



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Dottorato di ricerca in Architettura

PhD programme in Architecture

Direttore | Director

Prof. Giuseppe De Luca

Curriculum Tecnologia dell'Architettura

Curriculum Technology of Architecture

Coordinatore Curriculum | Curriculum Referee

Prof.ssa Paola Gallo

SPAZIO URBANO E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO. METODI E STRUMENTI PER IL PROGETTO AMBIENTALE E TECNOLOGICO

Dottorando | Phd Candidate

Giulio Hasanaj

Tutor | Tutor

Prof. Roberto Bologna

Ciclo | Cycle

XXXIII

Novembre 2017 - Marzo 2021

Dottorato di ricerca in Architettura

PhD programme in Architecture

Direttore | Director

Prof. Giuseppe De Luca

Curriculum Tecnologie dell'Architettura

Curriculum Technology of Architecture

Coordinatore Curriculum | Curriculum Referee

Prof.ssa Paola Gallo

SPAZIO URBANO E ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO. METODI E STRUMENTI PER IL PROGETTO AMBIENTALE E TECNOLOGICO

Dottorando | Phd Candidate

Giulio Hasanaĵ

Tutor | Tutor

Prof. Roberto Bologna

Ciclo | Cycle

XXXIII

Novembre 2017 - Marzo 2021

ABSTRACT

Il cambiamento climatico rappresenta una delle più importanti sfide della nostra epoca e i suoi impatti si ripercuotono in maniera aggravata sulla città e sul benessere e la salute di tutti i cittadini. Eventi climatici sempre più intensi e violenti, quali isole di calore urbane, precipitazioni estreme, fenomeni siccitosi e tempeste di vento, insieme ad un tendenziale incremento della popolazione nelle città, definiranno le principali condizioni di vulnerabilità ed esposizione innescando differenti livelli di rischio. Le città rappresentano il luogo fisico di concentrazione di tali impatti e il principale *habitat* dell'essere umano e, pertanto, richiedono strategie e soluzioni progettuali di adattamento capaci di incidere sulla vivibilità dell'ambiente urbano e l'incremento della resilienza climatica.

La ricerca costruisce in primo luogo un repertorio di soluzioni progettuali dal quale poter attingere per orientare la costruzione di un progetto *climate adaptive*, partendo dalla restituzione di un organico e strutturato quadro di esperienze progettuali localizzate nelle principali regioni biogeografiche europee. In secondo luogo, propone un modello per la simulazione e valutazione dell'efficacia delle diverse alternative progettuali individuate, per determinare l'incremento delle capacità di adattamento alle pericolosità climatiche specifiche e/o multiple.

Climate change is one of the most important challenges of our time and its impacts are worsen affecting cities and well-being and health of all citizens. Increasingly intense and violent climatic events such as urban heat islands, extreme rainfall, drought and windstorms, together with an increase in the population in cities, will define the main conditions of vulnerability and exposure triggering different levels of risk. Cities represent the physical place of concentration of such impacts and the main habitat of the humans and, therefore, require adaptation strategies and design solutions that can affect the livability of the urban environment and increase climate resilience.

The research mainly develop a catalogue of design solutions from which to choose for the construction of an adaptive climate project, starting from the definition of a structured framework of knowledge about project experiences of case studies located in the main European biogeographical regions. Secondly, explains a model for the simulation and evaluation of the effectiveness of the different design alternatives identified to determine the increase in capacity to adapt to specific and/or multiple climatic hazards.

INDICE

Introduzione

- Parole chiave
- Premessa generale
- Inquadramento scientifico
- Domanda di ricerca
- Obiettivi generali e specifici della ricerca
- Struttura e fasi della ricerca
- Risultati conseguiti
- Destinatari della ricerca
- Collocazione scientifica della ricerca e relazione con il Settore Scientifico Disciplinare SSD ICAR/12 “Tecnologia dell’Architettura”

PARTE I - Contesto tematico della ricerca

Capitolo 1 - La sfida contemporanea del cambiamento climatico.....	21
1.1- Scenari climatici globali: indicatori, tendenze e proiezioni	
1.2 - La questione climatica come obiettivo prioritario delle agende politiche internazionali	
Capitolo 2 - Il ruolo chiave delle città in un clima che cambia.....	27
2.1 - La sfida climatica-ambientale degli insediamenti urbani	
2.2 - Impatti climatici ed eventi meteorologici estremi	
2.2.1 - Ondate di calore e isole di calore urbane	
2.2.2 - Precipitazioni estreme e allagamenti urbani	
2.2.3 - Fenomeni siccitosi e scarsità idrica	
2.2.4 - Tempeste di vento	
Capitolo 3 - Le azioni di adattamento per il contrasto al climate change.....	37
3.1 - Parametri per la valutazione del rischio associato al cambiamento climatico	
3.2 - Adattamento climatico: esperienze progettuali e ambiti di ricerca	
3.3 - Il progetto di adattamento climatico e gli approcci di <i>simulation and modeling</i> per la verifica e la misurabilità degli interventi	
3.3.1 - Esperienze di ricerca e modelli di intervento di <i>simulation and modeling</i> per l’adattamento climatico	
3.3.2 - Integrazione degli strumenti IT nei processi decisionali per il progetto di adattamento climatico	
References.....	46

PARTE II - Casi studio di progetti per l’adattamento agli effetti del cambiamento climatico

Capitolo 4 - Schedatura di casi di studio di progetti per l’adattamento climatico.....	55
4.1 Indagine ricognitiva di casi di studio di progetti per l’adattamento e delimitazione del campo di ricerca	

- 4.2 Introduzione alla schedatura dei casi di studio dei progetti
- 4.3 - Parchi urbani
 - 4.3.1 - *The soul of Nørrebro, Copenhagen, Danimarca*
 - 4.3.2 - *Gomenzarro Park, Madrid, Spagna*
 - 4.3.3 - *M.L. King Park, Parigi, Francia*
- 4.4 - Quartieri
 - 4.4.1 - *Zoho Climate Proof, Rotterdam, Olanda*
 - 4.4.2 - *Sant Kjeld Kvarter, Copenhagen, Danimarca*
 - 4.4.3 - *One step beyond, Atene, Grecia*
- 4.5 - Aree pubbliche
 - 4.5.1 - *Watersquare Tiel, Tiel, Olanda*
 - 4.5.2 - *Zollhallen Plaza, Friburgo, Germania*
 - 4.5.3 - *Kettingplein, Ghent, Belgio*
- 4.6 - Edifici
 - 4.6.1 - *IMDEA Institute, Madrid, Spagna*
 - 4.6.2 - *Inselplatz Campus, Jena, Germania*
 - 4.6.3 - *Groot Willemsplein, Rotterdam, Olanda*
 - 4.6.4 - *Climate-Proof SH, Londra, Regno Unito*
 - 4.6.5 - *Condominio 25 Verde, Torino, Italia*
- 4.7 - Letture dei risultati emersi dalle analisi dei casi di studio
- 4.8 - Soluzioni progettuali per l'adattamento desunte dalle analisi dei casi di studio

References.....142

PARTE III - Repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico

Capitolo 5 - Schedatura delle soluzioni progettuali per l'adattamento climatico.....149

- 5.1 - Introduzione al repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento
- 5.2 - *Nature Based Solutions*
 - 5.2.1 - Alberature
 - 5.2.2 - Bacini vegetati inondabili
 - 5.2.3 - Bacini vegetati umidi (stagni)
 - 5.2.4 - *Bioswales* (canali vegetati inondabili)
 - 5.2.5 - Fossati vegetati inondabili
 - 5.2.6 - Coperture vegetate
 - 5.2.7 - Orti urbani
 - 5.2.8 - Pareti vegetate
 - 5.2.9 - *Rain gardens* (aree urbane vegetate inondabili)
 - 5.2.10 - Superfici verdi permeabili
 - 5.2.11 - Trincee drenanti
- 5.3 - Soluzioni artificiali
 - 5.3.1 - Casseri drenanti interrati
 - 5.3.2 - Cisterne di raccolta interrate
 - 5.3.3 - *Cool materials*
 - 5.3.4 - Coperture urbane

- 5.3.5 - Fontane
- 5.3.6 - Pavimentazioni permeabili
- 5.3.7 - Regolatori di flussi idrici
- 5.3.8 - Serbatoi di raccolta fuori terra
- 5.3.9 - Specchi d'acqua
- 5.3.10 - Vasche superficiali inondabili
- 5.4 - Letture dei risultati emersi dal repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento
- 5.5 - Quadri sinottici comparativi delle soluzioni di adattamento *nature based* e artificiali

References.....270

PARTE IV - Modello per la valutazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento

Capitolo 6 - Contesto di indagine, metodi e strumenti impiegati nella sperimentazione.....275

- 6.1 - Ambito urbano di sperimentazione delle soluzioni di adattamento
- 6.2 - Metodi e strumenti impiegati per la valutazione dell'efficacia prestazionale
 - 6.2.1 - Metodologia adottata per le indagini termiche con il software ENVI-met
 - 6.2.2 - Metodologia adottata per le indagini idrauliche con il metodo predittivo
- 6.3 - Area di *testing* delle soluzioni di adattamento
 - 6.3.1 - Indicatori climatici e di comfort per l'analisi termica
 - 6.3.2 - Indicatori ambientali per l'analisi idraulica

Capitolo 7 - Misurazioni dei risultati termici e idraulici delle soluzioni progettuali e modello di valutazione dell'efficacia all'adattamento climatico.....287

- 7.1 - Introduzione alla misurazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento
 - 7.1.1 - Test soluzione di adattamento 0: stato di fatto
 - 7.1.2 - Test soluzione di adattamento 1: alberature
 - 7.1.3 - Test soluzione di adattamento 2: superficie verde permeabile
 - 7.1.4 - Test soluzione di adattamento 3: pavimentazione permeabili *cool material*
 - 7.1.5 - Test soluzione di adattamento 4: *rain garden*
- 7.2 - Letture e comparazione dei risultati emersi dalle misurazioni climatiche
- 7.3 - Modello di valutazione dell'efficacia di adattamento delle soluzioni progettuali

References.....342

PARTE V - Considerazioni finali

Capitolo 8 - Considerazioni conclusive sulla ricerca.....347

- 8.1 - Risultati della ricerca e contributi di originalità
- 8.2 - Limiti e criticità della ricerca
- 8.3 - Prospettive future

Introduzione

Parole chiave

Cambiamento climatico, resilienza, adaptive design, progettazione ambientale, progettazione tecnologica

Premessa generale

Il lavoro di tesi fonda le sue radici nel progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale PRIN2015 “*Adaptive design e innovazione tecnologica per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico*” al quale ho partecipato in qualità di assegnista di ricerca all’interno del gruppo del Dipartimento di Architettura (DIDA) dell’Università degli Studi di Firenze.

Gli argomenti sviluppati nella tesi di dottorato partono dagli stessi presupposti scientifici della ricerca PRIN2015 ma si differenziano per obiettivi e risultati. Pertanto, il seguente prodotto di ricerca documenta esclusivamente l’attività individuale svolta nell’ambito del XXXIII ciclo del Dottorato di ricerca in Tecnologia dell’Architettura e si concentra nello specifico nel campo della Progettazione Ambientale.

La tesi di dottorato è stata perfezionata a seguito delle osservazioni fatte dei valutatori esterni.

Inquadramento scientifico

La tesi di dottorato si colloca nella più ampia tematica del cambiamento climatico, focalizzandosi in particolare su soluzioni progettuali ed esperienze di progetti e processi per l’incremento della resilienza in ambito urbano, con il fine ultimo dell’adattamento ad un clima in costante mutamento.

La centralità dell’argomento è ampiamente riconosciuta e sottolineata dai principali accordi, quadri e politiche nazionali ed internazionali che includono tra gli obiettivi prioritari la promozione delle azioni per contrastare il cambiamento climatico. Tra le principali finalità di questi obiettivi rientra il rafforzamento delle capacità di ripresa e adattamento ai rischi e ai disastri naturali e l’integrazione delle misure per contrastare il cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazioni nazionali.

La comunità scientifica globale è concorde nell’affermare che il cambiamento climatico sia una delle più grandi sfide della nostra epoca e che i suoi impatti si ripercuotono in maniera aggravata sulle città di tutto il mondo e sulla salute, sul benessere e sulla sicurezza di tutti i cittadini. L’Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN) per lo sviluppo sostenibile, inoltre, sottolinea che le questioni climatiche sono determinanti per il raggiungimento anche degli altri obiettivi di sostenibilità (contrasto alla povertà, salute e nutrizione, inclusione e riduzione delle disuguaglianze, etc.).

L’emergenza e l’urgenza climatica è sottolineata anche nei più recenti documenti sul clima da parte di istituzioni ed organizzazioni globalmente riconosciute ed affermate. Tra queste, l’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), nel suo ultimo rapporto speciale, ha confermato l’irreversibile e costante aumento dei gas serra in atmosfera, asserendo la necessità di mantenere il riscaldamento globale in corso entro i 2 °C. Tuttavia, nonostante la crescente consapevolezza delle minacce climatiche, il resoconto del 2019 del *United Nations Environment Programme* (UNEP) sulle emissioni clima alteranti, rileva che anche se tutti i paesi firmatari dell’accordo di Parigi rispettassero i contributi stabiliti a livello nazionale, l’aumento della

temperatura globale si attesterebbe intorno ai 3,2 °C entro la fine del secolo.

Queste proiezioni climatiche mostrano scenari futuri in cui le strategie di mitigazione, siglate nei trattati internazionali sul clima, rappresentano metodi necessarie per intervenire sul fenomeno globale del cambiamento climatico, ma non sufficienti per risolvere gli impatti climatici che si manifestano in maniera localizzata e che richiedono di essere affrontati nei contesti specifici. Di conseguenza, assumono ancora più rilevanza le strategie di adattamento e le città in quanto ambiti di applicazione delle stesse.

I centri urbani, in questo scenario, rivestono un ruolo fondamentale per l'attuazione delle misure di adattamento poiché rappresentano da un lato, la principale causa del riscaldamento globale in termini di emissioni di gas serra, e dall'altro, l'ambito di applicazione più efficace per tentare di risolvere il problema climatico. Inoltre, l'inquinamento atmosferico e le condizioni meteorologiche estreme sono riconosciuti come le principali cause di accrescimento dei rischi climatico-ambientali, causando di conseguenza un significativo incremento della mortalità.

Per affrontare il rischio climatico in maniera efficace non è sufficiente conoscerne i principali pericoli, ma assume estrema importanza la determinazione delle componenti di esposizione e vulnerabilità. Quest'ultima, in particolare, rappresenta la variabile chiave per l'incremento della resilienza e racchiude al suo interno il concetto centrale della "capacità di adattamento".

In merito al tema dell'adattamento, importanti esperienze progettuali derivano dai piani climatici cittadini messi in atto sia in Europa che nel mondo. Questi hanno dimostrato da un lato, l'importanza della pianificazione territoriale per contrastare gli impatti dovuti al cambiamento climatico, dall'altro, le considerevoli opportunità che si possono mettere in pratica con lo sviluppo di azioni e progetti *site specific*. In particolare, molte recenti pratiche progettuali esplorano innovativi approcci di *simulation e modeling* utilizzati per la verifica e la misurabilità degli interventi in via preventiva.

L'adattamento climatico ha assunto un ruolo centrale anche nel contesto della ricerca nazionale ed europea. Rilevanti progetti di ricerca nazionali riguardanti gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici sono stati finanziati tramite specifici schemi di finanziamento (PRIN, PON, FISR, etc.) e altrettanti sono stati inseriti nel nuovo Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027. Quest'ultimo e più recente programma pone la questione climatica come prioritaria e, per questo motivo, la inserisce tra i grandi ambiti di ricerca e innovazione.

Domanda di ricerca

Alla luce di quanto esposto, al fine di collocare correttamente il lavoro nel contesto della domanda di ricerca nazionale ed internazionale, si evidenziano i principali *gap* conoscitivi in merito all'argomento dell'adattamento climatico.

1 - Molti piani e progetti riferiti all'adattamento climatico sono attualmente *in progress* ma, allo stato odierno, è indispensabile e necessario un ulteriore ed intenso lavoro di ricerca, sperimentazione ed implementazione di queste pratiche al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati dalle agende internazionali e migliorare il benessere e la qualità della vita dei cittadini;

2 - molte autorità nazionali e locali hanno compreso l'importanza delle pratiche di adattamento e mitigazione climatica e hanno iniziato ad agire ma, sia sul piano della pianificazione che su quello della programmazione e realizzazione degli interventi, la transizione climatica per l'adattamento prosegue molto più lentamente rispetto a quella della mitigazione e alla velocità degli impatti

provocati dal surriscaldamento globale attualmente in corso. Ad aggravare la situazione inoltre, nel caso della mitigazione, gli obiettivi climatici prefissati non mostrano risultati incoraggianti e, in maniera analoga, per l'adattamento, si stanno riscontrando problematiche sul monitoraggio e sulla valutazione dell'efficacia delle prestazioni delle soluzioni e strategie intraprese;

3 - sebbene quasi tutti gli Stati membri dell'Unione Europea dispongano ora di una strategia di adattamento nazionale, i progressi nelle azioni di adattamento a livello locale variano da paese a paese e non esiste una panoramica completa degli sforzi compiuti per l'adattamento in tutta Europa (questi dati mancano anche a livello globale);

4 - molte ricerche in merito all'adattamento climatico attualmente in corso e pianificate nei programmi quadro di ricerca e innovazione in Europa sono principalmente finalizzate allo sviluppo della conoscenza e consapevolezza del problema a livello locale; molte meno riguardano invece strategie e soluzioni progettuali e tecniche da mettere in pratica per adattare le città;

5 - una conoscenza affidabile e accessibile sui cambiamenti climatici - pericolosità, esposizione e vulnerabilità - sviluppata a livello locale (territoriale, metropolitano, cittadino) è fondamentale per supportare la pianificazione e la programmazione degli interventi di adattamento; a tale proposito, tre passaggi sono particolarmente utili per riuscire efficacemente nell'impresa: il primo è quello di effettuare una ricognizione territoriale al fine di individuare le aree urbane maggiormente critiche, il secondo prevede di rafforzare la collaborazione tra la città e la comunità di ricerca, il terzo riguarda la definizione di norme specifiche sull'uso e consumo del suolo secondo un modello di sviluppo sostenibile e adattivo ad un clima in costante mutamento;

6 - nell'ambito della nuova strategia di adattamento dell'Unione Europea, il Green Deal europeo sottolinea che le città (tra le altre parti le più direttamente interessate) dovrebbero essere in grado di accedere a dati e sviluppare strumenti per integrare i cambiamenti climatici nelle loro pratiche di gestione del rischio;

7 - le aree urbane periferiche e marginali devono essere privilegiate nell'attuazione delle pratiche di adattamento climatico e i progetti destinati a questi scopi devono basarsi sull'evidenza dei risultati delle soluzioni applicate (*evidence based*);

8 - molte ricerche scientifiche hanno dimostrato l'efficacia delle azioni di sensibilizzazione e allertamento agli eventi climatici, ma risulta altrettanto fondamentale e opportuno sviluppare ulteriori e più concrete conoscenze in merito all'efficacia delle misure di adattamento;

9 - l'adattamento urbano al *climate change* non riguarda solamente il cambiamento morfologico delle nostre città. La pandemia COVID-19 ha fatto emergere rischi e problematiche di ordine ambientale, economico e sociale, che subiscono un processo di amplificazione degli effetti negativi nei gruppi più vulnerabili della nostra società: gli anziani, le persone più fragili, con malattie pregresse, in gravi condizioni di salute o economiche. Queste lacune, presenti in maniera diffusa nel territorio nazionale, impongono una riflessione più profonda sui diversi impatti del *climate change*;

10 - il cambiamento climatico, così come dimostrato dalla pandemia COVID-19, impone una riflessione anche sulla preparazione delle infrastrutture territoriali di base delle città (ospedali, scuole, università, edilizia residenziale pubblica, spazi urbani pubblici, etc.) che necessitano di un rinnovato adeguamento agli attuali e futuri eventi climatici severi.

Risulta evidente dalle carenze evidenziate che, al fine di incrementare la resilienza climatica delle nostre città, sia necessario integrare l'adattamento nelle pratiche ordinarie - senza limitarle a quelle straordinarie ed emergenziali - di gestione e sviluppo degli attuali e futuri insediamenti urbani, rendendolo di fatto un requisito essenziale per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile.

La ricerca intende in particolare concentrarsi sui gap conoscitivi presenti ai punti 2, 4, 7 e 8, focalizzandosi su:

- le problematiche sulla valutazione dell'efficacia delle prestazioni di soluzioni e strategie di adattamento messe in pratica nei diversi contesti urbani;
- lo sviluppo di strategie e soluzioni progettuali e tecniche da mettere in pratica per l'adattamento climatico;
- lo sviluppo di una progettazione fondata sull'evidenza dei risultati delle soluzioni applicate (*evidence based*);
- lo sviluppo di ulteriori e più concrete conoscenze in merito all'efficacia delle misure di adattamento.

In definitiva, per le argomentazioni fino a questo momento esposte, è lecito quindi domandarsi quali siano le più recenti ed efficaci soluzioni progettuali da mettere in campo per rendere le città più adattive, resilienti e meno vulnerabili agli impatti di un clima che cambia, e quali sono i metodi e gli strumenti per misurare l'efficacia delle soluzioni progettuali per l'adattamento nel campo dell'architettura.

Obiettivi generali e specifici della ricerca

La ricerca intende sviluppare le capacità di adattamento degli edifici e degli spazi urbani aperti esistenti, sia pubblici che privati. In quest'ottica, la progettazione per l'adattamento degli ambienti urbani e le soluzioni progettuali adattive contribuiscono ad anticipare, prevenire e ridurre i potenziali rischi attesi con il cambiamento climatico. In particolare, le indagini si sono concentrate principalmente nelle aree urbane in cui si registra la maggiore presenza di elementi a rischio e contemporaneamente la maggiore opportunità di intervento.

Gli obiettivi principali della tesi di dottorato sono:

- la costruzione di un repertorio di soluzioni progettuali replicabili, misurabili e confrontabili dal quale poter attingere per orientare i progetti di rigenerazione urbana, secondo i principi di resilienza e adattamento climatico. Tale risultato rappresenta un fondamentale strumento a disposizione di progettisti, amministratori, decisori politici e aziende produttrici in quanto costituisce un contributo originale e attualmente non documentato nella letteratura scientifica nel campo dell'architettura.
- la costruzione di un modello generale per la valutazione dell'efficacia prestazionale delle soluzioni progettuali di adattamento, grazie all'utilizzo di metodi e strumenti predittivi. L'impiego di strumenti e metodi di analisi e valutazione preventiva, come il software ENVI-met e il metodo predittivo sul comportamento idraulico, permettono di prevedere il comportamento climatico in seguito all'inserimento di determinate alternative progettuali e misurarne la risposta in termini di adattamento.

Gli obiettivi specifici invece comprendono:

- per la fase analitica, la definizione di un organico e strutturato quadro di esperienze progettuali di casi di studio localizzati nelle principali bioregioni geografiche europee;
- per la fase sperimentale e quella propositiva, la valutazione dell'efficacia di un campione di soluzioni progettuali in riferimento alle principali criticità climatiche indagate (isola di calore urbana e allagamenti pluviali), all'interno di un contesto urbano di indagine climaticamente stressato.

Struttura e fasi della ricerca

La struttura del lavoro di ricerca comprende, oltre ad una introduzione iniziale, cinque parti ciascuna delle quali inserita all'interno di una precisa fase operativa:

- *Parte I. Inquadramento della tematica*
- *Parte II. Casi studio di progetti per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico*
- *Parte III. Repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico*
- *Parte IV. Modello per la valutazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento*
- *Parte V. Considerazioni finali*

La *Parte I. Inquadramento della tematica* rappresenta la fase istruttoria del processo di ricerca atto ad operare una ricognizione e valutazione degli elementi rilevanti sull'argomento, per orientare le indagini da sviluppare. Nello specifico, questa prima parte propone un inquadramento scientifico delle seguenti tematiche connesse all'oggetto stesso della ricerca:

- descrizione delle più aggiornate valutazioni sullo stato del clima e i principali trend evolutivi prefigurati dai diversi scenari futuri derivanti dai rapporti internazionali;
- descrizione del ruolo centrale degli insediamenti urbani nel contrasto al cambiamento climatico;
- descrizione dei principali impatti climatici sulle aree urbane, focalizzandosi in particolare a quei fenomeni climatici maggiormente ricorrenti nelle principali regioni biogeografiche Europee. Le principali pericolosità climatiche si riferiscono a ondate di calore e isole di calore urbane, alluvioni urbane causate da precipitazioni estreme, fenomeni siccitosi e scarsità idrica, tempeste di vento;
- descrizione dei parametri per la valutazione del rischio climatico (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) e definizione del concetto di capacità di adattamento;
- restituzione sintetica delle più significative esperienze progettuali di piani climatici cittadini in Europa, ponendo in particolare l'attenzione sul progetto di rigenerazione urbana finalizzato all'adattamento e al ruolo indispensabile dell'edificato e degli spazi aperti nelle sfide del climate change;
- descrizione dei principali ambiti di ricerca scientifica inerenti l'adattamento climatico e il ruolo centrale della tematica sia a livello nazionale che europeo.

La *Parte II. Casi studio di progetti per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico* costituisce la fase analitica finalizzata all'esame di specifici progetti che si sono occupati di contrastare il fenomeno del cambiamento climatico attraverso le pratiche di adattamento. Fondamentale in questa fase, oltre ad una chiara designazione degli obiettivi e dei risultati che si intende perseguire, è la descrizione della metodologia adottata e la delimitazione del campo di indagine. Il risultato di questa fase prevede la costruzione di un background conoscitivo su casi di studio di progetti per l'adattamento climatico, suddivisi in relazione all'ambito urbano di intervento e l'individuazione delle soluzioni adattive impiegate.

Nella *Parte III. Repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico* viene invece sviluppata la fase propositiva. In questa parte vengono descritte le principali soluzioni progettuali per l'adattamento climatico da mettere in pratica per incrementare la resilienza, elaborando di fatto il repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento suddiviso per tipologie e categorie di soluzioni.

Nella *Parte IV. Modello per la valutazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento*, si sviluppa la fase sperimentale della ricerca. All'interno di questa fase viene proposta una metodologia

per la valutazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento climatico costruita sulla base di simulazioni e valutazioni operate all'interno di un campione di soluzioni progettuali, scelte tra quelle individuate nel repertorio.

All'interno di queste tre parti centrali, la struttura utilizzata per la restituzione dei contributi è sempre la stessa ed è stata concentrata in due capitoli. Più nello specifico, all'interno del primo capitolo di ciascuna parte viene descritta la metodologia sviluppata e vengono restituite le elaborazioni analitiche o propositive portate a termine. Nel secondo capitolo di ciascuna parte, invece, vengono effettuate letture critiche, classificazioni e vengono restituiti i risultati conseguiti in quella specifica parte (fase operativa) della ricerca.

Il lavoro si conclude con la *Parte V. Considerazioni finali* in cui sono descritti in forma sintetica i risultati conseguiti, messi in luce i principali limiti e le criticità incontrate ed infine delineate le possibili prospettive future di ricerca.

Risultati conseguiti

I principali risultati conseguiti dal presente lavoro di ricerca sono due. Il primo concerne la realizzazione di un repertorio contenente soluzioni progettuali di adattamento per rispondere alle criticità climatiche specifiche dell'isola di calore urbana, degli allagamenti pluviali e dei fenomeni siccitosi. Le soluzioni individuate sono ricavate da casi di studio di progetti di adattamento localizzati nelle principali fasce climatiche europee e, attraverso approfondimenti di letteratura tecnica e scientifica, classificate secondo specifici criteri.

Il secondo risultato riguarda la costruzione di un modello per la valutazione dell'efficacia prestazionale delle soluzioni di adattamento climatico, basato sull'utilizzo di un processo costituito da sette fasi operative: 1) modellazione ex-ante, 2) simulazione/valutazione ex-ante, 3) output ex-ante, 4) modellazione ex-post, 5) simulazione/valutazione ex-post, 6) output ex-post, 7) comparazione output ex-ante/ex-post.

Nello specifico, i due risultati della ricerca di tesi si differenziano dai risultati conseguiti nella ricerca PRIN2015 e costituiscono un avanzamento della ricerca nel campo dell'*adaptive design*.

Il repertorio rappresenta una trattazione sistematica che riorganizza e definisce un chiaro quadro delle soluzioni progettuali di adattamento identificando 21 differenti alternative tecniche e spaziali dal quale poter attingere per orientare la costruzione di un progetto *climate-oriented* basato sulla resilienza e l'adattamento climatico. Grazie al repertorio è possibile selezionare le soluzioni progettuali adattive più adeguate alle specificità del contesto di intervento, alle differenti pericolosità climatiche da affrontare, in relazione ai meccanismi di funzionamento o in riferimento ai principali indicatori climatici. Attraverso il repertorio è inoltre possibile: identificare le soluzioni appartenenti alla macro-classe delle *nature based solutions* oppure a quella delle soluzioni artificiali; scegliere tra le diverse tipologie le soluzioni *green*, *grey* e *blue*; ed infine selezionare le soluzioni in relazione alla categoria di intervento, operando una corrispondenza tra la soluzione progettuale e il suo modello tipologico-spaziale di applicazione in sito.

La valutazione dell'efficacia ha permesso di misurare le risposte termiche e idrauliche delle differenti alternative progettuali, attraverso strumenti informatici e modelli valutativi predittivi. Nonostante le due metodologie di valutazione preventiva siano già riconosciute e validate dalla comunità scientifica l'elemento principale di originalità della ricerca consiste nel definire il grado di incisività delle soluzioni di adattamento e in particolare determinare la capacità di adattamento *multi-hazard*. Questa operazione ha permesso alle soluzioni di adattamento di

essere analizzate in maniera non settoriale rispetto alle differenti pericolosità climatiche che si abbattono sull'ambiente costruito della città.

Destinatari della ricerca

I principali destinatari della ricerca sono i progettisti, chiamati sempre più spesso ad operare in un'ottica di adattamento al cambiamento climatico e resilienza urbana, sia negli edifici che all'interno degli spazi aperti - pubblici e privati - della città e in un quadro normativo nazionale ed europeo sempre più improntato sull'evidenza delle soluzioni progettuali proposte. In seconda battuta la ricerca è destinata alle Pubbliche Amministrazioni, in quanto responsabili della gestione e pianificazione degli interventi in ambito urbano, ed infine il mondo della produzione di componenti e sistemi per l'adattamento climatico, finalizzati alla realizzazione di elementi specialistici ad elevata prestazione, per ridurre le vulnerabilità climatiche e incrementare la resilienza.

Collocazione scientifica della ricerca e relazione con il Settore Scientifico-Disciplinare SSD ICAR/12 "Tecnologia dell'Architettura"

Le evidenti alterazioni degli equilibri ambientali, sociali ed economici dovute al cambiamento climatico provocano una transizione verso nuovi equilibri, legati a nuovi modelli e spazi di vita. Questa transizione climatica chiama in causa la complessità intrinseca delle città: del suo *habitat*, dei suoi *modelli e sistemi*, dei suoi *progetti e processi*, dei *materiali costruttivi*. I nuovi equilibri delle città contemporanee, dettati dalle mutazioni climatiche, sono e saranno sempre più caratterizzati da condizioni climatiche estremamente dinamiche, contraddistinti da un'elevata variabilità, al quale l'architettura delle città dovrà adattarsi.

Le capacità di adattamento, al quale ci si riferisce all'interno della ricerca, esprimono la necessità di incrementare la *resilienza* in tutti gli ambienti urbani, al fine di ridurre la vulnerabilità e, di conseguenza, il rischio climatico. In quest'ottica, la ricerca degli elementi per orientare il progetto della "resilienza", operata attraverso la trasformazione dell'ambiente costruito e finalizzata alla rigenerazione urbana, è certamente strettamente correlata alla disciplina della Tecnologia dell'Architettura in quanto, al fine di ridurre gli impatti del cambiamento climatico, agisce direttamente sulle configurazioni funzionali, spaziali e ambientali, ed opera sugli aspetti processuali, di *governance* e tecnico-costruttivi.

La ricerca, nello specifico, pone particolare attenzione ai temi del *progetto* per l'adattamento climatico, in quanto armonizzatore di apporti diversificati e, oggi più che mai, sempre più complessi; del *processo*, in quanto strategico per fornire contributi evoluti sulle modalità operative e sugli strumenti messi in campo; e delle *prestazioni*, al fine di conseguire risultati quantificabili per rispettare i requisiti essenziali per un ambiente urbano a misura di uomo.

Per questi motivi la Tecnologia dell'Architettura si colloca in perfetta sintonia con le tematiche della ricerca e rappresenta un settore scientifico disciplinare centrale per lo sviluppo di nuove conoscenze nell'ambito della resilienza e dell'adattamento climatico.

PARTE I

CONTESTO TEMATICO DELLA RICERCA

CAPITOLO 1

La sfida contemporanea del cambiamento climatico

Il capitolo ha l'obiettivo di inquadrare il tema generale del cambiamento climatico attraverso due macro ambiti: gli scenari climatici globali e le azioni per il clima intraprese delle politiche internazionali. In particolare, vengono riportati i principali indicatori globali, le tendenze climatiche dell'ultimo secolo e le proiezioni future descritte dai modelli matematici dei più recenti report internazionali. La questione climatica è inoltre documentata attraverso i principali accordi globali sul clima, le strategie nazionali ed europee in contrasto al *climate change* e dall'obiettivo prioritario 13 "*Climate Action*" contenuto nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.

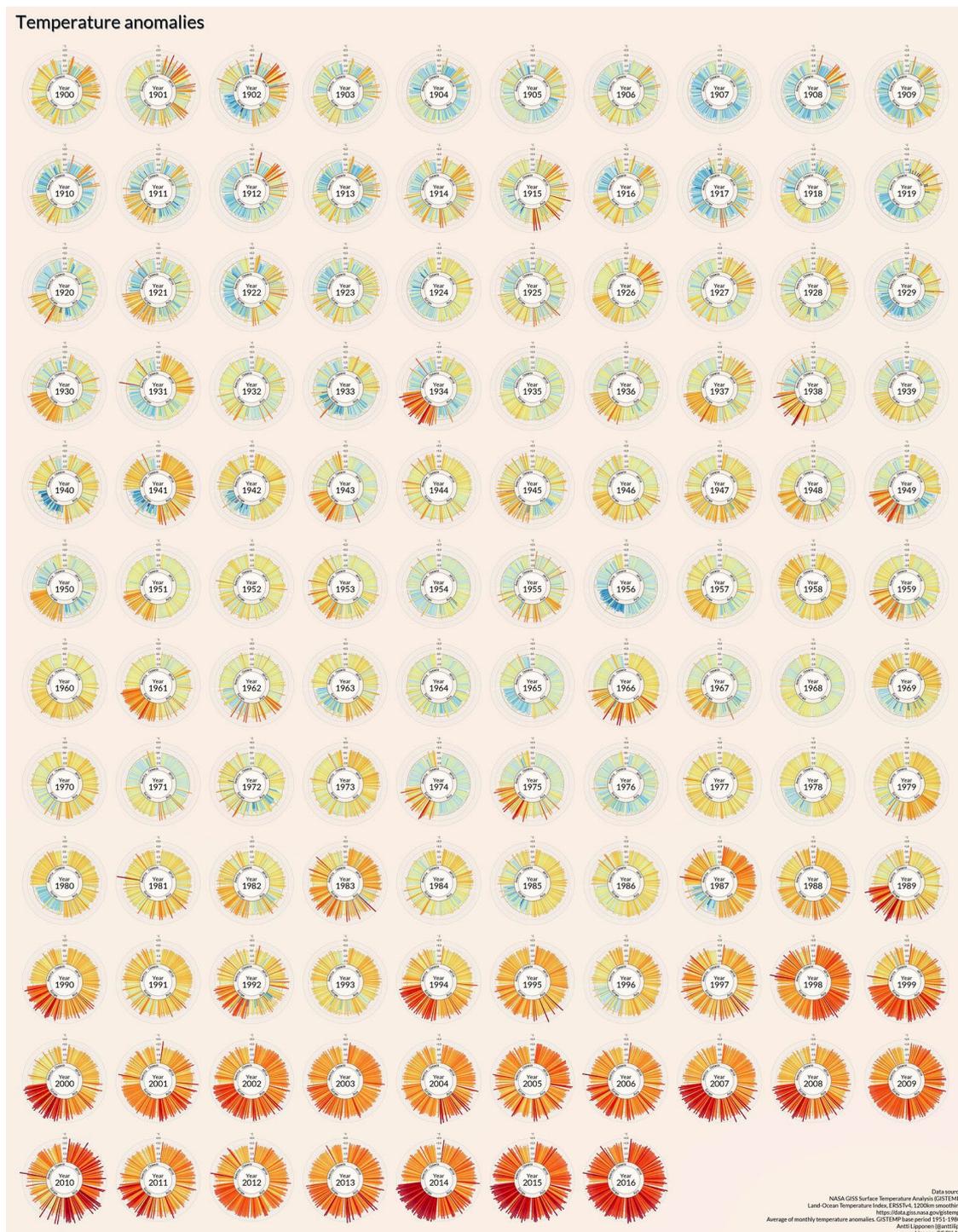


Fig. 1 - Anomalie delle temperature medie nei diversi paesi dal 1900 al 2016 (Source: Antti Lipponen).

1.1 - Scenari climatici globali: indicatori, tendenze e proiezioni

Nelle più recenti trasformazioni climatiche, l'azione umana ha fortemente condizionato - sia su scala locale che globale - l'ambiente terrestre nell'insieme delle sue caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche, dando origine al riscaldamento globale in corso e all'epoca geologica dell'Antropocene. L'impatto dell'uomo sulla terra è testimoniato da molteplici indicatori globali che riguardano sia le attività umane (popolazione, urbanizzazione, consumo energetico, utilizzo delle risorse del pianeta, etc.) che lo stato dell'ambiente (biodiversità, deforestazione, presenza di anidride carbonica, temperature superficiali, etc.) (Steffen et al., 2015; IPCC, 2018; UNEP, 2020; UN-Habitat, 2020).

Dalla rivoluzione industriale ad oggi, questi indicatori sono cresciuti in maniera esponenziale registrando valori record mai raggiunti precedentemente. Questa tendenza è descritta in maniera evidente dagli indicatori di gas serra presenti in atmosfera (2/3 dei quali sono costituiti da anidride carbonica) e dall'incremento delle temperature superficiali globali, che rappresentano rispettivamente la causa e l'effetto del *global warming* (IPCC, 2013; IPCC, 2018).

La concentrazione di anidride carbonica in atmosfera, misurata nell'aprile 2018 dallo *Scripps Institution of Oceanography* dell'Università della California di San Diego, per la prima volta nella storia, ha superato le 410 parti per milione (ppm), valore superiore all'intervallo di concentrazione naturale (compreso tra 180-300 ppm) negli ultimi 800.000 anni (IPCC, 2013; IPCC, 2018). Parallelamente a questo incremento di gas serra si verifica, a partire dal 1970, un vertiginoso aumento della temperatura media globale della terra con misurazioni nell'ultimo decennio di +0,80 °C superiori rispetto all'inizio del XX secolo (IPCC, 2018; NOAA, 2020). In particolare, gli ultimi anni, a partire dal 2015, sono stati i più caldi mai registrati dal 1880 e l'anno 2019 è stato il secondo più caldo di sempre (+0,95 °C), segnando il 43° anno consecutivo con temperature globali superiori alla media del XX secolo (NOAA, 2020). Altri rilevanti indicatori climatici mostrano un incremento della temperatura degli oceani, un progressivo innalzamento del livello dei mari, una diminuzione della copertura nevosa e un costante ritiro dei ghiacciai dell'Artico (IPCC, 2018).

Secondo l'ultimo rapporto speciale dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), questo significativo aumento delle emissioni di gas serra in atmosfera porterà ad un incremento della temperatura superficiale terrestre di +1,5 °C tra il 2030 e il 2050, provocando impatti climatici significativi su tutto il pianeta che si manifesteranno con eventi meteorologici estremi e che, con molta probabilità, continueranno a perdurare per molti decenni avvenire. In particolare, ondate di calore, forti precipitazioni, raffiche di vento, fenomeni siccitosi e grandi incendi boschivi si verificheranno con più frequenza e per una durata prolungata, diventando sempre più numerosi in molte regioni del mondo (IPCC, 2014; IPCC, 2018; EEA, 2020).

Il riscaldamento globale provocherà effetti significativi sulla biodiversità e sugli ecosistemi terrestri, causando l'estinzione di diverse specie animali e rischi per la salute umana, tra cui la sicurezza alimentare, l'approvvigionamento idrico e, non ultimo, le malattie epidemiche. Per contenere questi devastanti effetti e mantenere le temperature medie globali sotto la soglia dei 2 °C, le emissioni di CO₂ dovranno diminuire del 25% entro il 2030 e raggiungere lo zero netto entro il 2070. Per realizzare questi obiettivi sono tuttavia necessarie transizioni rapide e di vasta portata che interessano i sistemi energetici, terrestri, urbani, infrastrutturali ed industriali e che implicano, necessariamente, profonde azioni di mitigazione e significativi aumenti nelle pratiche di adattamento (IPCC, 2018; UN-Climate Change, 2020; UNEP, 2020).

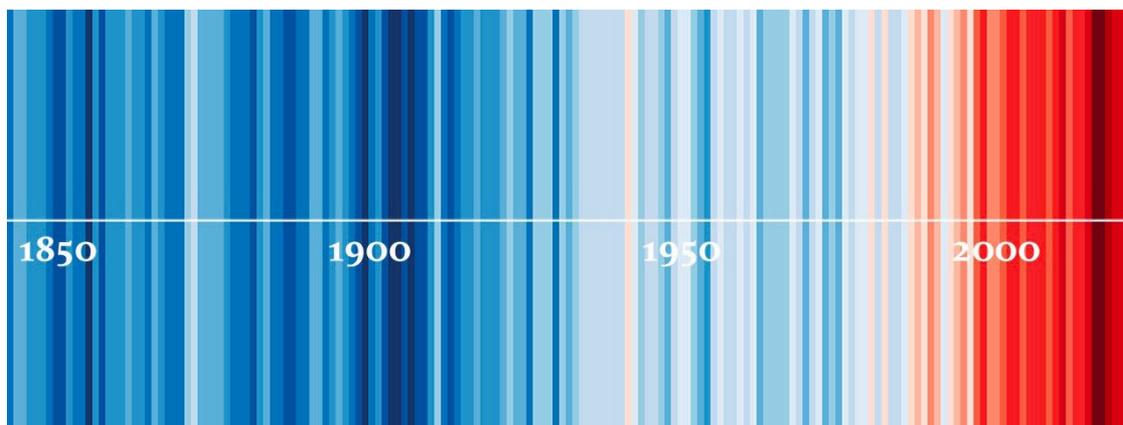


Fig. 2 - Variazione della temperatura media globale dal 1850 al 2018 (Source: Ed Hawkins).

1.2 - La questione climatica come obiettivo prioritario delle agende politiche internazionali

La centralità della questione climatica è da tempo riconosciuta e sottolineata anche dai principali trattati internazionali sul clima, dal protocollo di Kyoto all'accordo di Parigi fino alla più recente Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile. Questi impegni rappresentano eventi storici rilevanti per il numero di paesi coinvolti e per gli ambiziosi obiettivi di contenimento e contrasto al riscaldamento globale.

L'accordo di Parigi, siglato nel 2015 da 190 parti, rappresenta uno degli ultimi e più importanti trattati internazionali della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), in quanto traccia una nuova rotta nello sforzo globale per contrastare i cambiamenti climatici. Tale accordo, infatti, cerca da un lato di accelerare e intensificare le azioni e gli investimenti per un futuro sostenibile a basse emissioni di carbonio - incentivando le azioni di mitigazione per mantenere il riscaldamento globale al di sotto di 2 °C, rispetto ai livelli preindustriali - dall'altro, mira a rafforzare le capacità di adattamento dei paesi per affrontare in maniera preventiva gli impatti.

A livello nazionale, l'Italia ha aderito all'accordo di Parigi e persegue tali obiettivi climatici attraverso la "Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" sviluppata nel 2015 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) al quale segue il "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" del 2017, in via di approvazione. Questi due piani recepiscono le raccomandazioni europee contenute nel Libro Verde (COM 2007/354) e nel Libro Bianco (COM 2009/147) e in particolare individuano le azioni e gli indirizzi per ridurre al minimo i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, proteggere la salute, il benessere e i beni della popolazione, preservare il patrimonio naturale, incrementare la resilienza e la capacità di adattamento dei sistemi naturali, sociali ed economici e trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche (MATTM, 2015; PNACC, 2018).

Nella lotta al *climate change*, l'Unione Europea rappresenta una delle forze politiche internazionali di maggiore rilievo e, oltre ad aderire con i suoi Stati membri all'accordo di Parigi, ha recentemente annunciato una nuova e più ambiziosa strategia in materia di adattamento ai cambiamenti climatici nell'ambito dell'*European Green Deal*. Tra gli obiettivi della nuova strategia

per l'adattamento climatico rientrano: il miglioramento della conoscenza degli impatti climatici; il rafforzamento delle pratiche di pianificazione e gestione del rischio climatico; l'accelerazione delle azioni per il clima concentrandosi sulle soluzioni, sulla diffusione dell'innovazione, sull'attuazione e sulla prevenzione (EC, 2020).

A livello internazionale, inoltre, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite attribuisce un ruolo chiave al cambiamento del clima, tanto da inserirlo tra i suoi obiettivi prioritari al Goal 13 rinominato "*Climate Actions*". Tra le finalità principali di questo obiettivo sono previste: il rafforzamento delle capacità di ripresa e l'adattamento ai rischi climatici e ai disastri naturali e, l'integrazione delle azioni per contrastare il cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazioni nazionali.

Lo stesso documento, oltre ad introdurre uno specifico obiettivo per il contrasto al cambiamento climatico e ai suoi effetti negativi, espone due ulteriori e rilevanti questioni. In merito alla prima afferma che la comunità scientifica internazionale è concorde nell'affermare che il cambiamento climatico è una delle più grandi sfide della nostra epoca e che i suoi impatti si ripercuotono in maniera aggravata sulle città di tutto il mondo e sulla salute, sul benessere e sulla sicurezza di tutti i cittadini. La seconda, trasversale a più obiettivi dell'agenda, evidenzia come il clima sia determinante per il raggiungimento di altri obiettivi di sostenibilità tra cui il contrasto alla povertà (Goal 1), la nutrizione (Goal 2), la salute e il benessere (Goal 3), l'accessibilità ad energia pulita (Goal 7), il lavoro e la crescita economica (Goal 8), l'inclusione e la riduzione delle disuguaglianze (Goal 10), la sostenibilità delle città e delle comunità (Goal 11), un consumo e una produzione più responsabile (Goal 12) e per salvaguardare la vita nei mari, negli oceani (Goal 14) e sulla terra (Goal 15) (IPCC, 2018; UN, 2020).

Tuttavia, nonostante la crescente consapevolezza sulle minacce climatiche, le strategie e le azioni messe in atto fino a questo momento non risultano essere ancora sufficienti per raggiungere gli obiettivi stabiliti. In particolare, il rapporto del 2020 del *United Nations Environment Programme* (UNEP), sulle emissioni clima alteranti, e quello delle Nazioni Unite, dello stesso anno, sullo stato di avanzamento degli obiettivi di sviluppo sostenibile, rilevano che anche se i paesi firmatari dell'accordo di Parigi rispettassero i contributi stabiliti a livello nazionale, l'aumento della temperatura globale si attesterebbe intorno ai 3,2 °C entro la fine del secolo, causando impatti devastanti per la società umana e l'ambiente terrestre (IPCC, 2018; UNEP, 2020; UN-Climate Change, 2020, UN, 2020).

Le proiezioni climatiche e le politiche internazionali di contrasto al *climate change*, fino a questo momento descritte, mostrano scenari futuri in cui le strategie di mitigazione rappresentano azioni necessarie, per intervenire sul fenomeno del riscaldamento globale, ma non sufficienti per risolvere gli impatti climatici che si manifestano in maniera localizzata e che richiedono di essere affrontati nei contesti specifici. In questa ottica di intervento assumono quindi ancora più rilevanza gli insediamenti urbani, che rappresentano i principali ambiti di attuazione delle strategie e azioni per il contenimento degli impatti e la riduzione del rischio climatico. A loro è assegnato il compito di incrementare la resilienza e l'adattamento: agendo sulla riduzione della vulnerabilità dei sistemi urbani agli eventi meteorologici estremi, aumentando le capacità di adattamento degli edifici e degli spazi aperti delle città, incrementando la sicurezza e il comfort ambientale (EEA, 2017).

CAPITOLO 2

Il ruolo chiave della città in un clima che cambia

Il secondo capitolo approfondisce il tema del cambiamento climatico focalizzandosi in particolare sugli insediamenti urbani, in quanto aree di concentrazione della popolazione e luoghi potenzialmente vulnerabili per la presenza di elementi e/o sistemi sensibili agli eventi meteorologici estremi, e sugli impatti climatici, che si differenziano in relazione alla regione biogeografica e alle caratteristiche proprie delle città. Nello specifico saranno approfondite nella seconda parte del capitolo i fenomeni climatici maggiormente rilevanti nel contesto Europeo, tra cui: le ondate di calore e le isole di calore urbane, le precipitazioni estreme e gli allagamenti pluviali, i fenomeni siccitosi e la scarsità idrica, ed infine le tempeste di vento.



Fig. 3 - Vista della città di Tokyo dal tetto dello Sky Tree (Source: Own work).

2.1 - La sfida climatica-ambientale degli insediamenti urbani

Nel 2019 il Parlamento Europeo ha dichiarato lo stato di “emergenza climatica e ambientale” e sollecitato tutti gli stati membri ad impegnarsi ad una riduzione netta delle emissioni in atmosfera entro il 2050 (EEA, 2020). In concomitanza a questa fondamentale dichiarazione europea, a livello locale, nell’ottobre dello stesso anno, l’emergenza climatica viene riconosciuta al “C40 World Mayors Summit” di Copenhagen che raccoglie tra le adesioni i sindaci di 94 grandi città nel mondo, i quali rappresentavano più di 700 milioni di persone e un quarto dell’economia globale (C40 Cities, 2020; EEA, 2020). In maniera analoga, in Europa, il Patto dei Sindaci ha coinvolto, dalla sua entrata in vigore, oltre 2600 autorità amministrative locali, comprendendo una popolazione di 123 milioni di persone.

Questi importanti impegni politici, promossi dai livelli di *governance* locale, sottolineano l’importanza delle azioni specifiche, rimarcando il ruolo chiave che le autorità locali e le città svolgono nella sfida globale del cambiamento climatico. Se da un lato le autorità locali, rappresentano i principali attori in grado di incidere direttamente sulle regolamentazioni e pianificazioni del territorio e delle città, dall’altro gli insediamenti urbani costituiscono sia la causa che la soluzione del problema climatico e rivestono un compito fondamentale nell’attuazione delle misure in contrasto al riscaldamento globale.

Le città rappresentano il luogo fisico di concentrazione degli impatti climatici e il principale *habitat* dell’essere umano dove è riunita la più alta presenza di popolazione. In Europa, ad esempio, il 75% degli abitanti vive in aree urbane e si stima che questa percentuale debba crescere fino all’80% entro il 2050 (Eurostat, 2016). Questa tendenza è confermata anche a livello globale, 7 persone su 10, entro il 2050, vivranno in zone densamente costruite (UN, 2020).

Gli insediamenti urbani, oltre ad ospitare la maggior parte della popolazione mondiale, sono anche attualmente responsabili del 70% delle emissioni di CO₂ in atmosfera e rappresentano i luoghi in cui si consumano i 2/3 delle risorse del pianeta, si producono il 50% dei rifiuti e si registrano i maggiori problemi legati al traffico, all’inquinamento dell’aria e al consumo di suolo (UN, 2020). Analizzando gli insediamenti urbani di 28 Stati membri dell’Unione Europea, l’Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) identifica lo *stress* ambientale quale responsabile di almeno il 13% di tutti i decessi dell’anno 2012, il che equivale ad un totale di 630.000 morti per cause attribuibili all’ambiente (WHO, 2016). A livello mondiale, una analoga e recente valutazione del *The Lancet* - una prestigiosa rivista scientifica inglese in ambito medico - ha attribuito il 16% della mortalità complessiva a malattie legate all’inquinamento che, se comparate, risultano essere tre volte maggiori delle morti per AIDS, tubercolosi e malaria messe insieme e 15 volte maggiori di tutte le guerre e altre forme di violenza. Nei paesi più gravemente colpiti, le malattie legate all’inquinamento sono responsabili di più di un decesso su quattro (Landrigan et al., 2018).

In maniera analoga, le città sono esposte a diversi pericoli legati al clima e alle condizioni meteorologiche, che variano a seconda della localizzazione geografica e della topografia urbana e territoriale. Tra gli eventi meteo-climatici maggiormente rilevanti per gli insediamenti urbani rientrano le temperature estreme, i fenomeni di allagamento pluviale e fluviale, le inondazioni e le erosioni costiere - associate all’innalzamento del livello del mare - le tempeste di vento, le siccità e gli incendi boschivi. Nell’ultimo rapporto “The Human Cost of Disasters 2000-2019” redatto dal *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters & UN Office for Disaster Risk Reduction* si evince che il 90% delle catastrofi naturali registrate nell’ultimo ventennio nel mondo siano direttamente associate all’aumento dei disastri legati al clima. In particolare, i disastri naturali

associati agli eventi meteorologici estremi sono passati da un totale di 3.656, nel ventennio 1980-1999, a 6.681 nel periodo 2000-2019, raddoppiando in numero ed intensità. Nel 2018, gli eventi meteo-climatici estremi hanno colpito 62 milioni di persone in tutto il mondo (WHO, 2019) e su un totale di 17,2 milioni di nuovi sfollati associati a catastrofi naturali, 16,1 milioni erano correlati a condizioni meteorologiche (IDMC, 2019; EC, 2020). Solamente in Europa, tra il 1980 e il 2019, gli eventi climatici estremi hanno rappresentato circa l'81% delle perdite economiche totali causate da eventi naturali, pari cioè a 446 miliardi di euro, e provocato più di 92.000 vittime (EEA, 2019a).

Negli insediamenti urbani, l'inquinamento atmosferico e le condizioni meteorologiche estreme sono pertanto riconosciute come cause di accrescimento dei danni all'ambiente costruito e dei rischi per la salute e il benessere della popolazione, causando rispettivamente un significativo danno economico e un incremento della mortalità (OECD and EU, 2018). Sebbene tutti i cittadini che abitano nelle aree urbane siano esposti a queste tipologie di rischi, sono le comunità più povere ad essere maggiormente esposte, sensibili e vulnerabili - e pertanto meno resilienti in termini di adattamento - agli impatti climatici, incrementando di fatto le disuguaglianze sociali (WHO Europe, 2019).

Dall'osservazione degli impatti climatici e ambientali sulla città e sulla popolazione descritte fino a questo momento, si può evincere che il numero di queste manifestazioni sia cresciuto in maniera significativa in tutto il pianeta e, in maniera analoga, è aumentato esponenzialmente il numero di persone colpite. Al fine di conoscere le caratteristiche e i fattori che incrementano e/o riducono gli effetti negativi degli eventi meteorologici estremi causati dal cambiamento climatico, nei paragrafi successivi saranno approfonditi i principali impatti climatici che si abbattano sul continente europeo.

2.2 - Impatti climatici ed eventi meteorologici estremi

Nella presente ricerca, il termine impatti climatici, in accordo con la definizione utilizzata dall'IPCC (2014), si riferisce agli effetti sui sistemi naturali e umani di eventi meteorologici e climatici estremi attribuibili ai cambiamenti climatici. In particolare, gli impatti si riferiscono agli effetti dovuti all'interazione tra eventi climatici pericolosi, in un determinato lasso di tempo, e vulnerabilità di una società.

I principali impatti, presenti e futuri, del cambiamento climatico nelle città europee variano principalmente in relazione alle sette regioni biogeografiche in cui è suddivisa l'Europa. Queste regioni sono costruite sulla base di rilevazioni climatiche statistiche di molti decenni e mostrano, da un lato, le principali tendenze degli impatti passati, dall'altro, le proiezioni dei potenziali effetti futuri. In particolare, la classificazione biogeografica individua la regione: artica, atlantica, montuosa, costiera, boreale, continentale e mediterranea.

Nella regione boreale le proiezioni suggeriscono un aumento di temperature, di precipitazioni estreme e una riduzione degli eventi nevosi. Le zone costiere della regione atlantica, a causa dell'innalzamento del mare, saranno oggetto di inondazioni e mareggiate, potenzialmente più intense di quelle verificatesi in passato, con una maggiore esposizione prevista per i paesi del Mare del Nord. Nella regione atlantica, inoltre, si prevede un'intensificazione delle precipitazioni estreme, con pericolo di inondazioni fluviali e allagamenti urbani, e un aumento del rischio di tempeste e raffiche di vento. La regione mediterranea sta affrontando una diminuzione delle precipitazioni, con relativa diminuzione delle risorse idriche, e un aumento delle temperature. In

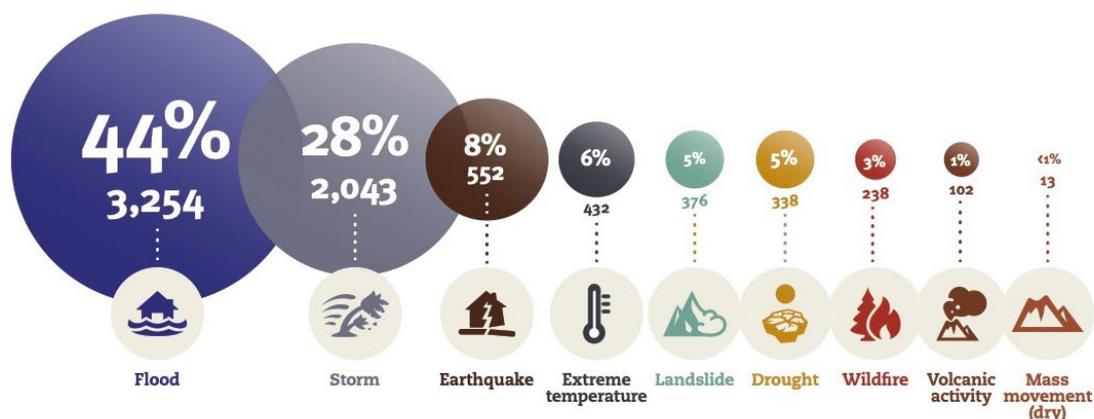


Fig. 4 - Percentuale di eventi di catastrofi per tipo di catastrofe dal 2000 al 2019 (Source: UNDRR, 2020)

questa regione sono in aumento gli incendi boschivi, i danni alla salute delle persone causate da temperature estreme e, in futuro, cresceranno le malattie infettive trasmesse dagli insetti. Nella regione continentale i pericoli climatici si differenziano in relazione alla stagione. In particolare si prevede, in estate, un aumento delle temperature, dei fenomeni siccitosi e una riduzione delle precipitazioni, in inverno, un incremento delle precipitazioni estreme con conseguenti inondazioni fluviali e allagamenti urbani. Infine, nelle regioni montuose si attende un aumento delle temperature e del rischio inondazioni, smottamenti e frane per gli insediamenti urbani e una progressiva diminuzione del manto nevoso (EEA, 2017; EEA, 2020).

All'interno di queste regioni biogeografiche l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) identifica nove tipi di rischi climatici ricorrenti, che possono variare e manifestarsi nelle diverse regioni, con intensità e frequenze differenti. Questi comprendono: ondate di calore, ondate di gelo, precipitazioni intense, inondazioni, innalzamento dei livelli del mare e inondazioni costiere, siccità, incendi boschivi, frane, tempeste di vento. In particolare, per le finalità proprie della seguente ricerca saranno approfonditi solamente gli eventi climatici che pertengono a: temperature estreme, con particolare riguardo alle isole di calore urbane; allagamenti urbani dovuti a precipitazioni intense, causate da un elevato livello di impermeabilizzazione dei suoli; fenomeni siccitosi, conseguenti ad una generale diminuzione delle precipitazioni e delle risorse idriche; tempeste di vento, che in relazione alla vulnerabilità del contesto urbano, possono causare ingenti danni a persone o cose.

2.2.1 - Ondate di calore e isole di calore urbane

Le ondate di calore rientrano tra gli eventi estremi delle temperature e sono caratterizzate da «tempo estivo sostanzialmente più caldo e/o più umido rispetto alla media per un determinato luogo in quel periodo dell'anno» (US EPA, 2006). In particolare, in Italia, Greco et al. (2006) le definisce «un periodo di almeno tre giorni consecutivi con temperatura massima dell'aria superiore a 30° C». Nonostante non sia ancora stata formulata una definizione standard dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2004) questi eventi rappresentano una priorità rilevante per il numero di vittime provocate in tutto il mondo.

Le proiezioni climatiche per il continente europeo mostrano un aumento del numero, della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore e, negli scenari peggiori, nella seconda metà del XXI

secolo, si prevede che questi fenomeni si possano verificare in maniera molto estrema ogni due anni (Russo et al., 2014; IPCC, 2018; EEA, 2020). Nella fattispecie, per le città più densamente popolate, gli aumenti di temperatura saranno molto più alti delle medie globali calcolate, incrementando il rischio per la salute di molte persone. Ma se da un lato le elevate temperature colpiranno in particolare l'Europa Meridionale, con alternanza di giorni estremamente caldi e notti tropicali, il riscaldamento globale e gli effetti delle ondate di calore si tradurranno anche in temperature invernali medie più calde e meno eventi di freddo estremo (EEA, 2012; IPCC, 2018; EEA, 2020).

Il fenomeno climatico delle ondate di calore, inoltre, subisce un fattore amplificativo che ne intensifica gli effetti all'interno dei contesti urbani. Infatti, a causa degli effetti provocati dalle isole di calore urbane, le temperature dell'aria nelle città registrano valori più elevati rispetto alle aree circostanti non urbanizzate. Le principali cause di questo evento termico urbano sono da attribuire alla complessa e variegata morfologia urbana, alla massa di edifici presenti, alla caratterizzazione delle superfici e alle emissioni di calore provocate dalle attività umane (Oke, 1982; EEA, 2012; IPCC, 2018).

Numericamente parlando, il fenomeno climatico delle temperature estreme, nel periodo 2000-2019, ha determinato il 13% di tutti i decessi causati da disastri naturali a livello mondiale (circa 156.000 persone) e tra queste il 91% delle vittime è attribuibile alle ondate di calore. In Europa si concentra l'88% di tutti i decessi dovuti alle temperature estreme e, in particolare, nel 2003, una grande ondata di caldo in 15 paesi ha ucciso oltre 72.000 persone, con i maggiori impatti in Italia e Francia (rispettivamente 20.089 e 19.490 morti) (CRED & UNDRR, 2020; EEA, 2017; EEA, 2020; Robine et al., 2008). Se le misure di adattamento non saranno integrate al più presto nelle città europee, con un riscaldamento compreso tra 1,5 o 2 °C, le vittime dovute al caldo estremo aumenteranno da 2.700 persone all'anno a circa 30-50.000 entro il 2050; mentre con temperature globali più elevate di 3°C, come previsto per il 2100, la situazione potrebbe peggiorare registrando, solamente nella popolazione dell'Europa circa 90.000 decessi ogni anno (EEA, 2020).

2.2.2 - Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le inondazioni (fluviali, costiere e pluviali) hanno rappresentato il 44% di tutti gli eventi disastrosi dal 2000 al 2019 nel mondo, colpendo 1,6 miliardi di persone e registrando il valore più elevato tra le diverse tipologie di catastrofi naturali. Tali dati consentono di affermare che le inondazioni rappresentano l'evento climatico più comune a livello globale con una media di 163 eventi all'anno (CRED & UNDRR, 2020).

Nel contesto europeo, i decessi associati a inondazioni sono in numero relativamente basso rispetto, ad esempio, ai decessi associati alle ondate di calore. Sebbene non esistano dati specifici per le città europee, circa 4600 vittime sono state associate a eventi idrologici (inondazioni e frane) tra il 1980 e il 2017 (EEA, 2019a). Al contrario, invece, le inondazioni urbane dovute a precipitazioni estreme di breve durata, che prendono il nome di *flash flood* o *urban flooding*, causano sostanziali danni nelle aree urbane quando il volume di acqua piovana supera la capacità dei sistemi fognari. A titolo di esempio, a Münster in Germania, nel 2014 le inondazioni pluviali di 290 mm di pioggia in 7 ore hanno causato danni per 72 milioni di euro e, allo stesso modo, a Copenaghen in Danimarca nel 2011, 135 mm di pioggia in 2 ore, hanno causato perdite per oltre 800 milioni di euro (EEA, 2020).

Analizzando in dettaglio il fenomeno climatico emerge che le superfici impermeabili, il sistema di drenaggio urbano e l'edificazione in aree alluvionali rappresentano i principali fattori che

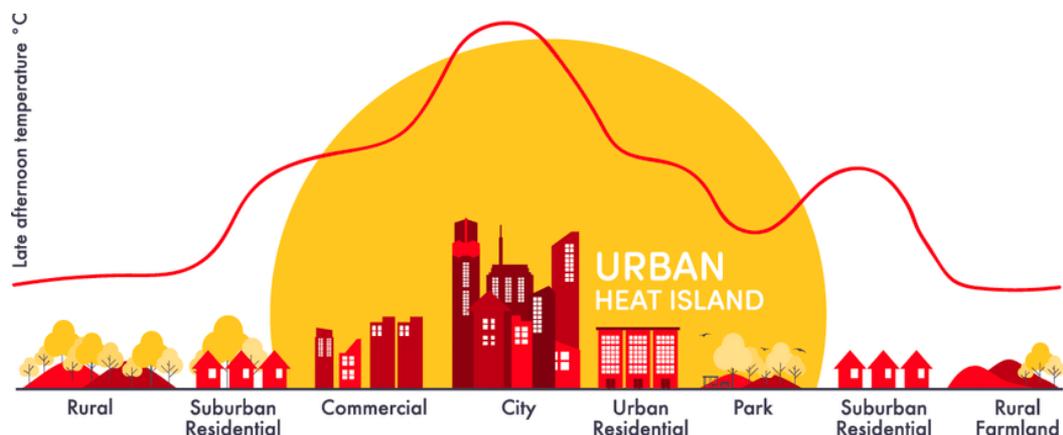


Fig. 5 - L'effetto isola di calore urbana (Source: Fuladlu Kamyar et al.)

possono acuire o attenuare il rischio di allagamenti pluviali conseguenti a brevi ma intensi eventi piovosi.

Il problema dell'impermeabilizzazione è strettamente correlato all'incremento di nuove superfici artificiali non permeabili che non consentono all'acqua piovana di infiltrarsi nel terreno ma, al contrario, generano il fenomeno del deflusso urbano, generalmente conosciuto con il termine di *runoff*. Sebbene in Europa le superfici impermeabili coprono meno del 5% delle superficie totale e il tasso di incremento delle superfici artificiali sembra essere rallentato, passando da 1.086 kmq all'anno tra il 2000 e il 2006 a 711 kmq all'anno tra il 2012 e il 2018 (EEA, 2019b; EEA, 2020), il fenomeno del *pluvial flooding* necessita di particolare attenzione. Inoltre, l'eccessiva presenza di superfici impermeabili nelle aree urbanizzate, oltre ad aggravare il rischio di allagamento pluviale causando ingenti danni economici, intensifica anche il fenomeno climatico delle isole di calore urbane.

Le piogge estreme richiedono inoltre sistemi di drenaggio efficienti per fronteggiare gli ingenti volumi di acqua che si riversano in breve tempo nei sistemi di smaltimento idrici urbani e che non sempre riescono a smaltire i considerevoli carichi idraulici. Per questo motivo, tra le tante soluzioni, si rendono spesso necessari sistemi di drenaggio alternativi e/o separati, in cui le acque di pioggia non vengono convogliate con le acque reflue.

Infine, tra gli altri fattori di incremento del rischio dovuto alle inondazioni pluviali urbane rientra l'incremento del consumo del suolo, principalmente attribuito all'attività di edificazione in corso nelle aree alluvionali. In questo caso, gli interessi a breve termine (come la maggiore disponibilità di alloggi, di posti di lavoro nelle aree industriali, di profitto, etc.) prevalgono sugli interessi generali a lungo termine e sul potenziale aumento dei danni o altri costi. A questo proposito, è emblematico il caso della Pianura Padana, in Italia, i cui insediamenti sono notevolmente aumentati dagli anni '50 a causa dell'espansione delle attività industriali (Domeneghetti et al., 2015; EEA, 2020).

2.2.3 - Fenomeni siccitosi e scarsità idrica

Il cambiamento climatico aumenterà il rischio di fenomeni siccitosi in molte regioni del mondo, in particolare, questi eventi cresceranno proporzionalmente in concomitanza con l'incremento demografico delle popolazioni più vulnerabili e dei problemi legati alla sicurezza alimentare (IPCC, 2018). Sebbene solo il 2% dei decessi nel mondo siano attribuibili al fenomeno della

siccità, questa cifra risulta sottostimata in quanto esclude le morti indirette per malattie, malnutrizione e migrazioni che di fatto rappresentano le cause principali attribuibili alla siccità. Tali morti indirette, infatti, si verificano in gran parte dopo la fase di emergenza e spesso sono scarsamente documentate o non conteggiate affatto (CRED & UNDRR, 2020).

I fenomeni siccitosi, a differenza degli eventi di scarsità di acqua - che sono relazionati al rapporto tra la domanda di acqua e le risorse naturali disponibili - sono causati dalla riduzione delle precipitazioni e dall'incremento delle temperature elevate e dei tassi di evapotraspirazione. Si possono distinguere in particolare diverse tipologie di siccità: quella meteorologica, attribuibile a scarsi livelli di precipitazioni; quella idrologica, le cui cause sono attribuite al basso flusso fluviale o bassi livelli delle acque sotterranee; quella agricola, riferita al basso contenuto di umidità nel suolo (Tucci, 2019).

Le proiezioni climatiche future mostrano per il XXI secolo un generalizzato aumento dei fenomeni siccitosi nella maggior parte delle città europee. Contemporaneamente a questo fenomeno, potrebbe incrementare la popolazione europea che abita in aree considerate scarse d'acqua per almeno un mese all'anno, passando dagli attuali 52 milioni a 65 milioni. In uno scenario di riscaldamento di 3 °C, il fenomeno della siccità e della scarsità idrica interesserebbe il 15% della popolazione dell'attuale Unione Europea e del Regno Unito (Feyen et al., 2020; EEA, 2020).

Prolungati periodi di scarsità idrica possono causare ingenti perdite economiche per le città dovute, ad esempio, ad una diminuzione (se non interruzione) della produzione, non solo di beni e servizi di consumo, ma anche di quelli di prima necessità come ad esempio il cibo. Tali fenomeni climatici chiamano in causa la predisposizione di misure emergenziali per l'approvvigionamento idrico necessario al sostentamento. Inoltre possono causare gravi conseguenze anche per i servizi ecosistemici forniti dalle infrastrutture verdi, come la riduzione dell'ombreggiamento, del raffrescamento attraverso l'evapotraspirazione, causando anche la morte delle piante (EEA, 2018a; EEA, 2020).

I fenomeni climatici come la siccità e la scarsità idrica, unitamente alla complessa e connessa natura della società moderna, sono in grado di generare effetti a cascata, in cui un pericolo ne genera un altro. In questo contesto risulta pertanto fondamentale adottare metodi di gestione dei rischi climatici secondo un approccio che possa essere multi-pericolo e multi-rischio (EC, 2010; Pescaroli et al. 2015).

2.2.4 - Tempeste di vento

Il gruppo internazionale delle Nazioni Unite che si occupa di disastri naturali include nella definizione più generale del termine "tempesta", gli uragani, i cicloni e le mareggiate che, nel ventennio tra il 2000 e il 2019 hanno ucciso quasi 200.000 persone. Le tempeste rappresentano il secondo tipo di disastro più mortale al mondo dopo i terremoti, il primo tra gli eventi meteorologici. Inoltre, i 2.043 eventi registrati durante questo periodo le rendono il secondo disastro più frequente dopo le inondazioni (CRED & UNDRR, 2020).

A livello europeo questa classificazione risulta però inappropriata ed è più opportuno parlare in termini di "venti estremi" o "tempeste di vento" che, nel periodo 1981-2016, hanno registrato un incremento significativo (Spinoni et al., 2020; EEA, 2020). Le regioni maggiormente colpite sono state le zone costiere nordatlantiche, dell'Europa settentrionale, nord-occidentale e centrale che, vista l'elevata concentrazione di insediamenti urbani e popolazione, rappresentano anche le aree maggiormente esposte (Koks et al., 2020; EEA, 2017; EEA, 2020).



Fig. 6 - Nubifragio di Palermo (2020), in meno di 3 ore sono caduti 134 mm di pioggia (Source: Getty Images)

Sebbene ancora oggi esista una significativa incertezza sulla stima del rischio dovuto ai venti estremi, nello scenario di riscaldamento globale a 3 °C, non si prevedono cambiamenti significativi nella frequenza e nell'intensità delle tempeste di vento, per i tre quarti del territorio europeo entro il 2100 (Spinoni et al., 2020; EEA, 2020). La crescente urbanizzazione e la concentrazione della popolazione nelle città possono però aumentare gli impatti sull'economia e sulla salute umana. Infatti, la variegata conformazione delle aree urbane, e in particolare degli edifici, può alterare i flussi ventosi che, se incontrano elementi vulnerabili, possono causare ingenti danni a persone o cose (Elshaer et al., 2017; EEA, 2020). Una stima dei costi prevede, entro il 2050, perdite annue dovute alle azioni delle tempeste di vento di circa 7 miliardi di euro che, entro il 2100, potrebbero salire a 11 (EEA, 2020). Tuttavia, poiché si prevede che i rischi legati al vento non cambieranno in modo significativo a causa del riscaldamento globale, questi sono principalmente associabili all'incremento del valore dei beni e delle attività causando conseguentemente maggiori danni economici.

In Europa, ogni anno, gli abitanti esposti ai rischi provocati dalle tempeste di vento ammontano a 16 milioni e le vittime mediamente a 80 persone (Spinoni et al., 2020; EEA, 2020). Anche la vegetazione è particolarmente vulnerabile alle azioni più intense del vento, specialmente le piante più esposte a stress climatici e ambientali quale l'inquinamento, la limitatezza della fossa per l'apparato radicale, la carenza idrica, etc. (Lopes et al., 2009; EEA, 2020). Tra gli eventi più distruttivi della vegetazione si annoverano, nel 2014, la tempesta di vento "Ela" che ha sradicato più di 20.000 alberi nella città di Düsseldorf (Germania) (EEA, 2020) e, nel 2018, la tempesta di vento "Vaia" in Italia che con i suoi 200 Km/h di vento estremo e piogge persistenti ha abbattuto 14 milioni di alberi nelle valli alpine di Lombardia, Trentino, Veneto e Friuli (Angelillo, 2020).

CAPITOLO 3

L'adattamento per il contrasto al *climate change*

La conoscenza degli eventi meteorologici estremi da sola non è sufficiente per affrontare gli impatti del cambiamento climatico sull'ambiente costruito. A questo scopo, risulta fondamentale individuare la vulnerabilità e l'esposizione degli elementi naturali, umani ed antropici colpiti per orientare uno sviluppo resiliente all'interno del sistema urbano. Nella prima parte del capitolo sono approfonditi i termini chiave per la valutazione del rischio climatico, nella seconda parte vengono analizzate alcune esperienze progettuali di adattamento climatico di rilievo messe in atto a livello urbano e gli ambiti di ricerca prioritari sia a livello nazionale che europeo, infine, nella terza parte, sono inquadrati gli approcci progettuali di *simulation and modeling* utilizzati per la verifica e la misurabilità degli interventi di adaptive design.

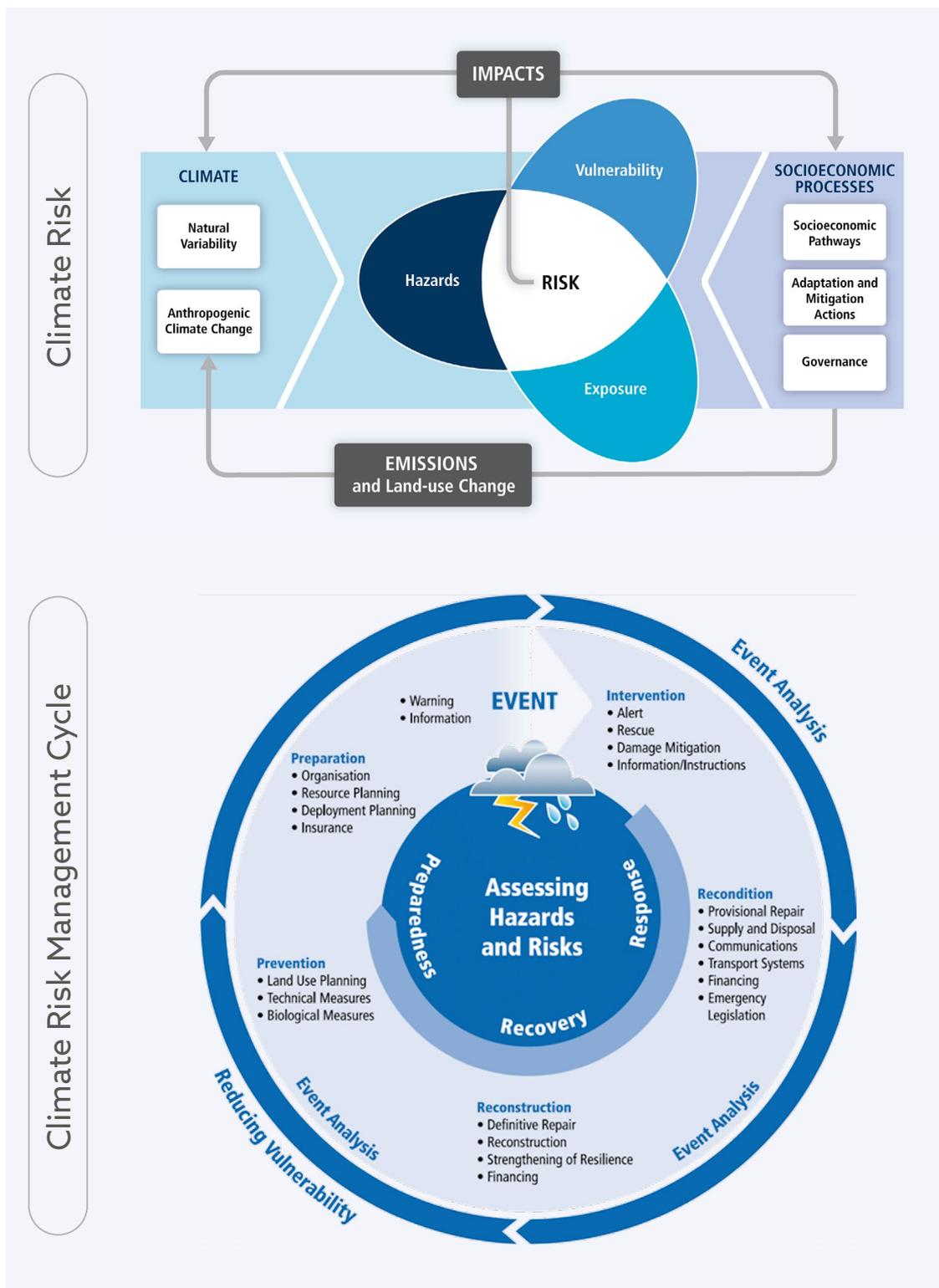


Fig. 7 - In alto, il concetto di rischio climatico (Source: IPCC, 2014), in basso il concetto della gestione del rischio associato ad eventi climatici (Greminger & Zischg, 2011).

3.1 - Parametri per la valutazione del rischio associato al cambiamento climatico

Il concetto di rischio climatico viene espresso, in maniera chiara, nel V rapporto del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) come il risultato dell'interazione tra le "pericolosità" relazionate al clima e le caratteristiche di "vulnerabilità" ed "esposizione" dei sistemi naturali, umani ed antropici colpiti (IPCC, 2014). Questa importante definizione individua dunque le tre componenti fondamentali per la valutazione del rischio associato al cambiamento climatico ovvero la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. D'altra parte, riconosce l'importanza dei fenomeni climatici per comprendere i pericoli contro i quali le città si dovranno misurare e ritiene altrettanto decisivo identificare le vulnerabilità specifiche degli ambienti urbani, siano essi elementi fisici o sociali, e il loro grado di esposizione al pericolo.

Se analizziamo in dettaglio i termini che definiscono il rischio climatico, possiamo osservare che i pericoli climatici (ondate di calore, allagamenti pluviali, fenomeni siccitosi, tempeste di vento), come già delineati nel precedente capitolo, si riferiscono agli eventi meteorologici e ai loro impatti sulla salute, nonché a danni e perdite economiche all'ambiente costruito (proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi) e quello naturale (ecosistemi e risorse ambientali). L'esposizione, invece, concerne la presenza di persone, ecosistemi, beni e servizi in luoghi e contesti che potrebbero essere influenzati negativamente dai pericoli climatici. Infine, la vulnerabilità viene definita come la propensione di un sistema ad essere negativamente alterato dai cambiamenti climatici e, in particolare, comprende una varietà di concetti tra cui la sensibilità al danno e la mancanza di capacità di affrontare e adattarsi (IPCC, 2014).

In quest'ultima analisi, la componente della vulnerabilità assume particolare rilevanza in quanto racchiude al suo interno il concetto della "capacità di adattamento", che rappresenta da una parte, un parametro chiave per la riduzione del rischio climatico, e dall'altra, il tema centrale della seguente ricerca. Infatti, la "capacità di adattamento" al cambiamento climatico o semplicemente "adattamento climatico" nei sistemi umani, ha l'obiettivo di ridurre la vulnerabilità dei sistemi colpiti, limitare i danni derivanti dagli impatti presenti e futuri e cogliere le eventuali opportunità (IPCC, 2014; ISPRA, 2018). Oltre all'adattamento, un'altra strategia globalmente riconosciuta adatta a contrastare gli effetti del cambiamento climatico è la mitigazione. Questa rappresenta l'insieme delle azioni che agiscono sulle cause dei cambiamenti climatici, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra provenienti dalle attività umane per arrestarne o rallentarne l'accumulo in atmosfera. L'adattamento e la mitigazione non rappresentano soluzioni alternative e contrapposte, bensì strategie complementari utili a contrastare il fenomeno delle mutazioni climatiche in maniera rapida ed efficace (IPCC, 2014; ISPRA, 2018).

L'adattamento climatico in architettura si pone come obiettivo la riduzione della vulnerabilità climatica agli eventi climatici estremi in città ed è attuabile attraverso la riqualificazione dell'ambiente urbano. In questo senso, l'adattamento esprime un concetto affine a quello di resilienza, intesa come la capacità dei sistemi sociali, economici e ambientali di far fronte a un evento pericoloso, rispondendo e/o riorganizzandosi in modo da mantenere le proprie funzioni, identità e strutture essenziali (IPCC, 2014).

In quest'ottica, la progettazione "adattiva" o "resiliente" agli effetti del cambiamento climatico è finalizzata all'incremento della "capacità di adattamento" utile per ridurre il rischio climatico, configurandosi come una pratica capace di promuovere azioni di pianificazione e progettazione nel campo dell'architettura. Partendo da una solida identificazione delle pericolosità e valutazione delle condizioni di esposizione e vulnerabilità dei sistemi, opera per individuare soluzioni e

strategie per adattare gli ambienti urbani ai potenziali danni climatici a persone e/o all'ambiente costruito (D'Ambrosio, 2016; Losasso, 2021).

La resilienza e l'adattamento climatico possono svolgere nelle città un ruolo fondamentale per diminuire gli impatti del cambiamento climatico globale e rappresentano l'ambito di intervento più incisivo per la risoluzione della sfida climatica (Gasperini et al., 2014; Carter et al., 2014; Tucci, 2019). A questo scopo, la progettazione degli edifici, degli spazi aperti e della vegetazione, è fondamentale per raggiungere tali obiettivi e contribuisce a ridurre le temperature estreme, attenuare gli impatti causati da eventi alluvionali urbani, smorzare le tempeste di vento e prefigurare efficaci soluzioni per contrastare i fenomeni siccitosi.

Termine chiave	Definizione	References
Rischi climatici	I rischi derivanti dai cambiamenti climatici sono il risultato dell'interazione tra le pericolosità climatiche e le caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione dei sistemi naturali ed antropici colpiti che producono impatti diversi sul sistema costruito e sulla popolazione.	IPCC, 2014
Pericoli climatici	Un evento climatico che può causare la perdita di vite umane o altri impatti sulla salute, nonché danni e perdite a proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali.	
Esposizione	La presenza di persone, risorse di sostentamento, specie o ecosistemi, servizi, risorse, infrastrutture, o beni economici, sociali, o culturali in luoghi che potrebbero essere colpiti da eventi negativi.	
Vulnerabilità	La propensione o la predisposizione a essere influenzati sfavorevolmente. Il termine vulnerabilità abbraccia una molteplicità di concetti, tra cui la sensibilità o suscettibilità al danno, e la mancanza di capacità a resistere e adattarsi.	
Capacità di adattamento	La capacità di sistemi, istituzioni, esseri umani e altri organismi di adattarsi ai potenziali danni, di sfruttare le opportunità o di rispondere alle conseguenze	
Resilienza	La capacità del sistema sociale, economico e ambientale di far fronte a un evento pericoloso o tendenza o disturbo, rispondendo o riorganizzandosi in modi che mantengono la loro funzione essenziale, identità e struttura, e mantenendo anche la capacità di adattamento, apprendimento e trasformazione.	IPCC, 2018

Tab. 1 - Tabella dei termini chiave e dei relativi riferimenti bibliografici.

In definitiva, se da una parte risulta fondamentale comprendere le vulnerabilità climatiche all'interno delle città, è altrettanto cruciale per pianificare e progettare un adattamento efficace, conoscere le strategie e le soluzioni più efficaci, e maggiormente diffuse, per costruire città resilienti che si possano adattare alle intemperie, presenti e future, dei cambiamenti climatici (Valente, 2020). Questo rappresenta uno dei principali risultati al quale la seguente ricerca intende pervenire.

3.2 - Adattamento al cambiamento climatico: esperienze progettuali e ambiti di ricerca

Nelle città l'aumento del rischio climatico è attribuibile da un lato all'aumento della frequenza e intensità degli effetti meteorologici e dall'altro all'incremento demografico delle aree urbanizzate. All'interno di questo contesto, gli impatti climatici hanno effetti significativi sulla salute umana, e colpiscono nello specifico le popolazioni più deboli (anziani, donne, bambini, malati, etc.) e/o socialmente svantaggiate (persone con basso reddito, persone con mobilità ridotta, emarginati sociali, etc.) (EEA, 2018b). Ulteriori effetti significativi possono presentarsi se le infrastrutture urbane locali (ospedali, presidi medici, sistemi di protezione civile, sistemi di allertamento preventivi) non sono preparate all'emergenza e se in generale gli ambienti urbani non possiedono le caratteristiche prestazionali adeguate a rispondere agli eventi estremi (Tucci, 2019). Pertanto, l'ambiente costruito costituisce il principale fattore di vulnerabilità su cui è possibile intervenire per attuare gli interventi di adattamento climatico.

Sorge spontaneo quindi domandarsi come sia possibile difendersi da questi rischi e quali strategie e soluzioni possono essere messe in pratica nel campo dell'architettura per incrementare la resilienza climatica delle nostre città.

Sul piano delle esperienze, importanti esempi di attuazione delle pratiche di adattamento derivano dai piani climatici cittadini messi in atto sia in Europa che nel mondo. Torino, Milano, Bologna, Rotterdam, Copenhagen, Barcellona, Londra, New York, Chicago, Philadelphia, Quito e tante altre città hanno dimostrato, da un lato, l'importanza della pianificazione territoriale per contrastare gli impatti climatici dovuti al cambiamento climatico, dall'altro, le considerevoli opportunità che si possono raggiungere con lo sviluppo di azioni e progetti per l'adattamento climatico. A tale proposito costituiscono esempi illustri il *Copenhagen Climate Adaptation Plan*, il *Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy* e il *Klimaatadaptatiestrategie Delft*. Questi racchiudono le più avanzate esperienze di analisi, pianificazione e progettazione per l'adattamento climatico in Europa, in quanto coniugano all'analisi e alla pianificazione territoriale, concrete e specifiche proposte progettuali suddivise in ambiti urbani di applicazione (distinguendo in relazione alla tipologia del tessuto urbano), tipologie di elementi urbani di applicazione (strade, piazze, edifici, corti, giardini, etc.) e azioni di adattamento implementabili. Una visione innovativa, comune a tutti e tre i piani, è rappresentata dal modello di intervento olistico atto ad intervenire non solamente sulla riduzione della vulnerabilità ma che raccoglie la sfida climatica come una straordinaria occasione per incrementare il valore ecologico, ambientale, economico, e sociale della città. Infatti, le strategie e i progetti di adattamento climatico hanno dimostrato come sia concretamente possibile coniugare la riduzione della vulnerabilità climatica - incrementando di fatto il grado di resilienza - con una reale rigenerazione urbana.

In quest'ottica di intervento, le aree urbane periferiche e marginali, che si sviluppano diffusamente in gran parte degli agglomerati contemporanei, con le loro evidenti criticità sociali, economiche e climatico-ambientale rappresentano il campo di attuazione prioritario e al tempo stesso presentano, differentemente dai centri storici, un più elevato grado di trasformazione del territorio.

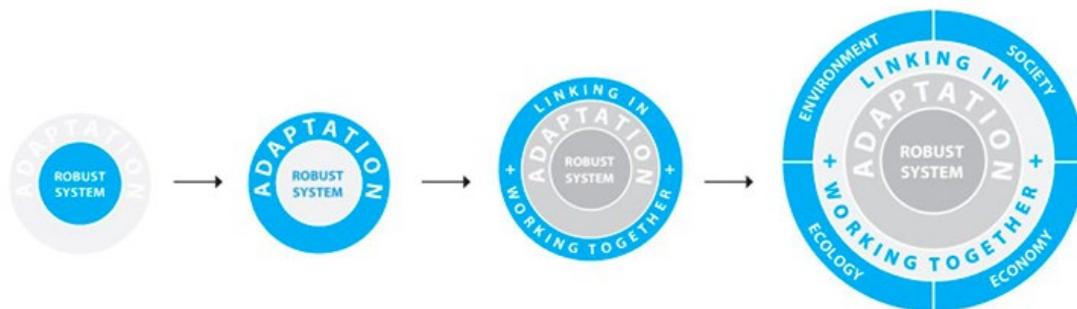


Fig. 8 - The Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy (Source: DeUrbanisten).

L'adattamento climatico ha assunto un ruolo centrale anche nel contesto della ricerca nazionale ed europea. Rilevanti progetti nazionali riguardanti gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici sono stati finanziati tramite specifici schemi di finanziamento (PRIN, PON, FISR, etc.) e altrettanti sono stati inseriti nel nuovo Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027, il quale pone la questione climatica come prioritaria e, per questo motivo, la inserisce tra i grandi ambiti di ricerca e innovazione. In particolare, al punto 5.2 "Cambiamenti climatici, mitigazione e adattamento" nelle articolazioni 7 e 8 sono chiaramente descritti obiettivi, tematiche e impatti attesi. L'articolazione 7, nello specifico, comprende la ricerca di strategie e azioni per l'attuazione di interventi di adattamento climatico, e vede tra i principali risultati attesi l'adattamento mediante azioni *green*, *grey* e *blue* e la promozione di approcci integrati multirischio e interventi di transizione verso eco-distretti e sistemi ambientali resilienti. L'articolazione 8 concerne invece l'indagine di metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico e prevede tra i risultati attesi lo sviluppo di modelli di conoscenza e previsione dell'efficacia delle azioni di adattamento.

Il tema di ricerca risulta essere perfettamente allineato anche alle tematiche di ricerca sviluppate dal 9° Programma Quadro Europeo *Research&Innovation 2021-2027 "Horizon Europe"*, all'interno del quale si inserisce tra i 6 cluster tematici principali individuati nel secondo pilastro di ricerca "*Global challenges and european industrial competitiveness*". La tematica dell'adattamento al cambiamento climatico, che in ambito europeo include la trasformazione della società, è stata inoltre inserita tra le 5 "*Mission areas*" di *Horizon Europe*, il che significa che rientra tra gli impegni prioritari scelti dall'Unione Europea. A titolo esemplificativo, rientrano tra le *mission*, tematiche centrali come la lotta al cancro, la vita in città più verdi, la salute, il suolo e il cibo. Le *mission* operano con un piano di azioni - progetti di ricerca, misure politiche e iniziative legislative - per raggiungere obiettivi misurabili che non potrebbero essere raggiunti attraverso azioni individuali e contribuiscono al raggiungimento degli obiettivi del Green Deal Europeo e degli Obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda Urbana 2030.

In definitiva, il tema della resilienza e dell'adattamento sia nel campo della ricerca scientifica quanto nel campo del progetto architettonico rappresentano ambiti di indagine sempre più «fertili e ricchi di opportunità per lo sviluppo di studi, metodologie, strumentazioni operative, simulazioni e proposte» (Mussinelli, 2018, p.345). Questa stretta correlazione sarà indagata più nello specifico nei prossimi capitoli in cui, attraverso un'analisi dettagliata di progetti urbani



Fig. 9 - The city index resilience of Rockfeller Foundation - ARUP based on 4 dimensions, 12 goals, 52 indicators (Source: ARUP).

di adattamento, applicati nel contesto del territorio europeo, si individueranno le principali soluzioni progettuali da applicare negli edifici e nello spazio aperto delle città.

3.3 - Il progetto di adattamento climatico e gli approcci di simulation and modeling per la verifica e la misurabilità degli interventi

Le caratteristiche urbane morfologiche, tecnologiche e materiche che costituiscono edifici e spazi aperti interagiscono costantemente con le componenti ambientali (vegetazione, corsi idrici, specchi d'acqua, etc.) e climatiche (soleggiamento, precipitazioni, ventosità, etc.), influenzando il microclima e il benessere degli abitanti (Bassolino, 2016). L'inasprimento delle criticità dovute al cambiamento climatico, in termini di frequenza ed intensità, unitamente alle interdipendenze che si generano tra i molteplici parametri per la valutazione ambientale e climatica degli ambienti esterni, non possono essere valutate singolarmente ma richiedono modelli di calcolo complessi che devono basarsi su un approccio globale al problema. L'utilizzo di strumenti di *Information Technology* (IT) per la valutazione e la verifica di processi di calcolo complessi vengono incontro a questa esigenza e rappresentano un valido dispositivo di supporto per l'analisi e la conoscenza dei fenomeni ambientali e climatici che si manifestano a livello locale nei contesti urbani. Attraverso la modellazione e simulazione in ambiente digitale è possibile misurare l'efficacia di strategie e soluzioni progettuali applicate negli spazi aperti al fine di incrementare la resilienza, sviluppare l'adattamento e ridurre le vulnerabilità climatiche (Losasso, 2020).

Nell'ultimo rapporto speciale sul clima, l'IPCC sottolinea l'importanza di evitare progetti di adattamento sbagliati, i quali possono causare impatti negativi sullo sviluppo sostenibile se ideati o implementati in maniera errata: «i progetti per l'adattamento [...] possono causare un aumento delle emissioni di gas serra e dell'uso di acqua, incrementare le disuguaglianze di genere e sociali, peggiorare le condizioni sanitarie e togliere spazio agli ecosistemi naturali» (IPCC, 2018). In quest'ottica di intervento l'utilizzo di software IT e piattaforme informatiche per la simulazione delle prestazioni dell'ambiente urbano rappresentano strumenti indispensabili per verificare e misurare le prestazioni climatiche di differenti scenari e soluzioni progettuali di adattamento. Tali strumenti digitali infatti vengono in supporto sia ai progettisti che ai decisori durante il processo progettuale, e includono al loro interno le informazioni che descrivono nel dettaglio gli spazi aperti e che quindi permettono di simulare il loro reale comportamento climatico.

3.3.1 - Esperienze di ricerca e modelli di intervento di simulation and modeling per l'adattamento climatico

A partire dalla modellazione tridimensionale computerizzata dello stato di fatto, da quella di progetto e dalla loro simulazione è possibile estrapolare i principali indicatori climatici e di benessere - quali, ad esempio, la temperatura potenziale dell'aria, la temperatura media radiante, il *Predict Mean Vote* e il *Physiological Equivalent Temperature* - e valutare, attraverso il loro confronto, l'effettivo miglioramento delle condizioni microclimatiche nell'ambiente urbano. Il ruolo che le simulazioni tramite software svolgono è quello di definire le strategie progettuali e identificare le soluzioni tecnologiche e spaziali che risultano più efficaci ai fini dell'adattamento, rispondendo in maniera più resiliente alle presenti e future modificazioni del clima. Tale approccio al progetto dello spazio aperto permette di prefigurare differenti configurazioni progettuali dell'ambiente urbano e valutarne, in via preventiva, la risposta termica e idraulica in condizioni climatiche estreme, anche in relazione a scenari di riscaldamento globali variabili come quelli previsti dall'IPCC (2018) da oggi fino al 2100.

