

RETI ECOLOGICHE, GREENING E GREEN INFRASTRUCTURE
NELLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO E DEL PAESAGGIO

NATURE BASED SOLUTIONS E TERRITORIO: PRENDERSI CURA DELLA NATURA CON LA NATURA



NBS, LA NATURA CI INSEGNA COME AFFRONTARE LE SFIDE LEGATE ALL'URBANIZZAZIONE

[Erika Brattich](#)¹, [Francesco Barbano](#)¹, [Carlo Cintolesi](#)¹, [Francesco Pilla](#)², [Beatrice Pulvirenti](#)³,
[Silvana Di Sabatino](#)¹

¹Università di Bologna - Dipartimento di Fisica e Astronomia

²University College Dublin - Department of Planning and Environmental Policy

³Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Industriale

Abstract: *Mentre il degrado attuale delle risorse naturali del pianeta comporta una minaccia sempre più grande per la biodiversità e il benessere umano, le soluzioni basate sulla natura (NBS) rappresentano un mezzo all'avanguardia e collaborativo per affrontare una varietà di sfide ambientali, sociali ed economiche, prediligendo un approccio naturale e sostenibile. Le NBS trovano diverse applicazioni, tra le quali spiccano le sfide legate all'urbanizzazione. Il seguente articolo ne presenta una panoramica basata sui risultati del progetto H2020 iSCAPE, in cui la presenza di alberi in contesto urbano è studiata come valida risorsa per mitigare l'effetto isola di calore urbana, per migliorare la qualità dell'aria e per supportare l'adattamento agli effetti avversi del cambiamento climatico.*

Parole chiave: *Nature-Based Solutions, isola di calore urbana, inquinamento urbano, adattamento ai cambiamenti climatici.*

NBS, nature teaches us how to deal with the urbanization challenges

While the nowadays decay of the natural resources of the planet is resulting in an increasingly larger threat to biodiversity and human wellbeing, Nature-Based Solutions (NBS) represent a cutting-edge and collaborative means to face a variety of environmental, social, and economic challenges favouring natural and sustainable approaches. NBS have different application fields, among which the challenges related to urbanization stand out. The following article presents an overview based on the results from the H2020 iSCAPE project, where the impact of trees in the urban area is investigated to assess their suitability in mitigating the urban heat island effect, improving urban air quality, and supporting the adaptation to the adverse effects of climate change.

Key words: *Nature-Based Solutions, urban heat island, urban air pollution, adaptation to climate change.*

INTRODUZIONE

Nonostante negli ultimi decenni ci sia stato un diffuso aumento della sensibilità alle tematiche ambientali e un moltiplicarsi di azioni volte ad affrontare l'impatto delle attività umane sull'ambiente, la degradazione

dell'ecosistema del pianeta è un processo ancora in corso con ripercussioni negative sulla biodiversità e sul benessere dell'uomo. In questo contesto, le soluzioni basate sulla natura (*Nature-Based Solution*, NBS) rappresentano uno strumento all'avanguardia

per invertire questo andamento. Le NBS sono di recente introduzione e vengono definite dall'Unione Europea come l'insieme delle "soluzioni che hanno lo scopo di aiutare le società ad affrontare una varietà di sfide ambientali, sociali ed economiche in modo sostenibile. Sono azioni ispirate, supportate o copiate dalla natura, volte sia all'uso e al miglioramento delle soluzioni esistenti, sia all'esplorazione di più innovative" (EC, 2015). Il concetto è ancora giovane e volutamente non perfettamente definito poiché in corso di assestamento.

La principale fonte di ambiguità quando ci si riferisce alle soluzioni naturali consiste nel chiarire cosa si intenda per natura e cosa sia naturale (Somarakis et al., 2019). Se da un lato questo sostantivo dal significato incerto

pone dei problemi per la ricerca scientifica nel settore, dall'altro ha il vantaggio di avere una connotazione positiva e di essere di immediata comprensione da parte del grande pubblico, favorendo così l'avvicinamento e l'adozione di queste soluzioni dalla maggior parte degli attori sociali, politici ed economici (Cohen-Shacham et al., 2019). NBS risulta quindi un termine ombrello, che non identifica un numero limitato e ben definito di azioni o dispositivi, ma raggruppa un insieme di pratiche che condividono una stessa filosofia fondante. Alla base ritroviamo il concetto di approccio sistemico, che vuole affrontare le problematiche ambientali e sociali considerando la complessità dei sistemi in gioco, integrando la totalità dei fattori e loro interazioni (Eggermont et al., 2015). Su di

TERMINE	SIGLA	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO	AMBITO DI APPLICAZIONE
Low Impact Development (Sviluppo di Basso Impatto)	LID	Barlow et al., 1977	Applicazione in maniera quasi esclusiva a problematiche relative alla gestione dei rischi idro-meteorologici, delle acque piovane, della qualità delle acque correnti e dei sistemi di drenaggio delle acque meteoriche sia in ambiente urbano che extra-urbano
Water-Sensitive Urban Design (Design Urbano Sensibile all'Acqua)	WSUD	Mouritz, 1992	
Integrated Urban Water Management (Gestione Integrata delle Acque Urbane)	IUWM	Rogers, 1993	
Sustainable Drainage Systems (Sistemi di Drenaggio Sostenibile)	SuDS	D'Arcy, 1998	
Stormwater Control Measures (Misure di Controllo delle Acque Piovane)	SCMs	National Research Council, 2008	
Green Infrastructure (Infrastruttura Verde)	GI	Forman, 1999	Pianificazione del territorio attraverso l'uso di infrastrutture verdi (e.g., alberi, cespugli, prati, parchi) e blu (e.g., fiumi, canali, golene)
Blue-Green Infrastructure (Infrastruttura Blu-Verde)	BGI	Benedict e McMahon, 2006	
Ecosystem-based Disaster Risk Reduction (Riduzione del Rischio di Disastri Ecosistemici)	Eco-DRR	Estrella e Saalismaa, 2013	Pianificazione del territorio basata sulla preservazione, gestione e sviluppo di ecosistemi sostenibili e resilienti
Ecosystem Services (Servizi Ecosistemici)	ESS	MEA, 2005	
Ecosystem-based Adaptation (Adattamento Ecosistemico)	EbA	CBD, 2009	
Best Management Practices (Migliori Pratiche di Gestione)	BMPs	Strecker et al., 2001	Sviluppo di pratiche per la gestione e lo sviluppo di soluzioni sostenibili

