

## IL VERDE URBANO NELLA RIDUZIONE DEI CARICHI DI RAFFRESCAMENTO

### Simulazioni nel clima Mediterraneo

## URBAN GREEN AREAS IN THE REDUCTION OF COOLING LOADS

### Simulations in the Mediterranean climate

Carola Clemente, Massimo Palme, Anna Mangiatordi,  
Daniele La Rosa, Riccardo Privitera

#### ABSTRACT

La lotta ai cambiamenti climatici e il corretto uso del suolo rappresentano due sfide a scala globale. L'urbanizzazione e la progressiva riduzione di aree verdi e di superfici permeabili nei contesti insediativi stanno amplificando alcuni fenomeni come l'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore e l'innalzamento della temperatura media annuale con il conseguente incremento della domanda energetica per gli edifici. Il contributo esamina il potenziale di risparmio energetico ottenibile mediante la piantumazione di vegetazione arborea negli spazi aperti disponibili intorno agli edifici per diversi tessuti urbani nel clima Mediterraneo. I dati dedotti dalle simulazioni, riferiti a comparti residenziali, ampliano il quadro di conoscenze sui benefici energetico-ambientali delle Infrastrutture Verdi e sono utili a indirizzare pratiche sostenibili di rigenerazione urbana.

The fight against climate change and the right use of soil are two challenges on a global scale. The urbanization and the progressive reduction of green areas and permeable surfaces in urban settlements are amplifying some phenomena such as the increase of frequency and intensity of heatwaves and the annual average temperature, causing the growth of building energy demand. The paper examines the energy-saving potential that can be obtained by planting trees in outdoor spaces available around buildings for different urban frameworks in the Mediterranean climate. The data coming from the simulations, referred to residential sectors, expand the knowledge about the energy-environmental benefits of Green Infrastructures and are useful to guide sustainable practices of urban regeneration.

#### KEYWORDS

infrastrutture verdi, soluzioni basate sulla natura, verde urbano, riduzione dei carichi di raffreddamento sugli edifici, tessuti urbani nel clima Mediterraneo

green infrastructures, nature-based solutions, urban green areas, reduction of cooling loads on buildings, urban frameworks in the Mediterranean climate

**Carola Clemente**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the DIAP Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Mob. +39 335/42.15.98 | E-mail: carola.clemente@uniroma1.it

**Massimo Palme**, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the Universidad Técnica Federico Santa María (Chile) and Visiting Professor at the Universidad Católica del Norte (Chile). E-mail: massimo.palme@usm.cl

**Anna Mangiatordi**, Architect and PhD, is a Research Fellow and Adjunct Professor of the degree course Green Infrastructures and Biomaterials at the DIAP Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). E-mail: anna.mangiatordi@uniroma1.it

**Daniele La Rosa**, Engineer and PhD, is an Associate Professor in Urban and Environmental Planning at the Department of Civil Engineering and Architecture at the University of Catania (Italy). E-mail: dlarosa@darc.unict.it

**Riccardo Privitera**, Engineer and PhD, is a Researcher at the Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania (Italy). E-mail: riccardo.privitera@unict.it

Il surriscaldamento globale e i cambiamenti nell'uso del suolo hanno introdotto negli ultimi decenni una pressione insostenibile sul clima a scala planetaria, generando fenomeni disastrosi oltre che effetti atmosferici rilevanti sull'ambiente (EEA, 2020). Le città sono spesso esposte a eventi di calore estremo, il che determina condizioni di stress termico diffuso e, di conseguenza, un considerevole incremento dell'utilizzo di energia per il raffrescamento degli edifici (IEA, 2018). L'introduzione nelle città di Nature-based Solutions (NbS) – «[...] solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions» (European Commission, 2021) – come lo sviluppo di Infrastrutture Verdi (IV) – «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services in both rural and urban settings» (European Commission, 2013, p. 7) – rappresentano modalità affidabili per ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici e per mitigare il fenomeno dell'isola di calore (Tiwari et alii, 2021), identificandosi come strategie efficaci per la conservazione degli ecosistemi naturali, tali da orientare pratiche sostenibili di trasformazione del paesaggio urbano.

Nella zona climatica del Mediterraneo, l'inverno è piovoso con temperature miti, mentre l'estate è calda e secca, con caratteristiche tipiche propriamente dedotte dalle località. Nelle aree geografiche con clima Mediterraneo, l'inverdimento urbano è incluso tra le soluzioni per preservare il comfort outdoor e indoor e per ottimizzare i carichi energetici riferiti all'ambiente costruito (Palme, Privitera and La Rosa, 2020). La vegetazione arborea, specie quella ad alto fusto, consente l'attenuazione dell'irraggiamento solare sugli elementi di involucro opaco e trasparente degli edifici, definendo zone d'ombra che mitigano la temperatura dell'aria e innescano processi di evaporazione e di traspirazione, limitando gli scambi di onde elettromagnetiche e termiche tra le superfici, mediante la generazione di movimenti d'aria che abbassano i livelli di temperatura in atmosfera, a causa dei propri effetti (Givoni, 1991).

Le strategie di pianificazione e di progettazione a scala urbana che considerano l'introduzione di vegetazione arborea negli spazi aperti e nell'ambiente costruito possono avere risonanze significative sulla riduzione della domanda energetica, fornendo al contempo un'ampia disponibilità di aree verdi e di spazi ricreativi in grado di attivare nuovi 'servizi ecosistemici'<sup>1</sup>, migliorando la vivibilità delle città, con un ruolo essenziale nella regolazione del microclima locale e nella mitigazione dell'isola di calore (Mussinelli et alii, 2018), incidendo sul fabbisogno energetico e sui costi operativi e di gestione edilizia. Il corretto posizionamento della vegetazione arborea in prossimità degli edifici può risultare fondamentale per ottenere il massimo livello di risparmio energetico, per ridurre le emissioni inquinanti e per migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua, con importanti ricadute per il benessere outdoor e indoor degli occupanti (Santamouris and Kolokotsa, 2016).

Sebbene la ricerca internazionale sia stata finora ampiamente orientata a comprendere i benefici ambientali, economici e sociali che derivano dalla presenza di vegetazione arborea nei contesti urbani (Andreucci, 2017) – ne troviamo risulanza in una vasta diffusione di documenti di divulgazione scientifica<sup>2</sup> come nelle recenti proposte di finanziamento promosse dalla Commissione Europea<sup>3</sup> che individuano le NbS e le IV tra le soluzioni ottimali per superare la crisi post-pandemica (European Commission, 2020) e per il raggiungimento di nuovi obiettivi di sostenibilità<sup>4</sup> – ancora limitate sono le sperimentazioni che mirano a valutare gli apporti positivi in termini di risparmio energetico e di riduzione dei consumi sull'ambiente costruito, alle varie scale d'intervento. Gli studi di letteratura, laddove presenti, fanno riferimento a condizioni climatiche diverse dal Mediterraneo (Laband and Sophocleus, 2009) o a tipologie edilizie generiche, non sempre riferite a specifici tessuti insediativi (Balogun, Morakinyo and Adegun, 2014).

Inoltre, in alcuni approfondimenti di ricerca, la vegetazione arborea è posizionata in modo casuale nelle aree verdi libere in prossimità degli edifici (Calcerano and Martinelli, 2016) senza seguire precise configurazioni spaziali e trascurando le priorità d'uso che possono derivare da logiche più estese di pianificazione nelle città. Il potere benefico della vegetazione arborea negli spazi urbani può dipendere dalla morfologia degli insediamenti, dalla disponibilità di spazi all'aperto e dalla tipologia di specie arborea inserita (Privitera et alii, 2021). Occorre, in aggiunta, valutare l'impatto paesaggistico degli interventi, anche in relazione agli aspetti di crescita e di manutenzione, oltre che la fattibilità tecnica rispetto alla disponibilità economica delle committenze (pubbliche o private) e le azioni multi-sistemiche che possono derivare dalla piantumazione di alberature in determinate aree urbane.

Il contributo presenta i risultati di uno studio di simulazione<sup>5</sup> condotto in diverse località del mondo, comprese nella fascia climatica del Mediterraneo (Fig. 1), volto a stimare la riduzione dei carichi di raffrescamento sugli edifici, ottenibile mediante la piantumazione di vegetazione arborea negli spazi aperti disponibili nell'intorno urbano per differenti tessuti insediativi. Le aree metropolitane di Roma e di Catania in Italia e le città di Santiago del Cile e di Viña del Mar in Cile sono le località oggetto di studio, contraddistinte da condizioni geografiche oltre che da caratteristiche peculiari dei tessuti urbani per forma e prestazione energetica. A partire dall'analisi dei quattro ambiti macroclimatici, sono stati selezionati comparti insediativi e morfologie edilizie, generando file meteorologici urbani mediante il software Urban Weather Generator (UWG). In secondo luogo, è stata condotta una simulazione sulle prestazioni edilizie con il software TRSYS v.17 per ottenere il carico di raffrescamento annuale considerando l'apporto benefico dovuto alla presenza o all'aggiunta di vegetazione arborea negli spazi verdi liberi attorno agli edifici.