Un esempio significativo che muove in questa ottica di intervento, e che quindi si basa su un approccio di progettazione e pianificazione "computazionale" degli interventi nei contesti urbani, è rappresentato dal progetto H2020 CLARITY. La ricerca in oggetto, finanziata nell'ambito del Programma Europeo *Horizon 2020*, integra da un lato una robusta analisi di "screening" climatica, e dall'altro, permette di selezionare alternative tecniche per l'adattamento climatico di edifici e spazi aperti. In particolare, l'analisi climatica, che viene eseguita per un gran numero di città europee, «è in grado di misurare gli effetti del microclima urbano e gli impatti legati a ondate di calore e allagamenti superficiali attraverso simulazioni eseguite automaticamente e quasi in tempo reale» (Leone et al., 2020, p.266). In maniera analoga, la scelta di determinate soluzioni tecniche e spaziali per l'adattamento permette di valutare «gli effetti in termini di riduzione degli impatti climatici e di costi-benefici legati alla loro implementazione, inclusi i co-benefici di tipo sociale, economico e ambientale ad esse connessi (quali il miglioramento della qualità dell'aria, l'incremento della biodiversità urbana, l'incremento dei valori immobiliari, la generazione di occupazione, una maggiore coesione e inclusione delle comunità locali, etc.)» (Leone et al., 2020, p.272).

La metodologia impiegata nella ricerca H2020 CLARITY, oltre ad essere stata sperimentata nell'area di Ponticelli nel Comune di Napoli, sviluppando simulazioni a supporto dell'aggiornamento del PAESC (Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima) a livello strategico-territoriale, del PUC (Piano Urbanistico Comunale) a livello urbano e del PRU (Piano di Recupero Urbano) a livello di distretto urbano, rappresenta un ottimo caso di studio da cui partire per sviluppare efficaci strategie nazionali e locali per la riduzione del rischio climatico e l'adattamento al cambiamento climatico (Leone et al., 2020).

3.3.2 - Integrazione degli strumenti IT nei processi decisionali per il progetto di adattamento climatico

Questo innovativo approccio metodologico alla progettazione *performance-based* si lega all'utilizzo di strumenti di simulazione virtuale IT che permettono di misurare la risposta climatica di una determinata prefigurazione progettuale all'interno di un ambiente urbano.

Al fine di ottenere risultati affidabili è opportuno modellare l'ambiente urbano in maniera quanto più prossima alla realtà. Per questo motivo assumono estrema rilevanza: la fase istruttoria, in

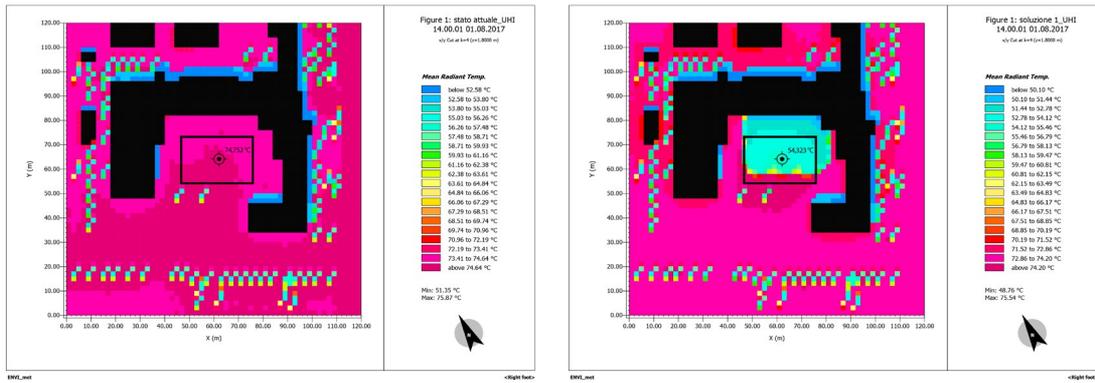


Fig. 10 - Simulazioni di valori di Temperatura Media Radiante prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'integrazione di misure di adattamento all'interno del cortile della scuola "E. Fermi" nel Comune di Scandicci.

cui si acquisiscono le informazioni morfologiche e materiche degli edifici (e tutti gli elementi costruiti presenti nell'area di analisi), degli spazi aperti (naturali o antropici) e delle alberature; la fase di inserimento dai dati climatici di input, relativa alla definizione della velocità e direzione media del vento, all'andamento orario della temperatura e dell'umidità; la fase di estrapolazione dei risultati delle simulazioni, che può essere ricavata sotto forma di elaborazioni planimetriche (a differenti livelli di quota dal suolo), sezioni ambientali, viste tridimensionali, tabelle e grafici. Tale metodologia richiede, da un lato, una significativa quantità di dati e informazioni riferiti all'ambiente urbano analizzato (morfologici, fisici, climatici, etc.), dall'altro, l'attuazione di processi ricorsivi di *testing* e verifica prestazionale fino all'individuazione dell'intervento progettuale in grado di ottenere migliori benefici in termini di benessere termico e di comfort. Nella parte terza della ricerca, questa metodologia è stata sperimentata su un gruppo di soluzioni progettuali di adattamento e generalizzata affinché fosse replicabile e misurabile in molteplici contesti urbani. Tuttavia, è importante sottolineare come «l'efficacia delle misure di adattamento è fortemente collegata alla capacità di integrarle opportunamente all'interno di "strategie di adattamento" più complesse, definite anche in relazione a obiettivi più ampi di trasformazione e rigenerazione urbana, considerando come solo un'applicazione diffusa e sinergica delle singole misure può garantire l'efficacia dell'azione di adattamento e solo la loro diversificazione in rapporto alle specificità dei contesti urbani e alle variabili morfologiche e di uso del suolo, può veicolare i benefici attesi» (cfr. Leone et al., 2020, p.273).

All'interno di questo scenario stanno emergendo nuove figure professionali specializzate nell'utilizzo di strumenti IT per i processi di *digital design*, dalla realtà aumentata al *computational design*, che offrono un significativo contributo alla definizione del progetto di architettura. Il processo progettuale si evolve verso approcci e prassi influenzate dal mondo delle tecnologie digitali e abilitanti, generando innovazioni di tipo processuale sia in fase conoscitiva che operativa in cui gli strumenti informatici di *simulation and modeling* – da strumenti per una progettazione indirizzata su specifiche caratterizzazioni – divengono sistemi integrati per la gestione dei processi decisionali, permeando con diversi gradi di approfondimento tutte le fasi del processo (Losasso, 2020).

References

La sfida contemporanea del cambiamento climatico

- EC, (2020), *Adaptation to climate change: blueprint for a new, more ambitious EU strategy*, European Commission, available at: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/consultations/docs/0037/blueprint_en.pdf (accessed on 12 December 2020)
- EEA, (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 — an indicator-based report*, EEA Report No 1/2017, European Environment Agency.
- EEA, (2020), *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*, EEA Report No 12/2020 European Environmental Agency, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- IPCC, (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, (2014), Technical summary, in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 35-94.
- IPCC, (2018), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- MATTM (2015), *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, available at: https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/documento_SNAC.pdf (accessed 16 December 2021).
- NOAA (2020), *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019*, in National Centers for Environmental Information, available at from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913> (accessed 15 April 2020).
- PNACC (2018), Piano Nazionale Di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici, available at: <https://www.minambiente.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici> (accessed 14 July 2019)
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. and Ludwig, C. (2015), “The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration”, *The Anthropocene Review*. SAGE Publications, 2(1), pp. 81–98.
- UN-Climate Change, (2020), *Climate Change Annual Report 2019*, United Nations Climate Change.
- UNEP, (2020), *Emissions Gap Report 2020*, United Nations Environment Programme, Nairobi.
- UN-Habitat, (2020), *World Cities Report 2020, The Value of Sustainable Urbanization*, United Nations Human Settlements Programme.

Il ruolo chiave della città in un clima che cambia

- Angelillo, M. (2020), “Vaia, due anni dopo: la natura dopo la tempesta”, in *La Repubblica Green & Blue*, available at: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/10/15/foto/vaia_due_anni_dopo_la_natura_dopo_la_tempesta-270578901/1/ (accessed 21 January 2021).
- C40 Cities (2020), *Mayors announce support for Global Green New Deal; Recognize global climate emergency*, available at: https://www.c40.org/press_releases/global-gnd (accessed 10 January 2020).
- CRED & UNISDR, (2020), *Human cost of disaster. An overview of the last 20 years 2000-2019*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters & UN Office for Disaster Risk Reduction available at: <https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019> (accessed on 14 January 2021).
- Domeneghetti, A., Carisi, F., Castellarin, A., Brath, A. (2015), “Evolution of Flood Risk Over Large Areas: Quantitative Assessment for The Po River” in *Journal of Hydrology*. 527. 809-823.
- EC (2010), *Risk assessment and mapping for disaster management*, European Commission, Brussels.
- EC, (2020), *Adaptation to climate change: blueprint for a new, more ambitious EU strategy*, European Commission, available at: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/consultations/docs/0037/blueprint_en.pdf (accessed on 12 December 2020).
- EEA, (2012), *Urban adaptation to climate change in Europe — challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*, EEA Report No 2/2012, European Environment Agency.
- EEA, (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 — an indicator-based report*, EEA Report No 1/2017, European Environment Agency.
- EEA, (2018a), *Water use in Europe — quantity and quality face big challenges*, available at: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/water-use-in-europe-2014> (accessed 10 December 2020).
- EEA, (2019a), in *Economic losses from climate-related extremes in Europe*, available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-4/assessment> (accessed 12 January 2020).
- EEA, (2019b), *Land and soil in Europe — ever-sprawling urban concrete?* available at: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2019-content-list/articles/land-and-soil-in-europe> (accessed 5 January 2021).
- EEA, (2020), *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*, EEA Report No 12/2020 European Environmental Agency, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Elshaer, A., Gairola, A., Adamek, K., Bitsuamlak, G. (2017), “Variations in wind load on tall buildings due to urban development”, in *Sustainable Cities and Society* 34, pp. 264-277.
- Eurostat, (2016), *Urban Europe — statistics on cities, towns and suburbs: 2016 edition* available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7596823/KS-01-16-691-EN-N.pdf> (accessed 28 August 2020).
- Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S., Ibarreta D., Soria A. (2020), “Climate change impacts and adaptation in Europe”, in *JRC PESETA IV final report*, EUR 30180 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Greco, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Conti, S., De Martino, A., Dotti, C., Michelozzi, P., Palummeri, E., Di Silvestre, R., Antonelli Incalzi, R., (2006), *Linee guida per preparare piani di sorveglianza e risposta verso gli effetti sulla salute di ondate di calore anomalo*, Direzione Generale Prevenzione Sanitaria del Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Roma.
- IDMC (2019), “Global Report on Internal Displacement”, in Internal Displacement Monitoring Centre, Norwegian Refugee Council, available at: <http://www.internal-displacement.org/global-report/grid2019/> (accessed 05 January 2021).
- IPCC, (2014), Technical summary, in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 35-94.
- IPCC, (2018), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Koks, E. E., Haer., T., (2020), “A high-resolution wind damage model for Europe”, in *Scientific Reports* 10(1), p. 6866.
- Landrigan, P. J., Fuller R., Acosta N.J.R., Adeyi O., Arnold R., Basu N.N., Baldé A.B., Bertollini R., Bose-O'Reilly S., Boufford J.I., Breysse P.N., Chiles T., Mahidol C., Coll-Seck A.M., Cropper M.L., Fobil J., Fuster V., Greenstone M., Haines A., Hanrahan D., Hunter D., Khare M., Krupnick A., Lanphear B., Lohani B., Martin K., Mathiasen K.V., McTeer M.A., Murray C.J.L., Ndashimananjara J.D., Perera F., Potočník J., Preker A.S., Ramesh J., Rockström J., Salinas C., Samson L.D., Sandilya K., Sly P.D., Smith K.R., Steiner A., Stewart R.B., Suk W.A., van Schayck O.C.P., Yadama G.N., Yumkella K., Zhong M.(2018), “The Lancet Commission on pollution and health”, in *The Lancet* 391(10119), pp. 462-512.
- Lopes, A., Oliveira, S., Fragoso, M., Andrade, J., Pedro, P., (2009), “Wind Risk Assessment in Urban Environments: The Case of Falling Trees During Windstorm Events in Lisbon”, in *Bioclimatology and Natural Hazards*, pp. 55-74.
- OECD and EU, (2018), “Health at a glance: Europe 2018: state of health in the EU cycle”, in *Organisation for Economic Cooperation and Development*, Paris.
- Oke, T. R. (1982), “The energetic basis of the urban heat island”, in *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108: 1 -24.
- Pescaroli, G., Alexander, D. E. (2015), A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the “toppling dominos” metaphor. Planet@Risk, Global Forum Davos.
- Robine, J. M., Cheung, S. L., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes rendus biologiques*, 331(2), 171–178.
- Russo, S., Dosio, A., Gravensén, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., Singleton, A., Montagna, P., Barbola, P., and Vogt, J. V. (2014), Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12 500– 12 512.

- Spinoni, J., Formetta, G., Mentaschi, L., Forzieri, G., Feyen, L., (2020), “Global warming and windstorm impacts in the EU”, *JRC PESETA IV project – Task 13 report*, available at https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/pesetaiv_task_13_windstorms_final_report.pdf (accessed 12 June 2020).
- Tucci F. (2019), “Adattamento ai cambiamenti climatici di architettura e città “green” per migliorare la resilienza dell’ambiente costruito. Minacce, vulnerabilità, rischi. Assi strategici, indirizzi, azioni d’intervento”, in *2ª Conferenza Nazionale delle Green cities*. Green city network. Milano.
- UN, (2020), *The Sustainable Development Goals Report 2020*, United Nations, available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf> (accessed on 30 December 2020).
- US EPA (2006), *Excessive Heat Events Guidebook*, EPA 430-B-06-005. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- WHO (2004), *Health and Global Environmental Change - Heat-waves: risks and responses*, Colombo Publishing.
- WHO, (2016), “Global Health Observatory data repository - deaths attributable to the environment - data by country”, in World Health Organization, available at: <http://apps.who.int/gho/data/node.main.162?lang=en> (accessed 20 November 2020).
- WHO Europe, (2019), “Environmental health inequalities in Europe - second assessment report”, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WMO, (2019), *Statement on the State of the Global Climate in 2018*, World Meteorological Organization No. 1233.

L'adattamento per il contrasto al climate change

- Ambrosino C. F., Bassolino E. (2016), Strumenti IT per la progettazione ambientale e il comfort indoor e outdoor / *IT tool for the environmental design and indoor and outdoor comfort*, in D'Ambrosio V., Leone M.F. (eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza / Environmental Design for Climate Change adaptation. Innovative models for the production of knowledge*. CLEAN Edizioni, Napoli, pp. 112-125.
- Carter, J., Cavan G., Connelly A., Guy S., Handley J., Kazmierczak A. (2014), “Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation” in *Progress in Planning*. 95.
- D'Ambrosio V. (2016), “Conoscenza del sistema urbano e progetto ambientale climate adaptive/ Knowledge of urban system and climate adaptive environmental design”, in D'Ambrosio V. e Leone M. F. (a cura di) *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative models for the production of knowledge*, Clean edizioni, Napoli, pp. 26-37.
- EEA, (2018b), *Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe*, EEA Report No 22/2018, European Environment Agency.
- Gasperini P., Manfredi G., Asperone D. (2014). *Resilience and sustainability in relation to natural disasters: a challenge for future cities*. Springer.
- IPCC, (2014), Technical summary, in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O.

- Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 35-94.
- ISPRA, (2018), Manuali e Linee Guida 178/2018, *Introduzione agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici: concetti chiave, indicatori candidati e criteri per la definizione degli indicatori prioritari*, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.
- Leone M.F., Zuccaro G. (2020), "Servizi Climatici per il progetto supporto allo sviluppo di strategie di adattamento urbano: l'approccio del progetto H2020 CLARITY" in D'Ambrosio V., Rigillo M., Tersigni E. (a cura di) *Transizioni Conoscenza e progetto climate proof*, CLEAN Edizioni, Napoli, pp. 265-276.
- Losasso M., Leone, M.F., Tersigni, E., (2020), "Approcci di computational design per la rigenerazione resiliente dello spazio pubblico/Computational design based approaches for public space resilient regeneration" in *TECHNE 19 - Journal of Technology for Architecture and Environment, Spazio pubblico / Public space*, FUP Press, Firenze, pp. 223-241.
- Losasso, M. (2021), "L'innovazione del progetto ambientale nel nuovo regime climatico/ Environmental Design Innovation in the New Climate Regime", in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F., *Dai distretti agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/From urban district to eco-district. Knowledge methodologies, strategic programmes, pilot projects for climate adaptation*, Sant'Arcangelo di Romagna (RM), Maggioli, pp. 7-10.
- Lucarelli, M.T., Mussinelli, E., Daglio, L. (2018), *Progettare resiliente*, Maggioli editore, Milano.
- Tucci F. (2019), "Adattamento ai cambiamenti climatici di architettura e città "green" per migliorare la resilienza dell'ambiente costruito. Minacce, vulnerabilità, rischi. Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento", in *2ª Conferenza Nazionale delle Green cities*. Green city network. Milano.
- Valente, R. (2020), "Esperienze di progetti ambientali multiscalari/Multi-scale environmental design experiences", in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna, pp. 263-266.

PARTE II

CASI STUDIO DI PROGETTI PER L'ADATTAMENTO AGLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

CAPITOLO 4

Schedatura di casi di studio di progetti per l'adattamento climatico

Il capitolo studia i progetti urbani di adattamento sviluppati all'interno del continente europeo. L'analisi copre le regioni biogeografiche europee in cui sono presenti le criticità climatiche maggiormente rilevanti e che hanno causato maggiori danni in termini economici e di perdite di vite umane. I 14 casi di studio sono stati approfonditi secondo una specifica struttura di analisi che si focalizza sui temi specifici del progetto per l'adattamento climatico.

4.1 - Indagine ricognitiva di casi di studio di progetti per l'adattamento e delimitazione del campo di ricerca

L'indagine dei casi di studio ha rappresentato una fase conoscitiva fondamentale per la comprensione delle potenzialità offerte dalle esperienze progettuali urbane di adattamento e l'individuazione delle soluzioni messe in campo per contrastare gli impatti climatici.

In prima analisi, la ricerca ha effettuato un'indagine ricognitiva partendo da fonti bibliografiche di report, riviste e pubblicazioni scientifiche sviluppate a livello nazionale ed internazionale. Successivamente, sono state approfondite mediante ricerche sitografiche tra i principali organi riconosciuti nel contrasto al *climate change* e le più importanti piattaforme *web* che raggruppano pratiche innovative di progetti e processi urbani sul tema dell'adattamento climatico. In particolare, questa indagine esplorativa ha analizzato:

- casi di studio provenienti dall'*Urban Climate Change Research Network (UCCRN)*, una rete di più di 1.000 ricercatori in tutto il mondo che si occupano di analizzare la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici da una prospettiva urbana. Il loro principale obiettivo è quello di creare e diffondere conoscenza sui temi della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici nelle città con l'obiettivo principale di fornire ai decisori pubblici un quadro conoscitivo utile per orientare le scelte politiche sulla base di informazioni scientifiche;
- casi di studio desumibili dal gruppo C40, che supporta le città a collaborare efficacemente, condividere conoscenze e guidare azioni significative, misurabili e sostenibili sul cambiamento climatico. Il gruppo C40 comprende 97 tra le più grandi città del mondo con oltre 700 milioni di cittadini e impegna i sindaci a raggiungere gli ambiziosi obiettivi dell'Accordo di Parigi e sviluppare azioni per contrastare il cambiamento climatico;
- casi di studio appartenenti alla *Rockefeller Foundation - 100 Resilient Cities* la quale individua e finanzia 100 città nel mondo per incrementare la resilienza alle principali sfide climatiche, sociali, ambientali ed economiche che contraddistinguono il XXI secolo;
- caso di studio contenuti nella piattaforma *Climate Adapt* della Commissione europea e della *European Environment Agency (EEA)* che identifica progetti e interventi realizzati nei paesi dell'Unione Europea. La piattaforma ha l'obiettivo di supportare l'Europa nell'adattamento ai cambiamenti climatici condividendo dati e informazioni sul cambiamento climatico previsto, sulle vulnerabilità attuali e future di regioni e settori, sulle strategie e azioni nazionali e transnazionali, nei casi di studio e sugli strumenti in supporto alla pianificazione urbana.

Il processo di selezione dei casi di studio di esperienze progettuali nel campo dell'adattamento climatico è stato in definitiva circoscritto al contesto europeo per quattro motivi:

1. costruire una casistica di esperienze progettuali tra loro facilmente comparabili;
2. costruire una casistica che comprende il più ampio numero di regioni biogeografiche europee;
3. analizzare le pericolosità climatiche maggiormente ricorrenti tra cui: le ondate di calore e isole di calore urbane, le precipitazioni estreme e gli allagamenti urbani e i fenomeni siccitosi e la scarsità idrica;
4. analizzare esperienze progettuali collocate in contesti territoriali e urbani simili a quello delle città italiane.

Per le finalità sopra citate, proprie della presente ricerca, in prima battuta sono stati individuati

36 casi di studio di progetti di adattamento attribuibili a sette diversi gruppi, in relazione alla scala dell'intervento e all'approccio progettuale, che comprendono: strategie climatiche cittadine (4 casi), eco-distretti (3 casi), parchi urbani (5 casi), quartieri (3 casi), aree pubbliche urbane (7 casi), edifici e/o comprati urbani (6 casi), componenti edilizi (1 caso). Questo primo censimento di casi di studio è stato rivalutato alla luce di una perimetrazione maggiormente improntata al raggiungimento del principale risultato della ricerca ovvero per la costruzione di un repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico. Per questo motivo, si è pervenuti all'individuazione di un numero più limitato di casi di studio che risultassero significativi, di cui ne fosse riconosciuta e dichiarata la validità e che rispondessero alle specifiche criticità climatiche affrontate dalla ricerca.

Le 14 esperienze progettuali individuate rientrano nella classificazione sopra descritta e comprendono tre casi di studio di parchi urbani, tre casi di studio di quartieri, tre casi di studio di aree pubbliche e cinque casi di studio di edifici e comparti edilizi. Tra i parchi urbani rientrano i casi di *The soul of Norrebro* a Copenhagen (Danimarca), *Gomenzarro Park* a Madrid (Spagna) e il *M.L. King Park* a Parigi (Francia). I quartieri comprendono *Zoho Climate Proof* a Rotterdam (Olanda), *Sant Kjeld Kvarter* a Copenhagen (Danimarca) e *One step be-yond* ad Atene (Grecia). Gli spazi pubblici sono analizzati nei casi di *Watersquare* a Tiel (Olanda), *Zollhallen Plaza* a Friburgo (Germania) e *Kettingplein* a Ghent (Belgio). Infine, tra gli edifici e comparti edilizi sono stati individuati *IMDEA Institute* a Madrid (Spagna), *Inselplatz Campus* a Jena (Germania), *Groot Willemsplein* a Rotterdam (Olanda), *Climate-Proof Social Housing Landscapes* a Londra (Regno Unito) e *Condominio 25 Verde* a Torino (Italia).

In definitiva grazie ai 14 casi di studio analizzati è stato possibile coprire le tre principali regioni biogeografiche maggiormente presenti in Europa per estensione superficiale, ovvero quella mediterranea, quella continentale e quella atlantica. Inoltre, tale passaggio permette di individuare potenzialmente le soluzioni di adattamento idonee per affrontare le problematiche più diffuse nel continente europeo.

4.2 - Introduzione alla schedatura dei casi di studio dei progetti

Le analisi dei casi di studio di esperienze progettuali di adattamento climatico sono state effettuate attraverso una lettura critica dell'intervento progettuale fondata su nove punti:

1. Ambito urbano di applicazione;
2. Criticità climatica affrontate;
3. Obiettivi dell'intervento;
4. Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto;
5. Livello di *governance*;
6. Strategia di intervento;
7. Soluzioni di adattamento;
8. Funzionamento delle soluzioni di adattamento;
9. Risultati conseguiti.

Nel punto 1 "ambito urbano di intervento" viene descritta la collocazione urbana del progetto. In particolare in questa sezione si intende definire se l'intervento si inserisce in una zona periferica e marginale oppure in una zona urbana centrale. Questo primo punto ci permette di comprendere la diffusione dei progetti di adattamento climatico nei diversi contesti cittadini.

Il punto 2 "criticità climatiche affrontate" evidenzia le pericolosità climatiche affrontate dal

progetto in riferimento rispetto alle temperature elevate, precipitazioni estreme, fenomeni siccitosi e tempeste di vento.

Nel punto 3 sono descritti gli obiettivi del progetto che riguardano sia quelli prettamente collegati all'adattamento climatico che ad altri obiettivi connessi alla realizzazione dell'intervento progettuale. Tra questi possono rientrare ad esempio il miglioramento della qualità dell'aria, la vivibilità del quartiere, l'abbattimento dell'inquinamento e delle polveri sottili, la creazione di una nuova centralità urbana più attraente e tanti altri. In questo punto è interessante apprezzare come l'obiettivo di adattamento climatico spesso venga coniugato nei progetti con altri obiettivi di tipo sociale, economico, ambientale. Ciò attribuisce un doppio ruolo fondamentale al progetto di architettura, da un lato, quello di incidere sull'ambiente urbano per determinare un miglioramento della qualità della vita quotidiana dei cittadini, dall'altro, quello di modificare le dinamiche sociali ed economiche di un luogo.

Il punto 4 "estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto" è strettamente legato alla tipologia del progetto, in particolare, in questa sezione viene riportata l'estensione superficiale dell'intervento e gli elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto, come le strade, le piazze, i parcheggi, etc. Questa sezione permette di comprendere se il progetto può classificarsi come un intervento esteso di scala urbana oppure se risulta circoscritto e limitato in termini superficiali e se si sviluppa in maniera diffusa e sistemica oppure al contrario solamente in modo puntuale.

Nel punto 5 "livello di *governance*" vengono descritte le procedure che riguardano la gestione del progetto. Nello specifico si fa principalmente riferimento al tipo di finanziamento per la realizzazione dell'intervento, quindi pubblico, privato o partnership e, inoltre, vengono riportati eventuali processi partecipativi o di coinvolgimento di *stakeholder* locali.

Il punto 6 "strategia di intervento" descrive le varie operazioni messe in atto per raggiungere i vari obiettivi prefissati dal progetto. Nello specifico, sono messe in luce particolari propensioni del progetto a strategie climatiche più ampie come ad esempio piani climatici cittadini, piani climatici di distretto, etc.

Nel punto 7 sono elencate le soluzioni di adattamento, ovvero tutti quegli elementi tecnici ed architettonici, naturali ed artificiali, attraverso i quali il progetto agisce per ridurre gli effetti del cambiamento climatico e che, quindi, intervengono direttamente sulle criticità climatiche in atto, instaurando con esse una stretta correlazione. Alcune delle soluzioni individuate operano anche ai fini della mitigazione climatica che, come descritto nella parte prima della ricerca, rappresentano soluzioni complementari e non alternative per fronteggiare il *climate change*.

Il punto 8 riporta, secondo quanto espressamente dichiarato all'interno del progetto, gli specifici sistemi di funzionamento delle soluzioni di adattamento. Questa sezione restituisce una lettura di rilievo per la comprensione dei meccanismi di funzionamento delle differenti alternative progettuali e per questo motivo verrà ripreso anche più avanti nella trattazione delle soluzioni stesse.

Infine, l'ultimo punto si prefigge di descrivere i risultati conseguiti o conseguibili dalle esperienze progettuali e, nei casi in cui il progetto sia già stato realizzato e operativo, riporta le misurazioni in termini di capacità di adattamento ad un determinato evento climatico estremo.

A conclusione dell'analisi di ciascuno degli interventi progettuali è stata redatta una scheda sintetica che riporta in forma schematica tutti i dati raccolti. Queste schede sintetiche permettono di costruire il quadro sinottico dell'analisi svolta nel presente capitolo e di trarne le conclusioni così da poter costruire il repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico.

Principali cambiamenti climatici osservati e principali impatti previsti nelle diverse regioni biogeografiche d'Europa

Arctic region

- Temperature rise much larger than global average
- Decrease in Arctic sea ice coverage
- Decrease in Greenland ice sheet
- Decrease in permafrost areas
- Increasing risk of biodiversity loss
- Some new opportunities for the exploitation of natural resources and for sea transportation
- Risks to the livelihoods of indigenous peoples

Mountain regions

- Temperature rise larger than European average
- Decrease in glacier extent and volume
- Upward shift of plant and animal species
- High risk of species extinctions
- Increasing risk of forest pests
- Increasing risk from rock falls and landslides
- Changes in hydropower potential
- Decrease in ski tourism

Continental region

- Increase in heat extremes
- Decrease in summer precipitation
- Increasing risk of river floods
- Increasing risk of forest fires
- Decrease in economic value of forests
- Increase in energy demand for cooling

Mediterranean region

- Large increase in heat extremes
- Decrease in precipitation and river flow
- Increasing risk of droughts
- Increasing risk of biodiversity loss
- Increasing risk of forest fires
- Increased competition between different water users
- Increasing water demand for agriculture
- Decrease in crop yields
- Increasing risks for livestock production
- Increase in mortality from heat waves
- Expansion of habitats for southern disease vectors
- Decreasing potential for energy production
- Increase in energy demand for cooling
- Decrease in summer tourism and potential increase in other seasons
- Increase in multiple climatic hazards
- Most economic sectors negatively affected
- High vulnerability to spillover effects of climate change from outside Europe

Coastal zones and regional seas

- Sea level rise
- Increase in sea surface temperatures
- Increase in ocean acidity
- Northward migration of marine species
- Risks and some opportunities for fisheries
- Changes in phytoplankton communities
- Increasing number of marine dead zones
- Increasing risk of water-borne diseases

Boreal region

- Increase in heavy precipitation events
- Decrease in snow, lake and river ice cover
- Increase in precipitation and river flows
- Increasing potential for forest growth and increasing risk of forest pests
- Increasing damage risk from winter storms
- Increase in crop yields
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in hydropower potential
- Increase in summer tourism

Atlantic region

- Increase in heavy precipitation events
- Increase in river flow
- Increasing risk of river and coastal flooding
- Increasing damage risk from winter storms
- Decrease in energy demand for heating
- Increase in multiple climatic hazards

Source: EEA Report No 1/2017, European Environment Agency

Localizzazione e tipologie dei casi di studio analizzati

Parchi Urbani

- 4.3.1** The soul of Nørrebro
Copenaghen, Danimarca
- 4.3.2** Gomenzarro Park
Madrid, Spagna
- 4.3.3** M.L. King Park
Parigi, Francia

Quartieri

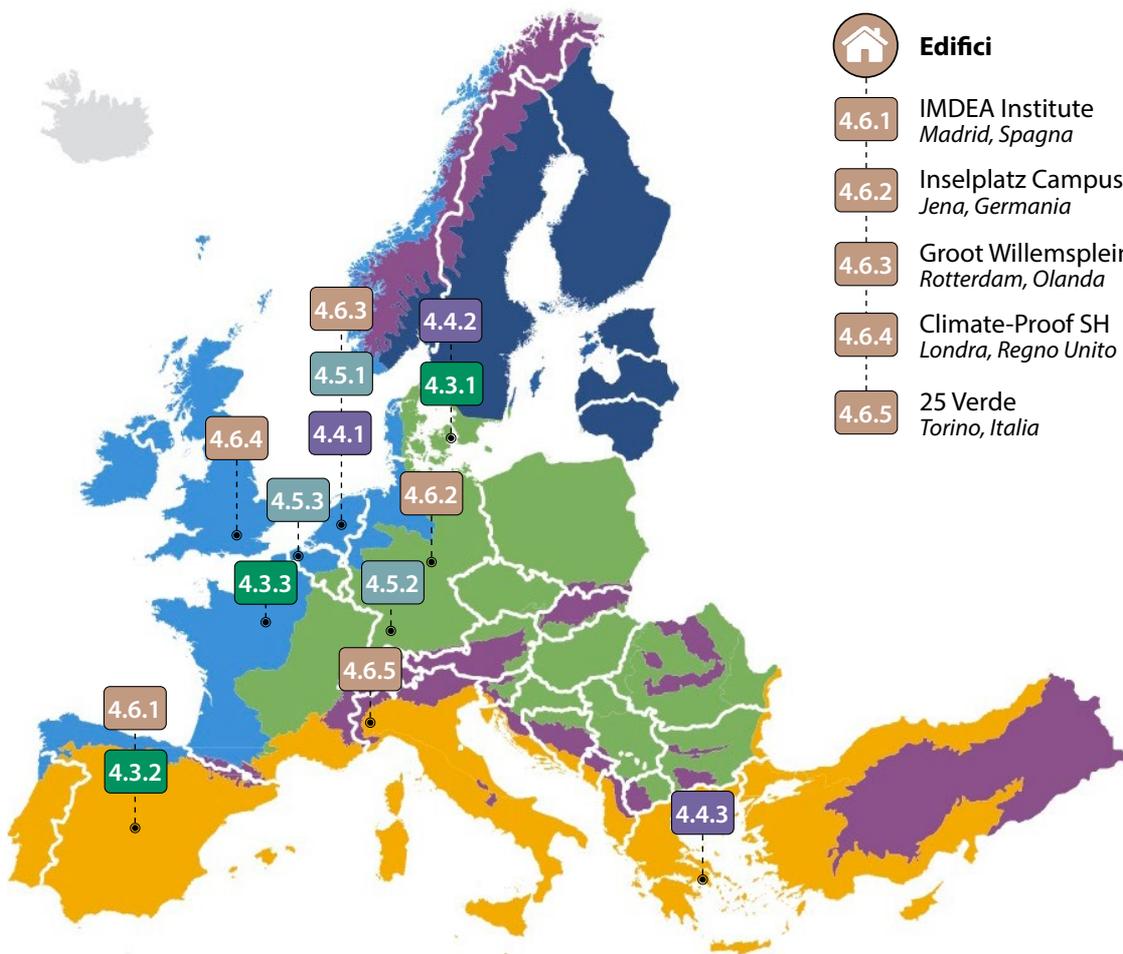
- 4.4.1** Zoho Climate Proof
Rotterdam, Olanda
- 4.4.2** Sant Kjeld Kvarter
Copenaghen, Danimarca
- 4.4.3** One step beyond
Atene, Grecia

Aree pubbliche

- 4.5.1** Watersquare
Tiel, Olanda
- 4.5.2** Zollhallen Plaza
Friburgo, Germania
- 4.5.3** Kettingplein
Ghent, Belgio

Edifici

- 4.6.1** IMDEA Institute
Madrid, Spagna
- 4.6.2** Inselplatz Campus
Jena, Germania
- 4.6.3** Groot Willemsplein
Rotterdam, Olanda
- 4.6.4** Climate-Proof SH
Londra, Regno Unito
- 4.6.5** 25 Verde
Torino, Italia



Casi di studio analizzati



Parchi Urbani

4.3.1 The soul of Nørrebro
Copenhagen, Danimarca



4.3.2 Gomeznarro Park
Madrid, Spagna



4.3.3 M.L. King Park
Parigi, Francia



Quartieri

4.4.1 Zoho Climate Proof
Rotterdam, Olanda



4.4.2 Sant Kjeld Kvarter
Copenhagen, Danimarca



4.4.3 One step beyond
Atene, Grecia



Aree pubbliche

4.5.1 Watersquare
Tiel, Olanda



4.5.2 Zollhallen Plaza
Friburgo, Germania



4.5.3 Kettingplein
Ghent, Belgio



Edifici

4.6.1 IMDEA Insitute
Madrid, Spagna



4.6.2 Inselplatz Campus
Jena, Germania



4.6.3 Groot Willemsplein
Rotterdam, Olanda

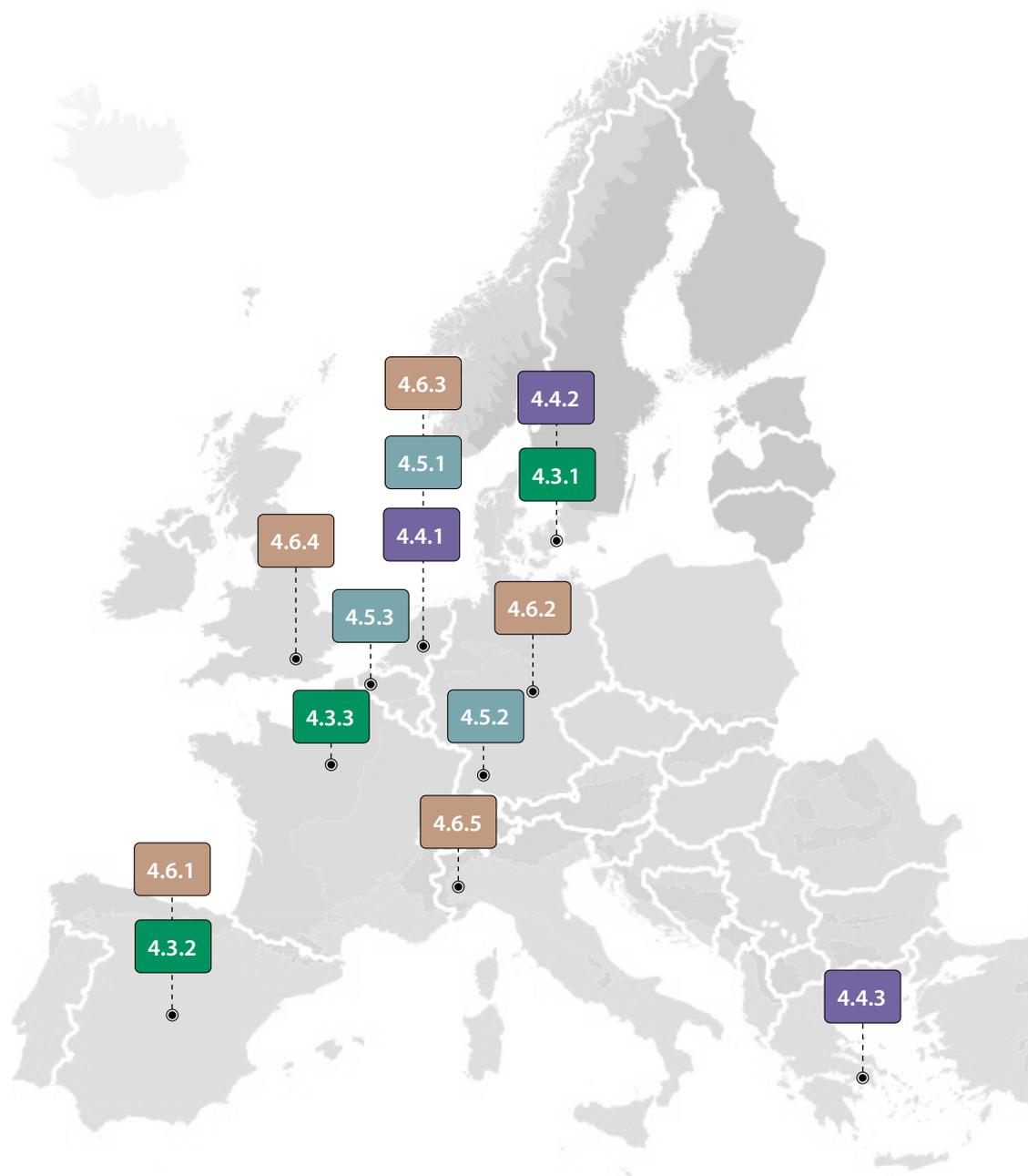


4.6.4 Climate-Proof SH
Londra, Regno Unito



4.6.5 25 Verde
Torino, Italia





4.3 - Parchi urbani

I progetti di adattamento urbani sviluppati all'interno di vaste aree verdi permettono di esprimere tutte le potenzialità delle soluzioni di adattamento incrementando esponenzialmente la resilienza climatica. La notevole disponibilità di superfici naturali, verde e blu, rappresentano soluzioni efficaci per contrastare le isole di calore urbane, le alluvioni urbane e i fenomeni siccitosi. La loro presenza all'interno della trama urbana cittadina rappresenta un'“oasi climatica” che consente di proteggere dagli effetti climatici estremi. I casi presentati in maggior dettaglio nei progetti seguenti sono collocati in regioni biogeografiche differenti e pertanto coprono tutte le criticità climatiche indagate dalla ricerca.

4.3.1

THE SOUL OF NØRREBRO
SLA, Ramboll

Copenaghen, Danimarca
2013 - in corso



Fig.1 - Vista renderizzata del Tavsens Park (Source: SLA)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 8.500 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento				
 alberature	 bacini verdi inondabili	 bacini umidi (stagni)	 bioswales	 superfici verdi permeabili
 cisterne di raccolta interrate	 pavimentazioni permeabili	 vasche superficiali allagabili		

Ambito urbano di applicazione

Il progetto “*The soul of Nørrebro*” si colloca nell'omonimo distretto di Nørrebro nella città di Copenhagen, che si estende per 3.82 kmq e ospita una popolazione di 71.891 abitanti. Il distretto, considerato uno dei cuori pulsanti della capitale danese, è situato nelle immediate vicinanze del centro cittadino e attualmente ospita una delle comunità multietniche più numerose della città, in cui almeno un abitante su sei proviene da un altro paese. Questa area urbana, che fino alla seconda metà XIX secolo era completamente disabitata, ha cominciato a configurarsi urbanisticamente solamente a seguito del grande boom edilizio di fine '800, in cui molti lavoratori si sono trasferiti in città incrementando notevolmente la richiesta di alloggi.

Il distretto, nonostante stia subendo un'importante trasformazione urbana con il progetto “*The soul of Nørrebro*”, non rappresenta un'area marginale e/o periferica della città ma le sue evidenti criticità climatiche, ambientali e sociali costituiscono un'importante sfida, che il progetto di riqualificazione urbana del parco di Hans Tavsens e del viale di Korsgade intendono cogliere.

Criticità climatica affrontate

La città di Copenhagen, come molte altre grandi città del mondo, sta affrontando molteplici sfide: da quelle climatiche, legate agli eventi meteorologici sempre più intensi che si abbattano sull'ambiente costruito (forti nubifragi e isole di calore urbane), a quelle ambientali, connesse all'incremento delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera, alla gestione dei rifiuti e all'inquinamento idrico, fino a quelle sociali e culturali legate ad una crescente disuguaglianza sociale all'interno di una popolazione multietnica e in continua crescita.

La criticità climatica specifica al quale il progetto “*The soul of Nørrebro*” intende rispondere è rappresentata dalle alluvioni pluviali urbane, cioè da quegli allagamenti urbani dovuti a precipitazioni estreme di breve durata e forte intensità. In questa sfida climatica, secondo lo studio danese SLA, ideatori del progetto, il rapporto con l'acqua rappresenta una straordinaria opportunità per riappropriarsi di una risorsa fondamentale per il territorio e sensibilizzare la popolazione ai nuovi eventi climatici estremi, per non considerarli come una minaccia ma, al contrario, come una straordinaria occasione per un nuovo sviluppo urbano della città.

Obiettivi dell'intervento

I principali obiettivi che il progetto intende raggiungere si riferiscono al programma del concorso “*Nordic Built Cities Challenge*” al quale lo studio danese SLA ha partecipato aggiudicandosi il primo posto. In particolare, lo scopo della gara era quello di redigere un progetto di riqualificazione urbano innovativo che, oltre ad una nuova riconfigurazione morfologica capace di rispondere alle recenti sfide climatiche e ambientali, fosse in grado di sviluppare un innovativo e coinvolgente processo sociale e culturale. Secondo questa logica d'intervento gli obiettivi del *contest* prevedevano il ripensamento del parco urbano di Hans Tavsens, attraverso l'utilizzo di soluzioni capaci di adattarsi ai regimi pluviometrici estremi dovuti al cambiamento climatico, e il coinvolgimento delle parti sociali presenti nel quartiere (abitanti, scuole, organizzazioni locali, etc.), al fine di rafforzare il senso di comunità e renderli partecipi nella sua implementazione e manutenzione nel tempo.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento si sviluppa all'interno di un'area urbana di 85.000 mq di superficie, inquadrandosi pertanto come un progetto di scala urbana che, oltre ad interessare una vasta area destinata a parco, comprende anche altri elementi dello spazio pubblico circostante, come strade, slarghi,

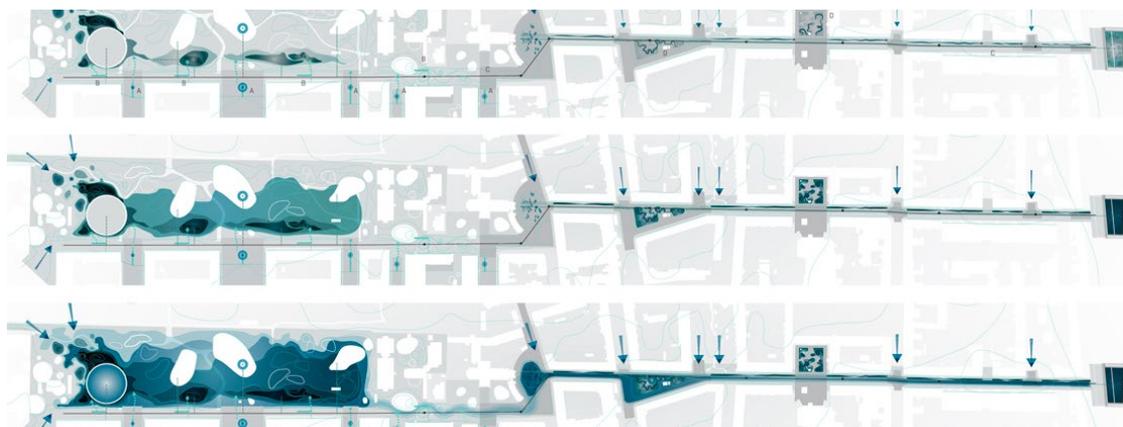


Fig.3 - Studio dell'allagamento urbano in caso di evento di pioggia estremo giornaliero, decennale e centennale (Source: SLA)

basa sulla gestione sostenibile delle acque meteoriche, che rappresentano per il distretto una risorsa fondamentale e per questo motivo raccolte, depurate e riutilizzate. La gestione idrica viene pertanto ottimizzata e permette alla città di difendersi dagli impatti climatici estremi. Il circuito sociale è rappresentato dall'elevata diversità sociale. Nørrebro è caratterizzato infatti da una elevata densità abitativa e da un continuo afflusso di nuove comunità che si insediano nel distretto. Un ciclo sociale ideale con un elevato grado di vivibilità deve promuovere l'integrazione di tutti i suoi cittadini.

La proposta progettuale per Hans Tavsens Park e Korsgade attua la strategia dei circuiti di Nørrebro attraverso cinque azioni chiave: 1) l'inserimento di soluzioni *nature based*, in quanto contribuiscono a gestire e trattenere l'acqua piovana, migliorano il microclima urbano, contribuiscono alla riduzione dell'inquinamento acustico e ambientale, migliorando la qualità dell'aria e la vivibilità del distretto; 2) l'utilizzo flessibile dei nuovi spazi, in quanto Hans Tavsens Park e Korsgade saranno progettate per ospitare attività permanenti, eventi spontanei o temporanei e, nei casi estremi, ingenti volumi idrici; 3) l'implementazione e la manutenzione del sistema ecologico attraverso progetti pilota affidati alle scuole e al laboratorio FabLab; 4) miglioramento dei collegamenti fisici e visivi tra le aree di progetto e gli insediamenti limitrofi, in modo che l'area sia resa accessibile a tutte le tipologie di utenti; 5) la creazione di *landmark* architettonici come elementi iconici del progetto, enfatizzando l'elemento simbolico dell'acqua (giochi d'acqua, percorsi d'acqua, zone umide, bacini e vasche depurative, etc.).

Soluzioni di adattamento

Il progetto intende rispondere agli impatti climatici attraverso l'impiego combinato di soluzioni verdi (*nature based*) e grigie, al fine di adattare l'area agli impatti, presenti e futuri, del cambiamento climatico. Le soluzioni *nature based* prevedono la creazione di un ambiente urbano naturale, verde e blu, inserito all'interno del contesto cittadino, in grado di rafforzare la biodiversità e le capacità resilienti rispetto alle precipitazioni estreme e alle temperature elevate. Le soluzioni grigie mirano invece all'ottimizzazione e al controllo degli ingenti flussi idrici attraverso sistemi idraulici e vasche di stoccaggio interrate e superficiale. L'acqua, in particolare, rappresenta l'elemento centrale del progetto.

Le soluzioni di adattamento verdi prevedono:

- inserimento di estese superfici verdi permeabili inserite nel parco e aree verdi più contenute



Fig. 4 - Vista renderizzata di studenti intenti nella co-creazione della natura urbana tra i due campi da gioco della scuola Blågård (Source: SLA)

introdotte in tutti gli spazi urbani lungo il percorso che collega il parco con il lago Peblinge;

- inserimento di alberature capaci di captare e trattenere una quota parte di acqua piovana, in modo da alleggerire il sistema fognario tradizionale da enormi volumi di acqua causati dalle precipitazioni estreme; la soluzione delle alberature favorisce inoltre l'ombreggiamento e il raffrescamento dell'aria nei periodi più caldi;
- realizzazione di bacini umidi destinati allo stoccaggio, in caso di eventi eccezionali, e alla depurazione dagli agenti inquinanti presenti nelle acque di prima pioggia;
- realizzazione di un sistema di depurazione lineare (tipo *bioswales*) lungo la strada Korsgade e sulla sponda del lago Peblinge; l'obiettivo di questa soluzione è depurare dalle sostanze nocive le acque meteoriche che vengono riversate nel lago e rallentare il deflusso superficiale;
- realizzazione di bacini inondabili caratterizzati da depressioni del terreno che, in condizioni di piovosità eccezionali, fungono da aree di raccolta e stoccaggio e rallentano il deflusso idrico;

Le soluzioni di adattamento grigie comprendono:

- realizzazione di serbatoi interrati che raccolgono l'acqua piovana proveniente dalle coperture degli edifici;
- realizzazione di una vasca superficiale allagabile in condizioni di piovosità straordinarie (arena circolare);
- sistemi idraulici di condotte interrate che, con l'ausilio di pompe idrauliche e dispositivi di regolazione dei flussi, regolano il flusso d'acqua e/o lo riversano in apposite aree di accumulo e stoccaggio libere;
- pavimentazioni permeabili che permettono all'acqua di infiltrarsi nel sottosuolo ed evitano il fenomeno del *runoff* superficiale;
- configurazione della sezione stradale a "v" in modo da trasformarla in un canale idrico nei rari casi in cui l'acqua invade le strade e le piazze; l'obiettivo di questa soluzione è quello di convogliare l'acqua lungo un sistema opportunamente progettato per evitare che questa possa disperdersi e causare danni o mettere a rischio edifici, elementi urbani o soggetti maggiormente vulnerabili (questa soluzione progettuale è presente anche nella strategia climatica cittadina del *Copenhagen Cloudburst toolbox*).

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

L'area di intervento è progettata per rispondere a diverse tipologie di fenomeni estremi di pioggia,



Fig. 5 - Vista renderizzata lungo il viale Korsgade: il marciapiede asciutto e il torrente d'acqua che invade la canaletta drenante durante la pioggia torrenziale (Source: SLA)

che variano in relazione all'intensità, al volume e al tempo di ritorno delle piogge. Nel caso di eventi ordinari, le aree più profonde del parco Hans Tavsens si riempiranno per prime, insieme alle cisterne interrato e al sistema di canali depuranti (*bioswales*) lungo Korsgade.

Nel caso di evento decennale, la maggior parte del parco viene allagato ad eccezione delle "isole" e dell'arena circolare, in quanto queste ultime sono caratterizzate da quote altimetriche più alte rispetto al resto dell'area. Queste aree dovranno rimanere asciutte per permettere le attività sportive, ludico-ricreative e/o gli eventi culturali. Il parco si svuoterà gradualmente entro le 24 ore successive all'evento, sfruttando le infiltrazioni naturali nel terreno e il sistema di scarico idraulico delle condotte interrato. I bacini filtranti che sono presenti sia nel parco che nella strada Korsgade rallenteranno e depureranno le acque prima di infiltrarle nel terreno o riverersarle nel lago Peblinge. Le cisterne interrato invece, che durante l'evento piovoso si saranno riempite di acqua, saranno riversate nuovamente nel parco Hans Tavsens o nelle aree filtranti di Korsgade grazie a delle pompe idrauliche.

In caso di evento centennale, l'arena circolare si riempirà d'acqua e quella in eccesso sarà riversata lungo la strada Tavsens adiacente al parco. A quel punto la strada svolgerà la funzione di canale di scolo e l'acqua piovana sarà convogliata lungo Korsgade ed infine defluita verso l'ultima zona filtrante in riva al lago.

I principi di funzionamento delle soluzioni di adattamento presenti nel progetto prevedono pertanto la gestione del *runoff*, la raccolta e/o stoccaggio di ingenti volumi idrici, la filtrazione attraverso piante depuranti e l'infiltrazione del terreno delle acque meteoriche. In particolare, in tutti gli eventi meteorici sopra descritti, l'acqua subisce sempre un trattamento depurativo prima di essere reimpressa nel lago oppure infiltrata nel terreno. L'unico momento in cui le acque non potranno essere trattate sarà nel raro caso in cui si manifesti un evento di pioggia superiore al tempo di ritorno centennale.

Risultati conseguiti

Il parco Hans Tavsens potrà raccogliere fino a 18.000 mc di acqua, ritardando il deflusso idraulico superficiale e depurando le acque meteoriche da eventuali sostanze inquinanti prima di reimmetterla nel naturale ciclo idrologico. Inoltre, l'acqua raccolta nei serbatoi interrati potrà essere riutilizzata per l'irrigazione, la didattica e la pulizia. In particolare, il laboratorio urbano FabLab potrà utilizzarla per le attività di giardinaggio all'interno del parco, negli edifici pubblici e nei cortili e/o edifici privati.

4.3.2 GOMEZNARRO PARK

SUDS-ATLANTIS

Madrid, Spagna
Gennaio - Marzo 2003



Fig.1 - Vista a volo d'uccello del Gomeznarro Park (Source: SUDS-ATLANTIS)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 10.000 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento		
 superfici verdi permeabili	 casseri drenanti interrati	 pavimentazioni permeabili

Ambito urbano di applicazione

Il progetto del parco Gomeznarro si colloca in un'area urbana periferica situata a nord della città Madrid e distante circa 7 Km dal centro della capitale spagnola. Il parco si inserisce all'interno di un contesto urbano con edifici di edilizia residenziale pubblica alti cinque piani fuori terra che lo cingono lungo i lati est e ovest e ne rimarcano il prevalente sviluppo lungo l'asse nord-sud.

Criticità climatica affrontate

Il Gomeznarro Park di Madrid è stato oggetto di un importante fenomeno di erosione a causa della sua morfologia caratterizzata da forti pendenze, della fragilità del terreno poco compatto e dell'eccessiva presenza di superfici impermeabili. Inoltre, l'elevata concentrazione di deflusso idrico superficiale trasportava grandi quantità di detriti che intasavano il sistema fognario e contribuivano ad aumentare i fenomeni di allagamento urbano e la presenza di umidità nelle abitazioni a valle.

In maniera analoga, durante i periodi di siccità e scarsità idrica, la manutenzione del parco e la gestione della vegetazione venivano portati avanti con difficoltà a causa della carenza di acqua. In particolare, questo causava un'alterazione dei naturali fenomeni di ombreggiamento e raffrescamento dell'aria, contribuendo, nella stagione calda e in particolar modo durante le ondate di calore, all'incremento del fenomeno dell'isola di calore urbana.

Obiettivi dell'intervento

Lo scopo del progetto è quello di ripristinare il naturale ciclo idrologico dell'acqua preservando l'area in cui è localizzato il parco Gomeznarro e proteggendo gli edifici residenziali limitrofi da ripetuti fenomeni di smottamento del terreno e allagamento urbano.

In particolare, tra gli obiettivi specifici rientrano:

- la rigenerazione del paesaggio naturale del parco che, a causa dei violenti eventi climatici estremi, ha subito un forte dissestato idrogeologico;
- l'eliminazione o riduzione sostanziale del deflusso idrico superficiale (*runoff*), che aumenta il rischio idrogeologico nell'area;
- la riduzione del fenomeno erosivo e il trasporto di ingenti quantità di detriti con il fenomeno del *runoff* superficiale che, impattando sul sistema di drenaggio durante gli eventi di pioggia intensa, incrementano il rischio di ostruzione dei sistemi fognari e di allagamento;
- l'impiego di nuovi e più efficienti materiali e tecniche di gestione sensibile dell'acqua piovana, note come soluzioni "WSUD - *Water Sensitive Urban Design*".

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Il parco si estende su un'area di 10.000 mq e data la sua vasta estensione superficiale il progetto si connota come un intervento alla scala urbana. Nello specifico, non coinvolge altri elementi dello spazio urbano ma si limita ad una profonda riqualificazione nell'area del parco. Gli effetti benefici di un progetto urbano esteso come il parco Gomeznarro, se opportunamente progettati, possono portare significativi miglioramenti climatici e ambientali sia per lo spazio urbano che per le aree urbane e gli edifici nelle immediate vicinanze.

Livello di governance

Le perpetuate rimostranze da parte degli abitanti hanno dato l'impulso all'amministrazione per ristrutturare gli edifici residenziali e avviare un processo di riqualificazione del parco. Il progetto



Fig.2 - Posa in opera dei sistemi di drenaggio per il deflusso delle acque (Source: SUDS-ATLANTIS)

è stato coordinato e finanziato dal Comune di Madrid, con l'ausilio di una consulenza tecnica privata specifica per le soluzioni di adattamento più innovative, come ad esempio i casseri drenanti inseriti nel terreno e i serbatoi di stoccaggio dell'acqua. Il progetto si inserisce all'interno del Programma di riabilitazione urbana delle aree a rischio idrogeologico e alla sua conclusione è stato integrato nel Piano Urbanistico Comunale della città.

Il progetto del parco Gomeznarro ha rappresentato un esempio virtuoso di riqualificazione urbana per l'adattamento climatico e, a seguito del suo completamento, è stato introdotto uno specifico regolamento comunale per l'utilizzo efficiente dell'acqua (*Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid ANM 2006 \ 50*) che richiede esplicitamente misure concrete per la riduzione del consumo idrico e la realizzazione di riserve d'acqua per la città di Madrid.

Nel 2004, il progetto è stato inserito tra le migliori pratiche urbane per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità globale delle Nazioni Unite (UN-Habitat). La tecnologia di drenaggio e raccolta dell'acqua impiegata nel parco Gomeznarro è stata successivamente replicata in una serie di altri progetti a Madrid (tra queste le Aree verdi nello sviluppo di Valdebebas; Madrid Rio, autostrada M-30; aree sportive Daoiz y Velarde e Marques de Samaranch; Alzheimer Center Fundación Reina Sofia) e nel resto della Spagna (ad esempio il parcheggio del centro commerciale nella Comunità Autonoma della Galizia e un parco nell'Urbanización Torrè Baró a Barcellona).

Strategia di intervento

La strategia progettuale mirava alla risoluzione delle problematiche esistenti attraverso l'impiego di materiali altamente performanti e innovativi. Il livello di innovazione introdotto delle soluzioni tecniche impiegate e la carenza di professionalità specializzate hanno rappresentato problematiche rilevanti nella gestione dell'intervento e causato significativi ritardi nella realizzazione. In Spagna, infatti, al momento della richiesta di intervento mancavano sia le conoscenze che i mezzi adeguati alla loro messa in opera e il progetto necessitava di essere attentamente pianificato nella sua delicata fase di cantierizzazione. Ulteriori motivi che hanno causato ritardi nella realizzazione e difficoltà nella gestione dell'intervento si riferiscono ai molti dipartimenti municipali coinvolti nel processo di pianificazione delle opere. Sono stati coinvolti i dipartimenti di gestione delle acque, di edilizia, urbanistica, dell'ambiente e altri ancora.

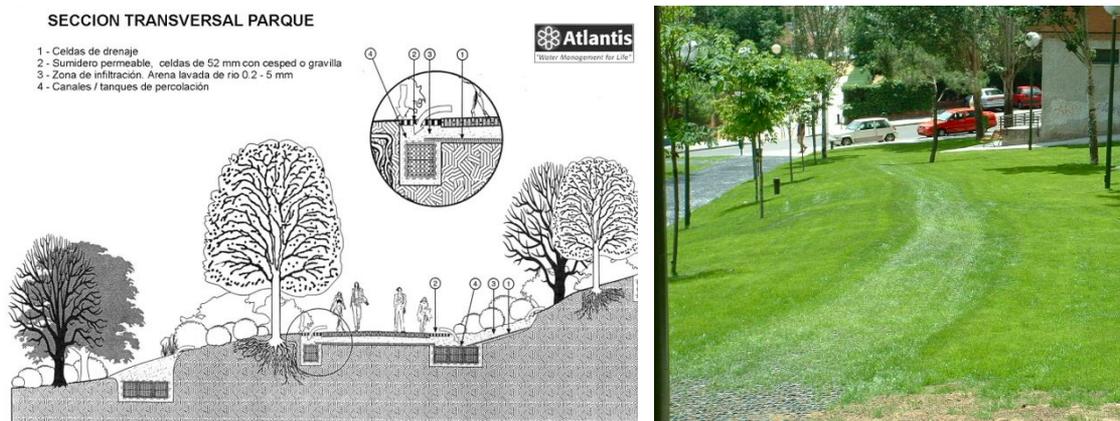


Fig.3 - Sezione tipo dei canali di drenaggio e risultato della posa in opera (Source: SUDS-ATLANTIS)

Soluzioni di adattamento

L'area di progetto viene trasformata grazie all'applicazione combinata di infrastrutture naturali e artificiali, verdi e grigie. Le soluzioni di adattamento inserite hanno incluso:

- il ripristino/sostituzione e ricompattamento del terreno eroso e il successivo rinforzo mediante ri-vegetazione del suolo; queste misure, in particolare, hanno permesso di risolvere il problema delle alluvioni e dell'erosione ristabilendo un naturale ciclo idrologico nell'area;
- la sostituzione di pavimentazioni impermeabili con superfici permeabili che facilitano il drenaggio e la raccolta dell'acqua;
- l'installazione di casseri drenanti interrati sotto i marciapiedi e un sistema idraulico di raccolta e riutilizzo dell'acqua.

Risultati conseguiti

Il progetto ha comportato una riduzione dell'erosione, del rischio di inondazioni e della pressione sui sistemi di drenaggio. Il parco riceve ogni anno circa 5 milioni di litri di acqua piovana, che ora non confluisce nel sistema fognario tradizionale ma, al contrario, filtra direttamente nel terreno; di conseguenza si ha una minore necessità di acqua per l'irrigazione.

Ulteriori vantaggi includono una migliore qualità dell'aria e la riduzione delle temperature all'interno e intorno al parco, infatti, grazie alla maggiore permeabilità dei terreni con conseguente miglioramento dell'evapotraspirazione e dell'aumento dell'umidità nei suoli è migliorato il microclima della zona, riducendo di conseguenza l'effetto isola di calore urbano.

Il costo di costruzione complessivo dell'intervento ammontava a € 343.600 (circa 34 €/mq) e, sebbene non sia stata effettuata una valutazione economica sui benefici ottenuti o danni evitati grazie alla realizzazione dell'intervento, tuttora non risultano esserci stati costi aggiuntivi oltre a quelli di manutenzione ordinaria del parco.

4.3.3 MARTIN LUTHER KING PARK

François Grether, Jacqueline Osty, OGI

Parigi, Francia
2007 - 2020



Fig. 1 - Vista complessiva sul parco M.L. King in fase di costruzione (Source: Cyrille Weiner)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 100.000 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento				
 alberature	 bacini umidi (stagni)	 canali vegetati umidi	 coperture vegetate	 pareti vegetate
 superfici verdi permeabili	 cisterne di raccolta interrato	 fontane	 specchi d'acqua	

Ambito urbano di applicazione

Nel 2003 la città di Parigi ha indetto un concorso per la riqualificazione degli oltre 54 ettari di suolo pubblico all'interno dell'area Clichy Batignolles: un ex scalo ferroviario progressivamente caduto in disuso collocato nell'area nord-ovest della città. Il concorso prevedeva la realizzazione di uno dei maggiori parchi urbani presenti all'interno della città di Parigi che doveva esprimere una nuova concezione di natura urbana, selvaggia e avvolgente, che si appropriasse dello spazio urbano tra gli interventi architettonici e le numerose strutture per la collettività che dovevano sorgere nel distretto.

L'area in cui si colloca il progetto presenta una densità abitativa molto alta (287 ab. /ha) rispetto alla media della capitale francese (210 ab. /ha) e in maniera analoga racchiude una percentuale di aree verdi per abitante estremamente bassa (1 mq /ab.) rispetto alla media cittadina (2,3 mq /ab.). Queste caratteristiche permettono da un lato di dimostrare la necessità del progetto del parco come elemento di riequilibrio dei parametri quali-quantitativi urbanistici, dall'altro lo giustificano rispetto alla funzione di ambiente connettivo tra i quartieri circostanti, a colmare il vuoto lasciato dal deposito ferroviario.

Criticità climatica affrontate

Il distretto ecologico Clichy Batignolles è stato progettato per prevenire i sempre più frequenti eventi climatici estremi: le temperature elevate provocate dalle isole di calore urbane e gli allagamenti urbani dovuti a precipitazioni intense. Il parco è stato pensato come una grande infrastruttura verde e blu: un sistema integrato a sostegno della biodiversità e della resilienza della città che contrasta i fenomeni climatici.

Obiettivi dell'intervento

Il programma di trasformazione di Clichy Batignolles prevede la conversione da polo logistico in un'area destinata ad una nuova qualità urbana in cui la qualità ambientale, le emissioni zero, la realizzazione di interventi destinati ad abitazione sociale e l'adattamento climatico diventano gli obiettivi principali per il rinnovamento del quartiere e di tutto il distretto. L'obiettivo del progetto è quello di costruire un eco-distretto innovativo e all'avanguardia in cui il parco Martin Luther King rappresenta l'anima dell'intervento, capace di migliorare il microclima e proteggerlo dai fenomeni estremi.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Il parco si sviluppa su una superficie di 10 ettari di terreno e, con la sua funzione di infrastruttura naturale di connessione tra i diversi quartieri del distretto, rappresenta di fatto un elemento di ricucitura urbana. È possibile leggere la rilevanza urbanistica dell'intervento nei percorsi interni del parco, che si sviluppano sotto forma di *boulevard* alberati e si estendono oltre i margini del lotto, prolungandosi dentro la città e riallacciandosi con le strade e gli spazi verdi esistenti nelle immediate vicinanze. L'area dell'intervento nonostante la sua imponente estensione superficiale risulta prevalentemente piana, ad eccezione del lato ovest dove sono presenti terrazzamenti e rampe che consentono di attraversare la rete ferroviaria di St. Lazare. Al centro del parco, inoltre, si estende un grande specchio d'acqua suddiviso in due parti da un camminamento curvilineo che riproduce il vecchio percorso ferroviario.



Fig. 2 - Cronoprogramma degli interventi del parco M.L. King nel quartiere Clichy Battignolles (Source: OSTY)

Livello di governance

Il progetto è guidato da una società pubblica francese la *Paris Batignolles Aménagement*, che ne controlla lo sviluppo attraverso lo strumento giuridico e urbanistico della *Zone d'Aménagement Concerté* (ZAC) che da un lato, facilita il dialogo tra gli enti pubblici e quelli privati e, dall'altro, assicura il controllo dello sviluppo urbano alle autorità amministrative locali.

Il progetto è stato concepito in fasi temporalmente consequenziali. Nello specifico, i lavori della prima fase, che hanno preso avvio nel 2007, si sono conclusi nel 2014 con la realizzazione di 4,3 ha di parco, mentre la conclusione dei lavori, che si doveva concludere entro il 2020 è attualmente in fase di ultimazione.

Strategia di intervento

Il concorso per il progetto dell'area Clichy Batignolles è stato vinto dal gruppo multidisciplinare composto dall'urbanista François Grether, dalla paesaggista Jacqueline Osty e dalla società di ingegneria OGI che hanno immaginato la strategia di intervento progettuale sviluppata in tre principali temi: le stagioni, l'acqua e il corpo.

Tutti i temi proposti dal gruppo vincitore si possono leggere chiaramente nel progetto del parco. Il tema delle stagioni viene utilizzato concettualmente per quadripartire l'area del parco: la zona più a sud rappresenta l'estate e proseguendo verso le zone a nord si incontrano la primavera, l'autunno e l'inverno. Il tema dell'acqua rappresenta un elemento centrale e costantemente presente in tutto il progetto: fontane, stagni depuranti, canali e specchi d'acqua, oltre a rinfrescare l'ambiente segnano simbolicamente lo stretto rapporto che esiste tra la natura del parco e la presenza idrica. Il tema del corpo viene rappresentato attraverso la differenziazione degli usi e delle funzioni. Il parco disporrà di strutture ricreative e sportive, aree gioco per bambini, piste da *skateboard*, campi da *basket*, pallamano e calcio, campi da bocce e aree verdi per lo sport all'aria aperta. Inoltre, sono stati progettati percorsi per le passeggiate o il jogging e zone tranquille con panchine dove rilassarsi e godersi la quiete della natura.

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento impiegate nello spazio aperto del parco e negli edifici che lo circondano



Fig. 3 - Stagno biotopo per la depurazione delle acque e infiltrazione nel terreno (Source: Arnauld Duboys Fresney)

utilizzano gli elementi verdi e l'acqua in varie forme e adottano innovative componenti per la lotta al cambiamento climatico.

Tra le soluzioni che prevedono l'uso dell'acqua abbiamo specchi d'acqua e fontane che favoriscono l'evaporazione e contribuiscono a ridurre la temperatura atmosferica nelle immediate vicinanze. In maniera analoga, i quattro stagni e i fossati umidi immagazzinano molto meno calore rispetto alle superfici realizzate con soluzioni minerali e aiutano al raffrescamento notturno. Infine, il canale vegetato umido lungo 300 metri situato nel centro del parco funge come una vera e propria vasca di raffrescamento.

Le soluzioni che concernono la vegetazione comprendono le piante e l'ampia superficie di terreno permeabile. Quest'ultima, nello specifico, contribuisce a favorire la naturale infiltrazione dell'acqua piovana nella falda freatica. L'acqua non viene mai sprecata e anche quella in eccesso viene recuperata nei canali depuranti che la ripuliscono dai possibili agenti inquinanti e la immagazzinano in vasche sotterranee. Questa può essere impiegata per l'annaffiatura ordinaria oppure durante i periodi di siccità che, grazie una pompa alimentata ad energia eolica, trasferirà l'acqua dai serbatoi interrati agli stagni e ai canali, alimentandoli nuovamente per evitare che possano inaridirsi. Inoltre, le specie arboree ed erbacee inserite nel parco sono state attentamente scelte tra quelle che richiedono poca annaffiatura.

Gli edifici sono realizzati con coperture e pareti vegetate che, sfruttando le loro caratteristiche prestazionali, non immagazzinano il calore e mantengono un adeguato livello di temperatura degli ambienti interni. Inoltre, le prestazioni termo-fisiche dei nuovi edifici progettati per limitare il fabbisogno energetico primario, contribuiscono alla mitigazione climatica attraverso: volumi ridotti degli ambienti interni per limitare il numero di aree a contatto con l'esterno, doppia esposizione per favorire fenomeni di ventilazione e illuminazione naturale, protezione solare con sistemi per l'ombreggiamento e isolamento termico esterno dell'edificio altamente performante.

A queste si aggiungono le più innovative soluzioni di termoregolazione e produzione di energia sostenibile, che consentono all'utente di ottimizzare i consumi e ridurre al minimo l'utilizzo dei sistemi di condizionamento. Il consumo annuo per metro quadrato dei nuovi edifici si aggira intorno a 75 kWh, ovvero la metà del consumo dei nuovi grattacieli nel quartiere della Défense. All'interno di questo scenario, il nuovo tribunale di Parigi progettato dall'architetto Renzo Piano,

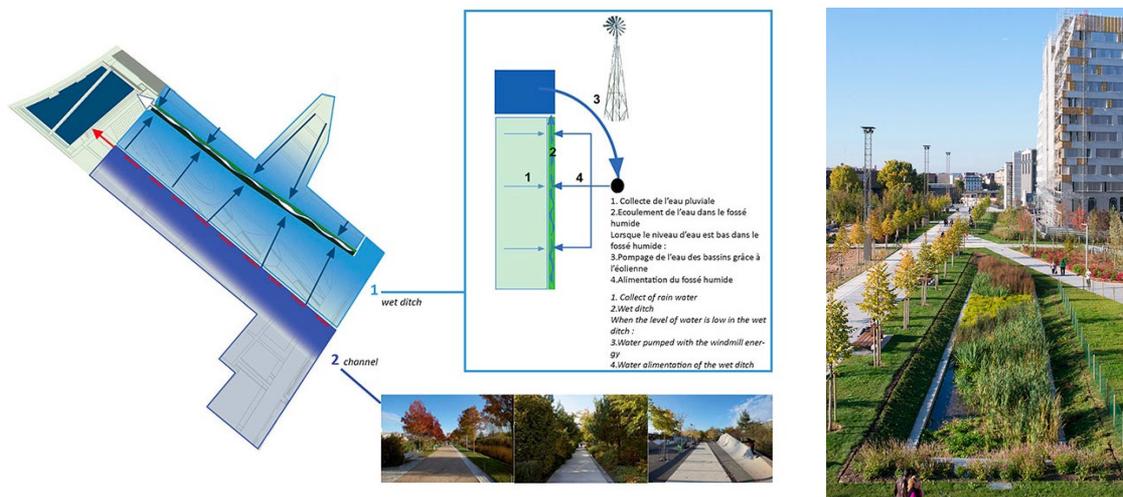


Fig. 2 - A sinistra sistema di funzionamento di un canale vegetato con le vie di raccolta dell'acqua piovana; in fotografia uno stagno biotopo per la depurazione delle acque e successiva infiltrazione nel terreno (Source: Martin Argyroglo)

caratterizzato da 10.000 mq di superfici vegetate, che trattengono la maggior parte dell'acqua piovana dell'edificio, è diventato il portabandiera di una nuova tipologia di edifici più performanti, a basso consumo energetico e che si adattano al clima che cambia.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

Il parco funge da vero e proprio “regolatore microclimatico urbano”, in cui l'adattamento climatico si raggiunge grazie agli importanti contributi delle infrastrutture verdi e blu realizzata al posto dell'area dismessa dell'ex scalo ferroviario.

Il fenomeno di raffrescamento durante le ondate di calore, così come quello di protezione dagli eventi alluvionali urbani, potranno essere garantiti dall'efficace gestione delle risorse idriche in loco, dalla cospicua presenza della vegetazione e dal largo impiego di soluzioni naturali impiegate negli edifici (coperture, pareti e corti interne). Alla natura viene pertanto riconosciuto e ri-attribuito il suo originario ruolo di regolatore climatico e ambientale a protezione della salute umana.

Risultati conseguiti

I principali risultati conseguiti dal progetto sono riscontrabili: nelle superfici impermeabili, le quali costituiscono solamente il 12% della superficie totale del distretto; nella riduzione della percentuale di acqua piovana che defluisce nella rete fognaria, la quale viene ridotta del 50% nelle aree pubbliche e del 70% negli spazi privati; nel largo impiego di soluzioni di adattamento utilizzate nel parco e negli edifici (tetti verdi, pareti verdi e corti vegetate), il 30% dei tetti (16.000 mq) è realizzato con coperture vegetate, le quali contribuiscono alla gestione naturale dell'acqua piovana e al raffrescamento del microclima dell'ambiente; nella raccolta dell'acqua di deflusso, impiegata per irrigare spazi verdi, lavare pavimenti e rifornire i servizi igienici (solamente le quantità in esubero vengono scaricate nella rete fognaria); nella raccolta dell'acqua piovana nelle zone umide del parco che da sola copre il 40% del fabbisogno irriguo del parco.

Il parco con le sue aree naturali svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento della biodiversità della regione. Gli spazi verdi sono stati progettati per riunire un'ampia diversità



Fig. 3 - Area gioco con sistemi di raffreddamento ad acqua (Source: Martin Argyroglo)

ecologica fornendo le condizioni climatiche ed ambientali adeguate a quasi 500 diverse specie di piante (arbusti, erbe, siepi, fossati inondabili, zone rocciose, etc.). Il parco complessivamente è gestito utilizzando un approccio sostenibile, altamente differenziato, adattato a ogni specifica vegetazione, per questo motivo, nel 2015 è stato insignito del marchio d'oro di *Ecojardin*, per la gestione ecosostenibile degli spazi verdi.

4.4 - Quartieri

I progetti di adattamento realizzati nei quartieri sono rappresentati da strategie diffuse che si inseriscono all'interno del tessuto urbano della città con interventi mirati e fra loro interconnessi. La sistematicità degli interventi nei quartieri si esprime attraverso interventi capillari nei principali elementi dello spazio urbano, coinvolgendo sia lo spazio pubblico che quello privato, sia aperto che edificato.

I progetti clima-adattivi sviluppati secondo questo modello di intervento configurano un innovativo approccio progettuale, definibile concettualmente come una nuova “natura urbana”, costruita per rispondere ai più recenti fenomeni climatici estremi e per incrementare la vivibilità degli insediamenti urbani.

La possibilità di intervenire in maniera diffusa e per interventi localizzati permette ai progetti che vengono sviluppati alla scala dei quartieri di poter essere applicati anche in quelle parti della città non prettamente periferiche e marginali ma anche più centrali in cui, nonostante le evidenti criticità climatiche e ambientali urbane ne richiedono l'applicazione, i margini di applicabilità spesso sono ridotti. In questi casi, gli interventi progettuali di adattamento dimostrano una elevata compatibilità anche rispetto ai vincoli sovraordinati di tutela del patrimonio storico e culturale.

4.4.1 ZOHO CLIMATE PROOF

De Urbanisten

Rotterdam, Olanda
2014 - in corso



Fig. 1 - Vista renderizzata del rain garden in corrispondenza della infrastruttura sopraelevata Hofpleinlijn (Source: De Urbanisten)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato Partnership		
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale Mediterranea		
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti

Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte
-------	---------------	--------	------------	----------	-----------------	-------

Estensione superficiale dell'intervento : 100.000 mq

< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000
---------	-------------------------------	--------------------	-----------

Soluzioni di adattamento

 alberature	 coperture vegetate	 pareti vegetate	 rain gardens	 superfici verdi permeabili
 cisterne di raccolta interrate	 pavimentazioni permeabili	 serbatoi di raccolta fuori terra	 vasche superficiali allagabili	

Ambito urbano di applicazione

Zoho è il termine utilizzato per indicare il distretto urbano all'interno della città di Rotterdam composto dai quartieri di *Zomer Hofkwartier* e *Agniesebuurt*. Questo distretto urbano collocato nel centro della città, a pochi passi dalla stazione centrale, rappresenta il luogo di attuazione principale delle strategie e soluzioni di adattamento climatico messa in atto dal *Rotterdam Climate Change Adaptation Plan*.

Criticità climatica affrontate

Le minacce climatiche più rilevanti che colpiscono il distretto urbano di Zoho sono rappresentate dai crescenti fenomeni di allagamento urbano causati da piogge sempre più intense ed estreme, i ripetuti periodi prolungati di siccità e gli estesi, e sempre più frequenti, fenomeni di stress termico provocati dalle isole di calore urbane.

Le piogge estreme costituiscono un grave problema per la città di Rotterdam, soprattutto nelle aree urbane più densamente edificate, come il distretto di Zoho. Questo problema è causato dalla ridotta capacità di infiltrazione delle superfici al suolo, dal deflusso idraulico superficiale che si genera e da un sistema fognario non predisposto a tali regimi pluviometrici, provocando un sovraccarico idraulico e, conseguentemente, fenomeni di allagamento istantanei come il *flash flood*.

In maniera analoga, si stanno manifestando sempre più periodi con temperature elevate e di prolungata siccità, sia nei periodi invernali che in quelli estivi, che possono causare una grave minaccia per le fondazioni lignee degli edifici più antichi e per molte piante e specie arboree. In particolare, i pali in legno devono essere costantemente sommersi, in quanto, lunghe esposizioni all'aria possono portare a fenomeni di degrado e conseguente perdita di resistenza strutturale; le piante per sopperire a questa carenza idrica e mantenere gli adeguati livelli di idratazione devono essere regolarmente annaffiate.

Infine, la presenza all'interno del distretto di un'elevata percentuale di superfici artificiali, che tendono a surriscaldarsi rapidamente al sole, provoca un incremento della temperatura sia superficiale che atmosferica. Le radiazioni solari vengono immagazzinate da queste superfici e provocano un accumulo termico che, alla scala urbana, si traduce in zone della città con temperature più elevate che possono causare problemi alle persone più vulnerabili (anziani, persone con malattie cardio-vascolari, etc.).

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo del progetto *Zoho Climate Proof* è quello di ridurre i rischi climatici e limitare i danni causati dagli eventi meteorologici estremi, che si abbattano con sempre più violenza e frequenza nella città di Rotterdam. L'adattamento è accompagnato da una riconfigurazione degli spazi urbani per incrementare la loro capacità di risposta agli impatti climatici, sia presenti che futuri, di un clima sempre più severo. Tra gli obiettivi secondari si annoverano: il ripristino del corretto equilibrio idrologico, ecologico e ambientale, al fine di migliorare la vivibilità nell'area.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Gli interventi di adattamento del *Zoho Climate Proof* si inseriscono all'interno del distretto urbano in maniera diffusa e sistemica nelle strade, nelle piazze, nei parcheggi e negli edifici. L'estensione superficiale dell'intervento è molto estesa e interessa l'intero quartiere che copre una superficie di 10 ettari di terreno. In questo caso non è presente un'area estesa in cui si sviluppano tutte le soluzioni di adattamento, come abbiamo visto per i casi di studio dei progetti sviluppati nei parchi



Fig. 3 - Vista renderizzata dell'intervento in prossimità della infrastruttura sopraelevata *Hofpleinlijn* (Source: De Urbanisten)

way garden; 4. *Zoho-rainbarrel*; 5. *Greening hofbogen*; 6. *Zoho-raingarden*.

Watersquare Benthemplein

La *Watersquare Benthemplein* combina la raccolta di acqua piovana in caso di evento temporalesco con il miglioramento della qualità dello spazio pubblico urbano. La piazza d'acqua è pensata con una duplice strategia: da un lato, rendere visivamente percepibili e fruibili le vasche di stoccaggio dell'acqua per la messa in sicurezza da eventi pluviali estremi, dall'altro, incrementare la qualità ambientale degli spazi pubblici del distretto. La piazza opererà, nel 90% dei casi, in condizioni ordinarie: quindi sarà asciutta e si potrà godere delle zone per il gioco e il relax. Mentre nel restante 10% dei casi opererà come vasca di raccolta delle acque meteoriche in eccesso che il sistema fognario non è in grado di gestire evitando il sovraccarico idraulico. Oltre alle vasche di raccolta superficiali, il progetto prevede l'installazione di cisterne di accumulo sotterranee e l'inserimento di aree verdi vegetate e alberate.

Polder roof

Il progetto *Polder roof* propone la trasformazione della copertura del parcheggio *Katshoek* in un attraente tetto giardino che immagazzina e riutilizza in modo controllato l'acqua piovana proveniente dagli edifici limitrofi e dalle piogge estreme. L'intervento raccoglie l'acqua meteorica evitando che questa fluisca immediatamente al sistema fognario e la restituisce gradualmente ai *rain gardens* presenti nel distretto affinché possa essere assorbita lentamente dal terreno. Il *Polder roof* costituisce inoltre uno spazio collettivo in cui si pratica agricoltura urbana e dove è possibile svolgere attività all'aperto che coinvolgono i residenti. In questo modo, l'intervento contribuisce a creare nuovi valori sociali, economici, ambientali ed ecologici al distretto.

Katshoek rain(a)way garden

Gli interventi di depavimentazione e rinverdimento nel quartiere Zoho prendono forma davanti all'edificio *Katshoek* nel *Rain(a)way Garden*. Questo progetto prevede una nuova configurazione della sede stradale in cui le superfici impermeabili vengono drasticamente ridotte e sostituite con aree verdi fiorite e con un prototipo di pavimentazione drenante che rallenta il deflusso idraulico superficiale.

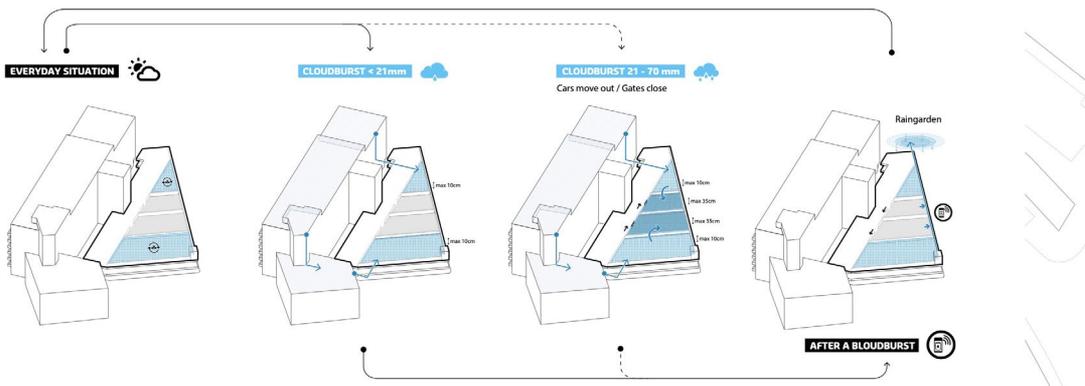


Fig. 4 - Il progetto Polder roof. Il funzionamento del sistema drenate a diverse intensità di pioggia (Source: De Urbanisten)

Zoho-rainbarrel

Il *Zoho-rainbarrel* è un sistema di riutilizzo e stoccaggio dell'acqua piovana capillare e partecipativo attuato attraverso l'installazione di barili di captazione nei giardini privati, sulle coperture degli edifici o negli spazi pubblici. Si tratta di un'idea progettata e realizzata in loco e che è stata inserita nei programmi educativi sull'adattamento climatico nelle scuole. Attraverso la predisposizione di sistemi di controllo *smart* (ad esempio dal cellulare o dal computer) è possibile gestire l'accumulo in maniera intelligente e controllata.

Greening hofbogen

Il *Greening Hofbogen* mira a rendere clima-resiliente l'infrastruttura ferroviaria sopraelevata di Hofpleinlijn grazie a due soluzioni: una parete verde continua lungo tutta l'estensione di una parete della sopraelevata e la depavimentazione della zona contigua adiacente posta alla sua base. L'acqua piovana proveniente dalla sede ferroviaria viene convogliata in una serpentina che mentre scende per gravità inaffia il sistema verde a parete e poi viene dispersa nel terreno attraverso le superfici permeabili posti alla base dell'infrastruttura.

Zoho-raingarden

La trasformazione di aree sottoutilizzate e destinate a parcheggio permette infine di realizzare all'interno del distretto i *rain gardens*. Questi giardini captanti raccolgono l'acqua piovana proveniente dagli edifici vicini e dagli spazi pubblici (*Katshoek e Hofbogen*) e al loro interno trovano collocazione una ricca varietà di piante capaci di resistere sia in condizioni di siccità che completamente allagate. Vengono creati dei veri e propri giardini dove poter rilassarsi immersi nella natura grazie a delle micro-topografie vegetate che convogliano l'acqua nelle zone più profonde e permettono così il naturale processo di assorbimento per infiltrazione.

Risultati conseguiti

Le strategie e le soluzioni di adattamento climatiche adottate nel distretto di Zoho sono state realizzate solo in parte, misurando realmente il contributo benefico agli effetti del cambiamento climatico. Tra le principali misurazioni conseguite rientrano il *Polder Roof*, il quale è stato capace di raccogliere 365 mc di acqua, e la *Watersquare Benthemplein*, che è in grado di gestirne localmente 1.800 mc. Dal confronto tra queste due misurazioni, uno applicato all'edificio l'altro

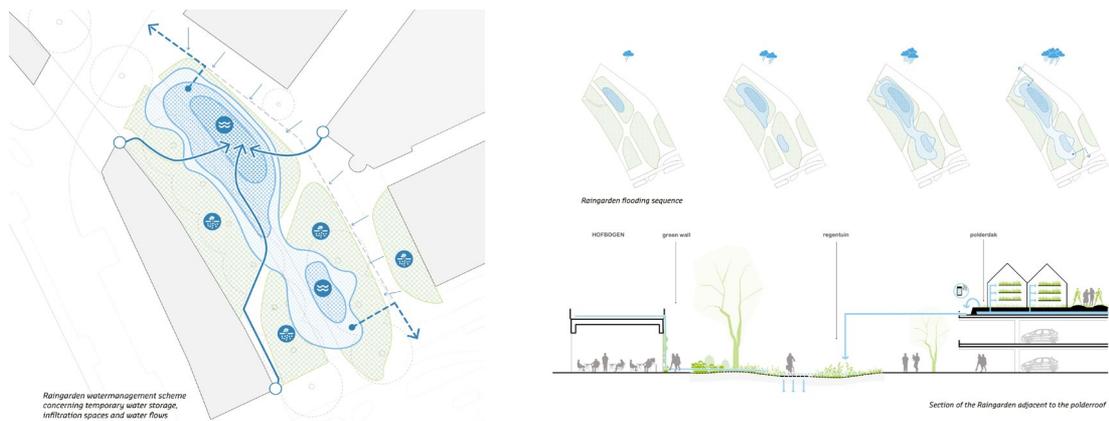


Fig. 5 - Rain garden. Il funzionamento del giardino a diverse intensità di pioggia (Source: De Urbanisten)

allo spazio urbano aperto, è possibile comprendere da un lato, l'importanza che rivestono gli spazi aperti pubblici nelle strategie di adattamento climatico e dall'altro, che anche lo spazio edificato deve essere integrato nelle strategie di adattamento per ottenere un'elevata efficacia e raggiungere risultati adeguati e maggiormente performanti.

4.4.2 SAINT KJELD KVARTER

Tredje Natur

Copenhagen, Danimarca
2011 - 2016



Fig. 1 - Vista renderizzata della piazza Sant Kjeld (Source: Tredje Natur)



Ambito urbano di applicazione

Il progetto di adattamento di *Saint Kjeld Kvarter* si inserisce nel distretto urbano di Østerbro a nord di Copenhagen, in un antico quartiere operaio in prossimità della zona portuale, distante circa 5 km dal centro. Il quartiere si caratterizzava per un'elevata densità abitativa ed edilizia al quale si sommava una elevata presenza di superfici impermeabili. L'intervento rappresenta un innovativo esempio di rigenerazione urbana clima-adattiva in risposta ai ripetuti fenomeni di allagamento urbano causati dalle piogge estreme.

Criticità climatica affrontate

Le principali criticità climatiche affrontate dalla capitale danese riguardano le precipitazioni sempre più intense e frequenti, il costante aumento del livello del mare e l'incremento delle temperature atmosferiche, che diventano ogni anno più calde. In particolare, tra gli eventi estremi più violenti che si sono abbattuti sulla città di Copenhagen quello più significativo si riferisce al nubifragio dell'estate 2011 che ha provocato un danno economico pari a circa 800 milioni di euro, mandato in crisi il sistema fognario ed evidenziato una pronunciata vulnerabilità alle inondazioni pluviali dell'ambiente costruito.

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo dell'amministrazione cittadina è quello di proteggere la città dai fenomeni di allagamento urbano con soluzioni tecnologiche e spaziali adattive - verdi, blu e grigie - collocate nello spazio urbano pubblico, al livello della strada. In questo contesto, il progetto del masterplan per il *Saint Kjeld Kvarter*, proposto dallo studio danese Tredje Natur, si pone l'obiettivo di combinare le attività sociali, attrattive, ricreative e lavorative che si svolgono in città a quelle di relax e svago nel verde svolte in contesti naturali. L'intento del progetto è quello di creare un sistema di deflusso urbano naturale e alternativo a quello fognario esistente, che sia in grado di condurre efficacemente ingenti volumi di acqua lontano dal quartiere, verso zone in cui questa non rappresenta una minaccia e/o provoca danni.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Gli interventi proposti nel caso di Sant Kjeld sono circoscritti e interconnessi e la strategia di applicazione diffusa delle soluzioni di adattamento - nelle strade, piazze e corti interne - permette di inserire il progetto alla scala del quartiere. Il progetto si estende lungo la spina degli spazi pubblici del quartiere, che copre complessivamente 105 ettari di superficie, e include anche alcuni spazi privati tra cui i cortili interni degli edifici.

Livello di governance

L'intervento è stato finanziato dalla municipalità di Copenhagen e la sua realizzazione è stata attuata attraverso piccoli interventi urbani nelle strade (Bryggervangen), nelle piazze (St. Kjelds e Tåsinge) e nei cortili interni degli edifici. Il coinvolgimento degli abitanti ha rappresentato una fase importante nel processo realizzativo, i quali oltre a proporre le proprie idee hanno partecipato attivamente alla realizzazione di alcuni elementi simbolici che poi sono stati collocati in alcune piazze del quartiere (come il progetto di arredo urbano *The Wave* in Tåsinge square).

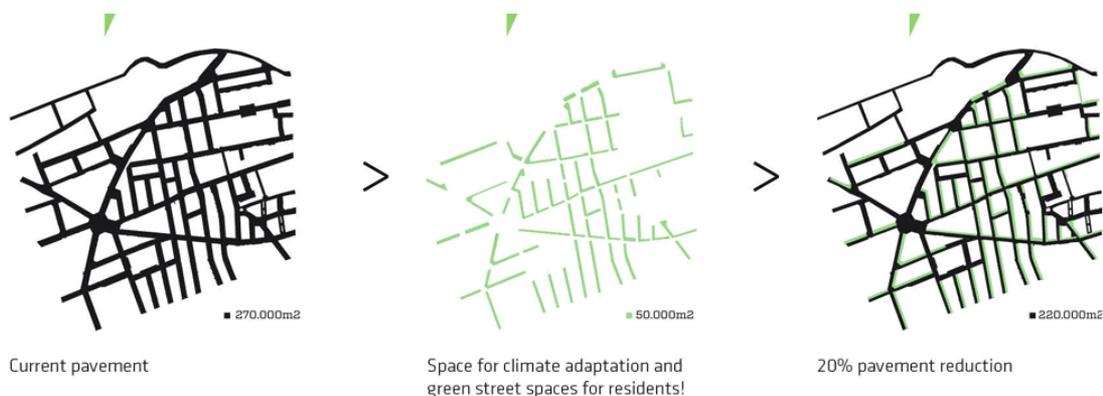


Fig. 2 - Intervento per la riduzione delle superfici asfaltate e incremento di superfici vegetate (Source: Tredje Natur)

Strategia di intervento

La capitale danese si sta preparando ad affrontare le recenti sfide climatiche con la predisposizione di strategie climatiche di adattamento cittadine attraverso progetti pilota alla scala del distretto e del quartiere. *Saint Kjeld Kvarter* rappresenta un progetto pilota che si inserisce all'interno della strategia climatica *Cloudburst Management Plan* del 2012, sviluppata per ridurre la vulnerabilità del sistema urbano della città e gestire i frequenti fenomeni di *pluvial flooding* dovuto alle piogge intense.

Il progetto sviluppato nel quartiere Sant Kjeld rappresenta un caso emblematico di implementazione di queste strategie in cui, attraverso l'uso di elementi verdi e blu nello spazio pubblico urbano, si incrementa l'adattamento agli impatti climatici e la vivibilità del quartiere. I motivi che hanno portato alla scelta di questo quartiere per lo sviluppo di soluzioni climatiche adattive sono stati: da un lato, l'elevata percentuale di aree asfaltate, che causava un eccessivo *runoff* superficiale, dall'altra, l'ampia larghezza della sezione stradale, che permetteva l'inserimento di soluzioni progettuali adeguate e diversificate.

Secondo l'amministrazione di Copenhagen, per far fronte agli eventi climatici sempre più estremi di questo tipo, l'ampliamento della rete fognaria poteva rappresentare una soluzione tecnicamente realizzabile ma economicamente dispendiosa che avrebbe richiesto molto tempo per la sua realizzazione. Tale operazione rischiava quindi di non risolvere in maniera rapida ed efficace la problematica diffusa all'interno della città. Per questo motivo è stato deciso, con la strategia climatica del 2012, di incrementare le capacità di risposta agli impatti climatici attraverso interventi diffusi di rinaturalizzazione.

Soluzioni di adattamento

Il progetto è stato avviato nel 2012, concentrandosi sulle Piazze di Sant Kjeld, Tåsinge e Bryggervangen. Le soluzioni di adattamento hanno previsto la realizzazione di infrastrutture verdi e blu e nuove piste ciclabili lungo le strade più larghe del quartiere che fungono da veri e propri canali di raccolta delle acque in caso di eventi meteorici estremi. Questi sistemi infrastrutturali di deflusso idrico sono stati affiancati da interventi puntuali come giardini di pioggia (*rain gardens*), vasche di raccolta e/o cortili verdi, con la funzione di trattenere e ritardare lo scorrimento dell'acqua.

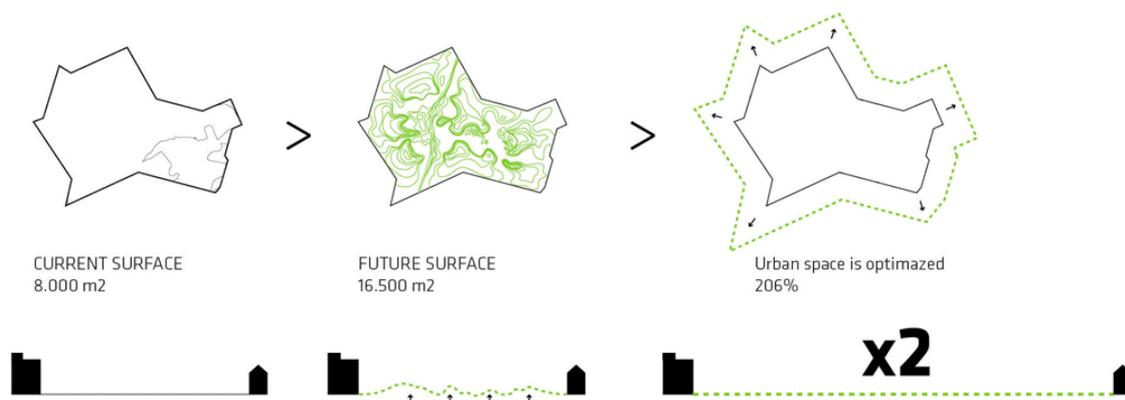


Fig. 3 - Applicazione di superfici vegetate con livelli di quota altimetrica differenti porta ad un incremento delle superfici espste (Source: Tredje Natur)

L'incrocio tra Bryggervangen e Landskronagade rappresenta un luogo caratteristico del quartiere di Saint Kjeld in cui, una ampia zona asfaltata inutilizzata necessitava di un intervento di riqualificazione. Per 500 metri lungo questo tratto urbano sono presenti edifici per uffici su un lato e ditte di costruzione sull'altro. Il progetto ha previsto la realizzazione di uno spazio verde nella zona soleggiata e lo spostamento dei parcheggi nella fascia maggiormente in ombra accanto agli edifici per uffici. Lo spazio verde è stato progettato come un sistema continuo in grado di convogliare l'acqua piovana verso la zona del porto durante i picchi di pioggia. L'incrocio tra Bryggervangen e Landskronagade è stato pensato per ospitare un *rain garden* con un nuovo spazio verde alberato e attrezzato a disposizione dei residenti.