Tabella 1. Differenti termini utilizzati in letteratura e confluiti nel concetto moderno di NBS (fonte: elaborazione degli Autori).

esso si innestano altre caratteristiche delle NBS quali la sostenibilità nel tempo e nello spazio, l'adattabilità a differenti scenari in evoluzione, la polivalenza per benefici multipli e un rapporto costo-beneficio positivo (Ruangpan et al., 2020). Il concetto di NBS ha subito una profonda evoluzione in funzione degli aspetti o dei processi naturali per i quali è stato adottato (Fletcher et al., 2015; Nesshöver et al., 2017; Ruangpan et al., 2020); nel tempo, diversi termini gemelli o precursori sono stati utilizzati a seconda degli ambiti applicativi (Tabella 1).

In questa evoluzione, le NBS hanno finito per includere soluzioni naturali ed ecosostenibili, volte a coprire simultaneamente un ampio spettro di problematiche sociali ed ambientali (Dimitru e Wendling, 2021). Questo ruolo multifunzionale delle NBS conferisce loro un grande potenziale di utilizzo in contesti socioeconomico-ambientali di caratura mondiale (Somarakis et al., 2019), rendendoli uno strumento ideale al perseguimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile definiti dall'ONU (Faivre et al., 2017). La Commissione Europea sta promuovendo lo sviluppo e la diffusione delle NBS al fine di promuovere il ruolo dell'UE come leader mondiale nel settore ed esplorare i loro benefici in differenti contesti, quali: lo sviluppo di un'urbanizzazione sostenibile, la preservazione e rigenerazione degli ecosistemi, l'adattamento al cambiamento climatico e la gestione delle situazioni di rischio. In particolare, diversi progetti europei in ambito urbano hanno ripreso il concetto di infrastrutture verdi (*Green Infrastructure*, GI), utilizzando tecniche di rigenerazione e rinverdimento del tessuto cittadino come mezzo per uno sviluppo sostenibile a livello urbanistico-progettuale, sociale ed ambientale

(e.g. [CLEARING HOUSE](#), [CLEVER Cities](#), [CONNECTING Nature](#), [GREEN SURGE](#), [GROW GREEN](#), [Nature4Cities](#), [NATURVATION](#), [proGReg](#), [UNaLab](#), [URBAN GreenUP](#), [URBINAT](#), [iSCAPE](#)), in connessione con la sostenibilità alimentare (e.g. [EdiCitNet](#)), l'incremento della biodiversità (e.g. [EnRoute](#), [REGREEN](#)) e la preservazione dell'ecosistema (e.g. [NAIAD](#), [OPERAs](#)). Applicazioni nell'ambito della biodiversità e dei servizi per gli ecosistemi in senso più ampio si hanno nei progetti come BiodivERsA e Eklipse. L'uso delle NBS ha riguardato anche la gestione del territorio e del suolo (e.g. [Inspirations](#)), con particolare enfasi sulla riduzione del rischio idro-meteorologico (e.g. [OPERANDUM](#), [PHUSICOS](#), [RECONNECT](#)) in ambiente rurale. Infine, parallelamente ai progetti di cui sopra, sono nate diverse piattaforme virtuali (e.g. [ThinkNature](#), [Oppla](#), [SCIS](#), [CLIMATE-ADAPT](#), [SUSTAINABLE CITIES PLATFORM](#)) volte a favorire il dialogo e a promuovere l'uso delle NBS.

NBS NEL PROGETTO iSCAPE

Le infrastrutture verdi come soluzioni NBS a problematiche ambientali

Come accennato, le NBS trovano nell'ambiente urbano un'area di applicazione in cui riescono a garantire diversi benefici. È ormai noto come l'aumento di GI, quali alberature e spazi verdi, possano favorire il raffrescamento e la riduzione dei rischi da alluvioni, la cattura di anidride carbonica, la riduzione dell'effetto isola di calore urbana e del consumo energetico degli edifici, la conservazione della biodiversità e degli habitat così come il miglioramento del benessere e della salute umana (e.g. Seddon et al., 2020), fornendo al contempo luoghi di ricreazione e divertimento che migliorano il

benessere dei cittadini (e.g. Pennino et al., 2016; Saleh e Weinstein, 2016; Sutton-Grier et al., 2015). Risulta inoltre molto promettente l'uso delle GI in ambiente urbano come metodo di adattamento a numerosi tra gli impatti del cambiamento climatico, tra i quali la prevenzione nei confronti degli eventi estremi (Zuniga-Teran et al., 2020). Al contrario, l'effetto delle GI sul miglioramento della qualità dell'aria risulta controverso e ancora oggetto di dibattito. Da una parte la vegetazione agisce come un filtro che cattura gli inquinanti per deposizione (Hewitt et al., 2020), dall'altra l'efficacia di questi filtri dipende essenzialmente da una combinazione di fattori quali la morfologia urbana ed il tipo, posizione e configurazione delle GI (Abhijith et al., 2017). Infatti, esse inducono effetti aerodinamici che influenzano le concentrazioni di inquinanti in vario modo a seconda del tipo di ambiente e di condizioni meteorologiche: lungo strade aperte (ovvero non fiancheggiate da edifici) gli effetti di deposizione e di aumentata turbolenza provocati dalla vegetazione possono ridurre efficacemente le concentrazioni di inquinanti (Abhijith e Kumar, 2019); al contrario, all'interno di canyon urbani (strade delimitate da file di edifici affiancati), l'interazione con la ventilazione atmosferica può portare a risultati estremamente diversi a seconda delle caratteristiche della GI utilizzata, quali in particolare la densità fogliare e la dimensione fisica degli alberi, ma anche della peculiare configurazione scelta per piantare gli alberi (numero di file, spaziatura tra gli alberi). Un design informato risulta pertanto essenziale per assicurare i benefici rispetto ai potenziali impatti avversi. Come vedremo in seguito, il lavoro condotto all'interno del progetto H2020 iSCAPE *Improving the Smart Control of Air*

Pollution in Europe è risultato di fondamentale importanza per comprendere gli effetti dell'inserimento di vegetazione all'interno del tessuto urbano, con lo scopo di derivare raccomandazioni di carattere generale per ridurre l'esposizione dei cittadini all'inquinamento atmosferico ([Kumar et al., 2019](#); [Ottosen et al., 2019](#); [Valappil et al., 2019](#)).

