relations, offers new insights into strategies to be adopted for the development of water-sustainable and climate-resilient green roofs even in warm and drought-prone urban areas.

References

- Bartlett M.K., Scoffoni C. and Sack L. (2012), “The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis”, *Ecology Letters*, 15: 393-405.
- Bartlett M.K., Klein T., Jansen S., Choat B. and Sack L. (2016), “The correlations and sequence of plant stomatal, hydraulic, and wilting responses to drought”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 13098-13103.
- Benvenuti S. and Bacci D. (2010), “Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs”, *Urban Ecosystems*, 13: 349-363.
- Bevilacqua P., Mazzeo D., Bruno R. and Arcuri N. (2017), “Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate”, *Energy and Buildings*, 150: 318-327.
- Boyer J.S. (1969), “Measurement of the water status of plants”, *Annual Review of Plant Physiology*, 20: 351-364.
- Cousin I., Buis S., Lagacherie P., Doussan C., Le Bas C. and Guérif M. (2022), “Available water capacity from a multidisciplinary and multiscale viewpoint. A review”, *Agronomy for Sustainable Development*, 42: 46.
- Du P., Arndt S.K. and Farrell C. (2019a), “Is plant survival on green roofs related to their drought response, water use or climate of origin?”, *Science of the Total Environment*, 667: 25-32.
- Du P., Arndt S.K. and Farrell C. (2019b), “Can the turgor loss point be used to assess drought response to select plants for green roofs in hot and dry climates?”, *Plant and Soil*, 441: 399-408.
- Fioretti R., Palla A., Lanza L.G. and Principi P. (2010), “Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate”, *Building and Environment*, 45: 1890-1904.
- Founda D., Varotsos K.V., Pierros F. and Giannakopoulos C. (2019), “Observed and projected shifts in hot extremes’ season in the Eastern Mediterranean”, *Global and Planetary Change*, 175: 190-200.
- Gilabert J., Ventura S., Segura R., Martilli A., Badia A., Llasat C., Corbera J. and Villalba G. (2021), “Abating heat waves in a coastal Mediterranean city: what can cool roofs and vegetation contribute?”, *Urban Climate*, 37: 100863.
- Giorgi F. (2006), “Climate change hot-spots”, *Geophysical Research Letters*, 33: L08707.
- Grossiord C., Buckley T.N., Cernusak L.A., Novick K.A., Poulter B., Siegwolf R.T.W., Sperry J.S. and McDowell N.G. (2020), “Plant responses to rising vapor pressure deficit”, *New Phytologist*, 226: 1550-1566.
- Guo B., Arndt S., Miller R., Lu N. and Farrell C. (2021), “Are succulence or trait combinations related to plant survival on hot and dry green roofs?”, *Urban Forestry and Urban Greening*, 64: 127248.
- Guo Y., Gasparrini A., Li S., Sera F., Vicedo-Cabrera A.M. *et al.* (2018), “Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study”, *PloS Medicine*, 15: e1002629.

- Liu H., Kong F., Yin H., Middel A., Zheng X., Huang J., Xu H., Wang D. and Wen Z. (2021), "Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: a bibliometric review", *Building and Environment*, 196: 107794.
- Manso M., Teotónio I., Matos Silva C. and Oliveira Cruz C. (2021), "Green roof and green wall benefits and costs: a review of the quantitative evidence", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135: 110111.
- Marchin R.M., Esperon-Rodriguez M., Tjoelker M.G. and Ellsworth D.S. (2022), "Crown dieback and mortality of urban trees linked to heatwaves during extreme drought", *Science of the Total Environment*, 850: 157915.
- Marvuglia A., Koppelaar R. and Rugani B. (2020), "The effect of green roofs on the reduction of mortality due to heatwaves: results from the application of a spatial microsimulation model to four European cities", *Ecological Modelling*, 438: 109351.
- McDowell N.G. and Sevanto S. (2010), "The mechanisms of carbon starvation: how, when, or does it even occur at all?", *New Phytologist*, 186: 264-266.
- McElrone A.J., Choat B., Gambetta G.A. and Brodersen C.R. (2013), "Water uptake and transport in vascular plants", *Nature Education Knowledge*, 4: 6.
- Petruzzellis F., Savi T., Bacaro G. and Nardini A. (2019), "A simplified framework for fast and reliable measurement of leaf turgor loss point", *Plant Physiology and Biochemistry*, 139: 395-399.
- Petruzzellis F., Tordoni E., Di Bonaventura A., Tomasella M., Natale S., Panepinto F., Bacaro G. and Nardini A. (2022), "Turgor loss point and vulnerability to xylem embolism predict species-specific risk of drought-induced decline of urban trees", *Plant Biology*, 24: 1198-1207.
- Rayner J.P., Farrell C., Raynor K.J., Murphy S.M. and Williams N.S.G. (2016), "Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: The importance of leaf succulence in plant selection", *Urban Forestry and Urban Greening*, 15: 6-14.
- Savi T., Andri S. and Nardini A. (2013), "Impact of different green roof layering on plant water status and drought survival", *Ecological Engineering*, 57: 188-196.
- Savi T., Marin M., Boldrin D., Incerti G., Andri S. and Nardini A. (2014), "Green roofs for a drier world: effects of hydrogel amendment on substrate and plant water status", *Science of the Total Environment*, 490: 467-476.
- Savi T., Boldrin D., Marin M., Love V.L., Andri S., Tretiach M. and Nardini A. (2015), "Does shallow substrate improve water status of plants growing on green roofs? Testing the paradox in two sub-Mediterranean shrubs", *Ecological Engineering*, 84: 292-300.
- Savi T., Dal Borgo A., Love V.L., Andri S., Tretiach M. and Nardini A. (2016), "Drought versus heat: what's the major constraint on Mediterranean green roof plants?", *Science of the Total Environment*, 567: 753-760.
- Savi T., Love V.L., Dal Borgo A., Martellos S. and Nardini A. (2017), "Morpho-anatomical and physiological traits in saplings of drought-tolerant Mediterranean woody species", *Trees*, 31: 1137-1148.
- Tomasella M., De Nardi E., Petruzzellis F., Andri S., Castello M. and Nardini A. (2022), "Green roof irrigation management based on substrate water potential

- assures water saving without affecting plant physiological performance”, *Ecohydrology*, 15: e2428.
- Tordoni E., Petruzzellis F., Di Bonaventura A., Pavanetto N., Tomasella M., Nardini A., Boscutti F., Martini F. and Bacaro G. (2022), “Projections of leaf turgor loss point shifts under future climate change scenarios”, *Global Change Biology*, 28: 6640-6652.
- Tyree M.T. and Ewers F.W. (1991), “The hydraulic architecture of trees and other woody plants”, *New Phytologist*, 119: 345-360.
- Tyree M.T. and Hammel H.T. (1972), “The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique”, *Journal of Experimental Botany*, 23: 267-282.
- Van Mechelen C., Dutoit T. and Hermy M. (2014), “Mediterranean open habitat vegetation offers great potential for extensive green roof design”, *Landscape and Urban Planning*, 121: 81-91.
- Van Mechelen C., Dutoit T. and Hermy M. (2015), “Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: a review”, *Sustainable Cities and Society*, 19: 74-90.
- Venturas M.D., Sperry J.S. and Hacke U.G. (2017), “Plant xylem hydraulics: what we understand, current research, and future challenges”, *Journal of Integrative Plant Biology*, 59: 356-389.
- Vijayaraghavan K. (2016), “Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 740-752.
- Zölch T., Maderspacher J., Wamsler C. and Pauleit S. (2016), “Using green infrastructure for urban climate-proofing: an evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale”, *Urban Forestry and Urban Greening*, 20: 305-316.

Aspetti chiave per pareti vegetate sostenibili

di *Paolo Pignataro**

Abstract

Key issues for sustainable vertical greenery design

Technological greenery is called to a continuous evolution in order to become increasingly reliable and performant. In particular, including managerial sustainability among design priorities is a discriminating factor for the vertical greenery to remain in the NbS category. Green walls, although expensive in terms of construction, can perform important ecosystem services, justifying their massive use in urban areas. However, designers must be aware that the management profile of the installations is already decided in the design phase. The simplicity of balance maintenance always passes through the choice of the most performing species, the management devices and the remote management and control systems. The project must, therefore, define accurate maintenance programs, consistent with other design choices, which must be included in the realization contracts. The technologies currently used, largely derived from agricultural applications, allow monitoring of environmental conditions, use of multiple water sources, optimization of water efficiency and of plant growth conditions. The use of PLC allows the recording of data measured by sensors, the performing of statistical analysis for comparisons with other installations, as well as predictions for future projects. This means conceiving technical greenery installations as study laboratories to acquire reliable information on objective performance and provide precise data for economic planning in the public sector.

1. Premessa

Le pareti vegetate hanno esigenze gestionali specifiche e sofisticate, rispetto alla media delle altre installazioni di verde tecnico, e la loro sottovalutazione può portare a errori e improvvisazioni durante diverse fasi del

* Divomì – Design Vivo Milano.

ciclo di vita: dalla concezione alla realizzazione e alla successiva gestione. L'esperienza già consolidata dei tetti verdi, qualificata da normative a livello internazionale e nazionale (UNI 11235:2015), è di scarsa utilità per i progettisti del verde verticale, dato che le coperture orizzontali hanno poche analogie tecniche e gestionali rispetto alle coperture verticali.

La parete vegetata è una metodologia che utilizza tecniche tipiche delle produzioni, fuori-suolo da reddito, con matrici di trattenimento delle soluzioni fertirriganti. Tuttavia, le monoculture orticole fuori-suolo hanno cicli brevi, perseguono risultati economici e sono costantemente seguiti da tecnici specializzati, che massimizzano la produzione secondo precisi disciplinari.

Le pareti vegetate hanno invece obiettivi di mitigazione ambientale e orizzonti di medio-lungo periodo. Sono generalmente composte da un complesso di specie vegetali, selezionate per convivere il più a lungo possibile, con limitati tassi di sviluppo per ridurre le esigenze manutentive. Dato che la gestione è normalmente affidata a personale di formazione eterogenea, lo strato vegetale dovrebbe essere idealmente progettato come consociazione botanica ad elevato grado di autonomia, per prosperare anche in caso di assistenza discontinua e inadeguata: una composizione di specie frugali, resistenti agli stress termici e idrici, capaci di competere per lo spazio in stratigrafie estremamente compatte, con ridotti fattori di crescita.

2. Ruolo della progettazione nel determinare il profilo gestionale

Per loro stessa natura, le pareti vegetate sono giardini da visitare con gli occhi. È pertanto comprensibile che l'aspetto creativo, con disegni, colori e fioriture, tenda a catturare entusiasmo e attenzione, sia durante l'ideazione, sia in fase di realizzazione. È però essenziale ricordare che la finalità estetica, deve essere bilanciata con altri obiettivi funzionali, tra i quali il contenimento della necessità manutentiva.

Solo un decennio fa, la frequenza di manutenzione delle pareti vegetate toccava picchi che sarebbero oggi inaccettabili: per importanti installazioni, sono documentati casi limite di due interventi a settimana, mentre era normale una frequenza quindicinale o mensile. La tendenza degli ultimi anni sta invece portando le pareti vegetate da esterno verso la categoria delle NbS, come strumento che può contribuire ad attenuare la durezza delle condizioni urbane. Per completare il passaggio da curiosità estetica a strumento paesaggistico, è necessario alzare il livello di sostenibilità. Ciò è possibile solo se si ottiene uno spontaneo equilibrio nel tempo, con netta riduzione del consumo di risorse.

Il progettista ha una responsabilità fondamentale nel predeterminare il profilo gestionale dell'installazione. Sulla base delle esperienze pregresse ha il dovere di definire un capitolato dettagliato, che sia completo anche di tutti gli accorgimenti tecnici fondamentali per semplificare e rendere sicura la futura manutenzione. Un'attenzione particolare va dedicata al caso delle gare di realizzazione, a cui partecipano aziende che hanno metodologie e tassi tecnici eterogenei. I capitolati proposti anche per importanti lavori, si limitano spesso a poche righe che riportano le metrature e il nome di un prodotto di riferimento, come se la realizzazione del verde verticale fosse l'applicazione di un "sistema" garantito dalla ditta incaricata. Soprattutto in caso di gara, le richieste per gli obiettivi chiave del progetto (strutturali, impiantistici, prestazionali e manutentivi) dovranno essere vincolanti e valutati da commissioni di gara competenti. L'intensità gestionale attesa e l'efficienza nell'uso delle risorse passano infatti attraverso le scelte iniziali, che devono essere verificate per la coerenza tra loro.

A puro titolo di esempio, il progetto dovrà delineare la composizione botanica secondo gli obiettivi stabiliti. Nel caso si punti prioritariamente su una elevata affidabilità dello strato vegetativo, si dovranno selezionare specie botaniche di attestata adattabilità e longevità, sperimentate più volte in situazioni complessivamente simili: condizioni ambientali (esposizione, latitudini, altitudini, venti, peculiarità di contesto urbano, ecc.), stratigrafie con caratteristiche confrontabili (es. tipologia, quantità e stabilità della matrice di ritenzione idrica), logiche impiantistiche analoghe, che determinano la precisione distributiva dei fattori di crescita (es. capillarità di erogazione della soluzione circolante, controllo della saturazione matriciale mediante sensori). Un ampio utilizzo di queste specie, soprattutto se già provate in consociazione, sarà garanzia di stabilità dello strato vegetale e di riduzione dei costi, anche per il risparmio sul cambio piante.

Ciò naturalmente non impedisce l'inserimento di specie non ancora consolidate, o addirittura mai provate, che siano richieste per svolgere funzioni particolari: naturalistiche (biodiversità), ambientali (pulizia dell'aria, raffrescamento), scenografiche, o a fini sperimentali (piccole quantità di specie da provare). È però prevedibile che una preponderanza di queste specie aumenti la complessità e quindi l'impegno manutentivo per tenere in equilibrio il sistema. Viceversa, una dotazione impiantistica studiata per semplificare il monitoraggio della parete può contribuire significativamente alla stabilità delle prestazioni negli anni e alla riduzione dei costi di gestione.

Per fornire uno strumento intuitivo ai progettisti, ma anche agli installatori e ai manutentori, è stata messa a punto una classificazione su cinque livelli d'intensità gestionale delle pareti vegetate (Tab. 1), riportata nelle *Linee Guida per il Verde Verticale* (Pignataro and Fiori, 2023).

La tabella, verificata anche mediante confronto con importanti operatori specializzati nel verde verticale, evidenzia come le priorità degli obiettivi progettuali determinino il livello d'intensità gestionale. Se la priorità fosse la minima intensità manutentiva (livello 1-BASSA e 2-MEDIO-BASSA) si dovrebbe puntare senza compromessi su un set di specie ampiamente collaudate nelle condizioni attese (autosufficienti, coprenti, aggressive) e si dovrebbe adottare un sistema di controllo avanzato da remoto, che riduca al massimo le necessità d'intervento in loco. Nel caso invece gli obiettivi progettuali contemplino l'allargamento dell'assortimento botanico, per specifiche finalità funzionali o estetiche, si dovrà prevedere un diverso programma gestionale.

| TABELLA DI INTENSITÀ GESTIONALE | | | | | | |
|--|--|---|---|------------------------|------------------------|-----------------------|
| livelli medi di incidenza gestionale, secondo le scelte progettuali* | | | | | | |
| INTENSITÀ GESTIONALE | OBIETTIVO PRIORITARIO e caratteristiche salienti | ATTIVITÀ ANNUA (numero) | INCIDENZA % GESTIONE VERSO IL COSTO INIZIALE DELL'OPERA | | | |
| | | | 50-100 m ² | 100-200 m ² | 300-400 m ² | da 400 m ² |
| 1 BASSA | AUTONOMIA SOSTENIBILITÀ poche specie aggressive di provata resistenza, copertura stabile autonoma, alta tecnologia da remoto, centralina autocalibrante sensori/stazione meteo video-ispezione da remoto | 50 controllo da remoto (continuo su più parametri) 3 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 1 intervento in quota per contenimento | 7% | 6% | 5% | 4% |
| 2 MEDIO-BASSA | FUNZIONALITÀ PRESTAZIONE AMBIENTALE rigida scelta botanica in stile naturale, senza reintegro previsto, tecnologia da remoto con sensori ambientali | 40 controllo da remoto 4 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 2 intervento in quota | 10% | 8% | 7% | 6% |
| 3 MEDIA | ESTETICA ED EQUILIBRIO aggiunta specie particolari in misura limitata, reintegro non obbligato, tecnologia da remoto con sensori ambientali | 30 controllo da remoto 6 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 3 intervento in quota | 15% | 12% | 9% | 8% |
| 4 MEDIO-ALTA | ESTETICA ampia scelta botanica, evoluzione libera, reintegro piante minore 10%, tecnologia da remoto | 30 controllo da remoto 8 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 5 intervento in quota | 18% | 14% | 12% | 10% |
| 5 ALTA | MASSIMO IMPATTO VISIVO disegni obbligati, fioriture stagionali, reintegro piante sostenuto, manutenzione intensa, tecnologia da remoto | 30 controllo da remoto 12 controllo visivo in loco 2 efficienza impianto 8 intervento in quota | 25% | 20% | 17% | 15% |

*I dati medi di incidenza dei costi di gestione secondo gli obiettivi e la dimensione della parete, possono variare anche in funzione di difficoltà operative, quali a esempio: altezza della parete, quota dal piano di calpestio, frazionamento della superficie in diversi terrazzi o facciate, lavoro su fune, orari straordinari obbligati.