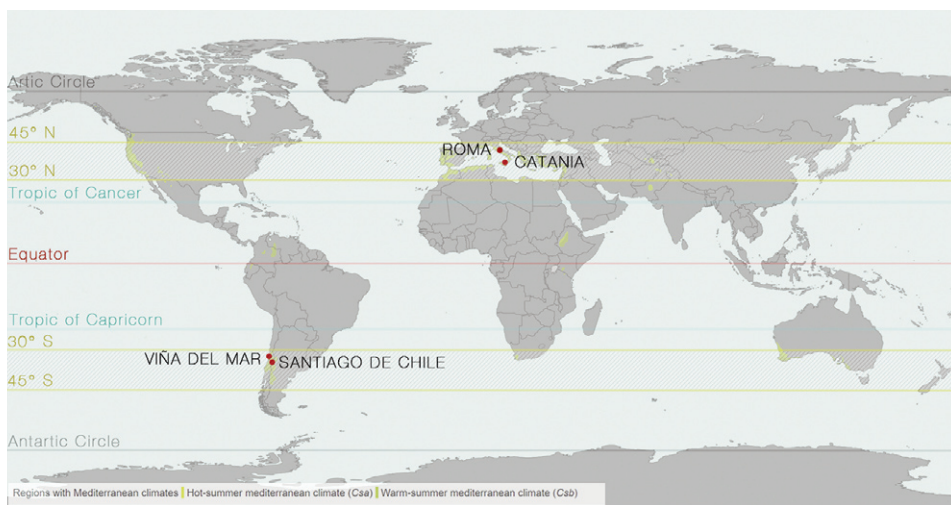
I risultati dei test di simulazione mostrano un abbassamento consistente dei carichi frigoriferi a seconda delle specie utilizzate e della loro posizione nello spazio aperto, delle tipologie edilizie e delle proprietà tecniche e dimensionali dell'edificio. Le informazioni desunte dalle simulazio-

ni integrano le conoscenze esistenti sui vantaggi delle IV e sono utili a implementare i parametri sinora adottati negli strumenti di divulgazione già in circolazione dalla ricerca internazionale<sup>6</sup>. Ulteriori sviluppi riguarderanno la realizzazione di applicativi informatizzati in grado di veicolare dati riferiti agli spazi aperti e all'ambiente costruito, riferiti alla presenza di vegetazione arborea piuttosto che di aree verdi libere in rapporto alle peculiarità dei tessuti insediativi, restituendo informazioni atte a indirizzare pratiche sostenibili di rigenerazione urbana.

**Metodologia e fasi** | La fascia del Clima Mediterraneo si configura come ambito di indagine privilegiato, particolarmente sensibile ai fenomeni legati ai cambiamenti climatici e all'effetto isola di calore urbana. Le città selezionate individuano quattro ambiti macroclimatici classificati nella mappa di Köppen-Geiger come clima temperato con estati calde e secche (Csa = warm temperate, summer dry, hot summer): Roma (41,5° N) e Catania (37,50° N), nell'emisfero nord, presentano apporti solari simili, con estati afose in Sicilia, dove le temperature superano frequentemente i 30 °C, e l'irraggiamento solare raggiunge valori elevati; Santiago del Cile (33,27° S) e Viña del Mar (33,01° S), nell'emisfero sud, si trovano a latitudini prossime tra loro e presentano temperature estive leggermente più miti, grazie alla presenza delle correnti fredde dell'Oceano Pacifico. In queste aree geografiche, la vicinanza al mare condiziona il microclima urbano, in determinati momenti dell'anno e ore della giornata, favorendo la ventilazione naturale e il raffrescamento degli spazi aperti. Tuttavia, l'ombreggiamento rappresenta un elemento determinante nella garanzia di adeguati livelli di comfort all'esterno e all'interno degli edifici, con un peso notevole sul fabbisogno energetico e sul conseguente dimensionamento delle dotazioni impiantistiche durante la stagione estiva.

I tessuti urbani su cui è stata condotta l'analisi riguardano comparti residenziali con connotazioni insediative, morfologico-architettoniche e densità edilizie differenti. Per la città di Roma, si tratta di due complessi di edilizia residenziale sociale (Piani di zona PEEP) realizzati negli anni Ottanta nella zona nord-est della capitale. Il comparto R5 di Tor Bella Monaca (Caso A) si snoda come un 'serpentone' a otto piani, suddiviso in tre blocchi di edifici imponenti nelle dimensioni, in comunicazione tramite atrii di ingresso e collegamenti verticali, circondati da una distesa di verde urbano a formare tre corti aperte verso l'agro romano e da due piazze pedonali verso l'asse principale di Viale dell'Archeologia, soggette all'incuria e in stato di abbandono (Fig. 2). L'area di Casale Caletto (Caso B) definisce un piccolo distretto urbano composto da cinque corpi di fabbrica in linea e da quattro edifici a 'L' disposti con giacitura speculare, organizzati su quattro piani, da spazi pedonali e da aree verdi incolte verso la campagna, su cui si dispongono i fronti interni costruiti contrapposti alla viabilità primaria (Fig. 3).

Nel caso di Catania (Caso C), lo studio riguarda due aree residenziali a bassa densità edificata tra gli anni Sessanta e Ottanta, situate in località Tremestieri Etneo, a non molta distanza tra loro, caratterizzate da edifici a tre e quattro pia-



**Fig. 1** | Cities and case studies in the Mediterranean climate area (credit: graphic processed by the Authors on World Map of Köppen-Geiger climate classification, 2022).

ni, che si affacciano su spazi verdi di pertinenza privati di limitate dimensioni (Fig. 4). Il tessuto insediativo di Benidorm a Viña del Mar (Caso D) si colloca su una parte alta della città, composta da edifici a quattro piani degli anni Ottanta, e da un'area verde circostante in pendenza, con spazi interstiziali asfaltati o pavimentati tra l'edificato (Fig. 5). Il complesso abitativo di Las Condes a Santiago del Cile (Caso E), frutto di un progetto di intervento di recente realizzazione, si compone di volumi disposti su cinque piani a formare corti permeabili e da edifici in linea, a ridosso di un parco urbano (Fig. 6).

Si tratta di comparti residenziali situati in aree periferiche delle città che individuano una varietà di forme urbane, di modelli edilizi e di layout di spazi aperti, con relativi usi. La destinazione d'uso residenziale accomuna questi complessi immobiliari, consentendo comparazioni similari in termini di consumi energetici, essendo confrontabili i regimi preferenziali d'utilizzo. Gli edifici presentano diverse dimensioni in altezza, larghezza e profondità, riconducibili a quattro forme edilizie 'C', 'I', 'L', 'T', tipizzate nelle proporzioni (Fig. 7), con orientamenti e rapporti di relazione con lo spazio aperto differenziati. Le aree verdi e gli spazi vuoti che definiscono questi tessuti insediativi – parchi urbani, piazze a servizio della collettività, aree interstiziali tra gli edifici, spazi di pertinenza, zone verdi incolte, viali alberati, ecc. – possono influenzare in modo evidente il potenziale raffrescamento che si genera nello spazio urbano e il conseguente comportamento energetico degli edifici, in relazione alla densità, alla posizione e alle dimensioni delle specie arboree insediate.

Lo studio ha considerato una molteplicità di configurazioni spaziali determinate dall'introduzione di diverse specie arboree negli spazi aperti disponibili intorno agli edifici, che hanno prodotto effetti ombreggianti diversificati sull'ambiente costruito, in funzione dell'orientamento prevalente, della posizione, dell'altezza e della distanza dalle alberature. Le specie arboree sono state selezionate in base a criteri dimensionali e di crescita nel tempo, oltre che alla compatibilità con il clima, privilegiando le tipologie che si adattano

al Mediterraneo, e che richiedono meno quantità di acqua, abbassando i costi e la quantità di energia necessaria per il loro mantenimento. Sono state quindi considerate tre tipologie di specie arborea – il 'Pinus Pinaster', il 'Platanus Occidentalis' e il 'Ficus Benjamina' (Fig. 8) – rispetto alle quali sono state determinate le zone d'ombra sugli edifici, in base al livello di permeabilità solare, inteso come la quantità di luce che passa attraverso il fogliame, e alla geometria, ovvero all'altezza e all'ampiezza della chioma.