Il vero cuore del quartiere è rappresentato dalla piazza Sant Kjeld che, prima dell'intervento, era una grande rotonda con carreggiate di 13 metri di larghezza, su cui convergevano la maggior parte delle strade del quartiere. La piazza possedeva tutte le caratteristiche per far convivere lo spazio urbano necessario al traffico veicolare con un nuovo paesaggio verde urbano dove i residenti si potessero rilassare. Nel progetto, gli oltre 8.000 mq della piazza Sant Kjeld ruotano intorno al nuovo fulcro vegetato della zona centrale, contraddistinto da un anello "clima-reattivo" sollevato a cinque metri di altezza dal terreno. Ciò permette di adattarsi alle diverse condizioni meteorologiche: in condizioni climatiche siccitose o di temperature estreme spruzza con i suoi ugelli vapore acque per raffrescare l'ambiente all'interno della piazza; in condizioni di nuvolosità o nebbia ricicla l'acqua piovana. Il terreno della piazza è caratterizzato da quote altimetriche variabili, generando così dei sinuosi avvallamenti vegetati che oltre a schermare dal rumore del traffico veicolare diventano comode sedute sulle quali sostare o svolgere attività fisica all'aperto. L'intento è quello di creare dei luoghi pubblici intimi localizzati al centro di un vivace contesto urbano.

Tåsinge square rappresenta un'oasi urbana all'interno del quartiere. Prima dell'intervento la piazza era un'area completamente asfaltata in prossimità di un bunker antiaereo attraversata prevalentemente da automobili. L'intervento ha previsto la creazione di 1000 mq di superficie naturale impermeabile e una attenta riorganizzazione del flusso veicolare, senza ridurre il numero di parcheggi. Il nuovo spazio rappresenta oggi un luogo dinamico e attraente con giardini, panchine e giochi d'acqua dove poter sostare e rilassarsi. Le acque di pioggia raccolte a livello del suolo sono indirizzate in canali naturali che la convogliano nelle zone vegetate. Analogamente,



Fig. 4 - Vista renderizzata di Tåsinge square (Source: Tredje Natur)

le acque piovane raccolte dalle coperture dei tetti vengono trasferite in cisterne interrato che poi la riversano, con l'ausilio di pompe meccaniche, nei *rain gardens* oppure nei giochi d'acqua dei bambini.

Un altro tassello fondamentale della strategia clima-adattiva di Copenhagen è rappresentato dagli interventi nei cortili dei blocchi di edifici residenziali, al cui interno si svolgono abitualmente molte attività sociali. L'obiettivo è quello di raccogliere dentro questi vasti spazi privati le precipitazioni giornaliere facendole confluire dai tetti degli edifici. L'acqua può infatti essere captata all'interno di stagni oppure cisterne - sia interrato che fuori terra - e poi essere riutilizzata per altri usi domestici. Allo stesso modo questi spazi saranno progettati per convogliare l'acqua piovana in caso di eventi estremi evitando perciò che questa possa allagare gli scantinati.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

Il progetto è stato concepito sulla base di un'analisi delle condizioni urbane esistenti e del loro potenziale miglioramento. Queste analisi hanno riguardato: l'ombreggiamento e il soleggiamento, per comprendere quale fosse il posto giusto per la collocazione delle piante; gli accessi, per capire quali fossero i luoghi di aggregazione, le aree ricreative e gli ingressi alle abitazioni; il traffico, per valutare quali sezioni stradali potessero essere ridotte; gli impianti idraulici-elettrici-fognari, al fine di selezionare le aree urbane meno congestionate da impianti tecnici, per poter collocare le alberature o altre soluzioni di adattamento; il terreno, per comprenderne l'altimetria e conoscere i terreni con il più alto grado di infiltrazione del suolo, al fine di posizionare in quei luoghi i canali di deflusso vegetati (*bioswales*) e i giardini della pioggia (*raingardens*).

Risultati conseguiti

Sant Kjeld Kvarter ha rappresentato il primo quartiere clima-resiliente al mondo. Il progetto prevede che il 20% delle superfici asfaltate nel quartiere venga convertita in area verde, e che il 30% dell'acqua piovana giornaliera debba essere gestita localmente e non venga più reimpressa nel sistema fognario tradizionale.

La superficie stradale totale nel quartiere ammontava a 270.000 mq, che risultava fortemente in eccesso rispetto a quella effettivamente necessaria per gestire il traffico locale. Grazie ad un'attenta riprogettazione delle sezioni stradali è stato possibile ricavare 50.000 mq di superfici vegetate nel quale sono state inserite aree a prato, giardini, alberature e *rain gardens*. Il tutto senza



Fig. 5 - Vista renderizzata della Bryggervangen durante un evento di pioggia (Source: Tredje Natur)

ridurre l'accessibilità carrabile all'area, infatti, il numero di parcheggi per le automobili e lo spazio destinato al corretto transito dei mezzi pubblici viene garantito e preservato, inoltre, lo spazio pubblico per i pedoni e ciclisti viene incrementato e reso permeabile.

4.4.3 ONE STEP BEYOND

OKRA

Atene, Grecia
2013



Fig. 1 - Vista renderizzata a volo d'uccello della proposta progettuale sulla struttura urbana della città di Atene (Source: OKRA)



Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 56.000 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000



Ambito urbano di applicazione

Il progetto *One step beyond* propone la rigenerazione di un sistema di assi urbani nelle immediate vicinanze del centro storico della città di Atene, in corrispondenza del limite nord-orientale del cosiddetto triangolo cittadino. L'intervento interessa Piazza Omonia, attualmente considerata una delle aree più pericolose della città, attraversa Piazza Panipistimou, luogo nevralgico antistante l'Università di Atene, e si conclude in Piazza Syntagma, che ospita la sede del Parlamento Ellenico. La trasformazione dell'area parte dall'idea di incrementare lo spazio pubblico a disposizione dei cittadini, attribuendo un ruolo centrale alla qualità dell'ambiente urbano, garantendo l'accessibilità a tutti i tipi di utenti e favorendo le interazioni tra i quartieri limitrofi.

Criticità climatica affrontate

I principali problemi che affliggono l'area urbana oggetto dell'intervento riguardano la congestione provocata dal traffico veicolare, il grave inquinamento atmosferico, la presenza di molti edifici sfitti, un alto tasso di criminalità e le gravi condizioni di degrado dello spazio pubblico. A queste problematiche sociali, di sicurezza e ambientali si aggiungono le rilevanti questioni climatiche dovute al caldo estremo, a fenomeni di prolungata siccità e carenza idrica e alle precipitazioni abbondanti che, da tempo, aggravano le condizioni di vivibilità della città. In particolare, le isole di calore urbane e gli allagamenti urbani causati da *flash flood* rappresentano le sfide prioritarie del progetto *One step beyond*.

Obiettivi dell'intervento

Il progetto *One step beyond* sviluppato dallo studio olandese Okra, si basa sulla riqualificazione dello spazio pubblico attraverso la creazione di un ambiente sano e sicuro, in grado di migliorare la qualità della vita dei cittadini. L'obiettivo è quello di frenare il degrado dell'ambiente urbano che alcune di queste zone della città hanno subito a partire dagli anni 80 e avviare in queste stesse aree una rigenerazione urbana.

Secondo lo studio Okra, la rigenerazione della città di Atene passa attraverso l'incremento della resilienza climatica. L'obiettivo infatti è quello di creare un'infrastruttura verde che comprende soluzioni specifiche per contrastare il cambiamento climatico, tra cui:

- le isole di calore urbane, attraverso una adeguata progettazione dell'ambiente urbano per raggiungere determinati requisiti termici prestazionali;
- le precipitazioni estreme, attraverso un incremento delle capacità di deflusso urbano;
- i fenomeni siccitosi, grazie alla creazione di un sistema in grado di raccogliere e stoccare l'acqua piovana al fine di soddisfare il fabbisogno idrico per l'irrigazione delle piante e altri usi pubblici per la città.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Il progetto *One step beyond* si sviluppa come intervento strutturale lungo i principali viali stradali della capitale greca e dei suoi luoghi pubblici. L'importante sviluppo lineare dell'intervento permette di classificarlo come un progetto di impronta urbanistica in quanto lavora su importanti elementi dello spazio urbano, tra cui le piazze centrali Omonia, Syntagma e Panipistimou, le arterie di traffico veicolare principali, gli slarghi e le strade di collegamento secondarie che si collegano al centro. Inoltre, l'intervento si estende attraverso diversi quartieri della città fino a ricollegarsi con le più ampie aree verdi periferiche. Nel complesso la superficie interessata dall'intervento copre un'area di 56 ettari.



Fig. 2 - Vista renderizzata di un intervento progettuale su una strada secondaria (Source: OKRA)

Livello di governance

Il progetto *One step beyond* nasce dal concorso internazionale *Re-Thinking Athens* promosso dalla Fondazione Onassis su invito del Governo greco di sviluppare, gestire e realizzare un piano di ripensamento per la città di Atene. La realizzazione del piano è però subordinata alla garanzia di cofinanziamento europeo e alla presentazione di un programma strategico di attuazione.

Il progetto prevede la partecipazione dei molteplici utenti che popolano lo spazio pubblico della città, tra cui gli abitanti del distretto, i lavoratori, gli imprenditori, etc. Inoltre, data l'enorme quantità di edifici sfitti è stato previsto di riutilizzare i locali vuoti attraverso l'utilizzo programmato degli ambienti. In particolare, il progetto si è ispirato ad un'antica tradizione greca che prevede attività sociali che si svolgono sia nello spazio pubblico che all'interno degli edifici. Il fine di questa operazione è il coinvolgimento attivo della popolazione con l'intento di ricucire il tessuto sociale della città grazie alla riappropriazione degli spazi abbandonati.

Strategia di intervento

La proposta di intervento si configura come un progetto sistemico, in grado di rigenerare il centro cittadino e diffondersi in maniera capillare anche nelle aree urbane adiacenti. La strategia di progetto è basata sulla naturalizzazione di Atene, attuata in concomitanza ad una attenta valorizzazione dei cicli idrici, poiché questi sono fondamentali per il sostentamento della vegetazione e ai fini della riduzione del surriscaldamento urbano. Al fine di ridurre l'effetto dell'isola di calore urbana la trama verde inserita all'interno dei viali e delle piazze sarà collegata ad ambienti naturali più estesi sulle colline ai margini della città, creando un sistema infrastrutturale *green* con effetti adattivi e mitigativi diffusi.

Nel progetto sono state introdotte soluzioni per il controllo climatico e realizzate nuove configurazioni dell'assetto stradale, il tutto finalizzato alla riduzione dell'utilizzo delle automobili e per favorire la mobilità ciclo-pedonale e l'utilizzo dei mezzi pubblici. In particolare, il viale Panepistimiou servirà sia i flussi veloci, rappresentati da automobili, taxi e mezzi pubblici (autobus, tram), che quelli lenti dedicati ai percorsi, alla sosta e allo svago degli abitanti. L'integrazione della pista ciclabile e della linea tramviaria contribuirà ad incentivare l'utilizzo della mobilità sostenibile.

Soluzioni di adattamento

Il progetto prevede di affrontare il fenomeno climatico delle isole di calore urbane attraverso l'inserimento di *nature based solutions*, pavimentazioni *cool materials* e depositi di stoccaggio e accumulo dell'acqua piovana. L'inserimento di 800 nuovi alberi porterà benefici ecosistemici che opereranno da un lato, all'abbattimento dell'inquinamento atmosferico e all'incremento della qualità dell'aria, contribuendo alla mitigazione climatica, dall'altro, ridurranno la temperatura atmosferica creando ombreggiamento e favorendo i fenomeni di raffrescamento combinati con le azioni del vento, ottenendo un significativo contributo sull'adattamento climatico. Inoltre, i benefici ambientali avranno un impatto positivo sulla riduzione dei consumi di energia elettrica e sulla vivibilità e qualità degli ambienti urbani.

La raccolta e l'accumulo dell'acque piovane costituiscono pratiche estremamente importanti nelle zone con clima secco contraddistinte da prolungati periodi di siccità (in estate), come altrettanto importanti sono il drenaggio e lo smaltimento di fenomeni piovosi sempre più intensi e frequenti (in inverno). In ragione di queste due opposte manifestazioni climatiche relative alla stessa criticità climatica dovuta a regimi pluviometrici estremamente variabili, il progetto ha previsto di fissare nuovi standard per le infrastrutture idrauliche, prevedendo da un lato, l'incentivazione alla raccolta e stoccaggio dell'acqua, dall'altro, l'incremento delle aree di infiltrazione in loco.

Il sistema di aree verdi convertirà l'aspetto delle piazze e strade trasformandole in lussureggianti zone alberate e vegetate con attraenti elementi d'acqua. In Piazza Omonia saranno inserite nuove superfici vegetate e una griglia di alberi, Dikaiosynis diventerà una zona urbana verde sopra un bacino idrico sotterraneo, in via Panepistimou sarà presente una grande fascia vegetata che collegherà lo spazio aperto intorno alla biblioteca, con l'università e l'accademia. Quest'ultimo intervento prevede la realizzazione di un'area a parco che collegherà una sequenza di quattro spazi verdi da Via Solonos a Via Parnassou. Infine, per riacquisire l'importanza strategica posseduta nel XIX secolo, il Viale Panepistimiou ritornerà ad essere l'asse principale all'interno della trama dei nuovi percorsi pedonali verdi collegando i principali siti archeologici con i musei e connettendosi ai nuovi spazi pubblici delle aree limitrofe.

Risultati conseguiti

L'intervento si auspica di generare un rilancio economico in grado di aiutare il tessuto sociale della città danneggiato dalla crisi. La trasformazione dei principali spazi pubblici del centro della città di Atene favorirà un'ampia gamma di attività economiche e imprenditorie locali, costruendo un ambiente sano ed attraente dove gli abitanti si potranno incontrare per lavorare, divertirsi, fare acquisti, scambiarsi idee e informazioni, rilanciando l'economia locale in un ambiente salubre e che si adatta al clima che cambia.

Intervenire nel centro di una grande metropoli europea è una sfida estremamente complessa ed importante ma, con un adeguato ripensamento dello spazio pubblico attuato attraverso l'introduzione di aree verdi, soluzioni per l'acqua e zone pedonali l'intervento dimostra che è possibile realizzare una efficace rigenerazione urbana incrementando della qualità degli ambienti urbani per tutti i cittadini e sviluppando le capacità di adattamento climatiche.

4.5 - Aree pubbliche

Gli interventi progettuali sviluppati all'interno degli elementi dello spazio pubblico urbano, siano essi piazze o strade, rappresentano i luoghi maggiormente fruiti dai cittadini e allo stesso tempo sono quelli dove le amministrazioni pubbliche possono mettere realmente in pratica le misure di adattamento e valutarne gli effetti benefici. Nonostante la loro estensione superficiale sia limitata il contributo all'adattamento delle diverse soluzioni progettuali inserite nell'insieme risulta essere rilevante. Anche in questa tipologia di interventi progettuali diventa fondamentale, ancora una volta, l'attuazione di un approccio sistemico e olistico al progetto di architettura.

4.5.1 WATER SQUARE TIEL

De Urbanisten, Bureau e Lagado Architects

Tiel, Olanda
2014-2016



Fig.1 - Vista a volo d'uccello della watersquare (Source: De Urbanisten)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 1.890 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento			
	alberature		Rain gardens
	superfici verdi permeabili		Pavimentazione permeabile
	vasche superficiali allagabili		

Ambito urbano di applicazione

Nel 2007, il quartiere Vogelbuurt a Tiel, un piccolo comune di circa 40.000 abitanti, diventa oggetto di un interessante intervento di riqualificazione urbana in chiave clima-adattiva. In particolare, il progetto si è occupato della trasformazione di uno spazio urbano in grave stato di degrado e abbandono collocato al margine orientale della cittadina, nelle immediate vicinanze di un'area industriale.

Criticità climatica affrontate

La principale criticità climatica al quale l'intervento urbano intende rispondere riguarda il fenomeno dell'allagamento urbano causato principalmente da precipitazioni sempre più intense e frequenti che mandano in crisi il sistema di deflusso idrico urbano.

Obiettivi dell'intervento

L'intervento ha l'obiettivo di migliorare la condizione qualitative dell'ambiente urbano e risolvere il problema delle ripetute inondazioni causate dal sovraccarico delle fognature durante le piogge intense. Per anni i residenti hanno dovuto combattere contro questa problematica climatica prima della realizzazione dell'intervento. Nello specifico, il progetto prevede la realizzazione di un'area giochi per ragazzi collocata nelle adiacenze del nuovo istituto scolastico, che servirà ad arginare le inondazioni a seguito delle forti piogge torrenziali.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento prevede la demolizione di una chiesa e di un vecchio edificio scolastico per far posto alla realizzazione di una nuova scuola, sul sito di quella vecchia, e della sua piazza antistante. L'estensione superficiale dell'intervento pertanto risulta essere circoscritta, misura circa 2000 mq e si limita al solo spazio pubblico dell'area ricavata dalle demolizioni dei due edifici preesistenti.

Livello di governance

La municipalità di Tiel si è impegnata per risolvere il problema dell'allagamento urbano che interessava l'area, in particolare, si è subito interessata al progetto della *watersquare* di Benthemplein a Rotterdam, una piazza urbana capace di combinare la necessità di uno spazio pubblico per lo sport e il tempo libero, con quella della raccolta delle acque piovane.

L'idea dell'amministrazione locale era quella di affrontare le criticità climatiche attraverso un intervento urbano di tipo adattivo. Pertanto, nel 2011 decide di affidare allo stesso studio di architettura, De Urbanisten, il progetto di una nuova piazza "spugna" localizzata nel quartiere Vogelbuurt oggetto di riqualificazione. L'intento dell'intervento non era solamente quello di replicare il progetto realizzato nella città di Rotterdam con dimensioni minori, ma di sviluppare innovative soluzioni per l'adattamento che si potessero ben integrare con il contesto urbano molto diverso da quello altamente urbanizzato di Rotterdam.

Al processo di progettazione della piazza partecipano anche i bambini della scuola primaria adiacente, a cui viene data la possibilità di personalizzare il progetto proponendo le loro attività ludiche preferite. Grazie a queste indicazioni il paesaggio urbano della piazza viene modellato in modo tale da inserire aree gioco, usi e funzioni diversificate.

Strategia di intervento

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di smaltimento idraulico alternativo e separato

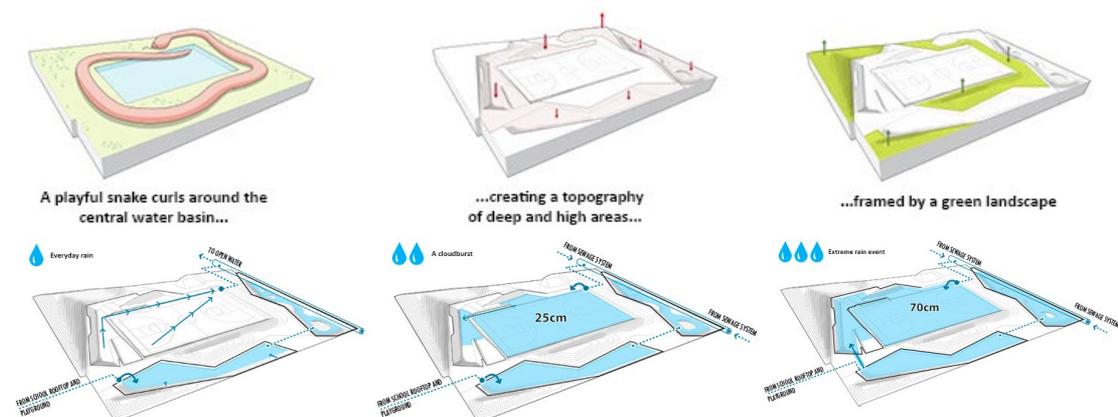


Fig.2 - Concept di progetto della Water square e fasi di stoccaggio dell'acqua nei bacini (Source: De Urbanisten)

da quello esistente, capace di alleggerire la rete fognaria. Questo sistema raccoglie le acque di pioggia provenienti dalle coperture degli edifici attorno alla piazza, della scuola e delle sue pertinenze. Molti edifici sono stati demoliti e ricostruiti, altri ancora ristrutturati. L'intervento sull'edificato ha portato ad una significativa riqualificazione del quartiere e un conseguente miglioramento del patrimonio immobiliare.

Gli architetti hanno progettato una piazza concepita come un lungo serpente rosso, realizzato in mattoni, che si snoda tra quattro bacini di raccolta dell'acqua e si sviluppa su diverse altezze e pendenze che definiscono la morfologia del terreno e configurano lo spazio delle vasche. Il progetto non ha previsto l'inserimento di nessuna attrezzatura urbana destinata al gioco ma solo una serie di aree verdi e attività in stretto rapporto con la morfologia del progetto della piazza. In particolare, la "testa" del serpente è il punto più alto, i suoi lati sono scalabili e delle rampe conducono verso la parte più bassa. Tutti i bordi del percorso sono pensati come delle sedute, il che rende la piazza vivibile e utilizzabile su tutti i suoi lati.

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento comprendono:

- la realizzazione di due bacini di raccolta delle acque meteoriche con superfici naturali, rinominati l'arcipelago e il *rain garden*. Il primo svolge la funzione di parco giochi ed è pensato come un grande specchio d'acqua dal quale emergono delle aree asciutte, come fossero delle isole, su cui i bambini possono saltare. Il secondo è stato pensato come un'area verde naturale con una zona centrale depressa capace di stoccare ingenti quantità di pioggia e disperderla nel terreno per infiltrazione;
- la realizzazione di due bacini di raccolta dell'acqua impermeabili realizzati in cemento bianco che comprendono un'area skateboard e un grande campo da basket; il primo è piano ed è stato colorato in tonalità di blu, il secondo presenta un sistema di rampe, pendenze e lati inclinati ideali per le attività sportive urbane acrobatiche;
- l'installazione di pavimentazioni permeabili, che riducono il *runoff* superficiale in quanto drenano l'acqua nel sottosuolo;
- la realizzazione di un sistema di raccolta delle acque meteoriche provenienti dalle coperture degli edifici limitrofi, che confluisce progressivamente nei quattro bacini della piazza;



Fig.3 - A sinistra Planimetria di progetto della piazza; a destra immagine del percorso in mattoni (Source: De Urbanisten)

- la realizzazione di aree verdi ricche di vegetazione e piante intorno e tra i bacini che contribuiscono al drenaggio dell'acqua superficiale e rendono piacevole e rilassante il nuovo spazio pubblico.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

I due bacini naturali, l'archipelago e il *raingarden*, ricevono l'acqua piovana proveniente dal tetto della scuola, sono i primi a riempirsi e con un evento di pioggia regolare raggiungono un'altezza massima di 30 centimetri. A seguito dell'evento meteorico, l'acqua permea direttamente nel terreno.

In caso di eventi di pioggia forte, i bacini naturali meno profondi convogliano l'acqua in eccesso verso i due bacini artificiali e impermeabili più profondi (l'area skateboard e il campo da basket). Questi si riempiono d'acqua fino a un'altezza di 15-25 centimetri e confluiscono nel sistema fognario. Solo in caso di piogge estreme, l'acqua riversata nel campo sportivo viene stoccata per un tempo maggiore, raggiungendo un'altezza massima di 70 centimetri e permettendo al sistema fognario di non sovraccaricarsi.

Grazie a questo riequilibrio delle acque meteoriche, i bacini sono solo temporaneamente sott'acqua e questa non raggiunge mai altezze pericolose. Al termine dell'evento pericoloso, l'acqua viene reimpressa nel sistema fognario senza l'utilizzo di pompe meccaniche, ma grazie ad un oculato studio della topografia del terreno e delle pendenze.

Risultati conseguiti

L'area ha visto la realizzazione di un primo intervento, nel 2007, nel quale viene costruito un sistema fognario separato per le acque meteoriche e vengono installate le pavimentazioni permeabili. In seguito, viene progettata la piazza "spugna", costituita dai quattro bacini di raccolta delle acque, con una capienza di 500 mc, collegata alla nuova rete fognaria.

4.5.2 ZOLLHALLEN PLAZA

Ramboll Studio Dreiseitl

Friburgo, Germania
2009-2011



Fig.1 - Vista di una parte della piazza Zollhallen in corrispondenza delle soluzioni di adattamento: alberature, aiuole e trincee drenanti (Source: Brian Doherty)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continenteale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 5.600 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento				
 alberature	 superfici verdi permeabili	 trincee drenanti	 casseri drenanti interrati	 vasche raccolta interrate

Ambito urbano di applicazione

L'intervento di rigenerazione urbano della *Zollhallen platz* è situato nella periferia a nord della città di Friburgo in Germania. Il progetto definisce una nuova configurazione dello spazio pubblico antistante l'edificio doganale del deposito di treni merci - già oggetto di un precedente restauro nel 2009 da parte del medesimo studio di architettura Atelier Dreiseitl - trasformandolo, da luogo abbandonato e inutilizzato, in una risorsa sociale integrata nel quartiere e uno spazio per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Criticità climatica affrontate

Le principali criticità affrontate dalla *Zollhallen Platz* sono rappresentate dai rischi di alluvioni urbane tipo *flash flood* e dalle temperature elevate che generano l'effetto isola di calore. In particolare, i fenomeni di pluvial flooding sono causati da da eventi di piogge estreme che, superando la capacità di infiltrazione del suolo, non riescono ad essere convogliate nel sistema fognario tradizionale e generano un eccessivo deflusso idraulico superficiale.

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo dell'intervento è quello di riqualificare l'area e renderla climaticamente resiliente agli eventi meteorici estremi. La piazza rappresenta uno splendido esempio di progettazione urbana sensibile e adattiva ai fenomeni idrologici urbani ed è disconnessa dal sistema fognario esistente. Lo scopo principale è infatti quello di gestire localmente gli eventi meteorici estremi per non intasare la rete fognaria di deflusso esistente.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Il progetto si colloca all'interno di una vasta superficie occupata precedentemente da un vecchio scalo ferroviario ormai dismesso. Rispetto a questo ampio territorio in trasformazione, l'effettiva area del progetto risulta essere contenuta a circa 5.600 mq, collocando pertanto l'intervento alla scala dell'elemento urbano della piazza.

Livello di governance

L'intervento è finanziato con fondi pubblici ed è promosso dalla municipalità di Friburgo, nonostante ciò, la redazione del progetto non ha previsto il coinvolgimento dei residenti e *stakeholders*.

Strategia di intervento

La nuova configurazione della piazza mantiene alcune tracce con il suo recente passato industriale del sito di progetto legandosi concettualmente al tema del cantiere ferroviario. Le vecchie rotaie dello scalo ferroviario appaiono come degli intarsi nella piazza, sono incastonate nella pavimentazione e si sopraelevano dalla quota del terreno solamente per definire delle ampie panchine che ricordano le testate dei binari della stazione. È proprio in queste zone, caratterizzate da grandi lastre permeabili e superfici naturali, che si concentrano le superfici drenanti.

I materiali utilizzati nel progetto sono riciclati, provengono da scarti di demolizione del vecchio cantiere ferroviario che, secondo una gestione sostenibile delle risorse, riduce la filiera utilizzando materiali a chilometro zero provenienti direttamente dal sito dell'intervento. In particolare, le cromie materiche sono state una chiave interpretativa fondamentale per il *concept* di progetto, al fine di armonizzare il nuovo design moderno e pulito con l'architettura storica dell'edificio doganale restaurato.



Fig.2 - Sistemi di funzionamento adattivi della piazza contro isole di calore e piogge estreme (Source: Atelier Dreiseitl)

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento messe in campo nel progetto comprendono:

- l'inserimento di alberi di ciliegio nella piazza che quando fioriscono offrono la giusta quantità di ombra per potersi sedere, rilassare e proteggere dai raggi solari diretti;
- l'inserimento di trincee di ghiaia drenanti come punti di captazione e infiltrazione naturale nel terreno; queste sono rappresentate come delle fioriere con all'interno piante perenni ed erbe ornamentali che permettono all'acqua di infiltrarsi naturalmente nel terreno e conferiscono colore e armonia alla piazza;
- l'inserimento di zone verdi e aree permeabili con quote del terreno ribassate progettate come zone di allagamento superficiale e infiltrazione naturale nel terreno che non immettono acqua piovana nella rete fognaria ma ricaricano la falda freatica;
- la realizzazione di cisterne di raccolta delle acque meteoriche per la raccolta e lo stoccaggio;
- la realizzazione di un sistema di controllo graduale del deflusso idrico in condizioni di piovosità straordinaria;
- l'installazione di casseri drenanti interrati che, in caso di evento estremo, disperdono l'acqua proveniente dalla cisterna interrata direttamente nel terreno.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

La topografia della piazza è stata realizzata in modo tale che l'acqua possa scorrere e convogliarsi sempre verso le zone permeabili, per favorire il naturale drenaggio delle acque meteoriche. La piazza inoltre è stata costruita tenendo conto di differenti eventi pluviometrici: quello ordinario, di pioggia regolare; quello straordinario, per l'evento di pioggia con tempo di ritorno decennale; e quello estremo, in caso di alluvione centennale.

Per l'evento di pioggia decennale la piazza è stata dotata di una cisterna di raccolta interrata che viene ricaricata gradualmente da un sistema di controllo del drenaggio. Quando la cisterna raggiunge la sua capienza massima, l'acqua in eccesso viene indirizzata verso i casseri drenanti che hanno la funzione di farla infiltrare lentamente nel sottosuolo oppure di stoccarla e farla defluire in un'area di smaltimento sicura.

In caso di evento centennale gran parte della piazza viene temporaneamente sommersa dall'acqua, ad eccezione di una zona di sicurezza situata nella parte più alta del lotto. L'acqua presente nella zona allagata si disperde lentamente per infiltrazione nel terreno attraverso la pavimentazione e



Fig.3 - Dettaglio della pavimentazione realizzata con materiali riciclati e di una fioriera drenante (Source: Brian Doherty)

le trincee drenanti e le fioriere, ricaricando la falda freatica.

Risultati conseguiti

Grazie alle nuove aree verdi, al progetto delle trincee drenanti, alle fioriere e delle aree allagabili l'intervento di adattamento urbano è stato concepito per resistere ad eventi di forti piogge che superano la capacità di infiltrazione del suolo, garantendo zone di sicurezza negli scenari maggiormente critici. Queste soluzioni di adattamento permettono alla piazza di raffrescare l'aria nelle immediate vicinanze, garantendo una riduzione delle temperature estreme durante le ondate di calore e migliorando le condizioni microclimatiche.

La *Zollhallen Platz* delinea un innovativo modello di sviluppo del progetto per l'adattamento climatico. Gli spazi della città sono convertiti con interventi multifunzionali basati sulla natura, a bassa manutenzione e costo, fornendo, oltre ad un rinnovato e gradevole aspetto allo spazio urbano, notevoli benefici ambientali, economici e sociali e ne incrementano la vivibilità della città. In definitiva il progetto di riqualificazione della piazza è riuscito a realizzare 1.500 mq di nuove superfici permeabili infiltranti, circa un quarto della superficie totale dell'area di intervento.

4.5.3 KETTINGPLEIN

De Urbanisten, Omgeving

Ghent, Belgio
2017-2018



Fig.1 - Kettingplein in una vista renderizzata (Source: City of Ghent)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti

Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte
-------	---------------	--------	------------	----------	----------	-------

Estensione superficiale dell'intervento : 1.930 mq

< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000
-------------------	------------------	--------------------	-----------

Soluzioni di adattamento

 Alberature	 Rain gardens	 superfici verdi permeabili	 Cisterne di raccolta interrata
 Pavimentazione permeabile			

Ambito urbano di applicazione

La *Kettingplein* si inserisce in un piccolo quartiere all'interno del distretto di *Sint Jan Baptist* nella città di Ghent. L'area è collocata nella zona a nord-ovest della città, nelle immediate vicinanze del centro storico. L'intervento prevede la realizzazione di una piazza verde che riduce le superfici impermeabili attraverso interventi di desigillazione e introduce superfici permeabili naturali e artificiali.

Criticità climatica affrontate

La piazza è stata progettata per rispondere alle criticità climatiche delle precipitazioni estreme, nello specifico per raccogliere e immagazzinare le piogge in eccesso, e delle isole di calore urbane, con l'intento di ridurre le temperature eccessive.

Obiettivi dell'intervento

Gli obiettivi della riqualificazione urbana della *Kettingplein* comprendono:

- il miglioramento della qualità dello spazio pubblico urbano;
- la creazione di un luogo attraente per gli abitanti dove sostare e rilassarsi;
- l'adattamento del quartiere agli effetti del cambiamento climatico, in particolare al surriscaldamento estivo e alle precipitazioni estreme.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento risulta essere relativamente limitato, la sua estensione superficiale è di 1930 mq e comprende lo spazio centrale della piazza e le principali strade che convergono su di essa. Il progetto può essere pertanto inserito alla scala dell'elemento urbano della piazza e della strada.

Livello di governance

Il progetto, approvato nel 2018, è promosso dalla città di Ghent e sviluppato dallo studio olandese DeUrbanisten in collaborazione con Omgeving. L'intervento ha fortemente coinvolto gli abitanti del quartiere nella scelta della proposta progettuale. I progettisti, infatti, hanno organizzato un evento di confronto in cui hanno esposto le tre idee progettuali della piazza ascoltando e recependo al tempo stesso i consigli e i suggerimenti degli abitanti.

Strategia di intervento

La strategia di intervento prevede l'incremento delle aree pubbliche destinate ai cittadini, creando un luogo di incontro per gli abitanti del quartiere e limitando l'accesso alle automobili. La proposta immagina la realizzazione di aree gioco per bambini all'interno delle aree verdi e alla creazione di canali d'acqua superficiali che arricchiscono il disegno della pavimentazione. L'intento è trasformare *Kettingplein* in una vera e propria oasi verde urbana dove poter sostare e rilassarsi, configurandosi a tutti gli effetti come un intervento clima-adattivo.

Soluzioni di adattamento

Le principali soluzioni per l'adattamento climatico comprendono:

- l'incremento di nuove alberature per fornire più ombra e raffrescare la temperatura dell'aria in caso di eventi di isola di calore urbana;
- la raccolta in sito delle acque meteoriche attraverso vasche interrato e sistemi di controllo del deflusso idrico proveniente dalle coperture, per evitare il sovraccarico della rete fognaria esistente;

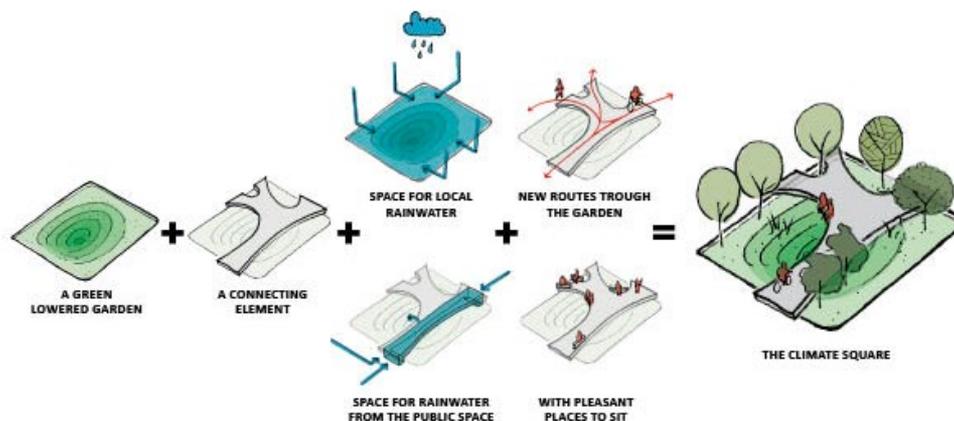


Fig.2 - Concept di progetto della Kettingplein (Source: De Urbanisten, Omgeving)

- la realizzazione di un giardino della pioggia al centro della piazza che svolge la funzione di rallentare e ritenere l'acqua piovana nella zona più profonda;
- la realizzazione di parcheggi con pavimentazioni permeabili, che saranno collocati fuori della nuova zona pedonale della piazza;
- la realizzazione di un sistema di canali superficiali e interrati per il drenaggio delle acque provenienti dalle strade e dalle coperture degli edifici limitrofi all'interno dello spazio verde;
- l'installazione di una pompa idraulica per poter riutilizzare l'acqua piovana raccolta per innaffiare le piante e creare divertenti giochi d'acqua all'interno della piazza e/o lungo i canali superficiali.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

L'acqua che confluisce nello spazio verde centrale della piazza viene assorbita dalle piante e dal terreno permeabile. All'interno di questo spazio saranno collocate diverse tipologie di piante che si adattano alle diverse condizioni climatiche, maggiormente umide o asciutte.

Le alberature esistenti vengono incrementate con nuove piante per aumentare la quantità di spazi all'ombra per rispondere così alle sempre più calde giornate estive. Ulteriori nuove piante saranno collocate in prossimità delle facciate per rinfrescare gli edifici, incrementando l'effetto schermante dalle radiazioni solari in estate e permettendo ai raggi solari di filtrare durante l'inverno.

Le vasche di raccolta dell'acqua sono inserite nel percorso pedonale e ciclabile centrale che attraversa l'area vegetata. Questo spazio di attraversamento resta asciutto anche in condizioni di piovosità intensa, trattiene al suo interno l'acqua meteorica in eccesso e il suo perimetro, in alcune parti, si solleva dal suolo costruendo delle comode sedute.

Risultati conseguiti

La piazza è in grado di gestire un volume di acqua che si aggira intorno ai 100 mc e, nonostante rappresenti una quantità piuttosto residua, contribuisce ad alleviare il carico idraulico sul sistema fognario principale. Lo sviluppo di molteplici e diffusi interventi negli spazi residuali - quali quello della *Kettingplein* - se applicati sull'intero territorio urbano possono portare a notevoli benefici ambientali, economici e sociali. Questi interventi, infatti, rispondono a una duplice strategia: da un lato si adattano al clima che cambia, dall'altro danno origine ad una rigenerazione urbana e

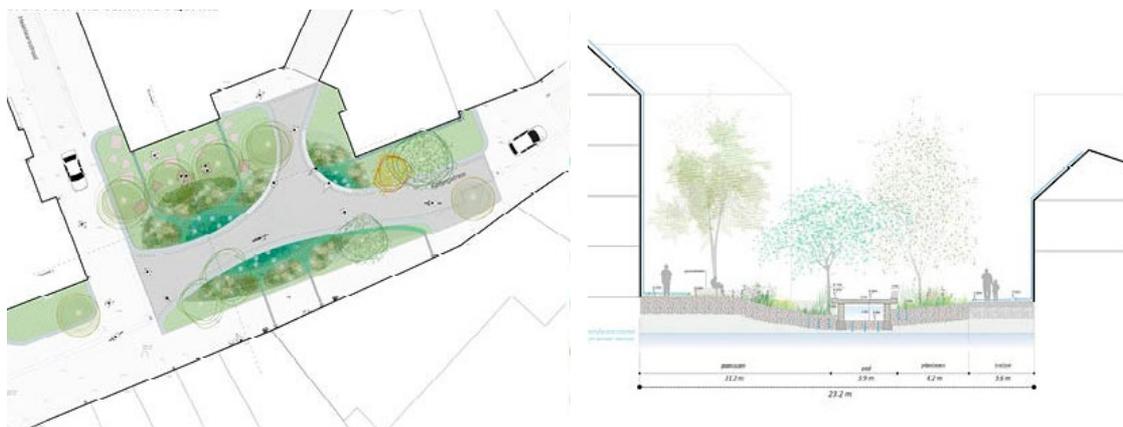


Fig.3 - Planimetria di progetto e sezione trasversale della Kettingplein (Source: De Urbanisten, Omgeving)

sociale degli spazi della città.

Secondo la municipalità di Ghent, il progetto e le soluzioni impiegate della *Kettingplein* rappresentano una buona pratica da impiegare anche negli interventi di riqualificazione degli edifici privati. La città, infatti, con il *Gents Klimatadaptatieplan* incoraggia i cittadini a sviluppare interventi di adattamento anche nelle loro abitazioni private, privilegiando in particolare le soluzioni basate sulla natura, come ad esempio la conversione delle coperture piane impermeabili in manti verdi per trattenere e drenare l'acqua più lentamente.

4.6 - Edifici

In termini di impronta a terra, se andiamo ad analizzare l'uso del suolo, gli edifici rappresentano la percentuale più considerevole all'interno di un insediamento urbano. Nello specifico, per l'adattamento climatico, l'ambiente costruito rappresentato dall'edificato racchiude una parte rilevante di superfici dove mettere in pratica soluzioni e strategie per ottenere città resilienti e adattive. Tra queste, ad esempio, le pareti e le coperture sono quelle maggiormente chiamate in causa e rappresentano le parti sul quale poter intervenire anche con incentivazioni pubbliche. Risulta evidente che lo spazio pubblico rimane l'ambito prioritario sul quale attuare le soluzioni di adattamento climatico, ma interessanti spunti che delineano nuove ed interessanti soluzioni derivano anche e soprattutto dall'analisi degli edifici e dei comparti urbani.

4.6.1 **IMDEA INSTITUTE**
Arkitools

Madrid, Spagna
2010-2012



Fig.1 - Vista sull'atrio centrale con copertura vetrata (Source: Arkitools)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 10.000 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento			
 Alberature	 superfici verdi permeabili	 Cisterne di raccolta interrata	 cool material
 dispositivi ombreggianti	 pavimentazioni permeabile	 Regolatore di flussi idrici	

Ambito urbano di applicazione

Il nuovo edificio del Dipartimento per l'Energia degli Studi Avanzati (IMDEA) si colloca in una zona marginale a nord-ovest della città di Móstoles, un'area urbana di 204.000 abitanti, a circa 18 km a sud di Madrid. Il progetto è stato iniziato nel 2010 e portato a termine nel 2012 con l'intento esplicito di contrastare gli effetti del cambiamento climatico attraverso soluzioni di mitigazione e adattamento.

Criticità climatica affrontate

Gli *hazard* climatici a cui il progetto tenta di rispondere fanno riferimento, nella stagione estiva, alle elevate temperature atmosferiche in particolare al caldo estremo generato dalle ondate di calore, ai fenomeni di siccità e di scarsità idrica e agli eventi di precipitazioni intense. Il progetto si inserisce nella regione biogeografia mediterranea con clima temperato, caratterizzato da un lungo periodo di siccità estiva ed inverni piovosi, in cui almeno un mese invernale ha come minimo il triplo delle precipitazioni del mese estivo più secco.

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo del progetto dell'istituto IMDEA è quello di rispondere alle esigenze di flessibilità dello spazio di ricerca e lavoro, essere efficiente dal punto di vista energetico e adattarsi agli eventi estremi del clima che cambia. L'edificio, in particolare, è stato un ottimo banco di prova per l'implementazione di soluzioni per le energie rinnovabili, in quanto, le attività del dipartimento di energia ospitate al suo interno prevedono lo svolgimento di ricerca e sviluppo su questioni energetiche.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento si estende su una superficie di 10.000 mq di cui il 31% coperto dall'impronta dell'edificio e il 15% da parcheggi. L'intervento, pertanto, si riferisce alla scala del comparto edilizio in quanto nella sua progettazione e realizzazione si tiene conto sia del costruito che dello spazio aperto limitrofo ad esso.

Livello di governance

Il progetto è stato realizzato dagli architetti Arkitools ed è stato concepito in un'ottica di sostenibilità ambientale, con l'obiettivo di ridurre al minimo i consumi energetici e secondo i requisiti necessari ad ottenere la certificazione LEED.

La realizzazione dell'edificio è stata promossa dall'istituto IMDEA e il costo complessivo si aggirava intorno ai 9,2 milioni di euro. La spesa è stata finanziata in parte dall'istituto e in parte dai bandi per Scienza e Tecnologia del Ministero dell'Economia spagnolo e in parte dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR).

Strategia di intervento

Il progetto è stato concepito come un organismo modulare flessibile, capace di espandersi senza interrompere le attività al suo interno. Viene costruito per primo un nucleo centrale direzionale a tre piani, che rimane fisso, e a questo si aggiungono, in fasi successive, nuovi moduli che ospitano diverse funzioni tra cui le attività di laboratorio, le aree di ricerca e le officine per lo sviluppo di materiali sperimentali.



Fig.2 - Plastico di progetto (Source: ArcelorMittal Construction Spain)

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni utilizzate nella costruzione dell'edificio IMDEA prevedono sia misure di adattamento che di mitigazione.

Le soluzioni di mitigazione si concentrano principalmente sulla progettazione bioclimatica dell'edificio, mirano ad un ridotto consumo di energia e all'utilizzo di fonti rinnovabili. Il progetto presta particolare attenzione all'orientamento dell'edificio e al suo involucro. Le chiusure sono state realizzate con facciate retroventilate, un significativo isolamento termico di 8 cm (consistente per la fascia climatica nel quale si inserisce il progetto) e le aperture vetrate sono state dotate di sistemi frangisole orientabili per la protezione dall'irraggiamento. La distribuzione interna degli ambienti è stata realizzata tramite divisori di vetro che permettessero la permeabilità della luce naturale in tutti gli ambienti, mentre la luce artificiale è gestita da un sistema di illuminazione automatico che regola la quantità di luce necessaria all'ambiente. Inoltre, la struttura è stata integrata con un sistema di riscaldamento e raffrescamento alimentato da un impianto geotermico. L'insieme di tutte queste scelte architettoniche e tecnologiche hanno permesso all'edificio di ottenere la classificazione energetica di classe A.

Le misure di adattamento mirano ad affrontare le temperature elevate, le piogge estreme e i fenomeni di siccità e carenza idrica. In particolare, al fine di ridurre l'effetto isola di calore, le superfici dei tetti, che sono maggiormente esposte alla radiazione solare diretta, sono state dotate di una particolare membrana bianca - *cool material* - che presenta un indice di rifrazione solare elevato (>78). Inoltre, sempre sulle coperture, sono ubicati gli impianti tecnici per il funzionamento dell'edificio e un numeroso gruppo di pannelli fotovoltaici che, oltre a fornire energia elettrica pulita e rinnovabile, garantiscono un'ulteriore protezione dall'eccessivo irraggiamento solare.

Per rispondere al fenomeno delle piogge estreme le principali soluzioni di adattamento sono state implementate negli spazi aperti: il parcheggio è stato dotato di una pavimentazione permeabile capace di assorbire rapidamente l'acqua in eccesso che si generava sotto forma di *runoff*; il 40% della superficie del lotto è stata realizzata con superfici verdi permeabili; sono state inserite alberature e piante capaci di resistere ad un clima secco e con scarse precipitazioni; ed infine è stato progettato un sistema di raccolta dell'acqua piovana che indirizza l'acqua meteorica proveniente dai tetti in vasche di stoccaggio nel sottosuolo. La realizzazione di queste vasche di raccolta permette lo stoccaggio dell'acqua per l'innaffiamento e per tutti gli altri usi che non necessitano di acqua potabile.



Fig.3 - A sinistra, immagine della copertura vetrata nell'atrio centrale. A destra, dettaglio di involucro di facciata (Source: Arkitools)

Le soluzioni di adattamento che affrontano il tema della siccità e della gestione sostenibile dell'acqua hanno dotato l'edificio di impianti sanitari, lavandini e wc, capaci di consumare pochissima acqua garantendo così un risparmio idrico superiore al 40 % rispetto ad un impianto tradizionale.

Infine, è interessante notare l'applicazione di dispositivi ombreggianti e captanti collocati in corrispondenza dei parcheggi delle automobili. Anche in questo caso la superficie esposta alla radiazione solare è ricoperta da una membrana *cool material* e l'acqua viene raccolta e fatta confluire nell'apposita cisterna di stoccaggio.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento che riguardano le temperature elevate, in questo caso, operano per riflessione delle radiazioni solari attraverso la superficie *cool material* e la protezione offerta dai pannelli solari. In maniera analoga questo avviene per le superfici verdi, le alberature e le piante che coprono il 40% del lotto. Tutte queste soluzioni non permettono alle radiazioni solari di colpire direttamente l'edificio e l'area ed evitano il surriscaldamento.

Il funzionamento delle soluzioni che rispondono alle criticità climatiche delle piogge estreme sfrutta la raccolta dell'acqua in vasche di stoccaggio e la sua naturale infiltrazione nel terreno. Infine, i fenomeni siccitosi sono contrastati con opportune soluzioni di riduzione degli sprechi e riutilizzo delle acque piovane.

Risultati conseguiti

Nonostante l'elevato costo di costruzione, l'edificio è contraddistinto da notevoli risparmi nei costi di utilizzo e gestione. L'elevata efficienza energetica, l'applicazione di soluzioni di protezione e adattamento al clima e l'impiego di soluzioni di raccolta, riduzione e riutilizzo dell'acqua comporteranno infatti una significativa riduzione del consumo di energia e acqua rispetto agli edifici convenzionali, venendo incontro alle più recenti sfide ecologiche, ambientali e climatiche.

4.6.2 INSELPLATZ CAMPUS

Code Unique Architekten

Jena, Germania
2018-in corso



Fig.1 - Vista renderizzata del Inselplatz Campus (Source: Code Unique Architekten)



Ambito urbano di applicazione

Nella città di Jena, una cittadina di 111.000 abitanti nella provincia di Turingia collocata nella Germania centrale, il banco di prova sul quale sono state testate strategie e soluzioni clima-resilienti è stato la riqualificazione della Inselplatz, una piazza vicina al centro storico della città della dimensione di tre ettari di superficie, prevalentemente asfaltata e utilizzata per la maggior parte come parcheggio, nel quale sorgerà il nuovo campus dell'Università Friedrich Schiller. Il progetto include le Facoltà di Matematica e Informatica, l'Istituto di Psicologia e una biblioteca con caffetteria.

Criticità climatica affrontate

La città di Jena soffre dei rischi dovuti al cambiamento climatico ed in modo particolare, essendo una delle aree urbane più calde della Germania centrale, degli impatti delle ondate di calore. Le proiezioni climatiche mostrano, per il periodo 2051-2100, un aumento della temperatura media massima in estate, del numero medio di giorni di caldo e della frequenza e intensità delle isole di calore urbane.

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo dell'intervento è quello di progettare un campus universitario che si possa adattare all'evento climatico più comune in città: l'isola di calore urbana. Per questo motivo l'intento è quello di valutare in una fase preliminare le soluzioni di adattamento che, aggregate in una proposta progettuale, forniscono una prestazione microclimatica più performante in termini di riduzione delle temperature atmosferiche.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento del campus universitario si sviluppa per una superficie di 30.000 mq che comprende sia gli edifici universitari che lo spazio aperto limitrofo del campus. Il progetto si configura pertanto come un intervento urbano di "comparto" in quanto interviene su un'estesa area della città occupandone l'intera superficie. Il progetto prevede l'intervento in zone, alternando cortili interni a sequenze di piazze pubbliche differenti che creano un paesaggio urbano continuo e variegato.

Livello di governance

Dato il tendenziale aumento degli impatti climatici estremi nell'imminente futuro, la municipalità di Jena ha deciso (tra il 2009 e il 2012) di sviluppare una strategia di adattamento al cambiamento climatico denominata JenKAS. L'obiettivo della strategia cittadina è quello di gettare le basi per l'integrazione delle questioni relative all'adattamento climatico e renderle prassi ordinarie nella pianificazione urbana.

L'intervento è stato promosso dallo Stato di Turingia in collaborazione con la Città di Jena e l'Università Friedrich Schiller. Il costo complessivo del progetto è di 190 milioni di euro di cui una parte, 84 milioni, sono stati cofinanziati dall'Unione Europea nell'ambito del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR).

Strategia di intervento

Il progetto del campus universitario è stato avviato nel 2018 e si prevede possa concludersi entro il 2025, ma la vera innovazione riferibile al caso di studio riguarda l'analisi ex ante effettuata



Fig.2 - Alternative progettuali per i periodi 2021-2050, 2071-2100 (Source: Helmholtz Center for Environmental Research - UFZ, EU FP7 research project BASE)

prima dell'approvazione del progetto. Suddetta analisi confronta tre diverse idee progettuali per comprendere quale sia quella in grado di sviluppare i maggiori benefici in termini di adattamento climatico. A tal fine, sono stati comparati tre diversi gruppi di soluzioni per adattamento climatico ed individuato quello con il maggior grado di resilienza climatica.

Soluzioni di adattamento

Avvalendosi dello strumento JELKA – dalla strategia climatica cittadina JenKAS - è stato selezionato, sulla base delle soluzioni di adattamento proposte, il progetto in grado di ridurre maggiormente il rischio legato ai fenomeni termici estremi.

Lo strumento si avvale dell'utilizzo del software PRIMATE per la valutazione probabilistica. I principali parametri valutati nei tre diversi progetti sono stati: (a) il numero di alberi e la dimensione della chioma, (b) la tipologia di pavimentazione e la sua colorazione, (c) la presenza/ assenza dei corpi idrici e la loro eventuale dimensione, ed infine, (d) la percentuale di coperture verdi previste nel progetto.

I criteri utilizzati per confrontare le alternative per la riqualificazione della Inselplatz sono stati quattro: (1) livello di stress termico, (2) costi, (3) qualità architettonica e (4) la capacità attrattiva dell'area, nei confronti dei principali fruitori dello spazio: residenti e studenti.

Le tre alternative progettuali sono state valutate in tre diversi periodi: (i) l'anno 2021, nell'ipotesi di apertura anticipata del campus; (ii) uno scenario a medio termine 2021-2050 e (iii) uno scenario a lungo termine 2071-2100.

I risultati della valutazione multicriterio hanno mostrato come la terza ipotesi progettuale fosse quella più efficace nella prospettiva a medio (2021-2050) e a lungo termine (2021-2100) mantenendo i più bassi valori di stress termico. Nello specifico l'intervento prevede: (a) conservare 14 alberi esistenti e piantarne 31 nuovi, rispettivamente 27 con chioma grande e 4 con chioma piccola; (b) utilizzare pavimentazioni di colore chiaro sull'intera area di progetto; (c) prevedere coperture verdi estensive nel 70% dei tetti e con ghiaia nel restante 30%; (d) realizzare un corpo idrico artificiale di 80 mq.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

I risultati delle analisi mostrano che le pavimentazioni dei marciapiedi di colore chiaro e gli alberi



Fig.3 - Vista renderizzata del cortile interno al Inselplatz campus (Source: Code Unique Architekten)

con grandi chiome forniscono un significativo miglioramento delle condizioni microclimatiche del sito di progetto. Nonostante i costi della terza alternativa progettuale siano maggiori, questa ultima proposta consente di ottenere un maggior grado di resilienza climatica, un'elevata qualità architettonica e capacità attrattiva di fruitori.

Confrontando i costi a lungo termine degli alberi con chioma piccola con quelli a chioma grande si evince che i primi abbiano costi superiori ai secondi, ma quest'ultimi garantiscono un beneficio immediato maggiore sul microclima del sito. Lo specchio d'acqua invece rappresenta l'intervento più costoso del progetto e i suoi benefici climatici non risultano così evidenti, per questo motivo, di quest'ultimo è utile valutarne il beneficio in termini di qualità architettonica e capacità attrattiva.

Il processo decisionale sviluppato per il progetto Inselplatz dimostra come alberature, coperture verdi, corpi idrici e *cool pavements* possono aiutare a ridurre l'effetto isola di calore urbana attraverso l'ombreggiamento, la riflessione solare e il raffreddando dell'atmosfera.

Risultati conseguiti

Il progetto dimostra come la correlazione tra pianificazione urbana, progettazione architettonica e microclima rappresenta un trinomio fondamentale nei progetti di rigenerazione urbana. La morfologia urbana insieme alle proprietà termo-fisiche dell'ambiente urbano costruito possono notevolmente incidere sull'intensità dell'isola di calore urbana.

La strategia climatica JenKAS (e ancora di più il sistema JELKA) rappresenta un utile strumento per orientare la pianificazione urbana secondo aspetti che concernono l'adattamento della città alle condizioni climatiche estreme presenti e future ed è un utile sistema di supporto decisionale per *stakeholders* e decisori pubblici.

4.6.3 GROOT WILLEMSPLEIN

Architectenbureau DAM & Partners

Rotterdam, Olanda
2011-2013

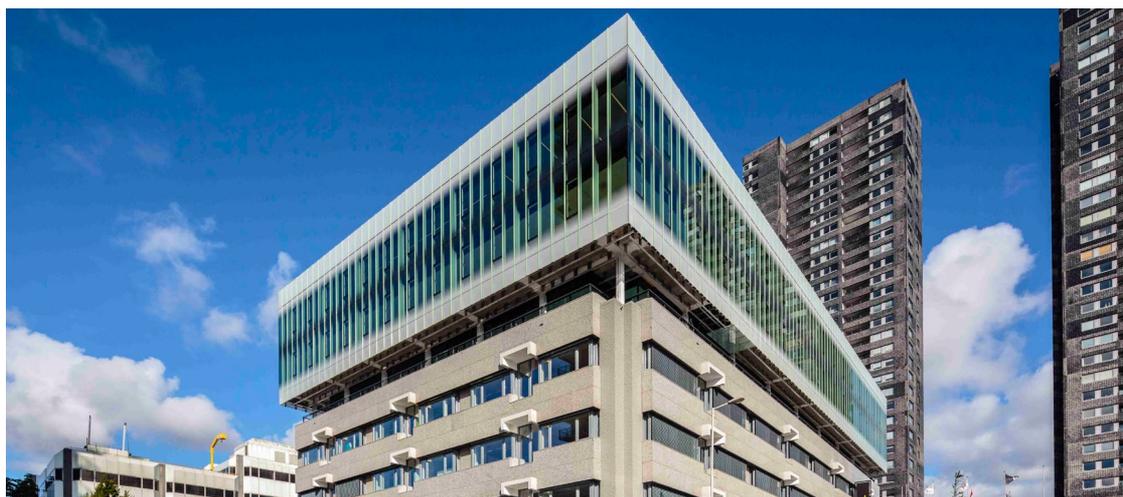


Fig.1 - Vista dell'edificio Groot Willemsplein dall'esterno (Source: CBRE)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 30.000 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥100.000

Soluzioni di adattamento

 Coperture verdi

Ambito urbano di applicazione

Il progetto dell'edificio appartenente alla società energetica Joulz è collocato a *Groot Willemsplein*, una zona centrale della città di Rotterdam, e prevedeva la realizzazione di un blocco per uffici con il piano terra destinato ad ospitare funzioni commerciali. L'edificio risale agli anni '40 del XX secolo ed è situato a due passi dal centro della città sulla sponda nord del fiume Nieuwe Maas. Nelle vicinanze sono presenti spazi verdi e zone ricreative con caratteristici giochi d'acqua che rendono l'area attraente e viva.

Criticità climatica affrontate

Le criticità climatiche a cui intende rispondere il progetto *Groot Willemsplein* coincidono con gli eventi meteo-climatici estremi che maggiormente affliggono la città di Rotterdam: le precipitazioni estreme, che generano fenomeni di allagamento urbano, e le isole di calore urbane, che si manifestano con sempre più frequenza ed intensità. In particolare, i fenomeni di gestione del *pluvial flooding* e del *flooding urbano* rappresentano le criticità che incrementano il rischio e producono i maggiori danni sul sistema antropico della città.

Il progetto inoltre rimarca l'importanza del fatto che i cambiamenti climatici provocano un incremento delle richieste energetiche negli edifici sia nei periodi estivi, per quanto riguarda il raffrescamento, che in quelli invernali, in merito al riscaldamento. Non solo, gli scenari evolutivi climatici confermano che queste esigenze energetiche aumenteranno con il passare degli anni a causa dell'irreversibile incremento delle temperature globali.

Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo principale del progetto è quello di proteggere l'edificio dall'eccessivo calore generato dall'ambiente urbano in condizioni climatiche estreme, creando delle condizioni microclimatiche interne ideali e risparmiando così sui consumi di energia. L'obiettivo secondario invece è quello di contribuire all'attuazione della strategia climatica di adattamento della città di Rotterdam, attrezzando la copertura dell'edificio con soluzioni in grado di raccogliere e trattenerne gli ingenti volumi di acqua a seguito dalle piogge estreme.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento effettua una profonda riqualificazione sull'intero edificio operando sulle strutture, sull'involucro e sulla copertura. I lavori si concentrano esclusivamente sul fabbricato che occupa una superficie di circa 2350 mq e si sviluppa per un'altezza di 24 m classificando pertanto l'intervento alla scala dell'edificato.

Livello di governance

La ristrutturazione è stata totalmente finanziata dalla *LSI Project Investment*, una società privata olandese, con un costo totale dell'intervento pari a circa 10 milioni di euro. All'interno di questa voce di spesa, gli oneri che concernono il sistema di produzione di energia rinnovabile si riferiscono al sistema geotermico ATES e ammontano a circa € 500.000, quasi il doppio rispetto ad un sistema di riscaldamento/raffreddamento per un edificio tradizionale. L'utilizzo di tale sistema è stato però stimato che porterà circa € 23.000 annui di risparmio, il che ammortizzerebbe il costo d'investimento in circa 9 anni rispetto ad un tempo di vita dell'impianto stimato di 15-30 anni.



Fig.2 - A sinistra prima del cantiere; a destra durante i lavori di ristrutturazione (Source: 2012 TOPAAS)

Strategia di intervento

L'edificio è stato scelto dalla Joulz, una importante società che si occupa della fornitura di elettricità e gas, e attualmente ne è il fruitore principale occupandone i primi 3 piani con i suoi uffici aziendali. Fin dal primo momento la società Joulz ha espresso la necessità di adeguare l'edificio con le più recenti soluzioni di sostenibilità energetica e ambientale.

L'impiego di soluzioni di adattamento climatico deriva invece dalla strategia climatica cittadina *Rotterdam Climate Change Adaptation Plan*. Questo documento definisce il contesto di azioni e interventi *site specific* da attuare nell'intera città, sia negli interventi pubblici che in quelli privati. In particolare, le coperture verdi rientrano nel progetto di riqualificazione dei tetti degli edifici, il cui scopo è quello di sviluppare su di essi attività dedicate all'agricoltura, alla produzione di energia, allo sport, ma soprattutto, alla raccolta di acqua meteorica. L'obiettivo dell'amministrazione cittadina è quello di trasformare Rotterdam nel più grande *Rooflandscape* d'Europa e, allo stato attuale, la superficie impiegata per questa operazione ha raggiunto l'estensione di circa 15.000 kmq.

Inoltre, l'approccio adottato per la riqualificazione dell'edificio è tarato su un'impronta *green* e *circular*, ovvero basata sull'impiego di soluzioni ecologicamente sostenibili e sul riciclo e il riuso dei materiali da costruzione. Nel progetto, infatti, gli scarti delle demolizioni vengono utilizzati per la realizzazione del calcestruzzo per gli interventi di nuova realizzazione come il volume sopraelevato che contraddistingue gli ultimi tre piani dell'edificio.

Soluzioni di adattamento

La ristrutturazione dell'edificio ha impiegato soluzioni di adattamento, come le coperture verdi estensive, e soluzioni di mitigazione, tra cui la produzione di energia da fonti rinnovabili e l'isolamento e miglioramento dell'involucro.

La soluzione di adattamento ai cambiamenti climatici della copertura verde rappresenta un'ottima soluzione per attenuare l'effetto degli allagamenti pluviali causati dalle precipitazioni intense. La superficie naturale permeabile è infatti in grado di rallentare il deflusso idraulico superficiale ed evitare il sovraccarico fognario. L'intervento ha permesso inoltre di creare un giardino pensile sul tetto dando vita ad uno spazio verde ricreativo, ecologico e rilassante dove ritrovarsi nei momenti di socialità. Inoltre, grazie all'effetto di evapotraspirazione naturale della superficie naturale questo tipo di soluzione è particolarmente appropriata anche per contrastare i fenomeni delle temperature estreme.



Fig.3 - A sinistra, vista del fronte su strada (Source: Redept Cresa); a destra vista aerea della copertura (Source: Rotterdam Architecturprijs)

Tra le soluzioni di mitigazione rientrano l'utilizzo di un sistema di stoccaggio e recupero dell'energia termica nel sottosuolo, denominato ATES, che viene applicato sia per il raffrescamento estivo che per il riscaldamento invernale, e l'inserimento di un involucro adeguato ai repentini cambiamenti climatici e ad alte prestazioni termiche.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

La soluzione della copertura verde permette di raccogliere e trattenere l'acqua meteorica evitando il sovraccarico idraulico. Nello specifico, riduce il *runoff* superficiale e aumenta il tempo di corrivazione permettendo al sistema fognario esistente di smaltire, in via prioritaria, le acque provenienti dalle superfici impermeabili.

Il sistema ATES Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) è costituito da due pozzetti: uno utilizzato per l'accumulo di calore e l'altro per la conservazione a freddo. L'acqua di falda che viene estratta in estate, viene utilizzata per il raffreddamento dell'edificio e successivamente reimpressa nella falda acquifera, che crea un accumulo di acqua di falda riscaldata. In inverno, la direzione del flusso viene invertita in modo tale che l'acqua di falda riscaldata venga estratta e possa essere utilizzata per il riscaldamento (spesso in combinazione con una pompa di calore).

Risultati conseguiti

Nonostante l'edificio abbia integrato sia soluzioni di adattamento che di mitigazione emergono, in questo caso, le difficoltà nel monitoraggio delle soluzioni di adattamento, mentre sono ben chiari ed evidenti i risultati ottenuti dagli interventi di mitigazione.

L'edificio ha ottenuto il certificato di eccellenza in Olanda (3 stelle BREEAM-NL) in quanto la costruzione è stata realizzata secondo canoni di sostenibilità ambientale. I criteri premiali che hanno conferito il premio all'edificio sono stati: (1) la corretta gestione di tutte le fasi di costruzione: demolizione, lavori strutturali e finitura; (2) il monitoraggio dei consumi energetici e idrici durante tutta la costruzione; (3) il riciclaggio del 95% dei rifiuti prodotti dalle demolizioni e scarti di lavorazione; (4) un coefficiente di prestazione energetica molto alto a seguito dell'intervento di isolamento e miglioramento dell'involucro; (5) l'utilizzo dell'impianto ad accumulo geotermico (ATES) connesso al sistema di teleriscaldamento. Il sistema ATES, infatti, è stato in grado di ridurre il consumo energetico dell'edificio e le emissioni di CO₂ associate, consentendo una riduzione complessiva di CO₂ pari al 11,4% nella stagione invernale, mentre durante l'estate questo valore incrementa fino al 45%.

4.6.4 CLIMATE-PROOFING SH

Groundwork London

Londra, Regno Unito
2013-2016



Fig.1 - Richard Knight House. Tetti verdi, rain gardens, alberi da frutto e superfici verdi permeabili si combinano insieme per fornire servizi ecosistemici che costruiscono la resilienza ai cambiamenti climatici (Source: Dr. Stuart Coppon)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti

Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte
-------	--------	--------	-------------------	----------	----------	-------

Estensione superficiale dell'intervento : 4.500 mq

< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000
-------------------	------------------	--------------------	-----------

Soluzioni di adattamento

 alberature	 bioswales	 coperture verdi	 orti urbani	 rain gardens
 superfici verdi	 trincee drenanti	 pavimentazioni permeabili		

Ambito urbano di applicazione

Il progetto *Climate-Proofing Social Housing Landscapes* è stato gestito da *Groundwork London* - un'organizzazione benefica che si dedica alla rigenerazione urbana ambientale - in collaborazione con le municipalità locali. L'intervento si è occupato dell'adeguamento climatico di tre complessi di edilizia residenziale pubblica all'interno del distretto londinese di *Hammersmith & Fulham*, una municipalità cittadina nella parte ovest della città a circa 6 km dal centro.

Criticità climatica affrontate

Le criticità climatiche che stanno colpendo il Regno Unito riguardano principalmente le temperature e le precipitazioni estreme che provocano fenomeni di allagamento urbano. I danni provocati dalle alluvioni costano circa 1,1 miliardi di sterline all'anno e interessano oltre 5,2 milioni di proprietà; in pratica un'abitazione su sei, in Inghilterra, è a rischio inondazione. Ad aggravare la criticità climatica si aggiunge il fatto che questi effetti colpiscono prevalentemente i soggetti più vulnerabili, che possiedono le minori capacità resilienti e non sono in grado di sviluppare adeguate misure di adattamento per ridurre i rischi.

L'edilizia residenziale pubblica rappresenta uno degli ambiti più vulnerabili agli impatti climatici e secondo un sondaggio del 2011 condotto da *Housing Europe*, solamente il 10% degli alloggi pubblici risultava attivo nell'implementazione di misure per l'adattamento climatico degli ambienti esterni e di efficientamento energetico sugli edifici.

Obiettivi dell'intervento

I principali obiettivi del progetto comprendevano: lo sviluppo di una metodologia replicabile per progettare soluzioni di adattamento climatico con interventi "soft", ovvero basati su: l'utilizzo di soluzioni *nature based* di paesaggio e sulla realizzazione di infrastrutture verdi e blu; l'applicazione delle soluzioni di adattamento all'interno di tre progetti pilota in contesti di edilizia residenziale pubblica; lo sviluppo di una metodologia replicabile di coinvolgimento dei residenti (e delle persone disoccupate) nella progettazione-realizzazione-manutenzione degli interventi di adeguamento climatico; lo sviluppo di momenti di formazione inerenti le tematiche della realizzazione-manutenzione delle opere di adattamento climatico e manutenzione degli edifici; il monitoraggio delle prestazioni tecniche delle soluzioni inserite e del coinvolgimento sociale nei processi creativi e realizzativi; la realizzazione di materiale documentario finalizzato al trasferimento della conoscenza e la diffusione dei risultati del caso di studio ai decisori politici nazionali ed europei.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

Gli interventi si applicavano in maniera localizzata sia sullo spazio aperto, nei giardini, nelle corti e nei parcheggi, che sugli edifici e sulle loro pertinenze. Complessivamente l'intervento è riuscito ad adeguare 4.537 mq di superficie, di queste: 3.158 mq rappresentano superfici impermeabili che sono state deviate dal sistema fognario esistente, alleggerendolo da eventuali sovraccarichi idraulici; 432 mq rappresentano le superfici dei tetti verdi estensivi; 24 mq costituiscono le superfici naturali realizzate per gli orti urbani. L'intervento rappresenta pertanto un ottimo esempio di ampia diffusione delle soluzioni di adattamento all'interno del sistema urbano.

Livello di governance

L'intervento *Climate-Proofing Social Housing Landscapes*, costato 1,6 milioni di euro, è stato co-



Fig.2 - Prima e dopo l'intervento di adeguamento clima-adattivo nel sito del progetto Queen Caroline (Source: Groundwork London)

finanziato dal programma dell'Unione Europea LIFE+ ed ha dimostrato un innovativo approccio integrato nell'affrontare le sfide socioeconomiche, in merito alla disoccupazione giovanile, e climatiche, legate alle vulnerabilità degli ambienti urbani.

Durante il processo di riqualificazione, i residenti dei tre complessi urbani oggetto di intervento sono stati coinvolti attivamente sia nella fase del progetto che in quella di realizzazione, aumentando così la loro consapevolezza in materia di adattamento climatico, responsabilizzandoli sulla manutenzione delle opere nel corso del tempo e impegnando i più giovani, disoccupati e senza esperienza lavorativa, in programmi di formazione e lavoro. Inoltre, sono state effettuate una serie di corsi di formazione professionalizzanti, finalizzati alla cura e la manutenzione delle soluzioni e degli spazi realizzati al fine di sensibilizzare i residenti, promuovere i vantaggi di tali misure di adattamento climatico e garantire una corretta gestione degli interventi.

Strategia di intervento

Il progetto ha realizzato soluzioni di adattamento all'interno dei complessi di: (1) Queen Caroline Estate, (2) Thatcher, MacDonald e Knight Houses, (3) Cheeseman's Terrace. In tutti e tre gli interventi sono state inserite soluzioni finalizzate alla realizzazione di infrastrutture verdi e blu che fossero efficaci, di basso costo e riconosciute dalla comunità di residenti.

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni inserite hanno riguardano prevalentemente il paesaggio urbano, tra queste rientrano:

- l'inserimento di 432 mq di tetti verdi estensivi;
- l'installazione di *rain gardens*;
- l'inserimento di *bioswales*;
- l'inserimento di trincee drenanti;
- l'installazione di orti urbani;
- l'inserimento di 325 nuovi alberi e arbusti;
- l'incremento di superfici verdi e pavimentazioni permeabili.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento messe in campo nel progetto *Climate-Proofing Social Housing*



Fig.3 - Punti salienti del secondo periodo di monitoraggio per il London Borough of Hammersmith e Fulham Climate Proofing Housing Landscapes Progetto EU LIFE + (Source: Dr. Stuart Coppon)

Landscapes lavorano tutti secondo il principio di gestione in sito degli eventi di piogge estreme, in particolare, utilizzando il sistema di raccolta, stoccaggio e infiltrazione naturale nel terreno e attuando una rinaturalizzazione delle aree urbane attraverso la de-pavimentazione.

Risultati conseguiti

Le soluzioni introdotte dimostrano la loro efficacia nel produrre benefici ambientali, sociali ed economici. L'Università di East London, nominata per monitorare le prestazioni degli elementi tecnici realizzati, conferma che grazie alle soluzioni introdotte: sono stati deviati circa 1.220.900 litri di acqua piovana dalla rete fognaria esistente; mediamente l'80% delle precipitazioni viene assorbita dalle coperture verdi; è stato realizzato un bacino verde allagabile in grado di immagazzinare e drenare un evento di pioggia estrema con tempo di ritorno centennale; è stata riscontrata la presenza di 57 specie floreali ed erbe selvatiche su una copertura verde; è stata misurata una riduzione del 40% della temperatura superficiale su un tetto verde durante una calda giornata estiva.

Il progetto ha contribuito a dimostrare che l'adeguamento degli spazi verdi e degli edifici residenziali pubblici è necessario ed economicamente e fattivamente accessibile. Le misure di adattamento introdotte, basate su soluzioni *nature based*, svolgono un ruolo fondamentale nell'incremento della resilienza climatica. L'efficacia e i benefici di questi interventi aumentano se le soluzioni sono diffuse e se applicate secondo un approccio olistico e sistemico. Hanno costituito un utile strumento nella realizzazione delle opere di adattamento le pratiche di coinvolgimento attivo-formativo della popolazione residente, sviluppando delle reali opportunità lavorative.

4.6.5 25 VERDE TORINO
 Arch. Luciano Pia , Studio Lineeverdi

Torino, Italia
 2007-2012



Fig.1 - Facciata dell'edificio 25 Verde (Source: Luciano Pia)

Ambito di applicazione	Centrale	Periferico		
Livello di Governance	Pubblico	Privato	Partnership	
Regione Biogeografica	Atlantica	Continentale	Mediterranea	
Criticità affrontata	 UHI	 HR	 D	 W

Elementi dello spazio urbano coinvolti						
Parco	Piazza	Strada	Parcheggio	Giardino	Edificio	Corte

Estensione superficiale dell'intervento : 7.500 mq			
< 5.000	>5.000 e <50.000	>50.000 e >100.000	≥ 100.000

Soluzioni di adattamento			
 alberature	 coperture verdi	 superfici verdi permeabili	 specchi d'acqua

Ambito urbano di applicazione

Il 25 Verde è un edificio residenziale di tipo condominiale realizzato a Torino nel 2012 in cui oltre 150 alberi vivono in completa sintonia e relazione con il costruito. Il progetto, concepito come un grande bosco abitabile, è stato realizzato dall'architetto Luciano Pia in collaborazione con gli agronomi-paesaggisti Linee Verdi, che hanno offerto un contributo fondamentale per la progettazione degli elementi naturali e insieme sono riusciti a creare un ambiente immerso nel verde e piacevole da vivere. L'edificio è situato a 3 km dal centro città nel quartiere di San Salvario a poche centinaia di metri dal fiume Po e dal Parco del Valentino.

Criticità climatica affrontate

Le principali criticità climatiche che si trova ad affrontare la città di Torino, secondo uno studio dell'ARPA Piemonte, riguardano le elevate temperature atmosferiche, che sono aumentate di 2 °C negli ultimi 60 anni, con un notevole aumento di giorni e notti tropicali, temperature diurne superiori ai 30 °C e notturne maggiori di 20°C. Inoltre, in tutti gli scenari climatici previsti, si prevede un incremento di intensità e frequenza delle ondate di calore nei prossimi decenni, con un tendenziale aggravamento del fenomeno dell'isola di calore urbana.

Obiettivi dell'intervento

Gli obiettivi primari del progetto sono, da un lato, quello di chiudere con un nuovo edificio il perimetro dell'isolato, dall'altro, quello di realizzare uno spazio filtro tra lo spazio abitato interno e le strade che lo delimitano. In particolare, il progetto intende inoltre rispondere alla criticità climatica delle temperature estreme, riducendo l'effetto isola di calore urbana e incrementando così i benefici per i residenti del condominio e contribuendo al microclima dell'intero quartiere. Tra gli obiettivi secondari del progetto rientrano: il miglioramento della qualità dell'aria dagli agenti atmosferici inquinanti, come il particolato, e la riduzione dei gas ad effetto serra.

Estensione superficiale ed elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto

L'intervento nasce dalla necessità di realizzare un edificio residenziale a complemento di un blocco urbano caratterizzato da disomogeneità planimetrica e eterogeneità dei prospetti. L'intervento del Condominio 25 Verde si estende su una superficie di 7.500 mq per un'altezza di 18 metri, in cui 4000 mq sono occupati da terrazzi, tetti verdi e corti vegetate, inserendo pertanto l'interventi sia alla scala dell'edificio che a quella dello spazio aperto.

Livello di governance

Il progetto del condominio 25 verde è sviluppato su una proposta di iniziativa privata del Gruppo Corazza, Maina Costruzioni, De-Ga spa. Il progetto è stato progettato e realizzato nel giro di quattro anni e non ha previsto il coinvolgimento di altre parti o *stakeholder* né in fase di ideazione né in quella di realizzazione.

Strategia di intervento

I 63 appartamenti vengono realizzati in completa simbiosi con le alberature: l'edificio è rivestito in scaglie di legno per rievocare la corteccia, le terrazze di forma irregolare vengono sorrette da pilastri alberiformi in *corten* e i loro solai in legno e vetro hanno la funzione di far passare la luce ai piani inferiori. Le "alberature costruite" si intrecciano a quelle naturali presenti in facciata, nella corte interna e sui tetti, creando un organismo unitario.



Fig.1 - Dettaglio di facciata con terrazze; dettaglio Planimetria di progetto a destra(Source: Luciano Pia)

Soluzioni di adattamento

Le soluzioni di adattamento riguardano prioritariamente *nature based solutions*. Il progetto del verde si è sviluppato su più livelli, prevedendo apposite specie arboree a seconda della loro collocazione ed esposizione. Le piante variano in altezza: le più basse, che arrivano a 2,5 m, sono state collocate sulle fioriere delle terrazze a forma di tronco di cono rovesciato, quelle più alte, che raggiungono anche gli 8 metri di altezza, si trovano nella corte interna.

Nelle fioriere, in relazione allo spazio e alle altezze disponibili, sono stati scelti alberi a sviluppo conico, alberi policormici più bassi con fusti che partono da un medesimo ceppo e alla base sono state piantumate specie coprisuolo di facile manutenzione.

La corte interna è attraversata da passaggi pedonali mentre il verde si colloca ad un metro di altezza dal piano terra e non risulta quindi accessibile se non per le opere di manutenzione. Le specie vegetali inserite al suo interno comprendono alberature di prima, seconda, terza grandezza e arbusti autoctoni. Sempre al piano terreno, in corrispondenza dell'edificio, è inoltre presente una grande vasca d'acqua che rinfresca l'ambiente nel periodo estivo.

Sulla copertura infine è stato realizzato un vero e proprio giardino pensile suddiviso in tante parti quanti sono gli appartamenti agli ultimi piani. Questi fungono da elementi isolanti e sono in grado di raccogliere e trattenere una maggiore quantità di acqua piovana rispetto ad una copertura tradizionale.

Tutte le piante sono state raggruppate in un unico vivaio nel 2010 prima della loro messa a dimora per essere monitorate, con un processo di precoltivazione, per più di un anno, per evitarne la crisi dovuta al trapianto.

Le soluzioni di mitigazione invece comprendono: l'isolamento a "cappotto", pareti ventilate, elementi di protezione dall'irraggiamento solare diretto e la realizzazione di impianti di riscaldamento e raffrescamento collegati ad un sistema geotermico.

L'edificio possiede una buona inerzia termica che, grazie alle spesse pareti esterne in mattoni e il cappotto termico, ne aumentano l'efficienza energetica e diminuiscono il fabbisogno di energia. L'involucro dell'edificio è realizzato con un rivestimento in scaglie di larice e si ancora ad una sottostruttura ventilata. I materiali per l'esterno sono stati scelti per durare nel tempo e diminuire la manutenzione.

Le terrazze presentano una pavimentazione realizzata con una struttura in travi di mogano e lastre di vetro che, insieme alle aperture vetrate delle abitazioni, consentono di captare i raggi



Fig. 2 - Vista a volo d'uccello del complesso edilizio a sinistra; alberature della corte a destra (Source: Luciano Pia)

del sole d'inverno ma sono protette in estate dall'ombreggiamento degli alberi. Infine, sia il raffrescamento che il riscaldamento dell'edificio (compresa l'acqua calda sanitaria) sono gestiti tramite pompe di calore che utilizzano energia geotermica dell'acqua di falda.

Funzionamento delle soluzioni di adattamento

La scelta delle alberature è stata fondamentale per la creazione di un microclima ideale all'interno dell'edificio. Queste forniscono la giusta ombreggiatura durante i mesi più caldi e consentono un adeguato irraggiamento durante quelli freddi, contribuendo inoltre all'abbattimento delle polveri sottili e fornendo un buon isolamento acustico.

Le specie arboree e le superfici vegetali giocano un ruolo fondamentale nella mitigazione del clima contribuendo alla diminuzione dell'effetto isola di calore. Per questo motivo, il tetto verde, con lo strato di terreno che varia tra i 60 e 100 cm che può essere utilizzato come giardino pensile, contribuisce al contempo all'isolamento del solaio di copertura e garantisce l'assorbimento dell'acqua piovana, diminuendo la necessità di irrigazione. L'edificio è infatti provvisto di un sistema di recupero delle acque piovane, stoccaggio e riutilizzo per l'irrigazione del verde.

Risultati conseguiti

L'edificio è stato progettato per resistere all'aumento delle temperature e alle ondate di calore. L'azione combinata delle misure di mitigazione e adattamento garantisce, da una parte, una buona efficienza energetica (con riduzione dei consumi del 40/50% rispetto a sistemi tradizionali) e, dall'altra, condizioni di comfort interno ed esterno che rispondono alle esigenze di un clima in città sempre più estremo. L'edificio è in grado di assorbire 5 tonnellate all'anno di anidride carbonica, producendo altrettanto ossigeno e abbattendo quasi 1,5 kg/anno di polveri sottili.

4.7 - Lettura dei risultati emersi dalle analisi dei casi di studio

Le analisi dei casi di studio hanno messo in luce soluzioni tecniche, progettuali e processuali fortemente innovative che sono risultate essere strettamente collegate ad un approccio al progetto per l'adattamento improntato sulla prefigurazione di scenari progettuali che mettono in correlazione l'ambiente costruito con l'ambiente naturale e il contesto sociale ed economico in cui i progetti sono inseriti.

I casi di studio hanno indagato progetti di architettura per l'adattamento che si inseriscono in 11 diverse città, all'interno di 9 paesi Europei. Le analisi hanno individuato 6 progetti inseriti in ambiti urbani centrali, tra i quali rientrano quelli localizzati a Copenhagen, Rotterdam, Ghent, Jena e Atene. Gli altri 8, che costituiscono la maggioranza dei casi studiati, sono invece localizzati in contesti periferici e tra questi rientrano le città di Torino, Londra, Madrid, Parigi, Tiel, Friburgo e nuovamente Copenhagen. In particolare, le pratiche di riqualificazione urbana ai fini dell'adattamento climatico meritano un'attenta valutazione quando sono inserite nei centri urbani e nuclei storici, dove risulta fondamentale integrare nuovi interventi con il tessuto urbano consolidato.

Per questo motivo, visto l'approccio olistico e multisettoriale caratteristico degli interventi di adattamento climatico, risulta più efficace attuarli nelle aree periferiche, riuscendo così oltre a risolvere le questioni climatiche, anche a rigenerare l'ambiente urbano dal punto di vista sociale ed economico.

Le criticità climatiche maggiormente affrontate si riferiscono ai fenomeni dell'isola di calore urbana e alle precipitazioni estreme. Solamente 3 progetti tentano di risolvere criticità climatiche singole, due dei quali si riferiscono alle isole di calore e uno alle piogge estreme; 8 casi di studio operano per rispondere contestualmente a due criticità climatiche, le isole di calore e le piogge estreme, e rappresentano il 57% dei progetti analizzati; 3 progetti tentano di affrontare tutti e tre i diversi fenomeni climatici estremi indagati dalla ricerca, il 21% dei casi di studio. Tra i casi che affrontano solamente le isole di calore urbane troviamo il Condominio 25 Verde a Torino e il campus universitario di Inselplatz a Jena in Germania. L'unico caso che affronta solamente i fenomeni di allagamento urbano causati da precipitazioni intense si riferisce alla Watersquare di Tiel in Olanda. I progetti che lavorano su due criticità climatiche sono: The soul of Nørrebro a Copenhagen, Gomeznarro Park a Madrid, il Parco Martin Luther King a Parigi, il quartiere Sant Kjeld, Zollhallen Platz a Friburgo, Kettingplein a Ghent, l'edificio Groot Willemsplein a Rotterdam e il progetto Climate proof social housing landscapes a Londra. Infine, i progetti che operano su tre criticità climatiche, rispettivamente isole di calore, precipitazioni estreme e siccità, sono: l'edificio dell'IMDEA Institute a Madrid, il progetto urbano dello spazio pubblico One step beyond ad Atene e il progetto nel quartiere Zoho a Rotterdam. Rispetto a questo primo censimento non sono stati individuati interventi progettuali di rilievo che affrontano le tempeste di vento.

I casi di studio rientrano nelle tre principali regioni biogeografiche presenti in Europa: atlantica, continentale e mediterranea. In particolare, 8 progetti su 14, il 57% dei casi analizzati, appartengono alla regione atlantica, 2 progetti, il 14% dei casi, rientrano nella regione continentale, e gli altri 5, ovvero il 36% dei casi studiati, si riferiscono alla fascia mediterranea. L'appartenenza ad una regione piuttosto che ad un'altra, come descritto nella parte prima della ricerca, chiama in causa eventi climatici estremi differenti, pertanto, permette di identificare appropriate strategie e soluzioni progettuali maggiormente idonee in relazione ai fenomeni climatici maggiormente presenti. Nonostante ciò, occorre precisare che, più recenti ricerche effettuate dell'Agenzia Europea

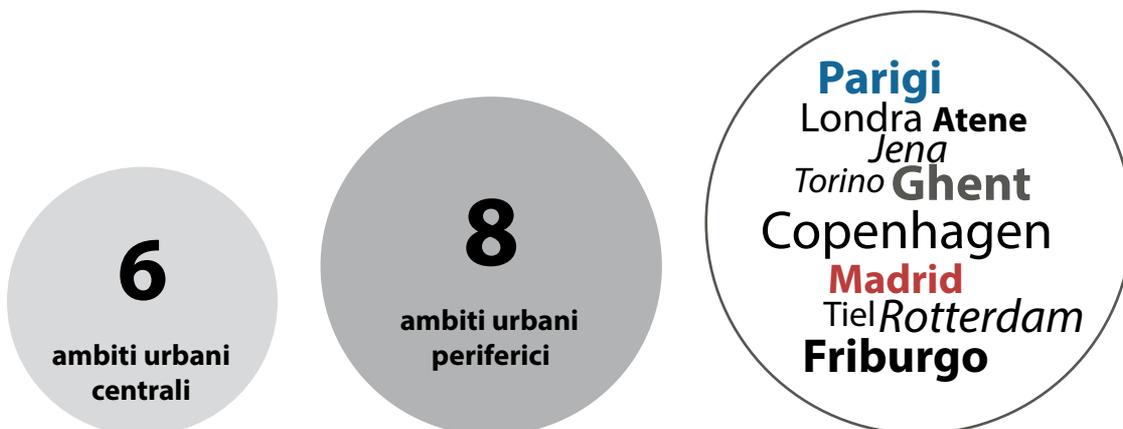


Fig. 1 - Gli ambiti urbani e i nomi delle città europee in cui si inseriscono i progetti di adattamento climatico analizzati.

dell'Ambiente (EEA) attribuiscono ai fenomeni estremi causati dal cambiamento climatico una certa aleatorietà e variabilità mostrando una diffusione piuttosto generalizzata nel continente europeo.

Un ulteriore interessante risultato desumibile dall'analisi dei casi di studio si riferisce agli elementi dello spazio urbano coinvolti nei progetti di adattamento. È interessante notare che 3 casi di studio operano nei parchi, 8 intervengono nelle piazze, 6 progetti lavorano nelle strade, 4 nei parcheggi e altri 4 sui giardini. Complessivamente si perviene ad un totale di 25 interventi progettuali operanti nello spazio urbano aperto e pubblico della città. In maniera analoga lavorano sugli edifici 7 progetti e altri 4 si concentrano sulle corti interne, per un totale di 11 interventi progettuali. Rispetto alla totalità degli interventi progettuali analizzati 12 casi si concentrano sullo spazio aperto, 7 casi lavorano sia sull'edificio che sullo spazio aperto, mentre solamente 1 caso si occupa solamente dell'edificio. Occorre tenere presente che nella maggior parte dei casi di studio analizzati, gli interventi riguardavano più di un elemento dello spazio urbano ma, nonostante questo, è evidente che il progetto di adattamento trova una più ampia applicabilità nello spazio aperto rispetto all'edificato, e in particolar modo in quello pubblico rispetto a quello privato. Va però ricordato che come per l'omologia che sussiste tra mitigazione e adattamento, possiamo trovare un analogo parallelismo tra gli interventi sullo spazio aperto e quelli sull'edificato e concludere che, per ottenere un efficace grado di adattamento urbano, gli interventi sullo spazio ineditato debbano essere sostenuti da strategie e soluzioni sugli spazi edificati al fine di raggiungere un adeguato grado di resilienza climatica.

Un'altra questione concerne l'estensione degli interventi progettuali. Infatti, 4 dei casi analizzati presentano un'estensione superficiale inferiore a 5.000 mq, 6 progetti si sviluppano su una superficie che è maggiore di 5.000 mq e minore 50.000 mq, 4 casi di studio presentano un'area che oscilla tra 50.000 e 100.000 mq, mentre solamente 1 progetto ha una superficie superiore a 100.000 mq. L'estensione superficiale, ai fini dell'adattamento, rappresenta un parametro fondamentale per contrastare gli eventi sempre più estremi, basti pensare alle capacità che hanno i parchi urbani nel migliorare il microclima e, allo stesso modo, di attenuare gli impatti di precipitazioni estreme che si abbattano negli insediamenti urbani. Inoltre, la possibilità di disporre di un'ampia superficie urbana da poter destinare all'adattamento agli eventi climatici rappresenta un parametro urbano utile per orientare strategie di pianificazione e governo del territorio per incrementare la resilienza climatica delle città.

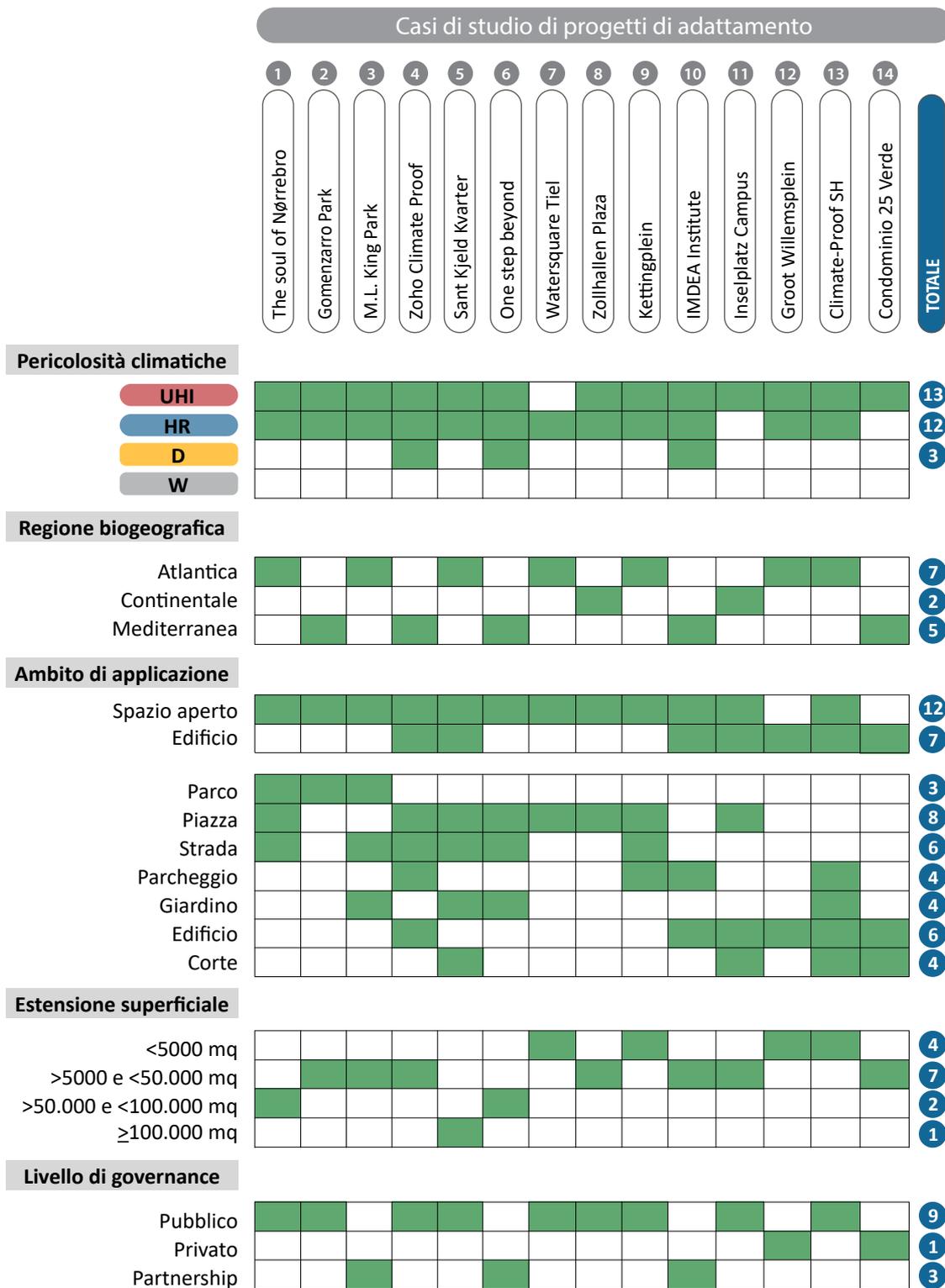


Fig. 2 - Quadro sinottico complessivo dei risultati sull'analisi dei casi di studio di progetti di adattamento.

In conclusione, è interessante osservare il livello di *governance* dei progetti analizzati. Tra i 14 casi di studio infatti 9 sono finanziati da enti pubblici, 2 da privati e 3 da partnership. All'interno dei 9 progetti pubblici ha rappresentato una pratica comune ricorrente il coinvolgimento degli abitanti e dei principali stakeholder locali nella fase di ideazione e, nei progetti più innovativi, anche in quella di implementazione e/o manutenzione. Questo dimostra da un lato il ruolo fondamentale dei decisori e amministratori pubblici nell'incentivazione alle pratiche di adattamento climatico delle città e, dall'altro, esorta un necessario coinvolgimento attivo e diretto dei principali fruitori degli ambienti della città: i suoi abitanti.

4.8 - Soluzioni progettuali per l'adattamento desunte dalle analisi dei casi di studio

Lo scopo principale dell'analisi sui casi di studio è stato quello di individuare le soluzioni progettuali di adattamento impiegabili per la prefigurazione del progetto di architettura "adattivo", ovvero quel progetto in grado di rispondere agli eventi climatici estremi che si abbattano con sempre più violenza e frequenza sulle città europee.

Dall'analisi dei casi di studio è stato possibile pervenire ad un primo gruppo di 26 soluzioni di adattamento impiegate nei differenti progetti, tra cui rientrano: *superfici verdi permeabili, alberature, bacini umidi, bioswales (canali vegetati inondabili), bacini inondabili, cisterne di raccolta interrata, vasche superficiali allagabili, sistemi di controllo dei volumi idrici, canali vegetati umidi, pavimentazioni permeabili, morfologia delle sezioni stradali, casseri drenanti interrati, sistemi di raccolta e riutilizzo dell'acqua, specchi d'acqua, fontane, stagni, coperture vegetate, pareti vegetate, rain gardens, serbatoi di raccolta fuoriterra, sistemi nebulizzanti, cool materials, trincee drenanti, regolatori di flussi idrici per l'utenza, dispositivi ombreggianti e orti urbani.*

Ad una valutazione più approfondita, le soluzioni sono state ridotte a 21 in quanto alcune di esse sono state accorpate e altre sono state escluse. Tale operazione è motivata dal fatto che alcune delle soluzioni di adattamento rappresentano delle raccomandazioni strategiche piuttosto che veri e propri elementi tecnici ed architettonici attraverso i quali si può agire per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico e che quindi non intervenivano direttamente sulle criticità climatiche. Secondo questo principio sono state scelte solamente le alternative progettuali più idonee.