Tab. 1 – Tabella di intensità gestionale (Pignataro and Fiori, 2023)

La gestione di una parete vegetata ha una particolarità rispetto a quella di altri tipi di verde ornamentale, in quanto l'attività di monitoraggio, sia da remoto, sia mediante ispezione in loco, prevale nettamente su quella manutentiva. I pesi di queste attività possono però cambiare notevolmente, secondo il profilo di intensità gestionale del progetto.

Per le grandi pareti esterne è opportuno prevedere sistemi d'irrigazione auto-calibranti mediante sensori ambientali. Il caso più frequente utilizza sensori di umidità inseriti nella matrice (substrato naturale o sintetico), che permette d'irrigare solo quando la saturazione della matrice è giunta vicino alla soglia minima utile per le piante. Ne derivano diversi vantaggi:

- si plasmano piante più robuste e resistenti agli stress idrici;
- si evita il rischio di marciumi radicali per eccesso idrico;
- si migliora l'omogeneità in parete, limitando percolazioni verso il basso;
- si aumenta l'efficienza d'uso della risorsa idrica, in quanto la maggior parte dell'acqua immessa rimane nel sistema e viene evapotraspirata;
- si fertilizza con precisione, senza deriva della soluzione circolante;
- si contiene lo sviluppo e la necessità manutentiva.

Per massimizzare questi risultati è necessario disporre di una estesa rete distributiva, per erogare l'acqua nella maniera più capillare possibile, e depositare le gocce in una matrice che le possa trattenere. Bisogna inoltre disporre di un sistema che misuri quanto avviene nella parete. Un *Programmable Logic Controller* (PLC) verifica costantemente il livello di saturazione e attiva l'irrigazione solo se l'umidità scende sotto la soglia stagionale impostata. Un possibile approccio operativo consiste nel programmare un'irrigazione base nelle diverse stagioni, che sarà automaticamente integrata dalla PLC, in caso di necessità.

L'attività prevalente da parte del tecnico è il controllo dei dati e la correttezza delle soglie d'intervento, in funzione di parametri ambientali stagionali. Un lavoro che necessita di un rodaggio iniziale, con una prima calibrazione cautelativa e, per le pareti in esterno, la verifica delle condizioni stagionali durante un intero anno. Queste tecnologie richiedono competenza degli operatori, ma offrono maggiori garanzie di prestazioni ed efficienza. Inoltre consentono una storicizzazione automatica dei dati, che serve a elaborare statistiche sui consumi. Si tratta d'informazioni ancora poco disponibili, ma preziose per progettare meglio le future pareti verdi.

Ove possibile si potranno usare telecamere per ispezionare la parete da remoto. Non dovrà tuttavia mancare il rilievo sul posto, funzionale per la manutenzione dell'impianto, il caricamento della cisterna di fertilizzante, nonché per valutare aspetti fitosanitari o necessità di interventi in quota.

Nei casi di pareti che abbiano maggiori necessità manutentive, il controllo visivo avviene durante i frequenti interventi di potatura o di sostituzione delle piante, rendendo meno pressante la necessità di monitoraggio da remoto. In questi casi può essere conveniente ripiegare su centraline da giardinaggio, programmabili da remoto, facili da utilizzare per tutte le tipologie di operatori e dal costo sempre più accessibile perfino per piccole installazioni. Alcuni modelli prevedono anche sensori, utili per correggere la programmazione, e l'invio di allarmi in caso di mancata partenza dell'irrigazione.

3. Cura dei dettagli per controllare la prestazione nel tempo

Nella pratica corrente manca ancora la consapevolezza di quanto sia importante progettare i dettagli per prevenire problemi nel medio lungo periodo. Senza volere elencare una lunga lista di requisiti di sicurezza per le pareti vegetate, si può riportare un esempio relativo al tema precedente.

Il caso più frequente di morte improvvisa o danneggiamento dell'intera parete avviene per interruzione dell'alimentazione idrica/elettrica, o per graduale riduzione dell'efficienza impiantistica. Si registrano episodi di questo tipo, anche per grandi installazioni con migliaia di piante interessate. Ne conseguono danni economici ingenti, per la necessità di smantellamento e ricostituzione dell'intero strato vegetale. L'esperienza insegna che la maggior parte delle pareti vegetate subisce almeno un episodio di questo tipo nel corso del suo ciclo di vita, fortunatamente non sempre con esito tragico, grazie al pronto intervento dei gestori.

Per ridurre questi rischi è importante seguire alcuni accorgimenti:

- l'impiantistica di automazione e fertirrigazione dovrebbe essere indipendente dagli altri impianti e custodita in luogo accessibile esclusivamente ai tecnici autorizzati (locale tecnico o mobile con chiave), al fine di evitare manomissioni accidentali o rottura per stoccaggio di materiali a ridosso della strumentazione. Per lo stesso motivo è fondamentale disporre di una centralina che invii un allarme sullo smartphone dei tecnici, in caso di mancata partenza dell'irrigazione. A questo proposito è essenziale identificare e formare il futuro responsabile della gestione già in fase di realizzazione;
- l'impianto deve essere progettato e realizzato per rendere possibile una facile manutenzione di routine da parte di personale del settore giardinaggio. Deve essere ad esempio dotato di bocchettoni rapidi in tutti i suoi segmenti, per smontare, ispezionare, pulire e sostituire con facilità le parti usurate. La prassi operativa dimostra che, senza questi accorgimenti,

la manutenzione non può essere effettuata con opportuna frequenza dal personale delle ditte di manutenzione. Di conseguenza viene considerata come operazione straordinaria da rinviare al bisogno. Dopo alcuni anni, gran parte delle installazioni di verde verticale rischia di andare in sofferenza per intasamento di filtri, elettrovalvole, ali gocciolanti, riducendo gradualmente il flusso idrico senza che gli operatori se ne accorgano in tempo. Questa riduzione idrica può generare una reazione da parte delle specie più aggressive, in grado di superare le barriere dei punti goccia e intasare le ali gocciolanti con le radici. Ne deriva la morte di tutte le piante a valle dell'ala gocciolante. Esistono casi documentabili, in installazioni con diverse stratigrafie, riguardanti piante erbacee, come *Geranium*, *Microsorium*, *Muehlenbeckia* o grandi cespugli, come *Elaeagnus*.

4. Casi progettuali

Per esemplificare alcuni temi descritti, si propongono in estrema sintesi due progetti realizzati a 10 anni di distanza tra loro.

4.1. Centro commerciale Westfield, Londra 2010

Un esempio della dialettica tra due obiettivi difficili da conciliare, e sulle possibili conseguenze manutentive, è descritto nell'articolo "Return to Westfield" (Steed, Osborn, Landscape, Summer, 2013), riguardante due vaste pareti vegetate, con esposizione nord e sud, realizzate nel 2010 a Londra (Fig. 1). La stratigrafia originaria consiste in moduli di polipropilene 50×50 cm, dello spessore di 10 cm, interconnessi e contenenti substrato di coltivazione (circa 100 L/m^2), serviti da una fitta rete di distribuzione idrica, modulo per modulo, e un sistema di monitoraggio da remoto da parte dei tecnici.

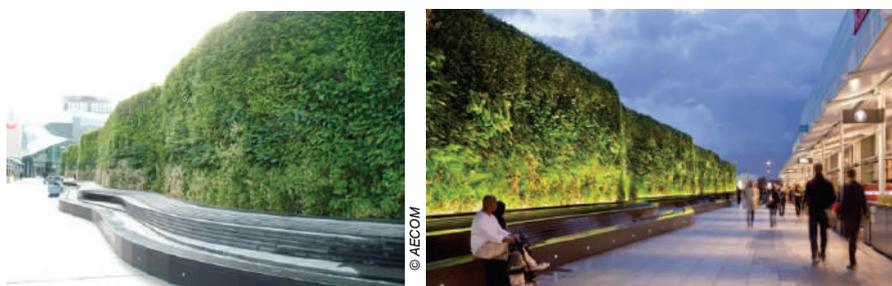


Fig. 1 – Visione diurna e notturna della parete sud, verso il centro commerciale

Questo importante progetto ha puntato con decisione sull'incremento di biodiversità, selezionando specie autoctone, con rigoroso approccio naturalistico. Tuttavia ha comprensibilmente scelto di inserire anche un set di piante ornamentali sempreverdi, per migliorare l'aspetto visivo nel corso delle stagioni. Durante tre anni di monitoraggio si è osservato che il lato nord e il lato sud hanno preso strade diverse riguardo a biodiversità e livello estetico. Il lato nord verso il centro commerciale, oggetto di manutenzioni quindicinali, ha subito una graduale rimozione delle specie autoctone, sostituite con quelle ornamentali. È stato così ottimizzato il valore estetico, molto apprezzato dai frequentatori, ma si è persa biodiversità vegetale e animale. Al contrario, il lato sud, che ha ricevuto meno attenzioni, presenta un maggiore livello di biodiversità, ma è decisamente decaduto dal punto di vista estetico, con macchie marroni e spoglie, soprattutto nei periodi freddi.

Di seguito una sintesi delle conclusioni da parte degli autori (Fig. 2) riguardo alla difficoltà di conciliare i due obiettivi.

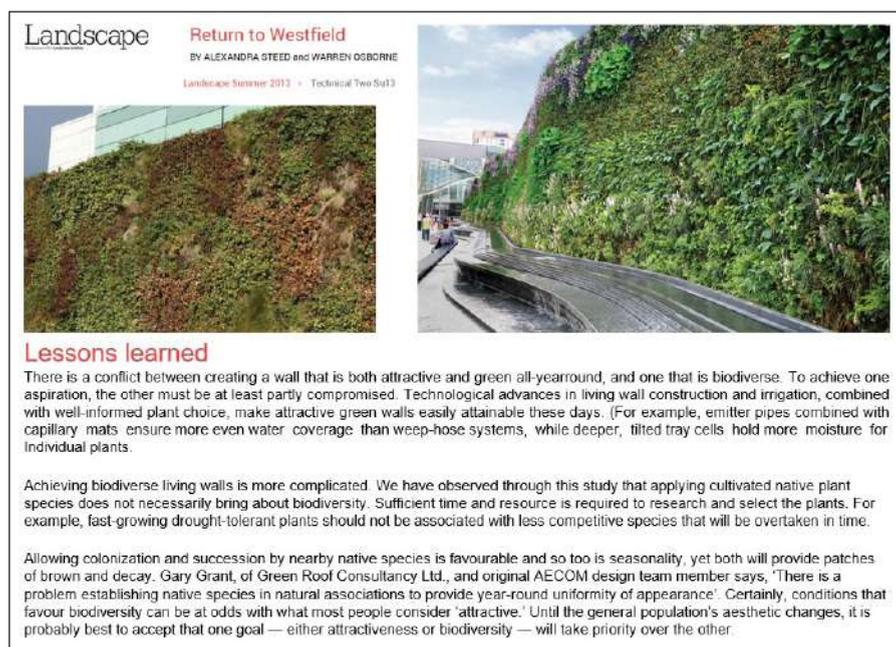


Fig. 2 – Conclusioni dei progettisti del greenwall AECOM in “Return to Westfield”

4.2. Greenwall ATM Giambellino, Milano 2022

Un caso più recente, realizzato ad aprile 2022, riguarda l'importante progetto europeo CLEVER *Cities*, nell'alveo del programma Horizon 2020. Il primo verde verticale, seguito come caso di studio dal team CLEVER *Cities* Milano e dal Politecnico di Milano, ha interessato la facciata nord degli uffici di ATM SpA in via Giambellino, lunga 75 m e alta 8 m (Fig. 3).

A causa di vincoli strutturali imposti, si è optato per una stratigrafia leggera, in strati di geotessile, senza substrato. Per gestire l'irrigazione si è utilizzata una PLC, collegata a contatore in entrata e sensori ambientali. Inoltre, per la prima volta, è stato messo a punto un contatore in uscita, al fine di determinare l'efficienza idrica e calcolare l'evapotraspirazione nel corso dell'anno.



Fig. 3 – Localizzazione della parete, fase di posa delle piante e immagine prima e dopo la realizzazione

Le scelte progettuali hanno puntato ad armonizzare tre obiettivi:

1. specializzare la parete verde nella pulizia dell'aria;
2. assicurare la sostenibilità, mediante l'uso oculato delle risorse, con profilo gestionale medio o medio-basso (cfr. Tab. 1);
3. garantire un valore ornamentale grazie alla vitalità della vegetazione, evitando però specie aliene a elevata capacità invasiva.

Data la posizione e l'orientamento della parete, si è scelta come funzione prioritaria la rimozione delle polveri sottili che costituiscono un grave problema per la città di Milano. Sono state perciò selezionate soprattutto specie accreditate dalla letteratura scientifica per la capacità di catturare il particolato (Mo *et al.*, 2015; Perini *et al.*, 2017; Perini *et al.*, 2018; Viecco *et al.*, 2018; Weerakkody *et al.*, 2017). Tra queste, è stato lasciato maggiore spazio a varietà resistenti, sempreverdi e compatte per ridurre la manutenzione e l'ingombro sul marciapiede (Fig. 4).

Hedera, *Trachelospermum*, *Lonicera* e *Polysticum* occupavano al momento dell'impianto una superficie complessiva del 60%. Tuttavia, come atteso, nel corso del primo anno la superficie coperta si è attestata intorno al 70% (Tab. 2). In particolare *Hedera helix*, scelta per la sua documentata capacità di rimuovere le frazioni più sottili e pericolose per la salute ($< 2,5 \mu\text{m}$), si è sviluppata vigorosamente ed è stata controllata quanto basta, allo scopo di mantenere un livello estetico adeguato. Sono stati sufficienti quattro interventi in quota mediante pantografo, per contenere le specie a maggiore sviluppo, in attesa dell'acclimatamento di quelle più lente. Tenendo presente l'equilibrio raggiunto è prevista una riduzione del numero d'interventi già a partire dal secondo anno.