Per stimare lo Sky View Factor (SVF) e la permeabilità alla luce solare, sono state elaborate le immagini 'fish-eye' delle specie arboree selezionate con il software GLA (Fig. 9), adottando i seguenti fattori: il 'cloudiness index' (rapporto di luce solare trasmesso attraverso l'atmosfera) pari a 0,75, il valore di 'spectral fraction' (rapporto di luce solare che entra nel campo visibile) pari a 0,4 e il 'beam fraction' (rapporto di radiazione solare diretta globale) pari a 0,7. Quindi, è stata computata la quantità di radiazione solare entrante negli edifici, fissando il fattore di 'solar shading' (dovuto all'uso di persiane o dispositivi simili) pari a 1, quando le schermature sono aperte, e pari a 0,40 quando le schermature sono parzialmente chiuse e il conseguente fattore di luce diurna e di ventilazione, in relazione al rapporto tra superfici opache e trasparenti. Per calcolare la porzione di ombreggiamento della vegetazione arborea sugli edifici è stato utilizzato il software TRNSYS v.17, impostando un modulo Shadow Mask per ciascuna configurazione e specie arborea considerata. La maschera d'ombra è stata costruita a partire da una formula trigonometrica che mette in relazione la forma e la dimensione degli alberi con la distanza dall'edificio e la sua altezza (Fig. 10), restituendo valori angolari, che vanno a popolare la matrice di input progettuali, necessaria per la quantificazione della percentuale di aree ombreggiate sugli edifici.

Le simulazioni effettuate hanno privilegiato la condizione estiva, di rilievo in clima Mediterraneo, consentendo una valutazione complessiva degli apporti migliorativi e degli impatti che la natura, e in particolare l'inserimento di vegeta-

zione arborea nello spazio urbano, può avere sull'ambiente costruito. I dati climatici riferiti a ciascun caso studio sono stati inseriti in schede meteorologiche orarie rappresentative degli andamenti medi del luogo, secondo il formato '.epw', disponibile nella banca dati Energy Plus<sup>7</sup> facendo riferimento alla stazione meteorologica più vicina a ciascuna area, trasferendoli nel software UWG che dà conto della morfologia dei settori urbani oggetto di analisi. I parametri utilizzati per l'ottenimento dei file meteorologici urbani sono: la superficie di terreno occupata dagli edifici; il rapporto tra superficie di facciata e area considerata; la superficie coperta da aree verdi distinte tra alberature e prati; l'altezza media ponderata degli edifici presenti nel comparto. Le prestazioni e i conseguenti risparmi energetici sono stati ottenuti in considerazione di un sistema impiantistico ideale HVAC, ipotizzando una temperatura di regolazione del termostato di 26 °C durante la stagione estiva.

Il calcolo sulle prestazioni energetiche degli edifici ha incluso l'ombreggiamento prima e dopo l'ipotesi di posizionamento di nuovi sistemi di vegetazione arborea nell'intorno urbano e ha tenuto conto delle proprietà morfologiche dei tessuti insediativi. Le Figure 11-15 mostrano le configurazioni di layout adottate dopo l'intervento, mentre nelle Figure 16-20 sono sintetizzati i grafici necessari per le interpolazioni di calcolo utilizzate per conteggiare il grado di ombreggiamento sugli edifici rispetto al tipo edilizio ideale, in relazione alle condizioni di orientamento e alle dimensioni degli edifici, all'estensione degli spazi aperti e alla distanza dalla vegetazione arborea, per ciascun tessuto insediativo (Tab. 1). Dopo aver misurato il grado di oscuramento che le diverse specie arboree provocano sugli edifici e l'incidenza dell'isola di calore per ciascun comparto residenziale (Tab. 2) è stato valutato il potenziale raffrescamento che questi generano sull'ambiente costruito e il relativo risparmio energetico (Tab. 3).

**Risultati e discussione** | I risultati delle simulazioni hanno riguardato circa 120 casi (40 edifici per 3 specie arboree), mostrando una diminuzione media dei carichi frigoriferi pari al 15-25% (45 edifici sotto la soglia del 15%, 46 oltre il 25% e 29 tra il 15% e il 25%) con valori di risparmio energetico elevati nell'emisfero sud, dove la presenza di un clima più mite in estate incide sullo smorzamento delle ondate di calore e sui livelli di temperatura negli spazi aperti oltre che sulla riduzione dei carichi di raffreddamento negli edifici. A Santiago del Cile (Caso E), l'isola di calore urbana viene influenzata in modo positivo dalla morfologia del tessuto insediativo, composto da edifici mediamente alti con un'ampia porzione di spazio verde disponibile, restituendo valori di consumi energetici che si attestano intorno ai 6-8 KWh/m<sup>2</sup> annui. A Viña del Mar (Caso D) le condizioni climatiche abbassano ulteriormente i consumi energetici fino a 2-3 KWh/m<sup>2</sup> annui, anche per la presenza di edifici relativamente bassi e di spazi di pertinenza di limitate dimensioni molto vicini ai corpi di fabbrica, con una riduzione del fabbisogno energetico del 60%.

A Roma (Caso A e B) e a Catania (Caso C) i livelli di consumo energetico raggiungono i 5-6 KWh/m<sup>2</sup> e i 10-11 KWh/m<sup>2</sup> annui e sono influen-

zati dalla morfologia degli edifici oltre che dal clima. Nel caso di Tor Bella Monaca (Caso A) l'altezza degli edifici riduce di gran lunga il livello di risparmio energetico ottenibile, poiché il grado di ombreggiamento interessa solo i primi quattro piani del complesso residenziale, a differenza di Casale Caletto (Caso B) dove l'elevazione dei volumi è minore. In generale, gli orientamenti a Ovest risultano maggiormente efficienti: le configurazioni a 'I' e a 'C' sono più facilmente ombreggiabili rispetto alle forme edilizie a 'T' e a 'L', che nel caso di Catania, contengono di molto i livelli di risparmio energetico ottenibili. Riguardo alla vegetazione arborea, il 'Pinus Pinaster' apporta maggiori benefici energetico-ambientali rispetto alle altre due specie arboree, grazie alla sua conformazione che permette di ombreggiare i piani più alti e anche solo parzialmente i livelli di copertura degli edifici (Fig. 21).

Le simulazioni effettuate dimostrano come sia possibile ottenere risparmi energetici consistenti nelle aree a bassa densità edilizia, dove gli edifici occupano una quota parte dello spazio costruito e il posizionamento delle alberature avviene a distanza ridotta (Caso C e D). Tuttavia, la compattezza e la quantità di vegetazione arborea insediabile può avere un potenziale di raffrescamento maggiore nei tessuti urbani a più alta densità laddove, nonostante l'eccessiva elevazione degli edifici, vi è una più ampia disponibilità di spazio all'aperto, in termini di estensione e di variabilità delle specie arboree adottate (Caso A, B ed E; Fig. 22).

La comprensione della complessità dei fenomeni ambientali, fisici ed energetici che si instaurano tra edifici, vegetazione arborea e intorno urbano può rappresentare una base conoscitiva indispensabile per la produzione di nuovi apparati cognitivi e per lo sviluppo di strumenti applicativi innovativi a supporto dei futuri processi di trasformazione urbana. I risultati ottenuti dalle simulazioni saranno utilizzati per la creazione di un database informativo, in cui saranno contenuti i potenziali di risparmio energetico riferiti all'inserimento di determinate specie di vegetazione arborea in specifici tessuti urbani in clima Mediterraneo, entro valori di soglia prestabiliti.

Una delle barriere che può limitare la diffusione e l'affermazione dello studio come prassi risiede nella quantità e nel livello di precisione delle informazioni necessarie: la modellizzazione dei dati attraverso software tra loro interoperabili può compromettere l'affidabilità dei risultati, per i quali occorre prevedere opportune semplificazioni, anche al fine di renderli accessibili a molteplici categorie d'utenza con competenze differenti. Sotto questo punto di vista, l'uso di tecniche di machine-learning può risultare funzionale a una maggiore razionalizzazione delle procedure, contemplando l'elaborazione di un numero definito di parametri da utilizzare per l'allenamento dell'algoritmo di classificazione scelto – come ad esempio la zona climatica, l'altitudine e la latitudine, la distanza dal mare, la tipologia di tessuto insediativo del comparto, l'anno di costruzione degli edifici, le tecnologie co-

struttive e lo stato di conservazione, la densità edilizia, l'altezza e il numero di piani, il numero di facciate in ombra, l'orientamento, la forma in pianta, la distanza e la tipologia di specie arborea. La qualità delle predizioni, e quindi degli output di progetto, dipenderà dalla qualità e dalla quantità dei dati di inventario, che potranno essere confinati ad alcuni aspetti predefiniti dal progetto, consentendone l'adattabilità e la replicabilità a molteplici contesti d'uso, in altri microclimi e tessuti insediativi.