Uso degli alberi per ridurre gli effetti dell'isola di calore urbana

Il termine isola di calore urbana (*Urban Heat Island - UHI*) si usa per identificare un significativo aumento di temperatura riscontrato in un'area urbana (o metropolitana) rispetto alla campagna che la circonda. Tale fenomeno è dovuto all'urbanizzazione del territorio (e.g. Solecki et al., 2005) che comporta da un lato un aumento del calore antropico rilasciato localmente (Heisler e Brazel, 2010), dall'altro la sostituzione di terreni agricoli o boschivi con aree asfaltate e cementificate che favoriscono l'accumulo del calore ambientale (Heisler e Brazel, 2010). Recentemente si è iniziato ad investigare l'effetto isola di calore rispetto alla composizione interna del tessuto urbano, cioè il surriscaldamento differenziato di diverse aree della stessa città. Ad esempio, l'intensità dell'isola di calore urbana è maggiore in un centro storico caratterizzato da un'alta densità di palazzi rispetto ad un'area residenziale a maggior copertura vegetativa (Di Sabatino et al., 2020). Questa disomogeneità porta a una differenziazione di problematiche e fabbisogni energetici, sociali ed ambientali nei diversi quartieri (Zhou et al., 2010; Moonen et al., 2012) che non possono essere trascurati.

Le NBS basate sul concetto di GI rappresen-

tano un'infrastruttura sostenibile e naturale con il potenziale per mitigare l'effetto isola di calore urbana e le criticità ad essa connesse. In questo contesto il progetto iSCAPE si è proposto di valutare i benefici che possono derivare dalla presenza di alberi all'interno delle città. Lo studio si è focalizzato sulla città di Bologna, per la quale l'intensità dell'effetto isola di calore su diverse scale spaziali (tra città e campagna circostante, ma anche tra i quartieri cittadini) è stata messa in relazione alla circolazione atmosferica locale e la qualità dell'aria. Questo studio ha lo scopo di identificare le problematiche annesse al fenomeno e permettere lo sviluppo di soluzioni di matrice naturale e sostenibile, promuovendo un responsabile uso della piantumazione e del rinverdimento urbano come mezzo per contrastare gli effetti dell'isola di calore urbana in maniera duratura. Per questo si sono analizzati i dati di temperatura e velocità del vento raccolti da stazioni meteorologiche permanenti presenti all'interno della città e nella campagna

pianeggiante a nord (Mezzolara), unitamente alle misure effettuate in due canyon urbani (tramite campagne di misure mirate e previste dal progetto) rappresentativi di altrettanti quartieri, uno centrale e densamente costruito (via Marconi) e uno residenziale ampiamente vegetato (via Laura Bassi Veratti). A queste ultime si è aggiunta la misura dei più comuni inquinanti atmosferici emessi dal traffico veicolare per le valutazioni relative alla qualità dell'aria. La Figura 1 (pannello di destra) mostra le differenze di temperatura tra diversi quartieri della città e l'area rurale limitrofa al paese di Mezzolara. Durante le ore notturne le temperature interne al tessuto urbano raggiungano un'eccedenza di 6-7 °C rispetto alla campagna, contribuendo all'effetto isola di calore urbano-rurale. Risulta inoltre evidente una differenza fino a 2 °C tra un quartiere centrale densamente costruito come via Marconi ed un quartiere residenziale e vegetato come Laura Bassi Veratti, verificando le potenzialità delle GI nel mitigare l'isola di calore. Anche all'interno della stessa