Fig. 4 – Dettagli dello strato vegetativo della parte alta e bassa del greenwall ATM Giambellino

| SPECIE VEGETALI | VARIETA' | SUPERFICIE | | SPECIE TESTATE PMx | | |
|---|---|----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | | mq | % | % superficie iniziale | % superficie a regime | |
| 1 | <i>Aspidistra elatior</i> | - | 6 | 2% | | |
| 2 | <i>Bergenia cordifolia</i> | 'Purpurescens' | 6 | 2% | | |
| 3 | <i>Campanula poscharskyana</i> | 'Blue' | 10 | 3% | | |
| 4 | <i>Deschampsia cespitosa</i> | 'Scotland' | 8 | 2% | | |
| 5 | <i>Geranium x cantabrigiense</i> | 'Karmina' | 16 | 4% | | |
| 6 | <i>Hedera helix</i> | 'Gold Child' | 18 | 5% | 5% | 6% |
| 7 | <i>Hedera helix</i> | 'Ibernica' | 65 | 19% | 19% | 23% |
| 8 | <i>Hedera helix</i> | 'Ibernica Mini' | 17 | 5% | 5% | 6% |
| 9 | <i>Heuchera americana</i> | 'Dales Strain' | 6 | 2% | | |
| 10 | <i>Hydrangea quercifolia</i> | 'Snow Queen' | 7 | 2% | | |
| 11 | <i>Iris japonica</i> | - | 7 | 2% | | |
| 12 | <i>Juniperus communis</i> | 'Repandens' | 6 | 2% | | |
| 13 | <i>Liriope muscari</i> | 'Majestic' | 8 | 2% | | |
| 14 | <i>Liriope muscari</i> | 'Big Blue' | 7 | 2% | | |
| 15 | <i>Liriope muscari</i> | 'Evergreen Giant' | 6 | 2% | | |
| 16 | <i>Liriope muscari</i> | 'Silvery Sunproof' | 6 | 2% | | |
| 17 | <i>Lonicera ligustrina (sin. Nitida)</i> | 'Maigrun' | 67 | 19% | 19% | 20% |
| 18 | <i>Mahonia aquifolium</i> | 'Apollo' | 7 | 2% | | |
| 19 | <i>Polystichum luctuosum</i> | - | 20 | 6% | 6% | 7% |
| 20 | <i>Sarcococca humilis</i> | - | 8 | 2% | | |
| 21 | <i>Trachelospermum asiaticum</i> | angustifolium | 20 | 6% | 6% | 8% |
| 22 | <i>Taxus baccata</i> | 'Repandens' | 6 | 2% | | |
| 23 | <i>Vinca minor</i> | 'Big Blue' | 8 | 4% | | |
| 24 | <i>Waldsteinia ternata</i> | - | 7 | 2% | | |
| N° PIANTE E SUPERFICIE INIZIALE AL MOMENTO DEI 350 m | | | | 100% | 60% | 70% |

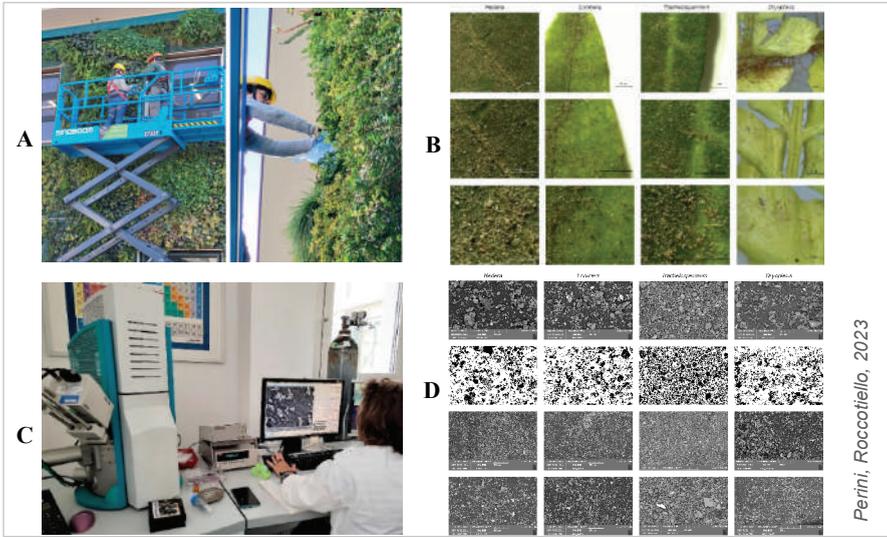
Specie del Greenwall facciata nord uffici ATM Giambellino - Fonte: Paolo Pignataro

Tab. 2 – Superficie occupata dalle specie predominanti, valutate per le capacità di cattura del PM

La parete è stata da poco (luglio 2023) oggetto di una prima valutazione da parte dell'Università di Genova, che ha effettuato il campionamento delle foglie a tre diverse quote della parete. Dopo una prima visione allo stereo-microscopio ottico, sono stati preparati i campioni per l'acquisizione delle immagini al microscopio a scansione elettronica (SEM), per il conteggio delle particelle di diversi diametri, bloccate sul lembo fogliare (Fig. 5).

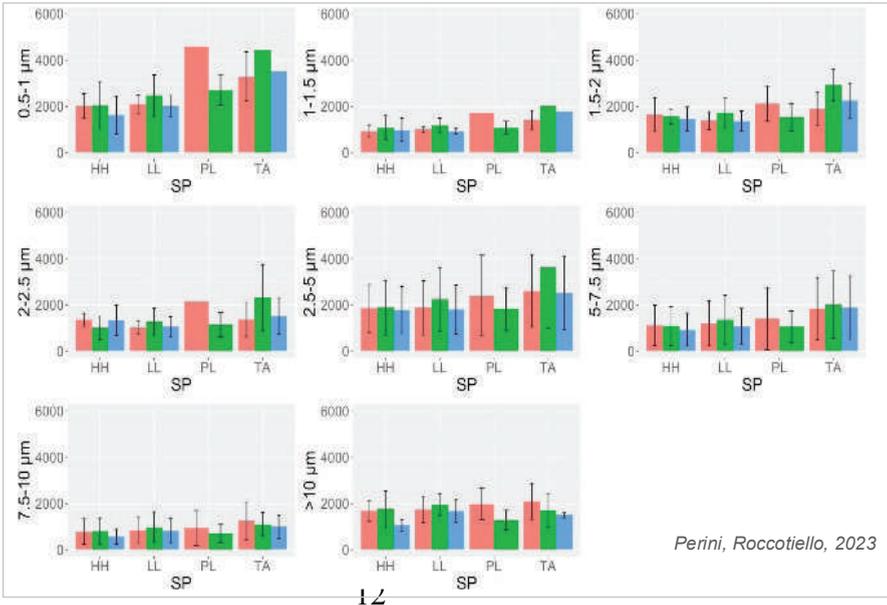
Anche senza conoscere le prestazioni nella rimozione delle polveri sottili da parte di tutte le specie, alcune delle quali certamente attive, queste prime analisi mostrano l'elevata capacità di quelle più rappresentate nel verde verticale ATM (Fig. 6).

Trachelospermum, *Polystichum* ed *Hedera* hanno andamenti simili per la cattura di particelle da PM1 a PM10, mentre *Lonicera* è più efficace nel catturare le frazioni grossolane (PM25). L'accumulo totale delle diverse frazioni di PM è arrivato fino a 20.000 particelle/mm² per *Trachelospermum* e a 15.000 per le altre varietà. Si tratta di dati complessivamente molto superiori a quelli di studi precedenti (Perini *et al.*, 2017) dove i valori arrivavano solo a 6.000 particelle/mm², probabilmente per la maggiore concentrazione di PM nel sito di campionamento di via Giambellino.



Perini, Rocciotello, 2023

Fig. 5 – A) prelievo campioni alle diverse quote; B) selezione allo stereomicroscopio ottico; C) acquisizione immagini al microscopio elettronico SEM; D) binarizzazione delle immagini per il conteggio delle diverse frazioni di PM



Perini, Rocciotello, 2023

Fig. 6 – Analisi del numero di particelle delle diverse frazioni, per le 4 specie testate: Hedera (HH), Trachelospermum (TA), Lonicera (LL), Polystichum (PL). I colori indicano le diverse quote di prelievo: rosso = 1-2 m, verde = 3-4 m, blu = 5-6 m

5. Conclusioni

Le pareti vegetate, sono di solito legate al concetto di opera spettacolare e costosa, sia in termini di realizzazione che di gestione. Tuttavia si sta affermando un approccio sempre più rigoroso per trasformare queste installazioni in strumenti utili per la mitigazione urbana, laddove non è possibile piantare alberi o rampicanti in piena terra.

Il miglioramento della tecnologia disponibile, il bagaglio di competenze ed esperienze, il confronto internazionale tra progettisti e operatori, sono fattori che hanno creato i presupposti per alzare le aspettative, per portare le pareti vegetate nella sfera NbS.

Negli ultimi anni si è compreso il vantaggio di focalizzare il verde verticale verso obiettivi specifici, in modo da ottimizzarne le prestazioni e attuare programmi di ricerca e valutazione dei risultati. In particolare le pareti verdi in esterno, sono sempre più spesso concepite come laboratori di studio delle diverse prestazioni: risparmio energetico, raffrescamento, qualità dell'aria, biodiversità, comfort acustico, riqualificazione degli spazi e perfino aspetti sociali. Le informazioni così raccolte sono preziose per aumentare ulteriormente le performance e valutare la convenienza nel realizzare pareti vegetate.

Per completare il percorso è però necessario progettare con determinazione la sostenibilità, l'uso delle risorse e l'impegno manutentivo, in funzione degli obiettivi prioritari di ogni progetto.

Riferimenti bibliografici

- Mo Li, Ma Zeyu, Xu, Yansen Sun Fengbin Lun Xiaoxiu Liu Xuhui Chen Jungang (2015), *Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing*, China.
- Perini K., Ottelé M., Giulini S., Magliocco A., Roccotiello E. (2017), "Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system", *Ecol. Eng.*, 100, 268-276. Green Interactions with Particulate Matter. Presented at the III international Plant Science Conference, In press, Roma.
- Perini K., Roccotiello E. (2018), "Vertical Greening Systems for Pollutants Reduction", *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, Edited by Gabriel Perez University of Lleida, Spain Katia Perini University of Genoa, Italy – Chapter 3.4.
- Pignataro P., Fiori M. (2023), *Linee Guida per il Verde Verticale AIVEP. Istruzioni per la progettazione, esecuzione, controllo e manutenzione delle pareti vegetate*, AIVEP-Associazione Italiana VERde Pensile, ISBN 979-12-210-3658-9.

- Steed A., Osborne W. (2013), “Return to Westfield”, *Landscape Journal Summer*, Landscape Institute.
- Viecco M., Vera S., Jorquera H., Bustamante W., Gironás J. (2018), *Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates*.
- Weerakkody U., Dover J.W, Mitchell P., Reiling K. (2017), *Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station*.

Il piano di gestione del patrimonio arboreo. Far vivere gli alberi per far vivere la città

di *Ciro Degl'Innocenti**

Abstract

The tree heritage management. Let the trees live to let the city live

Da una corretta gestione della vegetazione arborea si generano conseguenze cruciali per il governo delle città, per questo dobbiamo dotarci di un piano fondato sul censimento e sulla programmazione.

Il piano dovrà essere sviluppato in un arco temporale di venti anni, definendo, criteri, scopi e obiettivi, fornendo al contempo indirizzi per riprogettare gli spazi urbani in funzione della copertura arborea e della massimizzazione dei benefici ecosistemici.

La stesura del piano dovrà trasformare l'approccio del gestore orientandolo verso l'applicazione di un metodo predittivo che analizzi i processi, le metodologie operative, le tecniche e i sistemi per identificare precocemente le criticità e attuare tempestivamente le soluzioni.

I recenti progressi scientifici consentono di rilevare le alberature con sistemi LiDAR mobili ad alta definizione che producono un flusso d'informazioni oggettive e ripetibili che generano modelli digitali attivi dei singoli alberi. Questa tecnologia, da pochi mesi offerta sul mercato, rivoluzionerà il modo di studiare gli alberi, la disponibilità di un modello digitale, la possibilità di analizzare e confrontare dati effettivi e l'automazione del rilievo dei dati biometrici, supporterà l'attività di controllo e soprattutto fornirà una base reale per la quantificazione dei benefici ambientali prodotti dall'albero.

L'attività e l'applicazione di pianificazione permettono al gestore di trasformare la sua attività, il piano individua le necessità, supporta e motiva le richieste di risorse, definisce procedure, stabilisce frequenze, modalità e qualità degli interventi, determina le priorità e la programmazione, ma soprattutto trasforma il modo di pensare del responsabile della gestione, che da specialista dell'albero assume una connotazione manageriale.

* Comune di Padova.

1. Premessa

All'interno del sistema dei giardini la cura e la manutenzione svolgono un ruolo fondamentale nella conservazione delle risorse ambientali e nella perpetuazione del patrimonio, la corretta attuazione di queste pratiche è in netta contrapposizione con l'attuale modello dello spreco di risorse. Rendere operativa una prassi che favorisca la cura e la conservazione come pratica costante consentirebbe di ridurre i costi aumentando la fruibilità e la qualità estetica delle aree, minimizzando per di più l'impronta ambientale delle operazioni.

Da una corretta gestione della vegetazione discendono conseguenze cruciali per il governo delle città, l'attrattività di un territorio, la qualità dell'aria, l'attenuazione dell'isola di calore, la biodiversità, la disponibilità dei luoghi di socializzazione, il benessere e la bellezza, solo per citarne alcune. Sono concrete evidenze dei benefici forniti alla comunità dalla vegetazione e solo oggi iniziano ad essere percepiti come aspetti essenziali per la qualità della vita.

Per comprendere e definire il tema della gestione è necessario avere la consapevolezza del nuovo orizzonte che si sta palesando, adattarsi rapidamente ai cambiamenti e soprattutto mutare il consueto approccio legato alla realizzazione dei manufatti urbani.

Dovremmo immaginare una nuova città ridisegnata in funzione delle nuove modalità di spostamento e, al contempo, soprattutto sforzarci di comprendere la necessità di sviluppare il centro urbano nella sua forma "minerale" insieme alle entità viventi che esso ospita. Una realtà pensata e costruita in funzione della vita del genere umano e soprattutto dell'esistenza delle piante e di tutti gli altri esseri viventi che la città ospita, siano piccoli mammiferi, insetti, uccelli oppure microrganismi.

Le varie forme di vita, i vegetali e soprattutto gli alberi sono legati alla vita e all'uomo, sono strumento necessario per migliorare l'ambiente non solo dal punto di vista di condizioni critiche come la temperatura, la qualità dell'aria, la sicurezza idraulica ma anche per la salute e il benessere di tutti i viventi. Progressivamente dovremmo abbandonare la nostra visione antropocentrica: se vogliamo le piante in città, dobbiamo essere dalla parte delle piante stesse.

Oramai è imperativo comprendere che il progetto è uno strumento limitato e scarsamente utile se non viene concepito in termini di processo. In un processo che interessa entità vive come le piante e gli alberi, dobbiamo principiare il nostro ragionamento dall'esigenza della forma di vita vegetale, dovremmo applicare una sorta d'inversione procedimentale progettuale. Non prendere avvio dalla conformazione, dalla funzione, dall'esigenza dell'umano, ma a priori considerare il tipo di associazione vegetale che vogliamo uti-

lizzare, quale sarà lo sviluppo delle singole specie, quali le loro esigenze di spazio, di qualità di suolo, di esposizione di temperatura e molto altro.

Potremmo sintetizzare in poche parole “Far vivere le piante per far vivere la città”, ideare una città a misura delle piante, presuppone che il mondo vegetale nel tessuto urbano debba essere curato con pratiche che armonizzino la vita vegetale con le funzioni del centro abitato. Il progetto/processo non dovrà tenere conto semplicemente della presenza del vegetale, ma prendere avvio dalle sue esigenze e dai processi di cura che devono essere somministrati alle piante per conservarne la vita e la funzionalità in un determinato ambiente fisico. Il nuovo approccio nella realizzazione delle opere, a mio avviso, dovrebbe procedere a ritroso dalla cura, per passare alla gestione, arrivando al progetto per giungere infine alla pianificazione in un processo ciclico.

2. Obiettivi

Il patrimonio naturale urbano è un elemento decisivo per migliorare la qualità della vita in città, il patrimonio arboreo ne rappresenta la parte più importante, quella che maggiormente contribuisce a produrre benefici per tutte le forme di vita.