**Conclusioni** | La possibilità di utilizzare i dati desunti dalle simulazioni e di rielaborarli con tecniche di machine-learning, attraverso sistemi di intelligenza predittiva, rappresenta, dunque, una delle evoluzioni future della ricerca, la cui finalità risiede nella definizione di configurazioni spaziali ottimali anche in considerazione dell'aggiunta di ulteriori tipologie edilizie (es. scuole, uffici, ospedali, ecc.) e di nuove specie arboree rispetto a quelle sinora adottate, aggiornando i risultati delle ricerche in corso con una serie di parametri funzionali al controllo del fenomeno urbano dell'isola di calore e all'ottimizzazione della domanda energetica per gli edifici (esistenti e di nuova realizzazione). I valori monitorati potranno essere utilizzati per la costruzione di mappe di vulnerabilità climatica ed energetico-ambientale e per la realizzazione di strumenti informatizzati a supporto dei futuri processi decisionali e progettuali in ambito urbano – si fa riferimento alla creazione di piattaforme informa-



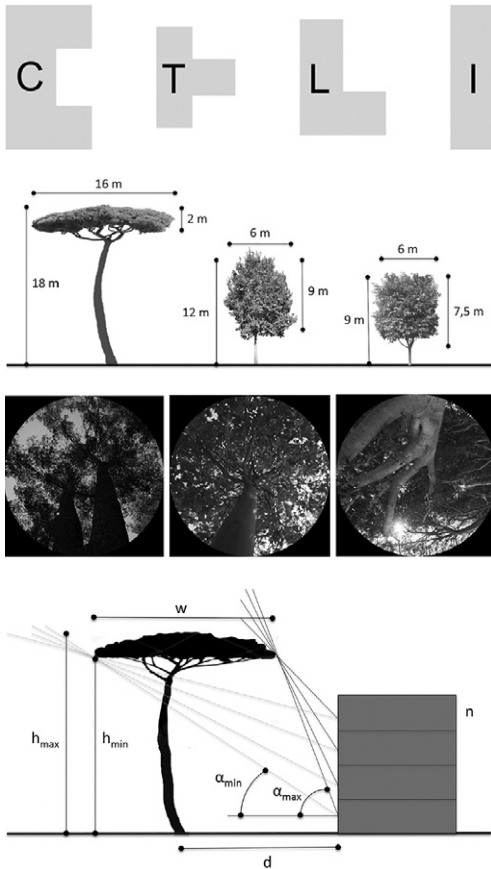
**Fig. 2** | Case study A: R5 residential sector in Tor Bella Monaca district, Rome (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 3** | Case study B: district of residential buildings in Casale Caletto, Rome (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 4** | Case study C: low-density residential areas in Tremestieri Etneo, Catania (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 5** | Case study D: residential buildings in Benidorm, Viña del Mar (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 6** | Case study E: 'Las Condes' residential complex, Santiago de Chile (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 7** | Characterized building forms: 'C', 'I', 'L' and 'T' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 8** | Tree species and sizes: 'Pinus Pinaster', 'Platanus Occidentalis' and 'Ficus Benjamina' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 9** | Images elaborated with the 'fish-eye' procedure: 'Pinus Pinaster', 'Platanus Occidentalis' e 'Ficus Benjamina' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 10** | Shadow mask created for the tree species 'Pinus Pinaster' (credit: the Authors, 2022).

tiche utilizzabili tramite App per PC o smartphone – in grado di rielaborare le informazioni contenute nel database informativo e di gestire dati eterogenei, ovvero di apprendere in automatico alcune funzioni, per adattare le soluzioni progettuali alle richieste di committenti e di utenti finali.

L'implementazione di questi strumenti richiederà l'apporto di ulteriori professionalità specialistiche (es. agronomi, architetti paesaggisti, tecnici forestali, economisti, gestori di servizi digitali e informatici, ecc.), ampliando gli orizzonti culturali e le ricadute operative della ricerca, attraverso una maggiore condivisione di saperi. Uno degli aspetti originali dello studio risiederà nella possibilità di integrare indici di permeabilità e d'uso dei suoli con i valori di potenziale miglioramento energetico dei tessuti insediativi – esistenti e di nuova realizzazione – anche attraverso valutazioni di natura economica e analisi costi-benefici, prevedendo l'uso di dispositivi sensoristici così come l'interoperabilità con applicativi GIS e LIDAR, in grado di restituire dati a scala urbana e informazioni sugli usi e sulle coperture di suolo.

Il rapporto di interrelazione simbiotica che si instaura tra vegetazione arborea e ambiente costruito ha consentito di effettuare simulazioni efficaci in grado di restituire un quadro complessi-

vo di parametri e di valori energetico-ambientali che possono incidere sul fabbisogno energetico degli edifici e di valutare gli effetti dovuti alla presenza o alla piantumazione di elementi naturali nello spazio outdoor in termini di risparmio energetico e di riduzione dei consumi indoor. L'effettiva disponibilità di spazio all'aperto per il posizionamento della vegetazione arborea può rappresentare una variabile fondamentale nei programmi d'intervento, nelle valutazioni sulla fattibilità tecnico-economica e nell'individuazione di scenari progettuali ottimali e può incidere sulla variabilità degli standard urbanistici da destinare ad aree verdi e alla piantumazione di alberature nelle città. I dati sull'uso del suolo unitamente ai parametri energetico-ambientali associati all'inserimento di specifiche specie arboree negli spazi aperti disponibili nelle aree urbane, possono indirizzare interventi di trasformazione e di gestione sostenibile nelle città, che considerino al contempo efficienza energetica e impatti ambientali, limitando i rischi connessi all'eccessivo consumo di suolo e alle emissioni di carbonio.

In the last decades, global warming and the changes in the use of soil have put intolerable pressure on the climate on a global scale, generating disastrous phenomena as well as significant atmospheric effects on the environment (EEA, 2020). The cities are often exposed to extreme heat events. This determines a diffused thermic stress and, as a result, a considerable increase in the use of energy for cooling the buildings (IEA, 2018). Introducing Nature-based Solutions (NbS) in cities – «[...] solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions» (European Commission, 2021) – such as the development of Green Infrastructures (GI) – «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services in both rural and urban settings» (European Commission, 2013, p. 7) – is a reliable way to reduce the impacts of climate change and the heat island phenomenon (Tiwari et alii, 2021). They identify as effective strategies for natural ecosystems preservation, that orient sustainable practices of urban landscape transformation.

In the Mediterranean climate zone, winters are rainy with mild temperatures, while summers are hot and dry, and each city has typical characteristics. In geographic areas with a Mediterranean climate, urban greening is one of the solutions to preserve outdoor and indoor comfort and optimize built environment energy loads (Palme, Privitera and La Rosa, 2020). The trees, especially tall trees, help reduce solar radiation on opaque and transparent envelope elements of the buildings, creating shady areas that mitigate the air temperature and trigger evaporation and transpiration processes, limiting the exchanges of electromagnetic and thermal waves

between the surfaces, by generating air movements which lower the temperature levels in the atmosphere (Givoni, 1991).

On an urban scale, planning and design strategies considering the introduction of trees in outdoor spaces and the built environment can have a greater impact on the reduction of energy demand. They would provide, at the same time, a wide range of green areas and recreational areas, capable of implementing new 'ecosystem services'<sup>1</sup>, improving the liveability of cities. They have an essential role in regulating local microclimates and in mitigating the heat island (Musinelli et alii, 2018), impacting the energy demand and the operational and management construction costs. The right placement of trees next to buildings can be fundamental to get the maximum level of energy-saving, to reduce pollution and improve the quality of air and water, with a high impact on the outdoor and indoor wellbeing of residents (Santamouris and Kolokotsa, 2016).

So far the international research has been greatly oriented to understand the environmental, economic and social benefits of the presence of trees in urban contexts (Andreucci, 2017). This is shown in many scientific papers<sup>2</sup>, as in the recent funding proposals promoted by the European Commission<sup>3</sup> (2020) which considers NbS and GIs two of the optimal solutions to overcome the post-pandemic crisis and to reach new sustainability objectives<sup>4</sup>. However, there are still few tests aiming to evaluate the positive contribution of energy-saving and reduced consumption in the built environment, on different intervention scales. The existent literature studies mention climatic conditions different from the Mediterranean ones (Laband and Sophocleus, 2009) or to generic building types, not always referred to as specific settlement frameworks (Balogun, Morakinyo and Adegun, 2014).

Moreover, in some in-depth analyses, trees are casually placed in free green areas next to buildings (Calcerano and Martinelli, 2016) without following precise patterns and ignoring the priorities of use that may come from wider planning logic in cities. The positive impact of trees in urban spaces can depend on the settlements' layouts, the availability of outdoor spaces and the tree species added (Privitera et alii, 2021). Moreover, it is necessary to evaluate the landscape impact of the interventions, also concerning growth and care aspects, as well as the technical feasibility considering the economic resources of the clients (public or private) and the multi-systemic actions that may derive from planting trees in certain urban areas.

The paper presents the results of the simulation study<sup>5</sup> carried out in different places in the world, including in the Mediterranean climatic area (Fig. 1), aimed at estimating the reduction of cooling loads on buildings, obtainable by planting trees in the available outdoor spaces of the urban environment for different settlement frameworks. The metropolitan areas of Rome and Catania in Italy and Santiago de Chile and Viña del Mar in Chile are the objects of the study, characterized by specific geographical conditions as well as by urban frameworks with unique shape and energy performance characteristics. Starting from the analysis of the four macroclimatic areas, settlement sectors and

building morphologies were selected, generating urban meteorological files with the Urban Weather Generator (UWG) software. Then a simulation of the construction performance was carried out with the TRSYS v.17 software to get the annual cooling load, considering the positive impact of the presence or inclusion of trees in the free green spaces around the buildings.