In definitiva, si è potuto constatare che le soluzioni individuate rientrano principalmente in due grandi categorie le "nature based solutions" e le "soluzioni artificiali". Le prime comprendono tutte quelle soluzioni che prevedono l'impiego di soluzioni naturali, siano esse verdi o blu, cioè soluzioni vegetali oppure elementi naturali che utilizzano l'acqua, tra queste sono state individuate 11 soluzioni: *alberature, bacini inondabili, stagni e bacini umidi, bioswales (canali inondabili), coperture vegetate, fossati vegetati, orti urbani, pareti vegetate, rain gardens (giardini inondabili), superfici verdi permeabili, trincee drenanti.* Le seconde, al contrario, derivano da processi di lavorazioni industrializzati, e operano secondo le loro caratteristiche fisico-materiche, di posa in opera e prestazionali, tra queste troviamo 10 soluzioni: *casseri drenanti interrati, cisterne di raccolta interrata, cool materials, coperture urbane (urban canopy), fontane, pavimentazioni permeabili, regolatori di flussi idrici per l'utenza, serbatoi di raccolta fuoriterra, specchi d'acqua, vasche superficiali allagabili.*

Le soluzioni di adattamento individuate saranno approfondite in dettaglio nella parte terza della ricerca e con esse i loro ambiti di applicazione, le criticità climatiche che affrontano, i principi di funzionamento, i parametri caratteristici e altri aspetti progettuali.

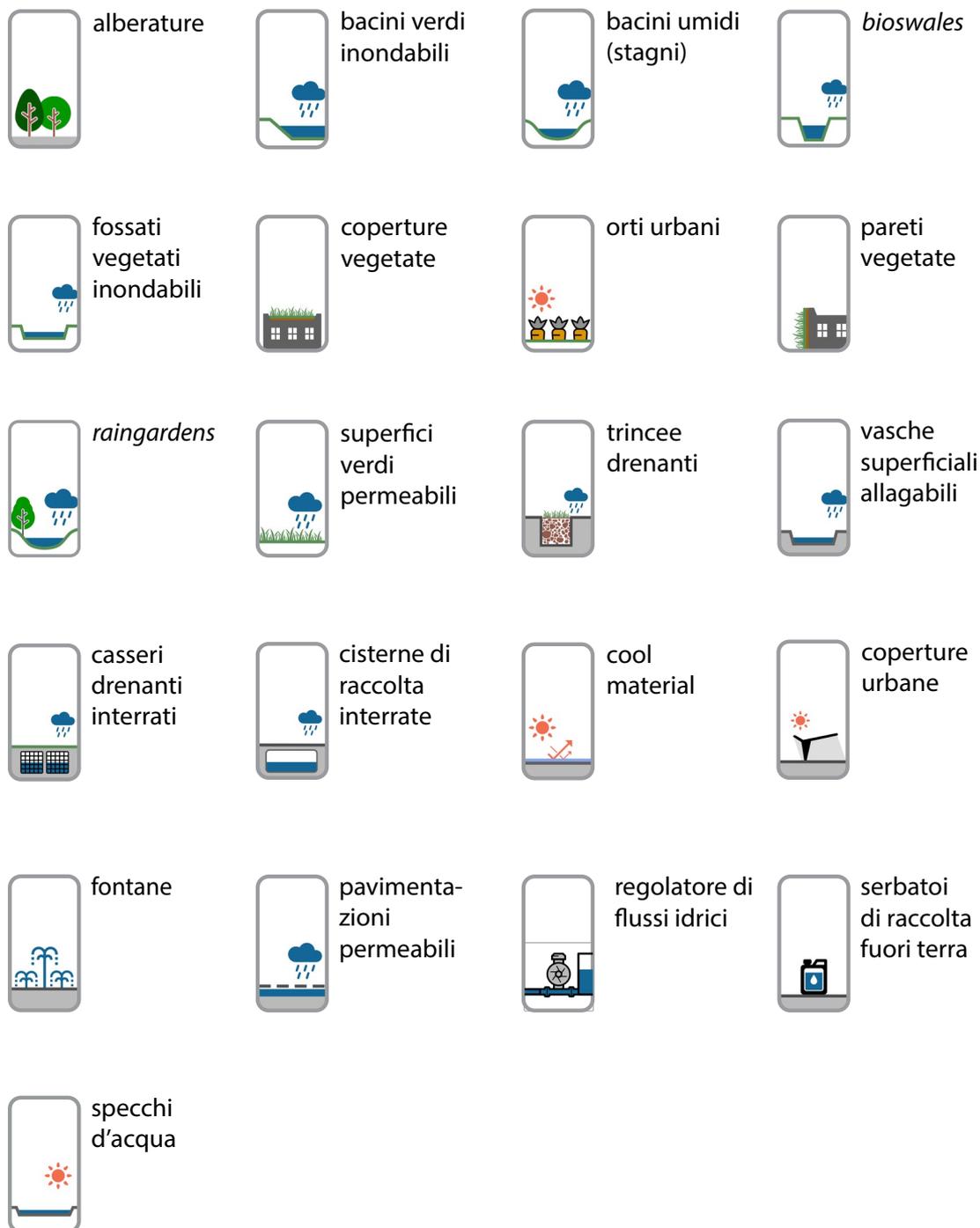


Fig. 3 - Elenco completo delle soluzioni di adattamento progettuali desunte dai casi di studio.

References

The soul of Nørrebro, Copenhagen, Danimarca

SLA, Hans Tavsens Park and Korsgade available at <https://sla.dk/en/projects/hanstavsenpark/> (accessed 18 September 2020)

SLA, Ramboll (2017), *Climate Adaptation Copenhagen*, available at https://sla.dk/files/2914/9449/3217/SLA_Ramboll_HansTavsenPark_UK.pdf (accessed on 12 August 2020)

The soul of Nørrebro. Hans Tavsens park, Blågård School and Korsgade, in *Nordic Building Cities Challenge*, available at https://www.nordicinnovation.org/sites/default/files/inline-images/Soul%20of%20Nørrebro_booklet.pdf (accessed 13 July 2020)

Gomenzarro Park, Madrid, Spagna

Castro-Fresno, D., Andrés-Valeri, V., Sañudo-Fontaneda, L. & Rodriguez-Hernandez, J. (2013), Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements, Water, available at https://www.researchgate.net/publication/256473133_Sustainable_Drainage_Practices_in_Spain_Specially_Focused_on_Pervious_Pavements (accessed 1 October 2020)

The refurbishment of Gomeznarro park in Madrid focused on storm water retention (2014), available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/the-refurbishment-of-gomeznarro-park-in-madrid-focused-on-storm-water-retention> (accessed 29 September 2020)

M.L. King Park, Parigi, Francia

Atelier Jacqueline Osty (2015) Martin Luther King Park, available at <http://landezine.com/index.php/2015/02/martin-luther-king-park-by-atelier-jacqueline-osty-associes/> (accessed 5 November 2019)

Cecafosso V. (2020), “Il progetto di rigenerazione integrata di Clichy-Batignolles a Parigi/The Clichy-Battignolles integrated regeneration project in Paris”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli, Sant’Arcangelo di Romagna, pp. 301-306.

Palumbo M. (2017), Clichy-Batignolles: abitare a energia positiva, in Domusweb, available at <https://www.domusweb.it/it/architettura/2017/11/10/clichy-batignolles-abitare-a-energia-positiva.html> (accessed 4 September 2020)

The Eco-District (2015), A reference in sustainable urban development in Paris, in Press Kit, available at https://archive-clichy-batignolles.parisetmetropole-amenagement.fr/sites/default/files/exe_web_cb_dossierpresse-en_2.pdf (accessed 24 June 2020)

Zoho Climate Proof, Rotterdam, Olanda

Bologna, R., Hasanaj, G. (2020), “Water Square Benthemplein: spazi urbani multifunzionali a Rotterdam/ Water Square Benthemplein: multifunctional urban spaces in Rotterdam”, in Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo, M., Valente R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for*

Environmental Design, Sant'Arcangelo di Romagna (RM), Maggioli, pp. 373-380.

De Urbanisten, Water Sensitive Zomerhof / Agnese district available at <http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=water-sensitive-zomerhof-agnese-district> (accessed 16 September 2020)

De Urbanisten, Climate Proof Zomerhofkwartier, available at <http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=climate-proof-zomerhofkwartier> (accessed 10 August 2020)

Zoho, Climate District, available at http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/URBANISTEN_climate_adaptive_ZOHO_lr.pdf (accessed 24 August 2020)

Sant Kjeld Kvarter, Copenhagen, Danimarca

Bologna R., Hasanaj G. (2020), "Blue Infrastructures a Copenhagen. Il progetto di Tåsinge square/ Blue Infrastructures in Copenhagen. The project of Tåsinge square", in Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo, M., Valente R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant'Arcangelo di Romagna (RM), Maggioli, pp. 381-388.

Etherington R. (2012), Saint Kjeld's Kvarter by Tredje Natur, in Deezen, available at <https://www.deezen.com/2012/08/18/saint-kjelds-climate-adapted-neighborhood-by-tredje-natur/> (accessed 12 February 2019)

Mezzi P. (2015), San Kjeld, Copenhagen: ecco il primo quartiere "resiliente", available at <https://www.abitare.it/it/architettura/architettura-sostenibile/2015/03/01/san-kjeld-copenhagen-quartiere-resiliente/> (accessed 13 April 2020)

Klimakvarter (2013), Copenhagen climate resilient neighbourhood, available at http://www.klimakvarter.dk/wp-content/2013/03/klimakvarter_ENG_low.pdf (accessed 6 July 2020)

Tredje Natur (2011), The first climate district, available at <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/the-first-climate-district/> (accessed 20 June 2020)

One step beyond, Atene, Grecia

Furuto A. (2013), Re-Think Athens Winning Proposal / OKRA, in *Archdaily*, available at: <https://www.archdaily.com/338001/re-think-athens-winning-proposal-okra> (accessed 14 March 2020)

Knuijt M. (2013) One step beyond in *Topos - The International Review of Landscape Architecture and Urban Design*, nr.85/2013 http://www.okra.nl/wp-content/uploads/2014/07/2014_OKRA_Topos-85_-Knuijt.pdf (accessed 16 July 2020)

Okra (2013), Re-think Athens, available at <https://www.okra.nl/en/projects/re-think-athens/> (accessed 28 March 2020)

Watersquare Tiel, Tiel, Olanda

De Urbanisten, Water square Tiel, available at <http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=water-square-tiel> (accessed on 22 June 2020)

Waterplein Tiel, Alles in één, Waterberging als speelaanleiding in openbare ruimte, available at http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/publication_UB_Straatbeeld_september2015.pdf (accessed 3 March 2020)

Waterplein tiel ook bij droogte een aanwinst voor de buurt, available at <https://lagadoarchitects.com>

com/wp-content/uploads/2017/01/watersquare_tiel_urbanisten_lagado_architects_blauwe-kamer-2016.pdf (accessed on 13 July 2020)

Zollhallen Plaza, Friburgo, Germania

Ramboll Studio Dreiseitl (2011), Zollhallen Plaza: a Climate Adaption Tool, in urbanNext available at <https://urbannext.net/zollhallen-plaza/> (accessed 14 July 2019)

Ramboll Studio Dreiseitl (2015), Zollhallen Plaza, in Landezine Landscape Architecture Platform <http://landezine.com/index.php/2015/04/flood-zone-on-public-plaza-design-atelier-dreiseitl-landscape-architecture/> (accessed 22 August 2020)

Ramboll Studio Dreiseitl (2011), Zollhallen Plaza, <https://ramboll.com/projects/germany/zollhallen-plaza> (accessed 16 September 2019)

Kettingplein, Ghent, Belgio

DeUrbanisten (2018) Kettingplein Ghent, available at <http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=kettingplein-ghent> (accessed 13 September 2020)

Kettingplein en omgeving, 3 Inrichtingsconcepten (2017), available at https://stad.gent/sites/default/files/page/documents/20170317_DO_Kettingplein%20-%20Omgeving%20-%20presentatiepanelen%2017013_PR_007.pdf (accessed 13 October 2020)

Kettingstraat (2017), Eerste participatiemoment, available at https://stad.gent/sites/default/files/page/documents/20170331_DO_Kettingplein%20-%20Omgeving-Urbanisten%20-%20verslag_participatiemoment.pdf (accessed 21 September 2020)

IMDEA Institute, Madrid, Spagna

Climate Adapt (2015), White roof, innovative solar shadings and bioclimatic design in Madrid, available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/white-roof-innovative-solar-shadings-and-bioclimatic-design-in-madrid> (accessed 5 November 2020)

ArcelorMittal (2009), Istituto per gli studi avanzati sull'energia: facciata con pannelli perforati ST® e Hairplan® 300, available at <https://constructalia.arcelormittal.com/it/casi-studio/spagna/istituto-per-l-energia-imdea> (accessed 19 October 2020)

Inselplatz Campus, Jena, Germania

ClimateADAPT (2020), Mainstreaming climate change adaptation into urban planning: grey-field land redevelopment in Jena available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/mainstreaming-climate-change-adaptation-into-urban-planning-grey-field-land-redevelopment-in-jena-germany> (accessed 14 September 2020)

Meyer V., Gebhardt O., Alves F. M. (2015), Economic evaluation of adaptation options, available at https://base-adaptation.eu/sites/default/files/Deliverable_5_2_FINAL.pdf (accessed 18 November 2020)

Groot Willemsplein, Rotterdam, Olanda

- Climate ADAPT (2016), Climate resilient retrofit of a Rotterdam building available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/climate-resilient-retrofit-of-a-rotterdam-building> (accessed 16 January 2020)
- Dickinson, J.S., Buik, N., Matthews, M.C., Snijders, A. (2009), Aquifer thermal energy storage: theoretical and operational analysis, in *Geotechnique*. 59 (3): 249–260.
- Peutz (2016), Breeam-NL certificaat very good voor kantoor Groot Willemsplein available at <https://www.peutz.nl/actualiteiten/nieuws/breeam-nl-certificaat-very-good-voor-kantoor-groot-willemsplein> (accessed 14 July 2020)

Climate-Proof SH, Londra, Regno Unito

- Climate ADAPT (2016), Climate-Proofing Social Housing Landscapes – Groundwork London and Hammersmith & Fulham Council, available at [https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-Urban Climate Proofing \(2019\), \(accessed 14 March 2020\)](https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-Urban Climate Proofing (2019), (accessed 14 March 2020)
- LIFE+ (2016), Climate proofing social housing landscapes: implementation guide, available at: https://urbanclimateproofing.london/wp-content/uploads/2020/02/D4-Implementation-Guide_final-PR8-WEB.pdf (accessed 6 November 2020)
- Groundwork (2019), Urban climate proofing, available at <https://urbanclimateproofing.london/> (accessed 16 October 2020)
- Connop S. (2016) More than one million litres of rainfall diverted from combined sewers by Hammersmith Nature-based Solution project, available at <https://uelsri.wordpress.com/2018/02/19/more-than-one-million-litres-of-rainfall-diverted-from-combined-sewers-by-hammersmith-nature-based-solution-project/> (accessed 6 February 2020)

Condominio 25 Verde, Torino, Italia

- Climate Adapt (2019), Living in a tree house in Torino (Italy): combining adaptation and mitigation measures to improve comfort, available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/living-in-a-tree-house-in-torino-italy-combining-adaptation-and-mitigation-measures-to-improve-comfort> (accessed 8 January 2020)
- 25 Verde (2019), in Linee verdi, available at <http://www.lineeverdi.com/portfolio/25-verde/#> (accessed 20 June 2020)
- Pia L. (2012), in 25 Green (25 Verde), available at <http://www.lucianopia.it/opere-e-progetti/2007-2012-25-green-25-verde/> (accessed 14 July 2020)

PARTE III

**REPERTORIO DI SOLUZIONI
PROGETTUALI PER
L'ADATTAMENTO CLIMATICO**

CAPITOLO 5

Schedatura delle soluzioni progettuali per l'adattamento climatico

Il capitolo descrive le soluzioni progettuali di adattamento individuate dalle analisi dei casi di studio di progetti europei. Obiettivo del capitolo è la costruzione di un repertorio di soluzioni classificate in relazione all'ambito di applicazione, delle criticità climatiche affrontate, della tipologia e categoria di soluzione, dei principi di funzionamento, dei parametri caratteristici e altri aspetti rilevanti per il progetto di adattamento climatico.

Il repertorio rappresenta uno strumento utile dal quale poter attingere le soluzioni di adattamento più adeguate a orientare il progetto della resilienza ai cambiamenti climatici nelle aree urbane maggiormente sensibili. Inoltre, costituisce un contributo originale e attualmente non documentato nella campo della letteratura scientifica nell'ambito dell'architettura.

Le soluzioni comprendono tutti gli elementi tecnici ed architettonici attraverso i quali si può agire per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico e che intervengono direttamente sulle criticità climatiche in atto.

5.1 - Introduzione al repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento

La schedatura delle soluzioni di adattamento climatico è finalizzata alla costruzione di un repertorio di soluzioni progettuali. Il lavoro è stato strutturato in relazione alle esigenze specifiche che un architetto si trova a dover affrontare nella progettazione di un intervento di *adaptive design*. Nello specifico, il repertorio è stato costruito descrivendo per ciascuna soluzione progettuale di adattamento: la tipologia, la categoria di intervento, l'ambito urbano di applicazione, le pericolosità climatiche affrontate, il funzionamento rispetto alle pericolosità climatiche e gli indicatori prestazionali per misurarne l'efficacia, gli aspetti progettuali e costruttivi, i parametri caratteristici per il progetto, i benefici ambientali, sociali ed economici, i limiti e le problematiche legate all'applicabilità, ed infine, gli aspetti manutentivi.

Le soluzioni di adattamento sono state in primo luogo differenziate in *nature based solutions* e soluzioni artificiali. Tale classificazione viene operata principalmente differenziando le soluzioni con un prevalente carattere naturale (alberature, bacini vegetati inondabili, bioswales, *raingardes*, etc.) da quelle contraddistinte da materiali artificiali ottenute attraverso specifici processi di lavorazione e/o trasformazione complessi (*cool materials*, pavimentazioni permeabili, casseri drenanti, etc.).

Tali soluzioni possono però essere differenziate anche in base alla tipologia secondo tre classi:

- *green solutions*, soluzioni a prevalente carattere vegetale;
- *grey solutions* soluzioni a prevalente carattere artificiale;
- *blue solutions* che, all'interno del seguente repertorio, si riferiscono a quelle soluzioni progettuali, sia verdi che grigie, che presentano una particolare predisposizione al contrasto della pericolosità climatica delle precipitazioni estreme.

La categoria di intervento identifica una particolare conformazione della soluzione progettuale di adattamento che ne descrive l'inserimento all'interno dello spazio urbano. A titolo esemplificativo è possibile individuare:

- la categoria degli elementi, che identifica le soluzioni puntuali, come ad esempio le alberature;
- la categoria dei canali, che identifica le soluzioni a prevalente sviluppo lineare, come le *bioswales*;
- la categoria degli elementi superficiali, che identifica le pavimentazioni o tutte quelle soluzioni a prevalente sviluppo areale, che comprendono ad esempio i *cool materials* e le superfici verdi permeabili;
- la categoria dei bacini, che indentifica le soluzioni a prevalente sviluppo volumetrico, come ad esempio i bacini vegetati inondabili e le vasche superficiali inondabili.

All'interno di questa sezione viene dunque operata una corrispondenza tra la soluzione progettuale e il suo modello tipologico-spaziale di applicazione in sito.

L'ambito di applicazione individua gli elementi dello spazio urbano in cui è potenzialmente inseribile la soluzione progettuale di adattamento. Questi comprendono principalmente: il parco, il giardino, la piazza, la strada, il parcheggio, l'edificio e la corte. Questi elementi generatori dello spazio urbano possono essere suddivisi principalmente in spazi aperti e spazi edificati o, più in generale, in spazi pubblici e spazi privati. L'estensione superficiale o le caratteristiche proprie della soluzione di adattamento possono limitarne l'applicazione in alcuni ambienti e/o raccomandarne l'utilizzo in altri spazi urbani.

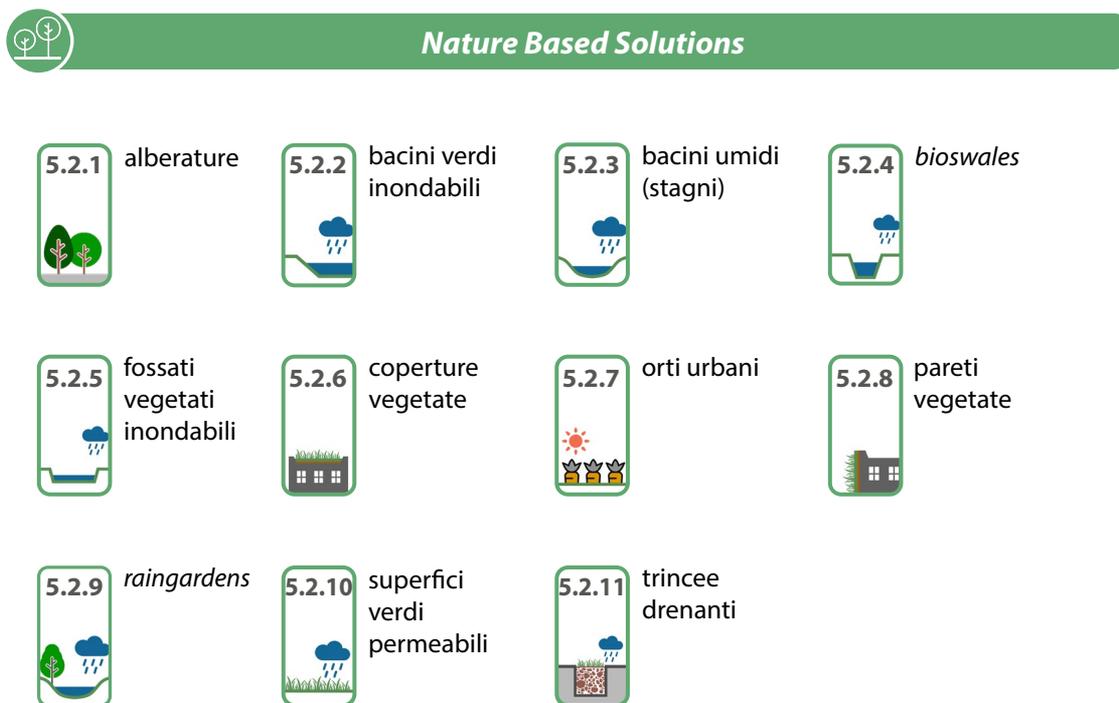


Fig. 1 - Elenco completo delle *nature based solutions* per l'adattamento climatico desunte dai casi di studio.

Le pericolosità climatiche affrontate indicano i principali eventi meteoroclimatici indagati dalla ricerca e al quale le soluzioni di adattamento sono in grado di rispondere. Queste sono:

1. le temperature elevate, contraddistinte dai fenomeni delle ondate di calore e isole di calore urbane;
2. le precipitazioni estreme e allagamenti urbani;
3. i fenomeni siccitosi e la carenza idrica;
4. le tempeste di vento.

Le soluzioni progettuali possono affrontare gli eventi climatici estremi operando al contrasto di una o più pericolosità. In questo caso si parla di soluzioni di adattamento *multi-hazard*, ovvero capaci di produrre effetti benefici in relazione a specifiche e differenziate criticità legate al cambiamento climatico.

Una volta individuate le pericolosità climatiche affrontate da ciascuna soluzione progettuale, nella sezione successiva, denominata “funzionamento della soluzione rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali”, vengono descritti i principi con cui lavorano le diverse soluzioni per il contrasto agli eventi estremi del cambiamento climatico. In particolare, sono indicati i meccanismi generali con cui la soluzione opera per l'adattamento e i principali indicatori di prestazione con i quali è possibile misurare la loro efficacia.

Gli aspetti progettuali e costruttivi descrivono nello specifico alcuni particolari accorgimenti da tenere in considerazione nella fase di progettazione dell'intervento di *adaptive design*. Questa sezione è strettamente correlata con quella successiva dei “parametri caratteristici” per il progetto in cui vengono elencati i principali parametri che caratterizzano la soluzione di adattamento.

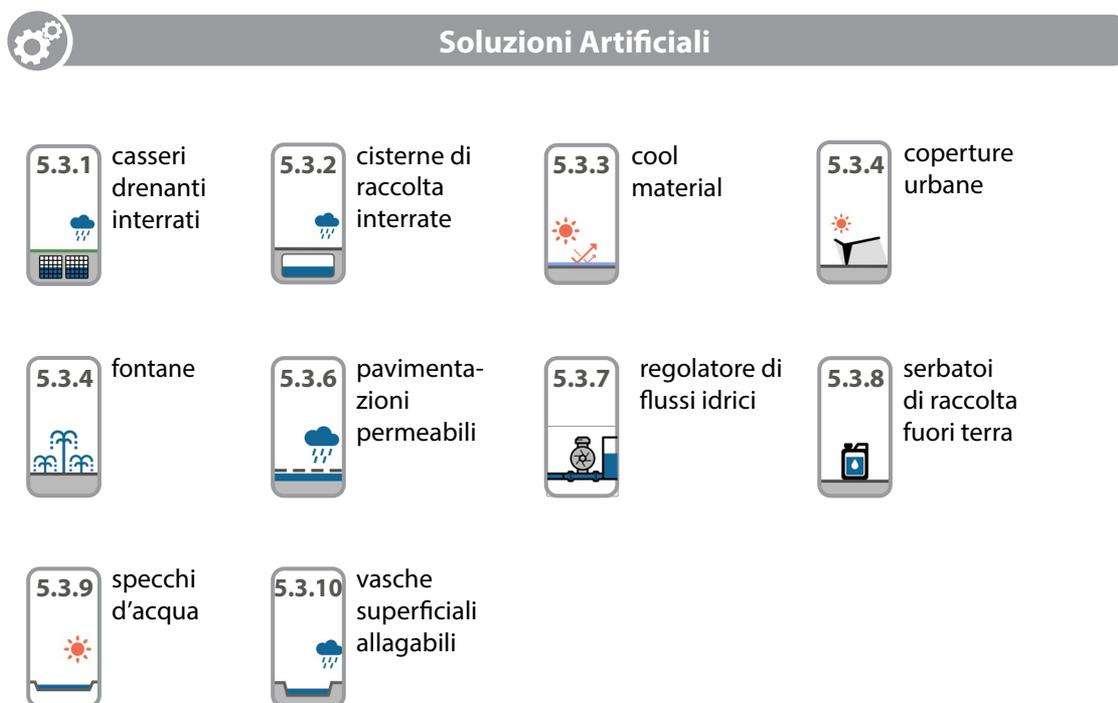


Fig. 2 - Elenco completo delle soluzioni artificiali di adattamento climatico desunte dai casi di studio.

Nella sezione dei “benefici ambientali, sociali ed economici” vengono descritte le ulteriori ricadute benefiche apportate dall’introduzione della soluzione progettuale di adattamento. Tra i principali benefici riscontrabili, oltre a quelli di adattamento climatico, è possibile individuare altri effetti vantaggiosi. A titolo di esempio, l’introduzione di soluzioni progettuali adattive genera un miglioramento dell’ambiente urbano che incide direttamente sulla salute dei cittadini e sulla loro qualità della vita ed è capace di dare luogo ad un ritorno economico per il contesto urbano di intervento e la città intera.

I limiti e problematiche di applicabilità descrivono i principali vincoli di impiego delle soluzioni di adattamento ed eventuali problematiche da tenere in considerazione sia nella fase progettuale che in quella realizzativa.

L’ultima sezione concerne gli aspetti manutentivi, nella quale vengono indicate le principali attività per la cura e il corretto funzionamento della soluzione progettuale di adattamento. Tra queste operazioni alcune sono più frequenti, mentre altre si riferiscono a casi di danneggiamento o a lavori di manutenzione meno ricorrenti.

5.2 - Nature Based Solutions

Le alternative progettuali denominate *Nature Based Solutions* comprendono tutti gli elementi tecnici e architettonici caratterizzati da soluzioni vegetali e/o minerali naturali. Queste rappresentano soluzioni capaci di incrementare il grado di adattamento climatico urbano, sono economicamente convenienti e comportano significativi benefici climatici, ambientali, sociali, economici e alla salute fisica e mentale dei cittadini (Mussinelli et al., 2020a).

Le *Nature Based Solutions* possono essere ampiamente utilizzate all'interno dei contesti urbani sia nello spazio aperto come parchi, giardini, piazze, parcheggi, corti, che nei luoghi edificati come le facciate e le coperture degli edifici. La loro applicazione sistemica all'interno delle città permette di costruire o rigenerare importanti infrastrutture ecologiche naturali, verdi e blu, contribuisce a fornire significativi servizi ecosistemici e aumenta in maniera rilevante la biodiversità animale e vegetale (Mussinelli et al. 2020b).

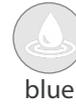
Le soluzioni *Nature Based* nelle pratiche di adattamento rappresentano alternative progettuali estremamente efficaci in quanto sono in grado di contrastare contemporaneamente le pericolosità climatiche delle temperature elevate, quali le isole di calore urbane e le ondate di calore, e delle precipitazioni estreme, che causano allagamenti urbani tipo *flash flood* o *pluvial flooding*. Inoltre, grazie all'ampia varietà di specie vegetali che si possono inserire in ciascuna alternativa progettuale, queste soluzioni sono particolarmente adeguate a resistere a tutte le criticità climatiche indagate dalla ricerca.

Questa tipologia di soluzione è in grado di fornire contributi sia per l'adattamento che per la mitigazione climatica, infatti se da un lato è in grado di rispondere agli eventi clima estremi dall'altro offre contributi significativi in termini di assorbimento di anidride carbonica e di abbattimento dei principali agenti inquinanti urbani tra cui anche le polveri sottili (Mussinelli et al. 2020a). In definitiva le *Nature Based Solutions* promuovono lo sviluppo di un'urbanizzazione sostenibile basata sulla natura e sul ripristino dei suoi cicli spontanei, stimolando una crescita economica *green*, migliorando l'ambiente di vita e proteggendo dalle presenti e futuri criticità del clima provocate dal surriscaldamento globale.

5.2.1 alberature



Tipologia di soluzione



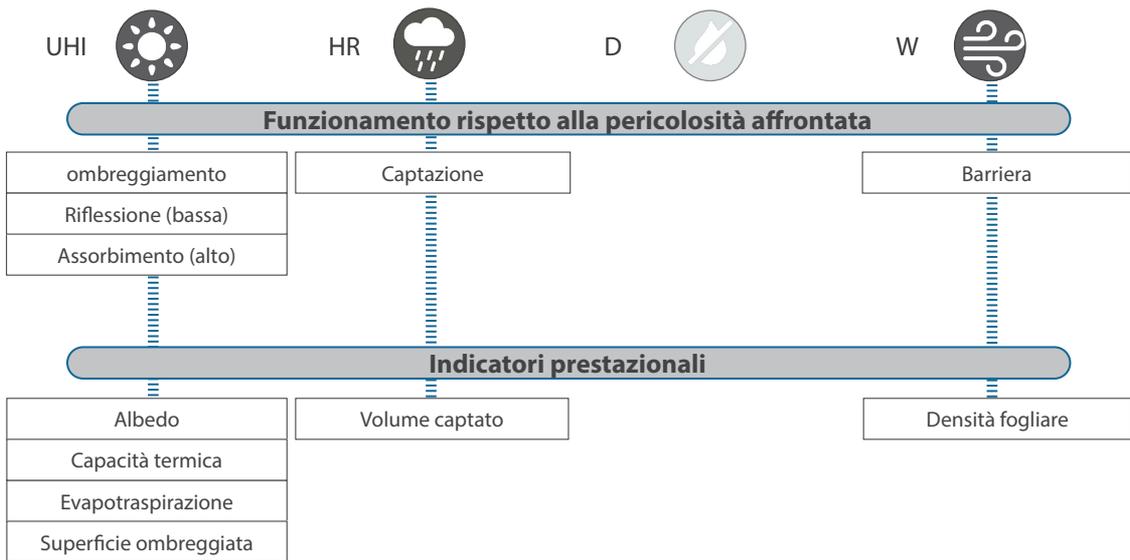
Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Parametri caratteristici per il progetto

scelta della specie
chioma e densità fogliare
struttura verticale
presenza stagionale delle foglie
struttura al suolo
durata di vita della pianta

Benefici ambientali sociali ed economici

miglioramento estetico dell'area
incremento valore economico dell'area
riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento
riduzione del rumore
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
incremento della biodiversità dell'area
incremento del valore paesaggistico
assorbimento della CO2

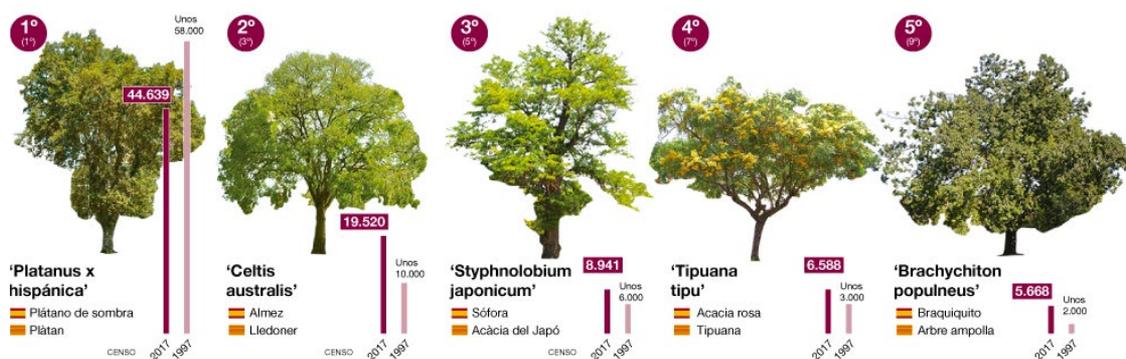


Fig. 1 - Le alberature più frequenti a Barcellona (Source:ElPeriodico.com)

Tipologia di soluzione

Le alberature rientrano tra le soluzioni *nature based* e possono essere classificate come soluzioni *green* puntuali nonostante queste siano spesso associate a strategie che ne prevedono l'inserimento in filari lineari, tipo corridoi verdi, oppure in masse vegetali, tipo boschi o foreste urbane. Il contributo delle alberature, in termini di mitigazione e adattamento, aumenta all'incrementare del numero delle piante inserite, della specie e della grandezza dell'albero. La disposizione delle alberature inoltre influisce sulle prestazioni microclimatiche e può da un lato favorire flussi d'aria rinfrescanti nei periodi estivi e, dall'alto proteggere da venti freddi invernali.

Ambito urbano di applicazione

Le alberature hanno un'estrema versatilità applicativa, infatti possono essere applicate in tutti gli elementi dello spazio urbano sia aperto che edificato. In particolare, possono essere inseriti in sistemi lineari o in forma di boschi nei parchi urbani, nelle piazze e nei giardini, oppure essere disposte singolarmente o in linea lungo le strade e nei parcheggi. Per quanto attiene l'edificato le alberature possono far parte delle facciate, ad esempio inserite nelle terrazze, o essere piantate nei tetti, come nei casi delle coperture verdi intensive. L'integrazione delle alberature negli edifici necessita di un approfondito studio sui carichi strutturali, in quanto aumentano i carichi permanenti. Inoltre le azioni più intense degli agenti atmosferici come le raffiche di vento e le tempeste di pioggia possono causare fenomeni di sradicamento, danneggiamento e ribaltamento della pianta.

Pericolosità climatiche affrontate

Le alberature sono in grado di affrontare in maniera adattiva i fenomeni climatici estremi che si abbattano sull'ambiente costruito quali le temperature elevate, le precipitazioni estreme e le tempeste di vento. Inoltre, rimuovono gli inquinanti atmosferici e le polveri sottili presenti in città, migliorando la qualità dell'aria, la salute e il benessere degli abitanti.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Le alberature operano sul raffrescamento dell'ambiente urbano e contrastano i fenomeni climatici delle temperature elevate attraverso la riflessione solare, l'assorbimento delle radiazioni solari,

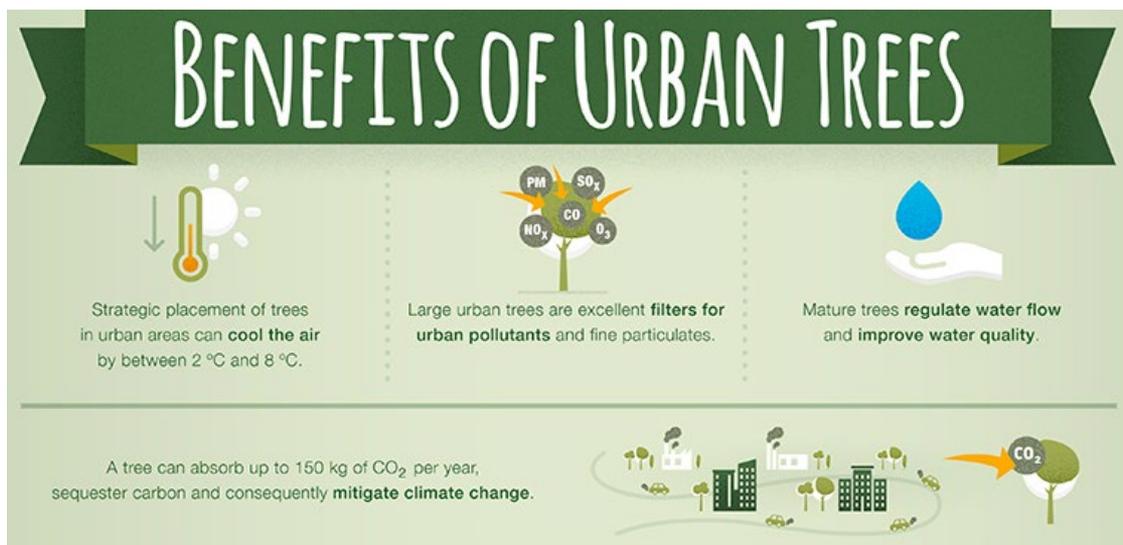


Fig. 2 - I benefici degli alberi in ambiente urbano (Source: Food and Agriculture Organization of the United States)

l'evapotraspirazione e l'ombreggiamento della chioma. Le piante riflettono il 20% della radiazione solare, ne trasmettono il 10% al terreno mentre la maggior parte di essa viene riemessa sotto forma di calore sensibile (20%) e di calore latente (48%), attraverso i naturali fenomeni evaporativi e traspirativi della pianta (Salomoni, 2018).

L'evapotraspirazione è costituita dai fenomeni di traspirazione ed evaporazione. Nel primo le piante assorbono l'acqua presente nel suolo attraverso le radici e la trasmettono in forma liquida agli apparati fogliari. Qui l'acqua passa dallo stato liquido a quello di vapore e viene diffuso nell'atmosfera. Questo fenomeno, insieme a quello di evaporazione diretta del suolo costituiscono il fenomeno dell'evapotraspirazione. Nel fenomeno dell'ombreggiamento, invece, le alberature con la loro chioma sono in grado di proteggere dalle radiazioni solari impedendo alle superfici e agli ambienti urbani di accumulare calore e surriscaldarsi per effetto dell'irraggiamento solare diretto. In particolare, le latifoglie favoriscono maggiormente i fenomeni evapotraspirativi e di ombreggiamento risultando più appropriate per ridurre le elevate temperature.

Pertanto, possiamo considerare indicatori prestazionali adatti a valutare l'efficienza prestazionale delle alberature rispetto alla specifica criticità climatica delle temperature elevate l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le alberature sono in grado di intercettare e immagazzinare, attraverso le foglie, i rami e la superficie del tronco, ingenti volumi di pioggia, riducendo la quantità di acqua che arriva al suolo e, di conseguenza, il volume di deflusso urbano (*runoff*). La quantità di acqua piovana intercettata dalla chioma delle alberature varia in funzione dell'intensità della precipitazione, della sua durata, della presenza di luce solare, della temperatura atmosferica, dell'umidità, della velocità del vento e della specie di albero. La quantità di acqua raccolta dalla pianta rappresenta pertanto un indicatore prestazionale per misurare l'efficacia rispetto alla criticità climatica delle piogge estreme.



Fig. 3 - Tree for Life, il Masterplan degli alberi di Barcellona 2017-2037 (Source: Ajuntament de Barcelona)

Tempeste di vento

Le alberature possono influire positivamente nel contrasto alle forti correnti ventose. Questa soluzione se disposta in maniera aggregata e perpendicolarmente alla direzione dei venti più intensi è in grado di smorzare le pericolose raffiche che possono colpire gli elementi più vulnerabili del sistema urbano. La loro presenza in forma di barriera lineare o massa compatta consente di ridurre significativamente i danni agli edifici e allo spazio aperto e conseguentemente di ridurre il rischio per persone e cose. Tra gli indicatori prestazionali per misurare l'efficacia della soluzione possiamo inserire la densità fogliare, che definisce la "permeabilità" di una determinata specie alle raffiche di vento.

Aspetti progettuali e costruttivi

La scelta dell'alberatura più adeguata a rispondere alle criticità climatiche va valutata attentamente in relazione al contesto urbano nel quale si inserisce. Infatti, la sua funzione adattiva può aumentare o diminuire in relazione alla morfologia del contesto (altezza degli edifici, larghezza dei canyon stradali, tipologia di tessuto urbano) e alle caratteristiche dell'ambiente urbano in cui si inserisce (presenza di superfici naturali, presenza di piante, presenza di elementi idrici). A titolo esemplificativo, l'effetto di riduzione dell'isola di calore può essere maggiore se la pianta è collocata in un tessuto residenziale aperto in cui oltre alle alberature stradali sono presenti giardini condominiali e alberature condominiali. Viceversa, il suo effetto di corridoio verde che convoglia le brezze estive può risultare ridotto se le alberature vengono poste secondo barriere perpendicolari alla direzione del vento, ostacolandone i flussi.

Un ulteriore aspetto da tenere in considerazione è la distanza tra le alberature stesse e gli altri elementi urbani. Nello specifico, è fondamentale individuare la corretta distanza tra le sedi stradali destinate alle automobili e la distanza dagli edifici.

L'irrigazione e il drenaggio sono infine parametri fondamentali per la vita stessa della pianta. La scelta della pianta dovrà essere effettuata in maniera da rispondere in maniera adattiva alle principali pericolosità climatiche che si manifestano nell'area di progetto. Per questo motivo è utile che le amministrazioni pubbliche abbiano un quadro climatico locale aggiornato in cui

sono evidenziate le principali pericolosità e gli impatti climatici della zona. Risulta pertanto fondamentale sviluppare una adeguata valutazione della criticità climatica nelle aree urbane per individuare l'alberatura giusta da inserire nel posto giusto.

Inoltre, se le alberature vengono disposte all'interno di una struttura urbana in maniera parallela alla direzione dei venti prevalenti estivi possono fungere da corridoi verdi del vento convogliando le brezze estive e raffrescando l'ambiente urbano.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici da tenere in considerazione quando si sviluppa un progetto di adattamento che prevede l'inserimento delle alberature riguardano principalmente la scelta della specie. Da questa infatti dipendono:

- la chioma e la densità delle foglie, che attraverso la loro dimensione e la loro forma definiscono il grado di ombreggiamento al suolo e un maggiore o minore adattamento alle elevate temperature e alle piogge estreme;
- la struttura verticale, rappresentata dall'altezza, dalla profondità e dal portamento della chioma dell'albero (conico, globoso, piangente, etc.);
- la presenza delle foglie nel corso delle diverse stagioni;
- la struttura al suolo, che comprende oltre alla dimensione della fossa in cui è inserita la pianta anche la tipologia di terreno;
- la durata di vita della pianta in città, l'accrescimento negli anni e la sua grandezza finale.

Tutti questi parametri sono da valutare in relazione a criteri estetici, economici, tecnici e operativi, propri del progetto architettonico e, nello specifico, influiscono sia sulle criticità termiche che su quelle idrauliche.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le alberature possono migliorare significativamente l'ambiente urbano e in particolare:

- migliorano l'aspetto estetico del paesaggio urbano;
- incrementano il valore economico delle aree urbane in cui vengono inseriti;
- riducono il consumo energetico annuo degli edifici moderando il microclima locale, operando da barriera protettiva nei mesi estivi e permettendo alla luce solare di filtrare e riscaldare durante i mesi invernali;
- riducono il rumore operando da barriera fonoassorbente;
- creano ambienti ospitali per la flora e la fauna, premettendo a diverse specie di prosperare;
- alcune specie di alberi possono essere una fonte di cibo;
- assorbono e immagazzinano anidride carbonica, riducendo la presenza di CO₂ in atmosfera.

Limiti e problematiche di applicabilità

Le alberature presentano anche dei limiti di applicabilità, tra queste è utile ricordare:

- i Componenti Organici Volatili (COV) spesso percepiti come profumi rilasciati da fiori, frutti e resine, sono rilasciati dalle piante e aumentano la formazione di ozono. Pertanto, nelle aree urbane ad elevata concentrazione di gas inquinanti, come strade ad alto traffico o aree produttive, è consigliato inserire piante caratterizzate da una bassa produzione di COV e una elevata resistenza all'inquinamento;
- le dimensioni dello spazio di piantumazione destinato all'apparato radicale costituisce una delle principali problematiche nell'applicabilità delle alberature. Molto spesso l'insufficiente

spazio per l'apparato radicale, causato dall'erronea scelta della specie arborea o del suo sviluppo nel tempo possono portare a diversi tipi di danneggiamento della sede carrabile o ciclo-pedonale e nei casi più critici, se le azioni degli agenti atmosferici sono estreme anche al ribaltamento o al danneggiamento della pianta;

- il volume di spazio urbano libero adatto ad ospitare la pianta durante il suo naturale sviluppo, dalla messa a dimora fino alla grandezza finale.

Tra le problematiche connesse all'inserimento delle alberature è utile ricordare anche la resistenza a parassiti o altre tipologie di patologie delle piante che possono insorgere e compromettere la vita stessa dell'albero. Nei casi più gravi la presenza di malattie può portare alla decisione di soppressione della pianta riducendo drasticamente il suo ciclo di vita e vanificando il costo di messa a dimora, in definitiva rendendo non sostenibile la sua installazione.

Aspetti manutentivi

La manutenzione delle alberature è un'attività complessa che richiede competenze specifiche e qualificate. Questa è fondamentale per mantenere un elevato grado di efficienza rispetto alle pericolosità climatiche, evitare danni alle persone, alle cose (automobili, sede stradale, etc.) e all'ambiente urbano.

5.2.2 bacini vegetati inondabili

Tipologia di soluzione


 green

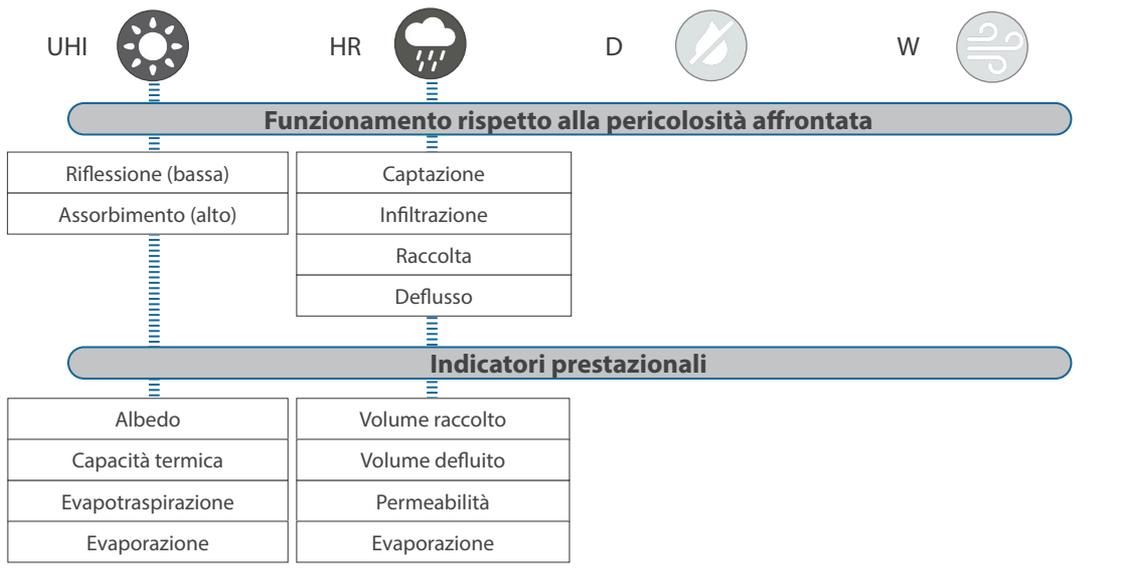

 grey


 blue

Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione							
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Parametri caratteristici per il progetto
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
specie delle piante (se previste)
specie delle alberature (se previste)

Benefici ambientali sociali ed economici
realizzazione di aree multifunzionali per i residenti
incremento della biodiversità dell'area
incremento del valore paesaggistico
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere



Fig. 1 - Bacino inondabile all'interno del Chulalongkorn University Centenary Park (Source: Landezine)

Tipologia di soluzione

I bacini vegetati inondabili appartengono alla tipologia delle soluzioni *green&blue* in quanto sono basate sulla natura (*nature based solution*) e sono costituite da estese aree di superficie naturale permeabile che, in caso di eventi meteorici estremi, possono essere allagate dall'acqua. I bacini inondabili sono rappresentate da aree vegetate poco profonde che per la maggior parte del tempo rimangono asciutte, infatti, questa soluzione entra in azione solamente in condizioni di precipitazioni estreme caratterizzate da tempi di ritorno decennali oppure centennali.

I bacini vegetati inondabili possono essere di due tipologie:

- connessi al sistema di smaltimento idrico tradizionale e utilizzate anche in condizioni meteorologiche ordinarie;
- disconnessi dal sistema di smaltimento idrico tradizionale ma che assolvono alla funzione di scolmatori di piena nel caso in cui si raggiunga la soglia massima di troppo pieno nei sistemi idrici di deflusso urbano.

Ambito urbano di applicazione

I bacini vegetati inondabili, per la loro intrinseca caratteristica di essere ampie aree verdi, necessitano di un luogo di applicazione che presenti una elevata estensione superficiale, per questo motivo il loro inserimento nei tessuti urbanizzati più densi necessita della presenza di un'estesa area urbana vuota, preferibilmente con un carattere naturalistico, tipo un parco o un giardino. Questa soluzione può essere inserita anche in aree urbane dismesse, a patto che non vi sia il rischio di inquinamento delle acque sotterranee e nel caso in cui siano predisposte opportune soluzioni tecniche, come ad esempio strati impermeabilizzanti e/o separativi tra il bacino inondabile e l'eventuale presenza della falda acquifera.

Pericolosità climatiche affrontate

Il bacino vegetato inondabile è in grado di rispondere in maniera efficace alle ingenti precipitazioni estreme (può stoccare temporaneamente grandi quantità di acqua) e alle temperature elevate, specialmente alle isole di calore urbane e alle ondate di calore. Questa soluzione, infatti, se integrata con le alberature, permette di creare dei luoghi freschi nel quale rifugiarsi durante i fenomeni di temperature estreme grazie all'elevata presenza di aree verdi permeabili e zone d'ombra.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Per quanto concerne le temperature elevate la presenza di una vasta superficie erbosa naturale favorisce il raffrescamento principalmente grazie ai fenomeni di bassa riflessione solare, alto assorbimento della radiazione solare ed evapotraspirazione dell'area a prato, al quale si sommano eventuali contributi (se progettati) di ombreggiamento dovuti alle alberature.

Quando si parla di elementi a prevalente sviluppo superficiale entrano in gioco due parametri fondamentali per la misurazione del comfort termico: l'albedo e l'emissività. Il primo parametro definisce la capacità dei materiali di riflettere la radiazione solare, mentre il secondo misura la capacità di riemettere energia per radiazione termica. Nel caso specifico del bacino vegetato inondabile, il manto erboso presenta un valore di albedo relativamente basso che però viene compensato dalla capacità delle superfici naturali di assorbire la radiazione solare e impiegarla nei naturali processi fisiologici del verde, tra cui l'evaporazione e la traspirazione.

Anche in questo caso possiamo identificare tra gli indicatori prestazionali maggiormente significativi l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

All'interno del bacino vegetato inondabile le acque meteoriche vengono stoccate e, secondo il naturale ciclo idrologico, infiltrate nel terreno, evaporate naturalmente dal suolo o traspirate dalla vegetazione presente. In particolare, la presenza di piante depuranti oltre al consueto manto erboso, consente un processo di depurazione dell'acqua dai principali agenti inquinanti presenti nell'aria.

Aspetti progettuali e costruttivi

I bacini verdi inondabili possono essere caratterizzati da una morfologia fluida, dedita ad ospitare ingenti quantità di acqua. La zona centrale deve essere ribassata rispetto alle sue sponde le quali devono essere contraddistinte da una quota più elevata, anche al pari del livello stradale. L'area del bacino deve essere caratterizzata da quote del terreno variabili e inclinate verso la zona più profonda in cui avviene lo stoccaggio e la naturale filtrazione nel terreno.

Per garantire l'efficacia della soluzione occorre accertarsi che i flussi idrici siano distribuiti uniformemente su tutta la larghezza del bacino e a tale scopo risulta utile prevedere più aree di raccolta dell'acqua degradanti. Nello specifico, la zona di ingresso dei flussi idrici rappresenta un'area particolarmente critica per la velocità che può raggiungere l'acqua, per questo motivo è utile prevedere dei sistemi naturali, come ad esempio dei massi o delle banchine di pietrame, per ridurre la velocità e sedimentare il materiale solido convogliato dalle piogge.

Nel caso in cui vi sia la necessità (o l'esigenza) si possono prevedere delle aree umide permanenti nella zona più profonda integrando il bacino con piante depuranti maggiormente resistenti all'acqua. Questa soluzione permette di concentrare la raccolta giornaliera dell'acqua in aree specifiche ed evitare il rischio diffuso di impaludamento del bacino. Il bacino può inoltre essere integrato da arbusti in grado di stabilizzare il terreno in corrispondenza delle sponde.

Nella progettazione di un'area verde inondabile è opportuno dimensionare la capacità di raccolta e stoccaggio in relazione ad un evento di pioggia raro - con tempi di ritorno centennali o maggiori - prevedendo uno scolmatore di piena, nel caso in cui si manifesti un evento meteorico che supera questa capacità di accumulo.

La profondità del bacino dipende dalla zona in cui si colloca, dalla tipologia e dalla funzione che

deve assolvere. Generalmente in contesto urbano la profondità è ridotta, non sono previste aree umide e le acque meteoriche vengono stoccate per un periodo che non deve eccedere le 48-72 ore.

Parametri caratteristici

I principali parametri caratteristici che influiscono nella progettazione di un bacino vegetato inondabile sono:

- il volume di acqua da raccogliere nei differenti eventi pluviometrici, che è strettamente correlato alla sua estensione superficiale e alla profondità di progetto prevista;
- il tasso di infiltrazione del terreno, che dipende dalle proprietà del suolo e degli strati geologici attraverso i quali l'acqua filtra per arrivare alla falda idrica. Questo parametro viene misurato con il coefficiente di permeabilità (Ksat) che utilizza come unità di misura i cm/h e può variare da molto basso a molto alto;
- la specie delle piante da inserire all'interno della zona più profonda nel caso in cui si preveda un'area umida permanente;
- la specie delle alberature da inserire sulle sponde del bacino, nel caso in cui si preveda la presenza di piante ad alto fusto stabilizzanti.

Benefici ambientali e socioeconomici

L'inserimento di bacini verdi inondabili porta anche ulteriori benefici al progetto, tra cui:

- la possibilità di realizzare all'interno del bacino aree con funzioni ricreative destinate alla comunità residente, permettendo la creazione di nuove aree attrattive;
- la possibilità di incrementare la biodiversità dell'area con la presenza di piante ed animali;
- la possibilità di realizzare una rigenerazione urbana estesa con un elevato grado paesaggistico.

Limiti e problematiche di applicabilità

Uno dei maggiori limiti di questa soluzione è costituito dalla necessità di avere a disposizione una estesa superficie, preferibilmente di carattere naturale, dove poter inserire il bacino vegetato inondabile. Questo aspetto ne limita enormemente l'applicabilità negli interventi di rigenerazione urbana finalizzata all'adattamento climatico soprattutto nelle città più densamente urbanizzate.

Tra le criticità riscontrabili nei bacini vegetati inondabili troviamo:

- il possibile ammassamento di materiale residuale e rifiuti nelle zone depresse trasportate dai flussi idrici, in particolare, questa problematica può provocare l'insalubrità dell'area e la sua svalutazione;
- la presenza di zone umide permanenti, che nonostante rappresenti una pratica largamente diffusa e praticata, può causare la presenza di cattivi odori e di zanzare, risultando poco attraente per i residenti. Inoltre, la progettazione di questo tipo di soluzione necessita di un attento studio climatico per evitare il rischio che l'area umida permanente si possa prosciugare in caso di eventi siccitosi.

Aspetti manutentivi

Le principali attività manutentive riguardano:

- la necessità di pulizia dei fondali da sedimenti e rifiuti che si possono accumulare nel tempo con il normale impiego;
- il controllo e la pulizia dei sistemi di versamento dell'acqua in entrata e in uscita dal bacino;
- lo sfalcio periodico del manto erboso.

5.2.3 bacini vegetati umidi (stagni)



Tipologia di soluzione



Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione								
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata	
spazio aperto						edificio		

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Assorbimento (alto)	Captazione
Riflessione (bassa)	Infiltrazione
	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

Capacità termica	Volume raccolto
Evaporazione	Volume defluito
Evapotraspirazione	Permeabilità
Albedo	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
specie delle piante (se previste)
specie delle alberature (se previste)
Bilancio idrico

Benefici ambientali sociali ed economici
miglioramento estetico dell'area
realizzazione di area ricreativa per i residenti
incremento del valore paesaggistico
incremento della biodiversità dell'area
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
assorbimento della CO2 parco
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere



Fig. 1 - Esempio di un bacino vegetato umido all'interno del Weiliu Wetland Park a Xianyang in China (Source: Yifang Ecoscape)

Tipologia di soluzione

Gli stagni e i bacini vegetati umidi appartengono alla tipologia delle *green&blue solutions* e sono delle soluzioni *nature based*, in particolare, sono caratterizzati da invasi naturali o artificiali con differenti livelli di profondità in cui è presente in maniera permanente uno specchio d'acqua. Lo stagno presenta una superficie d'acqua maggiore nelle zone più profonde mentre il bacino umido è caratterizzato da una prevalenza di aree vegetate con profondità più modeste. Tra le caratteristiche comuni ad entrambe le soluzioni è possibile riconoscere: la presenza costante dell'acqua e la predisposizione a livelli idrici variabili che dipendono dalla quantità di acqua che di volta in volta fluisce nello stagno o nel bacino umido. Grazie a queste caratteristiche simili e al perseguimento dei medesimi obiettivi nelle pratiche di adattamento climatico, le due soluzioni vengono spesso accorpate in un'unica soluzione progettuale in grado da un lato, di raffreddare la temperatura dell'aria, dall'altro, di raccogliere, depurare e infiltrare le acque meteoriche generate dalle piogge estreme.

Gli stagni e i bacini umidi possono essere inseriti a monte, impedendo alle acque di pioggia di raggiungere le fognature, o a valle, trattando le acque di sfioro. La soluzione a valle consiste nel realizzare vasche connesse alla rete che accumulano le acque più inquinate per poi reimmetterle nel collettore fognario e inviarle al depuratore, una volta terminate le piogge. Un'alternativa è rappresentata dalle tecniche di depurazione naturale in cui le acque di sfioro sono accumulate e trattate in sito mediante fitodepurazione a "flusso sommerso", eliminando la necessità di rinviarle al depuratore. Questo tipo di impianto, ampiamente adottato anche in ambiti urbanizzati, lavora senza che l'acqua rimanga in superficie durante i periodi secchi.

Ambito urbano di applicazione

Gli stagni e i bacini vegetati umidi possono essere applicati in maniera estesa all'interno di parchi oppure, in modo più circoscritto nei giardini urbani. L'applicazione di tale soluzione può risultare più semplice nei tessuti urbani maggiormente aperti, i quali presentano un più ampio spazio a disposizione per la loro installazione. Inoltre, gli stagni e i bacini vegetati umidi possono essere applicati negli interventi di nuova realizzazione, in opere di rigenerazione ai fini dell'adattamento climatico e di riqualificazione urbana.

Pericolosità climatiche affrontate

Gli stagni e i bacini vegetati umidi rispondono alle pericolosità climatiche delle temperature elevate,

tra cui le isole di calore urbane e le ondate di calore, e alle precipitazioni estreme, che causano allagamenti pluviali urbani istantanei, riconoscibili come *flash flood*. Data la loro caratteristica di zona umida soffrono particolarmente dei fenomeni siccitosi e necessitano di essere costantemente riforniti d'acqua al fine di mantenere un adeguato bilancio idrico del bacino.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

La presenza all'interno del bacino umido di una massa d'acqua permanente consente allo stagno di mantenere una temperatura superficiale inferiore rispetto a quella dell'aria. Questa capacità di autoregolazione termica è dovuta alla capacità di accumulo del calore della massa termica dell'acqua. Inoltre, i naturali processi di evaporazione dell'acqua e di bassa riflessione solare, alto assorbimento della radiazione solare ed evapotraspirazione delle aree vegetate naturali, consentono alla soluzione di raffrescare l'ambiente nelle immediate vicinanze abbassando la temperatura dell'aria. Questo fenomeno di adattamento termico può essere incrementato con l'integrazione di ulteriori soluzioni di adattamento naturali, quali ad esempio alberature, e in condizioni di ventosità favorevole che permettono un naturale raffrescamento grazie alle brezze.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Il fenomeno delle piogge estreme viene contrastato dagli stagni e dai bacini vegetati umidi attraverso la raccolta, l'evaporazione e l'infiltrazione naturale nel terreno delle acque meteoriche. Nello specifico, grazie alla raccolta ingenti volumi idrici generati da fenomeni pluviali improvvisi e intensi possono essere incanalati nell'area dello stagno e del bacino umido innalzando il livello idrico ed evitando il sovraccarico del sistema idraulico tradizionale. Durante il periodo di stoccaggio nell'area umida avvengono i naturali processi di traspirazione delle piante ed evaporazione delle superfici naturali vegetate e dell'acqua. Inoltre, grazie all'infiltrazione nel sottosuolo una parte dell'acqua viene naturalmente infiltrata nel terreno.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le morfologie che possono assumere gli stagni o i bacini vegetati umidi sono relazionate al contesto urbano in cui si inseriscono, al tipo di terreno e alla vicinanza con altri corpi idrici oppure elementi edificati. Questa soluzione progettuale di adattamento può essere caratterizzata da aree di diversa profondità. Nello specifico è sempre utile prevedere in fase di progetto:

- una zona di ingresso contraddistinta da elementi rompi-flusso, come ad esempio dei blocchi di pietra o una banchina di materiale permeabile (ad esempio pietrame), che possono ridurre la velocità dei flussi d'acqua in entrata e permettere la sedimentazione dei materiali solidi convogliati dalle piogge;
- un'area di laminazione interessata da allagamento nel caso di evento estremo di pioggia. Quest'area può raccogliere l'acqua per un massimo di 24/48 in modo da garantire l'utilizzo della soluzione ad un successivo evento di pioggia;
- una zona di uscita caratterizzata da flussi d'acqua con velocità ridotta per evitare il rischio di sollevamento dei sedimenti depositati e l'ostruzione dei sistemi di uscita dell'acqua;
- un sistema di scolmo dovuto al "troppo pieno", che entra in azione in caso di eventi pluviometrici estremi che superano le capacità previste dal progetto.

Gli stagni e i bacini umidi vegetati sono generalmente non impermeabilizzati se non nel caso in cui il sito di progetto sia stato oggetto di contaminazioni oppure di funzioni specifiche che

possono contaminare le falde acquifere. Risulta comunque sempre opportuno prevedere dei sistemi di impermeabilizzazione alla base che ne riducano l'eccessiva infiltrazione nel suolo.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri da tenere in considerazione nella progettazione di uno stagno o bacino vegetato umido riguardano:

- il volume di acqua da gestire in caso di eventi pluviali estremi, in considerazione dei differenti tempi di ritorno che possono essere decennali, cinquantennale, centennali, etc.;
- il bilancio idrico del bacino, attraverso la quantificazione dell'acqua necessaria da immettere nello stagno e/o bacino umido vegetato per garantire un adeguato livello idrico e la sopravvivenza delle specie vegetali;
- il tasso di infiltrazione del terreno, che dipende dalle proprietà del suolo;
- la specie delle piante acquatiche da inserire nello stagno e/o nel bacino umido vegetato;
- la specie delle alberature da inserire sulle sponde dello stagno e/o del bacino nel bacino umido vegetato.

Benefici ambientali e socioeconomici

Gli stagni e i bacini vegetati umidi hanno una significativa rilevanza attrattiva per la loro rilevante valenza estetica. Queste soluzioni naturalistiche, infatti, sono spesso inserite all'interno di ampie aree verdi di cui ne aumentano la biodiversità e il valore paesaggistico. Inoltre, attraverso l'impiego di vegetazione acquatica, emergente oppure sommersa, i bacini vegetati sono in grado di rimuovere i principali inquinanti presenti nell'acqua.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali problemi legati all'applicabilità della soluzione concernono:

- la necessità di un'ampia estensione superficiale;
- la necessità di mantenere un adeguato bilancio idrico dello stagno o del bacino umido attraverso l'immissione di acqua che compensi i naturali fenomeni di evaporazione e infiltrazione. Questo consente di garantire l'efficacia depurativa delle piante acquatiche ed evitare che possano perire nel caso di prolungati periodi di siccità;

Le principali problematiche invece riguardano la possibile presenza di cattivi odori nel caso in cui l'area di progetto non riceva un'adeguata ventilazione naturale e l'eventuale proliferazione di insetti e zanzare tipiche di un ambiente acquatico.

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi di stagni e bacini umidi vegetati possono essere inseriti:

- la pulizia dalla presenza di possibili rifiuti o detriti;
- lo sfalcio periodico del manto erboso e delle piante acquatiche e, nel caso sia necessario, la sostituzione o l'inserimento di nuove piante;
- il controllo dei sistemi idraulici in entrata e in uscita;
- controllo delle sponde da eventuali erosioni e, nel caso in cui siano danneggiate, la loro riparazione;
- pulizia dai sedimenti che col tempo si possono accumulare sul fondale dalla zona umida.

5.2.4 bioswales (canali vegetati inondabili)



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	---------------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (bassa)	Captazione
Assorbimento (alto)	Infiltrazione
	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

albedo	Volume raccolto
Capacità termica	Volume defluito
Evapotraspirazione	Permeabilità
Evaporazione	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
specie delle piante (se previste)
specie delle alberature (se previste)

Benefici ambientali sociali ed economici

incremento del valore paesaggistico
incremento della biodiversità dell'area
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere

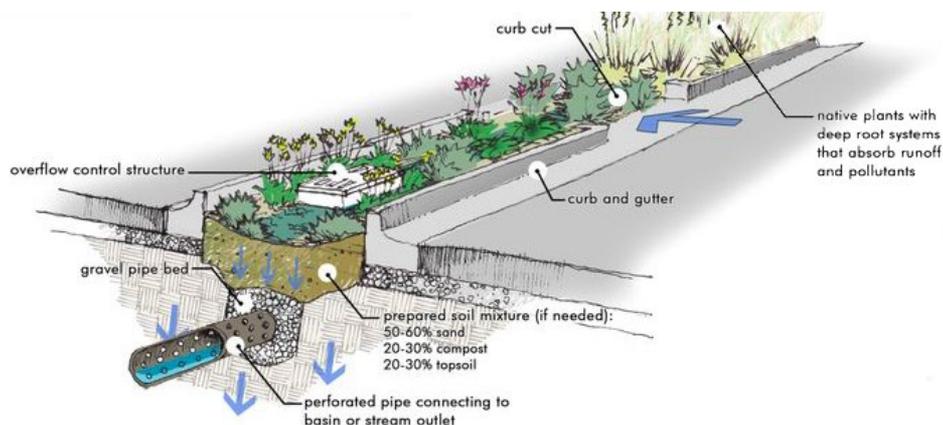


Fig. 1 - Schematizzazione a mano libera di una bioswales (Source: Ecomerge)

Tipologia di soluzione

Il termine *bioswales* identifica dei canali vegetati inondabili appartenenti alla categoria delle soluzioni naturali (*nature based solution*) e riferibili principalmente alle *green&blue solutions*. Questa tipologia di soluzione ha uno sviluppo prevalentemente lineare ed è caratterizzata da un'area vegetata depressa di ridotta profondità e larghezza. La funzione principale delle *bioswales* è quella di convogliare temporaneamente le acque piovane provenienti dalle superfici impermeabili limitrofe, quali strade, piazze, parcheggi, coperture degli edifici. Inoltre la soluzione è in grado di ridurre e ritardare il carico idraulico che fluisce verso il sistema di smaltimento fognario.

Ambito urbano di applicazione

Le *bioswales* trovano larga applicazione nelle aree urbane vista la loro similarità con i canali vegetati, le aiuole o i parterre. Questa soluzione può essere applicata nello spazio aperto urbano come i parchi, le strade, le piazze, i giardini e i parcheggi. Data la loro applicazione al livello del suolo, principalmente caratterizzata da uno sviluppo in linea, questa soluzione può essere applicata anche nelle corti condominiali, interne o lungo la strada, e nei giardini privati.

Pericolosità climatiche affrontate

La principale criticità climatica affrontata dalle *bioswales* si riferisce alle precipitazioni intense che possono generare allagamenti urbani. Nonostante la soluzione sia caratterizzata essenzialmente da superfici naturali stratificate (manto erboso, terreno, ghiaia, etc.) la sua risposta alle isole di calore urbane e alle ondate di calore risulta limitata in quanto la superficie complessiva è ridotta ad una striscia di terreno relativamente modesta.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

La risposta alle isole di calore e alle ondate di calore risulta modesta vista la limitata estensione superficiale della soluzione *bioswales*. Pertanto, la sua risposta termica è minima in quanto si riduce ai soli contributi di bassa riflessione solare, alto assorbimento della radiazione solare, all'evaporazione dell'acqua presente nel terreno e alla traspirazione naturale delle piante nel canale vegetato. Nel caso in cui la soluzione venga integrata da altre soluzioni, come ad esempio

alberature, la risposta alle elevate temperature aumenta in quanto ai normali fenomeni sopra elencati si aggiunge l'evapotraspirazione e l'ombreggiamento prodotto dell'albero.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

La soluzione risponde alle precipitazioni estreme principalmente tramite la raccolta in sito delle acque di pioggia all'interno dei canali vegetati a cielo aperto e all'infiltrazione naturale nel terreno. Al loro interno l'acqua piovana raccolta dal deflusso superficiale scorre ad una velocità ridotta per effetto dell'attrito con la vegetazione. Qui viene temporaneamente trattenuta e infiltrata nel terreno fino a raggiungere un tubo forato per il drenaggio che successivamente la convoglia in un altro sistema di stoccaggio oppure verso la fognatura. In questo sistema è previsto un tubo di scolmo per il "troppo pieno" in caso di eventi estremi.

Aspetti progettuali e costruttivi

I canali vegetati inondabili possono essere asciutti o umidi e sono generalmente progettati con una lieve pendenza che convoglia l'acqua di deflusso in un sistema di raccolta più ampio o in un impianto di depurazione e smaltimento idrico. Per ridurre la velocità di deflusso delle acque nel caso di terreni con pendenze pronunciate è utile prevedere dei sistemi di sbarramento del flusso idrico.

Le *bioswales* possono sostituire i tradizionali sistemi di deflusso idrico urbano come tubazioni interrato, caditoie e pozzetti. Nella loro progettazione è sempre utile prevedere un sistema di scolmo per il troppo pieno in caso di eventi straordinari che eccedono le capacità di progetto. Inoltre, è sempre opportuno prevedere di far convogliare l'acqua all'interno delle *bioswales* dalle sponde laterali in maniera da distribuire i flussi idrici ed evitare un'eccessiva concentrazione in un singolo punto. In alternativa, nel caso in cui le immissioni idriche siano puntuali è utile prevedere adeguati sistemi di dissipazione della velocità di flusso dell'acqua in entrata.

La scelta del manto erboso e delle piante acquatiche rappresentano parametri fondamentali quando si progetta un canale vegetato, queste devono essere particolarmente resistenti a fenomeni siccitosi e tollerare alte concentrazioni saline - potenzialmente presenti sul manto stradale in inverno per il ghiaccio - oli chimici e altri agenti inquinanti aggressivi.

Quanto si progetta una *bioswales* la larghezza nominale del canale è dell'ordine di 1-2 metri, mentre la sua lunghezza può variare in relazione allo sviluppo lineare dell'elemento urbano in cui viene inserita.

Parametri caratteristici per il progetto

I parametri caratteristici da considerare nella progettazione di un canale vegetato inondabile comprendono:

- la portata d'acqua di progetto, in relazione a eventi piovosi di intensità e tempi di ritorno differenti. Nello specifico, questo parametro misura il volume d'acqua che attraversa una sezione di un canale vegetato in un'unità di tempo. Per questo motivo è fondamentale valutare in fase progettuale un'opportuna sezione del canale, definendo le caratteristiche geometriche di larghezza, lunghezza e angolo di inclinazione delle pareti laterali;
- il tasso di infiltrazione, che dipende dal terreno e dai diversi livelli stratigrafici realizzati per la soluzione;
- la specie delle piante acquatiche, da inserire nel canale vegetato inondabile;
- la specie delle alberature, nel caso siano previste nel progetto del canale vegetato inondabile.

Benefici ambientali e socioeconomici

La presenza di piante acquatiche all'interno delle *bioswales* contribuisce a rimuovere agenti inquinanti o sedimenti nel momento in cui l'acqua scorre attraverso la vegetazione o si infiltra nel suolo. I canali vegetati inoltre contribuiscono a creare un paesaggio urbano maggiormente improntato su caratteri naturalistici contribuendo pertanto ad aumentare la biodiversità e fornendo servizi ecosistemici.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti delle bioswales si riferiscono a:

- la necessità di drenare l'acqua entro un massimo di 24/28 ore, che permette alla soluzione di essere preparata ad ospitare eventi meteorici estremi successivi ed evitare la creazione di aree umide di carattere permanente;
- la raccomandazione di inserire le *bioswales* in aree soleggiate per favorire la naturale crescita delle piante acquatiche e del manto erboso.

Tra le principali problematiche è possibile individuare:

- l'utilizzo di *bioswales* umide in aree urbane, che possono provocare zone stagnanti permanenti che generano cattivi odori e la proliferazione di zanzare;
- il rischio di erosione delle sponde.

Aspetti manutentivi

Gli aspetti manutentivi comprendono:

- la pulizia dalla presenza di possibili rifiuti o detriti;
- lo sfalcio periodico dell'manto erboso e delle piante acquatiche e, nel caso sia necessario, la sostituzione o l'inserimento di nuove piante;
- il controllo dei sistemi idraulici in entrata e in uscita;
- controllo delle sponde da eventuali erosioni e, nel caso in cui siano danneggiate, la loro riparazione;
- pulizia dai sedimenti che col tempo si possono accumulare sul fondale dalla zona umida.

5.2.5 fossati vegetati inondabili



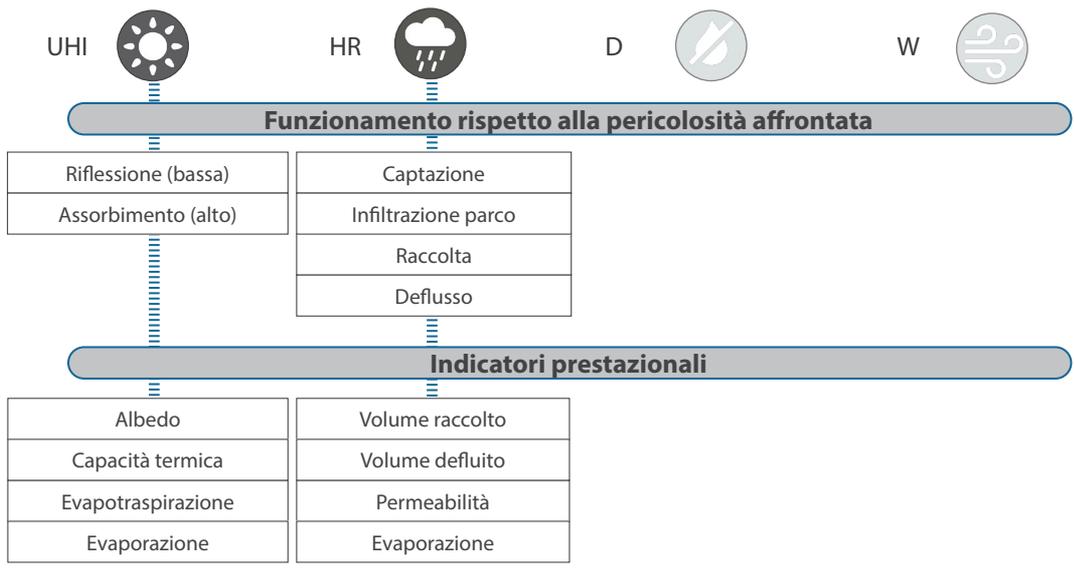
Tipologia di soluzione

 green
  grey
  blue

Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione							
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Parametri caratteristici per il progetto
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
specie delle piante (se previste)
specie delle alberature (se previste)
Bilancio idrico

Benefici ambientali sociali ed economici
incremento del valore paesaggistico
incremento della biodiversità dell'area
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere

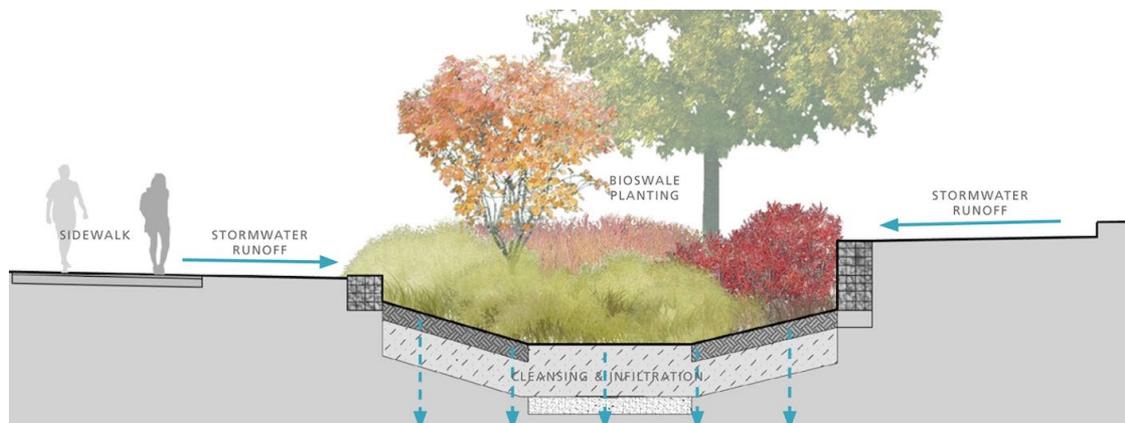


Fig. - Sezione esemplificata di un fossato vegetato inondabile (Source: Cullen Meves Wordpress.com)

Tipologia di soluzione

I fossati vegetati inondabili sono soluzioni *green&blue*, appartengono alle *nature based solution* e sono contraddistinte da aree naturali poco profonde, a prevalente sviluppo lineare e con una significativa larghezza tra le sponde. La larghezza del fossato, in particolare, definisce una delle principali peculiarità della soluzione che la differenzia dalle *bioswales*. Infatti, la soluzione è contraddistinta da una estesa superficie vegetata caratterizzata da manto erboso e piante acquatiche, adibita al controllo di importanti volumi di acqua meteorica a seguito di significativi eventi di pioggia estrema.

Il principio di funzionamento del fossato vegetato inondabile è simile a quello della *bioswales* con l'unica eccezione che, in questo caso, l'acqua che viene immessa al suo interno viene prevalentemente infiltrata in sito. Per questo motivo è sempre opportuno valutare la vulnerabilità di inquinamento della falda acquifera e le caratteristiche di qualità delle acque da infiltrare.

Ambito urbano di applicazione

La vasta area di cui necessitano i fossati vegetati inondabili ne limita la loro applicabilità in ambito urbano. Nello specifico risultano idonee solamente quelle zone che presentano una più estesa superficie libera come i parchi. Nonostante ciò, la soluzione può essere applicata anche nei giardini urbani e nei parcheggi purché quest'ultimi presentino delle ampie aree libere per l'inserimento del fossato. L'applicazione dei fossati vegetati inondabili risulta limitata sia nelle piazze che nei cortili di edifici privati per questioni igieniche.

Pericolosità climatiche affrontate

Le pericolosità climatiche che tentano di affrontare i fossati vegetati inondabili si riferiscono, in maniera prioritaria, alle precipitazioni estreme che generano gli allagamenti urbani e, in secondo luogo, alla lotta contro le temperature elevate, con particolare riferimento al contrasto delle isole di calore urbane e delle ondate di calore. Nonostante la loro funzione primaria sia quella di zone di controllo del deflusso urbano in casi di eventi meteorologici estremi, la loro applicazione diffusa e in sinergia con altre soluzioni di adattamento climatico può portare a un considerevole miglioramento del microclima urbano in quanto la soluzione è prevalentemente costituita da elementi naturali che tendono a dissipare il calore e a non immagazzinarlo.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

I fossati vegetati inondabili contribuiscono al raffrescamento delle temperature dell'aria attraverso la bassa riflessione solare, l'elevato valore di assorbimento della radiazione solare, l'evapotraspirazione della vegetazione e delle piante presenti al suo interno, l'evaporazione dell'acqua presente nel terreno e l'ombreggiamento nel caso siano stati inserite delle alberature. La sua capacità raffrescante incrementa all'aumentare della superficie o delle soluzioni di adattamento connesse ad essa, come ad esempio le già citate alberature o i corsi d'acqua.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

I fossati vegetati inondabili sono finalizzati allo stoccaggio temporaneo e alla graduale infiltrazione nel terreno dell'acqua che giunge al suo interno per naturale deflusso superficiale o perché convogliata da sistemi di canali, naturali o artificiali, superficiali o interrati. Il volume di pioggia dentro il fossato viene smaltito per infiltrazione nel terreno e successivamente canalizzato verso un sistema di smaltimento idrico come può essere la rete fognaria, un bacino di stoccaggio, una vasca di ritenzione.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nella progettazione di un fossato vegetato inondabile è opportuno prevedere dei sistemi di compartimentazione attraverso l'utilizzo di elementi divisorii naturali o artificiali. Questo permette alla soluzione, nel caso di terreno inclinato di ottimizzare la raccolta dei volumi di acqua da stoccare.

Le sponde devono essere progettate in maniera tale da avere la minor inclinazione possibile e possono essere realizzate con elementi minerali, come ad esempio blocchi di pietra, o con materiale naturale, tramite un manto erboso.

Nel caso di evento di pioggia estremo, che supera la capacità drenante di progetto, è sempre opportuno prevedere un sistema scolo per il troppo pieno, che raccoglie le acque in eccesso e le indirizza verso un opportuno sistema di smaltimento idrico.

In analogia con le *bioswales*, anche nella progettazione dei fossati vegetati inondabili la scelta del manto erboso e delle piante acquatiche rappresenta un parametro fondamentale. Questi devono essere particolarmente resistenti a fenomeni siccitosi e tollerare alte concentrazioni saline - potenzialmente presenti sul manto stradale in inverno per il ghiaccio - oli chimici e altri agenti inquinanti aggressivi.

Parametri caratteristici per il progetto

In analogia ai canali vegetati inondabili, i principali parametri caratteristici da tenere in considerazione nella progettazione di un fossato vegetato sono:

- la portata d'acqua di progetto, in relazione a eventi piovosi di intensità e tempi di ritorno differenti. Nello specifico, questo parametro misura il volume d'acqua che attraversa una sezione di un canale vegetato in un'unità di tempo. Per questo motivo è fondamentale valutare in fase progettuale un'opportuna sezione del canale, definendo le caratteristiche geometriche di larghezza, lunghezza e angolo di inclinazione delle pareti laterali;
- il tasso di infiltrazione, che dipende dal terreno e dai diversi livelli stratigrafici realizzati per la soluzione;

- la specie delle piante acquatiche, da inserire nel canale vegetato inondabile;
- la specie delle alberature, nel caso siano previste nel progetto del canale vegetato inondabile.

Benefici ambientali e socioeconomici

I fossati vegetati per le loro intrinseche caratteristiche naturalistiche rappresentano ideali soluzioni paesaggistiche e ottime aree attrattive che incrementano la biodiversità e svolgono importanti servizi ecosistemici. La soluzione può inoltre essere integrata con percorsi pedonali, ciclabili e di fitness all'aria aperta o costituire una zona per lo svago. La presenza all'interno dei canali vegetati di piante acquatiche depuranti permette di filtrare gli agenti inquinanti presenti nell'acqua e di trattenere i sedimenti trasportati dalle piogge.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti dell'applicazione della soluzione comprendono:

- la necessità di una estesa superficie dove poterla realizzare;
- nel caso il sito in cui è inserita la soluzione sia interessato da elementi particolarmente inquinati, che possono rappresentare un rischio per la falda acquifera, è necessario prevedere prima dell'ingresso nel canale vegetato inondabile un dispositivo per la raccolta delle acque di prima pioggia da inviare direttamente al depuratore;
- la necessità di drenare l'acqua entro un massimo di 24/28 ore, per permettere alla soluzione di essere preparata ad ospitare eventi meteorici estremi successivi.

Aspetti manutentivi

Gli aspetti manutentivi comprendono:

- la pulizia dalla presenza di possibili rifiuti o detriti;
- lo sfalcio periodico del manto erboso e delle piante acquatiche e, nel caso sia necessario, la sostituzione o l'inserimento di nuove piante;
- il controllo dei sistemi idraulici in entrata e in uscita;
- controllo delle sponde da eventuali erosioni e, nel caso in cui siano danneggiate, la loro riparazione;
- pulizia dai sedimenti che col tempo si possono accumulare sul fondale dalla zona umida.

5.2.6 coperture vegetate



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	------------------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Ombreggiamento	Captazione
Riflessione (bassa)	Infiltrazione
Assorbimento (alto)	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

Albedo	Volume raccolto
Capacità termica	Volume defluito
Evapotraspirazione	Permeabilità
superficie ombreggiata	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
tipologia del manto erboso
specie delle alberature (se previste)
Bilancio idrico
Portanza strutturale dell'edificio

Benefici ambientali sociali ed economici

realizzazione di area ricreativa per i residenti
coltivazione e/o produzione di cibo
riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento
riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento
incremento della biodiversità dell'area
produzione di energia rinnovabile
incremento dello spazio a disposizione dei residenti
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria



Fig. 1 - Tetto verde intensivo realizzato al “National Campus for the Archeology of Israel” (Source: Zinco Green Roof Systems)

Tipologia di soluzione

Le coperture vegetate sono un rivestimento naturale, caratterizzato principalmente da uno strato di terreno drenante e un manto erboso che può ospitare diverse tipologie di piante. A seconda della grandezza e della tipologia della pianta e dallo spessore del substrato di terreno che si progetta di inserire nella copertura vegetata, questa può assumere due diverse denominazioni, in particolare si parla di:

- copertura vegetata estensiva: nel caso in cui siano presenti in maniera estesa piante basse o manti erbosi con un'elevata capacità di insediamento, resistenti a condizioni meteorologiche estreme, sia idriche che termiche, e con uno strato di terreno minore o uguale a 15 cm;
- copertura vegetata intensiva: nel caso in cui siano presenti piante aromatiche, arbusti e alberature di piccole e medie dimensioni, con uno strato di terreno maggiore di 15 cm.

Le coperture vegetate sono soluzioni *green* appartenenti alle *nature based solutions* in quanto, nonostante prevedano l'inserimento di opportuni strati di separazione, drenaggio e impermeabilizzazione con l'edificio, sono costituite prevalentemente da elementi naturali che si sviluppano a livello di superficie.

Ambito urbano di applicazione

I principali ambiti di applicazione delle coperture vegetate sono gli edifici, sia esistenti che di nuova costruzione. Nonostante questa soluzione si rivolga nello specifico agli edifici contraddistinti da solai piani, in quanto permettono la realizzazione di una vera e propria superficie naturale permeabile, vi sono anche esempi di coperture vegetate inclinate che tuttavia richiedono una maggiore attenzione nella progettazione e realizzazione.

Pericolosità climatiche affrontate

Le principali criticità climatiche che sono in grado di affrontare le coperture vegetate si riferiscono alle temperature elevate, quindi alle isole di calore urbane e alle ondate di calore, e alle precipitazioni estreme, che causano allagamenti urbani provocati dalla enorme quantità di pioggia che si rovescia in un lasso di tempo relativamente breve (*flash flood*).

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Le coperture vegetate agiscono in maniera efficace sul miglioramento del microclima urbano attraverso il naturale effetto di evapotraspirazione del manto erboso e delle piante al suo interno, siano esse aromatiche o piccole alberature. Inoltre, contribuiscono a ridurre il fenomeno del riscaldamento urbano tramite la bassa riflessione e l'elevato coefficiente di assorbimento della radiazione solare dello strato naturale del terreno. Per questo motivo possiamo considerare indicatori prestazionali adatti a valutare la loro efficienza rispetto a questa specifica criticità climatica l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

La soluzione è in grado di raccogliere e trattenere ingenti volumi di acqua piovana in caso di precipitazioni estreme. Questo permette di ritardare l'immissione delle piogge in fognatura e quindi evitarne il sovraccarico idraulico e ridurre il rischio di allagamenti urbani. Le prestazioni idrauliche della soluzione variano a seconda della stagione, in particolare, nel periodo estivo la raccolta è aiutata dal naturale processo di evapotraspirazione, mentre nel periodo invernale il substrato di terreno rimane saturo per gran parte del tempo.

Nonostante la soluzione in condizioni ordinarie riesca a stoccare un'ingente quantità di volume di pioggia, in condizioni straordinarie quando raggiunge la saturazione tende a comportarsi come una normale pavimentazione permeabile. Per questo motivo, l'efficacia di tutte le soluzioni di adattamento dipende in gran parte dalla capacità resiliente del sistema idraulico urbano e, nello specifico, dalla quantità e qualità di soluzioni di adattamento presenti all'interno di quest'ultimo.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le coperture vegetate sono alternative progettuali di adattamento costituite principalmente da uno strato vegetale, un substrato di terreno ricco di sostanze nutritive, uno strato di base filtrante e uno drenante. Il pacchetto stratigrafico naturale deve essere opportunamente isolato da una barriera anti-radice e una guaina impermeabilizzante, al fine di evitare il contatto dell'acqua con gli elementi strutturali dell'edificio. Tutta la soluzione è appoggiata direttamente sull'elemento di copertura portante.

Nella progettazione della copertura vegetata è sempre utile prevedere un sistema di deflusso dell'acqua in eccesso in caso di evento meteorico straordinario e, in maniera analoga, un sistema di irrigazione in caso di prolungato evento di siccità.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici da tenere in considerazione quanto si decide di progettare la soluzione di adattamento della copertura vegetata comprendono:

- il volume di acqua gestibile in caso di precipitazione estrema;
- il tasso di infiltrazione del terreno, utile per conoscere la capacità drenante;
- la specie delle piante e della vegetazione da inserire, queste devono resistere oltre ai fenomeni climatici estremi anche a potenziali attacchi biologici o di microrganismi;
- l'orientamento e l'esposizione agli agenti atmosferici (vento, sole, ombre) della falda, che influenza i naturali processi delle piante presenti per il contrasto alle elevate temperature;
- il bilancio idrico e la quantità di acqua necessaria al suo sostentamento;

- la portanza strutturale dell'edificio, che dovrà sostenere i carichi permanenti dello strato di terreno vegetato e di eventuali alberature.

Benefici ambientali e socioeconomici

L'impiego di coperture vegetate permette di realizzare sui tetti degli edifici aree di socialità all'aria aperta, al riparo dal rumore e dal traffico veicolare delle strade urbane. Al loro interno è inoltre possibile svolgere attività ricreative, sportive, di svago e relax, agricole (legate alla coltivazione e alla produzione di cibo) oppure di giardinaggio.

Le coperture verdi oltre a migliorare il comfort microclimatico urbano, grazie al loro strato di massa termica isolano l'edificio permettono da una parte un maggiore rendimento del riscaldamento e del raffrescamento e, dall'altro, operano una significativa riduzione dei consumi energetici.

È possibile annoverare tra i benefici forniti dalle coperture vegetate anche la capacità di incrementare la biodiversità urbana, fornendo servizi ecosistemi, e di assorbire le polveri inquinanti presenti in città, contribuendo al contempo a migliorare la qualità dell'aria.

La presenza di un'area piana vegetata permette inoltre di poter allocare sulla copertura dei sistemi di produzione dell'energia da fonti rinnovabili come pannelli solari termici o fotovoltaici.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti ascrivibili alle coperture vegetate riguardano:

- il costo di realizzazione della copertura vegetata è uno dei fattori che ne limita la diffusione, infatti, se comparato con quello di una copertura tradizionale questo è molto più oneroso;
- l'installazione di coperture vegetate in climi molto caldi necessita di un adeguato sistema di irrigazione al fine di evitare l'essiccazione delle piante presenti;
- nel caso di inserimento in edificio esistente occorre accertarsi della portanza strutturale. Questo fattore limita l'impiego delle coperture verdi intensive con la presenza di piante e piccole alberature negli edifici preesistenti. Inoltre, oltre al peso proprio permanente della copertura vegetata, in caso di evento meteorico estremo, è fondamentale valutare un sovraccarico dovuto all'acqua captata e a quella trattenuta dal terreno naturale.

Aspetti manutentivi

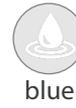
Gli aspetti manutentivi legati alla soluzione si riferiscono principalmente a:

- la cura del manto erboso, delle piante e, nel caso siano presenti, alle attività agronomiche;
- ispezione a seguito di eventi estremi dei sistemi di smaltimento idrico;
- rimozione di possibili rifiuti.

5.2.7 orti urbani



Tipologia di soluzione



Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	------------------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (bassa)	Captazione
Assorbimento (alto)	Infiltrazione
	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

Albedo	Volume raccolto
Capacità termica	Volume defluito
Evapotraspirazione	Permeabilità
	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

orientamento ed esposizione solare
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno
specie delle piante, dei fiori e degli ortaggi
Bilancio idrico
Portanza strutturale del solaio (in caso di orto fuori terra)
esposizione agli agenti inquinanti

Benefici ambientali sociali ed economici

realizzazione di area ricreativa per i residenti
coltivazione e/o produzione di cibo
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
sviluppo di economie locali
incremento della biodiversità
assorbimento della CO2
favorire l'educazione ambientale



Fig. 1 - Orto urbano realizzato sulla copertura dell'edificio della scuola di cucina "Le Cordon Bleu" (Source: ZinCo Green Roof Systems)

Tipologia di soluzione

Gli orti urbani sono soluzioni *green* che appartengono alle *nature based solution* e sono caratterizzati da aree verdi destinate alla coltivazione di ortaggi, frutta, erbe aromatiche e fiori. Questi possono presentarsi in due tipologie: a terra oppure fuori terra. Gli orti urbani a terra sfruttano il terreno naturale per la realizzazione delle aree coltivabili mentre quelli fuori terra vengono realizzati in apposite vasche che ne garantiscono l'applicabilità in maniera diffusa in numerosi spazi urbani della città. La soluzione di adattamento dell'orto urbano è contraddistinta da un prevalente sviluppo superficiale e in relazione alla differente gestione della risorsa idrica è possibile differenziarla in: orto urbano a ciclo chiuso, quando l'acqua drenata viene utilizzata per successive irrigazioni; orto urbano a ciclo aperto, quando l'acqua drenata viene poi dispersa nel terreno o inviata al sistema fognario.

Ambito urbano di applicazione

Gli orti urbani possiedono un elevato grado di applicabilità nei contesti urbani dovuto alle due diverse tipologie in cui si presentano. La tipologia di orto urbano a terra può essere inserita nei parchi urbani, nei giardini, nei cortili e, in generale, in tutte le aree verdi presenti in città, anche quelle con dimensioni più ridotte. L'orto fuori terra può essere applicato oltre che nelle aree verdi sopra citate anche nelle aree urbane impermeabilizzate come ad esempio piazze, parcheggi, coperture degli edifici (salvo verificarne la portanza strutturale), corti degli edifici pubblici e privati. In questa seconda tipologia di applicazione non vi è la necessità di de-pavimentare il suolo ma si tratta solamente di alloggiare o costruire in sito la vasca contenente il terreno con le piante, i fiori o gli ortaggi.