Per gestire in modo corretto gli alberi dobbiamo dotarci di un piano di gestione che si fondi sul censimento, su interventi di controllo e sulla metodica programmazione della cura e del rinnovo, questo per orientare il governo del popolamento arboreo in funzione della massimizzazione dei servizi ecosistemici.

Per assicurare la conservazione, l'ampliamento, l'uso in sicurezza e il costante flusso di benefici è necessario attuare la gestione sviluppando un disegno complessivo che si dispieghi attraverso piani e programmi di intervento.

Il piano dovrà essere sviluppato in un arco temporale minimo di venti anni, ponendo attenzione nel definire la visione strategica, i criteri, gli scopi e gli obiettivi, fornendo al contempo indirizzi per riprogettare gli spazi urbani in funzione della massimizzazione della copertura arborea del territorio.

Il piano pluriennale per le alberature dovrebbe tracciare l'azione del gestore orientandola alla conservazione del patrimonio in base ai seguenti obiettivi generali:

1. indirizzare conformazione e struttura del popolamento arboreo;
2. ottenere il massimo dei benefici ambientali, economici e sociali;
3. ottenere un popolamento biodiverso, in buone condizioni e sicuro attraverso pratiche gestionali efficienti con ridotta impronta ambientale;

4. ottenere un popolamento resiliente che contribuisca alla mitigazione degli effetti negativi del cambiamento climatico;
5. perseguire la coesistenza tra gli interessi dei cittadini e gli alberi favorendo la conoscenza e la percezione del valore degli alberi da parte della comunità.

Il piano dovrebbe necessariamente definire gli obiettivi generali con specifici risultati da raggiungere, come per esempio:

- a) incrementare la copertura arborea;
- b) garantire che almeno il 20% delle specie siano adatte al cambiamento climatico;
- c) incrementare la biodiversità del patrimonio arboreo;
- d) fornire alla popolazione le informazioni riguardanti le caratteristiche e i servizi ecosistemici degli alberi di ogni area della città, mediante l'utilizzo di tecnologie che aiutino la diffusione delle informazioni e la collaborazione dei cittadini.

La Fig. 1 riporta il diagramma di flusso che illustra la concatenazione logica delle varie operazioni che compongono del piano di gestione del patrimonio arboreo, così come esposto nella trattazione.

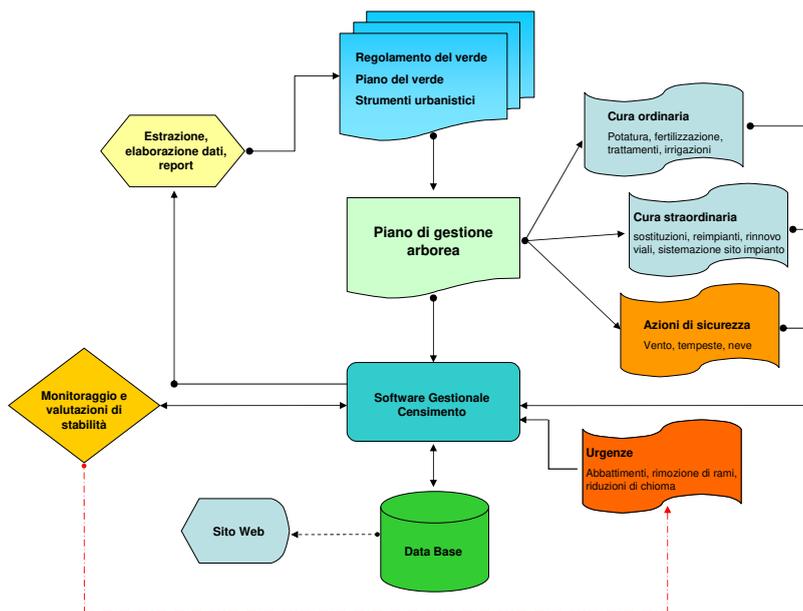


Fig. 1 – Concatenazione logica del piano di gestione del patrimonio arboreo. Elaborazione: *Ciro Degl'Innocenti*

3. Sicurezza e monitoraggio del patrimonio arboreo

Il piano dovrà considerare la sicurezza del patrimonio arboreo come un requisito essenziale per la tutela dell'incolumità della cittadinanza, per questo il documento dovrà definire il programma di monitoraggio dei fattori di rischio e le norme operative finalizzate a ridurre al minimo la probabilità che un danno possa verificarsi. Per prevenire criticità causate dalla caduta di alberi o di parti di essi è necessario riconoscere precocemente le situazioni di pericolo in modo da poter intervenire tempestivamente; per questo il piano deve stabilire e organizzare il controllo degli alberi, secondo procedure definite.

Il programma di monitoraggio dovrà essere attuato per mezzo di procedure per la valutazione di stabilità codificate e accettate dalla comunità degli arboricoltori. L'esame visivo, in relazione alla complessità della diagnosi, potrà comprendere approfondimenti eseguiti mediante attrezzature e strumenti specifici (indagine in altezza, analisi con dendrodensimetro, analisi tomografiche, ecc.).

Allo scopo di avere una banca dati sempre più aggiornata e precisa, il piano dovrà prevedere oltre alle attività di monitoraggio delle condizioni fitostatiche, le specifiche attività di aggiornamento del censimento, disciplinando la raccolta e l'archiviazione delle varie informazioni per aggiornare il database, con il fine di conseguire un quadro chiaro per ogni singolo soggetto arboreo.

In conseguenza dell'accertamento, per un determinato albero, di una criticità che comprometta la sicurezza, il piano descriverà le modalità e tempi d'intervento per l'attuazione degli opportuni interventi correttivi. Tali interventi potranno essere graduati da una semplice riduzione della chioma, alla soppressione di una o più branche, fino ad arrivare, in ultima istanza, all'abbattimento del soggetto.

Gli ulteriori elementi contenuti nel piano sono la programmazione e la definizione delle modalità di esecuzione degli interventi di cura definiti come l'insieme delle azioni cicliche e programmate finalizzate a garantire la conservazione degli alberi. Nella successiva tabella sono elencati i principali interventi operativi.

In linea generale, un albero messo a dimora e cresciuto in modo corretto, che non presenti difetti o alterazioni, non necessita di potatura ad eccezione degli interventi di formazione, della rimonda del secco, della rimozione delle parti di chioma alterate da attacchi parassitari o da danni meccanici o meteorici, che possono pregiudicare la salute della pianta o la sua stabilità. L'obiettivo fondamentale della potatura – che deve essere definito e riportato nel piano – è di mantenere piante sane, con il massimo

| Id | Operazioni |
|-----------|---|
| 1 | Verifiche e sopralluoghi |
| 2 | Verifiche di stabilità e aggiornamento del censimento |
| 3 | Potature e abbattimenti urgenti |
| 4 | Potature di allevamento |
| 5 | Irrigazioni e fertilizzazione nei giovani soggetti arborei |
| 6 | Controllo e manutenzione del sistema di tutoraggio nei giovani soggetti arborei |
| 7 | Controllo e manutenzione della pacciamatura e del sito d'impianto |
| 8 | Controllo e manutenzione dei sistemi di protezione nei giovani soggetti arborei |
| 9 | Potature periodiche (rimonda, correzione, contenimento, ecc.) |
| 10 | Spollonature |
| 11 | Trattamenti fitosanitari |

Tab. 1 – Tabella con le principali operazioni di cura e manutenzione

sviluppo possibile della chioma in modo da fruire appieno dei benefici effetti ambientali erogati dall'albero. In linea generale, gli interventi di potatura dovranno privilegiare i concetti, metodi e tecniche descritti nel vigente Standard europeo di potatura degli alberi (European Arboricultural Standards, 2021), tradotto in lingua italiana a cura della Società Italiana d'Arboricoltura.

4. Programma di sostituzione, rinnovo e incremento

L'ambiente urbano per soggetti arborei è un habitat artificiale in cui le piante sono sottoposte a continui stress che abbreviano il ciclo naturale di nascita, crescita, invecchiamento e morte. Il solo modo per preservare e conservare nel tempo il patrimonio arboreo e quello di programmare un ricambio graduale e continuo, per questo il piano deve necessariamente contenere e definire un programma di sostituzione, rinnovo e incremento.

Il programma di sostituzione, rinnovo e incremento della foresta urbana consiste in un insieme di scelte organizzate nel tempo volte alla conservazione del patrimonio e al raggiungimento degli obiettivi indicati dal piano di gestione. La definizione delle opzioni dovrà tenere conto di numerosi fattori legati all'albero, quali l'adattabilità al clima, la biologia, lo sviluppo, il comportamento della parte aerea e delle radici, le relazioni con gli altri elementi biotici e abiotici dell'ambiente urbano.

La programmazione e l'entità degli interventi potrà essere ricavata attraverso l'analisi comparativa delle condizioni, dei dati biometrici, della consistenza numerica e delle condizioni stagionali degli alberi. La pianificazione del turnover, una volta stabilizzato il popolamento arboreo, dovrebbe condurre mediamente a mettere a dimora un numero di alberi variabile dal 1,5 al 2% dell'intera consistenza arborea ogni anno. La programmazione pluriennale degli interventi per la sostituzione, il rinnovo delle alberature della città dovrà privilegiare le aree del territorio urbano che presentano rischiosità elevata, caratteristica generalmente determinata dalla concomitanza di alberi vetusti connotati da criticità fitostatiche e da aree con alti tassi di permanenza di cose o persone nelle zone di probabile cedimento degli alberi.

Un altro aspetto critico legato al rinnovo, che deve essere necessariamente trattato dal piano, è rappresentato dalle modalità con cui si opera la sostituzione delle alberate stradali. La sostituzione di singoli alberi appartenenti a filari stradali è un'operazione semplice, il cui costo iniziale può apparire basso, ma, purtroppo, la sostituzione dei singoli elementi di un filare innesca dinamiche che sul medio periodo accrescono i costi e incrementano una spirale d'incuria. Gli alberi che compongono un viale devono essere considerati come un corpo unico e come tale devono essere trattati. Intervenire in modo non unitario, con esclusivo riferimento al naturale decadimento di singoli individui, è una prassi gestionale poco rigorosa, che produce nel tempo un risultato esteticamente scarso e il più delle volte inadeguato a preservare o ricostituire la configurazione progettuale originaria. Per di più, intervenire per singoli siti rende difficoltosa la cura degli alberi e incrementa i costi. Gli alberi di nuovo impianto, sottoposti alle chiome di quelli più vecchi, non forniscono accrescimenti rilevanti e si sviluppano con scarso vigore tendendo ad allungarsi e formare chiome asimmetriche e filiformi. Oltre a ciò, molto spesso, al momento del taglio delle piante giunte a fine turno, possono verificarsi danni sui nuovi impianti.

Il piano dovrà quindi tracciare le regole generali e i criteri guida su cui sviluppare i progetti di sostituzione e incremento del patrimonio arboreo, soprattutto prescrivere azioni che garantiscano l'accrescimento ottimale degli apparati radicali, mediante la preparazione della sede d'impianto prescrivendo lo scasso del terreno, l'ammendamento o la sostituzione completa del suolo escavato, ove possibile lo spostamento di eventuali sottoservizi, la realizzazione dell'impianto irrigazione a goccia e la pacciatura. Per gli alberi stradali dovrà essere previsto l'allestimento e la delimitazione dell'aiuola con cordonati o altri manufatti, in funzione della tipologia di viabilità e delle pavimentazioni contermini al sito d'impianto. Per i nuovi soggetti arborei dovranno inoltre essere indicati gli apprestamenti di prote-

zione del colletto e in ambito stradale dovranno essere stabiliti i dispositivi (pali, archi, delimitazioni, ecc.) atti alla difesa del fusto dall'urto accidentale degli autoveicoli.

Una causa consistente di spreco delle risorse pubbliche è la morte dei giovani soggetti arborei nei primi anni dopo la messa a dimora: per prevenire tale accadimento il piano dovrà prescrivere l'obbligatorietà delle cure per i tre anni successivi all'impianto, al fine di assicurare l'attecchimento e il corretto sviluppo de giovane albero.

5. Scelta delle specie

Un altro aspetto cruciale a cui il piano deve dare risposta è quali specie utilizzare per procedere alla sostituzione e ai nuovi impianti di alberi. La selezione delle specie dovrebbe basarsi su caratteristiche quali: grande stabilità strutturale, bassi costi di gestione, ridotti conflitti con infrastrutture e pavimentazioni, rusticità, resistenza ai fattori di stress biotico e abiotico, adattabilità al mutamento climatico e quantità di benefici ecosistemici prodotti.

La selezione del materiale vegetale è sicuramente uno dei punti focali per la pianificazione delle città verdi e per la qualificazione del patrimonio arboreo. Il processo decisionale per la selezione delle specie da impiegare in ambito urbano dovrà basarsi su una sintesi equilibrata tra fattori agronomici, sociali, economici e vincoli di natura ambientale e colturale.

La diversità delle specie è un'ulteriore aspetto per attuare le strategie di resistenza e miglioramento a lungo termine del popolamento arboreo, infatti la propagazione di parassiti o patogeni di provenienza esotica e l'incremento degli eventi atmosferici estremi mettono a rischio l'esistenza dei patrimoni arborei caratterizzati da scarsa biodiversità. Uno dei fattori principali che contribuiscono a rendere resiliente il patrimonio arboreo urbano è la differenziazione delle specie e conseguentemente la diversità biologica della popolazione arborea.

In attesa di specifiche indicazioni basate su evidenze scientifiche per la scelta delle specie, il piano dovrà fondarsi su delle indicazioni emerse dalla pratica operativa locale e dall'analisi del censimento e dovrà riportare una serie di criteri da utilizzare per la scelta, in via del tutto generale potranno elencati i seguenti criteri, da declinare secondo ogni realtà locale:

- limitare un genere/specie sotto il 20% della consistenza complessiva;
- utilizzare cultivar diverse per ognuna delle specie più utilizzate;
- differenziare le specie "alternative";

- tenere in conto i potenziali parassiti delle specie;
- incrementare le specie tolleranti l'aridità;
- prediligere specie riprodotte da seme;
- incrementare la biodiversità;
- organizzare prove, anche con accordi con istituti di ricerca e altre municipalità, per definire le specie più idonee alle alberature stradali.

6. Approccio/metodologia del piano di gestione

Il piano di gestione del patrimonio arboreo dovrà essere elaborato con un metodo che superi l'antiquata consolidata modalità reattiva (che di prassi risponde a eventi che sono già avvenuti, per volgere l'operato del gestore, come obiettivo di minimo) all'applicazione di una prassi operativa proattiva, in modo che agisca con azioni attuate nel tempo presente, attraverso un processo focalizzato sull'analisi del popolamento finalizzato alla programmazione e alla pianificazione degli interventi.

La stesura del piano dovrà sforzarsi di raggiungere un obiettivo più ambizioso, trasformare l'approccio del gestore indirizzandolo all'applicazione di un metodo predittivo che analizzi i processi, le metodologie operative, le tecniche, i sistemi e l'ambiente per identificare precocemente i problemi e attuare tempestivamente le soluzioni e gli atti operativi basandosi su dati reali.

Attraverso l'esame del popolamento arboreo si dovranno stabilire le priorità per eseguire i controlli, gli interventi correttivi urgenti, la cura ordinaria e il rinnovo dell'intero patrimonio. In sintesi, per elaborare un documento dovremmo applicare un metodo che fornisca risposte ai seguenti quesiti (Miller, 1989):

Conosciamo il nostro patrimonio arboreo?

Gestiamo le informazioni in nostro possesso?

Che cosa abbiamo?

Che cosa vogliamo?

Come possiamo raggiungere quello che vogliamo?

Stiamo ottenendo quello che vogliamo?

7. Elementi di innovazione

Il monitoraggio periodico delle condizioni di stabilità delle piante rappresenta l'aspetto cruciale per ottimizzare le pratiche la gestione del patrimonio arboreo. In considerazione dei continui cambiamenti e al turnover

a cui è soggetta la “foresta urbana”, è necessario individuare con costanza le condizioni di stabilità e aggiornate i dati delle alberature che crescono, muoiono o vengono messe a dimora in aggiunta o in sostituzione degli alberi morti e abbattuti.