The results of the simulation tests show a considerable cooling load reduction according to the species used and their placement in the outdoor area, building types and technical and dimensional properties of the built environment. The information gathered from the simulations integrates the existent knowledge on the advantages of the GIs and is useful to implement the parameters used in the dissemination tools already used in the international research<sup>6</sup>. Further developments will concern the creation of computer applications able to convey data referring to outdoor spaces and built environment, concerning the presence of trees, free green areas, the characteristics of the settlement frameworks, and delivering information suitable for directing sustainable practices of urban regeneration.

**Method and stages** | The Mediterranean climate area is a privileged field of investigation, particularly responsive to phenomena linked to climate change and the urban heat island effect. The selected cities identify four macroclimatic areas classified in the Köppen-Geiger map as a temperate climate with hot and dry summers (Csa = warm temperate, summer dry, hot summer). Rome (41.5° N) and Catania (37.50° N), in the northern hemisphere, have similar solar gains, with sultry summers in Sicily, where temperatures frequently exceed 30 °C and solar radiation reaches high values. Santiago de Chile (33.27° S) and Viña del Mar (33.01° S), in the southern hemisphere, are at close latitudes and have slightly milder summer temperatures, thanks to the presence of the cold winds from the Pacific Ocean. In these regions, having the sea close conditions the urban microclimate, on specific days of the year and hours of the day, facilitates natural ventilation and outdoor spaces cooling. However, shading is a critical element to ensure adequate comfort levels inside and outside the buildings. It has a high impact on the energy demand and the consequent sizing of the plant equipment in summer.

The urban frameworks analysed concern residential sectors with different residential, morphological-architectonic and construction densities. Two social housing complexes (PEEP, economic social housing plan) were built in the 1980s in the northeast area of Rome. The R5 sector in Tor Bella Monaca (Case A) winds like an eight-storey giant 'snake', divided into three majestic blocks of buildings, communicating through entrance halls and vertical connections, surrounded by an urban green space forming three courtyards facing the countryside and two pedestrian squares facing the main axis of Viale dell'Archeologia, subject to neglect and aban-

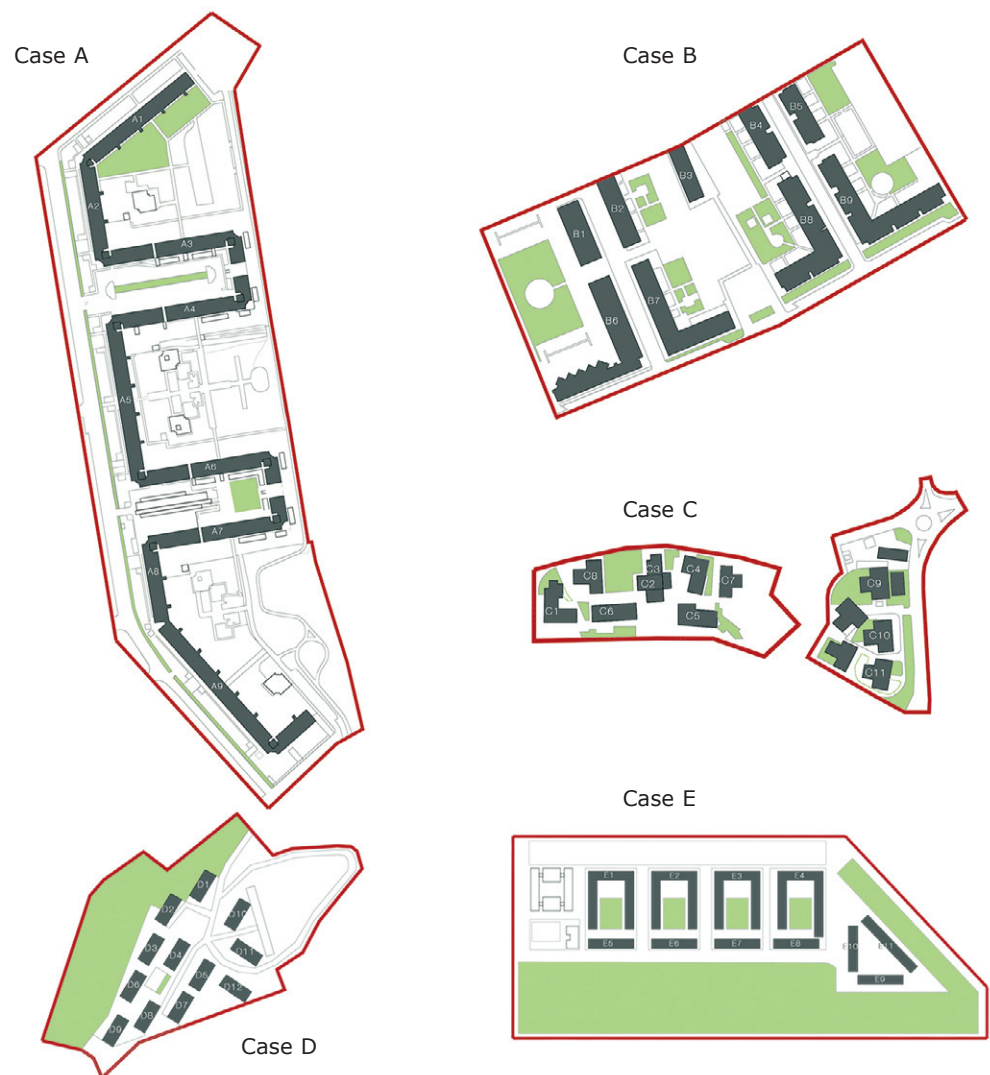
doned (Fig. 2). The area of Casale Caletto (Case B) is a small urban district made up of five-row buildings and four 'L'-shaped buildings arranged in a specular layout, with four floors, pedestrian areas and uncultivated green areas facing the countryside, on which the internal facades were built opposing the main road network (Fig. 3).

In Catania (Case C), the study concerns two low-density residential areas built between the 1960s and 1980s, located in Tremestieri Etneo, not far from each other, with three and four-storey buildings overlooking small adjacent private green spaces (Fig. 4). The urban framework in Benidorm, Viña del Mar, (Case D) is located in the highest part of the city, made up of four-storey buildings from the 1980s, and a surrounding green sloping area, with asphalted or paved interstitial spaces between the buildings (Fig. 5). Las Condes residential complex in Santiago de Chile (Case E) is the result of a recent project and consists of five-storey buildings to form permeable courtyards and row buildings, close to an urban park (Fig. 6).

They are residential sectors located in the suburbs of the city and contain many urban forms, construction models and outdoor spaces layouts, and their uses. These building complexes share the residential intended use, allowing similar comparisons on energy consumption since. The buildings are different in height, width and depth, due to four building forms 'C', 'I', 'L', and

'T', characterized in their proportions (Fig. 7), with different orientations and connections with the outdoor space. The green areas and void spaces defining these building frameworks – urban parks, squares for the community, interstitial areas between buildings, adjunct spaces, uncultivated green areas, tree-lined avenues, etc. – can influence the potential cooling that is generated in the urban space and the consequent energy behaviour of buildings, concerning the density, position and size of the planted tree species.

The study has considered many spatial configurations caused by the introduction of different tree species in the available outdoor spaces around buildings. They have produced diversified shading effects on the built environment, depending on the main orientation, position, height and distance from the trees. The tree species have been selected according to size, growth-in-time, and compatibility with the climate criteria, favouring the species that adapt to the Mediterranean one, and that require less water, lowering the costs and the quantity of energy necessary for their care. Therefore three types of trees have been considered – 'Pinus Pinaster', 'Platanus Occidentalis' and 'Ficus Benjamina' (Fig. 8). They determined the shady areas on the buildings, according to the level of solar permeability, that is the amount of light that passes through the leaves, and the geometry, that is the height and width of the foliage.