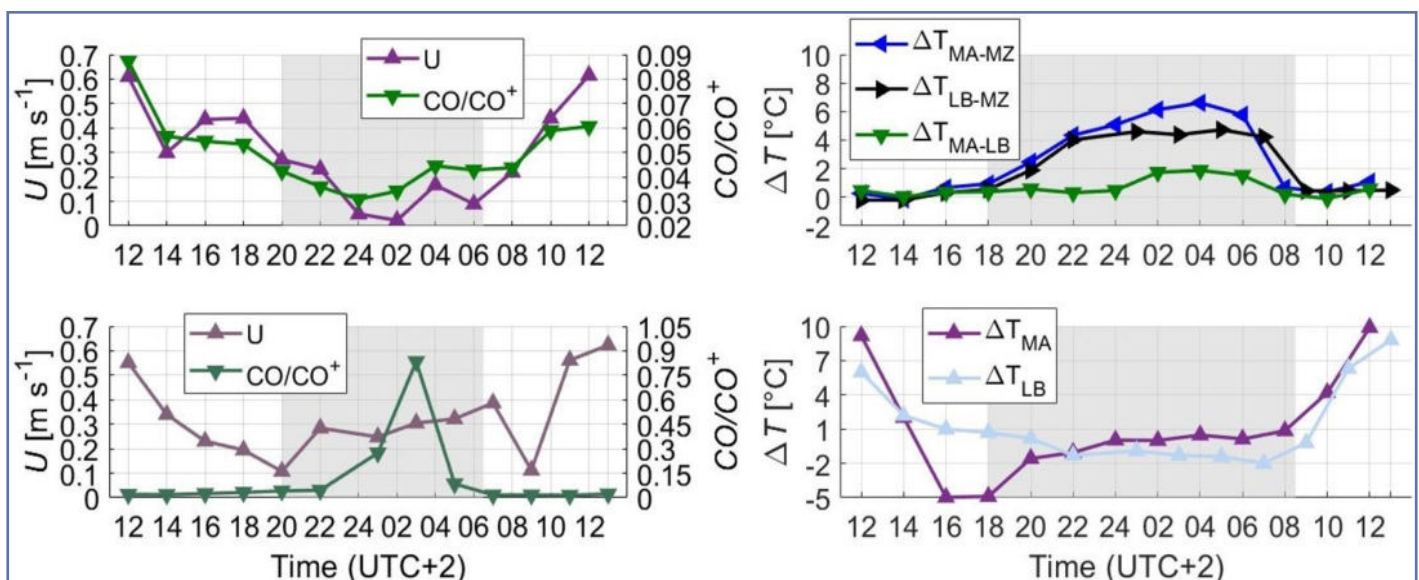


Figura 1. (Sinistra) Velocità della Urban Heat Island - UHI e concentrazioni di CO in Marconi (alto) e Laura Bassi Veratti (basso); (Destra) Differenze di temperatura tra/in via Marconi MA, via Laura Bassi Veratti LB e Mezzolara MZ (fonte: Di Sabatino et al., 2020 modificata dagli Autori).

strada si notano differenze di temperatura variabili durante la giornata per effetto della differente insolazione degli edifici durante il giorno. In quest'ultimo caso, gli effetti termici in gioco contribuiscono a determinare la circolazione dell'aria all'interno del canyon urbano.

Tale circolazione può essere messa in relazione alla concentrazione degli inquinanti (come fatto con il monossido di carbonio CO in Figura 1, pannello di sinistra) per valutare gli effetti sulla rimozione dell'inquinante dalla strada. Sono nuovamente evidenti le differenze tra i due siti di misura: in assenza di alberi, la circolazione tende a ricalcare in buona approssimazione l'andamento delle concentrazioni, mostrando così un rapporto diretto tra effetti termici e inquinamento locale. Al contrario, tale rapporto si perde in presenza di alberi, i quali, in aggiunta ad una morfologia meno compatta del canyon, tendono a slegare l'andamento diurno delle concentrazioni di inquinanti dall'intensità della circolazione all'interno del canyon e a creare benefici in termini di qualità dell'aria. Così facendo, si sono potuti stimare i benefici apportati dalla presenza degli alberi in ambiente urbano relativamente alla mitigazione dell'isola di calore urbana e all'inquinamento ad essa legato. Va ricordato tuttavia come una singola evidenza sperimentale non costituisca una prova inequivocabile; un'errata specie vegetale, o disposizione della stessa in un contesto urbano inadeguato ad ospitarla, può comportare un locale peggioramento della qualità dell'aria e uno spreco di risorse per il mantenimento dell'elemento vegetale. Pertanto, solo una corretta piantumazione permettere di ottenere benefici di breve e lungo corso per l'ambiente urbano e la salute dei suoi abitanti.

Uso della vegetazione verticale per migliorare la rimozione di inquinanti

Lo studio della qualità dell'aria è un campo complesso, soprattutto poiché coinvolge fenomeni su diverse scale spaziali e temporali; tuttavia, è stato estensivamente esplorato dalla comunità scientifica (Fernando et al., 2010) anche a causa del suo impatto sulla salute umana (Cohen et al., 2017). Tipicamente affrontata per mezzo delle più moderne tecniche di simulazione numerica, la dispersione di inquinanti in area urbana rappresenta un argomento di forte interesse per migliorare la salubrità delle città e per una progettazione avveduta dei nuovi quartieri, e tuttavia richiede la disamina di tutti i processi fisico-chimici alla base del fenomeno e la loro contestualizzazione nel tessuto urbano (Tiwari et al., 2019). Le città, infatti, possono avere morfologie estremamente diverse; tuttavia, il canyon urbano è considerato l'unità di base di ogni città. L'inquinante è rilasciato dal traffico al livello della strada e il vento sopra gli edifici induce una circolazione interna che è il principale meccanismo di ricambio d'aria all'interno del canyon, e quindi di rimozione e dispersione degli inquinanti in atmosfera. Questa geometria, benché semplificata, offre le possibilità di analizzare meccanismi di base comuni alla gran parte dei sistemi cittadini ed è stato ampiamente studiato sia in campo reale, sia con esperimenti di laboratorio e simulazioni numeriche.

Diverse NBS sono state introdotte ed analizzate al fine di diminuire la concentrazione degli inquinanti nei canyon urbani. Tra queste, l'introduzione di siepi tra strada e marciapiede per evitare la diffusione degli inquinanti nelle zone pedonali, tappeti verdi sulle facciate degli edifici per la deposizione del particolato, e alberature nei