Per qualificare e perseguire l'efficacia del monitoraggio è di fondamentale importanza adottare tecnologie che consentano al gestore di quantificare con precisione l'impatto ecologico ed economico degli alberi a un livello di dettaglio più spinto possibile. La gestione attraverso il preciso rilievo dell'entità vegetale migliora l'efficienza e l'efficacia delle risorse impiegate e permette di creare una base dati che permette di ricavare evidenze su cui basare programmazione, monitoraggio, azioni correttive e cura.

I recenti progressi scientifici e la riduzione dei costi per l'applicazione delle tecnologie avanzate consentono di utilizzare per il rilievo delle alberature sistemi basati su LiDAR mobili ad alta definizione, che offrono le più avanzate capacità di riprese tridimensionali e una precisione di rilevamento di livello topografico, misurando l'oggetto “albero” con frequenze maggiori di 3 milioni di volte al secondo supportando la produzione di rilievi con informazioni ridondanti, oggettive e ripetibili. Le informazioni rilevate forniscono la possibilità di generare modelli digitali attivi (gemelli digitali) dei singoli alberi. L'estrazione e l'elaborazione dei dati prodotti dal rilievo potrà essere trattata con l'impiego di piattaforme di intelligenza artificiale, che separano il rilievo di ogni albero dall'ambiente circostante, suddividendo le parti legnose dalla chioma estraggono in modo automatico i principali dati biometrici dell'albero.

Questa nuova tipologia di rilievo, supportata dall'intervento dell'analisi dei dati con piattaforme di intelligenza artificiale renderà possibile con ricorrenti misurazioni oggettive di apprezzare e quantificare i cambiamenti, alla massima risoluzione possibile, per il volume della chioma, il diametro del tronco e le principali informazioni relative alla sicurezza, permettendo al gestore di comprendere nel dettaglio le dinamiche di crescita del singolo elemento della foresta urbana.

Questa tecnologia, che da pochi mesi si è affacciata sul mercato, rivoluzionerà a breve il contesto della pratica professionale dell'arboricoltore trasformando radicalmente il modo di studiare e valutare gli alberi. La disponibilità di un modello digitale, la possibilità di analizzare e confrontare dati oggettivi rilevati con precisione millimetrica, l'automazione dell'aggiornamento dei dati biometrici dell'albero, supporterà l'attività critica di controllo delle condizioni fitostatiche e soprattutto fornirà una base oggettiva per la quantificazione dei benefici ambientali prodotti dall'albero.

8. Controllo del processo gestionale

Il piano dovrà necessariamente prevedere l'azione di controllo e l'eventuale revisione del processo gestionale che dovrà basarsi su un sistema di retroazione (feedback) che utilizzi indicatori per evidenziare tendenze specifiche del popolamento arboreo oggetto della gestione. Nel linguaggio tecnico, la retroazione o retro-regolazione è il processo per cui il risultato della gestione si riflette sul sistema stesso per correggere o modificare il comportamento del gestore e le caratteristiche del sistema stesso.

Il controllo attraverso la retroazione è necessario per ottimizzare il processo rendendolo più efficace nel raggiungimento degli obiettivi e più efficiente nell'impiego delle risorse assegnate. Per questo è di fondamentale importanza che il piano di gestione contenga una specifica sezione che definisca il processo di monitoraggio e gli indicatori che, qualora non restituiscano il risultato atteso, dovranno condurre a una retroazione sul processo per allinearlo a ciò che vorremmo ottenere da esso.

Un sistema di gestione basato su un ciclo di feedback consente alla struttura tecnica di sviluppare una "cultura" in cui l'apprendimento, la crescita e il cambiamento sono una parte centrale della prassi operativa dei tecnici che strutturano e basano scelte e decisioni su dati oggettivi e non su supposizioni o intuizioni.

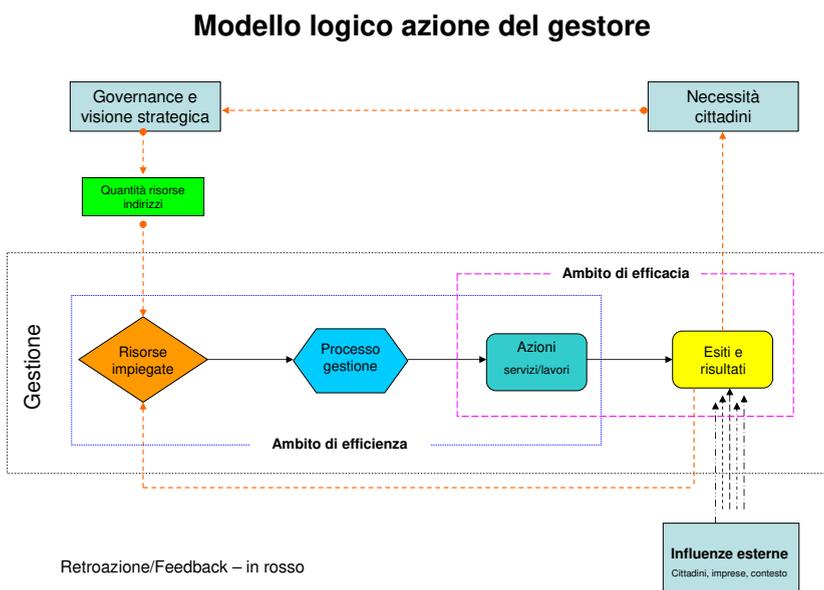


Fig. 2 – Modello logico delle azioni del gestore

La complessità dei popolamenti arborei urbani generata dalla dispersione territoriale, dalla frammentazione, dalla diversità delle condizioni stazionali, dalla disetaneità, dalla differenziazione della composizione specifica e soprattutto dall'entità numerica rende meno evidente la causa-effetto delle azioni e produce difficoltà oggettive nel rilevare precocemente le dinamiche naturali o indotte dalla gestione. Identificare in tempo le tendenze, gli effetti positivi o gli esiti negativi di alcune pratiche deve essere l'obiettivo primario del controllo di gestione.

9. Limiti rispetto allo stato dell'arte

Il piano di gestione è uno strumento dinamico che si alimenta di dati e che deve essere aggiornato e attualizzato in corso d'opera. Gli interventi definiti dal piano sono il frutto dello studio e della raccolta dei dati che analizzano in modo organico e razionale le numerose attività di competenza di gruppo che si dedica quotidianamente alla cura del patrimonio arboreo. Il team che mette in atto la gestione è anche esso un sistema complesso soggetto a dinamiche e mutamenti.

Per chiarire la situazione in cui si attueranno gli interventi che interessano i patrimoni arborei delle nostre città è necessario affermare con forza che le strutture gestionali delle amministrazioni locali, salvo rari casi, sono stremate; per anni sono state costrette ad applicare tagli ripetuti alle risorse destinate alla manutenzione e alla cura del verde e degli alberi. Sul fronte delle risorse umane la questione è ancor più critica, nelle ultime due decadi è stato bloccato il turn over del personale, oramai gli uffici che gestiscono le infrastrutture verdi, nei casi migliori, sono composti da pochi tecnici e sparuti gruppi di operatori, tutti di età prossima al pensionamento. Purtroppo in molti casi le strutture tecniche deputate alla gestione del verde sono state smembrate perdendo la loro individualità, i tecnici sono spesso stati aggregati agli uffici che gestiscono lavori edili e infrastrutturali. Inoltre è necessario ribadire il concetto che il personale esperto nella gestione del verde pubblico non si trova sul mercato, sono necessari anni di esperienze e una formazione continua per formare figure specializzate, questa probabilmente è la criticità più grave.

10. Conclusioni

L'attività e l'applicazione di pianificazione permettono al gestore di trasformare la sua attività rendendola più efficace, il piano individua le necessità, supporta e motiva le richieste di risorse, definisce procedure,

stabilisce le modalità e la qualità degli interventi, determina le priorità e la programmazione, ma soprattutto trasforma il modo di pensare del responsabile della gestione che da specialista dell'albero assume una connotazione manageriale, per cui i risultati, in un contesto di relativa normalità, sono la conseguenza delle azioni stabilite in funzione di una strategia e dei suoi obiettivi.

Ma vi è di più, è necessario ampliare la visuale del gestore, la trasformazione del paradigma energetico in corso, quando arriverà al suo massimo dispiegamento, condurrà a una profonda trasformazione della configurazione delle nostre città, cambieranno le strade, i parcheggi, gli accessi. La diffusione dell'uso rispetto al possesso (i primi segnali li osserviamo già evidenti con l'uso dei monopattini e bici elettriche), le nuove forme del lavoro, le nuove abitudini renderanno disponibili spazi per le piante, per la socialità e per la mobilità pedonale. Siamo agli albori di una grande trasformazione in cui l'albero avrà una parte rilevante.

Nel prossimo futuro il flusso dei servizi generati dagli alberi saranno giudicati di vitale importanza per i cittadini, la foresta urbana sarà considerata un irrinunciabile apparato di protezione e di supporto vitale per tutti i viventi, conseguentemente ogni albero tornerà ad assumere un valore inestimabile per le comunità, come forse era ai primordi della nostra civiltà.

Riferimenti bibliografici

- Aa.Vv. (2017), *Linee guida per la gestione del verde urbano, e prime indicazioni per una pianificazione sostenibile*, Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, Comitato per lo Sviluppo del Verde Pubblico, Roma 03.07.2017.
- Aa.Vv. (2018), *Strategia nazionale del verde urbano "Foreste urbane resilienti ed eterogenee per la salute e il benessere dei cittadini"*, Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, Comitato per lo Sviluppo del Verde Pubblico, 142 pp.
- Aa.Vv. (2019), *Piano di gestione delle alberature della città di Padova*, Comune di Padova, Padova.
- Aa.Vv. (2021), *Tree Pruning Standard*, European Arboricultural Standard, 45 pp.
- Bellocci P., *Piano di gestione arborea 2018*, Ufficio ambiente e verde – gestione verde pubblico, Comune di Scandicci.
- Ferrini F., Konijnedijk C., van de Bosch C., Fini A. (2017), *Routledge Handbook of Urban Forestry*, Routledge International Handbooks, 574 pp.
- Harris H., Clark R.J., Matheny P. (2004), *Arboriculture*, Prentice Hall, 580 pp.
- Miller R.W., Hauer R.J., Werner Les P. (2015), *Urban Forestry*, Waveland Press inc. 560 pp.

- Miller W.R. (1988), *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces*, Prentice Hall, 432 pp.
- Odone P. (1992), *Verde Urbano*, La Nuova Italia Scientifica, 273 pp.
- Semenzato P. (2003), *Un piano per il verde*, Signumpadova, 230 pp.

Piante mediterranee: una scelta “nature-based solution” per il verde urbano

di *Leonardo Capitano**

Abstract

Mediterranean plants: a “nature-based solution” choice for urban green

The quality of urban environments is, unfortunately, at risk; therefore, it requires sustainable urban development and regeneration in order to guarantee citizens comfortable conditions of health and well-being.

Nature based solutions for sustainable urbanization mainly rely on the design, maintenance and/or redevelopment of natural areas within the urban environment; however, it is necessary to go carefully through a varietal choice, so that the benefits and results can be appreciated.

Making a garden or an urban green area is always a complex operation that requires creative flair, technical skills, but, above all, a considerable amount of perseverance, aware that we are dealing with living forms that need periodic care. The choice of Mediterranean plants, without renouncing shapes, colors and scents, allows us to significantly reduce, indeed almost cancel, our intervention in the garden, in an age in which we all have a “thirst” for free time and (finally!) particular responsiveness to our planet. The choice of species is therefore very important: it is necessary to select the endemic ones of the place, the succulent ones or in any case all those with water reserve organs including rhizomes and bulbs. In fact, the use of genetically endowed Mediterranean essences with extreme resistance to drought conditions in summer allows us to economize the water, so precious, and, respecting the environment, to create gardens with low water requirements. Rosemary, cistus, phillyrea, lavender, helichrysum, teucrium plants, just to name a few, if skillfully mixed and matched, as well as satisfying the aesthetic and chromatic sense with shapes and shades of color, they will be able to give us a green area to live at zero environmental impact for sure.

* Presidente AIPH, International Association of Horticultural Producers.

1. Raccomandazioni per l'impianto delle specie vegetali mediterranee resistenti alla siccità

Degna di nota è la tolleranza di queste specie alla salinità delle regioni di confine tra *habitat* terrestre e marino, che ne consente un ricco utilizzo in aree in cui difficilmente attecchirebbe altro.

Anche il periodo di impianto è importantissimo: durante la stagione estiva è necessario preparare l'area e le capienti buche arricchendo il fondo con sostanza organica (torba, letame, erbe, foglie), dissodare il terreno dove saranno collocate le piante e aspettare la prima pioggia autunnale che bagni almeno 40-50 cm di terra. Dopo qualche giorno è possibile effettuare l'impianto. Successivamente bisogna evitare lo sviluppo di erbe attorno alla pianta o tra la pacciamatura in quanto queste concorrono all'assorbimento di acqua utile alla pianta messa a dimora.

Per la fase di impianto è utile seguire le seguenti raccomandazioni:

- scegliere essenze non troppo tenere e acquose ma ben lignificate e rigorosamente in contenitore di adeguata profondità;
- usare piante di uno o due anni interrando l'apparato radicale della profondità quasi pari all'altezza del vaso;
- creare intorno alla pianta una conca o una pendenza di raccolta capace di convogliare verso la pianta anche l'acqua di brevi precipitazioni;
- usare una pacciamatura con raggio di circa 60-80 cm intorno alla pianta;
- effettuare lavorazioni superficiali ogni mese senza pioggia (sarchiatura).

Un'altra operazione da compiere in fase di impianto consiste nella potatura della chioma, se possibile; anche una parziale defogliazione della pianta è ben accetta; asportando il 60-70% delle foglie presenti si riduce la traspirazione. Questa procedura può essere ripetuta anche durante l'estate se si attraversano periodi particolarmente secchi e critici per la sopravvivenza delle essenze piantumate. Il periodo più critico è il superamento della prima estate, se qualche pianta non resiste al clima è opportuno sostituirla al verificarsi delle prime piogge autunnali ripetendo le fasi già descritte. A volte una pioggia estiva facilita tutto, tuttavia, con la parziale defogliazione le piante diverranno rigogliose, forti e fundamentalmente autonome in pochi anni.

Non bisogna trascurare le specie copri-suolo per condizioni idriche estreme, fra cui: scarpate, dune lungo il litorale, recuperi ambientali, piazzole stradali, aiuole urbane, giardini pensili, coperture di terrazzi, angoli mal serviti da impianto idrico, mancanza di acqua o disponibilità di acque salmastre, arredo di vasi poco raggiungibili, copertura di tetti predisposti ma anche semplicemente ciotole o balconette in posizioni molto soleggiate.

Casi studio

Soluzioni a verde pensile per le più recenti realizzazioni ospedaliere del Gruppo San Donato

di *Massimo Semola**

Abstract

Green roof solutions for the most recent hospital constructions of Gruppo San Donato

The San Donato Hospital Group is currently implementing a programme of reorganization which will include the construction of new offices as well as updating and expanding existing ones. The ideals of humanizing hospitals, together with scientific research, university training activity, sustainability and landscape design, are an integral part of this programme.

Amongst the more significant projects currently underway is the new and iconic IRCCS emergency surgery centre at the San Raffaele Hospital, designed by Mario Cucinella Architects, and the new Galeazzi Sant'Ambrogio hospital in the MIND district of Milan. Both projects were awarded the LEED Gold certificate.

The plants selected for the roof gardens of both these buildings were chosen because of their water saving characteristics as well as their ability to survive Milan's torrid heat in summer and the dramatic temperature variations that occur between summer and winter. Mediterranean plants and grasses, chosen from the most rustic and versatile ones, have demonstrated their adaptability by covering large surfaces within a short time span. On the west terrace of the IRCCS pavilion the formal composition and colors of the vegetation is combined with a gravel arrangement, which generates a graphic design, identifiable day and night from the upper floors of the hospital buildings.