**Fig. 11-15** | Project layout of the case studies and classification of the urban forms (credits: the Authors, 2022).

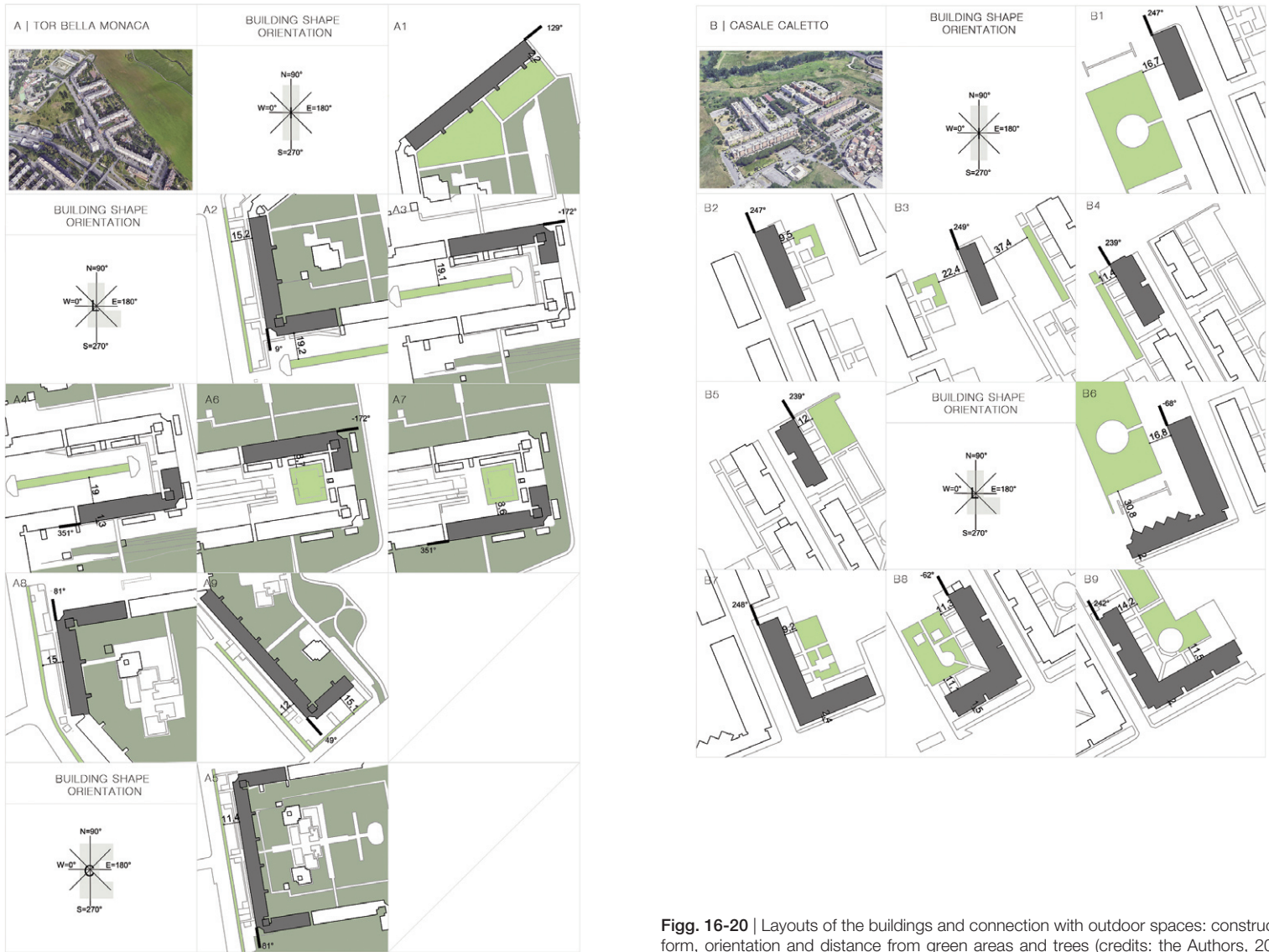


Fig. 16-20 | Layouts of the buildings and connection with outdoor spaces: construction form, orientation and distance from green areas and trees (credits: the Authors, 2022).

To estimate the Sky View Factor (SVF) and the permeability to solar light, 'fish-eye' images of the selected tree species have been elaborated with the GLA software (Fig. 9). The following factors were used: 'cloudiness index' (ratio of the solar radiation that is transmitted through the atmosphere) of 0.75, the 'spectral fraction' value (ratio of sunlight entering the visible range) of 0.4 and the 'beam fraction' (global direct solar radiation ratio) of 0.7. Then, the amount of solar radiation entering the buildings was calculated, setting the 'solar shading' factor (due to the use of shutters or similar devices) at 1, when the panels are open, and at 0.40 when they are partially closed and the resultant daylight and ventilation factor, concerning the link between opaque and transparent surfaces. The TRNSYS v.17 software was used to calculate the shading section of the trees on the buildings, setting a Shadow Mask module for each configuration and tree species considered. The shadow mask was built with a trigonometric formula, that links the shape and the size of trees with the distance from the building and its height (Fig. 10), delivering angular values which populate the design input matrix, necessary for quantifying the percentage of shaded areas on buildings.

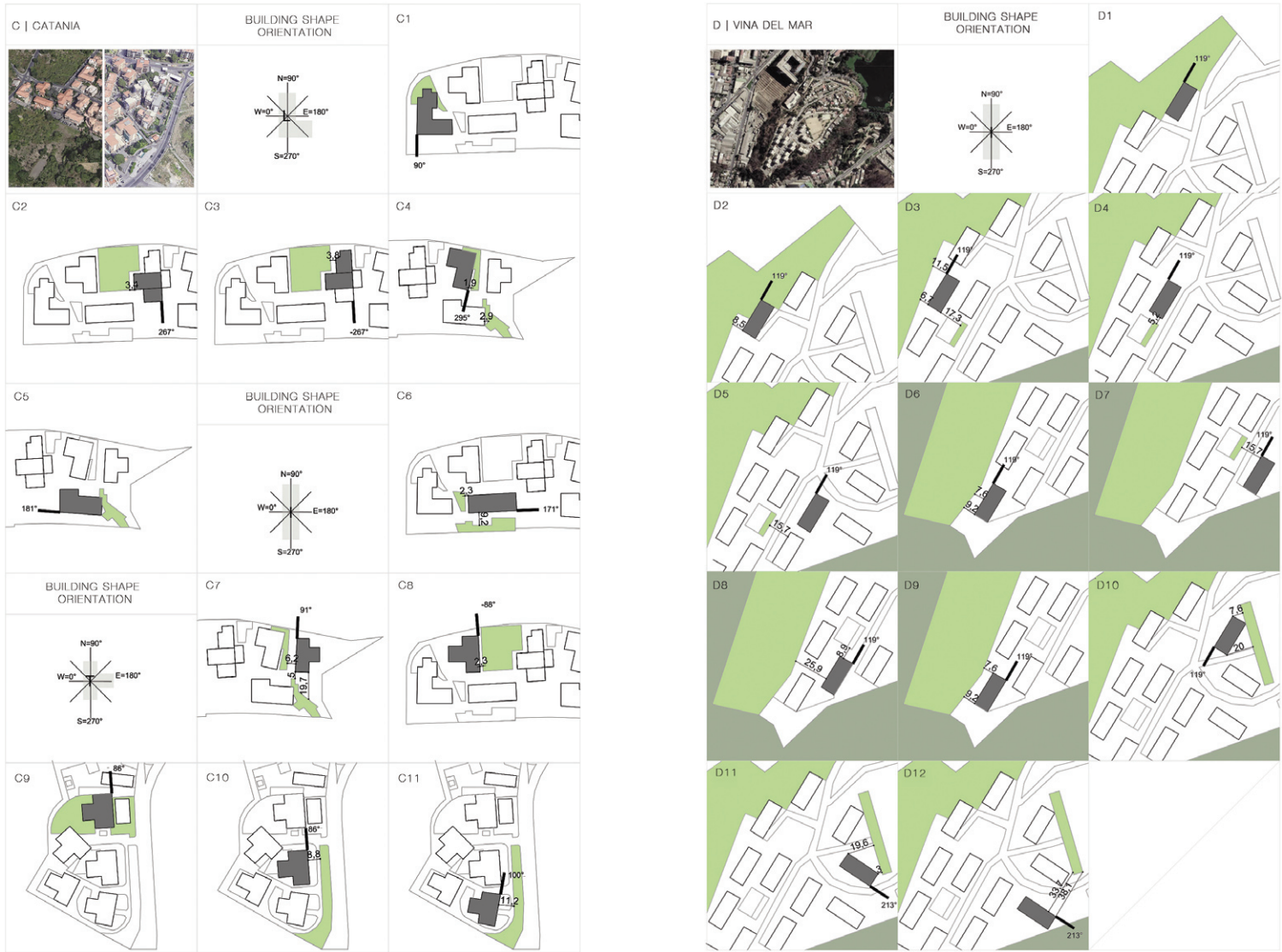
The simulations carried out have privileged the summer condition, relevant in the Mediter-

anean climate, allowing an overall assessment of the improvements and impacts that nature, and in particular adding trees in the urban space, can have on the built environment. The climate data referred to in each case study have been added in hourly weather cards representative of the average trends of the place, with the '.epw' format, available in the Energy Plus database<sup>7</sup> and referencing the weather station closest to each area, they are transferred to the UWG software which accounts for the morphology of the analyzed urban sectors. The parameters used to obtain meteorological urban files are the land area occupied by the buildings; the link between the facade surface and the area considered; the surface covered by green areas divided between trees and meadows; the weighted average height of the buildings in the sector. The performance and the related energy-savings have been obtained considering an ideal HVAC plant system, assuming a thermostat temperature of 26 °C in summer.