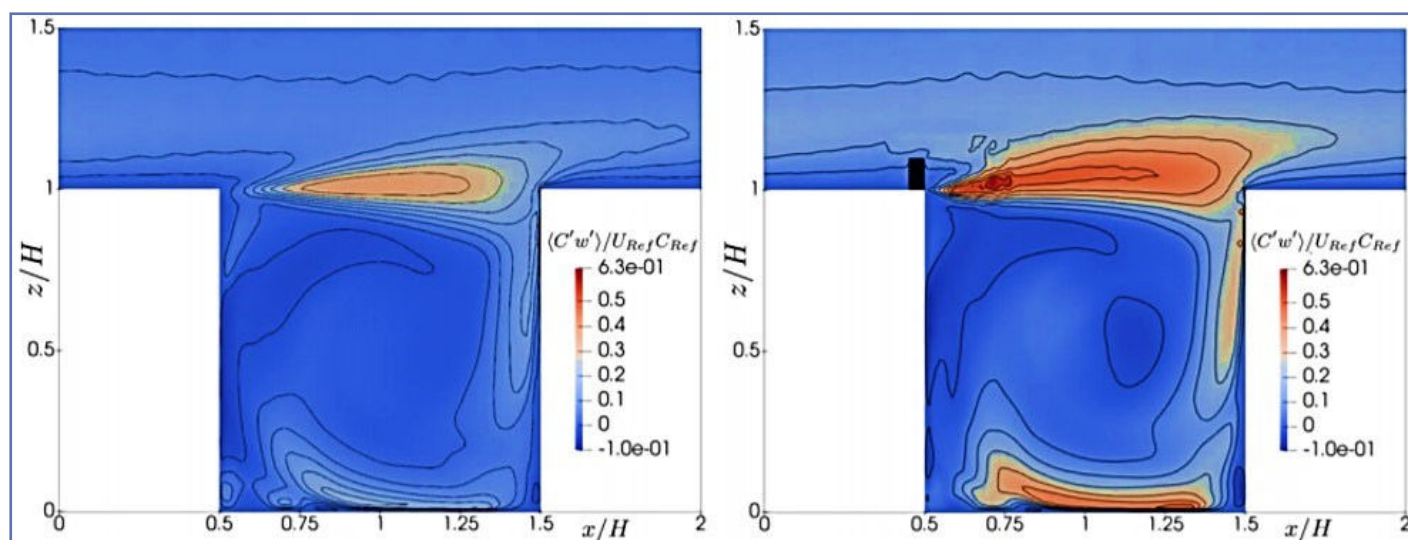


Figura 2. Flusso medio turbolento di concentrazione di inquinanti in canyon urbano, quadrato di altezza e larghezza H , senza infrastrutture sul tetto (Sinistra) e con infrastrutture sul tetto (Destra) (fonte: Cintolesi et al., 2021 modificata dagli Autori).

viali per sfruttare il loro effetto filtro e la deposizione sulle foglie delle polveri sottili. Quest'ultima NBS è piuttosto diffusa. Le analisi hanno mostrato che seppur il fogliame sia efficace nel catturare gli inquinanti, la presenza delle chiome inibisce il ricircolo d'aria al livello della strada, causando così una diminuzione della ventilazione e un aumento del ristagno dell'aria (Amorim et al., 2013; Barbano et al., 2020). Questo effetto collaterale porta a risultati non univoci: a seconda di parametri quali, ad esempio, l'intensità del vento e l'ampiezza della strada, le alberature possono aumentare o diminuire la concentrazione locale di inquinanti. A tale scopo, risulta pertanto necessaria una valutazione preliminare della disposizione degli alberi rispetto al tessuto urbano preesistente e le caratteristiche termodinamiche tipiche di ogni contesto urbano (Barbano et al., 2020).

Recentemente si è proposto di inserire infrastrutture verdi sul tetto degli edifici, per esempio alberi o siepi compatte. In questo caso, la vegetazione agisce come generatore

di turbolenza all'interfaccia tra canyon e atmosfera. Uno studio preliminare condotto a latere del progetto iSCAPE tramite simulazioni numeriche ad alta risoluzione mostra come queste NBS permettano una riduzione della concentrazione di inquinanti del 34% all'interno dei canyon urbani (Cintolesi et al 2021). Infatti, la perturbazione indotta al livello del tetto degli edifici innesca dei processi di mescolamento turbolento che contribuiscono in modo sostanziale ad aumentare gli scambi verticali di massa con l'atmosfera sovrastante, si veda la distribuzione dei flussi turbolenti di concentrazione in Figura 2. Ulteriori studi sono necessari per esplorare gli effetti di queste soluzioni; tuttavia, le premesse sono incoraggianti e la loro implementazione su edifici moderni non presenta particolari ostacoli oltre a suggerire benefici aggiuntivi dati dall'aumento delle zone verdi in aree cittadine. Inoltre, l'uso di infrastrutture verdi per questo particolare scopo può comportare ulteriori benefici ambientali, riducendo l'effetto isola di calore a scala urbana, ed energetici, riducendo il fabbisogno energetico dell'edificio

ospitante il tetto verde. Questa soluzione fornisce pertanto un risultato ottimale dal punto di vista economico ed ambientale, nuovamente ecosostenibile se opportunamente implementata e gestita.

Le infrastrutture verdi per l'adattamento ai cambiamenti climatici

Come ormai noto da diversi studi (e.g. Franca et al., 2020), il cambiamento climatico impatta soprattutto su intensità e frequenza degli eventi estremi piuttosto che sulle condizioni medie. In questo contesto, le strategie di adattamento attuale al cambiamento climatico riconoscono sempre più un ruolo centrale delle NBS per affrontare e mitigare le numerose conseguenze economiche, sociali e sanitarie di questi eventi (EEA, 2021). È evidente, quindi, che per formulare correttamente delle politiche e piani di adattamento e mitigazione del cambiamento climatico, le amministrazioni locali e nazionali debbano tenere in considerazione gli specifici rischi associati al cambiamento climatico a livello non solo nazionale, ma anche regionale e locale. Questo ultimo aspetto pone in evidenza la necessità di stabilire un dialogo e uno scambio tra amministrazioni locali, regionali, nazionali e internazionali, cittadini e comunità scientifica. Nel progetto H2020 iSCAPE questo scambio e collaborazione tra i diversi attori sono state realizzate tramite la creazione di sei Living Labs in altrettante città europee (Bologna in Italia, Bottrop in Germania, Dublino in Irlanda, Guildford in Regno Unito, Hasselt in Belgio e Vantaa in Finlandia), impattate in maniera diversa dai cambiamenti climatici. Nel corso del progetto i Living Lab hanno organizzato una serie di eventi su varie tematiche di rilevanza per la città ospitante, con lo scopo principale di

facilitare il confronto e gli scambi di idee tra la comunità scientifica, i cittadini e le amministrazioni locali. In particolare, le proiezioni climatiche indicano che le principali problematiche idrometeorologiche per Bologna saranno legate soprattutto ad un aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore e dei periodi siccitosi specialmente nella stagione estiva ([Jyhlä et al., 2019](#)). Le strategie per la mitigazione e l'adattamento di tali eventi e dei rischi economici e sociosanitari ad essi collegati sono basate soprattutto sull'aumento delle aree verdi urbane, nonché sul miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. In seguito ad un incontro con un campione di liberi partecipanti provenienti dalla comunità locale di Bologna e volto alla co-pianificazione del rinverdimento urbano (*Let's plan the green together*, [Rihal et al., 2019](#)), si è valutato in dettaglio l'efficacia delle alberature nel mitigare contemporaneamente l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico, focalizzandosi in particolare sulla zona di via Marconi ([Di Sabatino et al., 2019a](#)). Sono state sviluppate apposite tecniche atte da un lato a rappresentare la presenza degli alberi in modelli numerici sia di dispersione ([Di Sabatino et al., 2019a](#); [Tiwari et al., 2019](#)) che di fluidodinamica computazionale ([Ottosen et al., 2018](#)), e dall'altro a rappresentare gli effetti del cambiamento climatico sui parametri meteorologici a scala locale ([Di Sabatino et al., 2019b](#)).