Pericolosità climatiche affrontate

Gli orti urbani riescono a contrastare le pericolosità climatiche delle elevate temperature, quali le isole di calore urbane e le ondate di calore, e le precipitazioni estreme, riducendo il rischio di allagamenti urbani e sovraccarico dei sistemi idrici. L'efficacia sul contrasto agli eventi estremi può essere incrementata se la soluzione è inserita in una strategia più ampia di adattamento al *climate change*.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Gli orti urbani rispondono alla criticità climatica delle temperature elevate in maniera analoga a quella di una superficie naturale permeabile con la differenza che, al posto del manto erboso, presentano piante di vario genere, fiori e ortaggi. Pertanto, intervengono a dissipare le isole di calore e le ondate di calore i fenomeni di bassa riflessione, alto assorbimento della radiazione solare degli elementi vegetali ed i naturali fenomeni evapotraspirativi delle piante ed evaporativi dell'acqua presente nel terreno. I principali parametri in gioco riguardano pertanto l'albedo e la capacità termica degli elementi costituenti l'orto urbano e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

La soluzione è in grado di rispondere alle precipitazioni estreme, limitatamente alla sua superficie e fino al raggiungimento della saturazione idraulica del terreno, principalmente attraverso la raccolta delle acque meteoriche. Maggiore è la superficie dell'orto urbano tanto maggiore sarà la sua capacità di raccolta idrica. Pertanto, il principale parametro da tenere in considerazione per quanto riguarda le piogge si riferisce al volume di acqua che l'orto può raccogliere in caso di precipitazione estrema.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nella progettazione e realizzazione di un orto urbano occorre prestare particolare attenzione al suo orientamento. È opportuno inserire la soluzione in aree urbane in grado di ricevere un'adeguata illuminazione e ventilazione naturale, favorendo i naturali processi fotosintetici delle piante e/o delle colture presenti al suo interno.

Un ulteriore parametro da tenere in considerazione è l'irrigazione che, nel caso di orti a terra è possibile garantire attraverso l'installazione di sistemi di subirrigazione interrati che vanno a rilasciare la necessaria quantità di acqua alle piante con un sistema a goccia. Tale sistema, da un lato, permette di ottimizzare il consumo di acqua da destinare all'orto, ma dall'altro, non permette il naturale processo di idratazione del terreno, riducendo i naturali fenomeni di raffrescamento in caso di temperature elevate.

In maniera analoga in periodi particolarmente caldi e siccitosi è fondamentale da un lato garantire l'approvvigionamento idrico e dall'altro schermare opportunamente le colture da ventosità e soleggiamento eccessivo.

I sistemi di coltivazione di orti urbani fuori terra possono essere realizzati con elementi riciclati, opportunamente impermeabilizzati in maniera tale da separare il terreno naturale dal contenitore. È buona pratica sollevare leggermente gli orti urbani fuori terra al fine di permettere la ventilazione dell'aria anche sotto il contenitore.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici da tenere in considerazione per il progetto della soluzione di adattamento dell'orto urbano si riferiscono a:

- la scelta delle specie vegetali da piantare: fiori, piante, ortaggi;
- il volume di acqua da gestire in caso di precipitazione estrema;
- il tasso di infiltrazione di acqua nel terreno;
- l'orientamento e l'esposizione agli agenti atmosferici (vento, sole, ombre), che influenza i naturali processi delle piante presenti per il contrasto alle elevate temperature;
- il bilancio idrico, e la quantità di acqua necessaria al suo sostentamento;
- in caso di orto fuori terra è sempre utile conoscere la portanza strutturale dell'elemento dello spazio urbano in cui si deve collocare la soluzione.

Benefici ambientali e socioeconomici

Gli orti urbani oltre a contribuire a rispondere alle criticità climatiche dei fenomeni estremi sono in grado di offrire benefici sociali, culturali, economici, ricreazionali, educativi e terapeutici. A titolo esemplificativo, interessanti esperienze progettuali e di ricerca derivano dalla realizzazione di orti urbani legati ad attività di autocostruzione che coinvolgono la popolazione, con lo scopo di aumentare l'educazione ambientale, la socializzazione e promuovere lo sviluppo di un'economia locale. Alcuni tra questi esempi pratici si collocano proprio in aree urbane da rigenerare o riqualificare, all'interno di aree verdi abbandonate, spazi pubblici degradati o in disuso. Altri casi di orti urbani invece rappresentano degli innovativi esempi di condivisione di spazi comuni come gli spazi condominiali privati in cui prevale la socializzazione e il senso di comunità. Inoltre, gli orti urbani sono in grado di aumentare la biodiversità urbana e contribuiscono al potenziamento delle infrastrutture naturali urbane, verdi e blu.

Limiti e problematiche di applicabilità

L'impiego dell'orto urbano presenta alcune limitazioni e problematiche oltre che applicativi anche di carattere igienico e sanitarie, tra cui:

- occorre fare particolare attenzione alla fertilità del suolo, alla gestione razionale della risorsa idrica, alla protezione delle colture dagli agenti atmosferici e dagli agenti patogeni, riducendo al minimo l'utilizzo di sostanze chimiche;
- è fondamentale studiare un giusto equilibrio tra le diverse piante presenti nell'orto: le colture arboree (da frutto ed ornamentali), le specie arbustive e le erbacee (ortive, aromatiche ed officinali);
- la realizzazione di un'area coltivata deve prevedere un'adeguata disponibilità idrica, sufficiente a garantire il sostentamento delle piante, dei fiori, degli ortaggi presenti al suo interno;
- occorre garantire alle specie coltivate o alle piante inserite il corretto *habitat* vegetativo.

Nel caso in cui l'orto urbano sia localizzato in un'area urbana particolarmente inquinata è fondamentale individuare, tra le specie da coltivare e/o le piante da inserire, quelle che risultano maggiormente resistenti a questi fattori ambientali. In particolare, in queste aree urbane particolarmente stressate dal punto di vista della qualità ambientale è sconsigliata la coltivazione finalizzata al consumo alimentare.

Tra le principali problematiche legate all'applicazione degli orti urbani è possibile individuare:

- la difficile gestione e regolamentazione degli accessi e della fruizione agli orti urbani, se non adeguatamente organizzate e controllate da un ente o una figura specifica;
- per gli orti fuori terra è sempre opportuno reintegrare le risorse nutritive consumate dalle piante, oppure nei casi più lungimiranti prevedere una rotazione delle colture;
- per gli orti urbani fuori terra, le condizioni atmosferiche particolarmente variabili, quelle ad eccessiva presenza di vento e sole, possono disidratare rapidamente il substrato di terreno e causare una rapida perdita di nutrienti.

Aspetti manutentivi

Gli orti urbani richiedono un'elevata manutenzione nella sua cura, per la produzione di cibo, e per garantire la sua efficacia, per rispondere alle criticità climatiche estreme. In particolare, è fondamentale provvedere a:

- fertilizzazione e irrigazione del suolo;
- protezione delle piante e/o delle colture dagli agenti atmosferici, da malattie e parassiti;
- raccolta dei frutti e/o potatura delle piante.

5.2.8 pareti vegetate

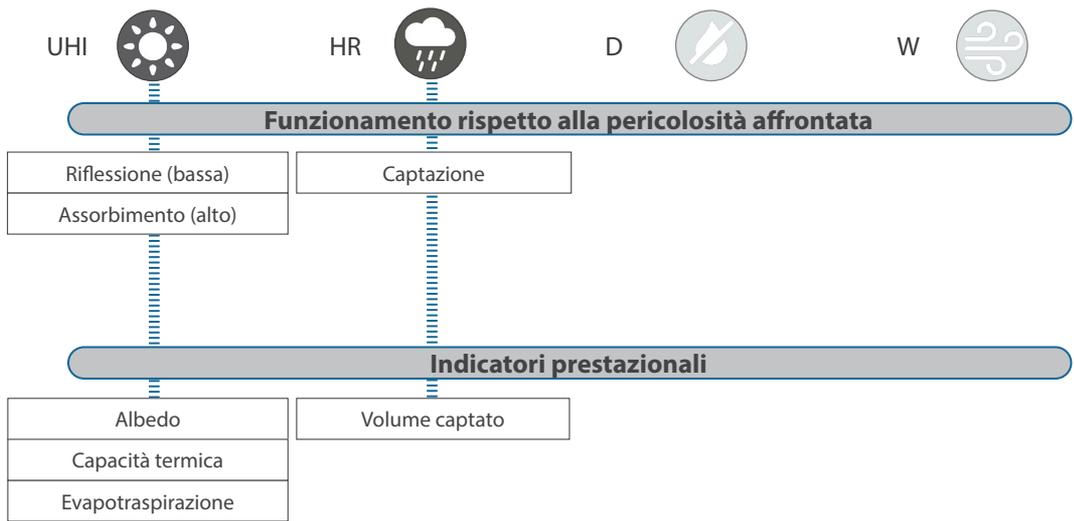
Tipologia di soluzione

 green
  grey
  blue

Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione							
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Parametri caratteristici per il progetto
specie delle piante
carico di esercizio sulla struttura dell'edificio (per le living walls)
orientamento ed esposizione solare
Bilancio idrico
esposizione agli agenti inquinanti

Benefici ambientali sociali ed economici
riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento
riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento
incremento della biodiversità dell'area
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria



Fig. 1 - Parete verde tipo *living walls* presso la caffetteria Calahorra Gastrobar (Source: David Frutos)

Tipologia di soluzione

Le pareti vegetate rappresentano un sistema tecnologico *green* che può essere applicato all'involucro edilizio verticale e appartiene alle *nature based solution*. Questa soluzione contribuisce al fenomeno della naturalizzazione urbana e presenta evidenti benefici per il controllo microclimatico *outdoor*, per il contrasto agli eventi climatici estremi. Le pareti vegetate rappresentano sia soluzioni di adattamento che di mitigazione e permette di migliorare il comfort interno degli ambienti edifici, riducendone la dispersione termica invernale e proteggendolo dallo *stress* termico in estate.

Le pareti vegetate sono caratterizzate da uno sviluppo superficiale verticale e possono essere suddivise in due tipologie:

- facciate vegetate rampicanti, che sfruttano le capacità aggrappanti delle piante per attaccarsi a strutture di supporto leggere come ad esempio cavi, reti metalliche o graticci di legno, che sono connesse all'edificio;
- facciate vegetate modulari, del tipo *living wall system*. Questa tipologia di parete vegetata viene realizzata attraverso l'impiego di sistemi di elementi complessi che rivestono interamente la facciata o l'edificio, spesso utilizzando sottostrutture che formano una vera e propria parete vegetale. Questo sistema è integrato con alloggiamenti per i sistemi vegetali, strati impermeabilizzanti e substrato di terreno che sono appositamente studiati per ricreare l'*habitat* ideale per la vita delle piante.

Ambito urbano di applicazione

Le pareti vegetate trovano la loro principale applicazione nelle facciate degli edifici, sia di nuova costruzione che esistenti, ma possono essere applicati in corrispondenza di qualsiasi parete e/o struttura verticale all'interno del contesto urbano. Una più recente applicazione delle pareti vegetate si riscontra anche nelle strutture verticali di coperture urbane come ad esempio pensilene dell'autobus o pergole vegetate.

Pericolosità climatiche affrontate

Le pareti vegetate sono in grado di rispondere alle criticità climatiche delle temperature elevate, contrastando le ondate di calore e le isole di calore urbane, e delle precipitazioni estreme, al fine di ridurre il carico idraulico ed evitare allagamenti urbani tipo *flash flood*.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Le pareti verdi sono in grado di rispondere alle temperature elevate, alle isole di calore urbane e alle ondate di calore, attraverso le proprietà della bassa riflessione solare e assorbimento della radiazione solare caratteristica della vegetazione. Inoltre, la presenza di piante nelle pareti permette un raffrescamento attraverso i naturali fenomeni di evapotraspirazione sia delle specie vegetali che della quota parte di terreno e/o acqua presente nei sistemi parietali. Per questo motivo possiamo considerare indicatori prestazionali adatti a valutare la loro efficienza rispetto a questa specifica criticità climatica l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le pareti vegetali offrono una risposta anche alle precipitazioni estreme in quanto sono in grado di intercettare una quota parte delle piogge attraverso il loro apparato fogliare, evitando che questo possa fluire nel sistema di smaltimento fognario. La quantità di pioggia captata da una parete vegetata dipende dalla specie delle piante inserite nel sistema parietale e dalla capacità di raccolta di acqua del modulo vegetale che costituisce la parete. Anche in questo caso, maggiori e più diffuse sono le applicazioni di pareti vegetate, tanto più grande sarà la capacità di captare e trattenere le acque di pioggia di eventi meteorologici estremi. In linea generale si può considerare la capacità di acqua raccolta in litri o metri cubi, come indicatore di prestazione utile per contrastare il fenomeno.

Aspetti progettuali e costruttivi

La progettazione di una parete vegetata necessita di uno studio approfondito in merito a:

- distanza tra la facciata dell'edificio e il sistema della parete vegetale;
- caratteristiche tipologiche delle piante inserite.

Questi parametri incidono direttamente sul costo della parete vegetata che, a differenza di altri involucri per gli edifici, rappresentano soluzioni più onerose. Inoltre, influenzano le prestazioni microclimatiche che si vogliono ottenere, il contributo al raffrescamento estivo o la protezione da precipitazioni e ventosità estreme.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di una parete vegetata è fondamentale considerare:

- le specie delle piante inserite nelle pareti vegetate;
- il carico di esercizio di una parete vegetata sulla struttura dell'edificio, nel caso in cui non sia previsto un sostegno del sistema a terra;
- l'orientamento e l'esposizione agli agenti atmosferici (vento, sole, ombre), che influenza i naturali processi delle piante presenti per il contrasto alle elevate temperature
- il bilancio idrico, e la quantità di acqua necessaria per il sostentamento;
- la quantità di acqua che la parete può intercettare in caso di evento piovoso.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le pareti vegetate costituiscono una vera e propria seconda pelle vegetata per gli edifici. La soluzione, infatti, oltre a rispondere alle criticità climatiche estreme, permette:

- di incrementare l'isolamento termico degli edifici, impedendo l'irraggiamento solare diretto delle facciate ed evitando la propagazione termica negli ambienti interni nei periodi caldi;

- di ridurre la dispersione termica, fungendo da massa termica isolante nei periodi freddi. Inoltre, la presenza di vegetazione sulle pareti permette di assorbire i gas serra e ridurre le polveri sottili, migliorando significativamente la qualità dell'aria. Le pareti verdi possono essere utilizzate come elemento verticale ornamentale e sono in grado di incrementare la biodiversità delle specie vegetali e animali aumentando di conseguenza la diversità degli ecosistemi urbani.

Limiti e problematiche di applicabilità

Un sistema a parete vegetale necessita di un costante monitoraggio delle esigenze idriche e nutritive delle piante, per la loro sopravvivenza, crescita ed efficacia nel contrasto alle questioni climatiche estreme. In particolare, lo smaltimento dell'acqua in eccesso rappresenta un parametro che richiede particolare attenzione al fine di evitare fenomeni di ristagno prolungato, corrosione e danneggiamento degli elementi strutturali e funzionali.

Un'ulteriore problematica è legata all'impiego di pareti rampicanti, in quanto questa tipologia di parete vegetata può creare dei rischi all'involucro edilizio. La scelta di specie rampicanti che raggiungono una crescita eccessiva può portare alla deformazione delle strutture di sostegno e al danneggiamento di parti degli elementi di chiusura dell'edificio. Inoltre, alcune specie rampicanti se attaccate direttamente alla facciata possono provocare fenomeni di umidità, legate alla non completa asciugatura della parete.

Aspetti manutentivi

La manutenzione delle pareti vegetate si differenzia in relazione alla tipologia di parete. Per quanto riguarda quella rampicante, è generalmente ridotta ai singoli interventi di potatura che possono variare in relazione alla specie delle piante inserite, alla loro velocità di crescita e allo spazio disponibile. Nei sistemi vegetati modulari più complessi, gli interventi manutentivi possono riguardare la sostituzione di: elementi o parti, strutturali o funzionali, danneggiate oppure di alcune piante.

5.2.9 rain gardens (aree urbane vegetate inondabili)



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (bassa)	Captazione
Assorbimento (alto)	Infiltrazione
	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

Albedo	Volume raccolto
Capacità termica	Volume defluito
Evapotraspirazione	Permeabilità
	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

specie delle piante
specie delle alberature (se previste)
Tasso di infiltrazione del terreno
Volume massimo di acqua accumulabile

Benefici ambientali sociali ed economici

incremento della biodiversità dell'area
assorbimento della CO2
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
realizzazione di area ricreativa per i residenti
incremento del valore paesaggistico
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere



Fig. 1 - Esempio di rain garden al Brooklyn Botanic Visitor Center, New York (Source: HMWhite).

Tipologia di soluzione

I *rain gardens* sono soluzioni *green&blue* caratterizzate da leggere depressioni di aree vegetate in cui sono inserite piante idrofile, ornamentali e/o alberaure. Spesso questa tipologia di soluzione viene impiegata nei sistemi urbani di raccolta e trattamento delle acque meteoriche insieme alle *bioswales*. La soluzione, infatti, ha il compito di raccogliere, trattenere e infiltrare nel terreno le acque di deflusso urbano provenienti dalle superfici impermeabili circostanti quali piazze, strade, parcheggi, edifici, etc.

I *rain gardens* si distinguono dalle *bioswales* - che sono contraddistinte da uno sviluppo prevalentemente lineare - e si caratterizzano per la loro estensione principalmente a livello superficiale, la capacità di raccolta e stoccaggio delle acque meteoriche, seppur in una quota ridotta rispetto ai bacini inondabili o ai bacini umidi. La soluzione pertanto si inserisce tra le *nature based solutions* nella categoria di intervento dei bacini.

Ambito urbano di applicazione

I *rain gardens* possono essere inseriti in diversi ambiti urbani, sia in quelli con un carattere più naturalistico come i parchi urbani e i giardini, che quelli con una prevalenza di superfici impermeabili, come le strade, le piazze, i parcheggi e le corti degli edifici.

Pericolosità climatiche affrontate

I *rain gardens* rappresentano un'ottima soluzione per contrastare le precipitazioni estreme caratterizzate da eventi di elevata intensità e frequenza. La soluzione, infatti, ha un'elevata efficacia nella riduzione del *runoff* superficiale ritardando il tempo di drenaggio dell'acqua piovana intercettata dalle superfici limitrofe impermeabili. La soluzione di adattamento, inoltre, è in grado di contrastare i fenomeni delle temperature elevate grazie alle sue caratteristiche naturalistiche e vegetali.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

I *rain gardens* riescono a rispondere alle criticità climatiche legate alle temperature elevate grazie a bassi valori di riflessione e alti valori di assorbimento della radiazione solare. Inoltre, a questi fenomeni naturali si aggiungono i processi di evaporazione del suolo e di evapotraspirazione delle

piante. Per questo motivo possiamo considerare tra gli indicatori prestazionali adatti a valutare la loro efficienza rispetto a questa specifica criticità climatica l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

La soluzione di adattamento del *rain garden* è in grado di raccogliere le acque urbane generate dal deflusso delle superfici impermeabili delle aree urbane all'interno della zona vegetata più profonda. In quest'area l'acqua viene accumulata temporaneamente, subisce una prima filtrazione da parte delle piante che contemporaneamente bloccano i sedimenti trasportati dalle piogge, e in seguito si infila nel sottosuolo. Pertanto, è possibile schematizzare il sistema di funzionamento di un *rain garden* in due momenti la raccolta dell'acqua e l'infiltrazione nel terreno. Questo ci permette di identificare i suoi principali indicatori prestazionali, per la criticità climatica delle precipitazioni estreme, nei parametri del volume di acqua raccolta e del tasso di infiltrazione naturale nel terreno.

In definitiva la soluzione è in grado di ridurre i volumi di *runoff* superficiale e aumentare il tempo di corrivazione del deflusso urbano evitando di mandare in crisi il sistema di smaltimento fognario esistente.

Aspetti progettuali e costruttivi

I *rain gardens* devono essere realizzati preferibilmente senza l'impiego di strati impermeabilizzanti, in maniera da permettere la naturale infiltrazione dell'acqua piovana nel sottosuolo. Generalmente queste soluzioni di adattamento climatico sono progettate per rispondere a eventi climatici di precipitazioni con tempi di ritorno brevi (5-10 anni), pertanto è opportuno prevedere uno scolmatore idraulico di troppo pieno in caso di eventi piovosi estremi con tempi di ritorno più importanti (50-100 anni). Per questo motivo, un accorgimento importante è quello di inserire la soluzione all'interno di un sistema organizzato di gestione idrica più ampio, come ad esempio un'infrastruttura naturale verde e blu, capace di attuare un naturale riequilibrio idraulico dei flussi in eccesso.

La soluzione presenta alcune analogie con le soluzioni progettuali di adattamento precedentemente trattate, come ad esempio i bacini inondabili, quelli umidi e le *bioswales*. In questo caso, i *rain gardens* necessitano di una superficie prevalentemente piana dove poter raccogliere le acque e infiltrarle nel sottosuolo. Nel caso in cui la soluzione sia inserita in un terreno inclinato è opportuno prevedere sistemi di sbarramento per realizzare delle compartimentazioni idriche, ciò permette di favorire una distribuzione omogenea del volume d'acqua da infiltrare.

I *rain gardens* possono ricevere le acque piovane direttamente dalle superfici impermeabili limitrofe. È sempre opportuno prevedere in corrispondenza dei punti di entrata dei flussi dei sistemi riduzione della velocità dell'acqua, come ad esempio dei blocchi di pietra, per evitare l'erosione del terreno.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di un *rain garden* i principali parametri da tenere in considerazione sono:

- la specie vegetale delle piante, poiché devono resistere a condizioni climatiche variabili, sia in presenza di un'eccessiva quantità di acqua che in totale assenza. Inoltre, la scelta delle piante da inserire nel *rain garden* deve essere fatta in relazione alla capacità di resistenza agli agenti inquinanti;

- il volume di acqua raccolta in caso di evento piovoso, che deve essere valutato in relazione al tempo di ritorno di fenomeni meteorici estremi;
- il tasso di infiltrazione del suolo, che dipende dei diversi strati di cui è costituito il terreno.

Benefici ambientali e socioeconomici

I *rain gardens* hanno anche un effetto benefico sull'ambiente in quanto sono in grado di incrementare la biodiversità, depurare le acque meteoriche e filtrarle dei principali agenti inquinanti. Inoltre, il loro impiego permette di aumentare il carattere ambientale e paesaggistico delle aree urbane in cui è inserita.

Limiti e problematiche di applicabilità

Quando si progetta e realizza un *rain garden* è fondamentale che l'acqua raccolta a seguito di un evento meteorico estremo sia drenata entro un massimo di 24/48 ore. Questo lasso temporale è necessario a garantire che la soluzione possa tornare agibile ed essere pronta a ricevere nuovi volumi idrici estremi, evitare il ristagno superficiale e la proliferazione di zanzare.

Una problematica che si può presentare durante il normale utilizzo della soluzione di adattamento è legata all'intasamento dei sistemi idraulici delle condutture o di altri impianti di smaltimento dell'acqua, ma tale circostanza è prassi comune per tutte le tipologie di impianti idraulici.

Aspetti manutentivi

I *rain gardens* necessitano di regolari controlli e interventi manutentivi, tra questi:

- la pulizia da detriti o rifiuti trasportati dall'acqua durante eventi piovosi;
- il controllo dello stato di salute delle piante all'interno del *rain gardens*;
- il controllo e la pulizia delle aree naturali rompi flusso in ingresso e in uscita del *rain gardens*;
- la verifica della corretta capacità infiltrante del suolo e del sottosuolo del *rain garden*;
- la verifica della corretta capacità filtrante delle piante nel *rain garden*;
- lo sfalcio del manto e della vegetazione, in funzione delle tipologie di piante messe a dimora;
- la sostituzione di eventuali strati del *rain garden*.

5.2.10 superfici verdi permeabili



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	------------------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (bassa)	Captazione
Assorbimento (alto)	Infiltrazione

Indicatori prestazionali

Albedo	Volume captato
Capacità termica	Permeabilità
Evapotraspirazione	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

tipologia di manto erboso
Tasso di infiltrazione del terreno

Benefici ambientali sociali ed economici

incremento della biodiversità dell'area
incremento del valore paesaggistico
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria
riduzione degli inquinanti presenti nell'acqua
realizzazione di area ricreativa per i residenti
assorbimento della CO2
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere



Fig. 1 - Area verde di passaggio e sosta ad alta resistenza (Source: Geoplast).

Tipologia di soluzione

Le superfici verdi permeabili, insieme alle alberature, rappresentano le soluzioni progettuali maggiormente impiegate negli interventi di adattamento climatico analizzati nei casi di studio localizzati in Europa.

La soluzione è rappresentata da elementi naturali orizzontali a prevalente sviluppo superficiale e viene applicata in ambito urbano secondo la sempre più diffusa pratica di de-pavimentazione. Esistono diverse tipologie di superfici verdi permeabili in funzione degli usi, tra le più frequenti è possibile annoverare: le superfici ornamentali, le superfici sportive, le superfici fiorite (aiuole) e le superfici a prato.

Ambito urbano di applicazione

Le superfici verdi permeabili trovano largo impiego in ambito urbano. La loro applicazione si focalizza prevalentemente in quelle aree ad elevata impermeabilizzazione tra cui strade, piazze, parcheggi, corti ed edifici. Nel caso degli edifici la soluzione della superficie verde permeabile può essere applicata sia in copertura che in facciata, diventando in un caso copertura vegetata e nell'altra parete vegetata.

Pericolosità climatiche affrontate

Le superfici verdi permeabili sono in grado di rispondere alle criticità climatiche delle temperature elevate, tra cui le isole di calore urbane e le ondate di calore, e delle precipitazioni estreme che causano fenomeni di allagamento urbano. Maggiore è la superficie verde naturale messa in campo per contrastare i cambiamenti climatici più alta è la risposta clima-resiliente.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Le superfici verdi permeabili sono in grado di contrastare le temperature elevate e offrire un'adeguata regolazione termica. Questo fenomeno è facilitato da bassi valori di riflessione, alti valori di assorbimento della radiazione solare e uno scarso surriscaldamento dovuto principalmente al naturale fenomeno dell'evapotraspirazione della vegetazione e dell'evaporazione del terreno. Questo meccanismo permette alla soluzione di mantenere la temperatura superficiale di una superficie verde permeabile inferiore di 5°C rispetto ad un terreno nudo e fino a 15°C rispetto

ad un marciapiede di asfalto. Possiamo considerare tra gli indicatori prestazionali della soluzione l'albedo, la capacità termica e l'evapotraspirazione.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le superfici verdi permeabili contribuiscono al contrasto delle precipitazioni estreme e riducono gli allagamenti urbani causati dal deflusso superficiale (*runoff*). Tali soluzioni, infatti, favoriscono il naturale ciclo idrologico dell'acqua ristabilendone il suo naturale equilibrio. Le precipitazioni riescono a permeare nel terreno infiltrandosi fino alla falda acquifera, possono evaporare incrementando l'effetto del raffrescamento, alimentano il manto erboso e tutte le piante presenti nella superficie e riescono a trattenere e ritardare il deflusso delle acque meteoriche evitando di sovraccaricare il sistema di smaltimento fognario. Tra i principali indicatori utili per valutare l'efficacia prestazionale delle superfici verdi permeabili possiamo pertanto annoverare la quantità di acqua raccolta e il tasso di infiltrazione nel terreno.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nella progettazione di una superficie verde permeabile è fondamentale fare attenzione alla stratigrafia del terreno in quanto influisce direttamente sull'efficacia climatica prestazionale della soluzione. Un ulteriore accorgimento riguarda la scelta delle specie vegetali superficiali da inserire nell'area verde e il loro sostentamento, infatti, come tutte le soluzioni naturali è fondamentale garantire i nutrienti all'interno del terreno e la giusta quantità di acqua.

Le superfici verdi permeabili possono essere ricavate dalla de-sigillazione di aree asfaltate impermeabili urbane. In questo caso, in funzione del grado di inquinamento e del traffico automobilistico è utile verificare la necessità di un sistema di trattamento delle acque di prima pioggia al fine di evitare di contaminare le falde acquifere e causare la morte del terreno e/o dello strato vegetale.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici per il progetto concernono:

- la scelta delle specie vegetali che costituiscono lo strato superficiale, tra cui manto erboso, fiori, siepi, etc.;
- il tasso di infiltrazione del terreno, in relazione ai diversi strati di cui è costituito il suolo.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le superfici verdi permeabili sono in grado di aumentare il valore paesaggistico e naturalistico del contesto urbano in cui sono inserite, sono in grado di stoccare l'anidride carbonica, i metalli pesanti e le polveri sottili presenti in città contribuendo in questa maniera al miglioramento della qualità dell'aria. Inoltre, la soluzione permette di realizzare nuove aree verdi o incrementare quelle esistenti realizzando nuove zone di socialità, svago e sport all'aria aperta per i cittadini.

Limiti e problematiche di applicabilità

Tra le principali limitazioni nell'impiego delle superfici verdi permeabili e, più nello specifico, nella de-pavimentazione di superfici urbane impermeabili esistenti è da considerare la presenza di sostanze inquinanti nelle acque del deflusso superficiale urbano in relazione alla vulnerabilità delle falde acquifere. In questo caso è fondamentale prevedere opportuni strati di separazione e impermeabilizzazione. Inoltre, un ulteriore limitazione è data proprio dalla selezione dello strato

vegetale più adatto a resistere alle repentine e diverse variazioni climatiche, dalle temperature elevate alle piogge estreme fino a prolungati periodi di siccità.

Aspetti manutentivi

Le superfici verdi permeabili necessitano di regolari controlli e interventi manutentivi, tra cui:

- la pulizia da detriti o rifiuti trasportati dall'acqua durante eventi piovosi;
- la verifica della corretta capacità infiltrante del suolo e del sottosuolo del *rain garden*;
- lo sfalcio del manto e della vegetazione, in funzione delle tipologie di piante messe a dimora.

5.2.11 trincee drenanti



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	---------------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Captazione
Infiltrazione
Raccolta
Deflusso

Indicatori prestazionali

Volume raccolto
Volume defluito
Permeabilità
Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

Tasso di infiltrazione del terreno
Volume massimo di acqua accumulabile

Benefici ambientali sociali ed economici

favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere
elevato grado di applicabilità
bassi costi di manutenzione



Fig. 1 - Stratigrafia di una trincea drenante e esempio pratico di applicazione in una strada carrabile (Source: Highway Industry.com)

Tipologia di soluzione

Le trincee drenanti sono soluzioni *blue* appartenenti alle *nature based solutions* in quanto caratterizzate da scavi nel terreno riempiti con materiale naturale inerte, tipo ghiaia, pietrisco e sabbia. La superficie superiore della trincea può essere realizzata con elementi minerali, come ad esempio ghiaia, oppure vegetali, tra cui piante erbacee resistenti ad un terreno particolarmente permeabile. La soluzione viene spesso realizzata per favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo e, in relazione allo spazio a disposizione e alla sua estensione, si possono distinguere due diverse tipologie di trincee drenanti:

- trincee drenanti puntuali, che si localizzano in un determinato luogo specifico la cui area è limitata ad uno scavo di pochi metri quadrati di superficie;
- trincee drenanti lineare, caratterizzate da uno sviluppo più esteso e prevalentemente lineare.

La conformazione morfologica della soluzione, caratterizzata da una fossa che si estende linearmente all'interno di uno spazio urbano successivamente riempita di materiale altamente drenante, permette di far rientrare le trincee drenanti nella categoria di intervento dei canali.

Ambito urbano di applicazione

Le trincee drenanti vengono applicate generalmente alle aree urbane che presentano una bassa percentuale di superfici permeabili ma al contempo hanno un suolo con un elevato tasso di infiltrazione idraulica. In particolare, queste soluzioni di adattamento hanno una elevata versatilità e possono trovare collocazione nei parchi, nei giardini, nelle piazze, lungo le strade, nei parcheggi e nelle corti, adattandosi a tutti gli elementi dello spazio urbano aperto. Le trincee drenanti sono ideali per i contesti residenziali e quelli industriali, sia caratterizzati da un tessuto aperto che chiuso.

Pericolosità climatiche affrontate

Le trincee drenanti a differenza di tutte le altre soluzioni *nature based* operano esclusivamente per contrastare le precipitazioni estreme ed evitare gli allagamenti urbani tipo *flash flood* e *pluvial flooding*.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le trincee drenanti contrastano le precipitazioni estreme ed evitano gli allagamenti urbani attraverso l'infiltrazione dell'acqua nel terreno. Nello specifico, le piogge che vengono convogliate all'interno di questa soluzione e disperse naturalmente lungo le pareti laterali e la base della trincea. Inoltre, una tubazione drenante collocata nella parte centrale del fondo dello scavo allontana l'acqua evitando la saturazione del sistema. Pertanto, gli indicatori maggiormente utili per misurare l'efficacia prestazionale della soluzione sono rappresentati dal volume di acqua raccolto dalla trincea drenante e dal tasso di infiltrazione degli elementi drenanti inerti.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le trincee drenanti hanno una profondità compresa tra 1-2 metri, la loro profondità varia tra 0,50 e 2 metri e la lunghezza dipende dalla tipologia di trincea e dallo spazio a disposizione per la realizzazione della soluzione. Le trincee vengono generalmente rivestite con uno strato di tessuto non tessuto per evitare che le parti fini del terreno possano combinarsi con gli inerti drenanti inseriti all'interno della trincea e provocare fenomeni di intasamenti localizzati lungo la parete o sul fondo. La trincea drenante deve inoltre essere progettata per drenare completamente le acque meteoriche raccolte entro le 24/48 ore successive all'evento piovoso, in modo da garantire l'agibilità della soluzione a ulteriori eventi meteorici. Questo garantisce da un lato il mantenimento del bilancio idrico del sito di intervento e dall'altro la ricarica delle falde acquifere.

Costituisce una buona pratica da mettere in atto, quando si progetta una trincea drenante, la realizzazione di un dispositivo in grado di svolgere la funzione di filtro delle acque meteoriche, come ad esempio una griglia, al fine di evitare l'ingresso e il deposito di sedimenti o rifiuti sulla superficie della soluzione. Inoltre, per raccogliere e trasportare le acque drenate è sempre utile inserire un tubo per fare defluire l'acqua permeata ai livelli più profondi della trincea.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici per la progettazione di una trincea drenante comprendono:

- il tasso di permeabilità della trincea drenante e quello del terreno in cui è inserita. Questi due parametri devono garantire il rispetto del tempo massimo di permanenza dell'acqua meteorica all'interno della trincea (24/48 ore);
- il volume massimo di acqua che può raccogliere la trincea.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le trincee drenanti favoriscono il naturale ciclo idrologico dell'acqua, infiltrandola direttamente nel sottosuolo e ricaricando le falde acquifere, e rappresentano soluzioni che anche con una limitata estensione superficiale sono in grado di incrementare la capacità drenante di uno spazio urbano. La soluzione non impatta esteticamente sulla morfologia degli ambienti urbani, non presenta limitazioni specifiche sulle destinazioni d'uso della superficie superiore della trincea e ciò la rende particolarmente adeguata a molti contesti urbani e anche per gli insediamenti caratterizzati da specifici vincoli sul patrimonio storico urbano. Inoltre, la tecnologia e gli elementi impiegati per le trincee drenanti la rendono una soluzione che necessita di poca manutenzione.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali fattori limitanti dell'intervento concernono la possibilità di intasamento nel caso in cui la soluzione sia inserita in siti di progetto caratterizzati da un sottosuolo particolarmente sabbioso o nel caso in cui non siano previsti sistemi filtranti nelle tubazioni di ingresso dell'acqua; inoltre, la soluzione ha una bassa capacità di laminazione di flussi d'acqua diretti.

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi si possono annoverare: la rimozione di sedimenti o rifiuti che possono intasare il sistema di drenaggio naturale e la cura e il taglio di eventuali piante erbacee sulla superficie superiore della trincea. Altri interventi straordinari possono comprendere la sostituzione di eventuali strati drenanti qualora intasati.

5.3 - Soluzioni artificiali

Le soluzioni progettuali denominate “artificiali” racchiudono tutti gli elementi tecnici ed architettonici derivanti da materiali artificiali ottenuti attraverso specifici processi di lavorazione e/o trasformazione complessi. Questa tipologia di soluzione è capace di incrementare l’adattamento attraverso innovative e performanti caratteristiche fisiche, materiche e morfologiche.

Le soluzioni artificiali sono rappresentate principalmente da elementi tecnologici e ingegneristici finalizzati all’adattamento climatico. Tali soluzioni costituiscono un campo di ricerca attualmente molto attivo che si dedica allo studio delle prestazioni climatiche per gli ambienti urbani in risposta ai principali eventi climatici estremi.

Queste soluzioni possono essere largamente impiegate sia all’interno dello spazio aperto come parchi, giardini, piazze, parcheggi e corti, che negli edifici, tanto nelle facciate quanto nelle coperture. Le soluzioni di adattamento artificiali possono essere progettate e realizzate in maniera sistemica e diffusa creando delle vere e proprie infrastrutture di adattamento parallele e ausiliarie agli esistenti sistemi di protezione dagli eventi meteorologici (fognature, infrastrutture verdi e blu, parchi urbani, giardini, etc.). Tale approccio integrato per il contrasto agli effetti del *climate change* incrementa l’efficacia delle strategie e delle soluzioni di adattamento.

Le soluzioni di adattamento grigie rappresentano la base di partenza per lo sviluppo di innovative alternative progettuali e tecniche ad alta efficienza climatica. Queste soluzioni sono in grado di adattarsi a criticità climatiche multiple, vengono realizzate con materiali e sistemi basati su soluzioni *green* e *circular economy* (riciclate, riutilizzate, etc.) e sono in grado di ridurre notevolmente la vulnerabilità agli eventi climatici estremi, proteggendo le città dagli impatti presenti e futuri del clima.

5.3.1 casseri drenanti interrati



Tipologia di soluzione



Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Infiltrazione
Raccolta
Deflusso

Indicatori prestazionali

Volume raccolto
Volume defluito
Permeabilità

Parametri caratteristici per il progetto

Volume di terreno libero da elementi tecnici e impiantistici
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno

Benefici ambientali sociali ed economici

favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere
elevato grado di applicabilità
nessun impatto visivo sull'ambiente
bassi costi di manutenzione



Fig. 1 - Casseri drenanti dispersivi (a sinistra) e impermeabili (a destra) (Source: Pozzoli Depurazione Srl).

Tipologia di soluzione

I casseri drenanti interrati appartengono alla tipologia delle soluzioni grigie in quanto sono elementi modulari in plastica riciclata che vengono disposti in gruppo e permettono di realizzare un sistema drenante in grado di raccogliere, trattenere e infiltrare le acque meteoriche nel terreno attraverso le pareti laterali e il fondo. La pratica di realizzazione di aree interrate dedicate alla percolazione delle acque meteoriche trova riscontro in edilizia anche nel corso delle diverse epoche storiche. Questa tipologia di sistema drenante veniva infatti impiegato in antichità sotto le strade o i giardini dove si collocavano ciottoli, macerie o mattoni frantumati in modo da formare un volume di elementi pieni e vuoti che permettessero all'acqua di essere stoccata momentaneamente e poi infiltrata naturalmente nel terreno.

L'efficacia della soluzione di adattamento dipende direttamente dalla dimensione volumetrica del sistema di casseri drenanti, pertanto può essere annoverata tra la categoria dei bacini e rientra tra le *grey solutions*.

Ambito urbano di applicazione

I sistemi drenanti realizzati tramite l'utilizzo di casseri di plastica riciclata possono trovare largo impiego in ambito urbano sia negli spazi aperti che in quelli edificati. Questa soluzione può infatti essere impiegata sia in ambienti naturali, per stabilizzare terreni soggetti a erosione e creare dei sistemi di controllo e infiltrazione delle acque meteoriche, oppure in contesti urbanizzati per gestire ingenti volumi di pioggia che si trasforma in *runoff* superficiale. Pertanto, la soluzione può essere applicata nei parchi, nei giardini, nelle piazze, nella parte sottostante oppure a lato di strade carrabili, parcheggi oppure nelle corti di edifici pubblici o privati.

Pericolosità climatiche affrontate

I sistemi realizzati con casseri drenanti interrati, trovano un'analogia con la soluzione delle trincee drenanti in quanto entrambe operano per contrastare le precipitazioni estreme e per evitare gli allagamenti urbani tipo *flash flood* e *pluvial flooding*.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

I casseri drenanti sono utilizzati per la raccolta e il drenaggio di ingenti volumi di acqua meteorica

in caso di eventi piovosi estremi. La soluzione può essere applicata sia in contesti privati circoscritti che in quelli pubblici estesi e necessita di uno spazio aperto in cui poter alloggiare il sistema degli elementi di plastica. Il principio di funzionamento è quello della raccolta di acqua in un ambiente interrato protetto che gradualmente viene infiltrata nel terreno. Per questo motivo possiamo considerare tra i principali indicatori prestazionali per la soluzione il tasso di infiltrazione naturale del terreno e il volume di acqua massimo stoccabile.

Aspetti progettuali e costruttivi

Quando si realizza un impianto di raccolta, stoccaggio e infiltrazione con casseri drenanti è buona norma inserire uno strato geotessile di separazione tra il terreno e gli elementi modulari plastici. Nel caso in cui le acque meteoriche che fluiscono nel sistema di drenaggio interrato presentino tassi di inquinamento elevati è possibile prevedere un sistema di trattamento delle acque di prima pioggia. In aggiunta a questo sistema di pretrattamento delle acque è inoltre utile inserire un filtro capace di bloccare il passaggio di rifiuti, materiali pesanti e altri tipi di sedimenti.

I casseri drenanti interrati sono una soluzione modulare e pertanto necessitano di essere assemblati in sito. Questo permette di formare un vero e proprio volume cavo più o meno esteso, in relazione alla disponibilità di spazio e alla quantità di acqua che si intende gestire, che viene successivamente interrato. Una volta costruito il sistema di casseri drenanti, questo viene posizionato alla corretta quota nel sottosuolo e poi ricoperto nuovamente con uno strato di terreno vegetale in modo da rendere l'impatto della soluzione impercettibile all'interno del contesto in cui è localizzata.

Infine, una particolare accortezza nella realizzazione della soluzione deve essere riservata agli elementi di riempimento laterali e sul fondo dello scavo nel quale viene posizionato il sistema drenante. Questo espediente consente di aumentare la dispersione nel terreno e può essere facilmente realizzato tramite l'inserimento di materiali drenanti a pezzatura grossa tipo ghiaia o pietrisco.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di un impianto di raccolta, stoccaggio e infiltrazione realizzato con casseri drenanti è fondamentale:

- individuare un luogo aperto che presenti un'adeguata superficie naturale permeabile. Nel caso di inserimento all'interno di un contesto impermeabilizzato risulta utile individuare un'area idonea dove poter operare la de-pavimentazione, compatibilmente con i livelli inquinanti della zona;
- conoscere il tasso di infiltrazione del terreno in cui viene inserito il sistema di casseri. Da questo dipende la velocità e la capacità di drenaggio delle acque meteoriche;
- calcolare il volume di acqua che può essere stoccato temporaneamente nel sistema di casseri interrati.

Benefici ambientali e socioeconomici

L'impiego di casseri drenanti contribuisce a ricaricare le falde acquifere infiltrando le acque meteoriche direttamente nel terreno. La soluzione favorisce il naturale ciclo idrologico dell'acqua e rappresenta una soluzione ad elevata efficacia anche in condizioni di spazio limitato per l'applicazione.

La soluzione non impatta esteticamente sugli ambienti urbani o naturali in cui viene inserita.

In particolare, una volta realizzato il sistema di casseri drenanti interrati l'area può ospitare usi diversificati nello spazio superiore che viene ripristinato. Questo rende i casseri drenanti interrati particolarmente adeguati a molti contesti urbani e naturali, specialmente negli insediamenti caratterizzati da specifici vincoli sul patrimonio storico urbano. Inoltre, la tecnologia e gli elementi impiegati la rendono una soluzione facilmente realizzabile e che necessita di poca manutenzione.

Limiti e problematiche di applicabilità

Tra i principali limiti dei casseri drenanti interrati possiamo prendere in considerazione la necessità di un suolo ad elevato grado di infiltrazione e la loro particolare vulnerabilità nel caso di infiltrazione di acque con un elevato carico di sabbia, limo, detriti e altri materiali fini che ne possono provocare l'intasamento e la perdita di capacità drenante.

Aspetti manutentivi

La soluzione non necessita di particolari opere di manutenzione salvo non vi siano problematiche legate alla perdita di efficacia prestazionale. Nello specifico è sempre opportuno prevedere dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di drenaggio delle acque raccolte all'interno della soluzione.

Tra gli aspetti manutentivi possiamo trovare:

- la pulizia delle vasche di pretrattamento e dei filtri per evitare l'accumulo;
- la pulizia delle tubazioni e/o dei sistemi che convogliano l'acqua all'interno dei casseri drenanti;
- il taglio e la pulizia da piante con radici profonde che potrebbero causare blocchi o rotture nelle tubature e nei casseri drenanti;
- sostituzione di elementi in caso di rottura, dei casseri drenanti oppure dello strato geotessile.

5.3.2 cisterne di raccolta interrate

Tipologia di soluzione

 green
  grey
  blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

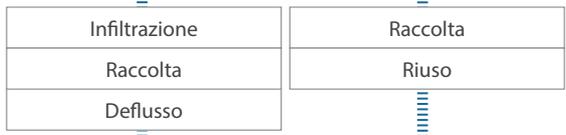
Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata



Indicatori prestazionali



Parametri caratteristici per il progetto

Volume di terreno libero da elementi tecnici e impiantistici
Volume massimo di acqua accumulabile
Tasso di infiltrazione del terreno

Benefici ambientali sociali ed economici

favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere
elevato grado di applicabilità
nessun impatto visivo sull'ambiente
fruibilità dello spazio al di sopra delle cisterne
riuso sostenibile dell'acqua
disponibilità di acqua per usi non potabili

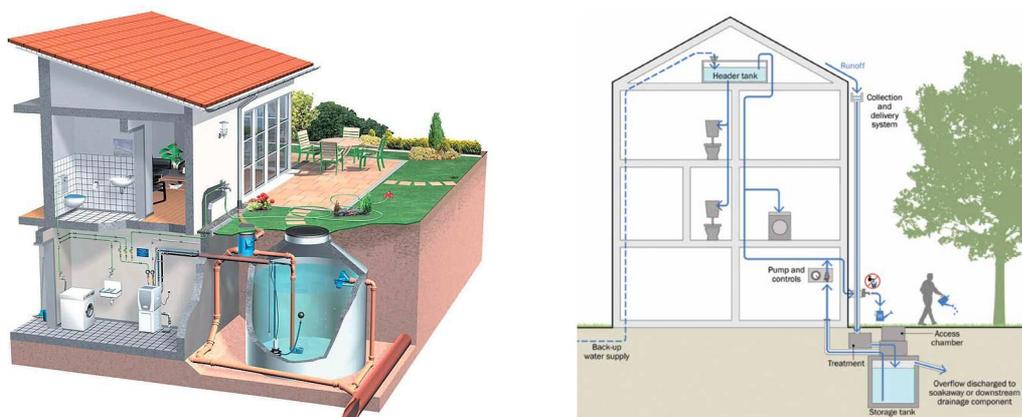


Fig. 1 - Spaccato assometrico (a sinistra) e sezione concettuale (a destra) di una cisterna di raccolta interrata (Source: Shay Murtagh; SUDs Manual)

Tipologia di soluzione

Le cisterne di raccolta appartengono alle *grey solutions* e sono rappresentate da elementi prefabbricati o realizzati in loco che hanno la funzione di raccogliere e smaltire le precipitazioni estreme. È possibile distinguere due tipologie di cisterne drenanti in relazione all'utilizzo che viene fatto dell'acqua: le cisterne traforate infiltranti e le cisterne sigillate con sistemi di controllo e riutilizzo idrico. La prima tipologia lavora come una vera e propria vasca di raccolta forata che disperde l'acqua contenuta al suo interno per infiltrazione e in maniera graduale nel sottosuolo. La seconda tipologia, al contrario, raccoglie l'acqua di deflusso urbano e grazie a delle pompe idrauliche la riutilizza per usi domestici oppure la trasporta in apposite aree di smaltimento, come ad esempio bacini umidi, trincee drenanti, *bioswales*, *rain gardens*, etc. Le cisterne di raccolta interrate variano inoltre per profondità, larghezza, lunghezza e morfologia, per questo motivo ne esistono di diverse forme, dimensioni e capacità di raccolta. La soluzione di adattamento può rientrare nella categoria dei bacini in quanto lavora prevalentemente con il volume di acqua meteorica.

Ambito urbano di applicazione

Le cisterne di raccolta interrate, in generale, possono essere largamente impiegate negli insediamenti urbani, sia nei contesti più naturali che in quelli maggiormente impermeabilizzati. La soluzione si presta particolarmente ad essere inserita nei parchi, giardini, piazze, strade, parcheggi e corti interne. La soluzione può ad esempio essere inserita sotto gli spazi di parcheggio delle automobili, all'interno di una grande piazza impermeabile o se necessario in un parco o giardino come vasca di raccolta dell'acqua per l'irrigazione di piante e alberature.

Pericolosità climatiche affrontate

La funzione principale delle cisterne di raccolta interrate è quella di raccogliere le ingenti quantità di acqua causate dalle precipitazioni frequenti e intense ed evitare il sovraccarico idraulico del sistema fognario. Inoltre, grazie all'acqua di pioggia accumulata, la soluzione è in grado di sopprimere a prolungati fenomeni siccitosi e di carenza idrica.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

La soluzione di adattamento contrasta le precipitazioni estreme grazie alla capacità della cisterna interrata di raccogliere, trattenere e smaltire le acque di pioggia. Nel caso di cisterne traforate, l'acqua viene smaltita tramite naturale infiltrazione diretta nel terreno, e quindi è possibile individuare come indicatore prestazionale il tasso di infiltrazione del sottosuolo. Per le cisterne sigillate con sistemi di controllo e riutilizzo idrico, le acque piovane raccolte possono invece essere smaltite per infiltrazione ed evaporazione all'interno di altre *nature based solution* oppure per confluenza diretta alla rete fognaria. In questo caso il principale indicatore prestazionale della soluzione è da considerare il volume di acqua raccolta e quello da defluire entro un determinato lasso temporale.

Fenomeni siccitosi

Le cisterne di raccolta interrate sigillate con sistemi di controllo e riutilizzo idrico sono in grado di operare anche per il contrasto ai fenomeni siccitosi o di prolungata carenza idrica. Nello specifico la possibilità di poter gestire i flussi idrici raccolti in modi e tempi differenti rispetto alla manifestazione dell'evento climatico estremo permette alla soluzione di possedere una capacità resiliente in grado di prevenire fenomeni di aridità. Il principale indicatore prestazionali che possiamo considerare in questo caso si riferisce al volume idrico raccolto.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nel caso di cisterne di raccolta traforate infiltranti è utile conoscere il tasso di infiltrazione del sottosuolo e prevedere uno scavo abbastanza largo da permettere, oltre all'inserimento della cisterna, il riempimento con materiale granulare variabile come ghiaia o altri elementi naturali grossolani che consentono di aumentare la dispersione dei volumi idrici nel terreno. Queste tipologie di cisterne vengono in genere protette da uno strato geotessile che ne evita l'intasamento da parte di eventuale materiale sabbioso presente nel terreno.

Nella realizzazione delle cisterne di raccolta interrate si può prevedere un pozzetto di pretrattamento delle acque di prima pioggia nel caso in cui le acque che si intende raccogliere posseggano particolari inquinanti o sedimenti. Inoltre, la cisterna deve essere sempre provvista di un sistema di scolmo per il troppo pieno in caso di eventi piovosi di rara portata come quelli con tempi di ritorno centennali o maggiori.

Nel caso di cisterne sigillate è opportuno prevedere un locale tecnico che contiene il sistema meccanico o automatico di gestione del volume d'acqua e che la indirizza verso altre soluzioni di smaltimento idrico. Il locale tecnico deve essere inserito a valle della vasca di raccolta e deve essere ispezionabile.

Parametri caratteristici per il progetto

Analogamente ai casseri drenanti le cisterne di raccolta interrate necessitano di un volume di terreno libero da elementi tecnici ed impiantistici in cui possono essere collocate insieme agli elementi tecnici ausiliari come ad esempio i pozzetti, le pompe, etc.

Nella progettazione di una cisterna di raccolta interrata appartenente alla tipologia delle cisterne traforate infiltranti, i principali parametri da tenere in considerazione riguardano:

- il tasso di infiltrazione del terreno in cui viene inserita la cisterna interrata infiltrante. Da questo dipende infatti la velocità di smaltimento delle acque;
- il volume di acqua che può essere stoccato temporaneamente della cisterna di raccolta drenante.

Per quanto concerne le cisterne sigillate con sistemi di controllo e riutilizzo idrico, è utile conoscere:

- il volume di acqua che può essere stoccato temporaneamente nella cisterna di raccolta drenante;
- il volume di acqua smaltibile in relazione a eventi piovosi di intensità e tempi di ritorno differenti.

Nello specifico, quest'ultimo parametro misura il volume d'acqua che viene spostato dalla cisterna ad un altro sistema di smaltimento, evitando il sovraccarico del sistema fognario. Il principio di funzionamento della soluzione è quello di spostare i volumi d'acqua piovana in relazione al grado di riempimento della cisterna. Ciò permette di ridistribuire i volumi di acqua meteorica attraverso un accurato sistema di condotte idrauliche riequilibrando i livelli idrici su tutto il sistema.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le cisterne interrato sono soluzioni di adattamento che non hanno un impatto estetico, non alterano l'utilizzo del contesto in cui vengono inserite e, superficialmente, possono essere ricoperte con qualsiasi tipologia di pavimentazione, sia naturale che artificiale. Inoltre possono risultare particolarmente utili all'interno di quei contesti urbani soggetti a vincoli sul patrimonio storico esistente.

La soluzione delle cisterne sigillate con il controllo e riutilizzo idrico permette inoltre di reimpiegare l'acqua raccolta per il mantenimento delle aree verdi, fornendo un significativo contributo alla sostenibilità ambientale di soluzioni *nature based* applicabili per l'adattamento climatico o semplicemente come aree vegetate decorative. Questa funzione permette alla soluzione di aumentare la biodiversità e garantire la sostenibilità di infrastrutture verdi e blu.

Limiti e problematiche di applicabilità

Una limitazione all'applicabilità della soluzione dipende dalla scelta della tipologia di cisterna di raccolta da adottare. Nel caso di cisterne infiltranti queste possono essere inserite solamente in presenza di terreni con un adeguato tasso di infiltrazione del terreno e, inoltre, necessitano di un sistema a monte di pretrattamento delle acque di prima pioggia e di un filtro per evitare l'intasamento e/o la formazione di sedimenti.

Nel caso delle cisterne con controllo e riutilizzo delle acque, la principale limitazione riguarda la necessità di realizzare insieme alla vasca di raccolta dei condotti fognari in grado di trasportare le acque stoccate in un adeguato luogo per lo smaltimento, sia essa un'area naturale, la fognatura o il depuratore. Queste tipologie di cisterne interrato vengono gestite da sistemi meccanici e/o automatici di controllo del livello idrico e pertanto necessitano di locali tecnici per l'ispezione e il controllo e figure specializzate nella loro progettazione, realizzazione e manutenzione.

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi delle cisterne interrato si possono annoverare:

- la pulizia delle vasche di pretrattamento e dei filtri per evitare l'accumulo e la formazione di sedimenti;
- la pulizia delle tubazioni e/o dei sistemi che convogliano l'acqua da e per la cisterna di raccolta;
- il taglio e la pulizia da piante con radici profonde che potrebbero causare blocchi o rotture nelle tubature e nei casseri drenanti;
- sostituzione dello strato geotessile che riveste la cisterna di raccolta interrato in caso di rottura.

5.3.3 cool materials



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	------------------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata

UHI



HR



D



W



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (alta)
Emissione termica (alta)
Assorbimento (basso)

Indicatori prestazionali

albedo
emissività

Parametri caratteristici per il progetto

destinazione d'uso della superficie
portanza strutturale della pavimentazione
vincoli derivanti da regolamenti urbani

Benefici ambientali sociali ed economici

riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento
aumenta il comfort interno ed esterno degli ambienti
aumenta il ciclo di vita dei materiali
riduce il numero di rifiuti da smaltire
economicamente vantaggiosa

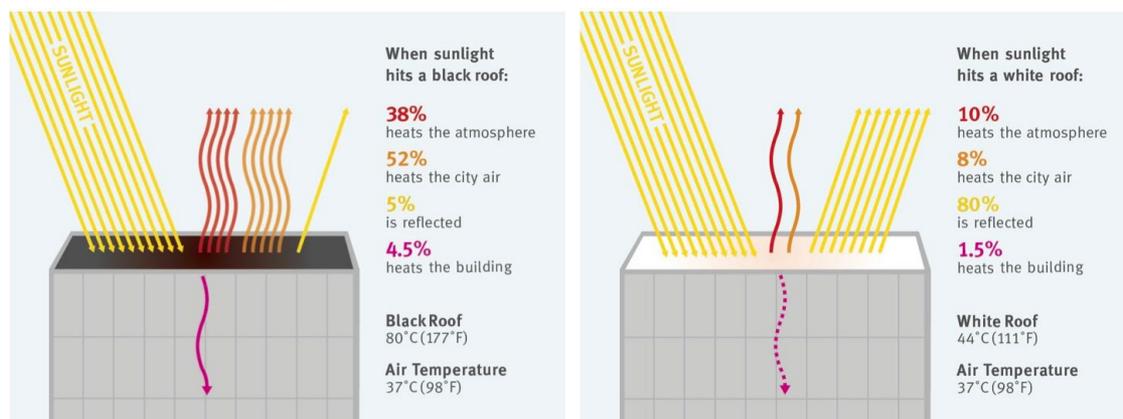


Fig. 1 - Le differenti risposte alla radiazione solare di un materiale standard e di un cool material (Source: A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements)

Tipologia di soluzione

I *cool materials* sono soluzioni di adattamento climatico grigie caratterizzate da pavimentazioni con elevata capacità di riflessione ed emissività, si tratta di materiali non metallici e non scuri che riflettono maggiormente le radiazioni solari. La soluzione è caratterizzata da uno sviluppo prevalentemente superficiale e può essere impiegata in interventi di sostituzione o nuova realizzazione di superfici pavimentate o involucri edilizi. Esistono diverse tipologie di *cool materials* che variano in relazione al materiale e al colore. Tra i materiali impiegati troviamo: asfalto, metallo, laterizio e cemento, tutti altamente riflettenti e con un valore di albedo che oscilla da 0,3 a 0,55, rispetto allo 0,1 delle soluzioni scure convenzionali. Tra i colori dei *cool materials*, il bianco è in assoluto quello più efficiente, anche se è più comune che venga utilizzato per le coperture piane piuttosto che per le pavimentazioni stradali, al fine di evitare fenomeni di abbagliamento che potrebbero causare *discomfort* sia ai pedoni che al traffico veicolare.

Ambito urbano di applicazione

I *cool materials* possono trovare largo impiego in ambito urbano sotto forma di pavimentazione o colorazione, sia per le superfici orizzontali che per quelle verticali. Nello specifico i *cool materials* possono essere applicati per la pavimentazione di piazze, strade, parcheggi; su tutto l'involucro edilizio di facciate o coperture; su pavimentazioni o sentieri all'interno di parchi e giardini. In generale l'impiego di materiale "freschi" rappresenta un'ottima soluzione che può essere applicata in maniera diffusa nella città sostituendo, qualora possibile, i cosiddetti materiali "caldi" che determinano un aumento delle temperature e amplificano gli effetti del riscaldamento urbano.

Pericolosità climatiche affrontate

L'impiego di *cool materials* può portare ad un abbassamento delle temperature, aiutando le città a mitigare il clima e adattarsi ai cambiamenti climatici riducendo l'effetto di isola di calore urbana e le ondate di calore.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

I *cool materials* riescono a contrastare gli eventi climatici di temperature elevate grazie agli alti valori di albedo (alta riflessione) e di emissività, che rappresentano gli indicatori prestazionali

fondamentali per la riduzione dell'assorbimento della luce solare e quindi la diminuzione della temperatura superficiale. Per raggiungere tali valori di albedo ed emissività i *cool materials* lavorano principalmente grazie alle caratteristiche termofisiche del materiale e/o attraverso particolari pigmentazioni altamente riflettenti.

Studi sul comportamento termico dei differenti materiali negli spazi urbani mostrano che nei materiali lapidei il calore specifico non varia ma cambia la conducibilità e la densità: per alti valori di conducibilità termica e bassi di densità si hanno prestazioni termiche peggiori (come, ad esempio, nel porfido); al contrario alti valori sia di conducibilità che di densità, consentono il passaggio del calore e quindi migliorano le prestazioni. L'elemento che però influenza più di ogni altro l'andamento delle temperature dei materiali, con il colore e la rugosità, è l'albedo. Infatti, materiali chiari e lisci hanno temperature superficiali molto basse e si comportano come se fossero all'ombra (come il marmo).

Per quanto concerne la colorazione è stato invece dimostrato che i tetti bianchi riflettono circa il 70/80% delle radiazioni solari mentre la maggior parte dei tetti scuri riflette solo il 20% delle radiazioni. I principali indicatori prestazionali per misurare l'efficacia della soluzione di adattamento comprendono:

- coefficiente di riflessione, o albedo, che è ciò che influenza maggiormente il comportamento termico di un materiale durante il giorno. È definita dal rapporto tra radiazione solare riflessa e radiazione solare totale e dipende dal colore e dalla rugosità del materiale (Dessi, 2018). È quindi la frazione di luce solare riflessa da una superficie e il suo valore varia da 0 a 1 o da 0% a 100%. A titolo esemplificativo lo 0,04 (o 4 percento) è associato al carbone e lo 0,9 (o 90 percento) alla neve fresca. L'elevata riflettanza solare è la proprietà più importante di un *cool material*. Maggiore è l'albedo, minore è la quantità di energia immagazzinata dal corpo, quindi minore la sua temperatura superficiale;
- l'assorbimento solare rappresenta la frazione di luce solare (da 0 a 1 o da 0% a 100%) che viene assorbita da una superficie. Le superfici con un elevato assorbimento solare tendono a riscaldarsi al sole. Se la superficie è opaca, l'assorbimento solare è uguale a 1 meno la riflettanza solare (albedo);
- emissività termica è l'efficienza (da 0 a 1) con cui una superficie emette radiazione termica. L'elevata emissione termica aiuta una superficie a raffreddarsi irradiando calore all'ambiente circostante. Quasi tutte le superfici non metalliche hanno un'elevata emittanza termica, solitamente tra 0,80 e 0,95. Il metallo non rivestito ha una bassa emissione termica, il che significa che avrà temperature superficiali elevate. Una superficie metallica non rivestita che riflette tanto la luce solare quanto una superficie bianca rimarrà più calda al sole perché emette meno radiazioni termiche. L'emissività termica è la seconda proprietà più importante per un *cool material*.

Aspetti progettuali e costruttivi

I produttori di *cool materials* hanno sviluppato soluzioni con colori più tenui - come il rosso, il verde o il grigio, con un alto valore di albedo - che possono essere ampiamente impiegati nelle coperture (piane o inclinate), nelle pavimentazioni esterne e nelle facciate. Rispetto ai materiali bianchi sono meno riflettenti e un po' più costosi ma risultano comunque più economici e facili da installare rispetto ad una superficie verde, che presenta una riflessione paragonabile a quella di una superficie di asfalto trattata con una colorazione *cool* (circa 0,20).

La scelta del *cool material* più adeguato può variare a seconda della latitudine e altitudine, dalle richieste energetiche dell'edificio e dell'ombreggiamento da parte di alberi e/o edifici. Tra le soluzioni disponibili esiste anche la possibilità di impiegare solo la colorazione delle superfici. Questo trattamento risulta tuttavia meno efficiente e più suscettibile all'usura da parte degli

agenti atmosferici rispetto all'installazione di un rivestimento *cool material* che necessita di una minore manutenzione.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di una pavimentazione con *cool materials* i principali parametri caratteristici da tenere in considerazione riguardano:

- la destinazione d'uso della superficie;
- la portanza strutturale della pavimentazione;
- vincoli derivanti da regolamenti urbani sull'utilizzo di specifiche pavimentazioni o colorazioni per la superficie.

Benefici ambientali e socioeconomici

L'impiego dei *cool materials* aumenta la riflettanza delle superfici pavimentate, delle facciate e delle coperture e incrementa l'efficienza energetica dell'edificio, riducendo il suo surriscaldamento e la necessità di energia per il raffreddamento. Passare da un materiale scuro ad un *cool material* può infatti diminuire di qualche grado la temperatura all'interno degli edifici aumentando il comfort interno soprattutto durante gli eventi di caldo estremo, e specialmente se abbinato all'utilizzo di un buon isolamento dell'involucro che ne aumenta la resistenza termica.

I *cool materials* applicate alle coperture sono meno soggetti alle variazioni di temperatura che danneggiano solitamente i materiali tradizionali. Questo aumenta la durata del ciclo di vita della pavimentazione o della superficie diminuendo la quantità di rifiuti da smaltire. Negli Stati Uniti, l'applicazione dei *cool material* su tetti e marciapiedi di tutta la città ha dimostrato che queste soluzioni, unitamente alla piantumazione di alberature ombreggianti, riducono da 2 a 4 gradi la temperatura urbana.

Gli interventi di manutenzione e sostituzione delle pavimentazioni urbane o delle coperture degli edifici rappresentano una prassi ordinaria nelle nostre città, pertanto, dotare l'ambiente urbano o quello edificato di *cool materials* può risultare una soluzione vantaggiosa sia in termini di costi (durabilità maggiore dei materiali e maggiore efficienza energetica dell'edificio), sia per quanto concerne il contrasto all'isola di calore urbano, ottenendo risultati significativi in tempi brevi.

Limiti e problematiche di applicabilità

Un aspetto di cui bisogna tener conto quanto si opta per un *cool material* sono le conseguenze che il suo alto coefficiente di riflessione può avere sull'ambiente circostante. Un tetto bianco fortemente riflettente potrebbe infatti provocare fenomeni di abbagliamento sugli edifici vicini più alti. In tal caso è più opportuno optare per un *cool roof* con colori diversi dal bianco.

Un'ulteriore problematica per le pavimentazioni, al contrario delle coperture, riguarda la compresenza di molteplici flussi, sia veicolari che pedonali, e una pluralità di funzioni che ne influenzano la pulizia e di conseguenza l'efficacia prestazionale.

Aspetti manutentivi

In generale i *cool materials* necessitano di poca manutenzione, tra le attività più rilevanti possiamo annoverare:

- la pulizia periodica del *cool material* per evitare che lo sporco ne diminuisca la riflettanza e quindi l'efficienza nel contrasto agli eventi termici;
- la verniciatura nel caso di degrado della patina riflettente;
- la sostituzione degli elementi in caso di rottura.

5.3.4 coperture urbane

Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione							
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

<ul style="list-style-type: none"> Ombreggiamento Riflessione (alta) Assorbimento (alto) Emissione termica (alta) 	<ul style="list-style-type: none"> Raccolta Deflusso 	<ul style="list-style-type: none"> barriera
---	--	--

Indicatori prestazionali

<ul style="list-style-type: none"> Albedo capacità termica emissività superficie ombreggiata evapotraspirazione 	<ul style="list-style-type: none"> volume raccolto Volume defluito 	<ul style="list-style-type: none"> estensione della parete rapporto pieno/vuoto
--	--	---

Parametri caratteristici per il progetto
orientamento ed esposizione solare parco
altezza della copertura
specie delle piante (in caso di copertura con sistemi verdi)
materiali di rivestimento

Benefici ambientali sociali ed economici
aumenta il comfort degli ambienti esterni
realizzazione di area ricreative e di sosta per i residenti
incremento della biodiversità dell'area (in caso di coperture verdi)
assorbimento della CO2 (in caso di coperture verdi)
riduzione degli inquinanti presenti nell'aria(in caso di coperture verdi)
reversibilità della struttura
barriera contro il traffico e il rumore



Fig. 1 - Copertura urbana realizzata in acciaio e legno nella piazza di Benicàssim, Spagna (Source: Microarquitectura).

Tipologia di soluzione

Le coperture urbane sono soluzioni grigie realizzate con strutture in grado di proteggere dal soleggiamento diretto e dalle piogge. Questi dispositivi urbani sono costituiti da elementi strutturali che possono variare per materiale, forma, funzione e finitura. La soluzione, infatti, può essere integrata da soluzioni di adattamento naturali, come ad esempio il verde rampicante, le pareti vegetate e il verde nelle coperture, oppure con *cool materials* che ne garantiscono elevate prestazioni termiche.

Tra le diverse tipologie di coperture urbane si possono distinguere:

- coperture urbane vegetate: rappresentate da strutture spaziali aperte (pergole) o coperte realizzate con pareti e coperture vegetate, che possono essere del tipo rampicanti o pannelli *living walls*;
- coperture urbane temporanee: costituite da strutture spaziali coperte che si adattano alle esigenze climatiche e si integrano facilmente nei contesti urbani senza compromettere la funzionalità e la fruibilità dello spazio. La loro applicazione è spesso associata ai *dehors* (bar e ristoranti) nel periodo estivo, garantendo un maggiore utilizzo dello spazio pubblico aperto;
- coperture urbane permanenti: sono rappresentate da elementi architettonici veri e propri all'interno dell'ambito urbano. Queste tipologie di copertura urbana spesso divengono veri e propri *landmark* cittadini caratterizzati da usi e funzioni ricorrenti, come ad esempio mercati settimanali, oppure di carattere temporaneo, come ad esempio mostre, manifestazioni, attività sociali e ricreative, etc.

Ambito urbano di applicazione

Le coperture urbane trovano larga applicazione all'interno del tessuto urbano lungo percorsi pedonali o strade, all'interno delle piazze, nei parcheggi, nei parchi, nei giardini, nelle corti degli edifici privati o pubblici. La loro funzione principale è quella di creare delle zone di sosta al riparo dagli eventi climatici, sia di carattere estremo che ordinario di temperature e precipitazioni, e possono essere inserite, ad esempio, in tutte quelle aree urbane in cui non sia possibile inserire le alberature.

Questa tipologia di soluzione di adattamento può essere anche applicata nelle coperture piane degli edifici qualora il regolamento urbanistico cittadino ne consenta l'installazione. Alcune recenti ricerche scientifiche, tra cui METROPOLIS "Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza dei sistemi urbani", e altre piattaforme di soluzioni



Fig. 2 - Copertura urban a Junko Fukutake Terrace, Okayama University, Japan (Source: SANAA Architects)

per l'adattamento, come *Adaptation Solutions*, individuano nella realizzazione dei dispositivi di protezione della copertura una buona pratica per la protezione contro gli eventi climatici estremi.

Pericolosità climatiche affrontate

Le coperture urbane sono in grado di rispondere alle pericolosità climatiche delle temperature elevate, in particolare delle isole di calore urbane e delle ondate di calore, e delle precipitazioni estreme, tra cui quelle a carattere temporalesco che causano alluvioni urbane come il *flash flood* o il *pluvial fluding*. Inoltre, se correttamente disposte queste soluzioni di adattamento grigie possono contrastare i fenomeni di vento estremo fungendo da vere e proprie barriere frangivento.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Per comprendere il funzionamento delle coperture urbane alle temperature elevate è utile descriverne i diversi meccanismi di risposta climatica in relazione alle diverse tipologie in cui questa soluzione si presenta.

Le coperture urbane che utilizzano o integrano elementi vegetati presentano una temperatura superficiale relativamente bassa grazie ai contributi raffrescanti dell'evapotraspirazione delle piante e dell'ombreggiamento. Questo permette alla soluzione di essere realizzata anche tramite strutture spaziali aperte che vengono opportunamente schermate dal sistema vegetale scelto. In questo caso gli indicatori prestazionali comprendono l'evapotraspirazione delle piante, l'albedo e la capacità termica.

Le coperture urbane temporanee vengono spesso realizzate con sistemi tendati con supporti metallici o lignei. La soluzione presenta uno spessore dell'elemento protettivo dell'ordine di pochi millimetri e opera principalmente per riflessione. Per questo motivo, la scelta del materiale e del colore della copertura protettiva sono determinanti per raggiungere un ottimale ombreggiamento ed impedire la ri-emissione del calore nella parte sottostante. Tra i principali indicatori prestazionali possiamo qui inserire l'albedo.

Le coperture permanenti si comportano esattamente come i tetti degli edifici, possono essere rivestite sia sulle pareti che sulle coperture con materiale naturale (diventando di fatto coperture vegetate) oppure tramite l'impiego di *cool materials*. In relazione alla scelta della finitura esterna la loro risposta termica varia e di conseguenza variano i relativi indicatori prestazionali. Dato



Fig. 3 - Copertura urbana nella Railway Square a Midland in Australia (Source: PLACE Laboratory)

che gli indicatori degli elementi vegetali sono stati descritti più sopra per la copertura vegetata, possiamo indicare, tra gli indicatori delle coperture con materiali artificiali, l'albedo e l'emissività.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le coperture urbane caratterizzate da elementi vegetali in copertura e lungo le pareti sono in grado di raccogliere le acque meteoriche in caso di eventi pluviometrici estremi. La loro efficacia è limitata alla superficie della copertura, infatti, maggiore e più diffusa è la soluzione, più alta sarà la capacità di raccolta dell'acqua.

La raccolta delle acque meteoriche può essere realizzata anche attraverso sistemi di accumulo lungo le pareti o sulla copertura, ponendo sempre particolare attenzione alla necessità di smaltire i volumi idrici in eccesso ed evitando problemi strutturali alla copertura urbana.

Per questi motivi possiamo indicare il volume di acqua che può essere raccolto dalla soluzione delle coperture urbane tra gli indicatori prestazionali che rispondono alla criticità climatica delle precipitazioni estreme.

Tempeste di vento

Le coperture urbane possono influire positivamente nel contrasto alle forti correnti ventose. Questa soluzione se disposta in maniera perpendicolare alla direzione dei venti più intensi è in grado di smorzare le pericolose raffiche che possono colpire gli elementi più vulnerabili del sistema urbano. La loro presenza all'interno del contesto urbano consente di ridurre i possibili danni agli edifici e allo spazio aperto e conseguentemente il rischio per persone e cose. Tra gli indicatori prestazionali possiamo pertanto inserire l'estensione superficiale delle pareti verticali e il rapporto tra i pieni e i vuoti. Tali parametri definiscono la porosità delle pareti verticali delle coperture urbane e quindi la loro resistenza alle azioni delle raffiche di vento.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le coperture urbane devono essere progettate per schermare dalle radiazioni solari più intense, ovvero quelle delle ore centrali, e per questo motivo necessitano di un approfondito studio sull'esposizione solare nelle diverse ore del giorno e stagioni.

Nelle coperture urbane temporanee e permanenti l'utilizzo di coperture di colore chiaro e poco rugose permette di raggiungere prestazioni termiche più elevate. Un particolare accorgimento

per ottenere coperture urbane più performanti riguarda l'utilizzo di una doppia membrana o un doppio strato materico, separato da uno strato d'aria centrale. Questo sistema impedisce alla radiazione solare di raggiungere lo strato inferiore, abbattendo la sua capacità ri-emissiva del calore e proteggendo le persone che si trovano sotto la copertura.

Per far fronte alle elevate temperature urbane le coperture aperte sono preferite a quelle chiuse in quanto sono in grado di disperdere più velocemente il calore accumulato. Quest'ultimo aspetto incide negativamente sulla capacità di captare le acque di pioggia e raccoglierele temporaneamente per non sovraccaricare il sistema fognario.

Non vi sono particolari raccomandazioni per la scelta del materiale della struttura delle coperture urbane, occorre tuttavia fare attenzione ai carichi permanenti, quelli accidentali e alla resistenza agli agenti atmosferici in particolare il sole, il vento e la pioggia.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici da tenere in considerazione quando si progetta una copertura urbana comprendono l'esposizione solare e l'altezza della copertura in relazione allo studio del soleggiamento nelle diverse ore e stagioni. Inoltre, per le coperture vegetate è fondamentale individuare la scelta della specie delle piante da posizionare al sole e quelle da inserire nelle zone ombreggiate. In maniera analoga, per le coperture temporanee e quelle permanenti, che possono essere qui raggruppate in quanto impiegano entrambe materiali edili, è fondamentale la scelta dei materiali di finitura delle pareti e delle coperture. Questa scelta infatti influenza, in particolare, l'albedo e l'emissività materica, e in generale, la risposta termica complessiva della soluzione agli eventi climatici estremi.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le coperture urbane garantiscono la realizzazione di piccole oasi contro il caldo o rifugi contro le piogge estreme in cui ripararsi dalle avversità degli eventi climatici e in grado di captare una certa quantità di acqua meteorica. La soluzione è in grado di incrementare la vivibilità e il comfort degli spazi aperti delle città e può essere integrata da sedute o tavoli nei quali poter svolgere attività di carattere sociale o semplicemente per ristorarsi momentaneamente.

La realizzazione di coperture urbane rivestite con elementi vegetali permette di abbattere le polveri sottili, catturare anidride carbonica ed eventualmente schermare dallo smog delle automobili e del rumore del traffico cittadino.

Tra gli altri benefici attribuibili a questa soluzione progettuale di adattamento rientra la reversibilità, ovvero la possibilità di smantellare totalmente o parzialmente la copertura urbana. Questa estrema flessibilità della soluzione le permette di essere largamente impiegata anche per altre e più varieghe funzioni.

Limiti e problematiche di applicabilità

La realizzazione di coperture urbane presenta anche alcuni limiti di applicabilità. Da un lato, infatti, questa soluzione necessita della realizzazione di adeguate strutture di fondazione. Dall'altro, nel caso di coperture vegetate rampicanti, è richiesta la realizzazione di apposite aree di terreno naturale nel quale inserire le piante e, di conseguenza, sarà fondamentale prevedere gli opportuni impianti di irrigazione.

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi riferibili alle coperture urbane è possibile individuare:

- la pulizia delle coperture e delle pareti, evitando che con il passare del tempo lo sporco che si accumula e possa compromettere l'efficacia prestazionale rispetto alle criticità termiche;
- la cura delle piante in caso di copertura urbane con elementi vegetali. In particolare, sono fondamentali: lo sfalcio, la corretta distribuzione dell'acqua, la cura del terreno;
- l'eventuale sostituzione di elementi naturali o edilizi danneggiati.

5.3.5 fontane



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata

UHI



HR



D



W



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Assorbimento (alto)

Riflessione (bassa)

Indicatori prestazionali

Capacità termica

Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

Volume di terreno libero da elementi tecnici e impiantistici

volume di acqua da contenere nella vasca superficiale

dimensionamento degli elementi tecnici ausiliari

Benefici ambientali sociali ed economici

aumenta il comfort degli ambienti esterni

realizzazione di area ricreative e di sosta per i residenti



Fig. 1 - Fontana d'acqua all'interno del parco urbano Martin Luther King a Parigi (Source: Martin Argyroglo).

Tipologia di soluzione

Le fontane sono opere architettoniche che sfruttano l'acqua come elemento principale per adattarsi al cambiamento climatico. Queste soluzioni vengono inserite all'interno delle soluzioni grigie in quanto per la loro realizzazione e utilizzazione richiedono l'impiego di elementi tecnici ed edilizi complessi quali pompe per il trasporto dell'acqua, cisterne di accumulo interrate, tubazioni, vasche di raccolta superficiali, etc.

Le fontane d'acqua possono presentarsi in diverse tipologie, tra cui:

- le fontane con getti singoli o multipli con vasca poco profonda e a sfioro sulla quota del terreno, che rappresentano la tipologia più innovativa e contemporanea;
- le fontane con getti singoli o multipli con vasche mediamente profonde, che costituiscono l'archetipo della fontana classica maggiormente diffusa;
- le fontane a lama d'acqua e vasche mediamente profonde, che sono vere e proprie cascate d'acqua che utilizzano l'altezza di pareti verticali per riversarsi all'interno di una vasca di raccolta sottostante.

La soluzione può inoltre essere inserita nella categoria dei bacini in quanto caratterizzata da una vasca d'acqua con prevalente sviluppo superficiale.

Ambito urbano di applicazione

Le fontane possono essere applicate in molti ambiti spaziali del contesto urbano e, in relazione alla dimensione del progetto, necessitano di un'area più o meno estesa per la vasca superficiale e gli impianti interrati. Gli ambiti di applicazione principali delle fontane comprendono le piazze, i giardini, i parchi e, in alcuni casi, si possono trovare nei parcheggi e all'interno delle corti di edifici privati o pubblici.

Pericolosità climatiche affrontate

Le fontane rispondono principalmente alla criticità climatiche delle temperature elevate offrendo un contributo al miglioramento del microclima nelle aree limitrofe alla soluzione. La soluzione non è in grado di fornire degli apporti per il contrasto alle precipitazioni estreme se non viene opportunamente integrata con altre soluzioni progettuali di adattamento appositamente studiate.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Il contributo delle fontane alla riduzione delle elevate temperature, delle isole di calore e delle ondate di calore dipende principalmente dall'estensione dell'intervento e dalla velocità dell'acqua all'interno della soluzione. I maggiori contributi di raffrescamento si ottengono con fontane che presentano un ampio volume d'acqua nella vasca superficiale e con quelle che riescono a generare un significativo movimento idrico attraverso gli spruzzi e il sistema di ricircolo.

Il contributo all'adattamento climatico delle fontane è legato alla capacità di mantenere la temperatura superficiale inferiore rispetto a quella dell'aria e di altri materiali edilizi tramite le sue capacità di accumulo del calore, grazie alla sua massa termica, e di raffrescamento, tramite l'evaporazione.

La bassa riflettanza solare dell'acqua permette alle radiazioni di attraversare il liquido ed essere immagazzinate al suo interno, anche nei casi in cui la profondità della vasca sia residua. Questa proprietà fisica permette alle superfici d'acqua di assorbire fino all'80% della radiazione solare incidente. Si possono ottenere risultati benefici di riduzioni delle temperature superficiali maggiori «tra i 3° C con solo specchio d'acqua a 6° C con gli zampilli ed i getti in funzione» (cfr. Dessì, 2018; pag. 25) semplicemente incrementando la superficie di contatto aria-acqua, in termini di estensione superficiale, oppure la profondità della vasca, e quindi la sua massa termica. Inoltre, grazie alla nebulizzazione delle gocce d'acqua degli spruzzi che si mischiano con il volume d'aria si determina un'ulteriore riduzione della temperatura dell'aria.

Pertanto, tra i principali indicatori prestazionali delle fontane, per contrastare le elevate temperature, possiamo annoverare l'elevata capacità termica e l'evaporazione dell'acqua.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nel caso in cui si progetti una fontana è necessario prevedere un sistema idraulico a circuito chiuso che mantenga l'acqua costantemente in movimento per garantire i suoi fenomeni raffrescativi generati dagli spruzzi ed eviti gli sprechi. Per questo motivo è fondamentale che il sottosuolo dell'area in cui è previsto l'intervento presenti una superficie sufficientemente sgombera da sistemi impiantistici (elettrici, idraulici, fognari, gasdotti, etc.) per poter allocare i sistemi impiantistici adeguati al corretto funzionamento della soluzione.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di una fontana i parametri caratteristici da tenere in considerazione comprendono:

- volume d'acqua da contenere nella vasca superficiale;
- il dimensionamento degli elementi tecnici ed edilizi accessori quali pompe per il trasporto dell'acqua, cisterne di accumulo interrate, tubazioni, etc.

Benefici ambientali e socioeconomici

La presenza di fontane d'acqua garantisce ai cittadini una sensazione di fresco, rende lo spazio urbano attraente e favorisce la socializzazione. La presenza di tale soluzione rappresenta inoltre un punto di contatto con l'elemento naturale dell'acqua utile per sensibilizzare la popolazione sulla sua importanza nel contrasto ai fenomeni di caldo estremo e ai periodi di siccità.

Le fontane possono essere realizzate in combinazione con vasche d'acqua più estese, cascate, sistemi meccanici di raffrescamento tramite nebulizzazione e altro ancora. La soluzione muove

nella direzione di una progettazione resiliente dello spazio urbano che, a fronte dei fenomeni climatici estremi, possa prevedere l'integrazione degli elementi naturali nelle soluzioni per l'adattamento climatico.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti legati alla applicabilità della soluzione riguardano l'estensione superficiale e la presenza di un'area nel sottosuolo sgombera da sistemi impiantistici di varia tipologia (elettrici, idraulici, fognari, gasdotti, etc.).

Aspetti manutentivi

Gli aspetti manutentivi più rilevanti per le fontane comprendono: la pulizia periodica dei sistemi idraulici che possono presentare incrostazioni causate dal calcare; la sostituzione di elementi tecnici o architettonici danneggiati o rotti.

5.3.6 pavimentazioni permeabili

Tipologia di soluzione



Categoria di intervento			
elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini

Ambito urbano di applicazione							
parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (alta)	Captazione
Emissione termica (alta)	Infiltrazione
Assorbimento (alto)	Raccolta
	Deflusso

Indicatori prestazionali

albedo	Volume raccolto
emissività	Volume defluito
evapotraspirazione	Permeabilità
	Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto
capacità di drenaggio della pavimentazione
tasso di infiltrazione del terreno
carico di traffico pedonale o veicolare
quantità di luce (se superfici con vegetazione)
resistenza al calpestio (se superficie con vegetazione)
Volume massimo di acqua accumulabile

Benefici ambientali sociali ed economici
riduzione del runoff superficiale
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere



Fig. 1 - Tre diversi tipi di pavimentazione permeabili. Da sinistra sfalto permeabile, calcestruzzo permeabile e autobloccanti permeabili (Source: City of Philadelphia Green Streets Design Manual).

Tipologia di soluzione

Le pavimentazioni permeabili sono soluzioni di adattamento grigie caratterizzate da elementi porosi o permeabili che permettono alle acque meteoriche di infiltrarsi nel sottosuolo. Le soluzioni porose drenano l'acqua grazie alla presenza di piccoli spazi vuoti (pori) presenti nel materiale. Tra queste rientrano le superfici realizzati sotto forma di massetti drenanti in asfalto poroso, ghiaia resinata, calcestruzzo permeabile, etc. Quelle permeabili sono caratterizzate da superfici formate da elementi disposti in modo tale da lasciare lo spazio necessario all'acqua di infiltrarsi negli strati sottostanti. Tra queste rientrano, ad esempio, le pavimentazioni con blocchi a giunti aperti e i grigliati in plastica rinforzata inerbite. Per entrambe le tipologie sono disponibili in commercio pavimentazioni permeabili di diversi materiali, forma e modalità aggregativa. La soluzione per la sua caratteristica di elemento di pavimentazione può essere classificata tra le soluzioni a sviluppo superficiale.

Ambito urbano di applicazione

Le pavimentazioni permeabili possono essere ampiamente utilizzate in ambito urbano sia per gli interventi di nuova realizzazione che in quelli di riqualificazione. L'elevata differenziazione sia materica che aggregativa, ne garantisce versatilità e consente alla soluzione un largo impiego. Queste caratteristiche consentono alle pavimentazioni permeabili di risultare particolarmente idonee a caratterizzare in modo contemporaneo l'immagine delle città oltre che ad adattarsi ai differenti usi e vincoli urbani. Le soluzioni possono trovare applicazione nelle strade, sia carrabili che pedonali, nelle piazze, nei sentieri dei parchi e giardini, nei parcheggi, nelle corti e persino sulle coperture degli edifici.

Pericolosità climatiche affrontate

Le pavimentazioni permeabili sono in grado di affrontare le pericolosità climatiche delle precipitazioni estreme che causano fenomeni di allagamento urbano tipo *pluvial flood* e *flash flood*. Inoltre, se la soluzione viene realizzata con materiali ad alto albedo ed emissività (*cool materials*) è in grado di offrire significativi contributi anche per quanto concerne la pericolosità climatica delle temperature elevate, contrastando le isole di calore urbane e le ondate di calore.

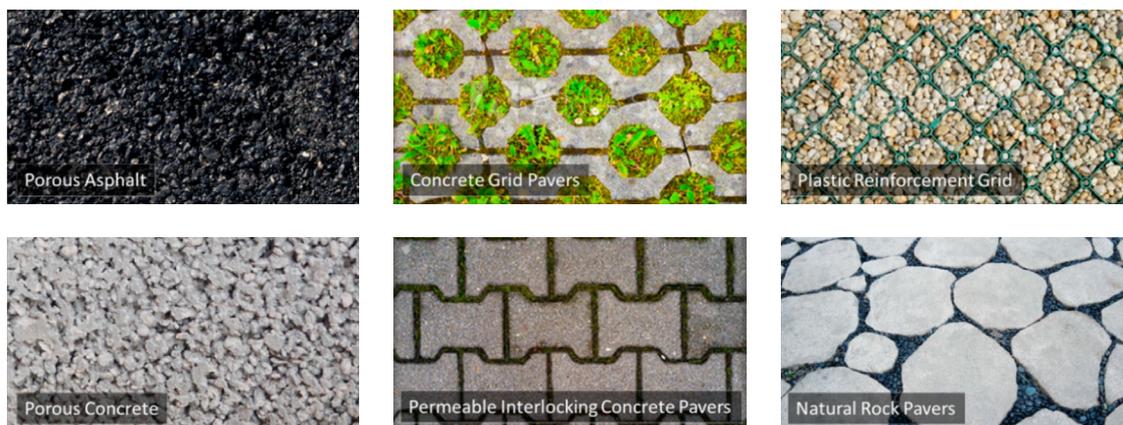


Fig. 2 - Le 6 tipologie di pavimentazioni permeabili più comuni: asfalto poroso, autobloccanti a giunto aperto e inverdito, grigliati in plastica rinforzata, calcestruzzo poroso, autobloccanti, in pietra naturale a giunti aperti (Source: Sustainability 2020, 12, 7422; doi:10.3390/su12187422)

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Le pavimentazioni permeabili generalmente non operano direttamente per il contrasto delle criticità climatiche delle temperature elevate ma possono essere integrate da soluzioni progettuali, sia naturali che grigie capaci di assolvere a questo compito. A titolo esemplificativo, se la soluzione viene realizzata con un grigliato in plastica rinforzata inverdito potrà beneficiare degli effetti evapotraspirativi del terreno e delle piante. Se invece la pavimentazione viene realizzata con *cool materials* sarà caratterizzata da elevati valori di albedo e emissività tali da permettergli di non accumulare le radiazioni solari e disperdere velocemente il calore in eccesso. Pertanto, gli indicatori prestazionali riferiti alle pavimentazioni permeabili sono l'albedo e l'emissività che varieranno in relazione al materiale e alla tipologia di pavimentazione permeabile scelta. Si prenda ad esempio l'asfalto: in estate le superfici di questo materiale oltre ad avere una temperatura superficiale più elevata, assorbono e reimmettono in atmosfera una quantità di calore di gran lunga maggiore rispetto al calcestruzzo, al terreno o al manto erboso.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le pavimentazioni permeabili consentono all'acqua di infiltrarsi negli strati inferiori del suolo e di essere assorbite dal terreno oppure controllate e indirizzate al sistema fognario. Le superfici permeabili sono un mezzo efficiente per gestire le acque superficiali in quanto sono in grado di intercettare, ridurre e trattenere il deflusso idraulico.

La soluzione di adattamento lavora alla gestione dell'acqua secondo tre principi di funzionamento. Nel primo caso l'acqua di pioggia che attraversa la pavimentazione permeabile viene immagazzinata temporaneamente nel sottosuolo e successivamente infiltrata naturalmente nel terreno. In questo sistema l'acqua è gestita completamente in sito e non viene convogliata nel sistema fognario o in sistemi di smaltimento naturali. Nel secondo sistema la pioggia che si infiltra nel sottosuolo viene smaltita da una tubazione forata drenante, al di sotto della quale si trova un materassino geocomposito che assolve alla funzione di convogliare l'acqua all'interno del tubo di deflusso verso altri sistemi di smaltimento più capienti.

I principali indicatori prestazionali attribuibili alle pavimentazioni permeabili attraverso i quali è possibile misurare l'efficacia della soluzione per il contrasto delle precipitazioni estreme sono



Fig. 3 - Pavimentazione permeabile a giunto aperto con manto erboso (Source: LUNIX® - Eco pavement)

il tasso di infiltrazione del terreno e la capacità di deflusso idrico del sistema di smaltimento.

Aspetti progettuali e costruttivi

La scelta dei materiali superficiali è fondamentale per consentire all'acqua di penetrare nel terreno sottostante. La pavimentazione più appropriata dovrà essere individuata principalmente in relazione ai carichi di esercizio, se si tratta di una strada di traffico veicolare ad alta percorrenza dovrà sopportare carichi maggiori, al contrario, se è ad esempio un percorso pedonale i pesi da considerare saranno minori.

Nella progettazione delle pavimentazioni permeabili occorre tenere in considerazione che la resistenza del terreno è solitamente molto minore di quella dei materiali impiegati per le superfici stradali pertanto occorre distribuire i carichi in maniera diffusa e uniforme. Per questo motivo un aspetto fondamentale è la definizione degli strati costitutivi che caratterizzano il terreno sottostante al fine di individuare la portanza strutturale e la capacità di infiltrazione idraulica.

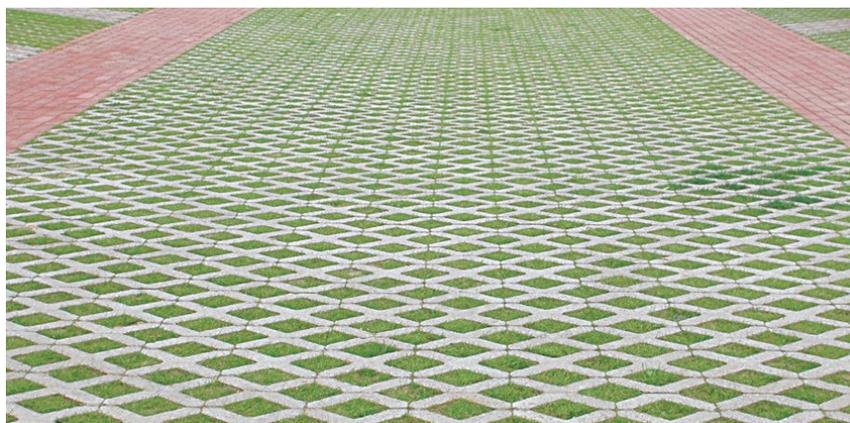
Le pavimentazioni permeabili sono generalmente utilizzate per gestire in loco le precipitazioni sulle proprie aree di estensione superficiale ma, grazie alle loro elevate capacità drenanti, sono spesso in grado di essere utilizzate come aree per il drenaggio dei deflussi provenienti da altre aree limitrofe, come ad esempio le coperture degli edifici oppure aree parcheggio impermeabili.

La soluzione deve essere in grado di resistere a eventi meteorici differenti caratterizzati da volumi di pioggia ordinaria e/o straordinaria. A questo proposito è necessario prevedere un sistema di deflusso delle acque in caso di troppo pieno, ovvero quando i volumi d'acqua piovana hanno superato la capienza limite di drenaggio di progetto. Inoltre, la pavimentazione deve svuotarsi dall'acqua meteorica raccolta entro un determinato limite temporale in modo da garantire lo stoccaggio delle piogge all'evento piovoso successivo.

Parametri caratteristici per il progetto

Tra i principali parametri caratteristici per il progetto di una pavimentazione permeabile è fondamentale considerare:

- la capacità di drenaggio della pavimentazione, che deve essere valutata in relazione a eventi piovosi di intensità e tempi di ritorno differenti. Nello specifico è fondamentale conoscere il volume d'acqua che viene smaltito in un'unità di tempo;



Schemi di posa

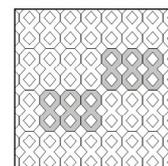


Fig. 4 - Grigliati in calcestruzzo inerbiti destinate ad essere completate con ghiaino o con terreno di coltura e semina di prato per ottenere una superficie carrabile “verde” (Source:Record).

- il tasso di infiltrazione del terreno, ovvero la permeabilità degli strati presenti nel sottosuolo;
- il carico di traffico pedonale o veicolare al quale la pavimentazione sarà soggetta nelle sue condizioni di esercizio e la sua portanza strutturale;
- la quantità di luce e la resistenza al calpestio per la vegetazione, nel caso si decida di impiegare pavimentazioni permeabili tipo quelle grigliate in plastica rinforzata inerbite. A titolo esemplificativo, in un parcheggio ad alta frequentazione nelle fasce diurne la mancanza di luce, il ripetuto calpestio da parte dei battistrada e il calore irradiato dalla parte sottostante delle automobili non permette una adeguata crescita del manto erboso. Per questo motivo, in queste circostanze può essere opportuno utilizzare materiali inerti a pezzatura grossa.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le pavimentazioni permeabili consentono di ridurre le superfici impermeabili all'interno degli ambiti urbani e ciò consente di poter gestire in maniera diretta le acque meteoriche, riducendo il rischio di allagamenti urbani causati dall'eccessivo *runoff* superficiale e ricaricando naturalmente le falde acquifere.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti legati all'applicabilità delle pavimentazioni permeabili concernono:

- la presenza di vincoli sulla finitura superficiale della pavimentazione, qualora l'area dell'intervento sia sottoposta a particolari condizioni di tutela del patrimonio;
- il difficile mantenimento della soluzione nel caso di manti erbosi soggetti ad un utilizzo frequente e una carenza di illuminazione;
- la possibilità di perdita di efficienza dovuta all'intasamento delle fessure o dei pori della pavimentazione drenante.

Tra le principali problematiche attribuibili alle pavimentazioni permeabili è possibile annoverare la perdita della capacità di infiltrazione nel tempo causata principalmente dall'ostruzione delle fessure (in caso di pavimentazioni permeabili) o dei pori (in caso di pavimentazioni porose) dai detriti e sedimenti trasportati dalle piogge.