The calculation of the energy performance of the buildings included shading before and after the hypothesis of locating new tree systems in the urban environment and taking into account the morphological properties of the settlement frameworks. Figures 11-15 show the layouts used after the intervention, while Figures

16-20 summarize the graphs necessary for interpolations used to calculate the level of shading on buildings concerning the ideal building type, according to the orientation conditions and the size of the buildings, the extension of the outdoor spaces and the distance from the trees, for each settlement framework (Tab. 1). After measuring the shading level caused by the different tree species on buildings and the impact of the heat island for each residential sector (Tab. 2) the potential cooling that they generate on the built environment and their energy-saving were evaluated (Tab. 3).

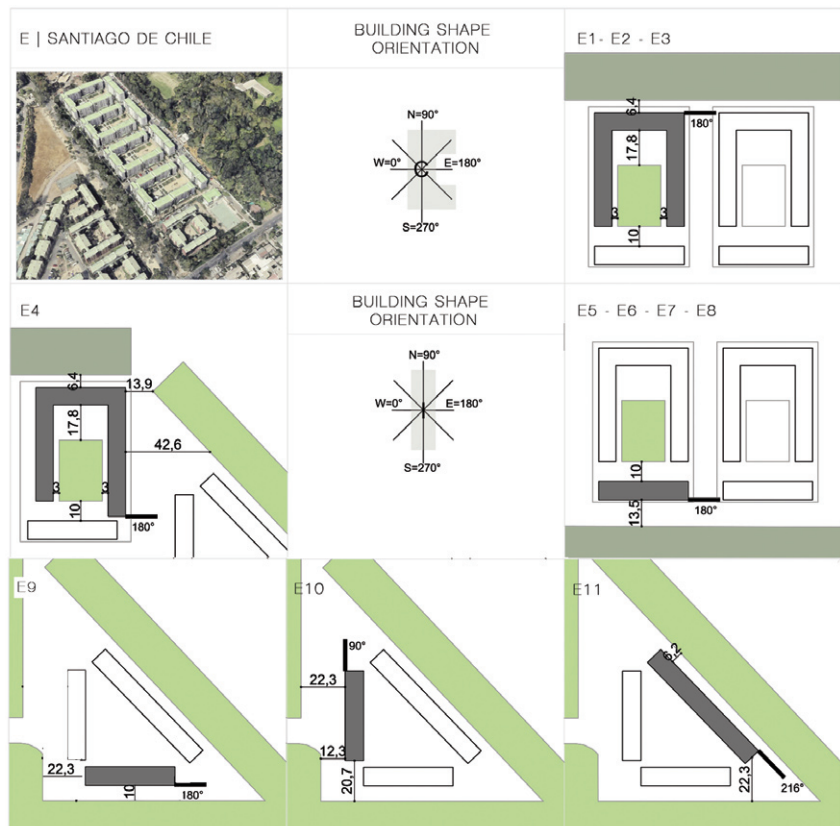
**Results and Discussion** | The results of the simulations have concerned about 120 cases (40 buildings and 3 tree species) showing an average reduction of cooling loads of 15-25% (45 buildings under 15%, 46 over 25%, and 29 between 15% and 25%) with high energy-saving values in the southern hemisphere, where milder weather in summer affects the reduction of heat-waves and temperature levels in outdoor spaces and the reduction of cooling loads in buildings. In Santiago de Chile (Case E), the urban heat island is positively influenced by the morphology of the settlement framework, made of medium-high buildings with a large green area available, delivering energy consumption values of about



6-8 KWh/sqm per year. In Viña del Mar (Case D) the climatic conditions furtherly lower energy consumption to 2-3 KWh/sqm per year, also thanks to the presence of relatively low buildings and adjunct spaces of limited size very close to the buildings, with a reduction of the energy demand of 60%.

In Rome (Case A and B) and Catania (Case C), the levels of energy consumption reach 5-6 KWh/sqm and 10-11 KWh/sqm per year and are influenced by the morphology of buildings and climate. In the Tor Bella Monaca case (Case A), the height of the buildings greatly reduces the level of energy savings achievable, because the shading only reaches the first four floors of the residential complex, as opposed to Casale Caletto (Case B) where the buildings are smaller. In general, West orientations are more efficient, the 'I' and 'C' layout are easier to shade than 'T' and 'L' construction forms, and in the case of Catania, they greatly limit the achievable energy saving levels. Regarding the trees, the 'Pinus Pinaster' brings greater energy-environmental benefits than the other two tree species, thanks to its conformation that allows it to cast a shade on the higher floors and even partially on the roofing of the buildings (Fig. 21).

The simulations carried out show how to get high energy savings in low-density construction





City	Residential Sector	District	Built Area	Site/Facade Ratio	Weighted Average Height	Green Areas (trees/lawn)
Rome	A	Tor Bella Monaca	0.11	2.64	24	0,2 / 0,25
	B	Casale Caletto	0.12	0.62	15	0,05 / 0,08
Catania	C	Tre Mestieri Etneo	0.19	0.88	12	0,03 / 0,05
Viña del Mar	D	Benidorm	0.07	0.36	12	0,15 / 0,24
Santiago de Chile	E	Las Condes	0.15	0.73	15	0,23 / 0,27

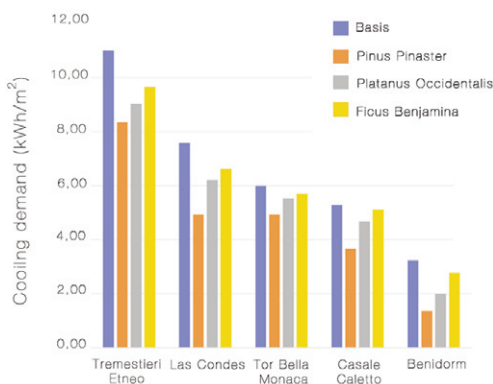
City	Residential Sector	District	UHI Max (night)	UHI Max (day)
Rome	A	Tor Bella Monaca	3.7	-1
	B	Casale Caletto	2.4	-0.8
Catania	C	Tre Mestieri Etneo	2.8	-1.1
Viña del Mar	D	Benidorm	2	-0.4
Santiago de Chile	E	Las Condes	6.1	-1.5

City	Residential Sector	District	No. of Cases	Energy Saving Potential				
				Very Low (0-5%)	Low (5-15%)	Medium (15-20%)	High (25-35%)	Very High (35-100%)
Rome	A	Tor Bella Monaca	12	3	7	1	0	1
	B	Casale Caletto	30	2	14	8	0	6
Catania	C	Tre Mestieri Etneo	12	1	5	3	1	2
Viña del Mar	D	Benidorm	36	0	2	12	10	12
Santiago de Chile	E	Las Condes	30	0	11	5	9	5
<b>Total No. of Cases</b>			<b>120</b>	<b>6</b>	<b>39</b>	<b>29</b>	<b>20</b>	<b>26</b>

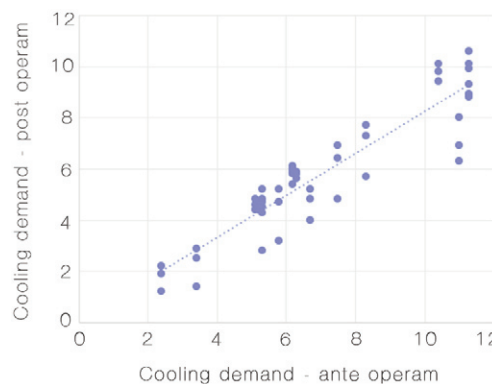
**Tab. 1** | Urban configuration parameters inserted in the UWG software to obtain the time cards used in the simulations (credit: the Authors, 2022).

**Tab. 2** | Minimum (day) and maximum (night) intensity values of the heat island (UHI) resulting from the UWG software (credit: the Authors, 2022).

**Tab. 3** | Energy saving potential obtained in the different layouts according to the case studies and the used tree species (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 21** | Reduction of cooling loads in the different urban frameworks according to the building morphology and the tree species (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 22** | Improvement potential of buildings' energy behaviour in the post-construction stage compared to the pre-construction stage (credit: the Authors, 2022).

areas, where buildings occupy a portion of the built space and the trees are positioned at a short distance (Case C and D). However, the compactness and quantity of trees to plant can have a higher cooling potential in higher-density urban frameworks, where, despite the excessive height of the buildings, there is wider availability of outdoor spaces, in terms of extension and variability of the tree species used (Case A, B and E; Fig. 22).

Understanding the complexity of environmental, physical and energetic phenomena that occur between buildings, trees and urban framework can represent a core knowledge to create new cognitive systems and develop innovative application tools to support future urban transformation processes. The results obtained from the simulations will be used to create an information database. It will contain the energy-saving potentials concerning the insertion of certain tree species, in specific urban frameworks of the Mediterranean climate, within predefined threshold values.