I risultati (Figura 3) mostrano che le alberature rappresentano un approccio efficace per contrastare il cambiamento climatico, con una riduzione contemporanea sia delle temperature sia delle concentrazioni di inquinanti osservate all'interno di canyon urbani come quello di via Marconi a Bologna.

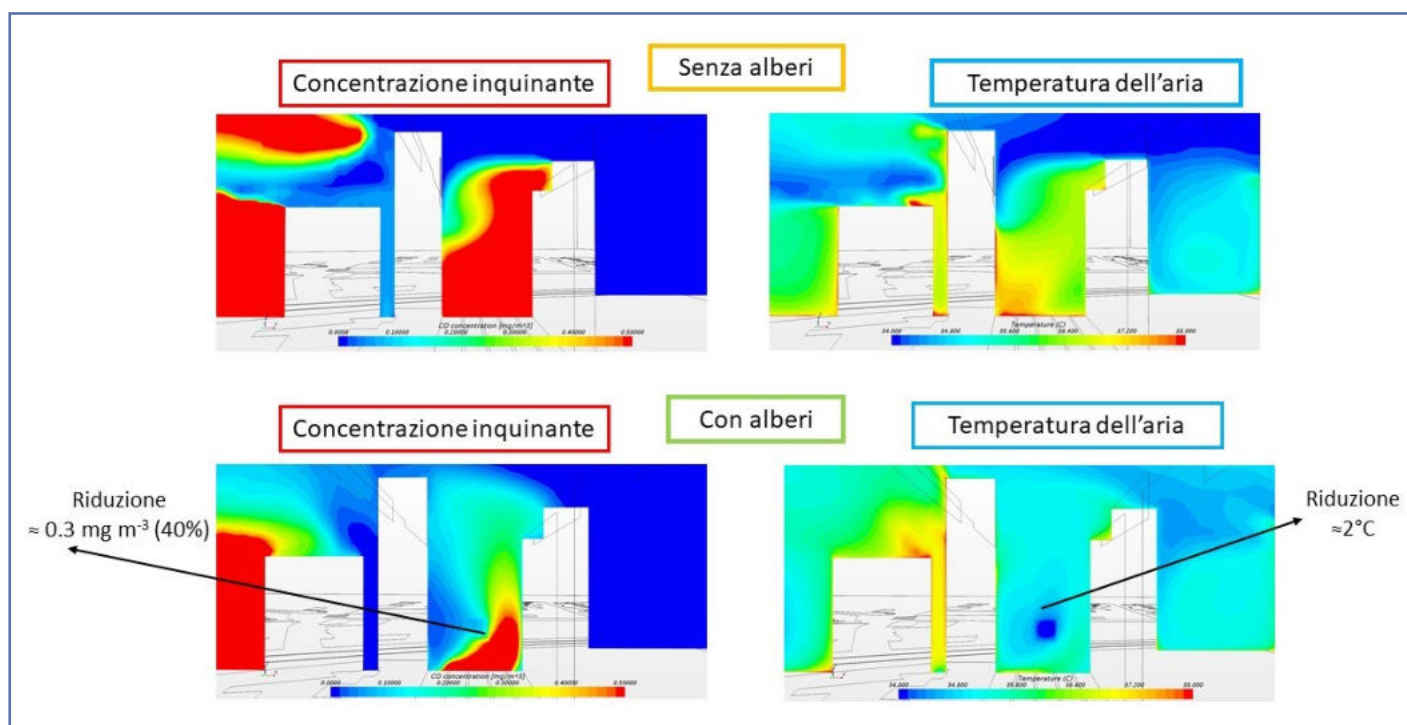


Figura 3. (Sinistra) Concentrazioni di CO e (Destra) temperatura dell'aria in via Marconi per lo scenario di clima futuro senza (alto) e con (basso) presenza di alberi nello street canyon (fonte: Di Sabatino et al., 2019a modificata dagli Autori).

In definitiva, un approccio che combina i risultati di diverse tecniche di analisi con la corretta gestione delle GI permette di definire le migliori strategie di adattamento al cambiamento climatico in relazione alle specifiche necessità dei differenti contesti urbani europei o mondiali.

CONCLUSIONI

In questo articolo abbiamo descritto come il concetto di soluzioni basate sulla natura sia in continua evoluzione e come i contenuti più prettamente tecnico-scientifici siano in via di definizione nell'ambito di diversi progetti Europei. È stato dimostrato come tali soluzioni permettano alla comunità scientifica e alla società civile di interagire in modo coordinato per affrontare le numerose sfide sociali, ambientali ed economiche poste dal cambiamento climatico e dalla rapida urbanizzazione nel campo della sostenibilità.

Nello specifico abbiamo qui presentato i risultati ottenuti nella città di Bologna nell'ambito del progetto H2020 iSCAPE. La valutazione degli impatti relativi alla presenza di alberi all'interno di canyon urbani ha permesso di valutare i benefici che specifiche infrastrutture verdi hanno sull'isola di calore urbana e l'inquinamento dell'ambiente urbano sia attuale che potenziale in visione dei più probabili cambiamenti climatici. Gli studi hanno dimostrato un'effettiva riduzione della temperatura dell'aria in quartieri dalla marcata copertura vegetativa rispetto ad altri maggiormente edificati, con possibili ripercussioni sulla ventilazione e la rimozione degli inquinanti. Rimozione degli inquinanti che può essere ulteriormente incentivata tramite una corretta scelta della tipologia di pianta e collocazione della stessa all'interno del tessuto urbano; questo garantirebbe di massimizzare il locale miglioramento della