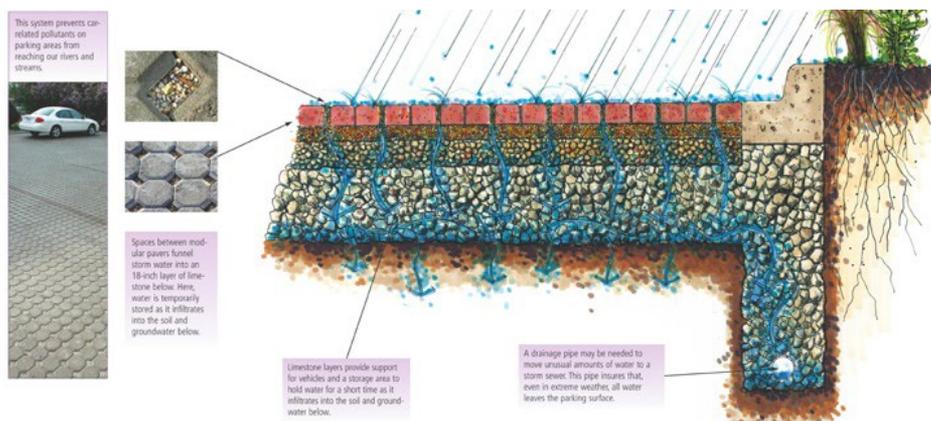


Fig. 5 - Illustrazione di una pavimentazione permeabile (Source: Doug Adamson, Rdg Planning & Design, provided by USDA-NRCS In Des Moines, IOWA)

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi riferibili alle pavimentazioni permeabili possiamo elencare:

- la pulizia delle pavimentazioni da sporco, sedimenti e detriti per evitare una perdita di efficacia nel contrasto alle pericolosità climatiche sia delle temperature elevate che delle piogge estreme;
- la verifica della capacità filtrante;
- la sostituzione di eventuali blocchi o parti della pavimentazione danneggiati.

5.3.7 regolatori di flussi idrici



Tipologia di soluzione



Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riduzione

Indicatori prestazionali

volume ridotto

Parametri caratteristici per il progetto

pressione del sistema idraulico
dispositivi tecnici in entrata e in uscita dagli impianti

Benefici ambientali sociali ed economici

reversibilità degli impianti
economicamente vantaggiosa
riduzione dei consumi idrici

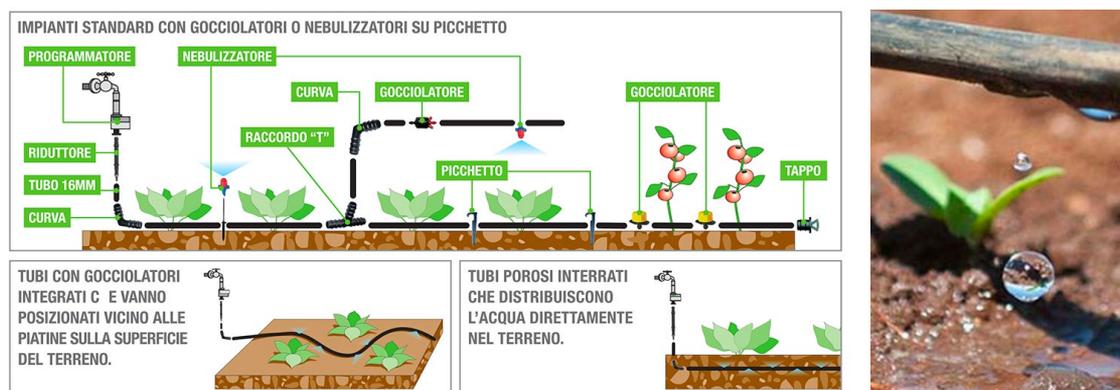


Fig. 1 - Schema di un impianto di regolazione del flusso idrico cosiddetto “a goccia” nel campo dell’agricoltura a sinistra (Source: Leroy Merlin) e foto di dettaglio di un impianto in azione a destra (Source: Noi siamo agricoltura).

Tipologia di soluzione

I regolatori di flusso sono soluzioni di adattamento climatico che consentono di ridurre la quantità di acqua impiegata per usi domestici e industriali all’interno degli edifici e degli spazi aperti, siano essi pubblici o privati. La soluzione è in grado di adattarsi ai sempre più prolungati periodi siccitosi e di carenza idrica presente in molte regioni del sud Europa e, nello specifico, si presenta come un elemento tecnico da installare in maniera diffusa negli impianti di distribuzione idrica della città (abitazioni, industrie, infrastrutture verdi, fontane, etc.). Il dispositivo è in grado di controllare e ridurre la portata d’acqua e può essere classificato come elemento tecnico appartenente alla tipologia delle soluzioni grigie.

Ambito urbano di applicazione

I regolatori di flussi possono essere impiegati in qualsiasi tipologia di impianto idrico all’interno di molti settori sia lavorativi che residenziali. La soluzione identifica un dispositivo tecnico che può essere installato negli impianti idrici e pertanto è applicabile ad esempio:

- all’interno degli edifici, per ridurre la portata degli impianti idrici e ridurre i consumi;
- nei giardini e nei parchi, per gestire in maniera efficiente e senza sprechi l’irrigazione delle piante;
- in tutti gli elementi dello spazio urbano in cui sia previsto l’impiego di un impianto idrico.

Pericolosità climatiche affrontate

I regolatori di flusso sono impiegati principalmente per ridurre la quantità di acqua impiegata negli usi domestici e industriali, ciò consente alla soluzione di rappresentare una buona pratica per il contrasto alla siccità e alla scarsità idrica.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Fenomeni siccitosi

I regolatori di flusso operano principalmente attraverso la riduzione della portata, ovvero diminuiscono il volume d’acqua che fluisce dall’impianto. Questa soluzione costituisce una risposta di adattamento anticipatoria e preventiva all’intensificazione degli eventi estremi di siccità e scarsità idrica. Il principale indicatore prestazionale attraverso cui è possibile misurare l’efficacia della soluzione a contrasto dei fenomeni siccitosi è il volume d’acqua risparmiato.



Fig. 2 - Esempi di sistemi di riduzione del flusso idrico applicati negli impianti idrici domestico (Source: WSD® System).

Tale indicatore può anche essere letto come volume idrico effettivamente erogato oppure quello potenzialmente raccolto, nel caso in cui siano previste sistemi di stoccaggio.

Aspetti progettuali e costruttivi

I regolatori di flusso possono essere installati come elementi finali dei sistemi di distribuzione idrica, come ad esempio nei rubinetti dei bagni e delle cucine. Questa soluzione è in grado di produrre una riduzione del getto del 30/40% in media ogni minuto e può essere applicata anche nei sistemi di scarico dei reflui domestici. Nel contesto industriale tale sistema può essere integrato, all'ingresso oppure all'uscita dalle tubazioni, attraverso l'installazione di apposite valvole di regolazione.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri caratteristici da considerare quando si impiegano i regolatori di flusso, concernono: la pressione del sistema idraulico e i dispositivi tecnici in entrata e uscita dalla rete idrica.

Benefici ambientali e socioeconomici

I dispositivi di regolazione del flusso idrico permettono agli utenti di risparmiare una notevole quantità di costi in quanto sono in grado di ridurre la quantità di acqua impiegata per usi abitativi e lavorativi. La soluzione consente di mantenere una pressione idrica costante durante il suo utilizzo, ciò garantisce un risparmio sulle spese idriche. Il dispositivo offrire la possibilità di impiegare una soluzione ecologica che ha la capacità di conservare fino a 85% del consumo di acqua giornaliero, in altri termini, permette di ridurre i consumi e preservare l'acqua in caso di fenomeno siccitoso.

I dispositivi di regolazione del flusso idrico rappresentano inoltre una soluzione che può essere rimossa dall'impianto idrico in qualsiasi momento, garantendo pertanto una totale reversibilità del sistema.

Limiti e problematiche di applicabilità

Tra le principali limitazioni dei regolatori di flussi va considerata la necessità di rendere tale soluzione diffusa a tutti gli impianti idrici cittadini. Ciò consentirebbe di ottenere un incisivo

grado di adattamento ai potenziali fenomeni siccitosi. La sua applicazione settoriale, seppur garantisca una risposta in termini di riduzione dei consumi, da sola offrirebbero un'efficacia ridotta al contrasto delle criticità climatiche più severe della siccità e della carenza idrica. Una strategia valida per sopperire a questo tipo di problematica è quella di avviare politiche di incentivazione e promozione all'utilizzo di tali dispositivi al fine di raggiungere una notevole riduzione dei consumi idrici all'interno di grandi insediamenti urbani.

Aspetti manutentivi

Tra i principali aspetti manutentivi possiamo annoverare:

- la pulizia da eventuali residui o formazione di calcare;
- la sostituzione di elementi danneggiati o rotti.

5.3.8 serbatoi di raccolta fuori terra



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	--------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Raccolta	Raccolta
Deflusso	Riuso

Indicatori prestazionali

volume raccolto	volume raccolto
volume defluito	volume riutilizzato

Parametri caratteristici per il progetto

superficie disponibile per l'installazione del serbatoio
progettazione dell'impianto di raccolta e redistribuzione
Volume massimo di acqua accumulabile
verifica dell'idoneità della superficie captante
dimensionamento del serbatoio di raccolta

Benefici ambientali sociali ed economici

reversibilità degli impianti
riduzione dei consumi idrici
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere
elevato grado di applicabilità
riuso sostenibile dell'acqua
disponibilità di acqua per usi non potabili

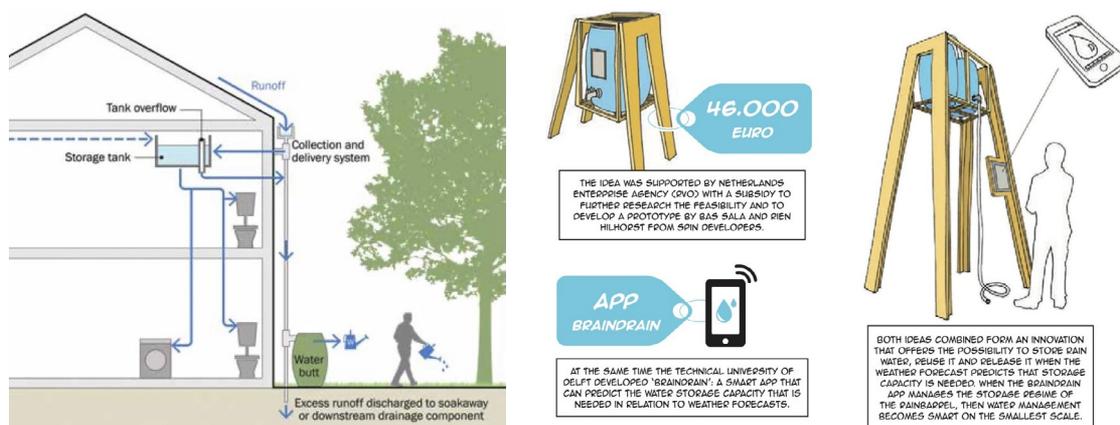


Fig. 1 - Schema di funzionamento di un serbatoio di raccolta fuori terra (a sinistra) e proposta di strategia di raccolta dell'acqua meteorica messa in atto nel quartiere di Zoho a Rotterdam (a destra) (Source: Suds Manual; De Urbanisten).

Tipologia di soluzione

I serbatoi di raccolta sono *grey solutions* fuori terra hanno il compito di recuperare le acque piovane per l'irrigazione e il riutilizzo nei servizi domestici e/o industriali. L'acqua raccolta può essere impiegata ad esempio ricaricare le cassette dei wc, per il funzionamento della lavatrice oppure per altri usi non potabili. L'impiego dei serbatoi di raccolta fuori terra è tuttavia subordinato a:

- la presenza di una superficie captante in grado di raccogliere l'acqua meteorica, come ad esempio la copertura di un edificio, di un capannone o di una pensilina urbana;
- la presenza di un sistema di tubazioni per trasferire l'acqua dal serbatoio all'edificio oppure in caso di piogge estreme e superamento della capienza dal serbatoio ad un altro sistema di smaltimento idrico;
- la presenza di opportune pompe che garantiscono la distribuzione dell'acqua raccolta ai vari dispositivi industriali oppure all'abitazione.

Ambito urbano di applicazione

I serbatoi di raccolta fuori terra sono ampiamente utilizzati nei contesti urbani. La loro maggiore diffusione si ha negli edifici privati e pubblici in cui è presente uno spazio aperto libero per la collocazione del dispositivo di raccolta e un adeguato spazio per i sistemi ausiliari di funzionamento (pompe, tubazioni, etc.). Questa soluzione può essere inserita nei cortili degli edifici, lungo le strade, nei parcheggi in prossimità di una copertura urbana (pensilina, pergola, etc.).

Pericolosità climatiche affrontate

I serbatoi di raccolta fuori terra sono impiegati principalmente per contrastare le criticità climatiche delle piogge estreme e dei fenomeni di siccità e scarsità idrica. Da un lato quindi agiscono per evitare le alluvioni urbane causate da *flash flood* e *pluvial flooding*, dall'altro, rappresentano valide alternative per la raccolta e il riuso idrico.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

I serbatoi di raccolta fuori terra sono in grado di raccogliere le precipitazioni estreme alleviando parzialmente il sistema fognario di smaltimento da ingenti volumi di pioggia e riducendo il rischio di allagamenti urbani. L'efficacia della soluzione dipende però da diversi parametri: il volume di

acqua stoccabile, la presenza di un ampio numero di serbatoi all'interno del contesto cittadino e lo svuotamento di questi ultimi in caso di previsione di precipitazioni estreme. Inoltre, tutte queste variabili necessitano, da un lato, di un adeguato sistema di allertamento meteo-climatico e dall'altro di una attiva partecipazione da parte della popolazione residente. I seguenti fattori ci permettono di affermare che nonostante la soluzione sia in grado di raccogliere importanti volumi d'acqua meteorica la sua efficacia per il contrasto alle piogge estreme può risultare limitata.

Fenomeni siccitosi

La soluzione di adattamento, se ampiamente utilizzata e diffusa nel contesto urbano, è in grado di rendere la gestione dell'acqua sostenibile e resiliente ai fenomeni di siccità e scarsità idrica. Ciò può essere attuato principalmente attraverso la raccolta e il riutilizzo in sito delle acque meteoriche captate dalle coperture degli edifici o da altri sistemi di raccolta come possono essere ad esempio le coperture urbane. Il principale indicatore prestazionale per questa soluzione è pertanto il volume di acqua raccolta che consente di misurare il suo grado di efficacia per il contrasto alla criticità climatica della siccità e della scarsità idrica.

Aspetti progettuali e costruttivi

I serbatoi di raccolta fuori terra possono essere realizzati in diversi materiali (plastica, metallo, legno rivestito con una guaina impermeabile, etc.) e forme, ma la soluzione più diffusa è rappresentata dai depositi realizzati in polietilene ad alta densità (HDPE), un polimero insapore, inodore e atossico, ideale per raccogliere l'acqua. Per la loro costruzione si possono impiegare anche materiali riciclati a patto che questi ultimi siano opportunamente impermeabilizzati e separati dal volume idrico raccolto.

La capacità del serbatoio di accumulo viene calcolata in funzione della piovosità media annua della zona dove è installato il dispositivo, della superficie disponibile per il recupero dell'acqua e del fabbisogno idrico complessivo per l'irrigazione e/o altri servizi.

Esistono serbatoi di accumulo più modesti, da poche centinaia di litri, e altri con capacità maggiori, in grado di raccogliere fino a 15.000 litri di pioggia. Tali cisterne siano esse di dimensioni ridotte o più grandi necessitano di un sistema di tubazioni e pompe ausiliario che permette il corretto riutilizzo dell'acqua per i diversi scopi.

Al fine di evitare il danneggiamento e le intasature del serbatoio è sempre utile prevedere:

- un pozzetto filtrante per le foglie o eventuali residui e sedimenti;
- un sistema di ingresso dell'acqua anti-turbolenza che riduca la velocità del fluido in entrata;
- un tubo di troppo pieno in caso di piogge particolarmente abbondanti o rare;
- un sistema antintrusione contro gli animali o insetti;
- un sistema di ispezione e controllo del serbatoio.

Parametri caratteristici per il progetto

I principali parametri da considerare quando si prevede l'installazione di un serbatoio di raccolta fuori terra sono:

- la superficie disponibile per l'installazione del serbatoio e per gli impianti di funzionamento ausiliari;
- la progettazione e il dimensionamento dell'impianto (pompe e tubazioni) di confluenza dell'acqua meteorica dalla superficie captante al serbatoio e di redistribuzione per il riutilizzo nei servizi domestici e/o industriali;

- la capacità massima di raccolta dell'acqua meteorica da parte del serbatoio;
- la dimensione della superficie captante, al fine di dimensionare il serbatoio di raccolta e di verificare la presenza di agenti inquinanti.

Benefici ambientali e socioeconomici

L'utilizzo dei serbatoi di raccolta fuori terra permette di creare un sistema di smaltimento delle acque meteoriche alternativo a quello tradizionale. La soluzione di adattamento consente di ridurre notevolmente i costi sui consumi idrici in quanto la maggiore quantità di acqua - per usi domestici o industriali - è fornita dal serbatoio captante. Inoltre, la possibilità di poter raccogliere le piogge permette di riutilizzare l'acqua meteorica in un secondo momento per riequilibrare il ciclo idrologico naturale, fornire i necessari apporti idrici per il sostentamento delle piante e del terreno, ed infine, per ricaricare la falda acquifera contribuendo al miglioramento generale dell'ecosistema. La disponibilità di acqua e la possibilità di mantenere in vita la vegetazione con un sistema di gestione idrica sostenibile permette inoltre di aumentare la biodiversità dell'area. Infine, i serbatoi di raccolta fuori terra rappresentano una soluzione che può essere rimossa in qualsiasi momento, garantendo una totale reversibilità del sistema.

Limiti e problematiche di applicabilità

Tra i principali limiti relativi all'applicabilità dei serbatoi possiamo annoverare:

- la necessità di uno spazio protetto, recintato al riparo dall'irraggiamento diretto, dagli sbalzi di temperature e del gelo;
- la necessità di un terreno piano, in assenza del quale si possono prevedere particolari sistemi livellanti tipo piedi regolabili o una platea.

Tra le problematiche principali della soluzione è utile considerare la presenza di possibili agenti inquinanti sulle superfici captanti. A titolo di esempio le coperture in rame, in zinco oppure quelle trattate con particolari fungicidi o erbicidi potrebbero non essere adatte per la raccolta dell'acqua in quanto le sostanze chimiche da loro rilasciate potrebbero danneggiare gli ambienti in cui l'acqua viene riutilizzata.

Aspetti manutentivi

I principali aspetti manutentivi riferiti alla soluzione dei serbatoi di raccolta fuori terra comprendono:

- l'ispezione del serbatoio per controllare l'eventuale accumulo di detriti e/o sedimenti;
- la pulizia del serbatoio e delle bocche di ingresso e uscita dell'acqua;
- la pulizia e la manutenzione delle grondaie e del pozzetto filtrante,
- la sostituzione di eventuali elementi tecnici usurati o danneggiati;
- la manutenzione, riparazione e/o sostituzione delle pompe e degli altri sistemi di funzionamento dell'impianto idraulico.

5.3.9 specchi d'acqua



Tipologia di soluzione



Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
spazio aperto						edificio	

Pericolosità climatica affrontata



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Assorbimento (alto)
Riflessione (bassa)

Indicatori prestazionali

Capacità termica
Evaporazione

Parametri caratteristici per il progetto

volume d'acqua da contenere nella vasca superficiale
dimensionamento degli elementi tecnici

Benefici ambientali sociali ed economici

aumenta il comfort degli ambienti esterni
realizzazione di area ricreative e di sosta per i residenti



Fig. 1 - Lo specchio d'acqua di fronte al edificio Mondadori di Milano (Source: Il Sole 24 Ore)

Tipologia di soluzione

Le superfici d'acqua sono elementi architettonici che utilizzano l'acqua per migliorare il microclima di un ambiente urbano. Tale soluzione di adattamento climatico può essere generalmente inserita tra le soluzioni grigie in quanto costituita prevalentemente da materiali edilizi ed impianti tecnici. Lo sviluppo di alcune innovative e contemporanee tipologie di specchi d'acqua a sfioro permetterebbe di associare la soluzione alla categoria di intervento delle superfici mentre, al contrario, le soluzioni più tradizionali che prevedono la presenza di una vasca più profonda ne consentirebbero l'inserimento tra i bacini. Nonostante il suo principale sviluppo areale si ritiene più adeguato ricondurre la soluzione alla categoria dei bacini piuttosto che a quella delle superfici.

Ambito urbano di applicazione

Gli specchi d'acqua sono soluzioni di adattamento che si possono sviluppare all'interno di ambiti urbani estesi come parchi, giardini, piazze, parcheggi, corti di edifici pubblici o privati. Viceversa, la soluzione non è particolarmente adeguata all'applicazione nei contesti urbani più circoscritti o residuali.

Pericolosità climatiche affrontate

Gli specchi d'acqua offrono una risposta adattiva alla pericolosità delle temperature elevate, delle isole di calore urbane e delle ondate di calore. La soluzione al contrario non è in grado di offrire dei contributi per il contrasto alle precipitazioni estreme e ai fenomeni siccitosi.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

Gli specchi d'acqua sono in grado di assorbire la maggior parte delle radiazioni solari senza provocare un aumento della temperatura superficiale. Questo avviene perché il calore prodotto dalla radiazione solare viene accumulato dalla massa d'acqua, che presenta un'elevata capacità termica quattro volte superiore rispetto a quella dei materiali edili. Una massa d'acqua dello spessore di 25-30 cm può infatti assorbire fino all'80% della radiazione solare senza produrre alcuna significativa variazione di temperatura superficiale (Dessi, 2018).

I principi di funzionamento con i quali opera tale soluzione sono principalmente riconducibili



Fig. 2 - Specchio d'acqua in corrispondenza del Modern Art Museum of Fort Worth di Tadao Ando Architect & Associates (Source: Liao Yusheng)

all'effetto evaporativo, che raffresca la temperatura dell'aria, e alla capacità termica, che accumula il calore delle radiazioni all'interno della massa d'acqua e lo dissipa durante la notte. Pertanto, negli specchi d'acqua, oltre al basso coefficiente di riflessione che impedisce che la radiazione termica sia restituita all'ambiente, interviene anche il basso valore di emissività termica. L'efficacia di questa soluzione in termini di raffrescamento viene incrementata se l'acqua è in movimento oppure se sono presenti getti o cortine d'acqua, contribuendo così al processo di micronizzazione del liquido, ovvero quel fenomeno che lo riduce in parti minutissime in forma di gocce nebulizzate.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nel caso in cui si progetti uno specchio d'acqua è utile prevedere un sistema idraulico a circuito chiuso che eviti gli sprechi e, qualora possibile, possa generare un lento e costante movimento idrico al fine di ottenere maggiori fenomeni raffrescativi. Anche per gli specchi d'acqua, come precedentemente visto per le fontane, è necessario prevedere uno spazio nel sottosuolo, sgombero da impianti elettrici, idraulici, fognari, etc., in cui poter collocare i sistemi impiantistici necessari al corretto funzionamento della soluzione.

Parametri caratteristici per il progetto

Nella progettazione di uno specchio d'acqua i parametri caratteristici da tenere in considerazione comprendono:

- volume d'acqua da contenere nella vasca superficiale;
- il dimensionamento degli elementi tecnici ed edilizi accessori quali pompe per il trasporto dell'acqua, cisterne di accumulo interrate, tubazioni, etc.

Benefici ambientali e socioeconomici

La presenza di uno specchio d'acqua garantisce ai cittadini una sensazione di fresco, rendere lo spazio urbano attraente, favorendo la socializzazione. La presenza di tale soluzione rappresenta inoltre un punto di contatto con l'elemento naturale dell'acqua ed è utile per sensibilizzare la

popolazione sulla sua importanza nel contrasto ai fenomeni climatici estremi come il caldo estremo e i periodi di siccità. Gli specchi d'acqua possono essere realizzati in combinazione con altre soluzioni progettuali e impiantistiche, come ad esempio fontane, getti d'acqua, cascate, nebulizzatori e altro ancora. La soluzione muove nella direzione di una progettazione resiliente dello spazio urbano che, a fronte dei fenomeni climatici estremi, possa prevedere l'integrazione degli elementi naturali nelle soluzioni per l'adattamento climatico.

Limiti e problematiche di applicabilità

I principali limiti legati alla applicabilità della soluzione riguardano l'estensione superficiale e la presenza di un'area nel sottosuolo sgombera da sistemi impiantistici di varia tipologia (elettrici, idraulici, fognari, gasdotti, etc.). La soluzione non è particolarmente adeguata per i contesti urbani localizzati in aree geografiche con climi asciutti.

Aspetti manutentivi

Gli aspetti manutentivi più rilevanti per gli specchi d'acqua comprendono: la pulizia periodica dei sistemi idraulici che possono presentare incrostazioni causate dal calcare e la sostituzione di elementi tecnici e architettonici danneggiati o rotti.

5.3.10 vasche superficiali inondabili



Tipologia di soluzione



green



grey



blue

Categoria di intervento

elemento puntuale	elemento superficiale	canali	bacini
-------------------	-----------------------	--------	---------------

Ambito urbano di applicazione

parco	giardino	piazza	parcheggio	strada	corte	copertura	facciata
-------	----------	--------	------------	--------	-------	-----------	----------

spazio aperto

edificio

Pericolosità climatica affrontata

UHI



HR



D



W



Funzionamento rispetto alla pericolosità affrontata

Riflessione (alta)	Captazione	Raccolta
Emissione termica (alta)	Infiltrazione	Riuso
Assorbimento (basso)	Raccolta	
	Deflusso	

Indicatori prestazionali

albedo	Volume raccolto	Volume raccolto
emissività	Volume defluito	volume riutilizzato
	Permeabilità	
	Evaporazione	

Parametri caratteristici per il progetto

morfologia dell'area di intervento
volume d'acqua da contenere nella vasca superficiale
dimensionamento degli elementi tecnici
Volume massimo di acqua accumulabile
verifica dell'idoneità della superficie captante
Tasso di infiltrazione del terreno
materiali di rivestimento
orientamento ed esposizione solare
parco

Benefici ambientali sociali ed economici

realizzazione di area ricreative e di sosta per i residenti
riduzione dei consumi idrici
favorire l'infiltrazione delle acque nelle falde acquifere
riuso sostenibile dell'acqua
disponibilità di acqua per usi non potabili



Fig. 1 - Il parco pubblico Enghaveparken di Copenhagen, progettato per essere allagato in caso di piogge estreme (Source: InHabitat)

Tipologia di soluzione

Le vasche superficiali inondabili sono aree urbane depresse che in condizioni ordinarie e in assenza di pioggia ospitano diverse attività e funzioni al loro interno, tra cui: la sosta, il gioco, lo sport, il relax, il teatro, etc. In caso di precipitazioni straordinarie, la soluzione si trasforma in una grande vasca di raccolta e stoccaggio dell'acqua piovana proveniente dalle superfici al suolo e dalle coperture degli edifici limitrofi, che può essere allagata parzialmente o totalmente.

Le vasche superficiali inondabili vengono spesso realizzate insieme ad altre soluzioni dedicate alla raccolta, allo stoccaggio e al riuso delle acque meteoriche urbane, come ad esempio le cisterne di raccolta interrato, i serbatoi di raccolta fuori terra, i casseri drenanti interrati, etc. Gli ingenti volumi captati possono essere reimpiegati per l'irrigazione del verde, realizzare giochi d'acqua, pulire la strada, rifornire cisterne e altri usi urbani. Data l'elevata caratterizzazione ingegneristica delle vasche superficiali inondabili e l'impiego prevalente di materiali da costruzione questa soluzione può essere riferita alla tipologia delle soluzioni grigie e alla categoria dei bacini.

Ambito urbano di applicazione

Le vasche superficiali rappresentano un'innovativa soluzione tipologica-spaziale che viene applicata nelle aree urbane che presentano un'ampia estensione superficiale. In particolare, nelle piazze cittadine, la presenza di questa soluzione di adattamento unita ad altri dispositivi di raccolta dell'acqua piovana dà vita alle cosiddette "piazze spugna" o "piazze d'acqua". Tali soluzioni possono trovare applicazione anche in altri elementi dello spazio urbano tra cui i parchi, i parcheggi, i giardini e le corti degli edifici.

Pericolosità climatiche affrontate

Le vasche superficiali inondabili rappresentano un'ottima soluzione per il contrasto agli eventi climatici delle precipitazioni estreme in quanto contribuiscono ad alleviare il sistema fognario esistente dal sovraccarico idraulico, evitando i fenomeni di allagamento urbano tipo *flash flood* o *pluvial flood*. La soluzione prevede per il suo corretto funzionamento l'installazione di cisterne di raccolta interrato che consentono di contrastare i fenomeni siccitosi e di carenza idrica.

Inoltre, se le vasche superficiali inondabili sono opportunamente integrate con idonee soluzioni progettuali di adattamento possono offrire un contributo al contrasto dei fenomeni climatici delle temperature elevate, delle isole di calore urbane e delle ondate di calore.

Funzionamento rispetto alle pericolosità affrontate e indicatori prestazionali

Ondate di calore e isole di calore urbane

La soluzione è in grado di operare per il contrasto alle isole di calore nel caso in cui: siano presenti soluzioni progettuali di adattamento integrative alla vasca superficiale inondabile, come ad esempio alberature; qualora la soluzione venga realizzata, ad esempio, tramite l'impiego di *cool materials* o altri materiali e dispositivi che operano per la riduzione delle temperature elevate; nella situazione in cui la vasca si trovi momentaneamente allagata dall'acqua e pertanto agisce esattamente come se fosse uno specchio d'acqua.

Precipitazioni estreme e allagamenti urbani

Le vasche di raccolta superficiale operano attraverso la raccolta e lo stoccaggio delle precipitazioni. Le acque meteoriche, prima di essere convogliate nella vasca superficiale vengono depurate dagli agenti inquinanti in una camera di pretrattamento e successivamente riversate in una cisterna di raccolta interrata. Al raggiungimento della capienza massima un sistema di pompaggio automatico riversa l'acqua all'interno della vasca urbana superficiale inondabile. Qui l'acqua viene raccolta ed entro le 24/36 ore è drenata nel terreno sottostante o fatta defluire nel più vicino corpo idrico, sistema fognario o altro sistema di smaltimento. Pertanto, gli indicatori prestazionali di riferimento per tali soluzioni sono il volume di acqua raccolta dai diversi dispositivi adattivi e il tasso di infiltrazione del terreno.

Fenomeni siccitosi

Grazie all'impiego delle cisterne di raccolta interrate la soluzione è in grado di provvedere alla captazione e al riutilizzo dell'acqua meteorica. Ciò consente di reimpiegare le riserve idriche immagazzinate per sopperire a particolari momenti di siccità e/o carenza idrica. Per questo motivo, in analogia con il funzionamento alle precipitazioni estreme, l'indicatore prestazionale maggiormente significativo a misurare l'efficacia della soluzione al contrasto della siccità e della carenza idrica è il volume di acqua raccolto e quello potenzialmente reimpiegabile.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le vasche superficiali inondabili sono progettate per convogliare l'acqua piovana proveniente dagli spazi pubblici e dai tetti dei fabbricati limitrofi grazie ad un attento studio delle pendenze, della morfologia del suolo e dei canali di raccolta. La soluzione può essere progettata con sezioni e profondità variabili, con zone allagabili gradualmente a seconda dell'intensità dell'evento pluviale. Tali accorgimenti progettuali permettono da un lato di massimizzare la fruibilità dell'area anche in caso di piogge estreme e dall'altro di prevedere un allagamento progressivo.

L'acqua, prima di essere immessa nella vasca superficiale inondabile all'interno della piazza, del giardino, del parco o di qualsiasi altro elemento urbano, viene preventivamente indirizzata ad un impianto di filtraggio interrato in modo da essere depurata degli agenti inquinanti più dannosi presenti nelle superfici captanti. Nel caso di evento estremo in cui la vasca superficiale viene completamente allagata l'area diventa un vero e proprio stagno urbano a cielo aperto. In tali circostanze l'acqua raccolta deve essere smaltita entro le 24/32 ore successive per permettere alla

soluzione di essere pronta a ricevere un nuovo evento piovoso estremo. In ogni caso la vasca deve essere sempre provvista di un sistema di troppo pieno qualora si verifichi un evento raro che supera la capacità di raccolta di progetto.

Parametri caratteristici per il progetto

I parametri caratteristici per la progettazione e gestione delle vasche superficiali inondabili comprendono:

- la capacità massima in termini di volume d'acqua delle vasche superficiali e dei bacini interrati;
- il bilancio idrico delle vasche e delle cisterne di raccolta interrate in presenza di eventi piovosi con differenti tempi di ritorno;
- nel caso in cui sia presente una superficie di infiltrazione nel terreno è fondamentale conoscere il tasso di permeabilità del terreno;
- le pendenze del terreno in cui viene inserita la vasca superficiale inondabile.

Benefici ambientali e socioeconomici

Le vasche superficiali inondabili rappresentano un nuovo tipo di infrastruttura urbana che, in sinergia con il sistema di fognatura tradizionale, lavorano per gestire efficacemente i fenomeni idrologici ordinari e straordinari che colpiscono le aree urbane. In particolare, oltre a ridurre i picchi di piena dei corpi idrici ricettori, la soluzione è in grado di riutilizzare l'acqua meteorica come una risorsa per il sostentamento della vegetazione presente in ambiente urbano; ciò permette di aumentare la biodiversità e fornire servizi eco-sistemicamente diffusi.

Le vasche superficiali inondabili sono soluzioni di adattamento urbano che si possono attuare in sinergia ad interventi di riqualificazione urbana, che possono incrementare la qualità ambientale dello spazio urbano, rafforzare l'identità di quartiere e offrire spazi gradevoli ai cittadini per il tempo libero e lo sport.

Limiti e problematiche di applicabilità

Le vasche superficiali rappresentano un'infrastruttura urbana superficiale che interviene sul contesto urbano con interventi ingegneristici che tuttavia non modificano il tradizionale sistema di smaltimento urbano ma possono aggiungersi ad esso in parallelo insieme ad altri interventi infrastrutturali di tipo soft, più naturalistici, verdi e blu. Questo sistema se da un lato modifica drasticamente lo spazio urbano e richiede un alto investimento economico, dall'altro riduce il rischio di alluvioni pluviali lampo, i tempi di realizzazione e possono essere fruibili dalla cittadinanza in qualsiasi momento.

Aspetti manutentivi

Tra gli aspetti manutentivi le vasche superficiali inondabili prevedono:

- il controllo del corretto funzionamento dell'impianto idraulico della vasca (delle pompe e delle tubazioni in entrata e uscita);
- ispezione e pulizia della camera di pretrattamento delle acque in entrata;
- ispezione e pulizia delle cisterne di raccolta dell'acqua;
- pulizia da sedimenti e rifiuti presenti nella vasca superficiale.

5.4 - Letture dei risultati emersi dal repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento

La costruzione dettagliata del repertorio di alternative progettuali per l'adattamento climatico ha messo in luce gli elementi caratterizzanti e maggiormente significativi delle soluzioni stesse. Nello specifico, dalla riorganizzazione operata sulle 21 soluzioni desunte dai casi di studio di progetti europei, è stato possibile:

- identificare la nuova tipologia di soluzione di adattamento delle *blue solutions*, che si riferisce sia alla classe delle *nature based solutions (NBS)* che a quella delle soluzioni artificiali;
- classificare le soluzioni in quattro diverse categorie di intervento;
- individuare gli ambiti urbani di applicazione maggiormente ricorrenti;
- definire le principali pericolosità climatiche affrontate;
- identificare i meccanismi di funzionamento di ciascuna soluzione rispetto alle specifiche pericolosità climatiche;
- definire per ciascuna pericolosità climatica e soluzione progettuale i principali indicatori prestazionali attraverso cui incrementare la capacità di adattamento e misurare l'efficacia.

Il principio tassonomico generale identificato nella seconda parte della ricerca distingue le soluzioni in due grandi classi le *nature based solutions* e le soluzioni artificiali. Tali soluzioni sono state suddivise in base alla tipologia secondo tre classi: *green, grey e blue solutions*.

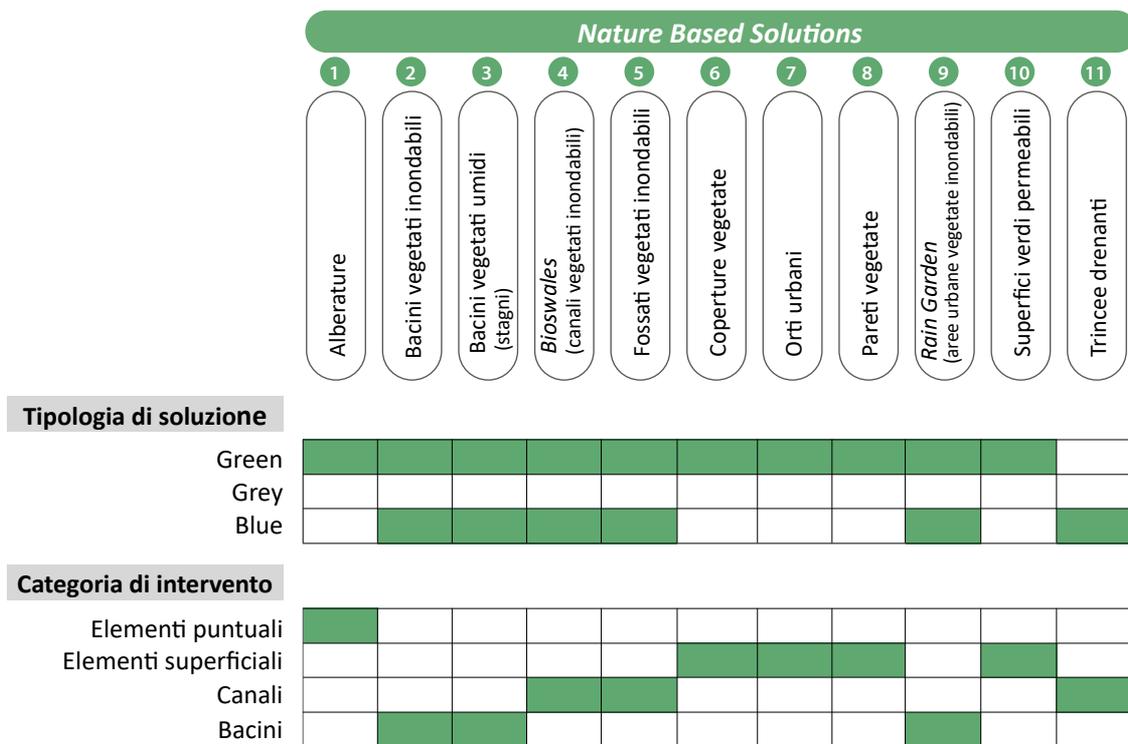
Le *green solutions* sono riferite a 11 soluzioni progettuali di adattamento, di cui 10 *nature based solutions* e 1 soluzione artificiale. Nelle prime rientrano: *alberature, bacini vegetati inondabili, bacini vegetati umidi (stagni), bioswales (canali vegetati inondabili), fossati vegetati inondabili, coperture vegetate, orti urbani, pareti vegetate, rain gardens (aree urbane vegetate inondabili), superfici verdi permeabili*. L'unica soluzione artificiale si riferisce alle *coperture urbane*.

Le *grey solutions* comprendono 10 soluzioni progettuali, tutte riferibili alle soluzioni artificiali, che sono: *casseri drenanti interrati, cisterne di raccolta interrate, cool materials, coperture urbane, fontane, pavimentazioni permeabili, regolatori di flussi idrici, serbatoi di raccolta fuori terra, specchi d'acqua e vasche di raccolta superficiali inondabili*.

Le *blue solutions* raccolgono 15 differenti alternative progettuali da entrambe le classi. Di queste, 6 soluzioni di adattamento appartengono alle *nature based solutions* e comprendono: *bacini vegetati inondabili, bacini vegetati umidi, bioswales, fossati vegetati inondabili, rain gardens e trincee drenanti*; le restanti 9 soluzioni si riferiscono a quelle artificiali, tra cui troviamo: *casseri drenanti interrati, cisterne di raccolta interrate, coperture urbane, fontane, pavimentazioni permeabili, regolatori di flussi idrici, serbatoi di raccolta fuori terra, specchi d'acqua e vasche di raccolta superficiali inondabili*.

L'approfondimento specifico su ciascuna soluzione di adattamento ha permesso di individuare le categorie di intervento per ciascuna soluzione. Queste identificano una particolare conformazione della soluzione progettuale di adattamento che corrisponde al suo modello tipologico-spaziale e sono: gli elementi puntuali, gli elementi superficiali, i canali e i bacini. Tale catalogazione ha rappresentato un passaggio metodologico utile per comprendere i principi di funzionamento e gli indicatori prestazionali con cui le soluzioni progettuali di adattamento operano per contrastare le differenti pericolosità climatiche. La categoria di intervento con maggiori soluzioni progettuali si riferisce ai bacini con 8 soluzioni progettuali, mentre quelle con la minore presenza di alternative sono i canali e gli elementi puntuali, entrambi con 3 soluzioni. A titolo esemplificativo si riportano per ciascuna categoria le soluzioni progettuali corrispondenti:

- la categoria degli elementi puntuali comprende: *alberature, regolatori di flussi idrici e serbatoi*

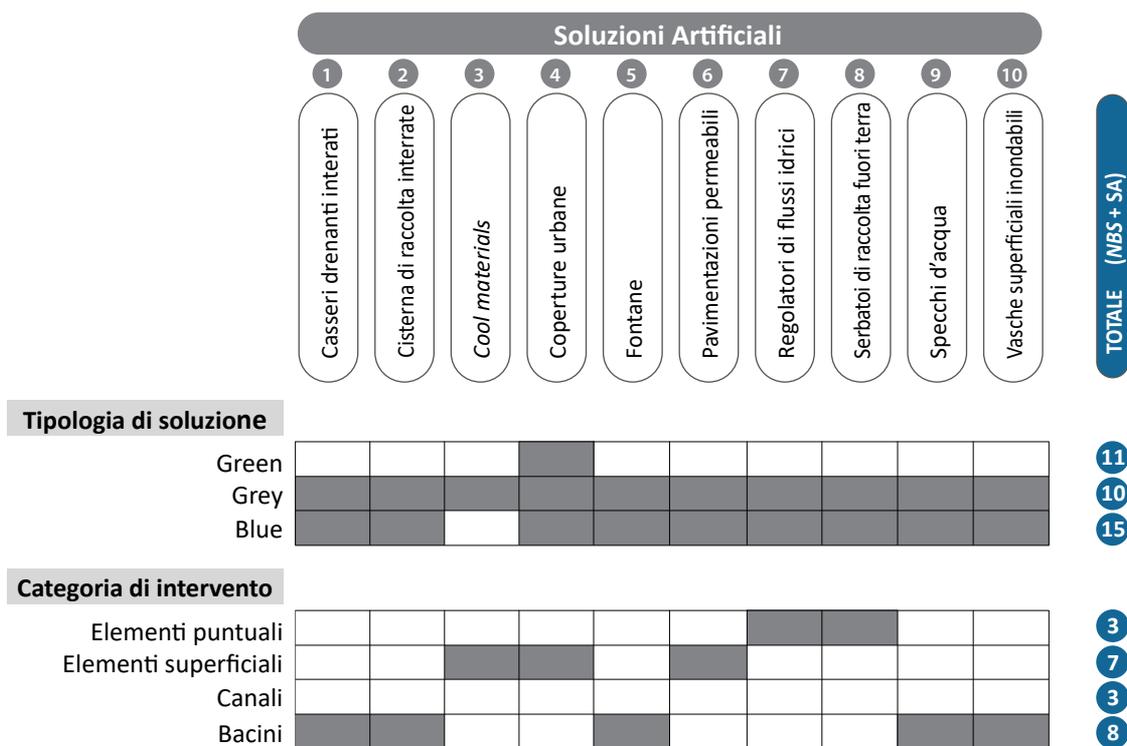


Tab. 1 - Quadro sinottico delle *nature based solutions* con le tipologie di soluzioni e le categorie di intervento.

di raccolta fuori terra;

- la categoria dei canali raggruppa: *bioswales*, *coperture urbane*, *fossati vegetati inondabili* e *trincee drenanti*;
- la categoria degli elementi superficiali identifica: *coperture vegetate*, *orti urbani*, *pareti vegetate*, *superfici verdi permeabili*, *cool materials* e *pavimentazioni permeabili*;
- la categoria dei bacini racchiude: *bacini vegetati umidi*, *bacini vegetati inondabili*, *rain gardens*, *casseri drenanti interrati*, *cisterne di raccolta interrata*, *fontane*, *specchi d'acqua* e *vasche superficiali inondabili*.

Le soluzioni di adattamento sono state censite anche in relazione all'ambito di applicazione. La maggior parte delle soluzioni progettuali di adattamento, 19 su 21 totali, trovano applicazione nello spazio urbano aperto, mentre solamente 10 su 21 possono essere inserite nell'ambiente edificato. Da questa analisi emerge che tra tutte le soluzioni di adattamento 19 possono essere collocate nei parchi, che rappresentano l'ambiente urbano con il più alto grado di applicabilità delle alternative progettuali, 18 nei giardini, 17 possono trovare applicazione nei parcheggi, 16 nelle piazze e nelle corti, sia pubbliche che private, 14 possono essere collocate nelle strade urbane, 9 nelle coperture degli edifici ed infine solamente 5 nelle facciate. Risulta interessante osservare come le soluzioni con il più elevato grado di integrazione nel contesto urbano siano le alberature, le superfici verdi permeabili, i *cool materials* e i regolatori di flussi idrici. A queste seguono le coperture urbane, le pavimentazioni permeabili e i serbatoi di raccolta fuori terra, mentre le soluzioni che possono essere applicate all'interno di un solo elemento dello spazio urbano sono i bacini vegetati inondabili (nei parchi), le coperture vegetate (nei tetti degli edifici) e le pareti vegetate (nelle facciate degli edifici). In particolare, nonostante queste ultime due



Tab. 2 - Quadro sinottico delle soluzioni artificiali con le tipologie di soluzioni e le categorie di intervento.

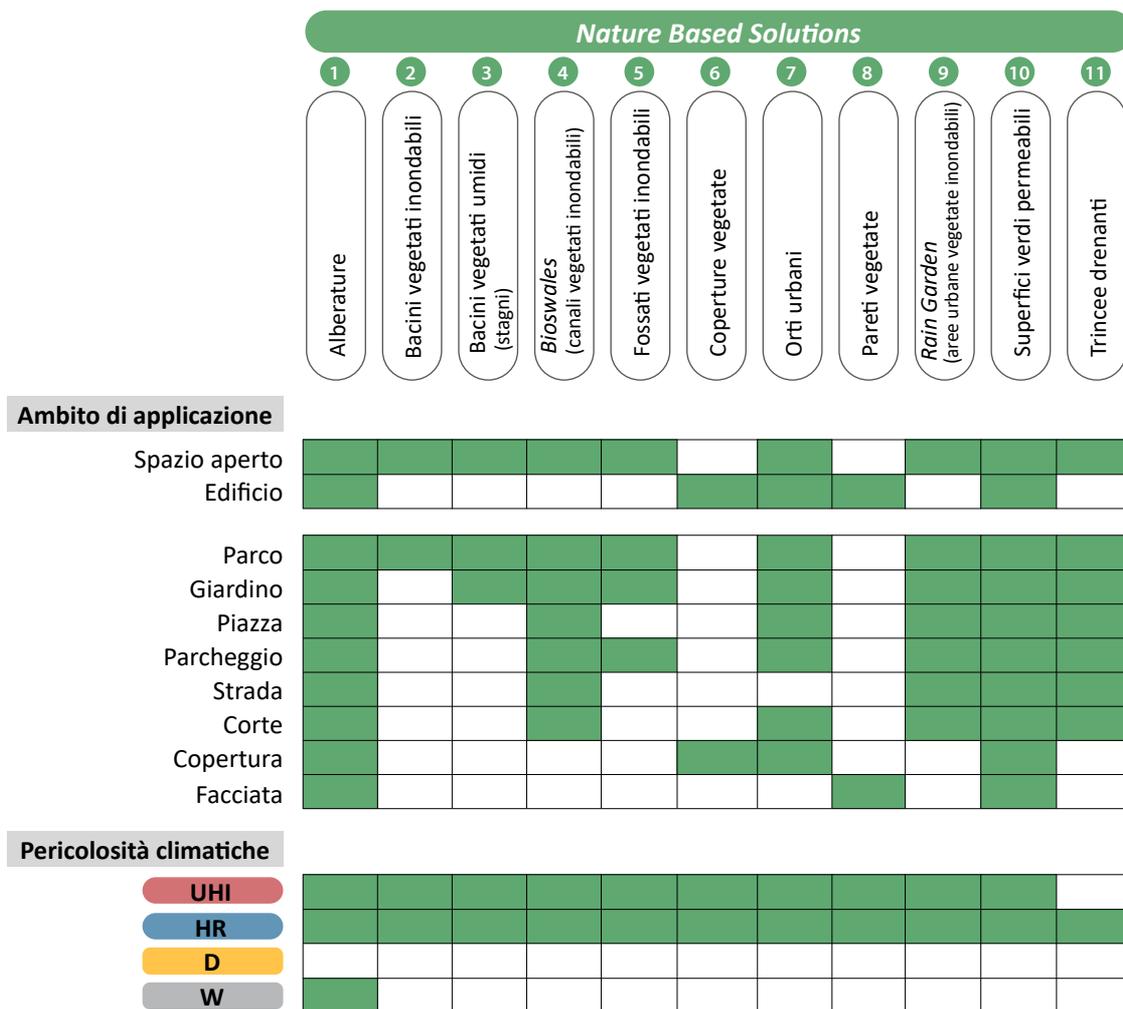
soluzioni rappresentino le alternative progettuali più limitate dal punto di vista dell'applicabilità ricoprono un ruolo significativo nell'adattamento climatico, in quanto rappresentano una percentuale relativamente alta di superficie disponibile, e potenzialmente impiegabile, all'interno della città contemporanea.

Per quanto concerne le pericolosità climatiche affrontate, è interessante notare che 16 soluzioni progettuali sono in grado rispondere alle temperature elevate delle isole di calore urbane e alle ondate di calore, 17 soluzioni incrementano le capacità di adattamento rispetto alle precipitazioni estreme e gli allagamenti urbani, 4 sono in grado di contrastare i fenomeni siccitosi e la carenza idrica ed infine 2 possono contribuire nei confronti degli eventi estremi delle tempeste di vento. Da ciò è possibile constatare che le pericolosità climatiche maggiormente affrontate dalle soluzioni progettuali di adattamento climatico sono quelle relative alle temperature elevate e alle piogge estreme.

Tale indagine permette inoltre di effettuare un ulteriore interessante lettura sulla risposta *multi-hazard* delle soluzioni progettuali desunte dai casi di studio. È evidente, infatti, che nessuna soluzione progettuale è in grado di contrastare tutti gli eventi climatici indagati dalla ricerca, ma è possibile osservare che:

- le alberature, le cisterne interrata, le coperture urbane e le vasche superficiali inondabili sono le uniche capaci di rispondere in maniera adattiva a 3 criticità climatiche;
- le trincee drenanti, i casseri drenanti interrati, i *cool materials*, le fontane e i regolatori di flussi idrici sono le uniche soluzioni che rispondono solamente ad una criticità climatica.

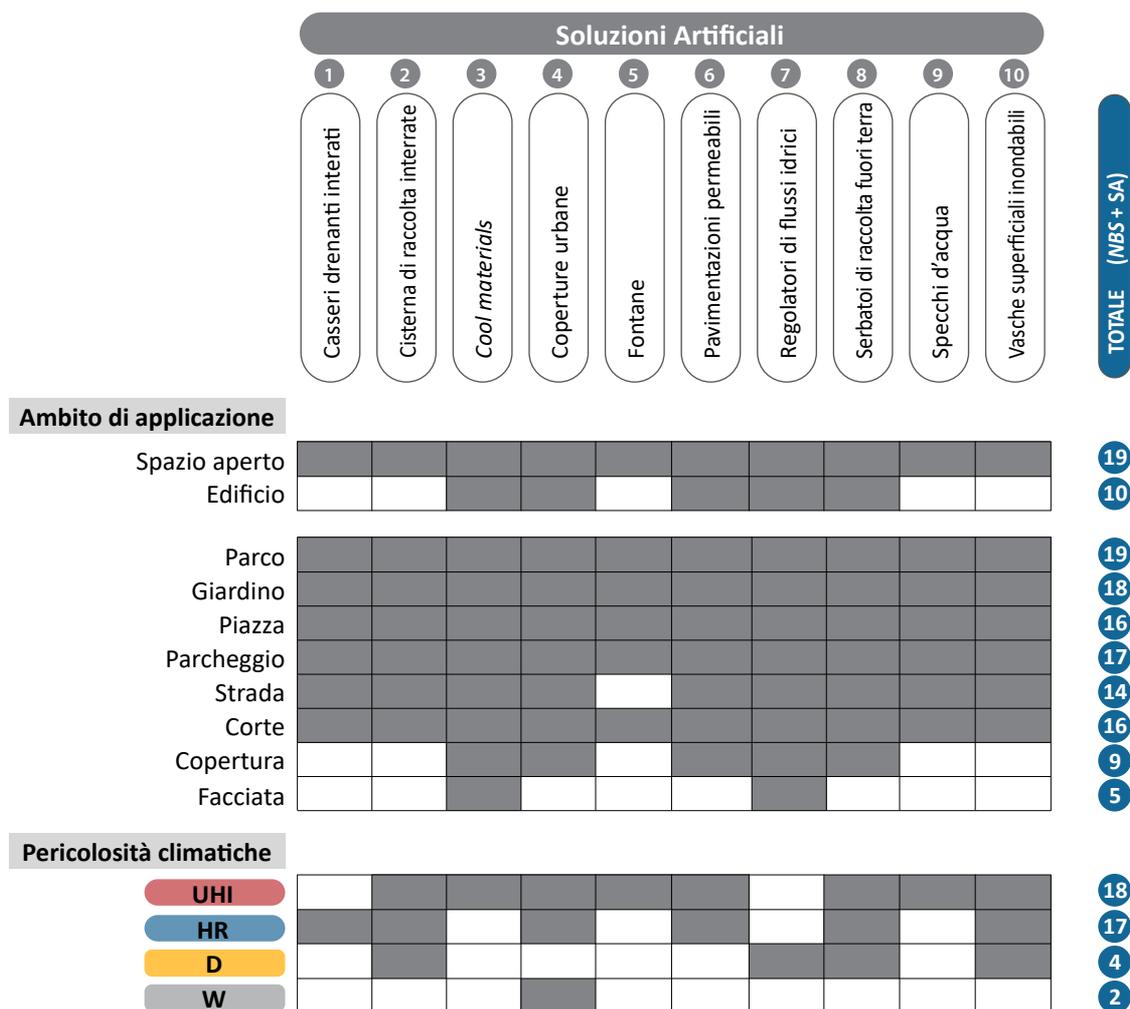
Dall'analisi del funzionamento delle soluzioni di adattamento progettuale rispetto alle specifiche pericolosità climatiche analizzate è stato possibile identificare i principali meccanismi adattivi



Tab. 3 - Quadro sinottico delle *nature based solutions* con gli ambiti di applicazione e le pericolosità climatiche.

messi in campo per contrastare gli eventi estremi. I risultati mostrano come per le temperature elevate il funzionamento delle soluzioni progettuali sia ascrivibile a 4 processi di adattamento che comprendono: ombreggiamento, riflessione, assorbimento, emissione termica. Di questi quattro, l'assorbimento rappresenta il principio di funzionamento più frequente, mentre l'ombreggiamento è quello che si verifica più raramente e viene messo in pratica solamente dalle alberature, dalle coperture vegetate intensive (nel caso in cui sia prevista la presenza di piccoli arbusti) e nelle coperture urbane come ad esempio nelle pensiline, pergole, tettoie e altri elementi schermanti urbani.

Per la criticità climatica delle precipitazioni estreme, i principali meccanismi adattivi messi in atto dalle soluzioni includono: captazione (intercettazione), raccolta, infiltrazione e deflusso. La singolarità delle soluzioni che contrastano i fenomeni meteorici estremi, in cui l'acqua è l'elemento primario, utilizzano generalmente tutti gli stessi principi di adattamento. In questo caso non è presente un principio di funzionamento di adattamento preponderante sugli altri ma agiscono tutti in maniera simile. Le uniche eccezioni si riferiscono, da un lato, alle alberature e



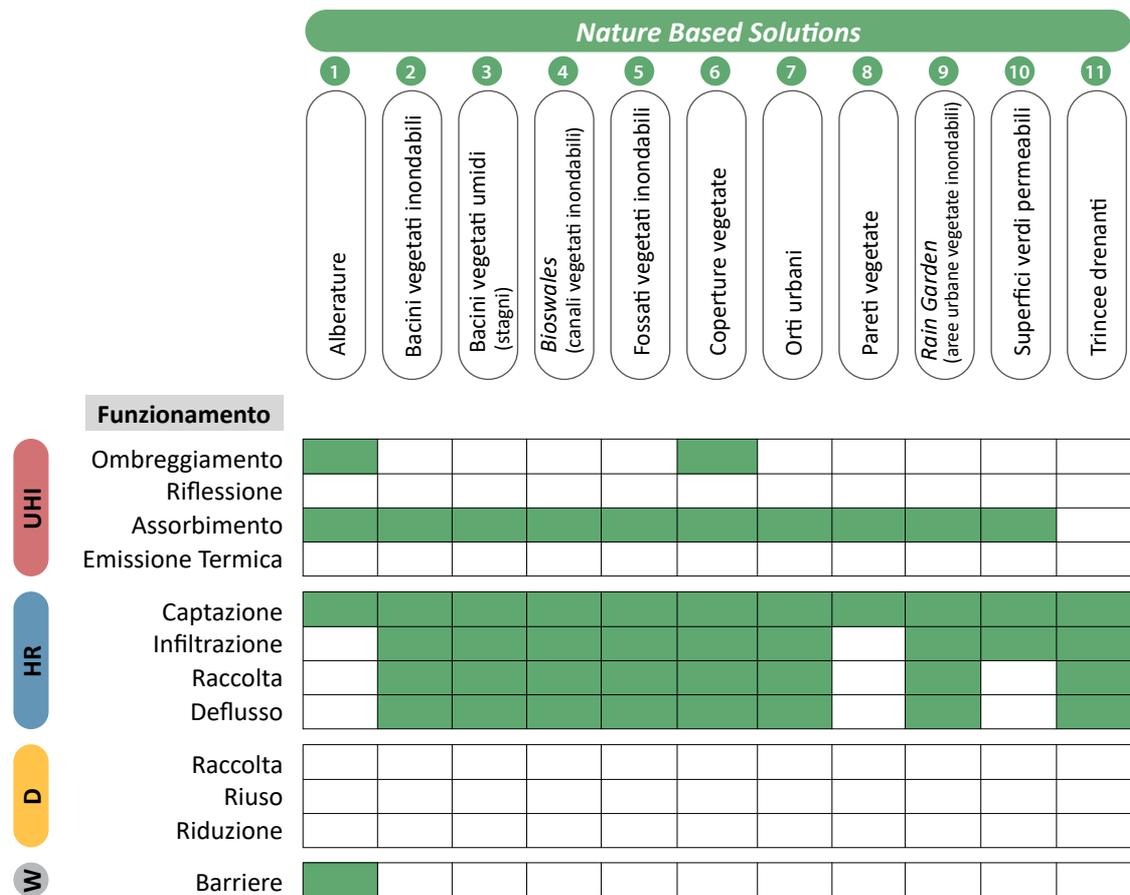
Tab. 4 - Quadro sinottico delle soluzioni artificiali con gli ambiti di applicazione e le pericolosità climatiche.

alle pareti vegetate che operano solamente secondo la captazione (o intercettazione) delle piogge, e dall'altro, alle coperture urbane e ai serbatoi di raccolta fuori terra che lavorano solamente per raccogliere e far defluire i volumi d'acqua.

Per quanto riguarda i principi di funzionamento adottati dalle soluzioni progettuali per contrastare i fenomeni siccitosi e la carenza idrica sono annoverabili: raccolta, riuso e riduzione. In questo caso i meccanismi che entrano in gioco per l'adattamento a questa tipologia di pericolosità climatica sono limitati e pertanto non è possibile definire su un campione così ridotto i funzionamenti primari e quelli di minor rilievo.

Infine, il meccanismo di funzionamento per contrastare gli eventi estremi delle tempeste di vento si riferiscono al principio di difesa contro le raffiche con la predisposizione di una barriera frangivento. Tale azione è fondamentale per ridurre la vulnerabilità degli elementi urbani appartenenti sia allo spazio aperto quanto agli edifici.

Da tale operazione di identificazione dei funzionamenti delle soluzioni rispetto alle pericolosità affrontate è stato possibile definire i principali indicatori prestazionali delle singole alternative



Tab. 5 - Quadro sinottico delle *nature based solutions* con i principi di funzionamento rispetto alle diverse pericolosità climatiche affrontate.

progettuali. Grazie agli indicatori prestazionali è infatti possibile, da un lato, misurare l'efficacia delle soluzioni, dall'altro, comprendere i parametri per incrementare il rendimento di una soluzione rispetto ad una determinata pericolosità climatica.

Per quanto concerne le temperature elevate i principali indicatori prestazionali comprendono: l'albedo, l'emissività, la capacità termica, l'evapotraspirazione, la superficie ombreggiata e l'evaporazione. Tra questi indicatori quelli maggiormente ricorrenti si riferiscono a: albedo (presente in 14 soluzioni/21), evapotraspirazione (14 soluzioni/21) e la capacità termica (13 soluzioni/21).

Nelle precipitazioni estreme riscontriamo tra gli indicatori il volume di pioggia captato o intercettato (3 soluzioni/21), il volume d'acqua raccolto (14 soluzioni/21), quello defluito (14 soluzioni/21), la permeabilità (13 soluzioni/21) identificabile attraverso il tasso di infiltrazione ed infine l'evaporazione (11/soluzioni/21). Analogamente a quanto osservato nei principi di funzionamento, gli indicatori maggiormente ricorrenti sono presenti in maniera uniforme su tutte le soluzioni che operano per contrastare questa criticità climatica. Ancora una volta fanno eccezione solamente le soluzioni delle alberature, delle pareti vegetate e delle superfici verdi permeabili che operano solamente attraverso l'intercettazione diretta delle piogge, a differenza delle altre soluzioni che possono raccogliere e stoccare un volume d'acqua anche grazie a sistemi

		Soluzioni Artificiali										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Casseri drenanti interrati	Cisterna di raccolta interrate	Cool materials	Coperture urbane	Fontane	Pavimentazioni permeabili	Regolatori di flussi idrici	Serbatoi di raccolta fuori terra	Specchi d'acqua	Vasche superficiali inondabili	TOTALE (MBS + SA)
UHI	Funzionamento											
	Ombreggiamento											3
	Riflessione											4
	Assorbimento											14
	Emissione Termica											4
HR	Captazione											13
	Infiltrazione											13
	Raccolta											14
	Deflusso											14
D	Raccolta											2
	Riuso											2
	Riduzione											1
W	Barriere											2

Tab. 6 - Quadro sinottico delle soluzioni artificiali con i principi di funzionamento rispetto alle diverse pericolosità climatiche affrontate.

di canalizzazioni idrauliche.

Nella pericolosità climatica della siccità e carenza idrica gli indicatori si riferiscono al volume di acqua raccolto, a quello riutilizzato e quello ridotto. In particolare, solamente i dispositivi di regolazione dei flussi idrici lavorano per ridurre il volume di acqua impiegato sia negli usi domestici che in quelli industriali.

Infine, gli eventi meteo-climatici estremi riconducibili alle tempeste di vento includono tra gli indicatori: la densità fogliare, l'estensione superficiale e il rapporto pieno/vuoto. Gli indicatori si riferiscono alla capacità del vento di "permeare" o "attraversare" le alberature. In particolare il primo definisce la massa volumica vegetale resistente alle raffiche, il secondo e il terzo identificano le dimensioni delle pareti verticali delle coperture urbane (pergole, pensiline, tettoie, etc.) e ne misurano la dimensione e la "porosità" ai flussi ventosi della struttura verticale.

In definitiva, grazie al repertorio di soluzioni progettuali di adattamento è possibile individuare le soluzioni di adattamento climatico che maggiormente si addicono al contesto urbano di intervento, alle criticità climatiche più frequenti, e ai meccanismi di funzionamento rispetto alla specifica criticità. Un ulteriore parametro di scelta della soluzione può essere attuata sulla base degli indicatori prestazionali, dei parametri caratteristici, dei benefici ambientali, sociali ed economici e di tutti gli altri aspetti relativi al progetto di architettura (aspetti progettuali, aspetti

Nature Based Solutions											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Alberature	Bacini vegetati inondabili	Bacini vegetati umidi (stagni)	Bioswales (canali vegetati inondabili)	Fossati vegetati inondabili	Coperture vegetate	Orti urbani	Pareti vegetate	Rain Garden (aree urbane vegetate inondabili)	Superfici verdi permeabili	Trincee drenanti
Indicatori prestazionali											
UHI	Albedo										
	Emissività										
	Capacità termica										
	Evapotraspirazione										
	Superficie ombreggiata										
	Emissione Termica										
HR	Volume captato										
	Volume raccolto										
	Volume defluito										
	Permeabilità										
	Evaporazione										
D	Volume raccolto										
	Volume riutilizzato										
	Volume ridotto										
W	Densità fogliare										
	Estensione superficiale										
	Rapporto pieno/vuoto										

Tab. 7 - Quadro sinottico delle *nature based solutions* con i principi indicatori prestazionali riferiti alle diversi pericolosità climatiche affrontate.

manutentivi, limiti e problemabatiche di applicabilità).

Nel prossimo capitolo sarà descritto un modello replicabile per valutare l'efficacia di un campione di soluzioni di adattamento appartenenti ad entrambe le macro-classi di soluzioni progettuali individuate dalla ricerca: le *nature based solutions* e le soluzioni artificiali.

		Soluzioni Artificiali										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Casseri drenanti interati	Cisterne di raccolta interrata	Cool materials	Coperture urbane	Fontane	Pavimentazioni permeabili	Regolatori di flussi idrici	Serbatoi di raccolta fuori terra	Specchi d'acqua	Vasche superficiali inondabili	TOTALE (NBS + SA)
Indicatori prestazionali												
UHI	Albedo											14
	Emissività											4
	Capacità termica											13
	Evapotraspirazione											12
	Superficie ombreggiata											3
	Emissione Termica											6
HR	Volume captato											3
	Volume raccolto											14
	Volume defluito											14
	Permeabilità											13
	Evaporazione											11
D	Volume raccolto											3
	Volume riutilizzato											3
	Volume ridotto											1
W	Densità fogliare											1
	Estensione superficiale											1
	Rapporto pieno/vuoto											1

Tab. 8 - Quadro sinottico delle soluzioni artificiali con i principi indicatori prestazionali riferiti alle diversi pericolosità climatiche affrontate.

5.5 - Quadri sinottici comparativi delle soluzioni di adattamento *nature based* e artificiali

Nelle pagine che seguono sono riportati i quadri sinottici comparativi che comprendono le soluzioni di adattamento artificiali e *nature based*. Tali rappresentazioni sintetiche permettono di evidenziare in modo più immediato sovrapposizioni e/o sinergie tra le differenti alternative progettuali descritte nel repertorio. Nella fattispecie le soluzioni di *adaptive design* sono catalogate secondo alcuni dei criteri con cui sono state precedentemente analizzate e descritte, tra queste troviamo: tipologia, categoria di intervento, ambito di applicazione e pericolosità climatiche affrontate.



Fig. 1 - Schema sintetico del numero di soluzioni di adattamento climatico per ciascuna tipologia: *green, blue, grey*.

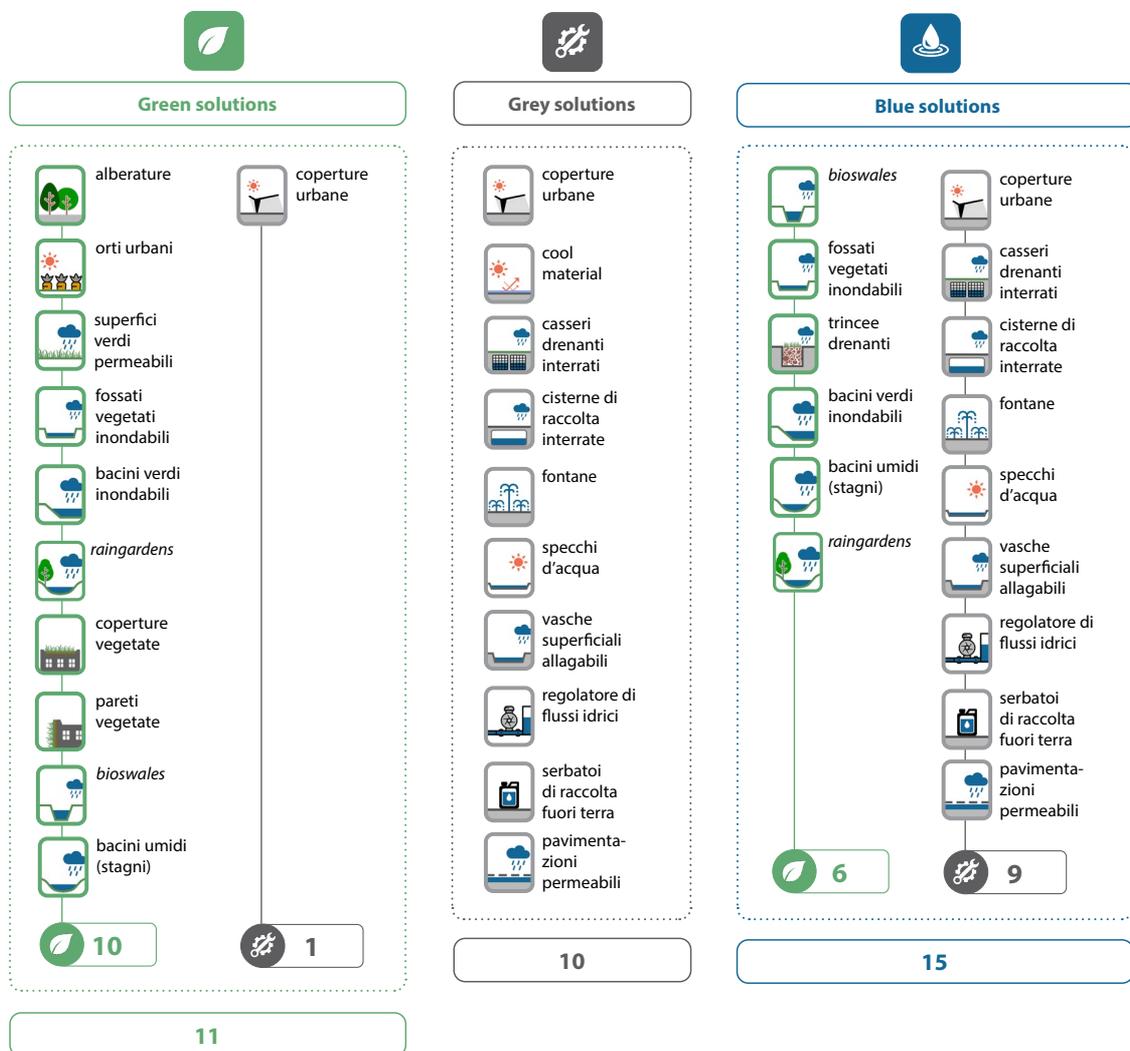


Fig. 2 - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento *nature based* e artificiali suddivise per tipologia: *green*, *blue*, *grey*.

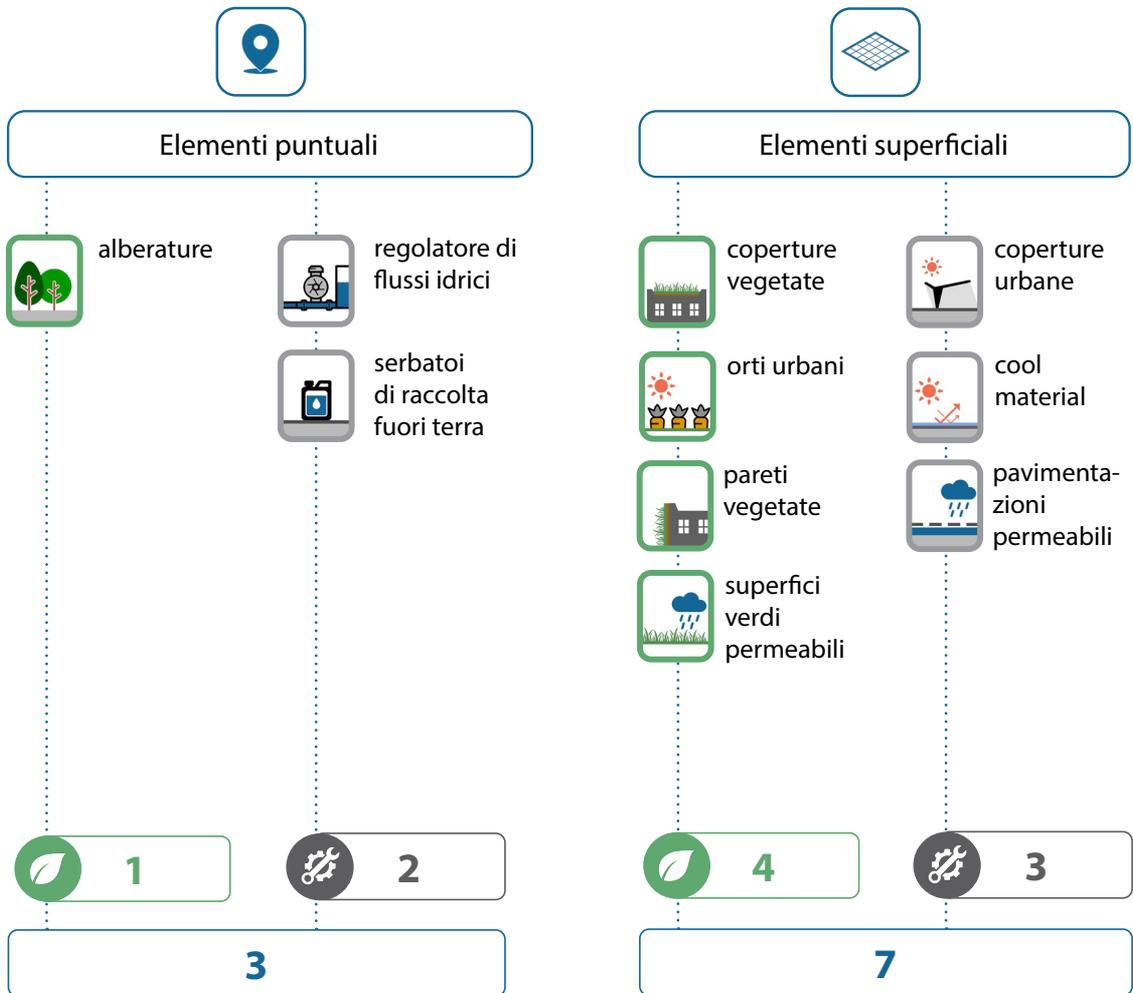


Fig. 2.a - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento nature based e artificiali suddivise per categorie di intervento.

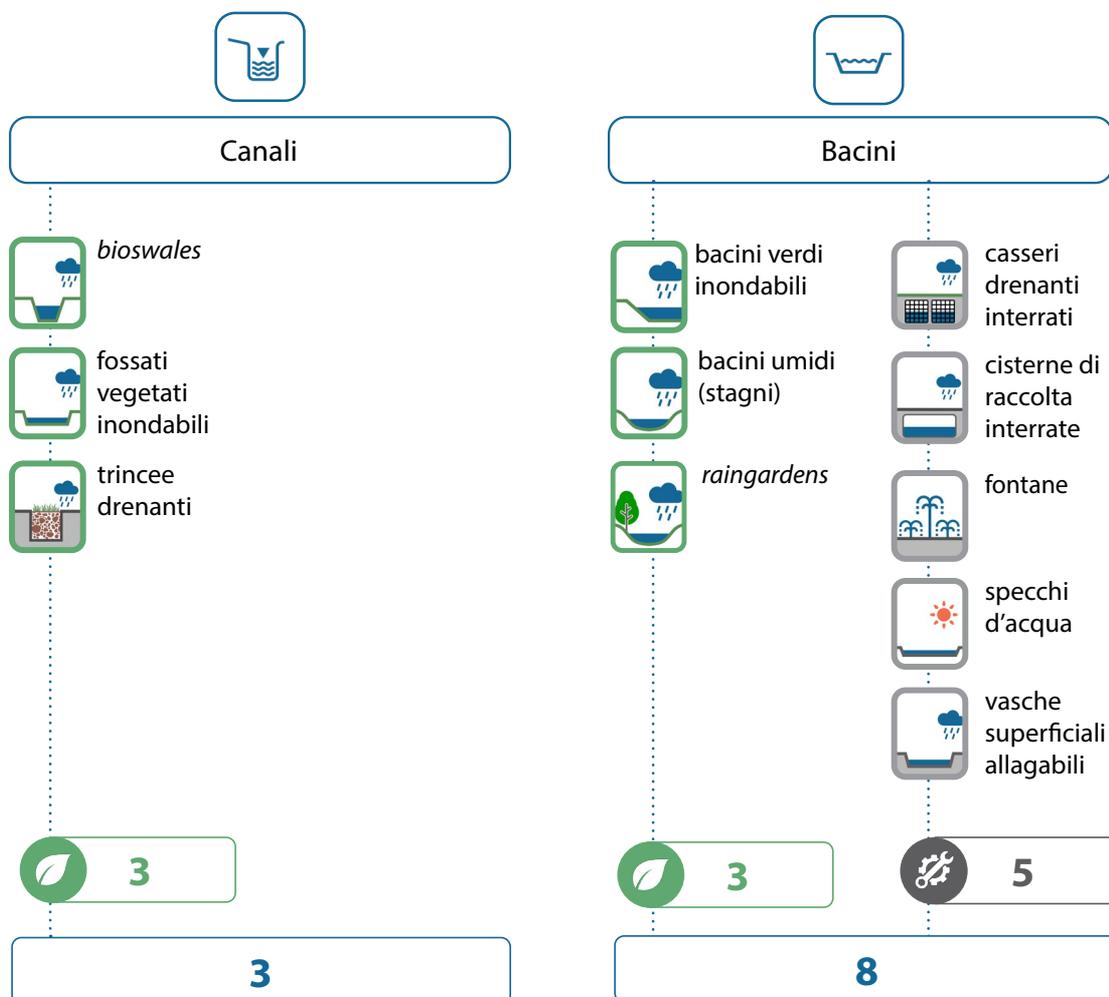


Fig. 2.b - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento nature based e artificiali suddivise per categorie di intervento.

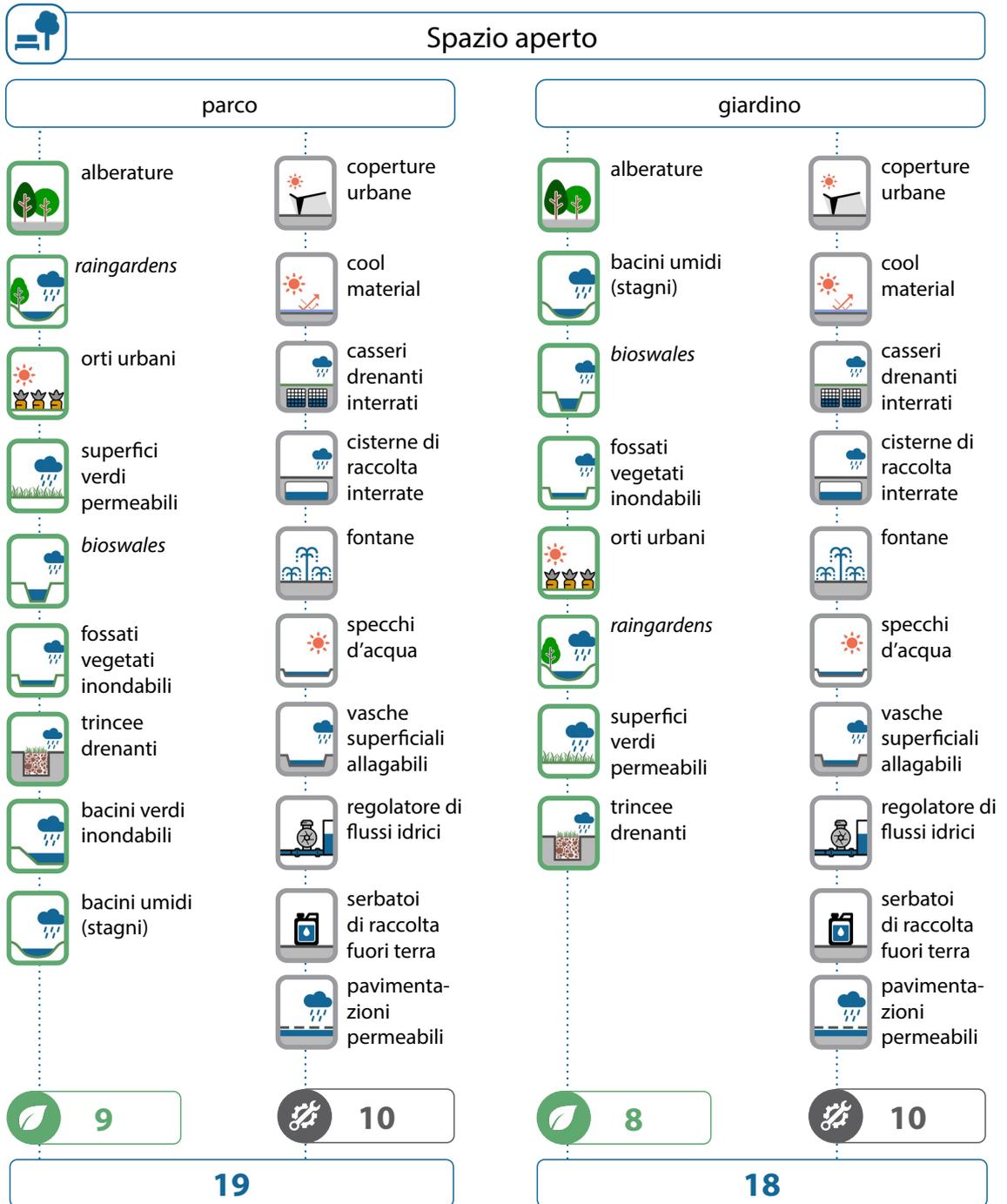


Fig. 3.a - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico *nature based* e artificiali suddivise per ambito di applicazione.

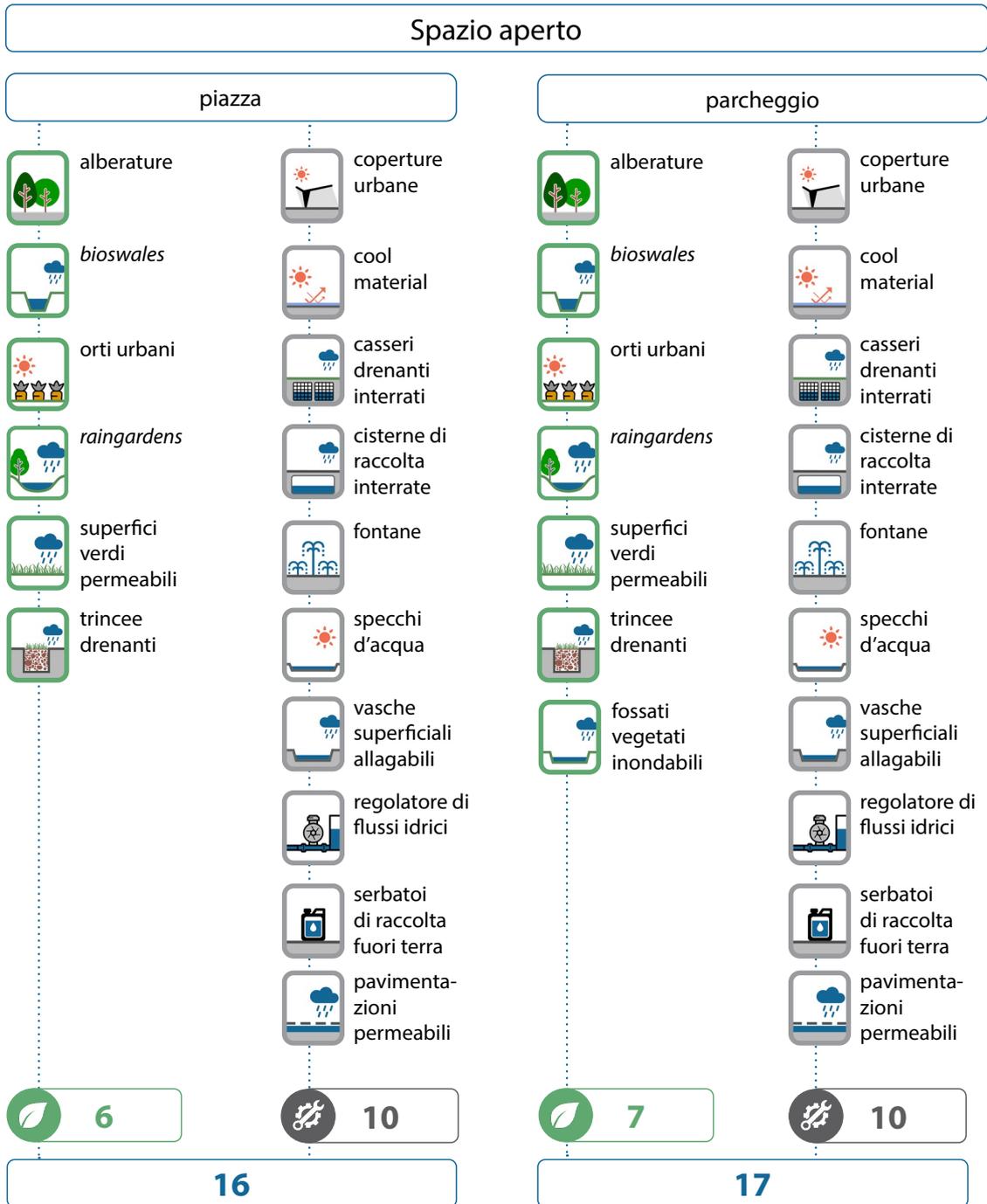


Fig. 3.b - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico *nature based* e artificiali suddivise per ambito di applicazione.

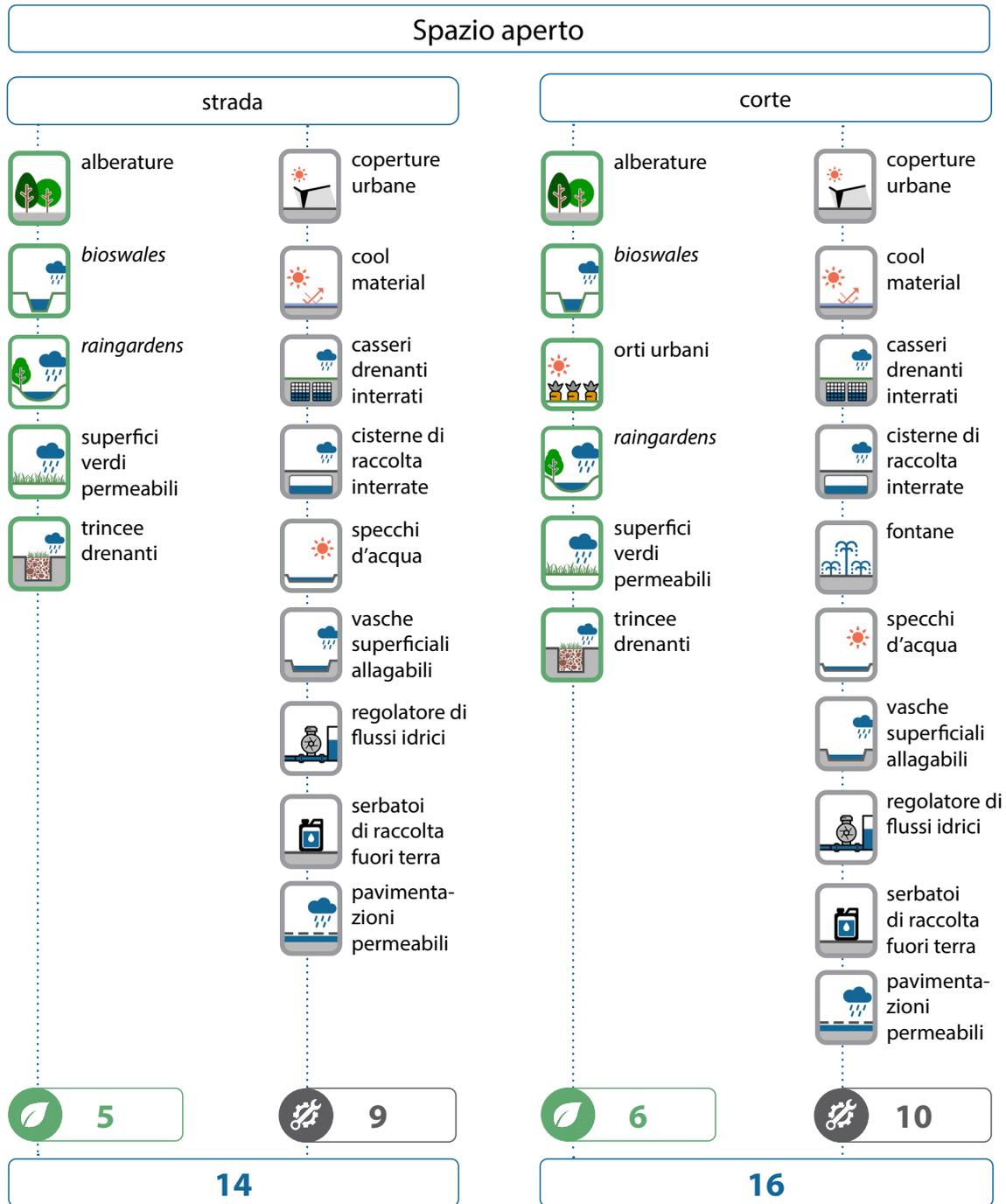


Fig. 3.c - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico *nature based* e artificiali suddivise per ambito di applicazione.

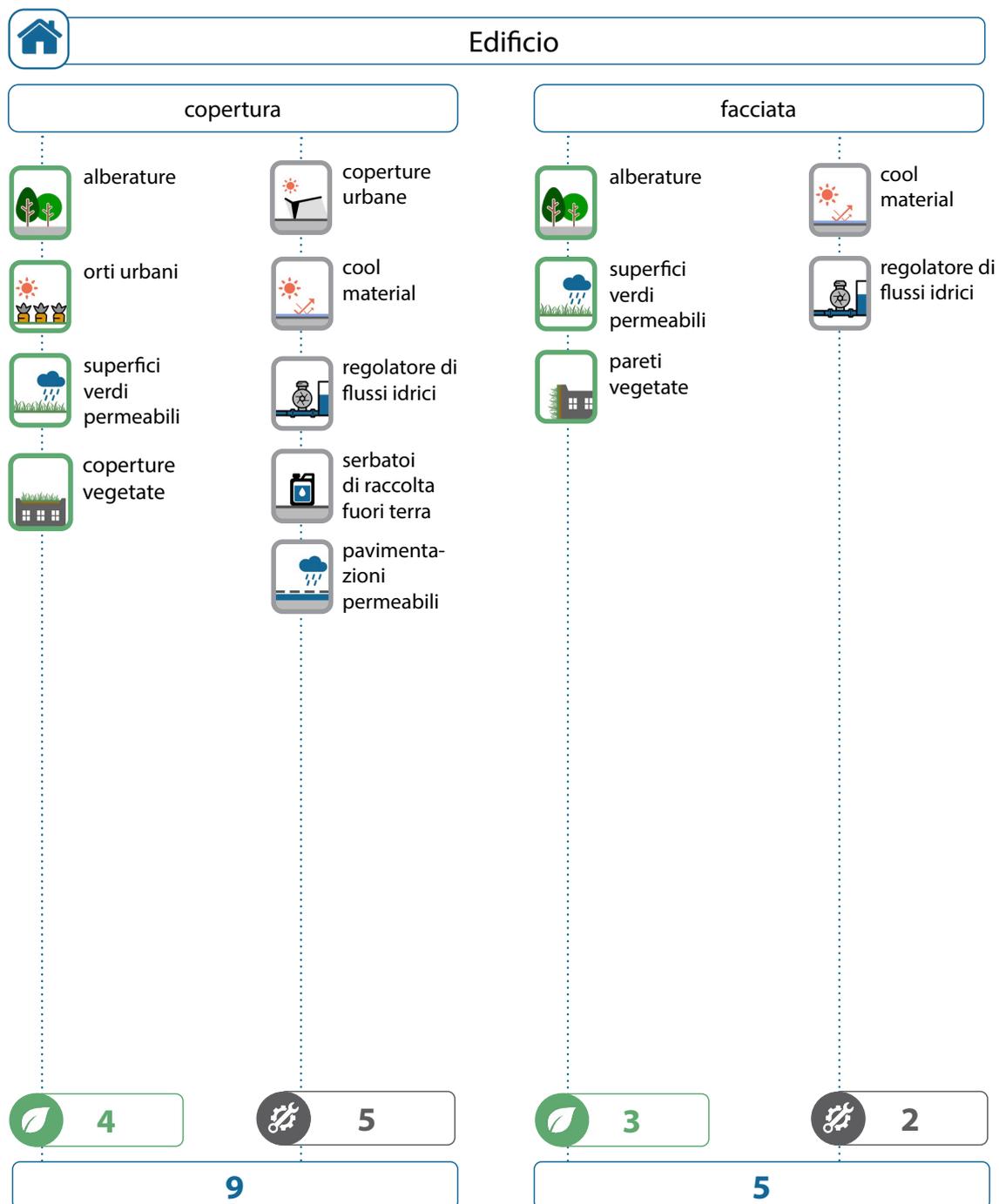


Fig. 3.d - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico *nature based* e artificiali suddivise per ambito di applicazione.

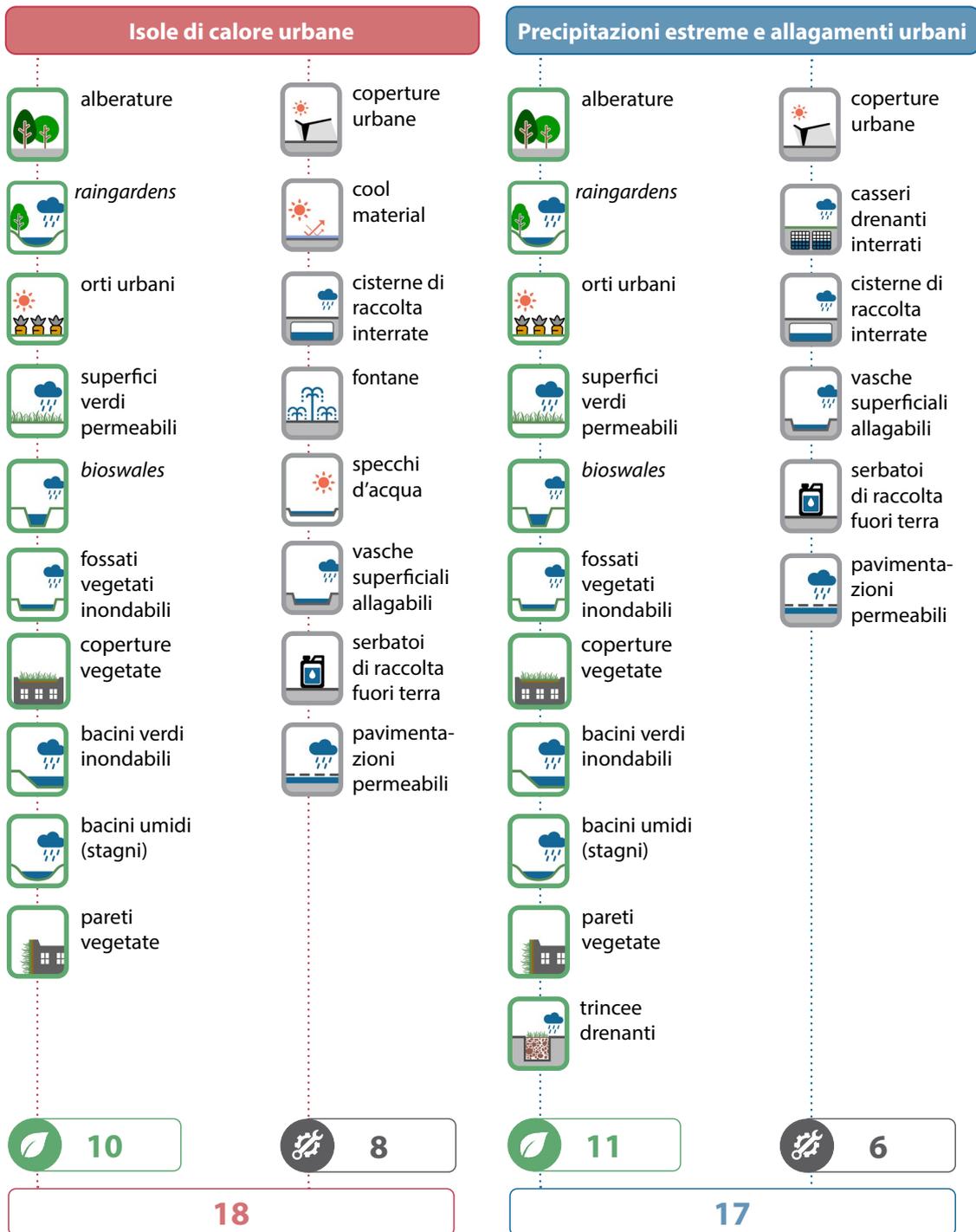


Fig. 4.a - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico suddivise per *hazard* climatici affrontati.