The landscape design project at the Galeazzi Sant'Ambrogio hospital was the work of Studio Land and covers a vast area including 340 trees. Massimo Semola designed and oversaw the planting composition of the nine flat surfaces of the roofs, placed at varying heights, as well as the design of the patio, creating forms and chromatic contrast between ground-cover plants and specially designed pots. The patio is overlooked by the hospital's. Reception area as well some of the classrooms.

* Studio professionale Massimo Semola Architettura del Verde, Inverio.

1. Ospedale San Raffaele: il nuovo Polo chirurgico e delle urgenze IRCCS

Dati di progetto:

Ospedale San Raffaele – Nuovo Polo Chirurgico e delle Urgenze IRCCS

Superficie verde pensile intensivo mq 1328

Progetto verde pensile: Arch. Massimo Semola Studio Architettura del Verde – Inverio (NO)

Impresa opere edili: Itinera SpA – Tortona (AL)

Impresa opere a verde: HW-Style – Lurano (BG)

Tecnologia verde pensile: Harpo Group – Trieste

Fornitore strip-led e faretti: I Guzzini illuminazione – Recanati (MC)

L'ospedale San Raffaele rappresenta un modello d'eccellenza europea, dove all'attività sanitaria è affiancata la ricerca scientifica e quella formativa con un dipartimento universitario. L'edificio del nuovo Polo Chirurgico e delle Urgenze IRCCS, progettato da Mario Cucinella Architects, è una struttura all'avanguardia e totalmente incentrata sui principi di umanizzazione dell'ospedale.

L'obiettivo del progetto non è solo quello di curare i malati, ma anche l'ambiente e questo si traduce nella scelta di soluzioni sostenibili e al contempo architettonicamente belle e iconiche.

L'edificio abbandona lo schema delle piazze per elevarsi in altezza, unendo funzionalità ed estetica ed è composto da due grandi elementi complementari, tanto sul piano architettonico che funzionale: la piastra tecnica che ospita le funzioni ospedaliere più importanti e la torre, caratterizzata da un involucro edilizio interamente rivestito in vetro, all'interno della quale trovano posto i reparti di degenza, gli studi medici e gli ambulatori.

La torre è composta da superfici curve, plasticamente sensibili alla presenza degli altri edifici, e scandite da linee slanciate verso l'alto che ne alleggeriscono le masse creando un elemento di eccezionale chiarezza e riconoscibilità, un *landmark* che accompagna gli utenti con la luce delle sue facciate e la leggerezza del suo volume.

L'integrazione di elementi naturali, quali luce e piante, all'interno del progetto, incrementano la qualità degli spazi interni ed il benessere degli utenti, che godono della vista degli spazi verdi sia dalle camere di degenza che dagli uffici.

I giardini di pertinenza al nuovo padiglione IRCCS sono interamente realizzate su soletta, sia a piano terra che in quota, e si inseriscono in un contesto di verde storicizzato che caratterizza l'estesa superficie su cui si sviluppa il San Raffaele. I terrazzi sono visibili dall'interno dei reparti

posti al piano e dagli edifici che vi si affacciano, la vegetazione schermo dall'esterno la visuale delle camere di degenza. I giardini a terra e la piazzetta sono stati organizzati con sedute fisse, a utilizzo degli studenti dell'Università Vita Salute San Raffaele. La previsione di coperture verdi, in particolare di tipo intensivo, contribuisce ad incrementare il punteggio LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), il sistema statunitense di classificazione dell'efficienza energetica e dell'impronta ecologica degli edifici. Il nuovo Polo Chirurgico e delle Urgenze è il primo Ospedale in Italia certificato LEED Gold.

La inconfondibile *silhouette* bianca del nuovo polo chirurgico richiama l'immagine di un *iceberg*. La sequenza "Iceberg – banchisa polare – fessurazioni del ghiaccio alla primavera artica – vegetazione della tundra" ha suggerito l'origine del *concept* progettuale dei terrazzi; i profili verticali della torre, slanciati e leggeri, hanno indotto a interloquire con superfici verdi di ampio respiro e visuali libere.



Fig. 1 – La terrazza ovest vista dagli edifici circostanti

La fortuna di un giardino prescinde da regole di base, non ultime l'agevolazione delle opere di manutenzione e i costi di gestione ragionati, che non possono essere trascurati nella fase compositiva.

La ghiaia può rappresentare una alternativa all'erba, soprattutto su un giardino pensile dove lo sfalcio e lo scarico risultano più laboriosi; una adeguata superficie di lavoro alla base degli alberi richiede una forma, che può diventare parte integrante della soluzione progettuale. Sulla terrazza ovest forma e soluzione progettuale coincidono. Il botticino frantumato, di grossa pezzatura, ruvido, con tonalità bianco gesso, è delimitato da profili in acciaio inox a vista che attraversano longitudinalmente la copertura con uno sviluppo poligonale. Le *strip-led* applicate ai profili in acciaio inox creano un effetto scenico con luminescenza ascendente; dai piani alti degli edifici circostanti risalta il grafismo del motivo centrale accentuato dalla fluorescenza della ghiaia. I faretto fissati alla balaustra interna illuminano con fascio radente la vegetazione in primo piano e le fronde basse degli alberi.



Fig. 2 – L'illuminazione notturna a *strip-led* inserita nel profilo in acciaio inox

La terrazza ovest risente in modo particolare dell'irraggiamento solare ma è anche percorsa da gelidi venti invernali. La necessità di utilizzare piante a risparmio idrico, in grado di resistere ad estati torride e a importanti escursioni termiche e di coprire velocemente ampie superfici ha portato alla scelta del rosmarino prostrato, dell'elicriso e del pittosporo nano, con il *Pennisetum hameln*, le *Potentille alba* e le *Abelia grandiflora*. Per ovviare alla azione del vento la scelta si è orientata su alberi di terza

grandezza: sul versante ovest le *Lagerstroemie*, nella varietà “Snow” a fiore bianco a prolungata fioritura estiva, rappresentano anche l’opzione più versatile dal punto di vista climatico.



Fig. 3 – Composizione della vegetazione sui toni del verde e del bianco



Fig. 4 – Le Lagerstroemie “Snow” policorniche, a prolungata fioritura estiva

Sul versante est sono stati previsti i *Cornus Kousa* a fiore bianco con *Vinca minor* variegata e *Liriope Silver dragon* come tappezzanti. *Aucube Rozannie* a foglia verde in piena ombra e *Choysie* ternata delimitano il perimetro senza chiudere le visuali alte verso l'esterno. Il bianco, il grigio e i verdi predominano tra i colori della vegetazione, in armonia con una architettura *totalwhite*.

2. Ospedale Galeazzi Sant'Ambrogio

Dati di progetto:

Ospedale Galeazzi Sant'Ambrogio

Superfici totali a verde pensile intensivo mq 5252

Progetto verde pensile: Arch. Massimo Semola Studio Architettura del Verde – Inverio (NO)

Impresa opere edili: GKSD edile – Milano

Impresa opere a verde: Peverelli srl – Fino Mornasco (CO)

Tecnologia verde pensile: Harpo Group – Trieste

Fornitore faretti: I Guzzini illuminazione – Recanati (MC)

L'Ospedale Galeazzi Sant'Ambrogio, inaugurato nel 2022, rappresenta il primo ospedale europeo a sviluppo verticale, con camere di degenza, sale operatorie, laboratori di ricerca e una sede dell'Università Vita Salute del Gruppo San Donato. Realizzato all'interno dell'Arexpo a Rho occupa una vasta area verde dove è stato previsto l'impianto di 340 alberi a foglia caduca; conta inoltre nove coperture piane non accessibili, poste a differenti quote e risolte a verde pensile intensivo. Le coperture si differenziano sostanzialmente per lo spessore del substrato e per le scelte vegetazionali: a prato rustico, a prato naturale fiorito con utilizzo di semi specifici dell'areale, ad arbusti e a graminacee e tappezzanti.

In seguito all'estate 2022 con temperature alte e costanti è stato necessario sostituire le betulle previste con altri alberi più resistenti.

Ai piani, dove la visuale spazia a 360° verso l'orizzonte, l'utilizzo di graminacee e la selezione di piante mediterranee, entrambe a risparmio idrico, rappresenta una soluzione di confermata affidabilità, dimostrando di essere in grado di sopravvivere a forti sbalzi termici stagionali. Le piante hanno tutte una altezza non superiore al metro per lasciare libera la visuale sullo *skyline* di Milano. Al piano IV sul versante est sono stati piantati *Hypericum calycinum* e *Stipa tenuissima*, sui versanti ovest e sud, più caldi, *Helychrysum italicum*, *Stipa tenuissima* e *Pennisetum "Hameln"*, per un totale di 10.225 piante. Nell'arco di un anno la vegetazione ha completamente coperto la superficie prevista.



Fig. 5 – I pensili del piano IV con vista sullo skyline di Milano

Altre ampie superfici, con spessore di substrato di 15 cm, sono state risolte a prato rustico e prato fiorito, con una selezione di semi tipici dell'area in cui sorge l'ospedale.

I *Sedum* rappresentano una scelta adeguata quando si tratta di coprire grandi superfici, sono a bassa manutenzione e a risparmio idrico, ma l'impianto risulta molto più oneroso del prato. Sebbene il prato fiorito raccolga unanimi consensi nei periodi di maggiore interesse il suo utilizzo porta ad alcune considerazioni. Affinché i semi abbiano la possibilità di diffondersi e perpetuare così la fioritura negli anni si prevedono generalmente due/ tre tagli annuali (mentre per un normale prato rustico ne sono richiesti 9/13) il che comporta di accettare anche i periodi di decadimento vegetativo; si presenta quindi più volte nel corso dell'anno una situazione che può risultare, a chi non ne sia avvezzo, più compatibile con un paesaggio naturale a quota campagna che con il verde pensile con visuale dal piano. Il taglio a intervalli lunghi comporta inoltre un quantitativo di materiale vegetale tale da rendere problematico e laborioso lo sfalcio e lo smaltimento quando l'accesso ai piani alti non comunica con l'esterno oppure non è comunque agevole. La sostenibilità di un intervento verde comprende anche gli oneri di manutenzione che devono essere analizzati, e approvati, già in fase di progettazione, valutando nel caso specifico se in termini di investimento a

lungo termine sia più proficuo utilizzare una copertura a *Sedum* o a prato. Le linee vita quando previste possono interferire con le piante e con gli spazi di lavoro per la manutenzione, di conseguenza al fine di ottenere un risultato ottimale lo studio di queste strutture deve essere sviluppato contemporaneamente allo studio del progetto paesaggistico.

2.1. Ospedale Galeazzi Sant’Ambrogio: il patio

Inserito in un contesto costruito su quattro lati ricorda gli spazi di ambientazione dei piccoli giardini giapponesi del periodo Muromachi nello “stile dello scrittoio”; generalmente chiusi su sé stessi, con visuale statica da punto di osservazione fisso, non accessibili e con funzione strettamente contemplativa.

Il patio è situato al fondo di un “pozzo bianco” dove la luce diretta del sole penetra solo nelle ore centrali del giorno; nonostante ciò lo spazio è caratterizzato da una luminescenza diffusa, generata dai riflessi dei pannelli in *alucobond* e dalle vetrate, con effetti traslucidi talvolta sorprendenti. La visione dalle ampie pareti vetrate delle aule universitarie su un’isola verde attenua l’impatto delle alte pareti e ne stempera il rigore. La composizione del giardino si sviluppa sui contrasti cromatici, evidenziati da grafismi giocati sul motivo del cerchio, e su una ricercata irregolarità con vasi disposti a distanza diseguale, disallineati e non coassiali agli anelli vegetali, questi a sezione variabile. Sul lato delle aule la pavimentazione è più ampia per consentire agli studenti di accedere nei momenti di pausa.

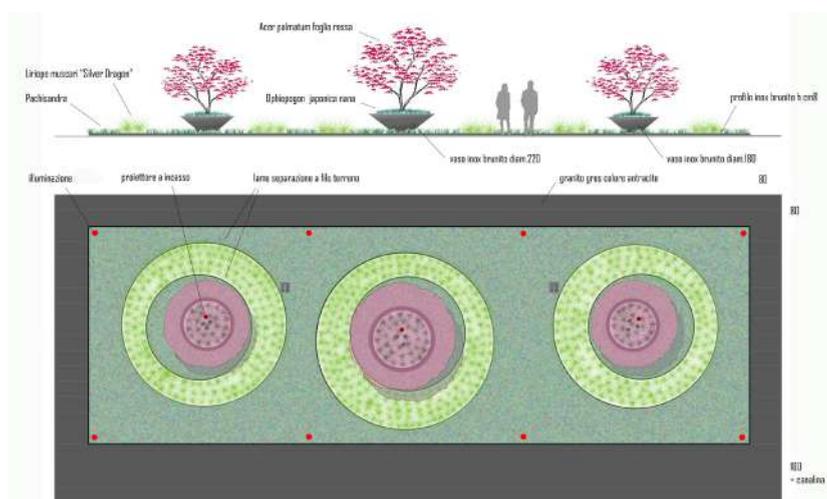


Fig. 6 – Il Patio dell’Università – progetto

L'impianto verde è realizzato su soletta, si tratta quindi di un intervento pensile estensivo a piano terra, su una superficie di 175 mq dove non era prevista la vegetazione, con un ridotto spessore iniziale sufficiente per un fondo calpestabile in ghiaia. Si è ovviato realizzando un profilo perimetrale in acciaio per ricavare uno spessore utile di 25 cm. I grandi vasi in alluminio, di 180 e 220 cm di diametro, disegnati per l'occasione, rappresentano un importante elemento di arredo, e si sono resi necessari per portare verticalità alla composizione con l'utilizzo di *Acer palmatum* "Blood-good" a foglia rosso porpora scuro; adatti a vivere in contenitore sono stati scelti anche per il portamento leggero ed elegante dei rami che si evidenzia nella stagione invernale. Il colore del fogliame nelle ore serali è evidenziato con faretti a flusso luminoso ascendente. Per il parterre sono state utilizzate piante da ombra: la *Pakisandra terminalis* per il tappeto verde, la *Liriope muscari* a foglia variegata per gli anelli e l'*Ophiopogon japonicus* nano nei vasi alla base degli aceri. La pavimentazione a guisa di *passapartout* e i vasi di colore antracite, risultano in forte contrasto con il bianco abbagliante dell'architettura e contribuiscono ad enfatizzare un "dramatic effect".



Fig. 7 – Il Patio con gli *Acer palmatum* Bloodgood in vaso

Riferimenti bibliografici

- Borgi C. (2007), *Il giardino che cura*, Giunti, Firenze.
- Cooper Marcus C., Sachs N.A. (2013), *Therapeutic landscapes*, Wiley, Hoboken.
- Forester K. (2011), *Erbe e felci per il giardino*, Franco Muzzio, Padova.
- Filippi O. (2008), *Per un giardino mediterraneo. Il verde senza irrigazione*, Jaca Book, Milano.
- Phillips R. (2022), *Riconoscere gli alberi*, DeAgostini, Novara.
- Phillips R., Rix M. (1990), *Riconoscere gli arbusti decorativi*, DeAgostini, Novara.
- Sotti M.L. (1997), *Piante a foglia grigia*, Mondadori, Milano.
- Walker S. (2017), *Il giardino giapponese*, Phaidon Press Limited, London.

Il ruolo delle Water Utilities nello sviluppo di un approccio NBS allo stormwater management

di *Kivulcim Cornelia Di Finizio**, *Anacleto Rizzo***,
*Massimiliano Ferazzini****

Abstract

The role of Water Utilities in the development of an NBS approach to urban stormwater management

Water runoff management is unquestionably one of the main items of attention for the Italian Water Authorities. The traditional strategies for limiting meteoric runoff, such as the sewerage enhancement and the construction of detention basin, although being effective hydraulic solutions, present limitations due to the availability of free areas and to financial sustainability. However, there is a growing awareness that hydraulic defence of the territory must be oriented towards an alternative and sustainable approaches.