A limit to the dissemination and affirmation of the study as a practice is the quantity and level of precision of necessary information. Data modelling through interoperable programmes can compromise the reliability of the results, for which appropriate simplifications must be provided, also to make them accessible to multiple categories of users with different skills. From this point of view, the use of machine-learning techniques can be useful to rationalize the procedures more, imagining the development of a specific number of parameters to be used for training the chosen classification algorithm. Some examples can be the climate zone, the altitude and latitude, the distance from the sea, the type of settlement framework of the sector, the year of construction of the buildings, the construction technologies and the state of conservation, the building density, the height and number of floors, number of shaded facades, orientation, platform, distance and type of tree species. The quality of the predictions, and the project outputs, will depend on the quality and quantity of the inventory data. They might be limited to some predefined aspects of the project, allowing their adaptability and replicability in multiple contexts of use, other microclimates, and settlement frameworks.

**Conclusions** | Therefore, the possibility to use data derived from the simulations and reprocessing them with machine-learning techniques, through predictive intelligence systems, is one of the future evolutions of research. It aims to redefine optimal spatial setups also in the event of the introduction of more building types (e.g. schools, offices, hospitals, etc.) and new tree species, updating the results of ongoing research with a series of parameters useful to control the urban phenomena of the heat island and the optimization of energy demand for (existent and new) buildings. The monitored values could be used to create maps of climate and energy-environmental vulnerability and computerized tools to support future decision-making and planning processes in the urban environment – the creation of IT platforms that can be used via App for PC or smartphone – capable of

processing the information contained in the database and to manage heterogeneous data, that is to automatically learn some functions, to adapt the design solutions to the requests of clients and end-users.

The implementation of these tools will require the contribution of more specialized professionals (e.g. agronomists, landscape architects, forestry technicians, economists, digital and IT service providers, etc.), broadening the cultural horizons and operational implications of research, by increasingly sharing knowledge. One original aspect of the studio will be the possibility to integrate land permeability and use indices with the values of potential energy improvement of the settlement frameworks – new

and existent – also through economic assessments and cost-benefit analyzes, providing for the use of sensor devices as well as interoperability with GIS and LIDAR applications, capable of providing data on an urban scale and information on uses and land coverage.

The symbiotic interrelation established between trees and the built environment has enabled to make effective simulations capable of providing a general picture of energy-environmental parameters and values that can affect the energy demand of buildings and to evaluate the effects of the presence or placement of natural elements outdoors for energy-saving and indoor consumption reduction. The effective availability of outdoor space for placing trees can

be a fundamental variable in the projects, in the assessment for technical and economic feasibility and in identifying optimal design scenarios and may affect the variability of urban planning standards to be allocated to green areas and trees in cities. The data on the land use, together with energy-environmental parameters linked to the introduction of specific tree species in outdoor spaces available in urban areas, can guide sustainable transformation and management projects in cities. They should consider both energy efficiency and environmental impacts, limiting the risks associated with excessive land consumption and carbon emissions.

## Notes

1) In ecology, the term ‘ecosystem’ means the collection of all living and non-living components in a particular area or environment (e.g. park, lake, pond, etc.) belonging to nature, capable of providing functions or ‘ecosystem services’, that directly or indirectly contribute to human wellbeing. The Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) groups the ‘ecosystem services’ into three main categories with different functions: regulation (e.g. atmospheric gases, erosion and habitat for biodiversity), supply (e.g. food, raw materials, biologic variability), and culture, (e.g. aesthetic, recreational and educational values).

2) For more information on the main research policies in Europe, see, as example, the following websites: [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en); [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy_en); [ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm#:~:text=Green%20infrastructure%20is%20a%20strategically,and%20climate%20mitigation%20and%20adaptation;ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index_en.htm;op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8bb07125-4518-11eb-b59f-01aa75ed71a); [op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8bb07125-4518-11eb-b59f-01aa75ed71a](http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8bb07125-4518-11eb-b59f-01aa75ed71a) [Accessed 21 March 2022].

3) The reference are the Action and Investment Plans defined with the Renovation Wave Initiative and the new initiatives promoted by the European Green Deal and the New European Bauhaus. See, as example, the following websites: [ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_1835](http://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1835); [ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](http://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en); [europa.eu/new-european-bauhaus/about/delivery\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/about/delivery_en) [Accessed 21 March 2022].

4) One of the Sustainable Development Goals promoted by the United Nations in the 2030 Agenda is to ensure healthy lifestyles and adequate wellbeing for all citizens, improving urban resilience and reducing the risks associated with climate change through the sustainable management of natural ecosystems and the increase in biodiversity. We refer in particular to Goals 11 – Sustainable Cities and Communities, 13 – Climate Actions, and 15 – Life of Lands (UN, 2015).

5) The research was carried out with the support of the Project Fondecyt 1200275 (2020-2022), awarded in Chile by Anid and by MIUR-Sapienza funds for Visiting Professor (2021), by a multidisciplinary working group made up of architects and engineers with different skills on the subjects of urban planning, technological and energy efficiency, and green solutions to limit the impacts of climate change in cities.

6) Some of the parameters that represent the most the benefits and the ecosystem services created from the trees’ presence in cities are: the percentage of pollutants (kg/ha), particulate matter (Pm) or tons of carbon re-

moved each year (tons / a), the absorption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), the decrease of temperatures (°C), the reduction of noise levels (dBA), the biodiversity index (Cbi).

7) To find out more see the website: [climate.onebuilding.org](http://climate.onebuilding.org) [Accessed 21 March 2022].

## References

Andreucci, M. B. (2017), *Progettare Green Infrastruttura – Tecnologie, valori e strumenti per la resilienza urbana*, Wolters Kluwer, Italia.

Balogun, A. A., Morakinyo, T. E. and Adegun, O. B. (2014), “Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings”, in *Energy Buildings*, vol. 81, pp. 305-315. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046) [Accessed 21 March 2022].

Calcerano, F. and Martinelli, L. (2016), “Numerical optimization through dynamic simulation of the position of trees around a stand-alone building to reduce cooling energy consumption”, in *Energy Buildings*, vol. 112, pp. 234-243. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.023](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.023) [Accessed 06 April 2022].

EEA – European Environmental Agency (2020), *Urban adaptation in Europe – How cities and towns respond to climate change*, EEA Report, no. 12/2020. [Online] Available at: [eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe](http://eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2021), *The EU and nature-based solutions*. [Online] Available at: [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2013), *Building a Green Infrastructure for Europe*, European Union. [Online] Available at: [ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green\\_infrastructure\\_broc.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf) [Accessed 21 March 2022].

Givoni, B. (1991), “Impact of planted areas on urban environmental quality – A review”, in *Atmospheric Environment – Part B – Urban Atmosphere*, vol. 25, issue 3, pp. 289-299. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U) [Accessed 21 March 2022].

IEA – International Energy Agency (2018), *The Future of Cooling – Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning*. [Online] Available at: [doi.org/10.1787/9789264301993-en](https://doi.org/10.1787/9789264301993-en) [Accessed 21 March 2022].

Laband, D. and Sophocleus, V. (2009), “An experimental analysis of the impact of tree shade impacts on

electricity consumption”, in *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 35, issue 4, pp. 197-202. [Online] Available at: [doi.org/10.48044/jauf.2009.033](https://doi.org/10.48044/jauf.2009.033) [Accessed 21 March 2022].

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: [millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx](http://millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx) [Accessed 21 March 2022].

Mussinelli, E., Tartaglia, A., Bisogni, L. and Malcev-schi, S. (2018), “Il ruolo delle Nature-Based Solutions nel progetto architettonico e urbano | The role of Nature-Based Solutions in architectural and urban design”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 116-123. [Online] Available at: [doi.org/10.13128/Techne-22112](https://doi.org/10.13128/Techne-22112) [Accessed 24 January 2022].

Palme, M., Privitera, R. and La Rosa, D. (2020), “The shading effects of Green Infrastructure in private residential areas – Building Performance Simulation to support urban planning”, in *Energy and Buildings*, vol. 229, 110531, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110531](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110531) [Accessed 21 March 2022].

Privitera, R., Evola, G., La Rosa, D. and Costanzo, V. (2021), “Green Infrastructure to Reduce the Energy Demand of Cities”, in Palme, M. and Salvati, A. (eds), *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, Springer, Cham, pp. 485-503. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_23) [Accessed 21 March 2022].

Santamouris, M. and Kolokotsa, D. (2016), *Urban Climate Mitigation Techniques*, Routledge, London. [Online] Available at: [doi.org/10.4324/9781315765839](https://doi.org/10.4324/9781315765839) [Accessed 21 March 2022].

Tiwari, A., Kumar, P., Kalaiarasan, G. and Ottosen, T.-B. (2021), “The impacts of existing and hypothetical green infrastructure scenarios on urban heat island formation”, in *Environmental Pollution*, vol. 274, 115898, pp. 1-14. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115898](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115898) [Accessed 21 March 2022].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: [un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E) [Accessed 10 November 2021].