qualità dell'aria per effetto di una favorevole ventilazione e della deposizione e traspirazione delle chiome. In ultimo, è stato possibile evidenziare come le alberature abbiano un potenziale impatto positivo anche sulla mitigazione degli effetti del cambiamento climatico, migliorando l'adattamento degli ambienti urbani alle ondate di calore che, come indicano le proiezioni climatiche, diventeranno maggiormente frequenti ed intense nel prossimo futuro. Cionondimeno tali risultati offrono ulteriori spunti di analisi ecosistemica: così come una specifica specie arborea può massimizzare la mitigazione di effetti ambientali avversi, essa può costituire un valore aggiunto in termini di conservazione e crescita della biodiversità urbana. Accostando diverse NBS si incentiverebbe pertanto la creazione di aree verdi ad elevata sostenibilità ambientale ed energetica, preservando al contempo un habitat naturale sinergico con quello antropico. Questi risultati hanno portato i ricercatori del progetto iSCAPE a co-creare assieme alle autorità locali e regionali ed ai cittadini, una serie di raccomandazioni generali, linee guida, raccomandazioni normative (o policy briefs) e materiali didattici ([Kumar et al., 2019](#); [Vaittinen et al., 2019](#)) per l'implementazione di queste soluzioni in diversi contesti urbani. In definitiva, il lavoro condotto all'interno del progetto iSCAPE ha permesso di migliorare la comprensione delle interazioni tra vegetazione e le aree costruite, promuovendo la sinergia e il lavoro di ricerca congiunto tra accademici, decisori politici, amministrazioni locali e regionali, e cittadini allo scopo di introdurre e valutare l'uso di soluzioni naturali in grado di preservare o migliorare la vivibilità delle nostre città.

BIBLIOGRAFIA

Abhijith K.V., Kumar P., Gallagher J., McNabola A., Baldauf R., Pilla F., Broderick B., Di Sabatino S., Pulvirenti B., 2017. *Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – a review*. Atmos Environ 162:71-86.

Abhijith K.V., Kumar P., 2019. *Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions*. Atmos Environ 201 :132-147.

Amorim J.H., Rodrigues V., Tavares R., Valente J., Borrego C., 2013. *CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion*. Science of The Total Environment, 461–462:541-551.

Barbano, F., Di Sabatino, S., Stoll, R., Pardyjak, E., 2020. *A numerical study of the impact of vegetation on mean and turbulence fields in a European-city neighbourhood*. Building and Environment, 186, 107293.

Barlow D., Burrill G., Nolfi J., 1977. [Research report on developing a community level natural resource inventory system: Center for Studies in Food Self-Sufficiency](#).

Benedict M.A., McMahon E.T., 2006. *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Urban Land (vol. June).

CBD (Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaption), 2009. *Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.

Cintolesi C., Pulvirenti B., Di Sabatino S., 2021. *Large-Eddy Simulations of Pollutant*

Removal Enhancement from Urban Canyons. Boundary-Layer Meteorol.

Cohen A.J., Brauer M., Burnett R., Anderson H.R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R., Feigin V., Freedman G., Hubbell B., Jobling A., Kan H., Knibbs L., Liu Y., Martin R., Morawska L., Pope C.A., Shin H., Straif K., Shaddick G., Thomas M., van Dingenen R., van Donkelaar A., Vos T., Murray C.J.L., Forouzanfar M.H., 2017. *Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the global burden of diseases study 2015*. *Lancet* 389 (10082):1907–1918.

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., Walters G., 2019. *Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions*. *Environmental Science & Policy* 98:20-29.

D'Arcy B.J., 1998. *A new Scottish approach to urban drainage in the developments at Dunfermline*. Proceedings of the Standing Conference on Stormwater Source Control, Coventry, UK.

Di Sabatino S., Brattich E., Di Nicola F., Jyhlä K., Fortelius C., Saranko O., Basu B., Gallagher J., McNabola A., Pilla F., 2019a. [iSCAPE D6.5: Detailed report on the effect of PCSs on air quality in the future CC \(2050\) in target cities](#).

Di Sabatino S., Brattich E., Di Nicola F., Barbano F., Adnan M., Ahmed S., Jyhlä K., Ruosteenoja K., Deserti M., Agostini C., Poluzzi V., 2019b. [iSCAPE D4.5: Report on policy options for AQ and CC](#).

Di Sabatino S., Barbano F., Brattich E., Pulvirenti B., 2020. *The Multiple-Scale Nature of Urban Heat Island and Its Footprint on Air Quality in Real Urban Environment*. *Atmos* 11 (11):1186.

Dumitru A., Wendling L., 2021. *Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners*. European Union, Brussels.

EC (European Commission), 2015. *Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities, Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities*, European Union, Brussels.

EEA (European Environment Agency), 2021. *Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*. EEA Report No 01/2021, European Union, Brussels.

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 – Ecol Perspect Sci Soc* 24:243–248.

Estrella M., Saalismaa N., 2013. *Ecosystem-based disaster risk reduction (Eco-DRR): An overview*. In: *The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction*, edited by: Renaud F. G., Sudmeier-Rieux K., Estrella M., United Nations University Press, Tokyo, Newyork, Paris, 26–54.

Faivre N., Fritz M., Freitas T., de Boissezon B., Vandewoestijne S., 2017. *Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges*. *Environ Res* 159:509–518.

Fernando H., Lee S., Anderson J., Princevac M., Pardyjak E., Grossman-Clarke S., 2010. *Urban fluid mechanics: air circulation and contaminant dispersion in cities*. Environ Fluid Mech 1:107–164.

Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W. F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J.L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., Viklander M., 2015. *SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. Urban Water J. 12:525–542.

Franca F.M., Benkwitt C.E., Peralta G., Robinson J.W.P., Graham N.A.J., Tylanakakis J.M., Bernguer E., Lees A.C., Ferreira J., Louzada J., Barlow J., 2020. *Climatic and local stressor interactions threaten tropical forests and coral reefs*. Phil Trans R Soc 375:20190116.

Forman R.T., 1999. *Horizontal processes, roads, suburbs, societal objectives, and landscape ecology*. In: Landscape Ecological Analysis. London: Springer, 35–53.

Heisler G.M., Brazel A.J., 2010. *The urban physical environment: Temperature and urban heat islands*. Urb Ecosys Ecology, Agron Monogr 55:29-56.