BrianzAcque, the water utility company in the province of Monza and Brianza, has adopted an integrated and multi-scalar policy, oriented to guarantee soil conservation and defence, qualitative protection and quantitative management of water, according to multi-objective logics that can bring benefits at multiple levels.

The proposed case study develops in a high anthropized context, almost devoid of vegetation and scarcely usable, and mainly consists in a systemic and functional retrofitting work on a urban roadway, by removing road runoff waters, which currently flow into the sewerage system, through areas of bioretention inserted on both sides of the almost 1 km roadway length.

* CQuadro Consulting, Milano.

** IRIDRA Srl, Firenze.

*** BrianzAcque Srl, Monza.

1. I sistemi di drenaggio urbano sostenibile ed il gestore idrico

I primi anni 2000 hanno visto una forte accelerazione del fenomeno dell'inurbamento, con una repentina concentrazione degli abitanti negli ambiti urbani e periurbani, coincisa con un intenso sviluppo della matrice urbanizzata a discapito di quella naturale e un significativo consumo del suolo.

Questo trend, tutt'oggi in crescita, ha portato nel 2020, per la prima volta nella storia del pianeta, la popolazione urbana mondiale a superare quella rurale (OECD, 2020), mentre su scala nazionale si osserva che, circa il 56% della popolazione vive in aree urbane (SNPA, 2022). Questo spiega facilmente come mai l'80% delle emissioni di gas a effetto serra sia prodotto nelle città (REN, 2021).

L'espansione accelerata delle aree urbane, non supportata da politiche pianificatorie improntate alla sostenibilità, ha portato alla perdita irreversibile di suolo naturale e alla frammentazione del paesaggio e degli ecosistemi, causate dalla progressiva impermeabilizzazione del territorio, con un conseguente aumento della vulnerabilità dei centri abitati, in particolar modo evidenziata dai sempre più frequenti allagamenti che colpiscono le città durante gli eventi meteorici intensi.

In questo contesto, il Gestore del Servizio Idrico Integrato è chiamato a svolgere un ruolo fondamentale nello sviluppo di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici e nella riduzione della vulnerabilità urbana, promuovendo il principio di invarianza idraulica e idrologica e fornendo risposte adattative efficaci.

Le tradizionali strategie per il contenimento dei deflussi meteorici, quali il potenziamento delle reti fognarie e la realizzazione di vasche volano pur risultando delle efficaci soluzioni idrauliche, presentano dei limiti legati alla disponibilità di aree libere e alla sostenibilità finanziaria, tuttavia sempre maggiore è la coscienza che si debba orientare l'azione di difesa idraulica del territorio verso un approccio alternativo e sostenibile, che possa intervenire sulla riduzione a monte degli apporti indesiderati e, contestualmente, portare benefici diffusi, integrando o, quando ne ricorrono le condizioni, anche sostituendo o comunque riducendo gli interventi c.d. *end of pipe*.

I Sistemi di Drenaggio Sostenibile (Sustainable Drainage Systems – SuDS) rientrano nel novero delle *green and blue infrastructure* definite dall'EPA¹ (l'Agenzia di Protezione Ambientale americana) come la gam-

1. U.S. Environmental Protection Agency Water Infrastructure Improvement Act 01.14.2019 132 STAT. 5561 [...] *the range of measures that use plant or soil systems, permeable pavement or other permeable surfaces or substrates, stormwater harvest and*

ma di misure che utilizzano sistemi di piante o di suolo, pavimentazioni permeabile o altre superfici o substrati permeabili, sistemi di raccolta e riutilizzo delle acque piovane, o il paesaggio naturale per immagazzinare, infiltrare o evapotraspirare le acque piovane e ridurre i flussi nei sistemi fognari o nelle acque superficiali.

Il SuDS Manual² (Woods Ballard *et al.*, 2015), edito da CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), un organismo indipendente di Imprese di costruzione associate del Regno Unito, considerato ad oggi il riferimento bibliografico per eccellenza, dichiara che “I SuDS forniscono un drenaggio di alta qualità, supportando al contempo le aree urbane per affrontare meglio le piogge intense, sia ora che in futuro. Inoltre, aiutano a contrastare alcuni degli impatti sul nostro ciclo dell’acqua causati dall’aumento dell’urbanizzazione, come la ridotta infiltrazione che a sua volta può portare a una diminuzione delle riserve idriche sotterranee”.

A tutti i livelli normativi, partendo dalla nuova “Strategia Europea di adattamento ai cambiamenti climatici” adottata dalla Commissione europea il 24 febbraio 2021, passando al “Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici”, fino alla “Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici” in Lombardia, viene evidenziato come il ricorso ai SuDS sia una soluzione *win win* nella progressiva riduzione dell’impronta ecologica delle zone antropizzate sul territorio e nel contestuale incremento del grado di resilienza dell’ecosistema urbano e non solo.

È infatti molto importante considerare sia la dimensione urbana, dove i SuDS rappresentano una sorta di innesto verde ricreando quindi un elemento naturale, nella matrice urbanizzata e impermeabile, che la dimensione territoriale più ampia, dove le opere offrono una potente opportunità di rigenerazione ambientale.

reuse, or landscaping to store, infiltrate, or evapotranspire stormwater and reduce flows to sewer systems or to surface waters. [...].

2. Woods Ballard *et al.*, *The SuDS Manual*, Ed. CIRIA, London (UK), 2015, “SuDS deliver high quality drainage while supporting urban areas to cope better with severe rainfall both now and in the future. SuDS also help counteract some of the impacts on our water cycle caused by increased urbanisation, such as reduced infiltration which in turn can result in diminished groundwater supplies. SuDS can improve the quality of life in developments and urban spaces by making them more vibrant, visually attractive, sustainable and more resilient to change, by improving urban air quality, regulating building temperatures, reducing noise and delivering recreation and education opportunities. High quality SuDS designs that are integrated into the overall design of the development can attract tourism and investment, driving economic growth for the local area. Where SuDS are designed to make efficient use of the space available, they can often cost less to implement than underground piped systems”.

Tra i benefici “collaterali” dei SuDS e, più in generale delle opere NBS, come riferisce il citato SuDS Manual, troviamo difatti gli elementi base della resilienza ai cambiamenti climatici, tra cui la riduzione della frammentazione degli habitat, attraverso la creazione di canali verdi nella matrice antropizzata, l’efficientamento e il recupero dei processi di auto-riparazione naturale, l’implementazione della biodiversità vegetale e animale, contributo alla conservazione delle specie, la rigenerazione di aree urbane e periurbane abbandonate, con importanti ricadute sociali e sulla salute umana.

Nasce così un binomio inedito, che vede il gestore del servizio idrico integrato impegnato nello sviluppo e nella tutela del capitale naturale³, con particolare riferimento alla realizzazione di infrastrutture *green* in ambito urbano e periurbano.

La caratteristica più rilevante dei SuDS è quella di essere infrastrutture multi-obiettivo, che possono quindi fornire benefici diretti e indiretti a vari livelli e scale a tutta la comunità impattando oltre che sulla mitigazione degli eventi meteorici estremi anche sulla diminuzione delle isole di calore e sul benessere dei cittadini in generale.

Dal punto di vista strettamente idraulico, il ricorso alternativo e/o integrativo ai SuDS da parte del Gestore del SII consente di attuare un sostenibile ed efficace *water runoff management*, intervenendo sia sulla riduzione volumetrica del contributo meteorico nella rete fognaria, attraverso l’infiltrazione e l’evapotraspirazione, che nel ritardo dei picchi di portata, con una funzione di volanizzazione temporanea.

Dal punto di vista attuativo, i SuDS trovano sviluppo sia nella dimensione urbana, dove è possibile operare un vero e proprio *retrofit* verde della matrice urbanizzata attraverso l’innesto di *raingarden* e piccole aree di bioritenzione negli elementi stradali esistenti, che nella dimensione periurbana e agricola, che consente interventi significativi, sia in termini idraulici che ambientali, come *swales*, *ponds* e sistemi naturali di fitodepurazione a servizio di scolmatori di piena.

Parallelamente, è fondamentale alimentare una cultura manutentiva di queste opere che, pur restando a ridotto bisogno, necessitano di competenze specialistiche, per garantire il mantenimento delle capacità depurative e di infiltrazione.

3. Definito come “lo stock mondiale lo stock di risorse rinnovabili e non rinnovabili (biocenosi e biotopo, tra cui piante, animali, aria, acqua, suolo) che si combinano per produrre un flusso di benefici per le persone”. Il termine capitale naturale è attribuito all’economista E.F Schumacher, che ne ha per primo scritto nel 1973 nel suo libro “Small is beautiful”, definizione poi ripresa in più contesti, giovi richiamare “The OECD glossary of statistical terms”, Organisation for Economic Co-operation and Development (2008) e The UNSD Glossary of Environment Statistics. Nazioni Unite (1997).



Fig. 1 – Immagini di via Matteotti in Bovisio Masciago, riprese con drone – a sinistra: prima dell'intervento (ottobre 2022); a destra: dopo la conclusione dell'intervento (aprile 2023)

2. Il caso studio dell'intervento di *retrofitting* SuDS di Bovisio Masciago

Il caso di studio oggetto del presente contributo riguarda un importante intervento di retrofitting urbano realizzato in Nord Italia, più precisamente in Lombardia, nella provincia di Monza e Brianza.

La provincia di Monza e Brianza costituisce uno dei distretti manifatturieri più importanti d'Europa, il territorio occupato da funzioni urbane ha raggiunto il 50% (Assolombarda, 2023) dell'intera superficie provinciale; la disponibilità di ulteriore crescita urbana, offerta dalle previsioni dei Piani di Governo del Territorio, porterebbe ad avere una percentuale di suolo occupato da funzioni urbane pari a quasi il 52% della superficie territoriale totale, evidenziando come la crescita del sistema urbano brianteo non si sia fermata, sebbene abbia mostrato segnali di rallentamento rispetto alla fase di massima espansione insediativa registrata nei decenni scorsi.

Il territorio occupato da funzioni urbane ha raggiunto il 50% dell'intera superficie provinciale; la disponibilità di ulteriore crescita urbana, offerta dalle previsioni dei Piani di Governo del Territorio, porterebbe ad avere una percen-

tuale di suolo occupato da funzioni urbane pari a quasi il 52% della superficie territoriale totale, evidenziando come la crescita del sistema urbano brianteo non si sia fermata, sebbene abbia mostrato segnali di rallentamento rispetto alla fase di massima espansione insediativa registrata nei decenni scorsi.

BrianzAcque Srl è l'Ente Gestore del Servizio Idrico Integrato per la provincia di Monza e Brianza, per un totale di 55 Comuni, per un totale di 870.000 abitanti e circa 80 milioni di mc di acqua fatturati annualmente.

Parallelamente alla realizzazione delle tradizionali infrastrutture grigie, BrianzAcque ha intrapreso una politica di sviluppo di infrastrutture verdi e blu, volte a promuovere una gestione sostenibile della risorsa idrica.

In questo ambito, BrianzAcque ha realizzato nel comune di Bovisio Masciago un'importante opera di ripermabilizzazione e realizzazione di Sistemi di Drenaggio Sostenibile (SuDS), con un quadro economico da oltre un milione e trecentomila euro, co-finanziato da Regione Lombardia.

Un intervento di rigenerazione sistemica e funzionale in ottica SuDS, che si inquadra sotto il profilo tecnico per rispondere alle esigenze legate ai cambiamenti climatici e al miglioramento della gestione delle acque di pioggia, sposando la filosofia di una progettazione multiobiettivo, consentendo così di portare molteplici benefici, non solo di carattere idraulico, ma anche attraverso i servizi ecosistemici (Ecosystem Services) forniti dalle soluzioni basate sulla natura (NBS – Nature-based Solutions).

Le opere si sviluppano in un contesto intensamente antropizzato, pressoché privo di vegetazione e scarsamente fruibile, con la volontà di trasformare gli spazi e restituirli alla collettività. L'intervento consiste principalmente nel distoglimento delle acque di deflusso stradale, che attualmente confluiscono nella rete fognaria, attraverso un *retrofitting* di circa un chilometro di asse stradale e delle relative pertinenze con la finalità di intercettare le acque di deflusso mediante aree di bioritenzione, anche note come *rain garden*, di larghezza variabile tra 0,8 e 1,6 m, inseriti su entrambi i lati della carreggiata, e operando anche su una piazzetta oggi senza zone d'ombra e poco frequentata, in cui saranno realizzati dei bacini di detenzione asciutti, rendendola fruibile con l'inserimento di giochi inclusivi.

Attraverso matrici complesse è stato possibile modellare scenari progettuali diversi in relazione ai benefici prioritari, individuando le soluzioni più efficaci. Le tecniche SuDS sono infatti paragonabili ad una "cassetta degli attrezzi" con cui progettare, con approccio multidisciplinare ed in concerto con i vari professionisti (architetti, geologi, ingegneri idraulici, agronomi, ecc.) ed i vari portatori di interesse (cittadini, amministrazioni, associazioni), la soluzione tecnica su misura più appropriata. Si possono descrivere i benefici dell'intervento attraverso i quattro pilastri indicati dal SuDS Manual (Woods Ballard *et al.*, 2015) per una corretta progettazione

multi-obiettivo delle soluzioni SuDS: idraulica (Water Quantity); qualità delle acque (Water quality); biodiversità (Biodiversity); amenità, che può essere interpretato come tutti gli aspetti legati ad architettura e cittadinanza (Amenity).



Fig. 2 – Cantiere di via Matteotti in Bovisio Masciago: dettaglio scavi di un rain garden e medium di riempimento (febbraio 2023)



Fig. 3 – Raingarden di via Matteotti in Bovisio Masciago: dettaglio di area di bioritenzione (luglio 2023). Fonte: BrianzAcque Srl

Idraulica (Water Quantity)

La modellazione idraulica mediante Storm Water Management Model (SWMM) elaborata nella progettazione esecutiva ha stimato il distoglimento dalla rete fognaria e l'infiltrazione nel suolo di circa il 70-90% delle acque meteoriche a scala annuale, pari a circa 8.000-11.000 m³/anno, considerando la superficie complessiva drenata dalla carreggiata stradale di circa 12.000 m². Inoltre, le aree di bioritenzione permettono di accumulare, in superficie e nel medium di riempimento, in media 300 m³ per ettaro impermeabile, corrispondente ad una pioggia di 30 mm, permettendo quindi di intercettare in modo efficace le acque di prima pioggia. I volumi di laminazione messi a disposizione contribuiscono anche a migliorare la risposta idrologica del bacino urbano ad eventi di pioggia a bassa frequenza con riduzione dei picchi di portata (invarianza idraulica) e volume (invarianza idrologica) in rete stimati pari a circa il 30-50% della quota di contributo delle aree per eventi con tempo di ritorno 2 e 5 anni.

Qualità delle acque

Le acque di deflusso raccolte ed infiltrate nei SuDS di progetto sono da considerarsi debolmente inquinate, drenando superfici in un'area residenziale a basso traffico veicolare e quindi escluse dalle prescrizioni di trattamento delle acque di prima pioggia disposte dal Regolamento Regionale 3/2006; tuttavia, tramite un'apposita selezione del medium di riempimento, composto principalmente da sabbia di granulometria selezionata, i *rain garden* sono progettati per fornire un efficace trattamento del primo flusso, attraverso la rimozione:

- di solidi e inquinanti associati (oli e grassi, metalli) per mezzo della filtrazione promossa dalla superficie della vegetazione e dal materiale inerte;
- dei particolati fini e inquinanti associati per mezzo di processi trattamento quali filtrazione e prelievo da parte della vegetazione e del biofilm batterico;
- degli inquinanti disciolti per mezzo di assorbimento sul medium filtrante e di processi biologici (sia aerobici che anaerobici).

Biodiversità

Una delle esternalità positive della realizzazione di sistemi di drenaggio sostenibile con NBS è il significativo rinverdimento urbano: a Bovisio, oltre 1.000 m² di aree asfaltate sono state convertite a verde, attraverso l'inserimento di 14 specie arbustive e 7 specie arboree diverse, con alta capacità adattativa allo stress idrico.