Hewitt C.N., Ashworth K., MacKenzie A.R., 2020. *Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ)*. Ambio 49:62–73

Jyhä K., Fortelius C., Saranko O., Ruosteenoja K., Di Sabatino S., Brattich E., 2019. [iSCAPE D6.4: Detailed report on local meteorological conditions](#).

Kumar P., Omidvarborna H., Valappil A.P., Kalaiarasan G., Ottosen T., Barwise Y., Tiwari A., Hama S., Debele S., Mäkelä A.,

Jyhä K., Di Sabatino S., Brattich E., Pulvirenti B., Othmer F.J., Fuchs M., Basu B., Pilla F., McNabola A., 2019. [iSCAPE D7.2: Generalised Recommendations regarding Passive Control Systems for Improved Air Quality and Climate Change Mitigation](#).

MEA, 2005. *Millennium assessment report. Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Wahsington DC.

Moonen P., Defraeye T., Dorer V., Blocken B., Carmeliet J., 2012. *Urban physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand*. Front Archit Res 1:197–228.

Mouritz M., 1992. *Sustainable urban water systems; policy & professional praxis*. Murdoch University, Perth, Australia.

National Research Council, 2008. *Urban stormwater in the United States*. National Academies Press, Washington DC.

Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O. I., Wilkinson M. E., Wittmer H., 2017. *The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective*. Sci Total Environ 579:1215–1227.

Ottosen T., Valappil A.K., Tiwari A., Kumar P., Briée S., Pilla F., Gharbia S., Di Sabatino S., Pulvirenti B., Baldazzi S., Brattich E., Othmer F., Schmitt J.P., Passani A., Forino G., Nurmi V., Haavisto R., Votsis A., Drebs A., Mäkelä A., 2018. [iSCAPE D5.3: Report on interventions](#).

Ottosen T., Valappil A.K., Tiwari A., Omidvarborna H., Kumar P., Marinelli M.C., Pilla F., Gharbia S., Di Sabatino S., Pulvirenti

B., Barbano F., Baldazzi S., Brattich E., Faulenbach L., Fuchs M., Nurmi V., 2019. [iSCAPE D5.4: Strategic portfolio choice](#).

Pennino M.J., McDonald R.I., Jaffe P.R. 2016. *Watershed-Scale Impacts of Stormwater Green Infrastructure on Hydrology, Nutrient Fluxes, and Combined Sewer Overflows in the Mid-Atlantic Region*. *Science of the Total Environment* 565:1044–1053.

Rihal S., Schaaf K., 2019. [iSCAPE D2.5: Community feedback reports](#).

Rogers P., 1993. *Integrated urban water resources management*. In: *Proceedings of Natural Resources Forum*. Wiley Online Library, New York.

Ruangpan L., Vojinovic Z., Di Sabatino S., Leo L.S., Capobianco V., Oen A.M., McClain M.E., Lopez-Gunn E., 2020. *Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(1):243-270.

Saleh F., Weinstein M.P. 2016. *The Role of Nature-Based Infrastructure (NBI) in Coastal Resiliency Planning: A Literature Review*. *Journal of Environmental Management* 183:1088–1098.

Seddon N., Chausson A., Berry P., Girardin C.A.J., Smith A., Turner B., 2020. *Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges*. *Phil Trans R Soc* 375: 20190120.

Solecki W.D., Rosenzweig C., Parshall L., Pope G., Clark M., Cox J., Wiencke M., 2005. *Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey*. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1):39-49.

Somarakis G., Stagakis S., Chrysoulakis N. (Eds.), 2019. *ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook*. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 730338.

Stone B., Hess J.J., Frumkin H., 2010. *Urban form and extreme heat events: Are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities*. *Environ Health Perspect* 118:1425–1428.

Strecker E.W., Quigley M.M., Urbonas B.R., Jones J.E., Clary J.K., 2001. *Determining Urban Storm Water BMP Effectiveness*. *J Water Resour Plan Manage* 127:144–149.

Sutton-Grier A.E., Wowk K., Bamford H., 2015. *Future of Our Coasts: The Potential for Natural and Hybrid Infrastructure to Enhance the Resilience of Our Coastal Communities, Economies and Ecosystems*. *Environmental Science and Policy* 51:137–148.

Tiwari, A., Kumar, P., Baldauf, R., Zhang, K.M., Pilla, F., Di Sabatino, S., Brattich, E., Pulvirenti B., 2019. *Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models*. *Sci Tot Environ*, 672 (2019), pp. 410-426.

Vaittinen, I., Mafe, C., Enriquez, L., Zalokar, S., Hassan, C., Pilla, F., Stibe, S., Mäkelä, A., Ahmed, S., Brattich, E., Omidvarborna, H., Barwise, Y., Greiving, S., Molinari, F., Basu, B., Firus, K., Forino, G., Passani, A., Riccetti, A., Schaaf, K., Muhammad, A., Di Sabatino, S., Fuchs, M., Faulenbach, L., Othmer, F., Schmitt, J.P., Kumar, P., Kukadia, V., Camprodom, G., Athanasios, V., 2019. *iSCAPE D7.11: Living Labs for Air quality knowledge and policy package*. Available

online at: <https://www.iscapeproject.eu/results/#LivingLabsforairquality>.

Valappil A.K., Omidvarborna H., Ottosen T., Mahajan S., Kumar P., Gallagher J., Basu B., Pilla F., McNabola A., Broderick B., Pulvirenti B., Di Sabatino S., Prandini F., Baldazzi S., Brattich E., Barbano F., Drebs A., 2019. [*iSCAPE D6.2: Microscale CFD Evaluation of PCS Impacts on Air Quality*](#).

Zhou Y., Gurney K., 2010. *A new methodology for quantifying on-site residential and commercial fossil fuel CO₂ emissions at the building spatial scale and hourly time scale*. Carbon Manag 1:45–56.

Zuniga-Teran A.A., Staddon C., de Vito L., Gerlak A.K., Ward S., Schoeman Y., Hart A., Booth G., 2020. *Challenges of mainstreaming green infrastructure in built environment professions*. Journal of Environmental Planning and Management 63(4):710-732.