Le aree di bioritenzione, infatti, sono progettate per drenare in massimo 24-48 ore, risultando asciutte nei periodi non piovosi e, a livello visivo, del tutto analoghe ad aiuole di arredo urbano. Sono stati scelti alberi con forme e fogliame che scandiscono cromaticamente le stagioni, in primavera con le fioriture rosa delle siepi di *buddleja* e di *cornus*, in autunno con il rosso delle foglie di *liquidambar*, unica specie esotica, e con i gialli e i rossi degli aceri e dei frassini. Il sesto di impianto degli alberi è stato pensato per non intervenire sugli alberi con potature, limitando così gli oneri manutentivi.

Nei *raingarden* sono state invece messe a dimora specie perenni e arbustive che, oltre alla loro funzione fitodepurante, assolvono anche la funzione di portare miglioramento al microclima urbano, riducendo l'effetto isola di calore, aumentando contestualmente la biodiversità e ricreando così dei corridoi ecologici all'interno di un'area più vasta a livello urbano. L'intervento apporta così un significativo impatto sul supporto alla biodiversità nell'ecosistema urbano

Riqualificazione urbana

Il progetto di Bovisio Masciago è anche la dimostrazione che il ricorso alle NBS per la ripermabilizzazione urbana è prima di tutto una grande occasione per veicolare una rigenerazione urbana di qualità, anche attraverso l'inserimento di una nuova pista ciclabile e il restringimento della carreggiata, per una mobilità a misura d'uomo.

Una rilettura delle aree urbane che ha l'ambizioso obiettivo di integrare le forme e gli spazi disegnati per i SuDS con un nuovo *concept*, dove la strada torna ad essere uno luogo di vita e di incontro, e non solo di traffico, dove marciapiedi, incroci e zone rigenerate rappresentano occasioni di socialità e comunicazione. Un progetto che restituisce alla collettività una nuova piazzetta, dove trovano spazio i giochi inclusivi per i più piccoli, una collinetta inverdita da siepi e perfino un labirinto di alberi, piantumati a distanza ravvicinata per creare un boschetto geometrico, ma anche zone d'ombra, panchine e una fontanella.

Monetizzazione dei Servizi Ecosistemici

B£ST (Benefits Estimation Tool – valuing the benefits of blue-green infrastructure), un software innovativo sviluppato dell'ente inglese CIRIA, è stato utilizzato per monetizzare i numerosi servizi ecosistemici forniti dall'intervento di progetto, dal miglioramento della qualità dell'aria alla riqualificazione urbana, dal supporto alla biodiversità al sequestro e riduzione della CO₂, passando per l'educazione ambientale, il benessere e salute, fino ai benefici più strettamente idraulici legati alla ricarica della falda e alla rimozione delle acque di pioggia dalla fognatura.

Ne sono risultati benefici stimati tra i 100mila e 600mila euro in 20 anni, sostanzialmente una quota significativa dell'infrastruttura verde si ripaga da sé nel suo ciclo di vita in termini di benessere percepito dai cittadini e dalla collettività, se tutti i benefici vengono considerati. Volendo parafrasare una famosa citazione del fisico William Kelvin: “se non si può misurare qualcosa, non si può migliorarla”. Per dare una dimensione concreta e numerica ai benefici attesi da quest'opera, si è scelto di attuare un progetto di monitoraggio multiparametrico.

Il sistema di monitoraggio

Misuratori di portata *area-velocity* per monitorare i benefici idraulici per la rete fognaria, termoigrometri per misurare il miglioramento dell'isola di calore urbano e un'area sperimentale per il campionamento delle acque, a monte del SuDS e post fitotrattamento. In sintesi, il progetto di Bovisio Masciago vuole dimostrare che un approccio che miri al distoglimento delle acque meteoriche secondo una logica sostenibile e diffusa, ad integrazione o sostituzione dell'approccio *end of pipe*, è una strategia *win-win* per il Gestore, che assolve alla propria mission d'elezione nella gestione idraulica delle infrastrutture idriche di competenza, per il territorio e la collettività, che giovano così di nuovi spazi comuni, che portano altresì a una rigenerazione urbana in termini di sicurezza, e per l'ambiente, inteso nel senso più ampio, ecologico e naturale, in termini di biodiversità e potenziamento del capitale verde, oltre a dar luogo a externalità positive per il SII che va incontro ad un tangibile risparmio in termini economici.

3. Conclusioni

In conclusione, se è vero che le città sono l'ambito dove la manifestazione dei cambiamenti climatici si rende più evidente e più incisiva nel delicato equilibrio dell'ecosistema urbano, di converso esse rappresentano il luogo dove poter trasformare queste criticità in opportunità, invertendo il paradigma concettuale che vede le energie concentrate nella mera difesa dagli effetti dei cambiamenti climatici, a favore di una visione multi-obiettivo, che attraverso l'implementazione di green and blue infrastructure porti valore diffuso al Territorio. Il caso di studio di Bovisio Masciago rappresenta un'opportunità importante per raccogliere dati relativi ai diversi ambiti monitorati, e che rappresenteranno la base per futuri studi di approfondimento.

Riferimenti bibliografici

Assolombarda (2023), *Report “Monza e Brianza 2050”*.

Commissione Europea (2021), *Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici*.

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* – decreto direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015.

OECD/European Commission (2020), “Cities in the World: A New Perspective on Urbanisation”, in *OECD Urban Studies*, OECD Publishing, Paris.

Regione Lombardia (2014), *Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici della Lombardia*, approvata con Deliberazione della Giunta Regionale n. 2907 del 12 dicembre 2014.

REN21 (2021), *Report “Renewables 2021 Global Status Report”*.

SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente) (2022), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, n. 32/2022.

Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R., Kellagher R. (2015), *The SuDS Manual*, CIRIA, London.

**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**

a cura di *Elena Giacomello, Leonardo Filesì, Massimiliano Scarpa, Giovanni Perrucci*

Venerdì 13 ottobre 2023

Università Iuav di Venezia, Palazzo Badoer, Aula Tafuri, Venezia

La conferenza è dedicata alle *Nature-based Solutions*: “tali soluzioni portano natura, caratteristiche e processi naturali sempre più diversificati nelle città, attraverso interventi adattati localmente, efficienti sotto il profilo delle risorse e dei sistemi” (Cardinali *et al.*, 2021).

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 riguarda **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 aspetti funzionali e prestazionali comprendono un'ampia gamma di effetti, tra cui il fattore d'ombreggiamento, l'attenuazione dell'effetto “isola di calore”, la prestazione termica, il controllo dei deflussi idrici, il miglioramento della qualità dell'aria, l'incremento della biodiversità, ma anche molte funzioni, benefici e servizi resi dalle specie vegetali impiegate (che non stimolino allergie, resistano a stress termici e idrici, necessitino di poca manutenzione, non siano alloctone invasive, ecc.).

Gli obiettivi dell'evento sono: (1) diffondere gli studi che contribuiscono ad accrescere la conoscenza e la cultura tecnica delle NbS; (2) riunire in dibattito le competenze interdisciplinari che si interfacciano nelle attività di ricerca sulle NbS.

Conferenza accreditata da:

Ordine degli Architetti e PPC – 6 c.f.p.

Ordine dottori agronomi e dei dottori forestali – 0,125 c.f.p./ora

Collegio Geometri e Geometri Laureati – 2 c.f.p.

Per partecipare all'evento è necessario registrarsi dal sito web della conferenza al collegamento che segue:

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

Temi della conferenza

Tema 1 Gestione idrologica urbana

I suoli urbani sono caratterizzati da un'elevata impermeabilizzazione che altera il ciclo idrologico facilitando la formazione dei deflussi superficiali e riducendo l'infiltrazione dell'acqua nel terreno.

Ciò determina una catena di effetti avversi che – in concomitanza con il verificarsi di eventi meteorici sempre più intensi – impattano negativamente sulla sicurezza e la gestione delle aree urbane, il micro-clima, il *comfort*, la qualità dell'acqua. Poiché la copertura del suolo con materiali impermeabili è un costo ambientale (CE 2013, “Superfici impermeabili, costi nascosti. Alla ricerca di alternative all'occupazione e all'impermeabilizzazione dei suoli”), le *NbS* e le tecnologie che ripristinano, almeno in parte, i deflussi naturali sono fattori imprescindibili della rigenerazione urbana.

Quali sistemi e quali strumenti favoriscono la transizione a una gestione virtuosa dell'acqua nelle nostre città?

Parole chiave

Impermeabilizzazione del suolo – *Soil sealing*

Drenaggio urbano sostenibile – *SuDS-Sustainable Drainage Systems*

Gestione delle acque meteoriche – *Stormwater management*

Tema 2 Biodiversità e servizi eco-sistemici

L'estensione delle aree urbanizzate è in costante aumento con conseguente perdita di ambienti naturali e semi-naturali. Come evidenziato nel *Green Deal europeo* e nella *Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030*, alla biodiversità è riconosciuto un valore fondamentale: “per essere sana e resiliente, una società deve dare spazio alla natura”, poiché “la nostra salute e la salute degli ecosistemi sono inscindibili [...] la protezione della biodiversità ha giustificazioni economiche ineludibili e la biodiversità è alleato vitale nella lotta ai cambiamenti climatici”.

L'analisi degli ecosistemi urbani e semi-urbani è un tema in forte sviluppo, che però presenta difficoltà nella definizione dei relativi approcci.

Quando animali e piante interagiscono con l'uomo in maniera positiva?

Quali sono i principi e i sistemi per proteggere e ripristinare la natura in città?

Parole chiave

Corridoi verdi – *Green corridors*

Progettazione ecologica – *Eco-design*

Transizione ecologica – *Ecological transition*

Biomimetica – *Biomimicry*

Tema 3 Impatti sul microclima urbano e benefici termici

Le tecnologie *NbS* offrono altresì vantaggi dal punto di vista energetico. Consentono infatti il raggiungimento di elevati obiettivi prestazionali mediante soluzioni più naturali e in grado di produrre benefici termo-energetici anche nell'ambiente che ospita l'edificio.

Quali sono i vantaggi energetici, *indoor* e *outdoor*, ottenibili con le *NbS*?

Parole chiave

Efficienza energetica – *Energy efficiency*

Comfort in ambiente esterno – *Outdoor comfort*

Tema 4 Gestione, manutenzione e fabbisogno idrico della vegetazione

Un importante problema funzionale del patrimonio naturale urbano – anche in ottica economica – consiste nello svolgimento di interventi manutentivi secondo criteri aggiornati, nel rispetto di tecniche colturali scientificamente fondate e rivolte alla riduzione degli *input* esterni. La riduzione dell'apporto di energia per la gestione della vegetazione urbana incontra moltissimi vantaggi che possono colmare, almeno in parte, le criticità legate alla diffusione del verde nelle città italiane, fra cui la mancanza di una corretta pianificazione, di appropriate regole di progettazione, di strutture stabili di gestione e di proporzionate risorse economiche per la manutenzione.

Parole chiave

Manutenzione programmata – *Programmed maintenance*

Fabbisogno idrico – *Water needs*

Analisi dei costi – *Cost analysis*

Comitato scientifico

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

Comitato organizzativo

Elena Giacomello elenag@iuav.it

Leonardo Filesi leonardo@iuav.it

Massimiliano Scarpa mscarpa@iuav.it

Giovanni Perrucci gperrucci@iuav.it

Programma

9:00 – 9:30 Registrazione dei partecipanti

- 9:30 Saluti istituzionali e introduzione
Francesco Musco, professore di Tecnica e pianificazione urbanistica, Direttore della Ricerca, Università Iuav di Venezia
Elena Giacomello, ricercatore di Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

Sessione 1: Gestione idrologica urbana **modera Elena Giacomello**

- 9:45 Valorizzare l'impatto delle soluzioni basate sulla natura: dalla singola installazione alla diffusione alla scala urbana
Anna Palla, professore, ICAR/02 Costruzioni idrauliche e marittime e Idrologia, Università degli Studi di Genova
- 10:00 Ottimizzare l'irrigazione nel verde pensile per valorizzare le acque piovane e ridurre i deflussi
Sergio Andri, dott. Scienze naturali, responsabile Ricerca e Sviluppo, Harpo verdepensile, Trieste
- 10:15 Restituire spazio all'acqua e agli ecosistemi degli ambienti umidi: fitodepurazione e altri benefici
Carlo Bendoricchio, ingegnere, direttore generale, Consorzio Acque Risorgive, Venezia-Mestre
- 10:30 Il ruolo delle *Water Utilities* nello sviluppo di un approccio *NbS* alla gestione delle acque piovane urbane
Cornelia Di Finizio, dott. Scienze e tecnologie per l'ambiente e il territorio, project manager, environment & water resource specialist, CQuadro Consulting, Milano

Sessione 2: Biodiversità e servizi eco-sistemici
modera Leonardo Filesi

- 10:45 *NbS* a diverse scale per problemi complessi: il caso di Civita di Bagnoregio (VT)
Leonardo Filesi, professore, BIO/03 Botanica ambientale e applicata, Università Iuav di Venezia
- 11:00 Applicazione di *NbS* per il *comfort* e l'efficienza lavorativa degli utenti in ambienti ad uso ufficio: uno studio in Realtà Virtuale
Marco D'Orazio, professore, ICAR/10 Architettura tecnica, Università Politecnica delle Marche

11:15 – 11:45 Pausa caffè

- 11:45 Specie selvatiche autoctone, considerazioni ecologiche su utilizzo e gestione per prati a bassa manutenzione
Silvia Assolari, dott. Biologia, dott. di ricerca in Economia, ecologia e tutela dei sistemi agricolo e paesistico-ambientali, titolare SemeNostrum, Udine
- 12:00 *Nature-based Solutions*: sistemi innovativi per una natura urbana più performante
Valentina Galiulo, dottorando di ricerca, LAND Italia Srl, Milano
- 12:15 Pattern biomimetici per la progettazione di soluzioni basate sulla natura
Leonardo Marotta, dott. Scienze ambientali, Studio Entropia/Atlantis, Recanati (MC)
- 12:30 *NbS*, fornitura di habitat e modelli ecologici
Daniele Brigolin, professore, BIO/07 Ecologia, Università Iuav di Venezia

12:45 – 13:15 Panel discussion

13:15 – 14:30 Pausa pranzo

Sessione 3: Impatti sul microclima urbano e benefici termici
modera Massimiliano Scarpa

- 14:30 Modellazione termo-igrometrica a supporto della progettazione di *Nature-based Solutions*
Massimiliano Scarpa, professore, ING-IND/11 Fisica tecnica ambientale, Università Iuav di Venezia
- 14:45 Comportamento termico di una copertura innovativa a verde estensivo: monitoraggio di un campo-prove
Elena Giacomello, ricercatore, ICAR/12 Tecnologia dell'architettura, Università Iuav di Venezia

- 15:00 Il progetto dei tetti verdi degli ospedali San Raffaele e Galeazzi Sant'Ambrogio – Gruppo San Donato
Massimo Semola, architetto, Studio Architettura del Verde, Inverio (NO)

**Sessione 4: Gestione, manutenzione e fabbisogno idrico della vegetazione
modera Maurizio Crasso**

- 15:15 Conoscenze teoriche e applicate delle relazioni pianta acqua per minimizzare il fabbisogno idrico del verde pensile
Andrea Nardini, professore, BIO/04 Fisiologia vegetale, Università degli Studi di Trieste
- 15:30 Aspetti chiave per pareti vegetate sostenibili
Paolo Pignataro, dott. Agronomia, fondatore Divomì-Design Vivo, Milano
- 15:45 Florovivaismo italiano: tendenze attuali e prospettive future
Edoardo Sciutti, libero professionista, consulente tecnico di ANVE – Associazione Nazionale Vivaisti Esportatori
- 16:00 Il piano di gestione del patrimonio arboreo. Far vivere gli alberi per far vivere la città
Ciro Degl'Innocenti, dott. Scienze agrarie, Caposettore verde pubblico, parchi e agricoltura urbana, Comune di Padova

16:15 – 16:45 Panel discussion



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 \(francoangeli.it\)](http://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 termoeconomica 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