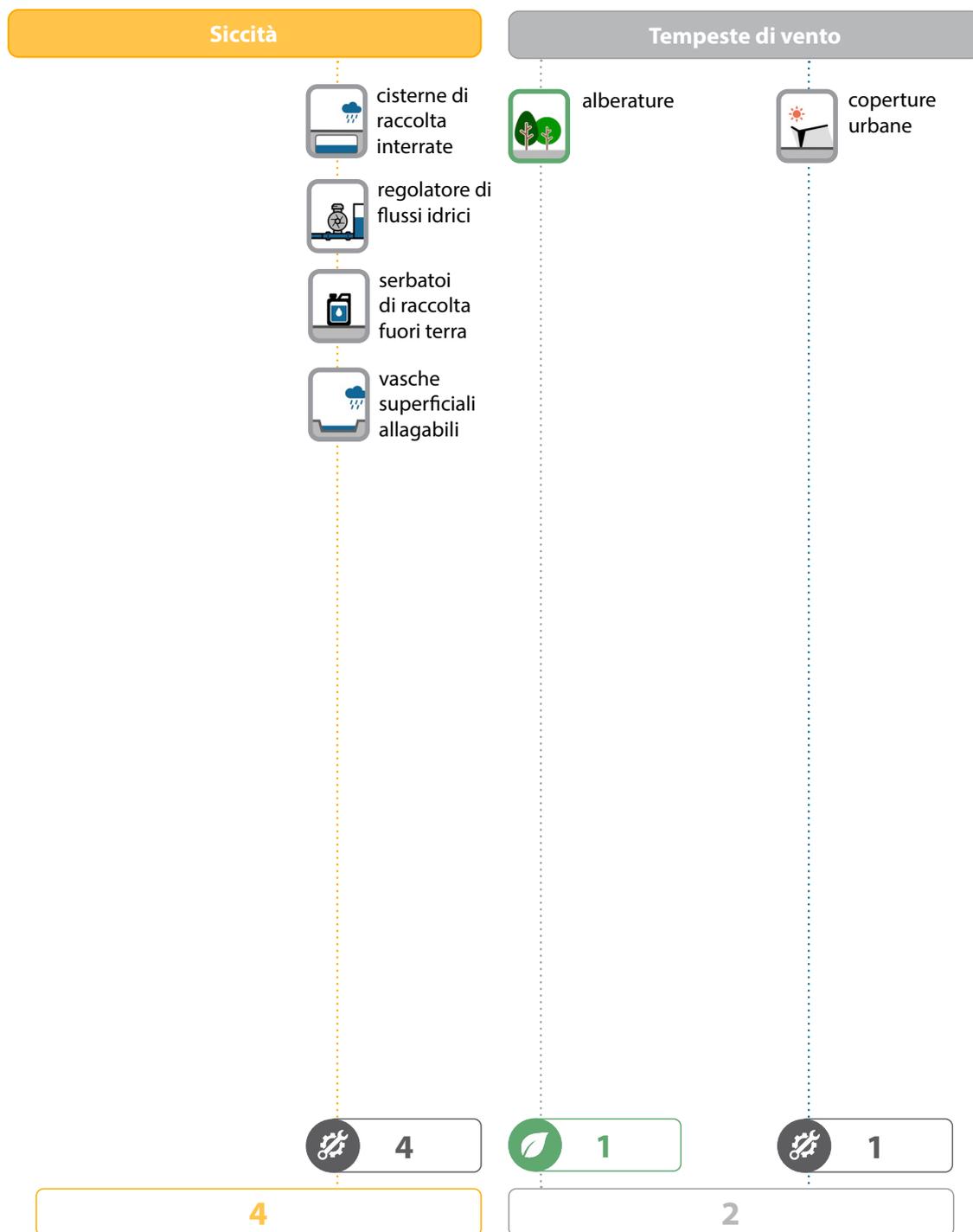


Fig. 4.b - Quadro sinottico delle soluzioni di adattamento climatico suddivise per *hazard* climatici affrontati.

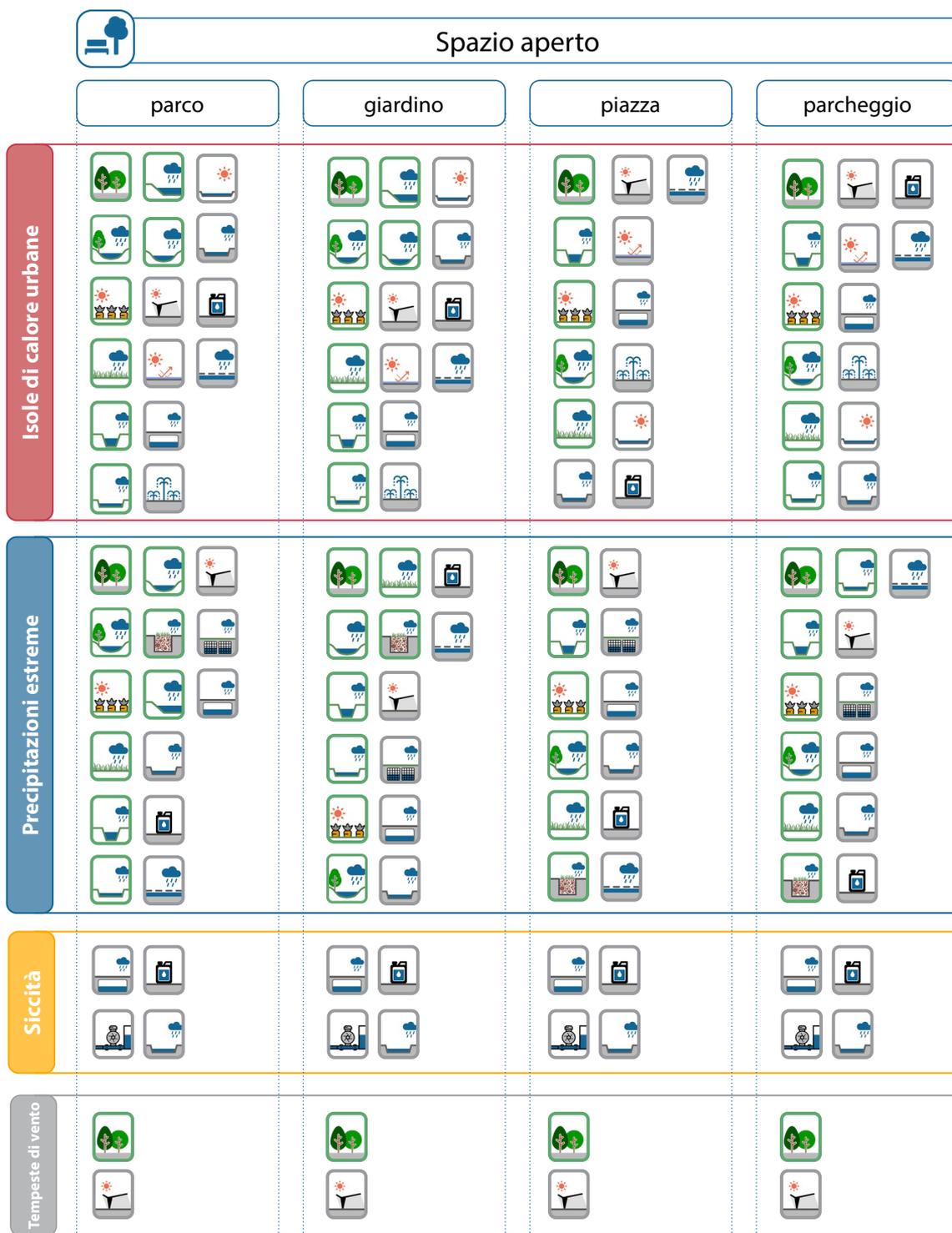


Fig. 5.a - Quadro sinottico globale delle soluzioni di adattamento climatico *nature based* e artificiali suddivise per *hazard* climatici affrontati e ambiti di applicazione.

References

- Ballard, B. W., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. and Kellagher, R., (2015), *The SuDS Manual*, C753, CIRIA, London, UK.
- Dessì, V., Farnè, E., Ravanello, L., Salomoni, M.T. (2017), *Rigenerare la città con la natura Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, Maggiolini editore, Centro stampa Regione Emilia-Romagna.
- Dessì, V. (2018), “Progettare il comfort degli spazi pubblici”, in REBUS - Renovation of public building and urban spaces, Centro Stampa Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Life Metro Adapt (2020), “Soluzioni naturalistiche (NBS) per la città metropolitana di Milano”, in *Strategie e misure di adattamento al cambiamento climatico nella Città Metropolitana di Milano*, available at: <http://www.lifemetroadapt.eu/it/> (accessed 02 February 2021).
- Mussinelli, E., Gambaro, M., Riva, R., Cerati, D., Tartaglia, A. (2020a), “Nature-Based Solutions” in Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo, M., Valente R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant’Arcangelo di Romagna (RM), Maggioli, pp. 127-130.
- Mussinelli, E., Gambaro, M., Riva, R., Cerati, D., Tartaglia, A. (2020b), “Infrastrutture verdi/Green infrastructures” in Losasso M., Lucarelli M.T., Rigillo, M., Valente R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant’Arcangelo di Romagna (RM), Maggioli, pp. 123-126.
- Salomoni M. T. (2018), “Gli alberi e la città”, in *REBUS Renovation of public Building and Urban Spaces*, Centro stampa Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Regione Emilia-Romagna (2020), *Liberare il suolo. Criteri e linee guida per la resilienza urbana negli interventi di rigenerazione*, Save Our Soil 4 Life (SOS4LIFE), available at: <https://www.sos4life.it/documenti/> (accessed 16 January 2021)

PARTE IV

**MODELLO PER LA VALUTAZIONE
DELL'EFFICACIA MULTI-HAZARD
DELLE SOLUZIONI DI ADATTAMENTO**

CAPITOLO 6

Contesto di indagine, metodi e strumenti impiegati per la sperimentazione

Le soluzioni progettuali per l'adattamento climatico individuate, raccolte e sistematizzate all'interno del repertorio rappresentano un significativo bagaglio di alternative tecniche per la pianificazione, l'esecuzione e la realizzazione di interventi clima-adattivi nei contesti urbani. Gli aspetti costruttivi, manutentivi, di funzionamento, di applicabilità e gli indicatori prestazionali permettono di comprendere i meccanismi intrinseci ed estrinseci delle diverse soluzioni e le interdipendenze che si generano nelle relazioni con l'ambiente urbano di intervento e rispetto alle diverse alternative progettuali presenti nel repertorio. Tali caratteristiche definiscono dei requisiti tecnici e funzionali fondamentali per le pratiche di riqualificazione e rigenerazione urbana e rappresentano un utile strumento a disposizione di progettisti, pianificatori, decisori politici e aziende per l'attuazione di una progettazione basata sull'adattamento climatico.

Nel seguente capitolo, dedicato alla fase sperimentale della ricerca, viene individuato l'ambito urbano di sperimentazione delle soluzioni di adattamento progettuali e descritti i metodi e gli strumenti impiegati per la valutazione dell'efficacia di ciascuna soluzione testata. Gli obiettivi del capitolo sono: descrivere la metodologia adottata per le analisi termiche con il software ENVI-met e per le valutazioni idrauliche con il metodo predittivo sul comportamento idraulico; individuare un'area di *testing* sul quale misurare gli output prestazionali; descrivere i principali indicatori utilizzati per la comparazione dei risultati.

6.1 - Ambito urbano di sperimentazione delle soluzioni di adattamento

La valutazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento ha richiesto, inizialmente, di individuare un contesto urbano soggetto alle specifiche pericolosità climatiche indagate dalla ricerca. Considerati gli elevati livelli di vulnerabilità, sia di natura termica che di origine idraulica, riscontrati nel territorio del Comune di Scandicci (Bologna et al., 2021), si è deciso di identificare l'area di sperimentazione progettuale all'interno di tale contesto insediativo.

Il consistente *corpus* documentario conferma in modo oggettivo come la città di Scandicci sia soggetta ai rischi climatici delle temperature elevate provocate dall'isola di calore urbana e dagli allagamenti pluviali urbani tipo *flash flood*, provocati dalle piogge estreme (Bologna et al, 2021). In particolare, l'area oggetto di sperimentazione si riferisce al cortile della scuola media "Enrico Fermi" collocata in via Leoncavallo di fronte al parco del Castello dell'Acciaiole e a 500 metri del Nuovo Centro Civico cittadino. Quest'ultimo è situato nella nuova piazza progettata dall'architetto Ernesto Nathan Rogers in corrispondenza dell'edificio del comune e della nuova linea tramviaria.

Il contesto urbano in cui si inserisce l'area di sperimentazione è caratterizzato da un tessuto edilizio aperto collocato in corrispondenza di due poli residenziali che caratterizzano l'insediamento: verso nord-ovest si trova l'abitato di Casellina e in direzione opposta a sud-est quello di Scandicci. Entrambi gli abitati sono attraversati da due strade storiche che collegano gli insediamenti alla città di Firenze: da un lato Via Pisana che attraversa Casellina, dall'altro Via di Scandicci che taglia l'omonimo insediamento urbano più storicizzato. Inoltre, un più recente asse di mobilità, realizzato nel 2010, corrisponde alla linea tramviaria che collega la stazione centrale di Firenze con il parcheggio scambiatore di Villa Costanza, posto in adiacenza all'Autostrada del Sole A1. Questo intervento infrastrutturale attraversa trasversalmente la città di Scandicci in corrispondenza di Piazza della Resistenza e si configura a tutti gli effetti come un rilevante asse urbano di ricucitura delle aree periferiche.

Il cortile del plesso scolastico si trova all'interno di un'area di riqualificazione (denominata RQ 04e) individuata del recente Piano Operativo Comunale 2019-2024. Tale intervento prevede il trasferimento dell'istituto scolastico in un'altra localizzazione e la riconversione funzionale della scuola media in un edificio ad uso residenziale e terziario con attività commerciali al piano terreno. Il dimensionamento complessivo dell'opera prevede un volume edificabile massimo di 15.000 mc, un numero massimo di quattro piani fuori terra e un indice di coperture massimo del 30%. Il cambio di destinazione d'uso dell'edificio, tuttavia, non influisce sulle finalità specifiche della presente sperimentazione né sulla misurazione dell'efficacia prestazionale di un campione di alternative progettuali rispetto alle pericolosità termiche e idrauliche.

6.2 - Metodi e strumenti impiegati per la valutazione dell'efficacia prestazionale

L'efficacia delle diverse soluzioni di adattamento è stata valutata all'interno dello stesso spazio urbano e nelle medesime condizioni climatiche, utilizzando per le analisi termiche il software di simulazione microclimatico ENVI-met e per le valutazioni idrauliche il metodo predittivo sul comportamento idraulico. Le diverse soluzioni di adattamento testate hanno previsto simulazioni/valutazioni "ex ante-ex post" per la misurazione della loro efficacia alle pericolosità dei picchi di calore e delle precipitazioni estreme. Tali misurazioni sono state ottenute attraverso

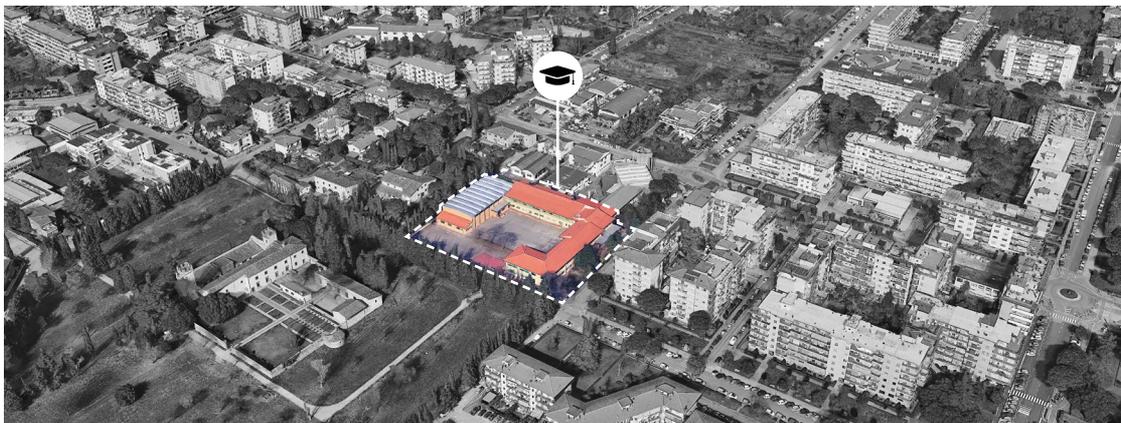


Fig. 1 - L'ambito urbano di sperimentazione delle soluzioni di adattamento: il cortile scolastico della scuola media E. Fermi.

la comparazione dei risultati prima e dopo l'inserimento della soluzione di adattamento. Questo ha consentito di valutare tramite valori oggettivi le *performance* clima-adattive delle alternative progettuali. Nello specifico, i metodi impiegati sono accomunati dai medesimi *step* e fasi operative.

6.2.1 - Metodologia adottata per le indagini termiche con il software ENVI-met

Il software ENVI-met è uno strumento informatico in grado di simulare una specifica situazione microclimatica sfruttando una solida base di calcolo che utilizza modelli fluidodinamici computazionali (Ambrosini et al., 2014; Fabbri, 2017). Tale programma di calcolo computerizzato permette di misurare le interazioni fisiche che si generano all'interno di un contesto urbano, costituito da edifici e spazi aperti (antropizzati o naturali), e ne descrive attraverso parametri fisici (temperatura, umidità, velocità del vento, ecc.) e indici di benessere *outdoor* (PET, PMV, PPD, ecc.) il comportamento del microclima. Il metodo di analisi microclimatica ha richiesto un elaborato processo di lavoro costituito da 7 *step*, articolati all'interno di 3 fasi operative;

1. la fase di valutazione termica dello stato di fatto comprende:
 - modellazione ex-ante;
 - simulazione ex-ante;
 - estrapolazione ex-ante;
2. la fase di valutazione termica dello stato modificato (in cui viene inserita la soluzione di adattamento da testare) racchiude:
 - modellazione ex-post;
 - simulazione ex-post;
 - estrapolazione ex-post;
3. la fase di valutazione termica dell'efficacia prestazionale prevede:
 - comparazione estrapolazioni ex-ante/ex-post.

La fase di valutazione dello stato originario prende avvio dalla modellazione ex-ante in cui si procede alla costruzione del modello tridimensionale da avviare alla simulazione. Tale modello è costituito da celle quadrate che definiscono una griglia di lavoro dimensionata in relazione all'ambito urbano oggetto di studio e comprende sia gli oggetti costruiti (edifici, superfici artificiali) che elementi "naturali" (terreni non pavimentati e vegetazione). Le dimensioni delle



Fig. 2 - Il cortile della scuola E. Fermi oggetto di sperimentazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento.

celle (ad esempio 1X1m, 2X2m, etc.) definiscono il livello di dettaglio del modello e quindi il grado di corrispondenza con il reale tessuto urbano da simulare e valutare. La scelta di celle con dimensioni molto grandi (maggiori di 5x5m) rischia di effettuare un'eccessiva approssimazione della morfologia urbana mentre, al contrario, celle di dimensioni ridotte (ad es. 1x1m) rallentano notevolmente i calcoli e di conseguenza il processo di simulazione. Risulta quindi fondamentale in questa fase istruttoria effettuare una taratura tra le dimensioni della griglia - che racchiude tutto il modello digitale dell'ambiente urbano da analizzare - e le dimensioni delle celle, tale da rendere facilmente simulabile la dimensione complessiva del modello.

La simulazione ex-ante prevede l'inserimento dei dati climatici di input, ovvero di tutte le informazioni meteo-climatiche che il programma ripercorrerà durante i suoi calcoli nelle diverse ore di un giorno scelto. In questo processo di calcolo devono essere inoltre inseriti due ulteriori parametri fondamentali per il corretto espletamento di questa fase: la durata della simulazione e l'ora di inizio. Tali requisiti sono necessari al software per individuare l'ora di inizio del processo di calcolo e l'ora di fine della simulazione. La scelta di questo intervallo temporale è determinante per due motivi:

- per ottenere una simulazione scientificamente valida, ovvero che abbia effettuato una simulazione per un periodo di tempo che varia tra le 6 e le 8 ore;
- per disporre dei risultati necessari (in ore) per effettuare le estrapolazioni e comparazioni, in quanto il numero di ore simulate coincide con il numero di risultati a disposizione.

Le estrapolazioni ex-ante si ottengono a conclusione del processo di simulazione. Questa operazione consiste nell'estrazione, in forma grafica e tabellare, dei risultati relativi ai parametri climatici necessari. Tali risultati possono riferirsi all'intera griglia analizzata, ed essere catturati sotto forma di immagini planimetriche o tridimensionali, oppure ad un singolo punto, in questo secondo caso si possono ottenere valori numerici per tutte le ore simulate sotto forma di tabelle Excel. Nonostante questo passaggio non sia strettamente necessario ai fini della misurazione delle prestazioni clima-adattive delle soluzioni testate, è stato utile ottenere tali estrapolazioni in questa prima fase per avere un quadro di analisi più chiaro e un'ulteriore conferma dei risultati ottenuti nelle diverse simulazioni.

La fase di valutazione dello stato modificato ripercorre metodologicamente gli stessi passaggi descritti per la fase di valutazione dello stato originario. In questa seconda fase, la modellazione

ex-post si concentra esclusivamente sull'area sottoposta alla verifica dell'efficacia. In tale zona di sperimentazione della soluzione di adattamento vengono operate, di volta in volta, le modifiche sul modello dello stato originario inserendo le caratteristiche materiche e/o tecniche che si riferiscono all'alternativa progettuale oggetto del test. A conclusione della modellazione ex-post si procede in maniera analoga e con gli stessi dati climatici impiegati per il calcolo ex-ante nella simulazione dello stato ex-post e nell'estrapolazione dei suoi *output*.

L'ultima fase, quella di valutazione dell'efficacia prestazionale, prevede la comparazione tra i risultati ottenuti dalla simulazione ex-ante e quella ex-post. Tale operazione consente di valutare il livello di efficacia delle soluzioni di adattamento testate, in funzione della differenza misurata tra i principali indicatori prestazionali scelti. Per quanto concerne le risposte termiche, maggiore è la differenza tra lo stato di fatto e quello modificato a seguito dell'inserimento della soluzione di adattamento e più elevato sarà il suo grado di efficacia alle avverse condizioni climatiche estreme.

6.2.2 - Metodologia adottata per le indagini idrauliche con il metodo predittivo

Il metodo predittivo si basa sul calcolo quantitativo della permeabilità delle superfici e degli elementi urbani in relazione al corrispettivo coefficiente di deflusso idraulico, il *runoff*. Tale metodologia, messa a punto da Moccia e Sgobbo in riferimento all'area campione di Napoli Est (Moccia et al., 2016), nasce dall'ipotesi di correlare il comportamento idraulico di un'area urbana al suo assetto tipologico e morfologico. Questo metodo rappresenta un efficace strumento di valutazione per delineare - in maniera semplificata rispetto alle più dettagliate analisi di ingegneria idraulica - il comportamento idraulico di un'area urbana. Il sistema, infatti, non considera il contributo della capacità di smaltimento della rete fognaria esistente bensì, attraverso la classificazione delle superfici oggetto di indagine e la loro attribuzione di un valore di deflusso superficiale, ne valuta il valore di *runoff* globale.

In analogia con il procedimento di analisi termica, il metodo predittivo sul comportamento idraulico è anch'esso costituito da 7 *step* e 3 fasi operative;

1. la fase di valutazione idraulica dello stato di fatto comprende:
 - classificazione ex-ante delle superfici;
 - attribuzione ex-ante del coefficiente di *runoff*;
 - calcolo ex-ante del *runoff*;
2. la fase di valutazione idraulica dello stato modificato (con inserita la soluzione di adattamento da testare) racchiude:
 - classificazione ex-post delle superfici;
 - attribuzione ex-post del coefficiente di *runoff*;
 - calcolo ex-post del *runoff*;
3. la fase di valutazione idraulica dell'efficacia prestazionale prevede:
 - confronto *runoff* ex-ante/ex-post.

Nella classificazione delle superfici ex ante si procede all'individuazione delle differenti classi di superfici presenti all'interno dell'area di analisi, in funzione dei parametri di scabrosità, permeabilità e inclinazione del piano di posa. In questo primo *step* viene operato un accurato censimento delle superfici esposte alla pioggia attraverso la realizzazione di mappatura con l'impiego di software GIS (*Geographic Information System*) o CAD e una tabella in cui sono riportate le estensioni superficiali di ciascuna categoria di superficie individuata.

Nell'attribuzione ex-ante dei coefficienti di *runoff* viene assegnato a ciascuna superficie individuata

il corrispettivo coefficiente di deflusso urbano. Questo valore rappresenta la percentuale di pioggia incidente che si trasforma in acqua di dilavamento superficiale. Tale attribuzione viene effettuata sulla base di verifiche empiriche e dati provenienti da letteratura scientifica (Moccia et al., 2016). A titolo esemplificativo superfici caratterizzate da asfalto impermeabile hanno un valore di *runoff* pari a 0,90, ciò significa che il 90% di pioggia che cade su tale superficie si trasforma in deflusso idraulico superficiale. Al contrario invece, il valore di *runoff* di una superficie verde permeabile è pari a 0,15 mentre quella di una copertura verde è pari a 0,70.

Il calcolo *ex-ante* del *runoff* viene effettuato combinando il peso relativo di ciascuna classe di superficie censita, misurato in percentuale rispetto all'area totale, con il corrispettivo coefficiente di deflusso superficiale. Tale operazione permette di ottenere il valore di *runoff* superficiale per tutte le categorie di superfici presenti nell'area di studio. La somma dei singoli valori di *runoff* superficiali determina il *runoff* globale, il cui valore rappresenta il principale risultato di questo terzo *step* della prima fase di valutazione.

Analogamente a quanto visto per le indagini termiche, anche per la fase di valutazione idraulica dello stato modificato la procedura si basa sulla modificazione delle superfici in cui è prevista la valutazione dell'efficacia prestazionale delle differenti soluzioni di adattamento testate. Il metodo prevede la classificazione *ex-post* delle nuove classi di superfici presenti all'interno dell'area di analisi e l'attribuzione di un nuovo e più performante valore di *runoff*, in virtù delle aumentate prestazioni idrauliche. A conclusione di queste due attività, analoghe a quelle descritte per la prima fase di valutazione dello stato di fatto, si procede nuovamente alla valutazione del valore di *runoff* superficiale di tutta l'area di indagine, ottenendo così il risultato dello stato modificato. Nell'ultima fase, quella della valutazione idraulica dell'efficacia prestazionale, l'obiettivo è quello di comprendere se il comportamento idraulico dell'area, integrata con le mutate caratteristiche delle superfici esposte alla pioggia e grazie alla loro capacità di adattamento ai fenomeni meteorici, hanno prodotto una variazione (in termini di riduzione) del valore di *runoff* globale. Ad una maggiore riduzione di tale valore corrisponde, in analogia con la valutazione dell'efficacia termica, una più rilevante efficacia della soluzione clima-adattiva.

6.3 - Area di testing delle soluzioni di adattamento

La superficie dell'area di sperimentazione delle alternative progettuali di adattamento si inserisce all'interno di un quadrante di inquadramento delle dimensioni di 120x120 metri. La scelta di individuare tale porzione di territorio urbano è connessa alle finalità specifiche di sviluppare su tale area le analisi termiche. Al centro del quadrante di inquadramento è possibile individuare il cortile dell'istituto scolastico entro il quale verranno prefigurate le differenti soluzioni di adattamento e misurati i principali risultati termici e idraulici. La collocazione baricentrica del cortile rispetto alla porzione urbana considerata ha lo scopo di garantire l'attendibilità dei risultati delle simulazioni termiche. Poiché il software utilizzato presenta delle difficoltà di calcolo sui bordi che comportano l'invalidità dei dati ottenuti in prossimità delle fasce perimetrali dell'area simulata.

L'area di *testing*, con un dimensione di 20x30 metri e una superficie al suolo di 600 mq, si inserisce all'interno del cortile scolastico che si estende per un'area di 2734 mq ed è esposta prevalentemente in direzione sud e ovest, pertanto, le tre facciate che incorniciano il cortile sono rivolte rispettivamente a sud-est, sud-ovest e nord-ovest.

Le condizioni meteo-climatiche in cui sono state effettuate le misurazioni dell'efficacia delle soluzioni alle criticità termiche si riferiscono al giorno 1° agosto 2017. La scelta legata all'utilizzo



Fig. 3 - Individuazione delle aree di simulazione termica, valutazione idraulica e *testing* delle soluzioni di adattamento.

di questi dati si basa su tre principali ragioni:

1. il giorno coincide con la manifestazione di un evento climatico estremo relativo alle temperature elevate ed è perciò rappresentativo del fenomeno dell'isola di calore urbana registrata nella zona;
2. i dati provengono da fonti ufficiali dall'Istituto di Biometeorologia del CNR di Firenze;
3. i dati costituiscono un gruppo di informazioni scientificamente rilevanti in quanto considerano un arco temporale ampio, provengono da sistemi di *Big Data* e sono stati rilevati da una stazione metereologica locale.

Per le suddette argomentazioni i parametri climatici simulati, sono stati:

- la temperatura atmosferica minima di 21,5 °C alle ore 06:00;
- la temperatura atmosferica massima di 41,4 °C alle ore 16:00;
- l'umidità minima al 19% alle ore 16:00;
- l'umidità massima al 76% alle ore 06:00;
- la velocità del vento di 1,36 m/s e la direzione prevalente verso nord.

6.3.1 - Indicatori climatici e di comfort per l'analisi termica

Per i fini specifici della presente ricerca, per quanto concerne le simulazioni termiche, i principali parametri estrapolati si riferiscono a due indicatori climatici, che sono la temperatura dell'aria potenziale e la temperatura media radiante (MRT), e due indici di comfort termico che sono il *Predicted Mean Vote* (PMV) e il *Physiological Equivalent Temperature* (PET).

La temperatura dell'aria potenziale rappresenta la temperatura che una massa d'aria avrebbe se trasportata adiabaticamente dalla sua quota iniziale fino al livello del mare. Tale grandezza rappresenta un costrutto matematico che, dal punto di vista dinamico, risulta essere molto più importante della temperatura reale in quanto non risente degli spostamenti verticali associati al moto del fluido in zone caratterizzate da turbolenza o attorno ad ostacoli. La temperatura potenziale non varia se non intervengono i fattori del riscaldamento/raffreddamento dovuto a componenti esterne o all'evaporazione/condensazione.

La temperatura media radiante (MRT), la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e i flussi d'aria sono considerati i parametri ambientali più importanti per la determinazione del comfort

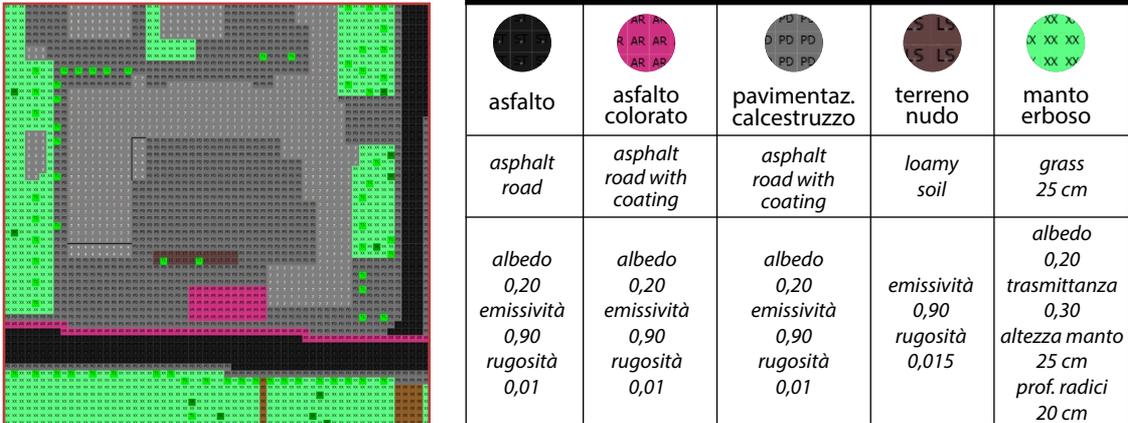


Fig. 4 - Modello ENVI-met dall'area di simulazione termica e legenda dei materiali al suolo.

termo-igrometrico. In particolare, la temperatura media radiante è definita come la temperatura media delle superfici circostanti, esprime gli scambi termici che avvengono per irraggiamento tra il corpo umano e le superfici di un ambiente urbano ed ha un impatto significativo sulla sensazione di benessere. Negli spazi aperti, i flussi radiativi variano considerevolmente a causa delle ombre generate dagli edifici, dalla vegetazione e dai materiali (Cecafosso, 2020).

Il PMV rappresenta uno degli indicatori di comfort principali e nasce in riferimento allo studio dei requisiti termo-igrometrici degli spazi climatizzati. Il PMV rappresenta il valore medio del voto attribuito a una determinata situazione ambientale da un campione di persone, in definite condizioni di attività e vestiario. Tale indice di comfort si basa su studi sperimentali in cui il benessere termico si raggiunge in condizioni di equilibrio termico (valore di 0) tra i parametri soggettivi (attività metabolita e abbigliamento) e quelli ambientali (temperatura media radiante, temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità dell'aria). L'indice PMV è un parametro adimensionale che varia da un valore di +3, considerato molto caldo, a -3, associato al molto freddo. Valori superiori a +3 corrispondono al cosiddetto colpo di calore. Questo indicatore trova una stretta correlazione con il Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD), ovvero la percentuale di insoddisfatti. Studi sperimentali hanno osservato che anche per valori di PMV pari a 0 esiste sempre una bassa percentuale di insoddisfatti uguale al 5% circa, ciò consente di affermare che non esistono condizioni ambientali in grado di soddisfare il 100% delle persone (Cimillo, 2020a). Il PET rappresenta un indice di benessere alternativo al PMV e si esprime attraverso l'unità di misura dei gradi centigradi (°C). Questo indicatore ha l'obiettivo di rappresentare in modo univoco le condizioni di comfort *outdoor*. Il PET riconduce la complessità di un elevato numero di fattori oggettivi (temperatura media radiante, temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità dell'aria) e soggettivi (attività metabolita e abbigliamento) ad un valore sintetico che descrive la condizione equivalente di un soggetto standard in un ambiente interno standard (Cimillo, 2020b).

Entrambi gli indici di benessere qui presentati, sia il PMV che il PET, si riferiscono ad un soggetto standard e nel caso specifico della sperimentazione è stato considerato un ragazzo dell'età di 12 anni, in quanto utente e fruitore dello spazio urbano analizzato maggiormente sensibile.

Gli indicatori climatici e di comfort presentati vengono ricavati direttamente dalle differenti simulazioni effettuate con il software ENVI-met.

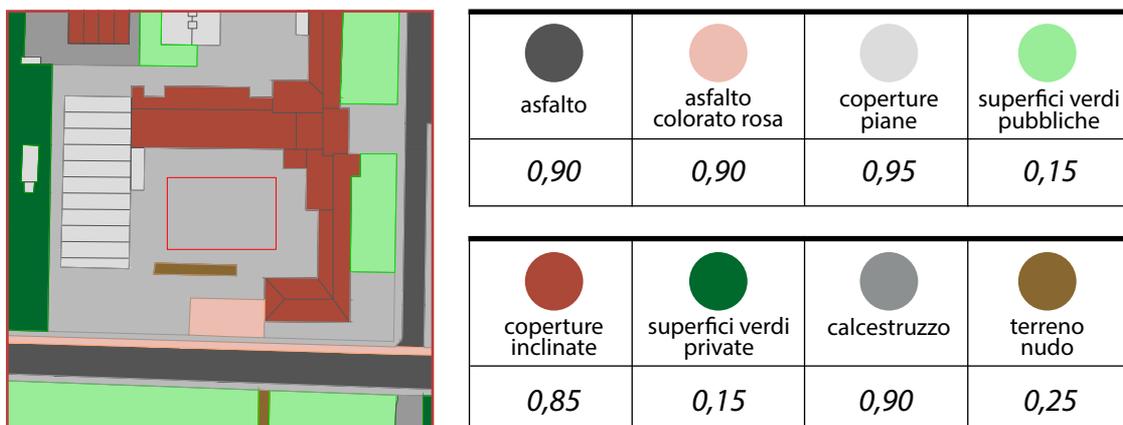


Fig. 5 - Coefficienti di runoff utilizzati per la valutazione del metodo predittivo di comportamento idraulico.

I risultati delle simulazioni termiche sono stati estrapolati in due modalità: sotto forma di elaborazioni grafiche planimetriche ad un'altezza di 1,80 m, considerando il livello della pavimentazione del cortile come quota 0,00 di riferimento; e in forma tabellare in riferimento ad uno specifico punto di coordinate $i=30$, $j=33$ e $z=4$, che corrisponde indicativamente al baricentro del rettangolo di 20x30 scelto come area di *testing*. Gli output delle simulazioni sono stati estrapolati alle ore 14 invece che in corrispondenza del picco di temperatura dell'aria - coincidente con le ore 16 - in quanto in tale orario si ha la piena esposizione solare dell'area di sperimentazione e per il fatto che quell'ora esprime il momento della giornata più prossimo alla radiazione diretta che si manifesta per il giorno 1° agosto alle ore 13:34. In definitiva, queste circostanze ci consentono di leggere in maniera chiara ed evidente i principali benefici determinati dalle soluzioni di adattamento all'interno dell'area di sperimentazione scelta e valutarne la loro efficacia.

6.3.2 - Indicatori ambientali per l'analisi idraulica

Per quanto attiene la valutazione idraulica il principale indicatore utilizzato nella presente ricerca si riferisce al coefficiente di permeabilità che, oltre ad essere un parametro rilevante nella generazione e propagazione del fenomeno delle isole di calore urbane, rappresenta un indicatore determinate per valutazione della vulnerabilità agli eventi delle precipitazioni estreme. Tale parametro corrisponde al coefficiente di *runoff* e misura il rapporto tra il volume d'acqua meteorica che si infila nel sottosuolo di una determinata pavimentazione artificiale o superficie naturale e il volume totale di acqua piovuta all'interno della stessa (Bosco et al., 2020).

Come chiaramente descritto da Bosco et al. (2020) il concetto di permeabilità può riferirsi a diverse letture e categorie all'interno della complessa trama della città contemporanea: dalla dimensione urbanistica a quella dei suoli, dalla scala architettonica delle superfici urbane ai terreni e rocce. Rispetto alla prima scala di analisi, quella urbana, gli indicatori più adeguati sono rappresentati dal *Biotope Area Factor* (BAF) e dalla Riduzione Impatto Edilizio (RIE) che si riferiscono rispettivamente: alla funzionalità ecosistemica dell'ambiente costruito attraverso il calcolo della permeabilità complessiva di una certa area urbana (come ad esempio l'isolato, il quartiere o la città), il primo; alla qualità ambientale di un'area urbana in relazione alla permeabilità dei suoli e

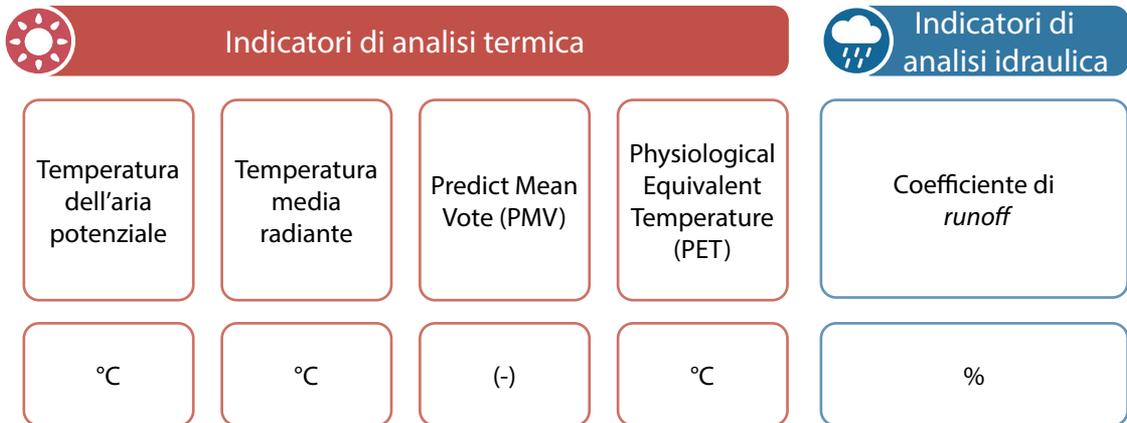


Fig. 6 - Indicatori impiegati per l'analisi termica e idraulica.

delle aree verdi, il secondo. In riferimento a tali indagini di carattere urbanistico-ambientale, un riferimento normativo a livello nazionale è rappresentato dai Criteri Ambientali Minimi (CAM) entrati in vigore grazie all'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, all'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.lgs. 50/2016 "Codice degli appalti" (modificato dal D.lgs. 56/2017), che ne hanno reso obbligatoria l'applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti.

Tralasciando il livello riferito alla categoria dei suoli che concerne più propriamente gli usi agricoli dei terreni, risulta utile concentrarsi in particolare sulla scala architettonica, il cui coefficiente di permeabilità è associato alle pavimentazioni superficiali e ai suoi strati sottostanti. In questo secondo caso l'indicatore dipende da due fattori: quello locale, come la permeabilità del terreno, la durata e l'intensità delle precipitazioni e le temperature, e le scelte progettuali, tra cui si annoverano la permeabilità degli strati di posa, delle pavimentazioni, la granulometria degli inerti, i materiali superficiali naturali (come la ghiaia o il manto erboso), e la pendenza delle superfici (Bosco et al., 2020).

Infine, il coefficiente di permeabilità riferito ai terreni e alle rocce si distingue in funzione della tipologia e delle proprietà intrinseche delle stesse. In particolare, la permeabilità è una caratteristica delle rocce lapidee e dei terreni incoerenti. La capacità di infiltrazione dei terreni e delle rocce dipende dal tasso di infiltrazione che viene generalmente misurato attraverso la conducibilità idraulica (Bosco et al., 2020; Regione Emilia-Romagna, 2020).

Nel caso specifico della presente ricerca e ai fini dell'individuazione dell'efficacia delle differenti soluzioni di adattamento è stato scelto il coefficiente di *runoff* che corrisponde alla scala di approfondimento al quale sono state analizzate le diverse soluzioni di adattamento. Per questo motivo sono stati individuati nella letteratura scientifica i principali valori di *runoff* riferiti alle differenti caratteristiche tecniche delle alternative progettuali sviluppate nella fase di sperimentazione.

CAPITOLO 7

Misurazioni termiche e idrauliche delle soluzioni progettuali e modello di valutazione dell'efficacia multi-hazard per l'adattamento climatico

Nel seguente capitolo viene valutata l'efficacia adattiva di un campione di quattro soluzioni progettuali scelte dal repertorio, attraverso l'impiego degli strumenti informatici e dei modelli di calcolo predittivi descritti nel capitolo precedente. I *test* termici e idraulici consentono di determinare quantitativamente degli *output* che si riferiscono ai principali indicatori scelti (temperatura dell'aria potenziale, temperatura media radiante, PMV, PET e *runoff*). Tale operazione consente di misurare la riduzione oppure l'incremento dei valori climatici, di comfort e idraulici.

Gli obiettivi del capitolo prevedono, da un lato, la valutazione delle capacità di adattamento delle soluzioni alle pericolosità delle isole di calore urbane, del *pluvial flooding* e *multi-hazard* (valutazione operata attraverso il conferimento di un punteggio sintetico determinato in relazione all'incremento o decremento degli indicatori termici e/o idraulici), dall'altro viene descritto il metodo replicabile per la valutazione dell'efficacia prestazionale e sono indicate la maggiore o minore incisività delle diverse alternative progettuali testate in via sperimentale.

7.1 - Introduzione alla misurazione dell'efficacia delle soluzioni di adattamento climatico

Le soluzioni di adattamento sperimentate attraverso i metodi e gli strumenti descritti nei paragrafi precedenti sono quattro e comprendono tre *nature based solutions* e un'alternativa progettuale appartenete alle soluzioni artificiali. Tra quelle appartenenti alle NBS troviamo le alberature, la superficie verde permeabile e il *rain garden*, mentre la soluzione artificiale di cui è stata misurata l'efficacia si riferisce ad una pavimentazione permeabile. Ai fini della misurazione della loro efficacia in termini quantitativi è risultato necessario simulare anche la "soluzione 0" che corrisponde allo stato di fatto e rappresenta il principale scenario di riferimento rispetto al quale sarà misurato l'incremento della capacità di adattamento.

I *test* delle differenti soluzioni sono stati restituiti secondo un'apposita scheda costituita di cinque principali voci: una descrizione generale della soluzione testata, le caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia, i risultati termici della simulazione e quelli idraulici della valutazione ed infine il grado di adattamento alla pericolosità termica, idraulica e *multi-hazard* ricavato dalla sperimentazione.

Nella prima sezione dedicata alla descrizione vengono tracciati brevemente i caratteri distintivi della soluzione impiegata. La seconda sezione delle caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia riporta le principali proprietà materiche delle soluzioni di adattamento per la simulazione termica e la valutazione idraulica. Nella fattispecie, all'interno di questa sezione vengono restituite tutte le caratteristiche che si riferiscono ai materiali impiegati nel software ENVI-met, come ad esempio i valori di albedo, emissività, rugosità, etc., e quelli utilizzati per il calcolo globale del *runoff*, con riferimento ai diversi coefficienti di deflusso ricavati dalla letteratura scientifica. Nella sezione dei risultati sono riportati tutti gli output delle analisi termiche ed idrauliche in relazione ai principali indicatori scelti descritti precedentemente all'interno del capitolo. In particolare, si fa riferimento ai valori di *temperatura dell'aria potenziale*, *temperatura media radiante (MRT)*, *Predict Mean Vote (PMV)* e *Physiological Equivalent Temperature (PET)* per quanto attiene le misurazioni riferite all'isola di calore urbana e al *coefficiente di runoff* per quanto riguarda le misurazioni rispetto alle precipitazioni estreme. Infine, il grado di adattamento riferito alla pericolosità termica, idraulica e *multi-hazard* attribuisce un punteggio per ogni incremento benefico misurato rispetto a ciascun indicatore, sia termico che idraulico, e in maniera analoga sottrae lo stesso valore in caso di peggioramento delle condizioni climatiche attribuibile alla soluzione di adattamento inserita. Nello specifico, in virtù dei differenti valori ottenuti dalle quattro alternative progettuali testate, i valori di punteggio sono stati così ripartiti:

- *Temperatura dell'aria potenziale*:
 - +1 punto ogni -0,10 °C ridotti;
 - 1 punto ogni +0,10 °C aumentato;
- *Physiological Equivalent Temperature (PET)*:
 - +1 punto ogni 1 °C ridotto;
 - 1 punto ogni 1 °C aumentato;
- *Temperatura media radiante (MRT)*:
 - +1 punto ogni 1 °C ridotto;
 - 1 punto ogni 1 °C aumentato;
- *Coefficiente di runoff*:
 - +1 punto ogni punto percentuale ridotto;
 - 1 punto ogni punto percentuale aumentato.
- *Predict Mean Vote (PMV)*:
 - +1 punto ogni 0,1 unità PMV ridotto;
 - 1 punto ogni 0,1 unità PMV aumentato;

7.1.1 Test 0 : stato di fatto



Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Materiali	Riferimento ENVI-met	Caratteristiche riferite alle analisi termiche
Pav. calcestruzzo	<i>concrete pavement dark</i>	albedo= 0,20; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Pav. asfalto colotaro rosa	<i>asphalt road with coating</i>	albedo= 0,50; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Terreno nudo	<i>loamy soil</i>	emissività= 0,98; rugosità=0,015

Valutazioni idrauliche

Materiali	Coefficiente di deflusso	Superficie (mq)	%	Valore runoff
Pav. calcestruzzo	0,90	2448	90%	81%
Pav. asfalto colotaro rosa	0,90	218	8%	7%
Terreno nudo	0,25	68	2%	1%

Risultati della misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche				Valutazioni idrauliche			
Indicatore	Risultato	Diffenza	Punteggio	Indicatore	Risultato	Diffenza	Punteggio
T. aria potenz.	36,27	-	-	valore runoff	88%	-	-
T. media rad.	74,75	-	-				
PMV	5,33	-	-				
PET	52,52	-	-				

7.1.1 - Test soluzione di adattamento 0: stato di fatto

Descrizione della soluzione

La *soluzione 0* è rappresentata da una pavimentazione uniforme in calcestruzzo che, in virtù delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale, è in grado di resistere agli agenti atmosferici, alle condizioni climatiche estreme (come, ad esempio, il gelo o il caldo), agli oli, ai raggi ultravioletti ed è impermeabile all'acqua. Tali proprietà consentono alla pavimentazione del cortile di resistere nel tempo, sopportare rilevanti carichi di esercizio (come ad esempio quello di automobili, autoambulanze o autocarri) ma al tempo stesso ne pregiudicano la risposta sia termica che idraulica. Infatti, in condizioni estreme i fenomeni di pericolosità legati al cambiamento climatico tendono ad acuirsi in presenza di questo materiale.

In questo caso specifico la superficie destinata alla sperimentazione (600 mq) non viene alterata, pertanto, i materiali presenti nel cortile della scuola sono contraddistinti da 2734 mq di calcestruzzo impermeabile di colore grigio scuro, una porzione di area asfaltata impermeabile colore rosa della superficie di 218 mq e la superficie di terreno nudo della fossa di 68 mq in cui sono piantate le due alberature esistenti.

Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Le caratteristiche materiche inserite per le analisi termiche con il software ENVI-met si riferiscono al materiale rinominato *concrete pavement dark* contraddistinto da valori di albedo pari a 0,20, emissività di 0,90 e rugosità di 0,01. Tutta la superficie del cortile della scuola è rivestita di questo materiale ad eccezione dell'area asfaltata colorata di rosa, a cui sono state attribuite le caratteristiche del materiale *asphalt road with coating* con valori di albedo di 0,50, emissività 0,90 e rugosità pari a 0,01, e la zona di terreno nudo in cui sono collocate le alberature esistenti, a cui sono state impostate le proprietà del materiale *loamy soil* con un emissività di 0,98 e una rugosità di 0,015.

Valutazioni idrauliche

I valori del coefficiente di *runoff* in questo caso comprendono: la superficie in calcestruzzo che rappresenta il 90% dell'area totale osservata con 2448 mq e un valore di *runoff* pari allo 0,90; la zona contraddistinta da asfalto colorato rosa con una superficie occupata del 8% pari a 218 mq e un *runoff* simile a quello del calcestruzzo, quindi pari a 0,90; infine la fascia di terreno nudo che copre solamente il 2% di tutta l'area con 68 mq e presenta un *runoff* dello 0,25.

Risultati termici della simulazione

Temperatura dell'aria potenziale

I risultati sulla temperatura dell'aria mostrano come valore minimo registrato la temperatura di 36,17 °C e massimo il valore di 38,35 °C. La zona più fresca si concentra nell'area del cortile antistante la facciata orientata a sud-est e quelle più calde sono rilevabili lungo le facciate esterne al cortile a nord-ovest e a nord-est. Nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4) la temperatura potenziale dell'aria simulata alle ore 14 è stata di 36,27 °C.

Temperatura media radiante (MRT)

La temperatura media radiante misurata allo stato di fatto mostra come valore minimo 51,35 °C in corrispondenza delle zone ombreggiate dall'edificio. I valori massimi si registrano nelle aree asfaltate del cortile e delle strade limitrofe con la temperatura media radiante massima valutata a 75,87 °C. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) il valore è prossimo a quello del massimo, con un valore pari a 74,75 °C.

Predict Mean Vote (PMV)

I valori di comfort nelle condizioni attuali risultano critiche per tutta l'area analizzata ad eccezione delle zone alberate o in cui interviene l'ombreggiamento dell'edificio scolastico. I valori di PMV minimi registrati nelle aree più fresche fanno scendere il benessere al valore di 4,12, mentre quelli massimi raggiungono il valore 5,72. Il punto di controllo (i=30; j=33; z=4) si attesta intorno al valore massimo di discomfort percepito nella zona pari a 5,33 punti di PMV.

Physiological Equivalent Temperature (PET)

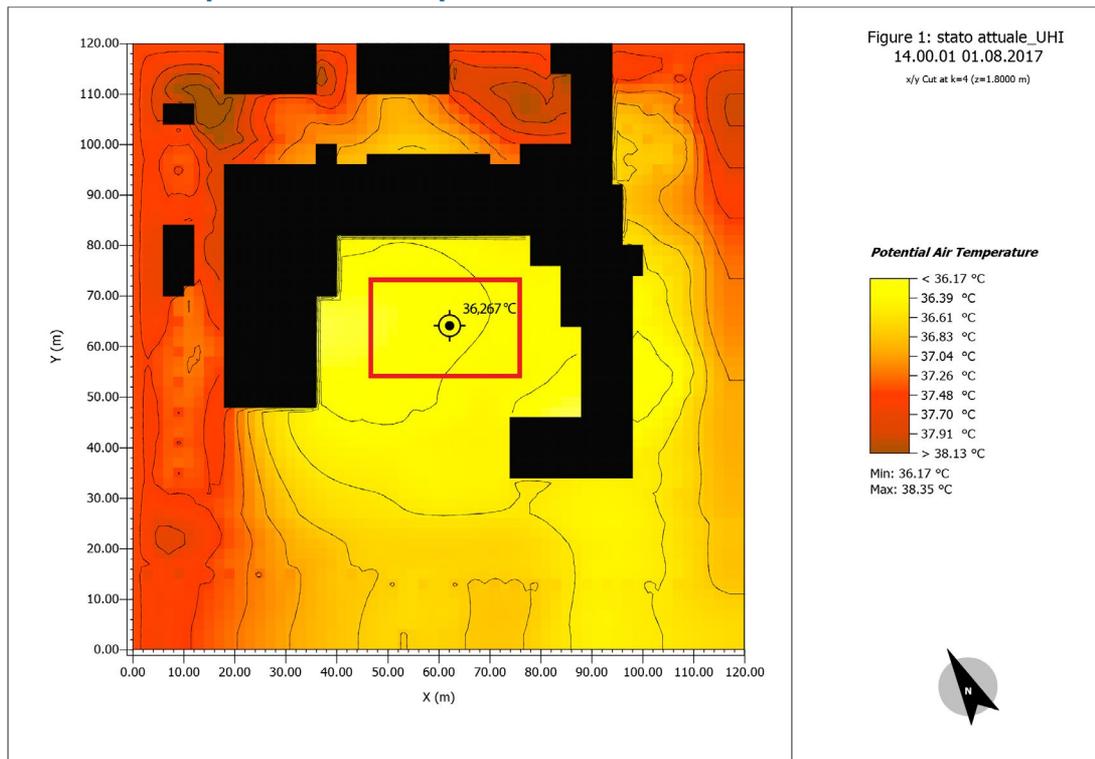
I valori del PET mostrano il minimo a 44,13 °C e il massimo 63,40 °C. I valori più alti si concentrano prevalentemente nelle aree soggette ad un'esposizione solare pressoché continua durante tutto l'arco della giornata, ad eccezione delle poche ore al tramonto. È possibile notare che in corrispondenza delle aree ombreggiate i valori del PET scendono drasticamente. Tale fenomeno di smorzamento delle condizioni di discomfort, seppure in maniera meno pronunciata avviene con le ombre delle alberature centrali che cadono esattamente in corrispondenza del rettangolo di sperimentazione e ne riducono i valori estremi. Il punto di controllo (i=30; j=33; z=4) registra in analogia con gli altri risultati termici una prossimità ai valori di picco, registrando il valore di 52,52 °C.

Risultati idraulici della valutazione

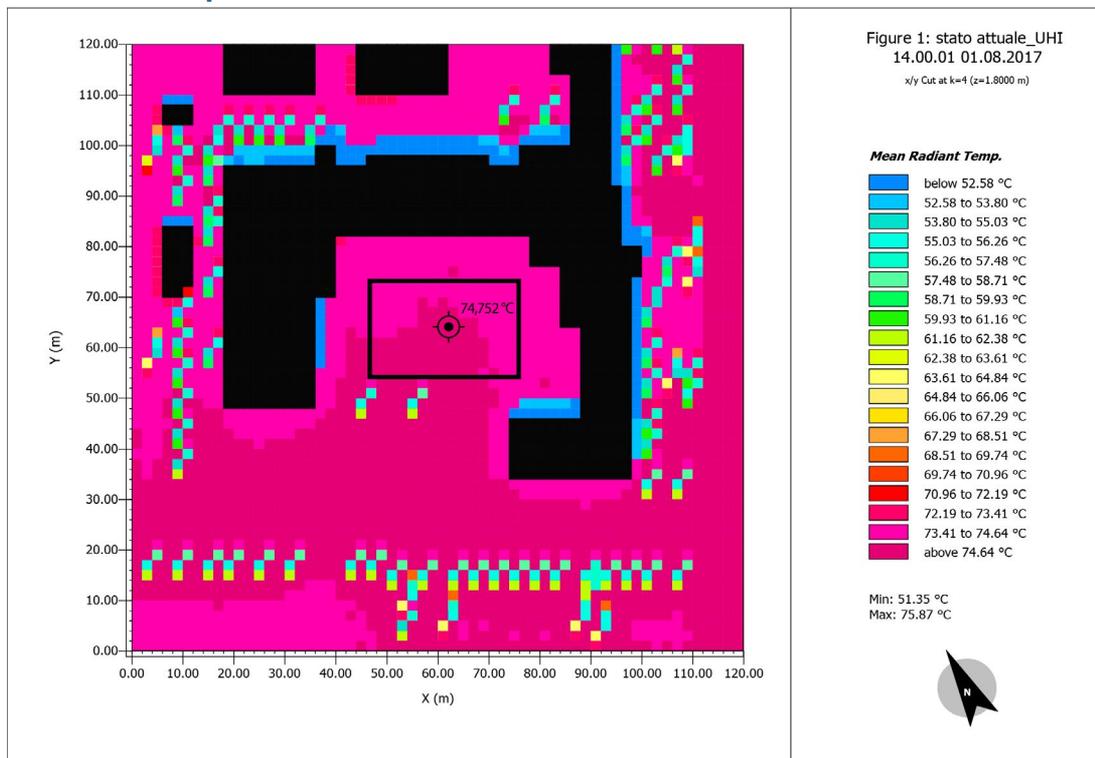
Valore runoff

Per quanto concerne i risultati idraulici della sperimentazione sullo stato di fatto, rispetto alle superfici di cui è contraddistinto il cortile scolastico: l'area pavimentata con il calcestruzzo riporta il valore di *runoff* più elevato pari al 81%; quella asfaltata colorata, per la sua minore estensione superficiale si attesta al 7% mentre il terreno nudo entro cui sono inseriti gli alberi raggiunge solamente l'1% di *runoff*. Il valore globale del coefficiente di deflusso idrico superficiale dell'intera area del cortile analizzata si attesta al 88%.

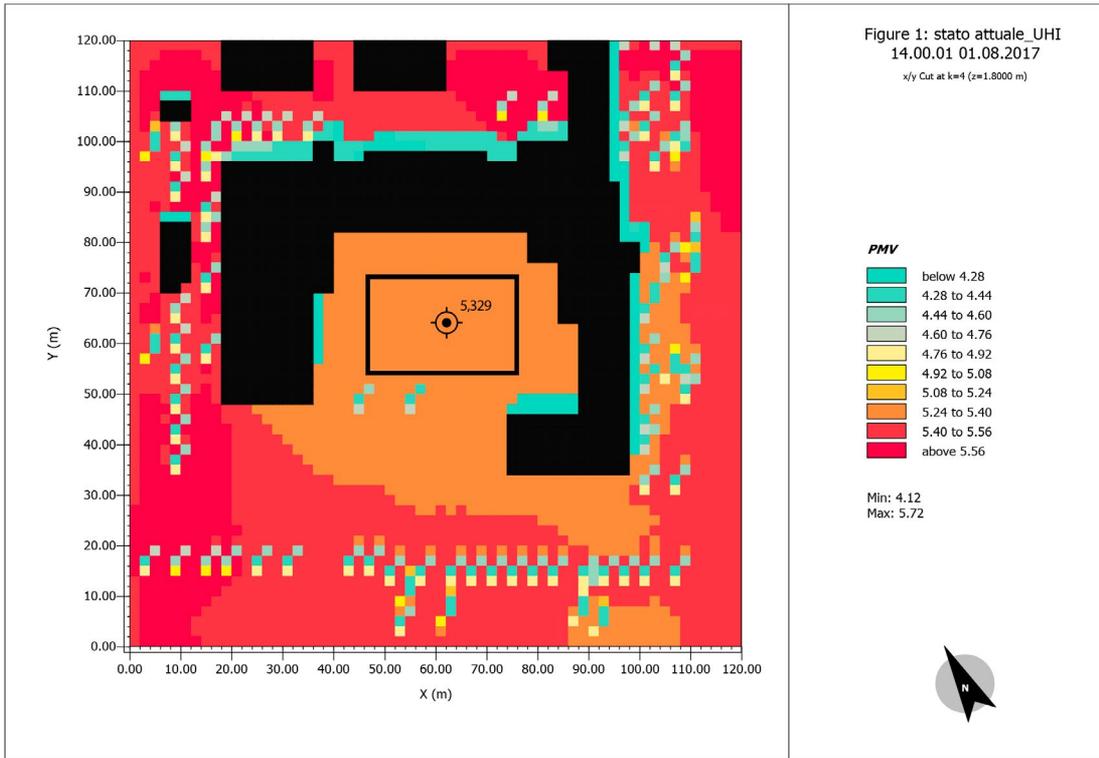
Risultati di temperatura dell'aria potenziale: soluzione 0



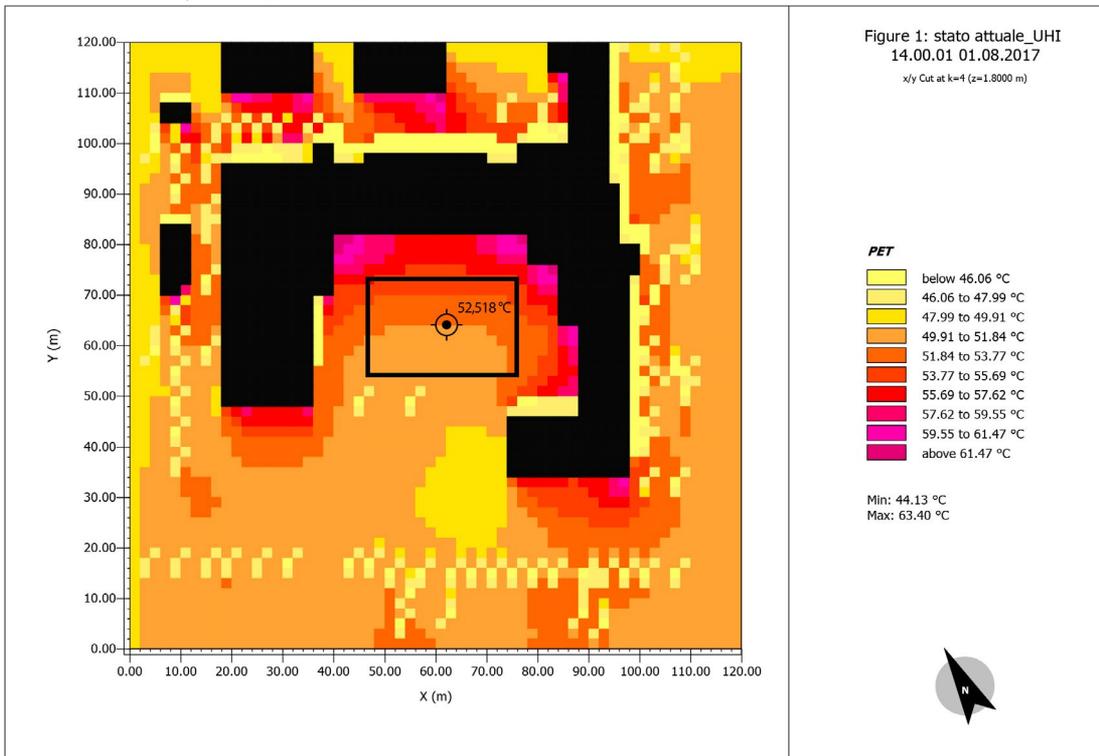
Risultati di temperatura media radiante: soluzione 0



Risultati di Predict Mean Vote (PMV): soluzione 0



Risultati di Physiological Equivalent Temperature (PET): soluzione 0



7.1.2 Test 1 : alberature



Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Materiali	Riferimento ENVI-met	Caratteristiche riferite alle analisi termiche
Pav. calcestruzzo	<i>concrete pavement dark</i>	albedo= 0,20; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Pav. asfalto colotaro rosa	<i>asphalt road with coating</i>	albedo= 0,50; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Terreno nudo	<i>loamy soil</i>	emissività= 0,98; rugosità=0,015
Alberature	<i>acer campestre</i>	altezza =12 m; larghezza= 9 m; albedo a onde corte del fogliame=0,18; trasmittanza a onde corte del fogliame= 0,30; profondità radici= 3 m; diametro radici= 10 metri

Valutazioni idrauliche

Materiali	Coefficiente di deflusso	Superficie (mq)	%	Valore runoff
Pav. calcestruzzo	0,90	2025	74%	67%
Pav. asfalto colotaro rosa	0,90	218	8%	7%
Terreno nudo	0,25	68	2%	1%
Alberature	0,10	423	15%	2%

Risultati della misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche				Valutazioni idrauliche			
Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio	Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio
T. aria potenz.	35,99	-0,28	3	valore runoff	76%	-12%	12
T. media rad.	54,32	-20,43	20				
PMV	4,21	-1,12	11				
PET	44,915	-7,61	8				

7.1.2 - Test soluzione di adattamento 1: alberature

Descrizione della soluzione

La *soluzione 1* è caratterizzata dall'inserimento di 6 alberature all'interno dell'area di *testing*. La specie di pianta scelta si riferisce all'acero campestre, un albero caducifoglie di modeste dimensioni, con fusto non molto alto, chioma tondeggiante e foglie di dimensione che variano dai 5 agli 8 cm. L'acero è particolarmente indicato per l'utilizzo in ambiente urbano in quanto è in grado di assorbire un'elevata quantità di anidride carbonica (CO₂) e polveri sottili.

L'acero campestre ha una crescita lenta con una longevità che può superare i 100 anni, raggiunge altezze massime di 15-18 metri e la sua esposizione migliore sono sia gli ambienti ombreggiati che quelli completamente soleggiati, al riparo dai flussi di vento. La pianta si sviluppa in climi temperati umidi ma presenta un buono sviluppo anche negli ambienti freddi e in quelli caldi, non troppo secchi, ed è in grado di resistere alle alte temperature.

La presenza della chioma compatta permette nei periodi di estremo caldo di godere di una vasta area ombreggiata a beneficio dell'intero cortile scolastico, mentre in inverno le foglie caduche consentono ai raggi solari di filtrare attraverso la corte e riscaldare per irraggiamento solare diretto le aule.

Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

I materiali impiegati per le simulazioni termiche nel caso della soluzione di adattamento delle alberature sono stati:

- per la pavimentazione in calcestruzzo esterna all'area di *testing*, è stato utilizzato il materiale *concrete pavement dark* contraddistinto da valori di albedo pari a 0,20, emissività di 0,90 e rugosità di 0,01;
- per la pavimentazione in asfalto colorato di rosa è stato scelto il materiale *asphalt road with coating* con valori di albedo di 0,50, emissività 0,90 e rugosità pari a 0,01;
- per il terreno in cui sono collocate le alberature esistenti si è fatto riferimento al materiale *loamy soil* con un valore di emissività di 0,98 e una rugosità di 0,015;
- per le alberature di progetto la scelta si riferisce alla specie *acer campestre* con altezza di 12 metri, larghezza di 9 metri, albedo a onde corte del fogliame pari a 0,18, trasmittanza a onde corte del fogliame di 0,30, profondità e diametro delle radici rispettivamente di 3 metri e 10 metri.

Valutazioni idrauliche

Per quanto attiene la valutazione idraulica le superfici captanti sono in questo caso ridotte grazie al contributo offerto dalle chiome delle alberature che intercettano gran parte delle acque meteoriche che cade all'interno dell'area di sperimentazione. Nello specifico i coefficienti di deflusso attribuiti alle differenti superfici prevedono:

- la pavimentazione in calcestruzzo impermeabile che ricopre il 74% della superficie del cortile con 2025 mq e presenta un valore pari a 0,90;
- l'area contraddistinta da asfalto colorato rosa è rimasta invariata, misura 218 mq, copre l'8% della superficie e ha un valore di 0,90;
- il terreno nudo in cui sono collocate le alberature esistenti misura 68 mq e presenta un valore di 0,25;

- la superficie corrispondente alle chiome delle alberature copre una superficie di 423 mq per un totale del 15% dell'intero cortile dell'istituto e presenta un valore di 0,10. Tale valore è stato individuato dai coefficienti di *runoff* attribuiti alle alternative tecniche nella ricerca "Metropolis - Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza dei sistemi urbani" all'interno del volume *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici*, a cura di D'Ambrosio V. & Leone M.F.

Risultati termici della simulazione

Temperatura dell'aria potenziale

I risultati della temperatura dell'aria potenziale riportano tra i valori minimi 35,87 °C e quelli massimi 38,21 °C. L'area caratterizzata da una temperatura più bassa si sposta rispetto allo stato di fatto in corrispondenza della facciata orientata a sud-ovest per effetto della presenza delle alberature e si estende in termini superficiali. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) si registra una riduzione di - 0,28 °C che sposta la temperatura a 35,99 °C segnando un modesto miglioramento. La riduzione maggiore si ottiene in prossimità della facciata dell'edificio orientato a sud-ovest, che corrisponde alla zona ombreggiata dalle alberature, in cui si raggiunge anche il valore di -0,53 °C.

Temperatura media radiante (MRT)

La temperatura media radiante in presenza della soluzione di adattamento delle alberature mostra una estesa area contraddistinta da valori molto ridotti rispetto alla zona complessivamente analizzata. Tale risultato è confermato anche nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4) in cui si registra il valore di PMV di 54,32 °C. L'introduzione della soluzione 1 produce un effetto "oasi" di fresco in cui si misura una riduzione del valore di -20,43 °C.

Il valore di temperatura media radiante massimo raggiunto corrisponde a 75,54 °C mentre quello minimo si attesta a 48,76 °C in prossimità delle zone che risultano maggiormente ombreggiate durante tutto l'arco della giornata. In quest'area benefica, che coincide con l'area di *testing*, e nella facciata dell'edificio orientata a sud-ovest, le riduzioni di MRT raggiungono i -22,61 °C.

Predict Mean Vote (PMV)

I risultati sul PMV raggiungono i valori minimi di 3,94 nelle aree maggiormente in ombra e massimi di 5,62. In corrispondenza della soluzione si registra come per i valori osservati nella temperatura media radiante un "oasi" di fresco e l'area di *testing* risulta quasi completamente beneficiare di tale fenomeno raffrescativo. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) si registra il valore di 4,21 che restituisce un valore migliorativo rispetto allo stato di fatto di -1,12 punti di PMV, che corrisponde con un piccolo margine di approssimazione ai valori differenziali minimi registrati dalla comparazione.

Physiological Equivalent Temperature (PET)

Per quanto attiene ai valori del PET la soluzione restituisce la stessa distribuzione di effetti benefici osservati nella MRT e nel PMV. In questo caso il valore minimo si attesta a 42,92 °C, quello massimo a 63,00 °C ed è possibile osservare la stessa influenza benefica che comprende quasi completamente l'area di *testing*. La facciata che riceve maggiori benefici con l'introduzione

di tale soluzione è quella orientata a sud-ovest. Nel punto di controllo ($i=30$; $j=33$; $z=4$) il valore misurato mostra $44,92$ °C, ancora una volta inferiore rispetto allo stato originario del cortile con una riduzione di $-7,61$ °C.

Risultati idraulici della valutazione

Valore runoff

I risultati della valutazione idraulica mostrano un valore di *runoff* che scende al 76% segnando una riduzione di 12 punti percentuali, la quale è attribuibile principalmente alla riduzione della superficie esposta alle precipitazioni. Si riscontra infatti che la superficie della pavimentazione in calcestruzzo, grazie all'ingombro delle chiome degli alberi viene ridotta del 15% raggiungendo un valore di *runoff* pari al 74%. Tale superficie misura circa 423 mq e genera solamente il 2% di *runoff*, proprio per la capacità delle alberature di intercettare le acque di pioggia prima che si trasformino in deflusso idrico superficiale urbano. I valori di *runoff* della superficie in asfalto colorato e del terreno nudo non subiscono nessun tipo di alterazione e pesano sempre rispettivamente il 7% e il 2% sul valore globale.

Grado di adattamento *multi-hazard* della soluzione

Adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane

La riduzione sull'indicatore della temperatura dell'aria potenziale di $-0,28$ °C consente alla soluzione delle alberature di guadagnare 3 punti; la netta riduzione della temperatura media radiante di $-20,43$ °C ne attribuisce 20; la riduzione in termini di PMV di $-1,21$ ne aggiunge 12 ed infine la riduzione di $-7,61$ °C di PET ne somma altri 8. La somma complessiva del punteggio per l'adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane attribuisce un risultato significativo che misura 48 punti.

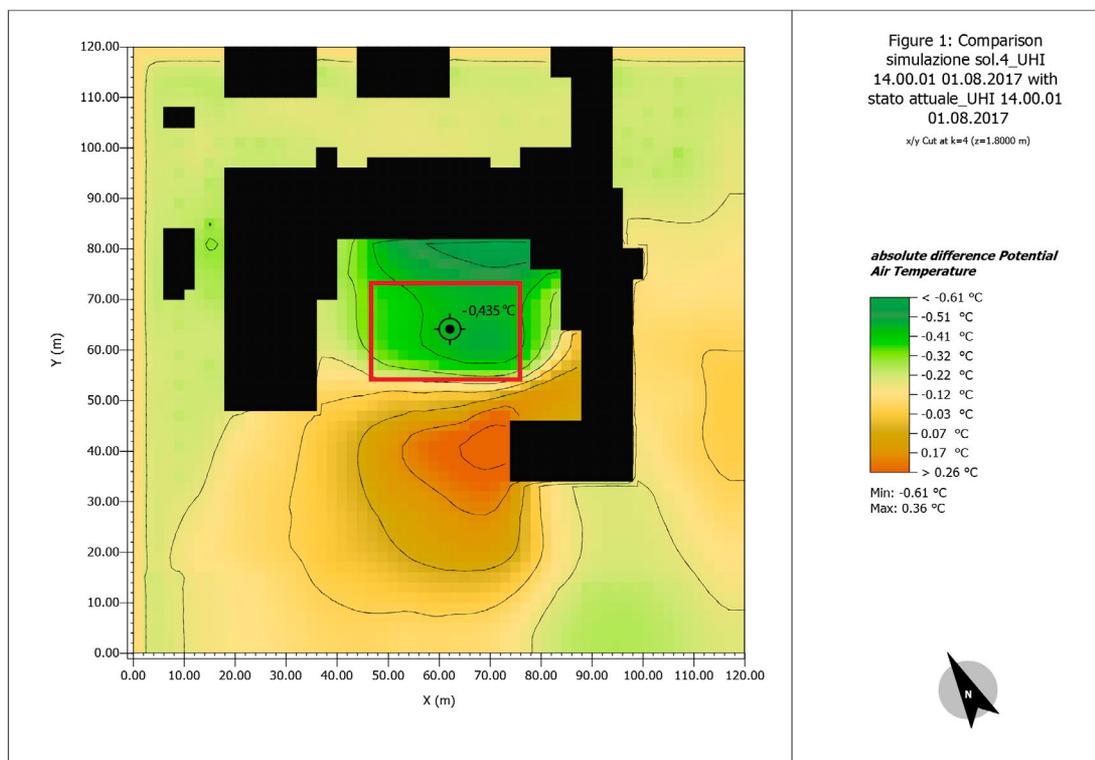
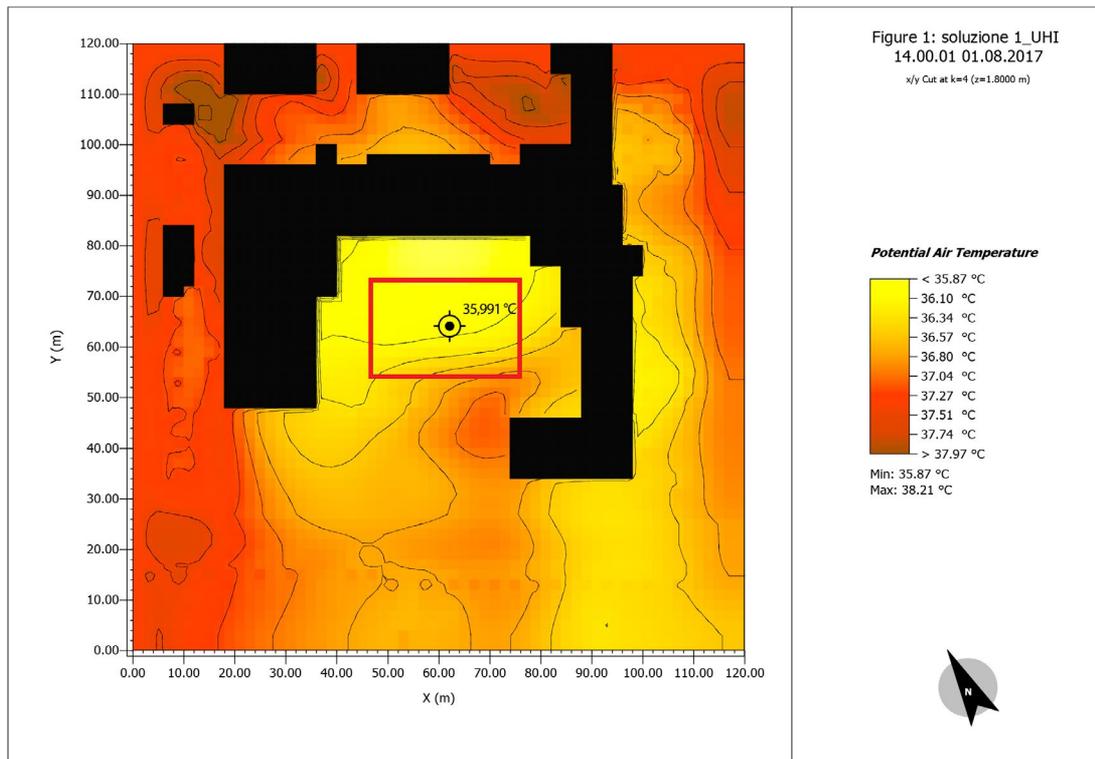
Adattamento alle pericolosità del pluvial flooding

La riduzione del 12% sulla valutazione del *runoff* dell'area del cortile della scuola sottoposto all'analisi dell'efficacia consente di attribuire alla soluzione 12 punti per l'adattamento alle pericolosità delle precipitazioni estreme che causano allagamenti urbani. Tale valore sintetico nel caso delle analisi idrauliche risulta semplificato ed attribuibile ad un singolo indicatore, quello del valore di *runoff* globale.

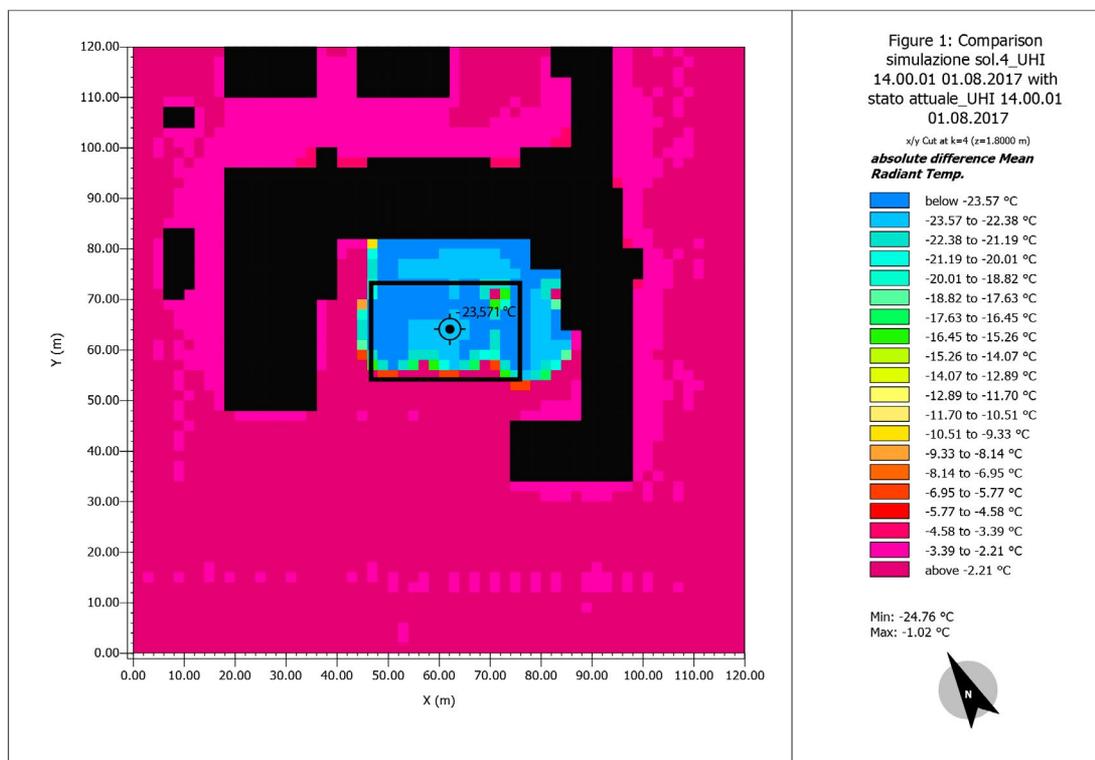
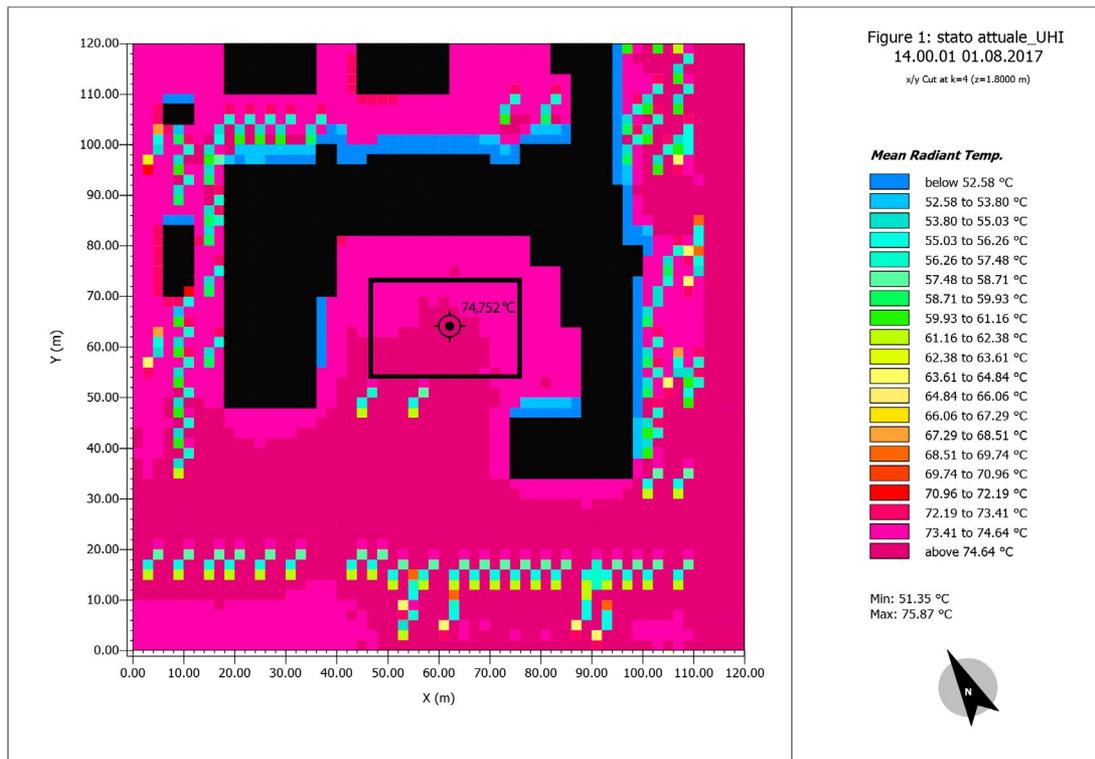
Adattamento multi-hazard

La risposta *multi-hazard* della soluzione di adattamento delle alberature registra un significativo valore di adattamento alle due principali pericolosità climatiche analizzate in questa fase sperimentale della ricerca e si attesta a 54 punti.

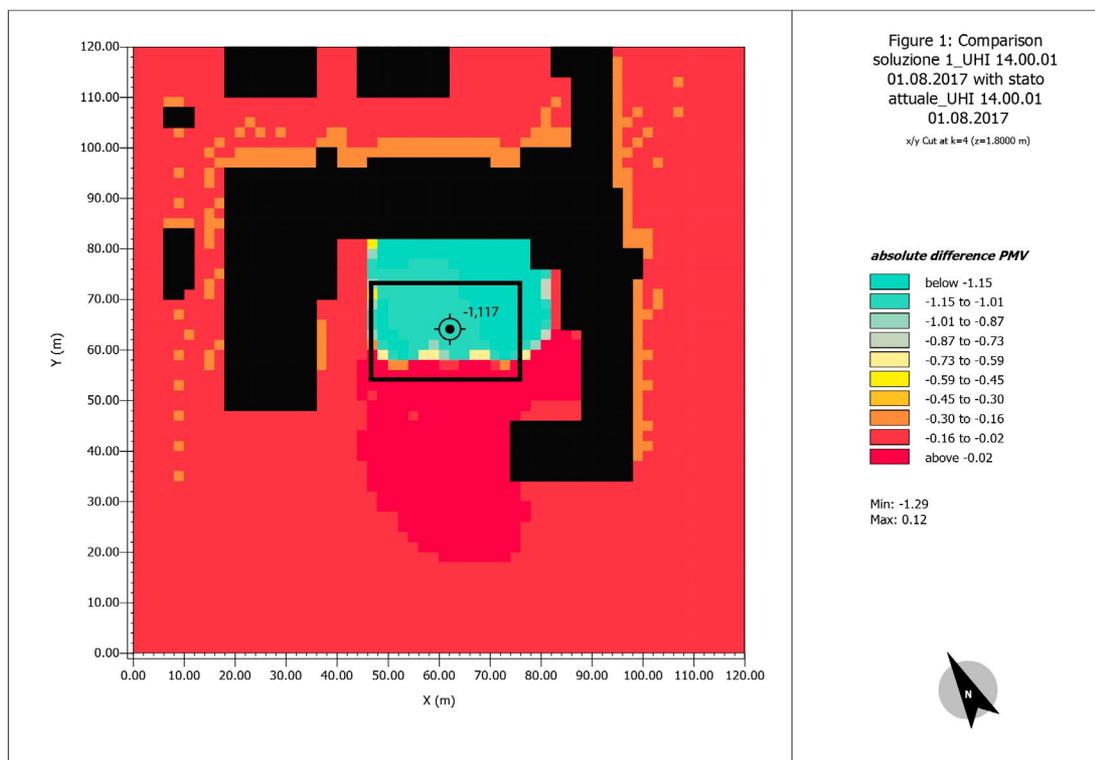
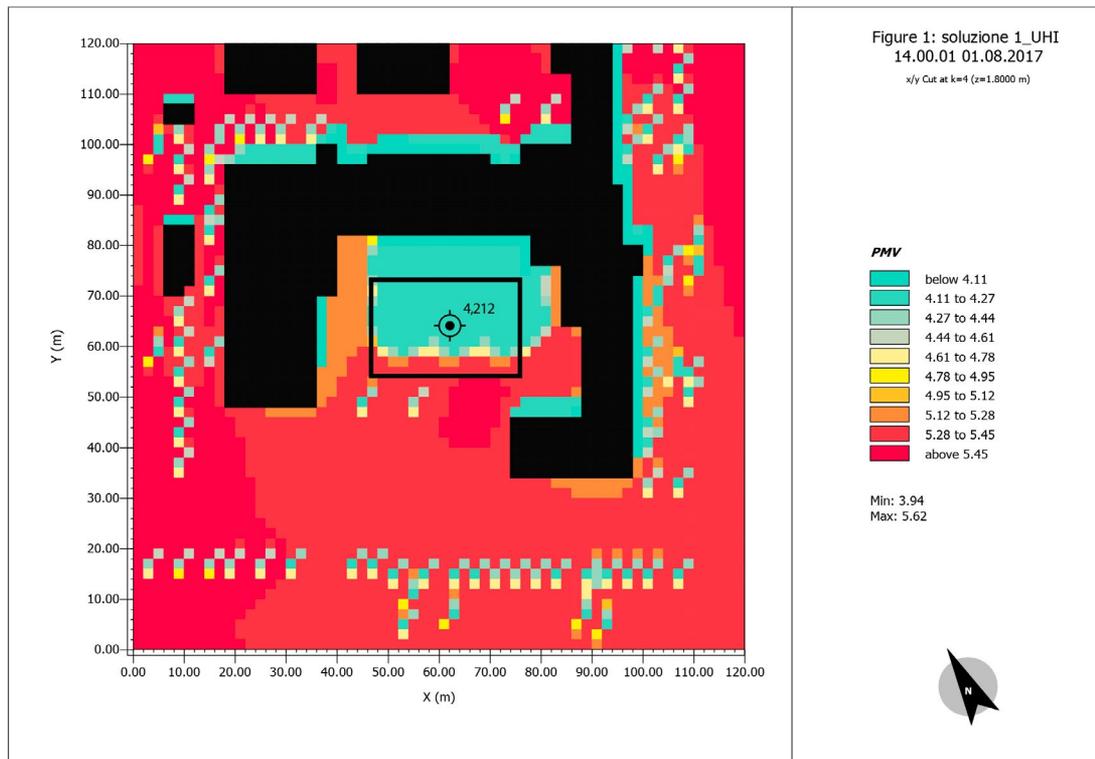
Risultati di comparazione temperatura dell'aria potenziale: soluzione 1



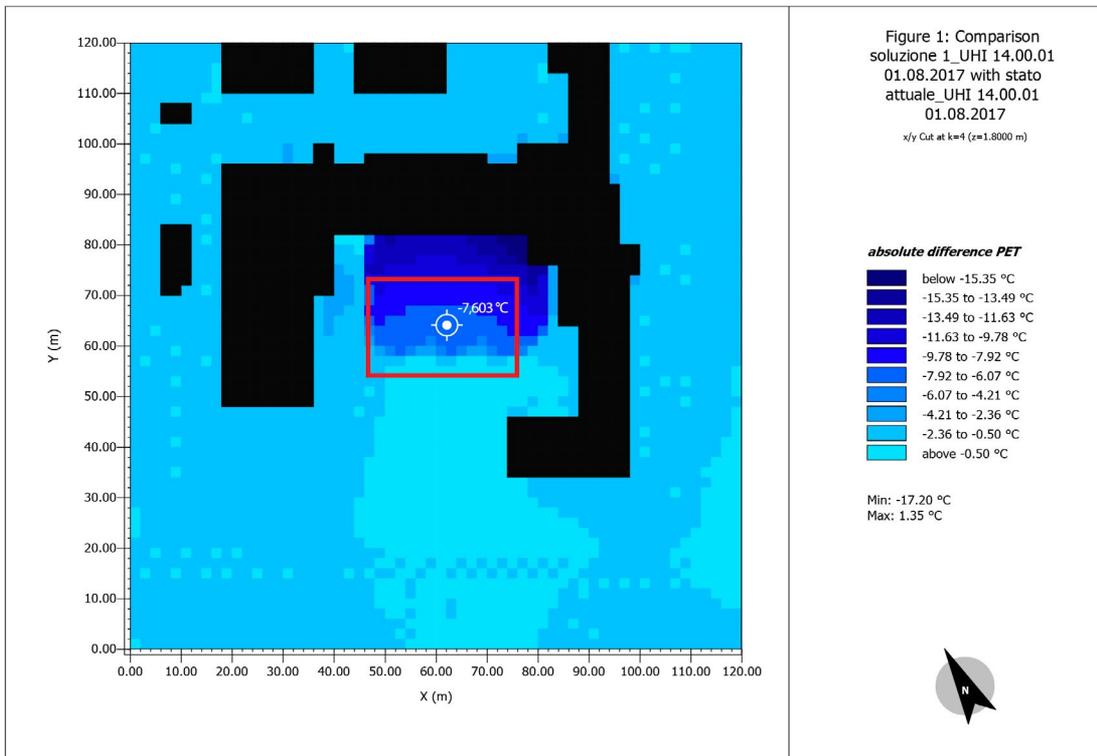
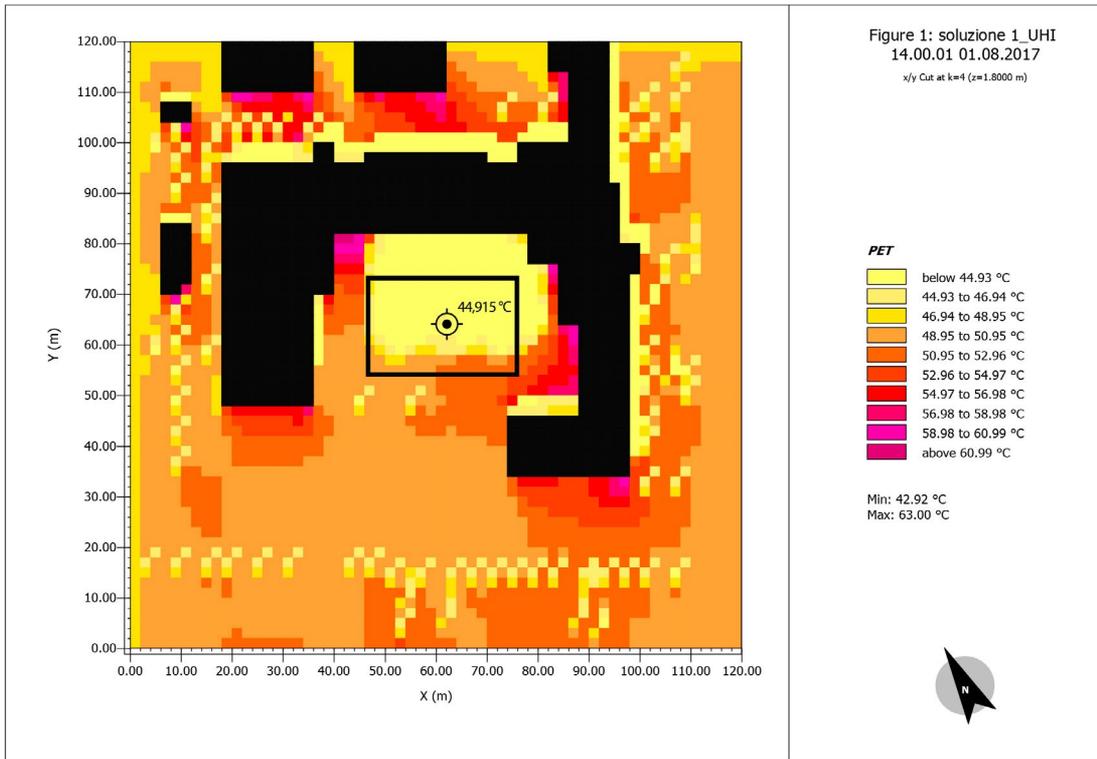
Risultati di comparazione di temperatura media radiante: soluzione 1



Risultati di comparazione di Predict Mean Vote (PMV): soluzione 1



Risultati di comparazione di Physiological Equivalent Temperature (PET): soluzione 1



7.1.3 Test 2 : superficie verde permeabile



Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Materiali	Riferimento ENVI-met	Caratteristiche riferite alle analisi termiche
Pav. calcestruzzo	<i>concrete pavement dark</i>	albedo= 0,20; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Pav. asfalto colataro rosa	<i>asphalt road with coating</i>	albedo= 0,50; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Terreno nudo	<i>loamy soil</i>	emissività= 0,98; rugosità=0,015
Manto erboso	<i>grass 25 cm aver. Dense</i>	albedo= 0,20; trasmittanza= 0,30; altezza manto= 25 cm; profondità radici= 20 cm

Valutazioni idrauliche

Materiali	Coefficiente di deflusso	Superficie (mq)	%	Valore runoff
Pav. calcestruzzo	0,90	1848	68%	61%
Pav. asfalto colataro rosa	0,90	218	8%	7%
Terreno nudo	0,25	68	2%	1%
Manto erboso	0,15	600	22%	3%

Risultati della misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche				Valutazioni idrauliche			
Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio	Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio
T. aria potenz.	36,03	-0,24	2	valore runoff	72%	-16%	16
T. media rad.	73,84	-0,91	1				
PMV	5,25	-0,08	1				
PET	52,23	-0,29	0				

7.1.3 - Test soluzione di adattamento 2: superficie verde permeabile

Descrizione della soluzione

La *soluzione 2* è caratterizzata dalla presenza della superficie verde permeabile contraddistinta da un manto erboso. Si intende quindi un'area a prato naturale ottenuto dalla semina che, una volta cresciuto, dovrà essere curato, innaffiato e concimato. La soluzione deve essere appositamente scelta in relazione al clima della zona, ombreggiata e umida oppure calda e secca, e al suo impiego, estetico e decorativo oppure calpestabile e durevole. La presenza di una superficie verde permeabile migliora l'ossigenazione dell'ambiente, favorendo una grande quantità di ossigeno per l'uomo, e incrementa il bilancio idrico del suolo, in quanto è in grado di assorbire l'acqua piovana e convogliarla nelle falde acquifere. Ai fini della sperimentazione l'intera area destinata al *testing* si prevede possa essere completamente de-pavimentata e integrata dal manto erboso.

Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Nella simulazione termica con il software ENVI-met le principali caratteristiche attribuite ai materiali che costituiscono l'area analizzata si riferiscono a:

- per la pavimentazione in calcestruzzo esterna all'area di *testing*, è stato utilizzato il materiale *concrete pavement dark* contraddistinto da valori di albedo pari a 0,20, emissività di 0,90 e rugosità di 0,01;
- per la pavimentazione in asfalto colorato di rosa è stato scelto il materiale *asphalt road with coating* con valori di albedo di 0,50, emissività 0,90 e rugosità pari a 0,01;
- per il terreno in cui sono collocate le alberature esistenti si è fatto riferimento al materiale *loamy soil* con un valore di emissività di 0,98 e una rugosità di 0,015;
- per l'area di *testing* è stato inserito su tutta la superficie il materiale *grass 25 cm aver. dense* che corrisponde al manto erboso. Tale materiale presenta un valore di albedo pari a 0,20, una trasmittanza di 0,30, un'altezza del manto erboso riferibile a 25 cm sopra il livello del suolo e una profondità delle radici pari a 20 cm.

Valutazioni idrauliche

Nella valutazione idraulica si osserva un importante cambiamento per quanto riguarda la percentuale di superfici permeabili. Queste ultime sono infatti incrementate grazie all'inserimento nell'area di *testing* del manto erboso, in particolare:

- la pavimentazione in calcestruzzo impermeabile ricopre il 68% della superficie del cortile con 1848 mq e presenta un valore pari a 0,90;
- l'area contraddistinta da asfalto colorato rosa è rimasta invariata, misura 218 mq, copre l'8% della superficie ed ha un valore di 0,90;
- il terreno nudo in cui sono collocate le alberature esistenti misura 68 mq e presenta un coefficiente di deflusso di 0,25;
- il manto erboso ricopre interamente i 600 mq del rettangolo individuato per il test di efficacia delle soluzioni di adattamento e ha un valore di *runoff* pari a 0,15.

Risultati termici della simulazione

Temperatura dell'aria potenziale

I risultati della simulazione mostrano una omogenea riduzione dei valori della temperatura dell'aria potenziale in corrispondenza del cortile scolastico. Il valore minimo raggiunto è 36,00 °C mentre quello massimo si attesta a 38,07 °C. I valori estremi, come in precedenza enunciato nella parte introduttiva del capitolo, non potranno coincidere con il picco di *stress* termico in quanto sono stati estrapolati alle 14:00 invece che alle 16:00. Tale opzione è stata preferita a quella dell'estremo per garantire la misurazione dell'efficacia delle soluzioni all'interno del rettangolo di *testing* in condizioni meteo-climatiche non pregiudizievoli dei risultati. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) la temperatura registrata è pari a 36,03 °C e misura una lieve riduzione di -0,24 °C rispetto alla situazione dello stato attuale. La riduzione maggiore è misurata nel vertice a sud dell'area di *testing* in cui si registra il valore massimo di -0,32°C.

Temperatura media radiante (MRT)

La temperatura media radiante registrata con la soluzione di adattamento della superficie verde permeabile non sembra offrire un notevole contributo in quanto i suoi valori si aggirano in maniera pressoché uniforme su tutta l'area simulata sopra i 72,00 °C. Le uniche zone in cui è possibile misurare dei benefici corrispondono alle aree ombreggiate. Tale carattere di forte radiazione termica risulta essere confermato anche nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4) in cui si registra un valore di 73,84 °C e che riporta un irrilevante variazione del valore della temperatura media radiante pari a -0,91.

Predict Mean Vote (PMV)

I risultati sulla sensazione di comfort risultano in linea con i valori della temperatura dell'aria potenziale e della temperatura media radiante. L'area infatti non risente di particolari benefici attribuibili all'introduzione del manto erboso misurando una generalizzata situazione di *discomfort* sia all'esterno del cortile della scuola che all'interno. I valori di PMV si attestano in maniera estesa sopra i 5 punti. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) il valore si riferisce a 5,25 e misura solamente un leggerissimo miglioramento pari a -0,08 rispetto allo stato di fatto. Tuttavia, tali risultati non sorprendono visti i valori delle caratteristiche termiche dei materiali impiegati per le simulazioni termiche.

Physiological Equivalent Temperature (PET)

I risultati dell'indice PET sono molto simili a quelli osservati nello stato di fatto. L'area di *testing* risulta divisa in due fasce orizzontali con valori molto diversi e non migliorativi. La fascia più bassa e vicina alla strada carrabile, che subisce l'influsso dell'ombreggiamento delle alberature esistente, registra valori che si attestano tra 49,80 e 51,74 °C. La fascia più alta e più vicina alla facciata della scuola orientata a sud-ovest, che è maggiormente esposta alla radiazione solare durante la giornata, riporta valori che progressivamente crescono fino ai valori massimi che si attestano a 63,40°C. La soluzione produce un leggerissimo miglioramento del comfort di -0,29 °C in corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4).

Risultati idraulici della valutazione

Valore runoff

I risultati idraulici riportano, contrariamente a quanto osservato per gli esiti delle simulazioni termiche, una riduzione significativa della permeabilità dell'area di sperimentazione del 16%. L'inserimento di 600 mq di manto erboso all'interno del cortile dell'istituto scolastico, infatti, genera un valore di *runoff* per l'area di *testing* del 3%. Nonostante la superficie modificata pesi il 22% sull'area totale di sperimentazione, quindi quasi un quarto di quella complessiva, il bassissimo valore del deflusso superficiale dell'area verde ne riduce in maniera rilevante il valore globale di *runoff*. I valori del coefficiente di *runoff* della superficie in asfalto colorato e del terreno nudo non subiscono nessun tipo di alterazione e pesano rispettivamente il 7% e il 2% sul valore globale.

Grado di adattamento *multi-hazard* della soluzione

Adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane

Gli scarsi risultati rispetto a tutti gli indicatori termici valutati dalla simulazione con il software ENVI-met consentono di attribuire alla soluzione della superficie verde permeabile:

- 2 punti per la riduzione di -0,24 °C misurata sulla temperatura dell'aria potenziale;
- 1 punto per la riduzione di -0,91 °C misurata nei valori di temperatura media radiante;
- 1 punto per la riduzione di -0,08 sul PMV;
- 0 punti per non aver raggiunto la riduzione (o l'incremento minimo) per attribuire punteggio, si è in questo caso in condizioni di neutralità climatica, la soluzione non ha modificata l'indicatore scelto nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4).

Il risultato finale che ne consegue è un valore di 4 punti per quanto concerne l'adattamento della soluzione alla pericolosità delle isole di calore urbane.

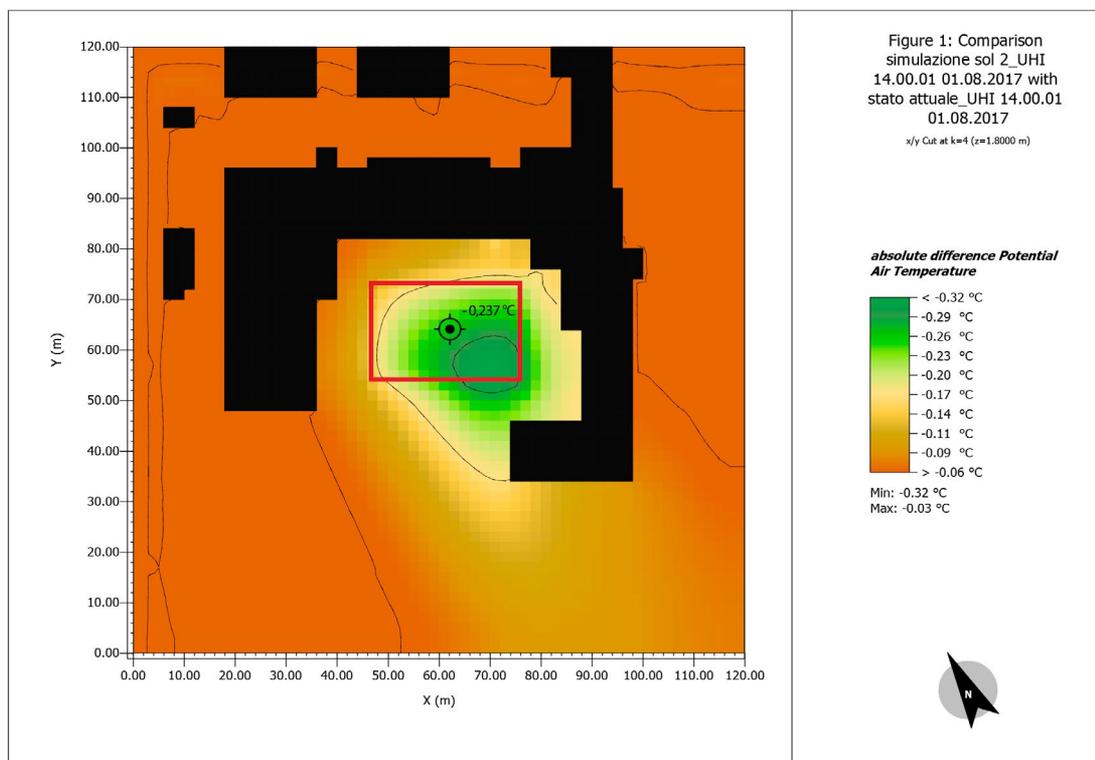
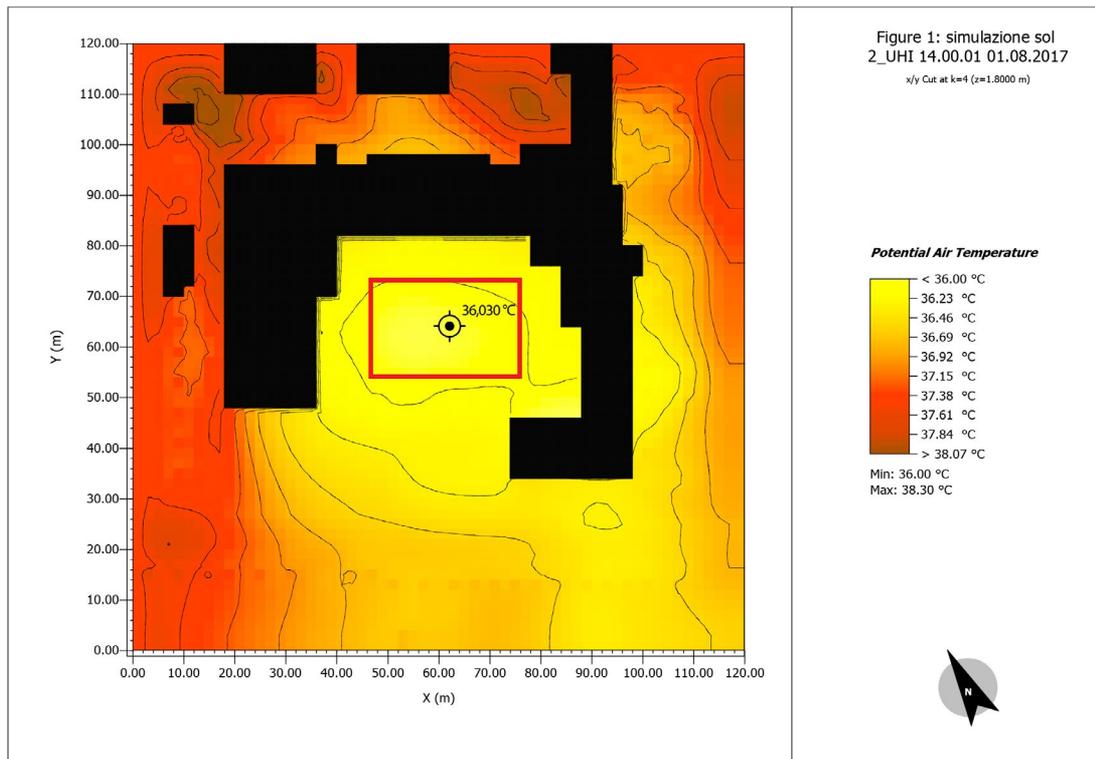
*Adattamento alle pericolosità del *pluvial flooding**

Diversamente a quanto rilevato per la valutazione del punteggio sintetico sulle prestazioni termiche, per quanto concerne la risposta idraulica, la soluzione è stata in grado di ridurre in maniera considerevole il valore globale di *runoff*. Rispetto allo stato attuale la soluzione è riuscita a diminuire il valore di deflusso idraulico superficiale di ben 16 punti percentuali.

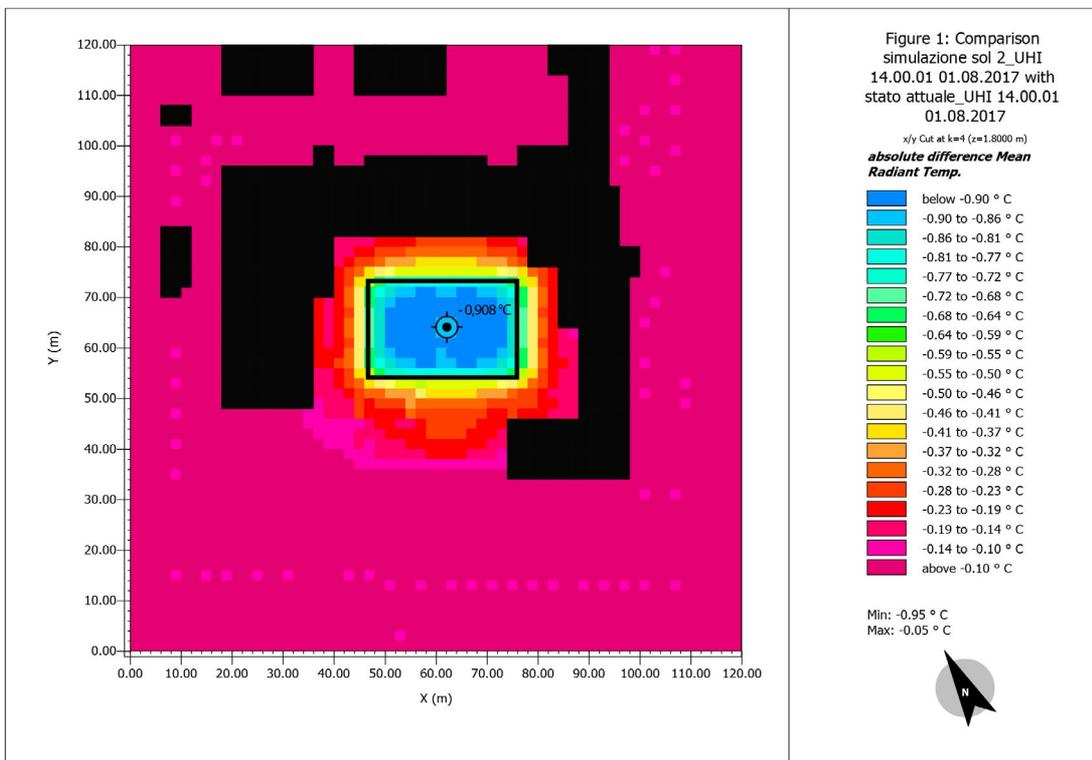
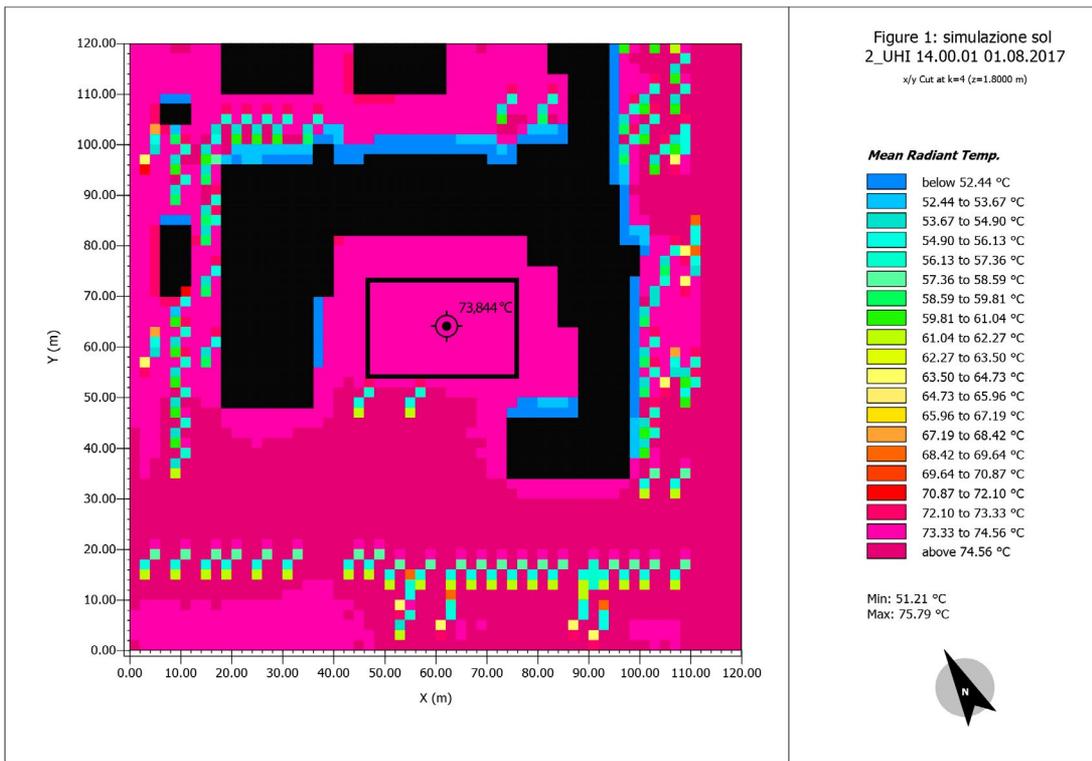
*Adattamento *multi-hazard**

Nonostante il suo limitato punteggio per quanto concerne le prestazioni termiche la soluzione risulta essere in grado di offrire una significativa risposta in termini idraulici. Tale mancanza sulle questioni dell'adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane è stata pertanto compensata dall'ottima risposta in rispetto alle pericolosità del *pluvial flooding*. Il risultato finale consente alla soluzione della superficie verde permeabile di ottenere 20 punti per la risposta adattiva *multi-hazard*.

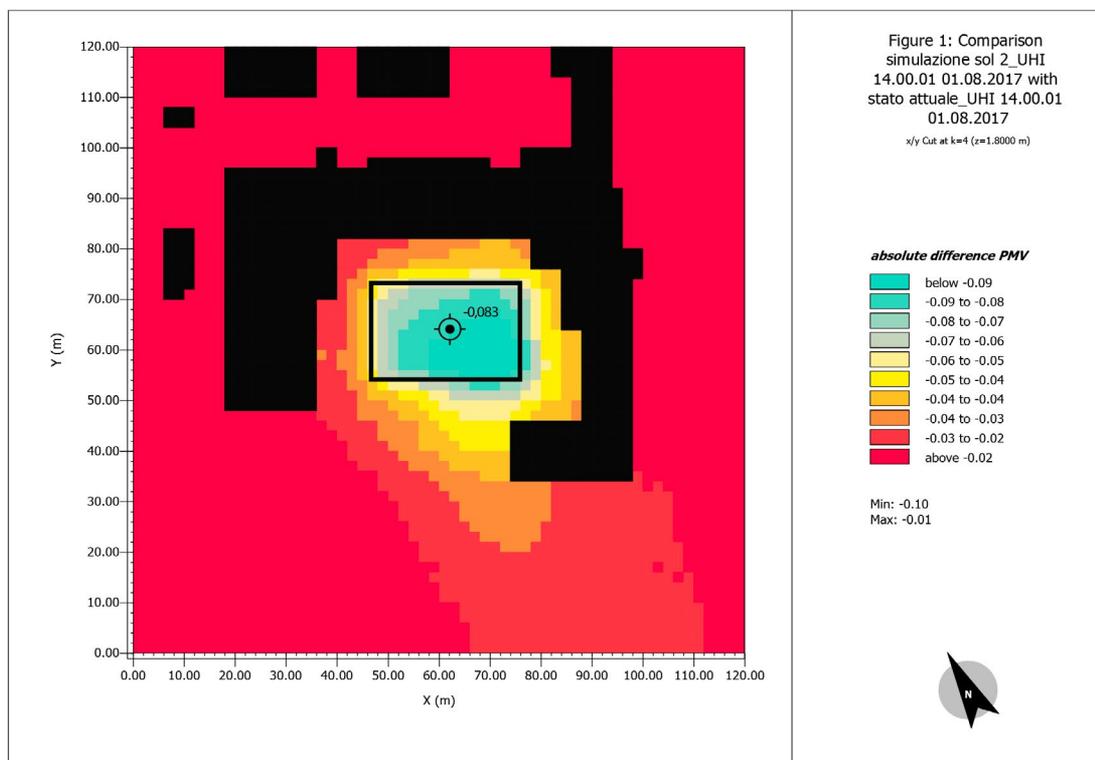
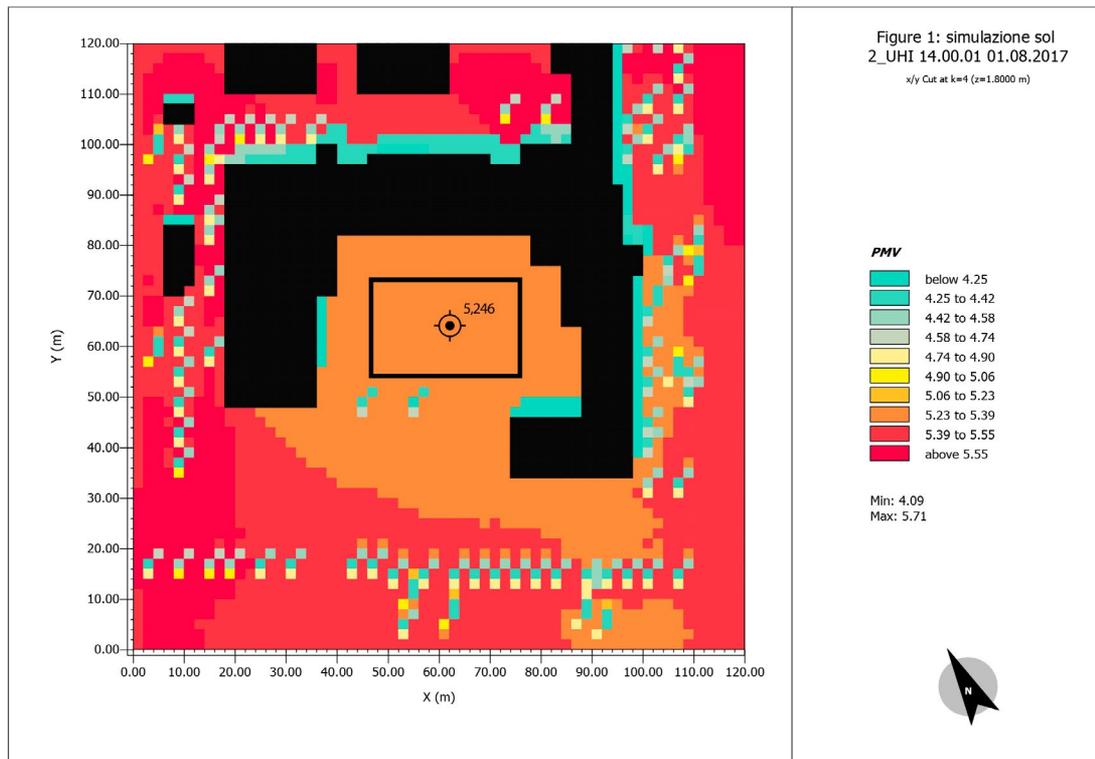
Risultati di comparazione temperatura dell'aria potenziale: soluzione 2



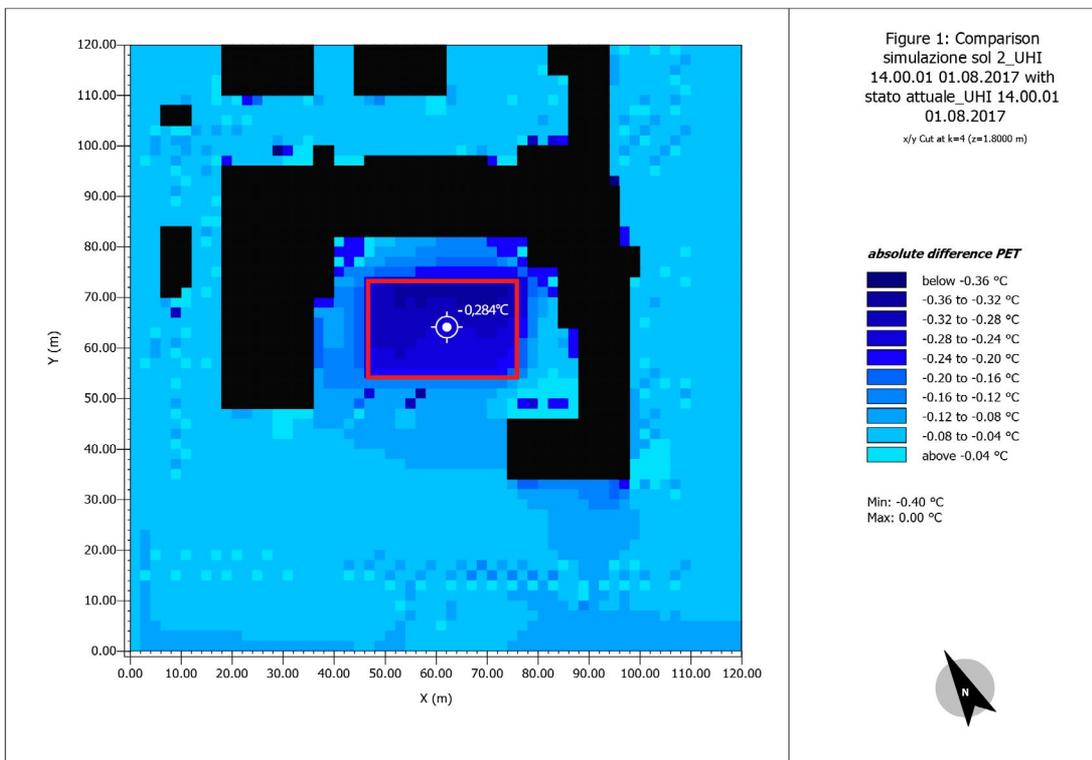
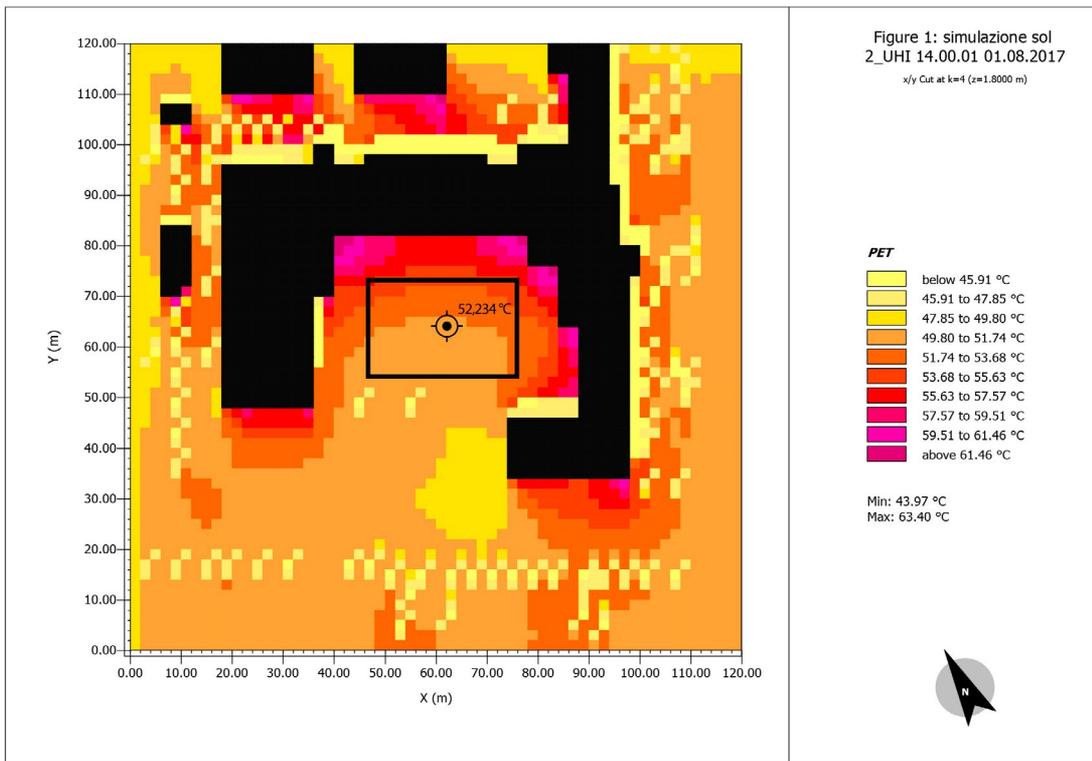
Risultati di comparazione di temperatura media radiante: soluzione 2



Risultati di comparazione di Predict Mean Vote (PMV): soluzione 2



Risultati di comparazione di Physiological Equivalent Temperature (PET): soluzione 2



7.1.4 Test 3 : pavimentazione permeabile cool



Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Materiali	Riferimento ENVI-met	Caratteristiche riferite alle analisi termiche
Pav. calcestruzzo	<i>concrete pavement dark</i>	albedo= 0,20; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Pav. asfalto colataro rosa	<i>asphalt road with coating</i>	albedo= 0,50; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Terreno nudo	<i>loamy soil</i>	emissività= 0,98; rugosità= 0,015
Pavimentazione permeabile in calcestruzzo drenante di colore chiaro	<i>concrete pavement light</i>	albedo= 0,80; emissività= 0,90; rugosità= 0,01

Valutazioni idrauliche

Materiali	Coefficiente di deflusso	Superficie (mq)	%	Valore runoff
Pav. calcestruzzo	0,90	1848	68%	61%
Pav. asfalto colataro rosa	0,90	218	8%	7%
Terreno nudo	0,25	68	2%	1%
Pav. permeabile cool	0,60	600	22%	13%

Risultati della misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche				Valutazioni idrauliche			
Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio	Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio
T. aria potenz.	35,81	-0,46	5	valore runoff	82%	-6%	6
T. media rad.	75,70	0,95	-1				
PMV	5,28	-0,05	1				
PET	52,76	0,24	0				

7.1.4 - Test soluzione di adattamento 3: pavimentazione permeabile *cool material*

Descrizione della soluzione

La *soluzione 3* si riferisce all'inserimento di una pavimentazione permeabile che, oltre ad essere caratterizzata da elevati valori di infiltrazione dell'acqua piovana nel sottosuolo, viene realizzata con materiali ad elevata riflessione ed emissività, che sono i principali parametri che contraddistinguono i *cool materials*. L'attuale pavimentazione in calcestruzzo grigio scuro viene sostituita dall'alternativa progettuale di adattamento del calcestruzzo drenante di colore chiaro, che occuperà l'intera area di sperimentazione di 600 mq. Tale scelta è finalizzata a mantenere inalterate le attuali funzionalità dell'area del cortile come luogo destinato alle attività fisico-motorie e ricreative degli alunni dell'istituto scolastico.

Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Nella simulazione termica con il software ENVI-met le principali caratteristiche attribuite ai materiali che costituiscono l'area analizzata si riferiscono a:

- per la pavimentazione in calcestruzzo esterna all'area di *testing*, è stato utilizzato il materiale *concrete pavement dark* contraddistinto da valori di albedo pari a 0,20, emissività di 0,90 e rugosità di 0,01;
- per la pavimentazione in asfalto colorato di rosa è stato scelto il materiale *asphalt road with coating* con valori di albedo di 0,50, emissività 0,90 e rugosità pari a 0,01;
- per il terreno in cui sono collocate le alberature esistenti si è fatto riferimento al materiale *loamy soil* con un valore di emissività di 0,98 e una rugosità di 0,015;
- per l'area di *testing* in questo caso è stato inserito su tutta la superficie il materiale *concrete pavement light* che corrisponde ad una superficie in calcestruzzo chiaro. Tale materiale presenta un valore di albedo pari a 0,80, emissività di 0,90 - come la maggior parte dei materiali impiegati in edilizia - e una rugosità di 0,01. L'elevata albedo ed emissività del materiale inserito contraddistinguono pertanto la soluzione scelta, oltre che per la capacità infiltrante, anche come un vero e proprio *cool material*.

Valutazioni idrauliche

Per quanto attiene la valutazione idraulica i materiali impiegati presentano i seguenti valori di *runoff*, superficie e percentuale di presenza rispetto all'area totale:

- la pavimentazione in calcestruzzo impermeabile ricopre il 68% della superficie del cortile con 1848 mq e presenta un valore pari a 0,90;
- l'area contraddistinta da asfalto colorato rosa è rimasta invariata, misura 218 mq, copre l'8% della superficie ed ha un valore di 0,90;
- il terreno nudo in cui sono collocate le alberature esistenti misura 68 mq e presenta un coefficiente di deflusso di 0,25;
- la pavimentazione permeabile *cool material* ricopre totalmente l'area di 600 mq del rettangolo individuato per il *test* di efficacia delle soluzioni di adattamento e presenta un valore di *runoff* pari a 0,60.

Risultati termici della simulazione

Temperatura dell'aria potenziale

I risultati della simulazione riportano un'importante riduzione della temperatura dell'aria potenziale esattamente in corrispondenza dell'area di *testing*. I valori minimi si concentrano nel cortile della scuola attestandosi a 35,74 °C, mentre quelli massimi raggiungono temperature di 32,28 °C nelle aree esterne all'istituto. Nella comparazione con lo stato di fatto è possibile osservare una riduzione delle temperature che arriva a misurare -0,59 °C nella zona dell'inserimento della pavimentazione permeabile *cool material*. Nella fattispecie, in corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) si registra un valore di 35,81 °C con una riduzione di 0,46 °C rispetto allo stato attuale.

Temperatura media radiante (MRT)

I risultati della temperatura media radiante differiscono da quelle della temperatura dell'aria potenziale in quanto la pavimentazione scelta possiede un elevato indice di riflessione e ri-emissione della radiazione solare. Tali caratteristiche da un lato consentono alla pavimentazione di non surriscaldarsi e dall'altro possono causare un eccessivo riverbero luminoso. I valori di temperatura media radiante sono pressoché simili a quelle delle pavimentazioni limitrofe e si attestano sopra i 74,28 °C, che risultano peggiorativi rispetto alla condizione iniziale per questo tipo di indicatore. Se analizziamo il punto di controllo (i=30; j=33; z=4) è possibile constatare la temperatura media radiante misura 75,70 °C, che rispetto allo stato originario risulta incrementata di +0,95 °C.

Predict Mean Vote (PMV)

Per quanto concerne i risultati sul comfort dell'area, anche in questo caso è possibile osservare che l'inserimento della soluzione non produce rilevanti benefici per gli utenti maggiormente sensibili. I ridotti miglioramenti si concentrano nell'area del rettangolo di *testing* ma riportano valori al massimo della scala di 0,10 punti. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) il PMV registrato è di 5,28 punti con un decremento di -0,05 rispetto allo stato originario del cortile scolastico.

Physiological Equivalent Temperature (PET)

La percezione di benessere secondo l'indicatore PET non varia rispetto allo stato di fatto, al contrario risulta peggiorativo. Il cortile risulta suddiviso in due fasce che registrano valori che partono da 52,39 °C e proseguono fino ai massimi di 62,07 °C. Tale situazione si presenta analogamente in corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) in cui il valore PET misura 52,76 °C con un incremento di +0,24 °C rispetto allo stato di fatto. Il risultato sulla valutazione del comfort a seguito dell'inserimento della soluzione di adattamento conferma valori meno vantaggiosi rispetto a quanto ottenuto in termini di riduzione della temperatura dell'aria potenziale.

Risultati idraulici della valutazione

Valore runoff

Le valutazioni idrauliche tramite il metodo predittivo mostrano una riduzione del valore globale

di *runoff* pari al 6% passando dal 88% dello stato iniziale al 82% dello stato modificato, in virtù dell'integrazione della pavimentazione permeabile. L'area di *testing* in cui viene inserita la soluzione di adattamento pesa il 13% di *runoff* in quanto presenta un coefficiente di deflusso pari a 0,60, minore rispetto a quello dello stato di fatto che corrispondeva a 0,90.

Il valore del coefficiente di *runoff* della pavimentazione in calcestruzzo impermeabile esterna all'area di *testing* rimane inalterato e vale il 68% del valore di deflusso globale. In maniera analoga non subiscono nessuna modifica la pavimentazione in asfalto colorato e il terreno nudo che pesano rispettivamente il 7% e il 2% sul valore totale del *runoff*.

Grado di adattamento *multi-hazard* della soluzione

Adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane

Il valore sintetico attribuibile alla soluzione di adattamento per il suo contrasto alla pericolosità delle isole di calore urbane risulta pari a 5 punti. Rispetto agli indicatori utilizzati per valutare l'efficacia della soluzione è possibile attribuire:

- 5 punti per l'incremento di -0,46 °C alla temperatura dell'aria potenziale;
- - 1 punto per il peggioramento riscontrato nella temperatura media radiante con il valore di +0,95 °C;
- 1 punto per la riduzione di 0,05 punti di PMV;
- 0 punti per non aver raggiunto la riduzione (o l'incremento minimo) per attribuire un punteggio per l'adattamento. Tale circostanza prefigura una condizione di neutralità climatica, poiché la soluzione non ha modificato l'indicatore scelto nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4).

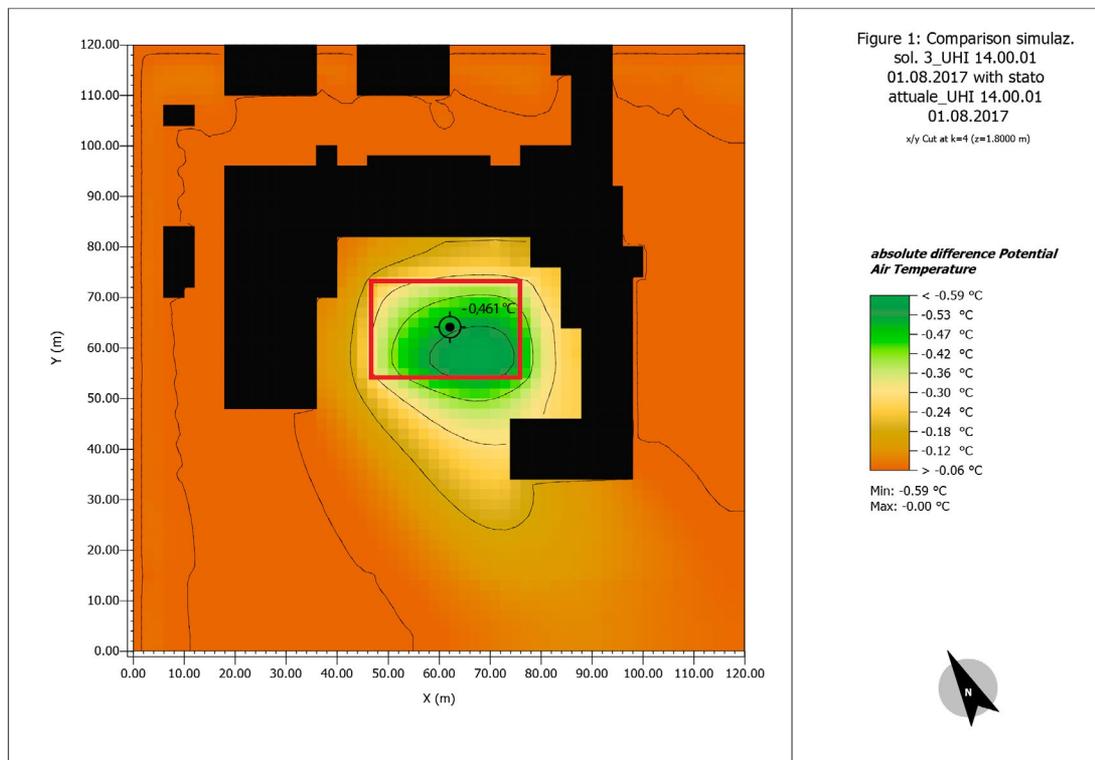
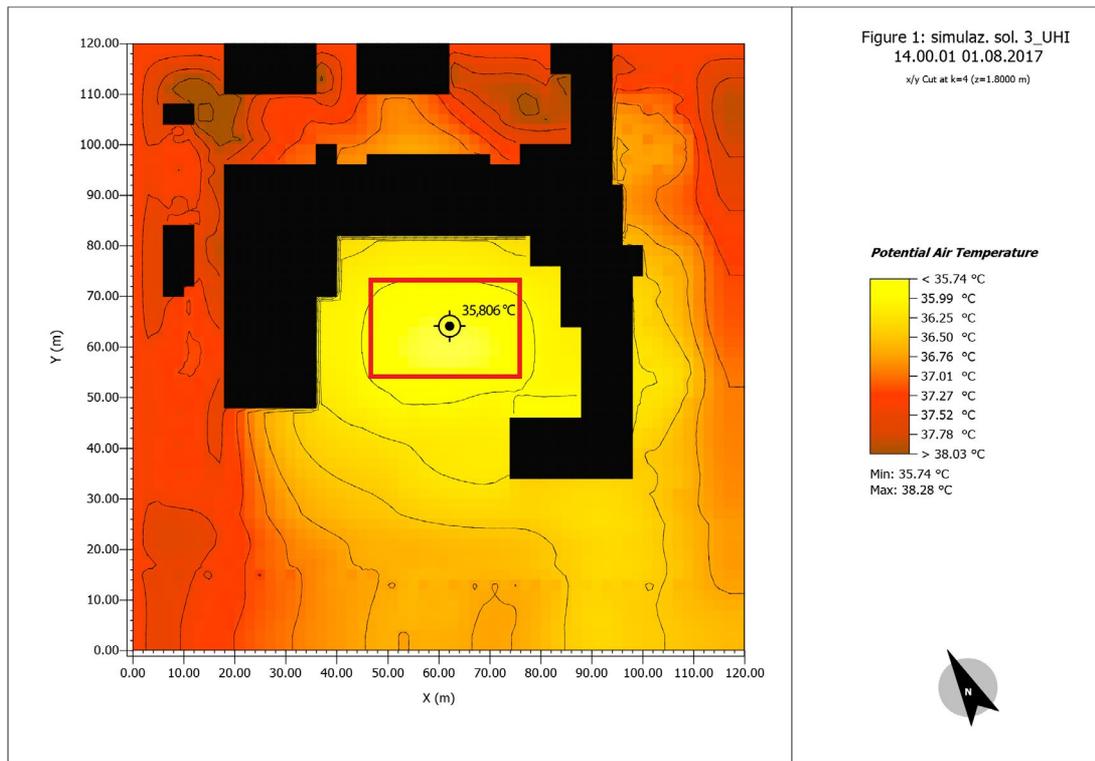
Adattamento alle pericolosità del pluvial flooding

Nonostante i limitati risultati sulla valutazione sintetica della pericolosità idraulica, la soluzione non sembra presentare valori significativi neppure per il contrasto alla pericolosità degli allagamenti urbani causati dalle precipitazioni estreme sempre più intense e frequenti. L'unico indicatore del *runoff* ci consente in questo caso di attribuire un punteggio di 6 punti che coincide con il valore della riduzione misurato nella valutazione idraulica.

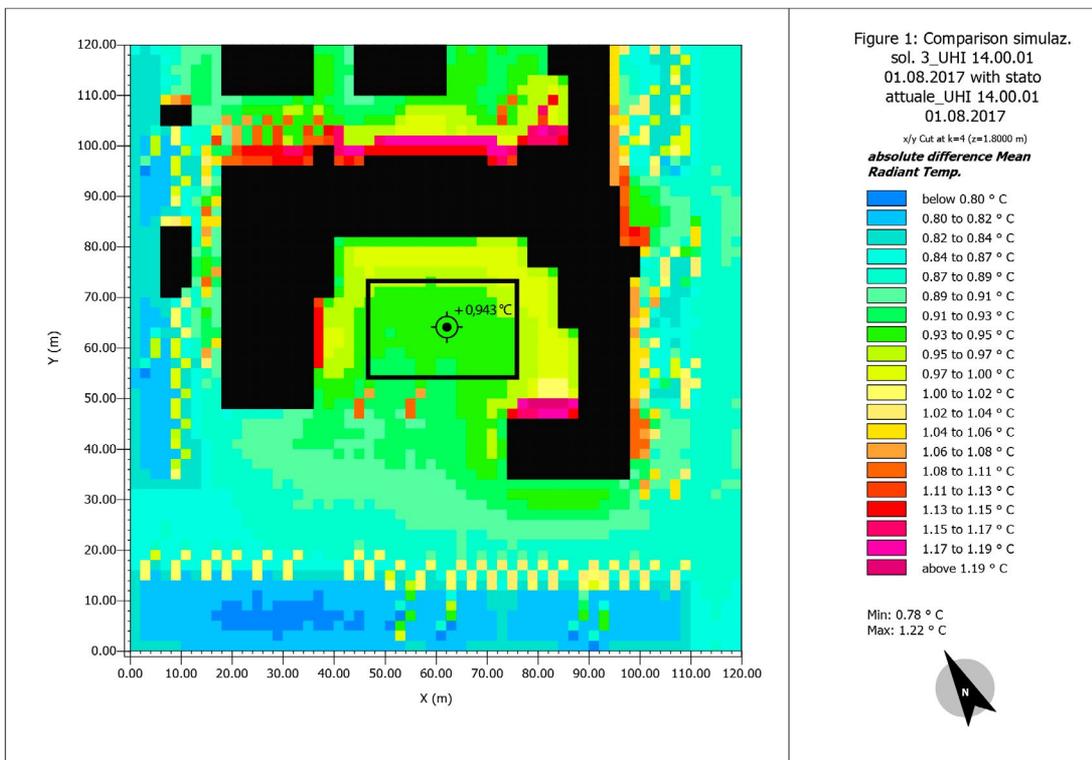
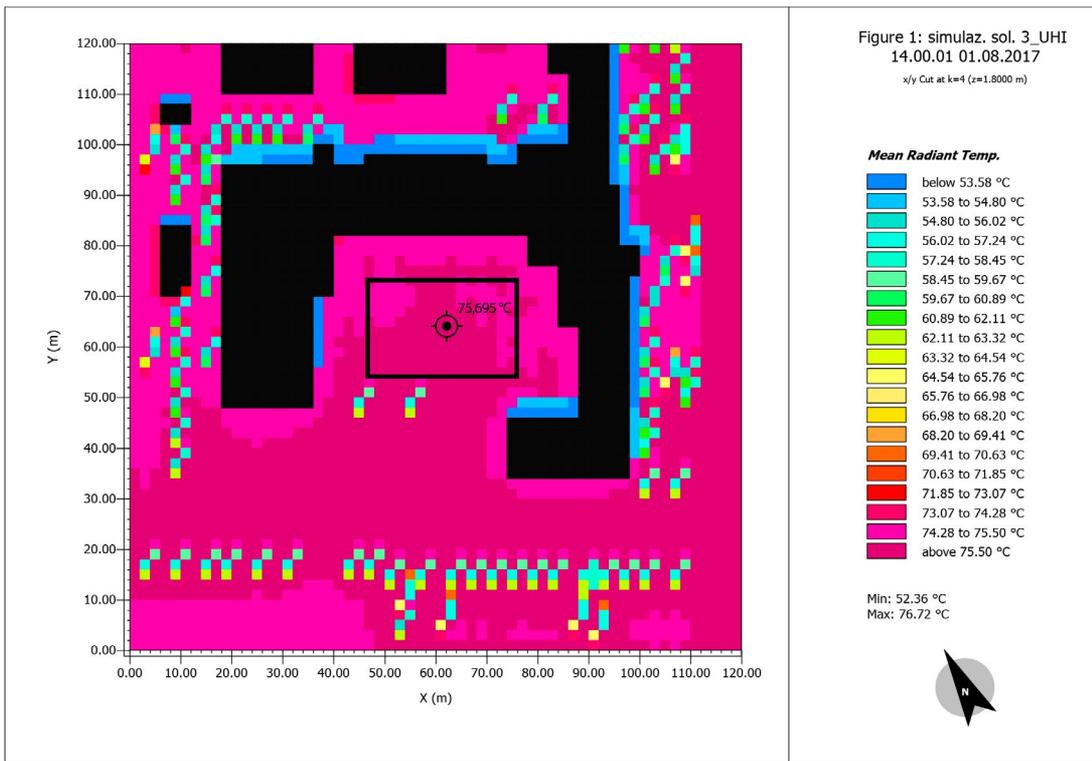
Adattamento multi-hazard

La valutazione definitiva sulle pericolosità dell'isola di calore urbana e delle precipitazioni estreme indagate dalla sperimentazione progettuale attribuisce uno scarso risultato all'adattamento *multi-hazard* alla soluzione testata. Nonostante la soluzione possa risultare a tutti gli effetti migliorativa rispetto alle più comuni tecniche impiegate negli interventi di riqualificazione urbana, come il calcestruzzo, l'asfalto e altri materiali cosiddetti "caldi", rispetto alle soluzioni di adattamento testate in via sperimentale all'interno di questa fase della ricerca il grado raggiunto dalla pavimentazione permeabile *cool material* ha ottenuto una valutazione limitata, pari a 11 punti totali.

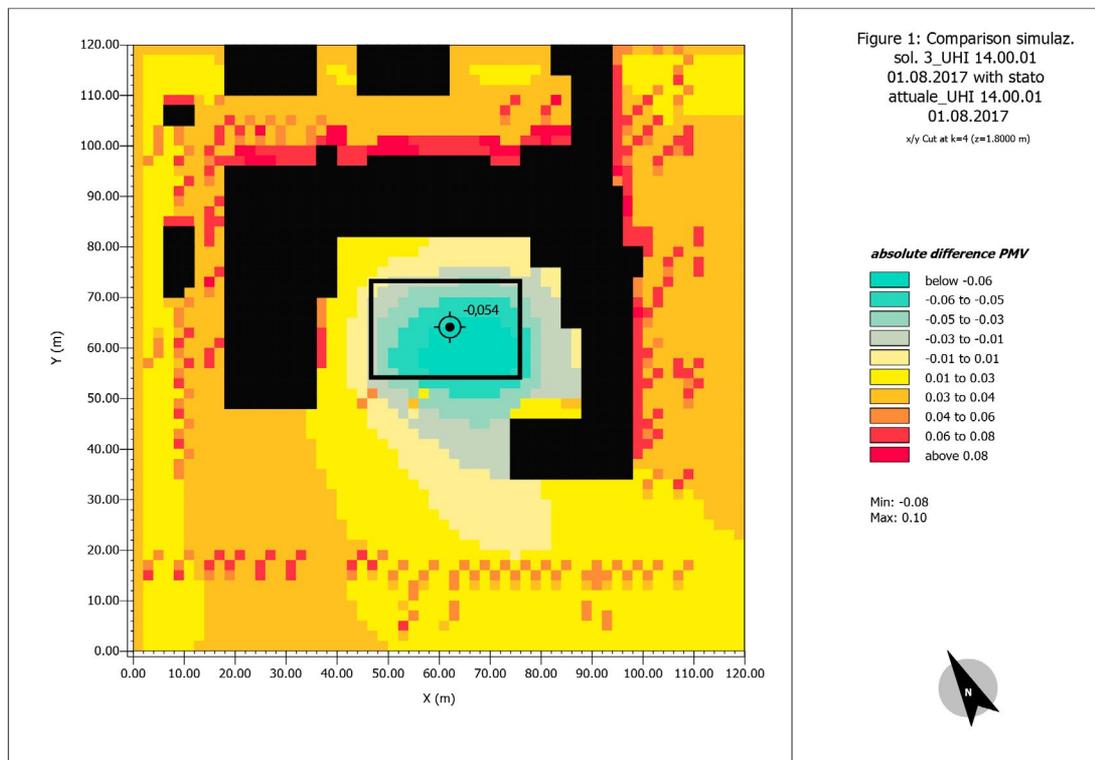
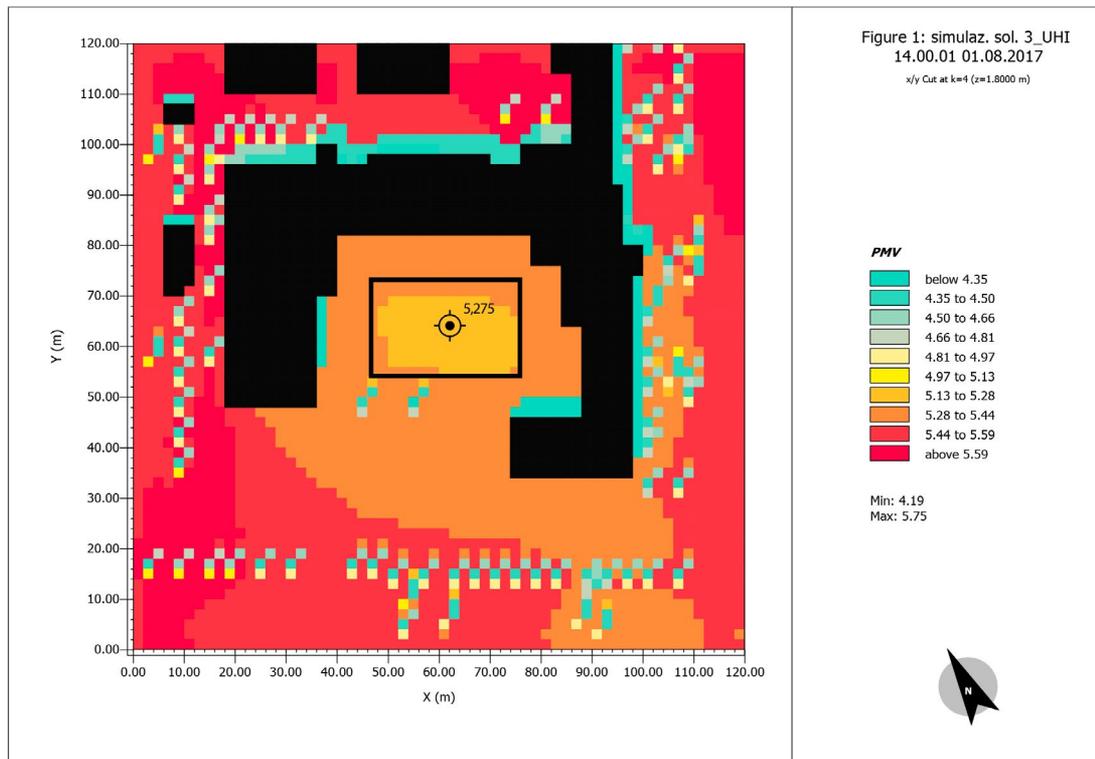
Risultati di comparazione temperatura dell'aria potenziale: soluzione 3



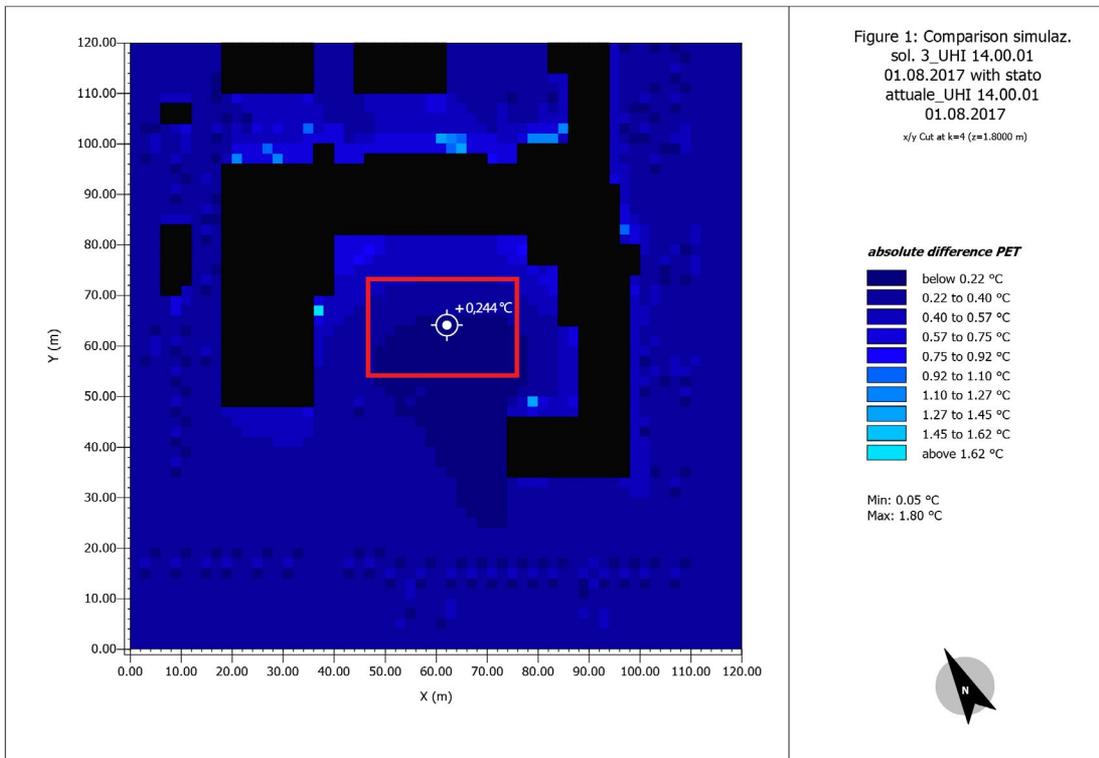
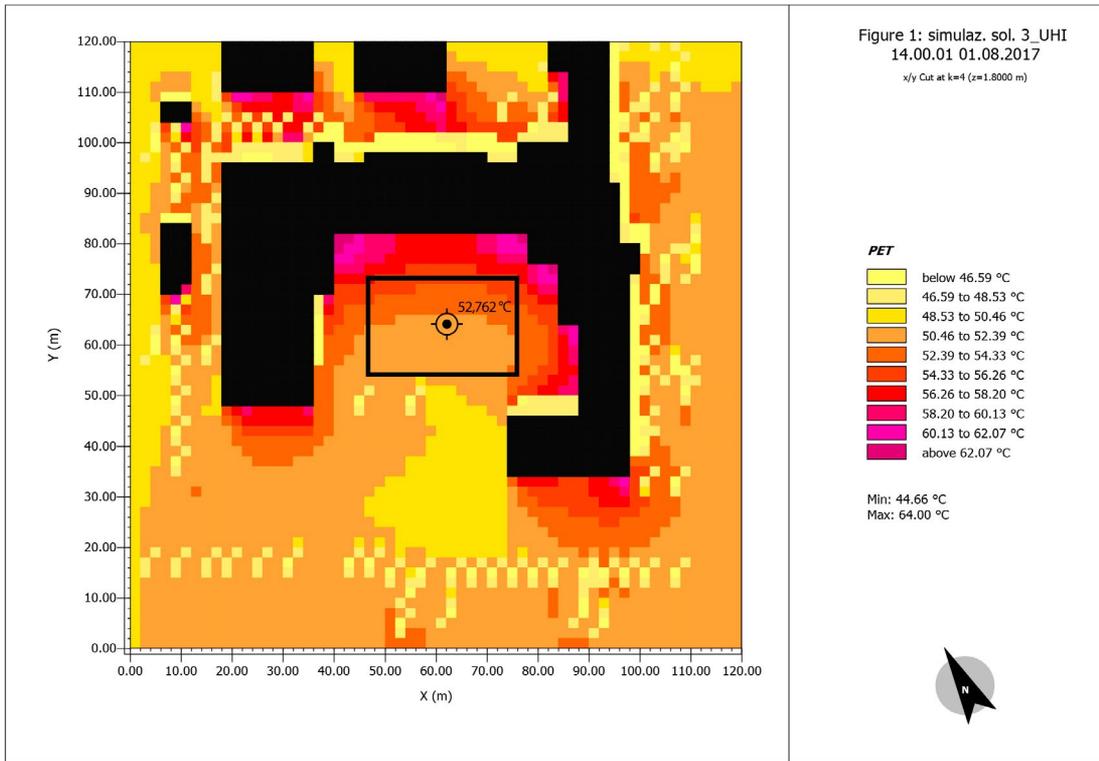
Risultati di comparazione di temperatura media radiante: soluzione 3



Risultati di comparazione di Predict Mean Vote (PMV): soluzione 3



Risultati di comparazione di Physiological Equivalent Temperature (PET): soluzione 3



7.1.5 Test 4 : rain garden



Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Materiali	Riferimento ENVI-met	Caratteristiche riferite alle analisi termiche
Pav. calcestruzzo	<i>concrete pavement dark</i>	albedo= 0,20; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Pav. asfalto colotaro rosa	<i>asphalt road with coating</i>	albedo= 0,50; emissività= 0,90; rugosità=0,01
Terreno nudo	<i>loamy soil</i>	emissività= 0,98; rugosità= 0,015
Rain garden	<i>grass 50 cm aver. Dense</i>	albedo= 0,20; trasmittanza= 0,30; altezza manto= 50 cm; profondità radici= 50 cm
	<i>robinia pseudoacacia</i>	altezza =12 m; larghezza= 7 m; albedo a onde corte del fogliame=0,18; trasmittanza a onde corte del fogliame= 0,30; profondità radici= 1,50 m; diametro radici= 10 metri

Valutazioni idrauliche

Materiali	Coefficiente di deflusso	Superficie (mq)	%	Valore runoff
Pav. calcestruzzo	0,90	1848	68%	61%
Pav. asfalto colotaro rosa	0,90	218	8%	7%
Terreno nudo	0,25	68	2%	1%
Rain garden	0,10	600	22%	2%

Risultati della misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche				Valutazioni idrauliche			
Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio	Indicatore	Risultato	Differenza	Punteggio
T. aria potenz.	35,83	-0,44	4	valore runoff	71%	-17%	17
T. media rad.	51,18	-23,57	24				
PMV	3,98	-1,35	14				
PET	43,25	-9,27	9				

7.1.5 - Test soluzione di adattamento 4: *rain garden*

Descrizione della soluzione

La *soluzione 4* si riferisce all'introduzione di un *rain garden* che prevede la totale de-pavimentazione dell'area di 600 mq entro cui è previsto il *test* di efficacia della soluzione e l'inserimento di un'area verde con una zona più profonda in cui potrà essere stoccata temporaneamente l'acqua meteorica raccolta dalle superfici impermeabili del cortile scolastico. In caso di eventi meteorici estremi l'area vegetata depressa lavora come una cassa d'acqua a cielo aperto che raccoglie temporaneamente il volume d'acqua piovana in eccesso. L'acqua stoccata dal *rain garden* si può infiltrare naturalmente nel sottosuolo oppure defluire in un altro sistema di smaltimento. L'utilizzo di tale soluzione progettuale di adattamento permette di alleviare il sistema di smaltimento fognario tradizionale da carichi idraulici che ne possono compromettere la funzionalità e causare fenomeni di allagamento urbano tipo *flash flood* o *pluvial flooding*. Il *rain garden* viene in questo caso integrato con sei alberature (della specie *Robinia Pseudoacacia*) lungo il perimetro che oltre ad assolvere alla funzione di ombreggiamento sono in grado di intercettare l'acqua piovana che ricade al suo interno.

Caratteristiche tecniche legate alla misurazione dell'efficacia

Simulazioni termiche

Di seguito le principali caratteristiche attribuite ai materiali che costituiscono l'area analizzata nella simulazione termica con il software ENVI-met:

- per la pavimentazione in calcestruzzo esterna all'area di *testing*, è stato utilizzato il materiale *concrete pavement dark* contraddistinto da valori di albedo pari a 0,20, emissività di 0,90 e rugosità di 0,01;
- per la pavimentazione in asfalto colorato di rosa è stato scelto il materiale *asphalt road with coating* con valori di albedo di 0,50, emissività 0,90 e rugosità pari a 0,01;
- per il terreno in cui sono collocate le alberature esistenti si è fatto riferimento al materiale *loamy soil* con un valore di emissività di 0,98 e una rugosità di 0,015;
- per l'area di *testing* viene inserito su tutta la superficie un *rain garden* caratterizzata da un'area verde con manto erboso impiegando il materiale *grass 50 cm aver. dense* che presenta albedo di 0,20, trasmittanza di 0,30, altezza delle piante pari a 50 cm e profondità delle radici di 50 cm. La soluzione di adattamento viene integrata da alberature della specie *Robinia Pseudoacacia* che presentano un'altezza di 12 metri, una larghezza di 7 metri, albedo a onde corte del fogliame pari a 0,18, trasmittanza a onde corte del fogliame di 0,30, profondità e diametro delle radici rispettivamente di 1,50 e 10 metri.

Valutazioni idrauliche

Per quanto riguarda la valutazione idraulica i materiali impiegati presentano i seguenti valori di *runoff*, superficie e percentuale di presenza rispetto all'area totale:

- la pavimentazione in calcestruzzo impermeabile ricopre il 68% della superficie del cortile con 1848 mq e presenta un valore pari a 0,90;
- l'area contraddistinta da asfalto colorato rosa è rimasta invariata, misura 218 mq, copre l'8% della superficie ed ha un valore di 0,90;

- il terreno nudo in cui sono collocate le alberature esistenti misura 68 mq e presenta un coefficiente di deflusso di 0,25;
- il *rain garden* copre l'intera superficie dell'area testing di 600 mq e incide sul 22% del peso totale dell'area analizzata. Il valore del coefficiente di *runoff* valutato secondo la letteratura scientifica attribuisce a questa particolare soluzione di adattamento un valore di 0,10.

Risultati termici delle simulazioni

Temperatura dell'aria potenziale

I risultati della simulazione mostrano una temperatura dell'aria potenziale diffusamente più ridotta su tutta l'area del cortile rispetto allo stato di fatto. I valori di temperatura dell'aria massima si attestano a 38,14 °C mentre quelli minimi a 35,81 °C. Dall'osservazione delle comparazioni si rileva una netta riduzione che si attesta su valori massimi di -0,61 °C generando una sorta di "oasi" termica, come visto nel caso della soluzione 1 con l'inserimento delle alberature. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) si misurano 35,83 °C che registrano una riduzione di -0,44 °C.

Temperatura media radiante (MRT)

Le temperature medie radianti mostrano valori in linea con quelli valutati nei risultati della temperatura dell'aria potenziale. Anche in questo caso si osserva un'area che occupa gran parte del cortile scolastico con valori di temperatura media radiante molto ridotta rispetto alle fasce limitrofe. I valori minimi che si attestano a 47,99 °C sono misurabili nelle zone meno esposte alla radiazione solare e in ombra. I valori massimi che raggiungono 74,18 °C si registrano nelle aree caratterizzate da pavimentazioni e/o superfici con ridotti valori di albedo ed emissività. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) la temperatura media radiante misura 51,18 °C registrando una importante riduzione di -23,57 °C.

Predict Mean Vote (PMV)

I valori di PMV misurati con l'inserimento del *rain garden* registrano una riduzione in corrispondenza della alternativa progettuale. Le aree in cui si osservano i maggiori effetti benefici corrispondono alla zona del cortile scolastico e a quelle ombreggiate in cui si ottiene il valore minimo di -3,86. Al contrario, le aree esposte alla radiazione solare diretta, in virtù delle loro caratteristiche fisico-materiche contraddistinte da bassi valori di albedo ed emissività, registrano i massimi valori di PMV che si attestano a 5,58. I valori in corrispondenza del punto di controllo mostrano un PMV di 3,98 che, comparato con lo stato di fatto, subisce una riduzione di -1,35 punti.

Physiological Equivalent Temperature (PET)

I risultati sul comfort *outdoor* mostrano valori di PET per l'area di *testing* che si aggirano intorno ai minimi registrati dalla simulazione. Nello specifico, si osserva un netto miglioramento della sensazione di benessere dovuto principalmente alla riduzione del PET. La comparazione mostra per l'area del cortile scolastico una riduzione che si attesta a valori massimi di -15,93 °C in corrispondenza delle aree prevalentemente ombreggiate. In corrispondenza del punto di controllo (i=30; j=33; z=4) il valore del PET misura 43,25 °C, con una riduzione di -9,27 punti rispetto allo stato di fatto.

Risultati idraulici della valutazione

Valore runoff

Il valore globale di *runoff* dell'area subisce un'importante riduzione misurabile in -17%, passando dall'88% dello stato iniziale al 71% nello stato modificato. Tale circostanza benefica è attribuibile al contributo in termini di incremento della permeabilità della soluzione progettuale di adattamento e, in particolare, all'azione combinata di raccolta e captazione delle acque meteoriche. In termini numerici il rain garden misura solamente il 2% del valore totale di *runoff*.

Il valore del coefficiente di *runoff* della pavimentazione in calcestruzzo impermeabile esterna all'area di *testing* rimane inalterato e vale il 68% del valore di deflusso globale. In maniera analoga non subiscono nessuna modifica la pavimentazione in asfalto colorato e il terreno nudo che pesano rispettivamente il 7% e il 2% sul valore totale del *runoff*.

Grado di adattamento *multi-hazard* della soluzione

Adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane

La riduzione di -0,44 °C sulla temperatura dell'aria potenziale permette alla soluzione di guadagnare 4 punti per questo primo indicatore prestazionale. Il decremento maggiore e conseguentemente l'attribuzione di maggiore punteggio si riscontra nella temperatura media radiante a cui, grazie alla riduzione di -23,57 °C, sono corrisposti 24 punti per l'adattamento termico. Gli indicatori di benessere hanno registrato rispettivamente -1,35 punti il PMV, a cui sono stati attribuiti per i criteri esposti nell'introduzione del paragrafo 14 punti, e -9,27 il PET, a cui vengono riconosciuti 9 punti. In definitiva, per quanto concerne il grado di adattamento alla pericolosità delle isole di calore urbane, la soluzione del *rain garden* ottiene complessivamente 51 punti.

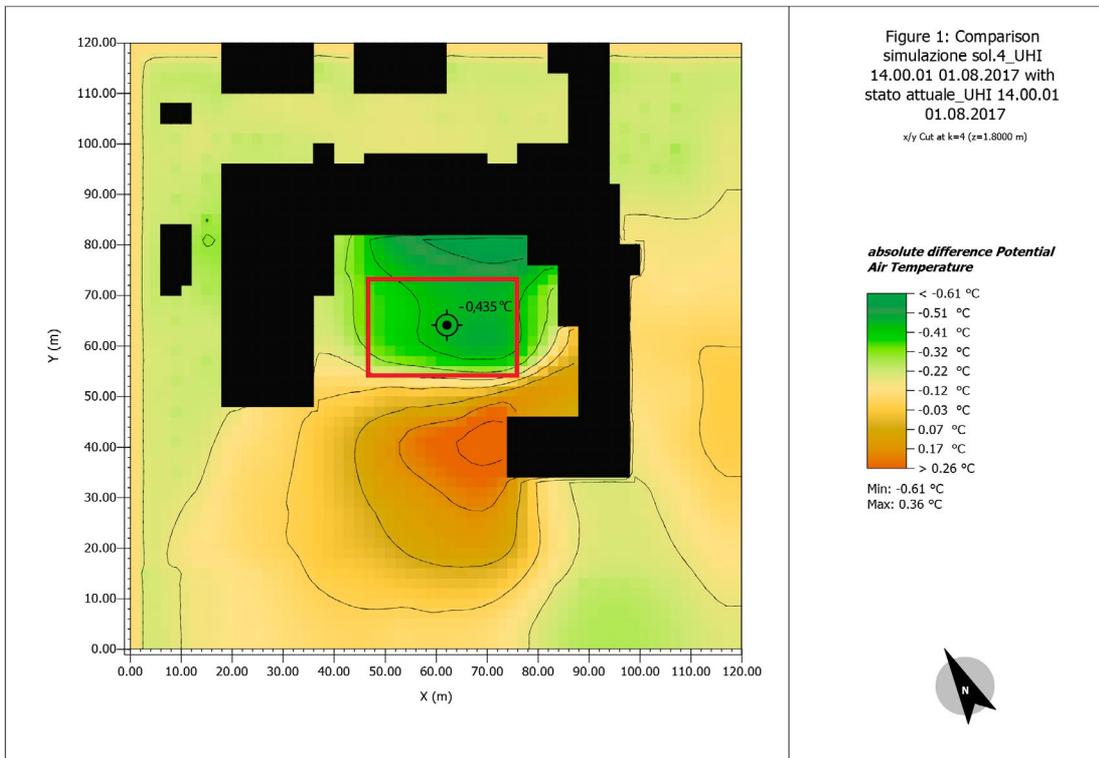
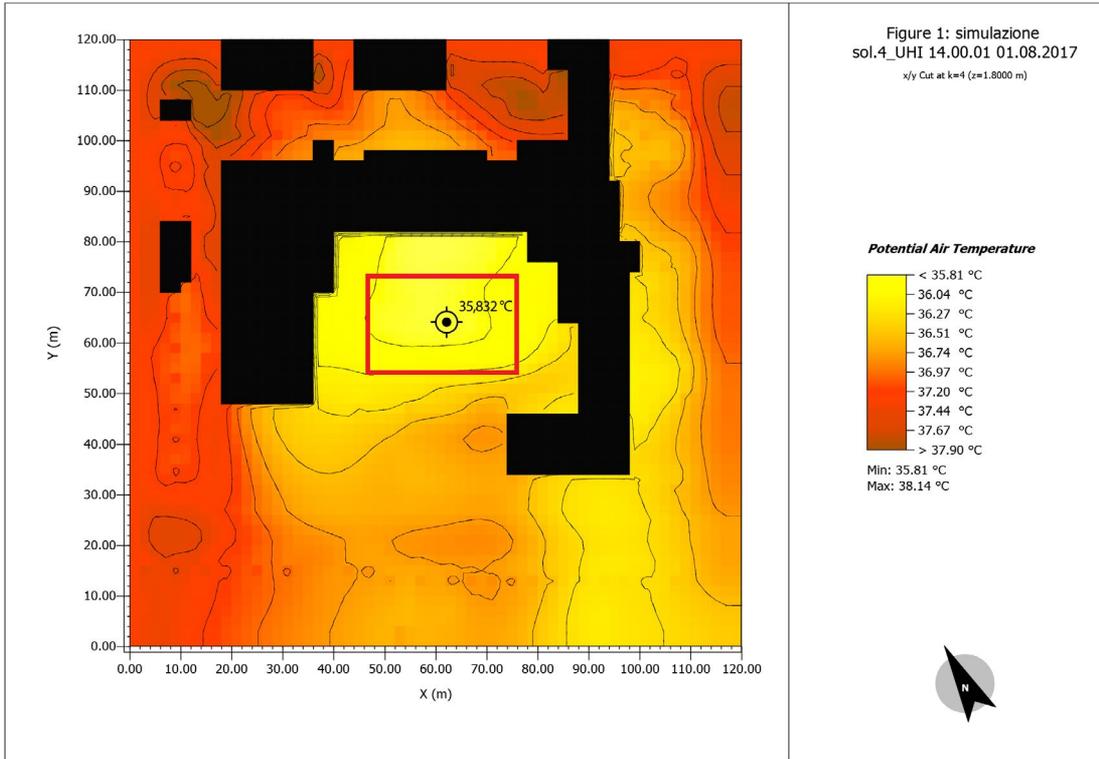
Adattamento alle pericolosità del pluvial flooding

Per quanto concerne il grado di adattamento alle pericolosità del *pluvial flooding* la soluzione del *rain garden* mostra un significativo punteggio ricavabile dall'indicatore unico per la valutazione del comportamento idraulico, il coefficiente di *runoff* globale. Complessivamente la soluzione ottiene 17 punti per l'adattamento idraulico.

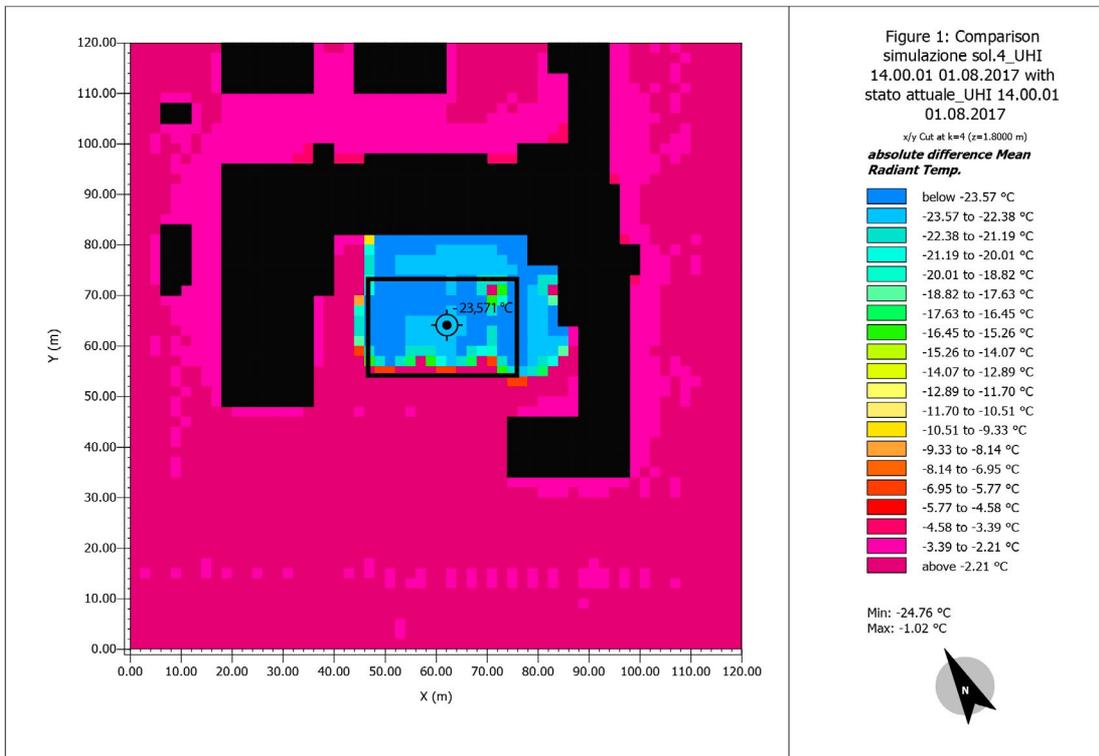
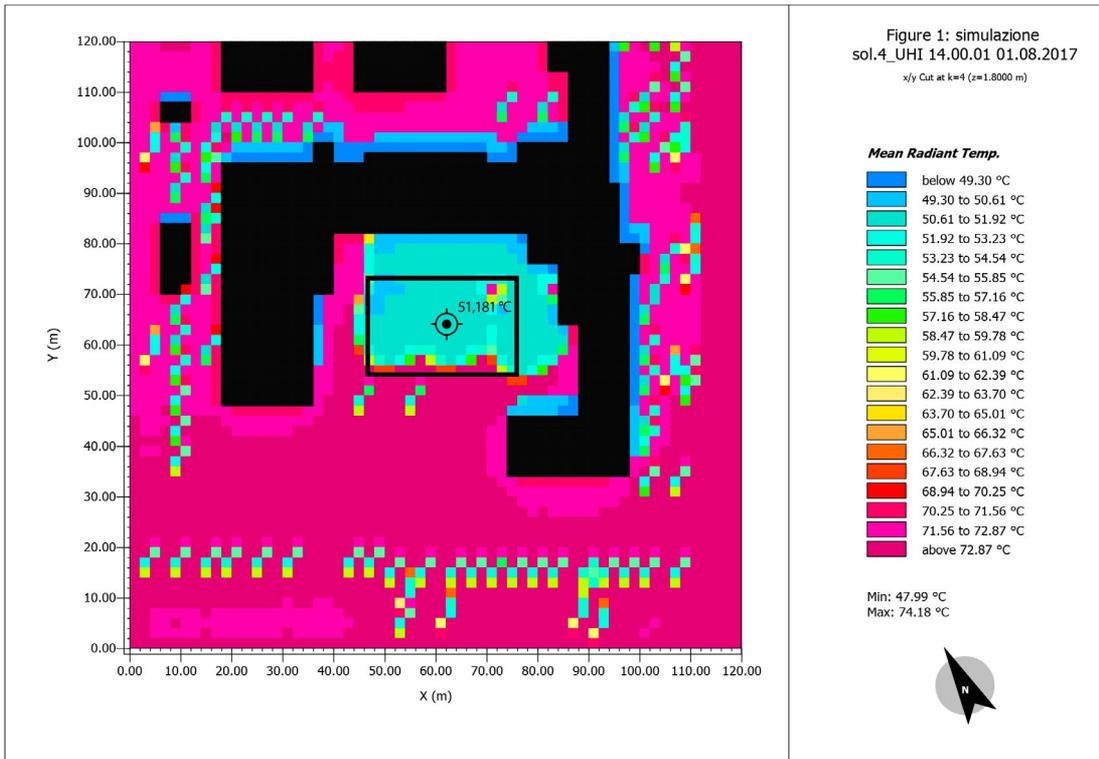
Adattamento multi-hazard

Grazie agli importanti risultati ottenuti in sede di simulazione del comportamento termico e di valutazione idraulica, la soluzione progettuale di adattamento del *rain garden* raggiunge il valore di adattamento *multi-hazard* di 68 punti.

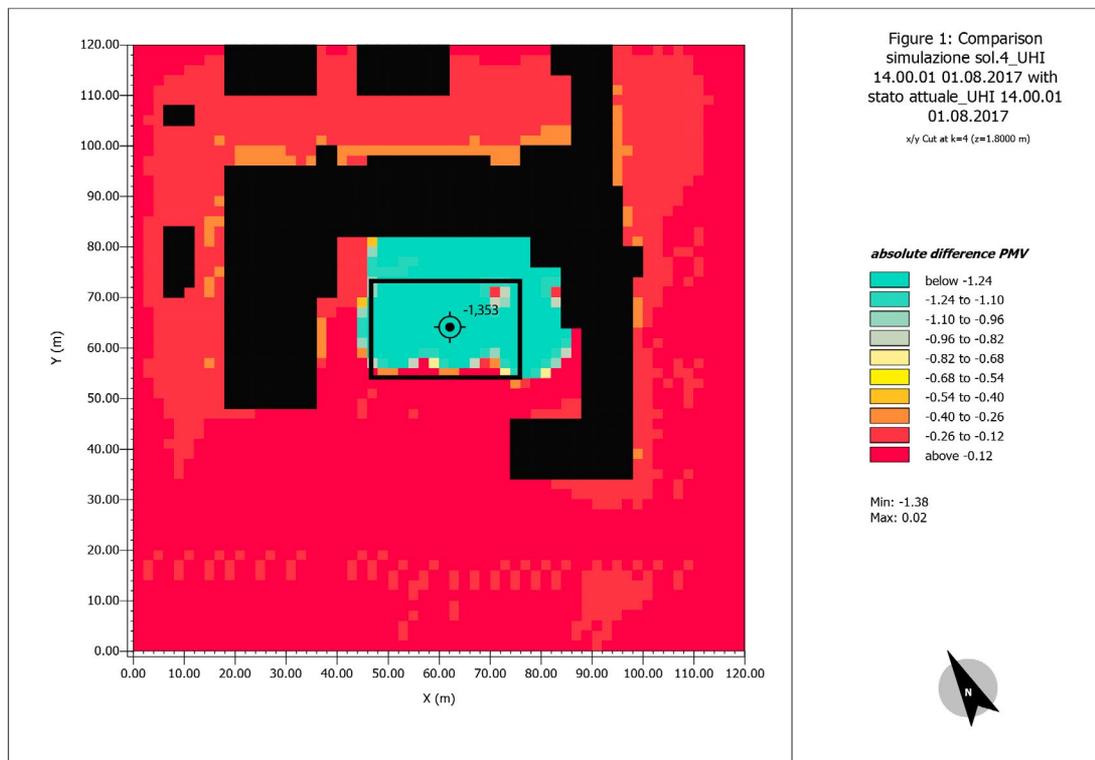
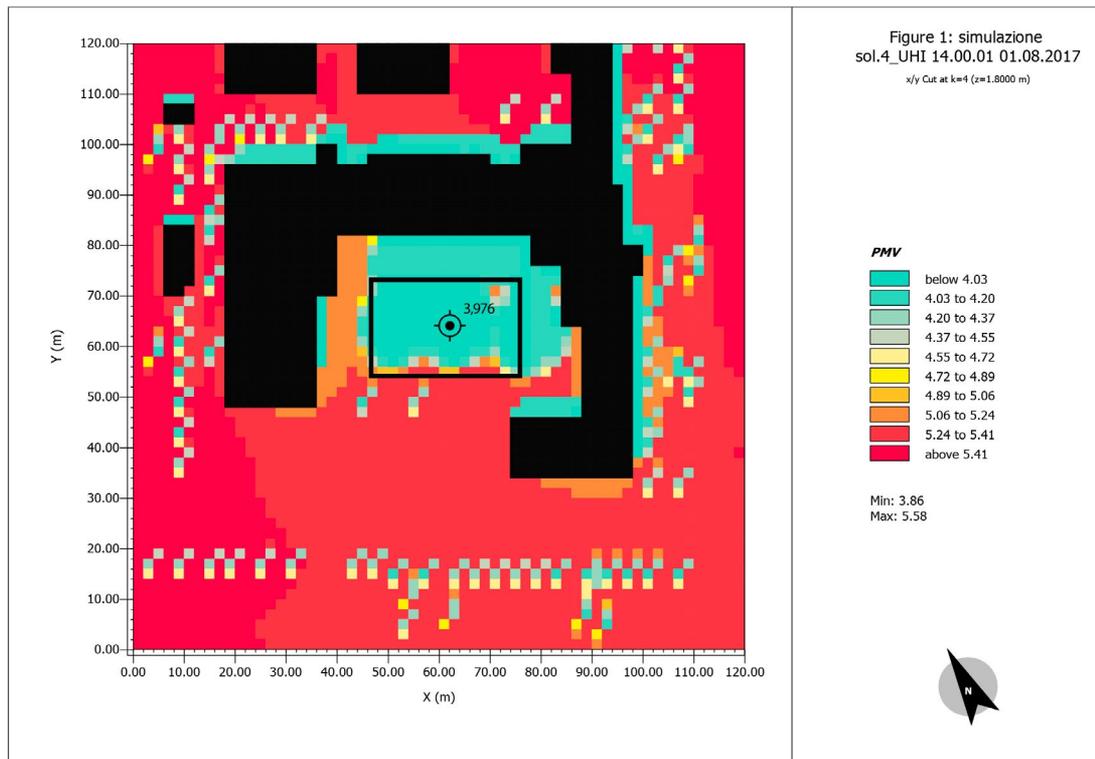
Risultati di comparazione temperatura dell'aria potenziale: soluzione 4



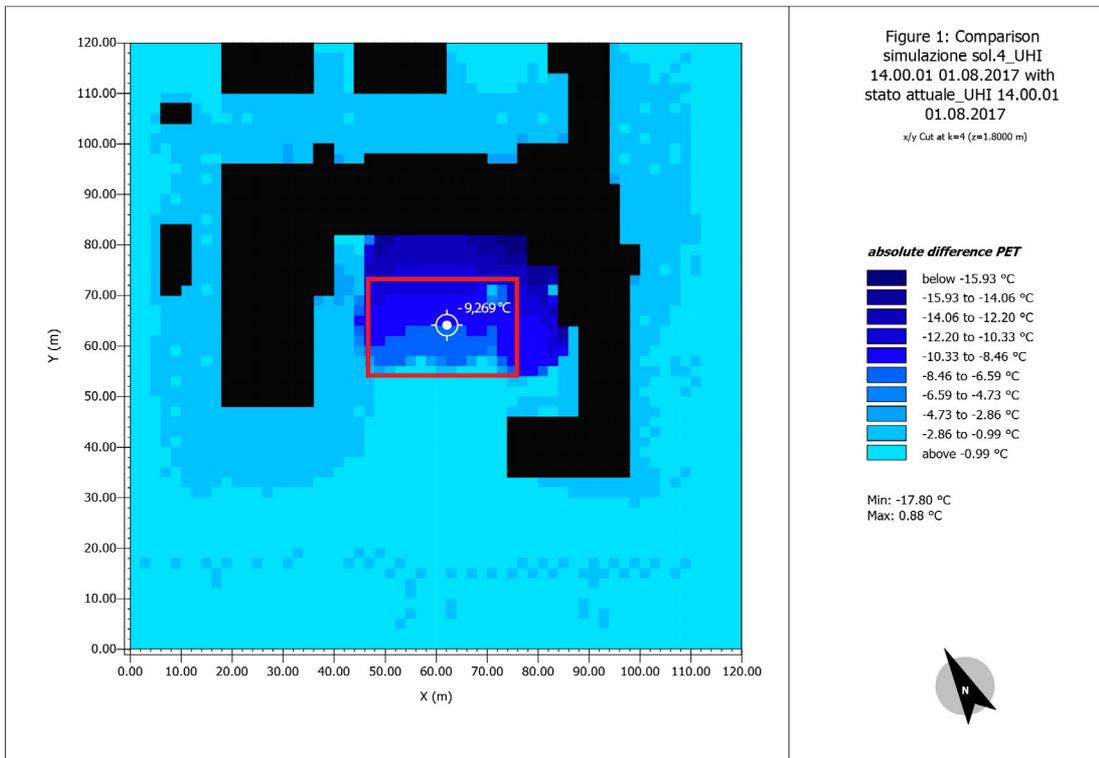
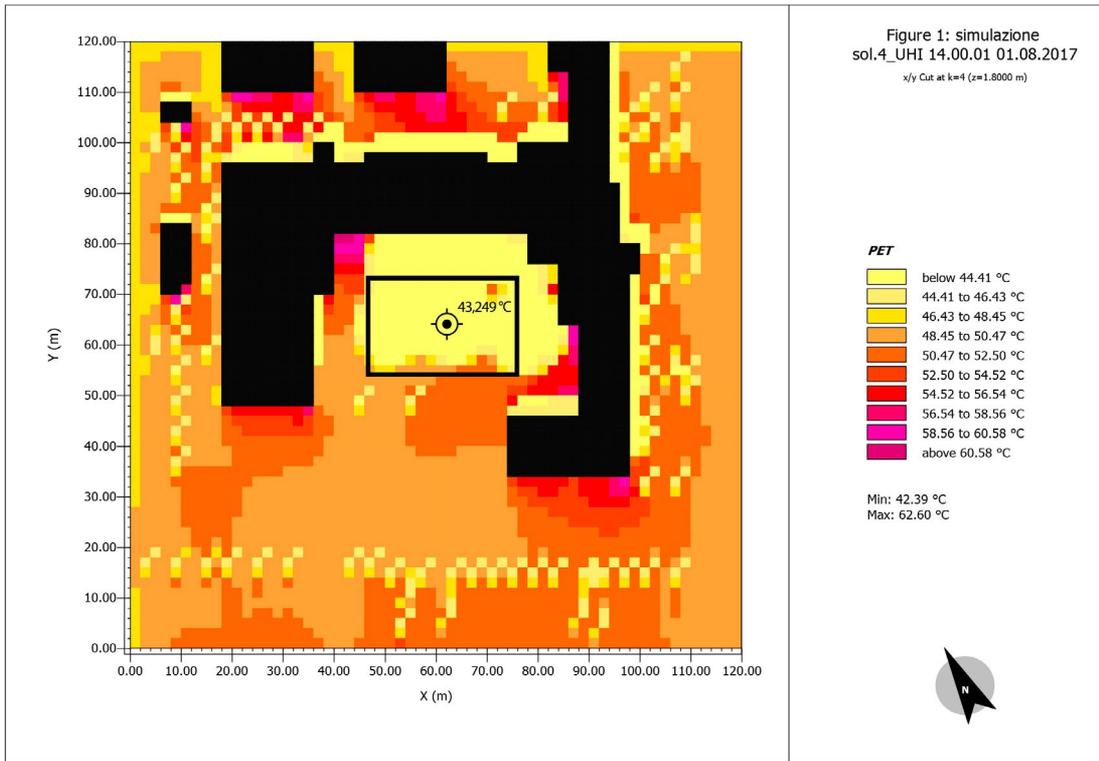
Risultati di comparazione di temperatura media radiante: soluzione 4



Risultati di comparazione di Predict Mean Vote (PMV): soluzione 4



Risultati di comparazione di Physiological Equivalent Temperature (PET): soluzione 4



7.2 - Letture e comparazione dei risultati emersi dalle misurazioni climatiche

Analisi e simulazioni termiche nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4) e sull'intera area simulata: risultati raggiunti e riduzioni massime e minime

L'efficacia delle alternative progettuali per l'adattamento è stata valutata in relazione alle condizioni microclimatiche contestuali *site specific*. I livelli prestazionali ottenuti dalle sperimentazioni condotte secondo la metodologia di analisi ex-ante/ex-post descritta nel precedente capitolo, si riferiscono al maggior grado di miglioramento raggiungibile nel sito di progetto a seguito dell'inserimento di specifiche soluzioni di adattamento climatico desunte dal repertorio. Per questo motivo, nella fase sperimentale, l'efficacia delle soluzioni progettuali testate è stata valutata in relazione alla riduzione, rispetto allo stato originario, dei principali indicatori scelti, tra cui: temperatura potenziale dell'aria, temperatura media radiante (MRT), *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Physiological Equivalent Temperature* (PET).

I principali risultati ottenuti dalle simulazioni nel punto di controllo comune a tutte le simulazioni (i=30; j=33; z=4) sono di seguito descritti e si riferiscono ai diversi indicatori sopra menzionati e ottenibili dal software ENVI-met che, come dimostrato da Yang et al. (2013), è in grado di prefigurare preventivamente il microclima di un'area urbana con un buon grado di precisione.

Per l'indicatore della *temperatura dell'aria potenziale*, è interessante notare che i maggiori valori di riduzione termica si ottengono con la soluzione 3 della pavimentazione permeabile *cool material* in cui si misura una temperatura di 35,81 °C e una riduzione di -0,46 °C rispetto allo stato di fatto. La soluzione 2, che si riferisce alla superficie verde permeabile, al contrario, ha risposto in maniera meno incisiva per quanto riguarda i valori di temperatura dell'aria registrando 36,03 °C e una riduzione di -0,24 °C, risultando la soluzione meno efficace fra quelle testate. Tali risultati sono giustificati dai differenti e opposti valori di albedo delle due soluzioni di adattamento: nel caso del *cool material* il valore albedo è pari a 0,80 mentre nella superficie verde è uguale a 0,20. Quest'ultimo, dal punto di vista del comportamento termico, risulta pressoché simile a quello dell'asfalto. È utile ricordare che l'albedo indica la quantità di energia incidente che viene riflessa da una superficie, pertanto, a valori più elevati (prossimi a 1) corrisponde una maggiore riflessione mentre a valori più bassi (più vicini a 0) coincide un maggiore assorbimento della radiazione solare (Bassolino, 2021).

Per l'indicatore della *temperatura media radiante*, le comparazioni effettuate per le quattro alternative progettuali di adattamento testate rivelano che la soluzione con la maggiore efficacia è la numero 4 che si riferisce al *rain garden*, con un valore di 51,18 °C e una riduzione nel punto di controllo pari a -23,57 °C. La soluzione 3 è quella in cui si misura la temperatura media radiante più alta e corrisponde alla pavimentazione permeabile *cool material*. Quest'ultima alternativa progettuale, che nell'indicatore della temperatura potenziale dell'aria aveva segnato il valore più significativo risultando la più efficace, restituisce in questo caso il valore peggiore, incrementando di +0,95 °C la temperatura media radiante e raggiungendo i 75,70 °C. Tale risultato, tuttavia, non deve sorprendere, in quanto, il comportamento dei materiali *cool*, o cosiddetti "freschi", grazie alla loro elevata capacità riflessiva tendono a ri-emettere una maggiore quantità di radiazione solare senza assorbirla e riscaldarsi. Questo permette, da un lato, di non surriscaldare l'ambiente urbano nei valori di temperatura dell'aria, dall'altro, di generare un elevato valore di temperatura radiante, come appena visto, e di conseguire un peggiore grado di *comfort outdoor* rispetto alle *nature based solutions*, come vedremo più avanti.

Per l'indicatore del *Predicted Mean Vote* (PMV), la soluzione più efficace nel ridurre il *discomfort*

		Stato di fatto (ex-ante)	Scenari di progetto (ex-post)				
		Soluzione 0 (calcestruzzo)	Soluzione 1 (alberature)	Soluzione 2 (superf. verd. perm.)	Soluzione 3 (pav. perm. cool mater.)	Soluzione 4 (rain garden)	
Valutazione efficacia nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4)	Temperatura dell'aria potenziale (°C)	Valore nel punto di controllo	36,27	35,99	36,03	35,81	35,83
		Riduzione nel punto di controllo		-0,28	-0,24	-0,46	-0,44
		Punteggio		3	2	5	4
		Valutazione		buono	buono	discreto	discreto
	Temperatura media radiante (°C)	Valore nel punto di controllo	74,75	54,32	73,84	75,70	51,18
		Riduzione nel punto di controllo		-20,43	-0,91	0,95	-23,57
		Punteggio		20	1	-1	24
		Valutazione		discreto	insufficiente	insufficiente	discreto
	Predict Mean Vote (-)	Valore nel punto di controllo	5,33	4,21	5,25	5,28	3,98
		Riduzione nel punto di controllo		-1,12	-0,08	-0,05	-1,35
		Punteggio		11	1	1	14
		Valutazione		discreto	insufficiente	insufficiente	ottimo
	Physiological Equivalent Temperature (°C)	Valore nel punto di controllo	52,52	44,92	52,23	52,76	43,25
		Riduzione nel punto di controllo		-7,6	-0,29	0,24	-9,27
		Punteggio		8	0	0	9
		Valutazione		buono	insufficiente	insufficiente	discreto
Grado di adattamento UHI	Punteggio		42	4	5	51	
	Valutazione		buono	insufficiente	insufficiente	discreto	
Valutazione efficacia generale attraverso le comparazioni con il software ENVI-met	Temperatura dell'aria potenziale (°C)	Valore minimo	36,17	35,87	36,00	35,74	35,81
		Valore massimo	38,35	38,21	38,30	38,28	38,14
		Riduzione generale ENVI-met		-0,53	-0,32	-0,59	-0,61
		Punteggio		5	3	6	6
	Temperatura media radiante (°C)	Valore minimo	51,35	48,76	51,21	52,36	47,99
		Valore massimo	75,87	75,54	75,79	76,72	74,18
		Riduzione generale ENVI-met		-23,83	-0,95	0,78	-24,76
		Punteggio		24	1	-1	25
	Predict Mean Vote (-)	Valore minimo	4,12	3,94	4,09	4,19	3,86
		Valore massimo	5,72	5,62	5,71	5,75	5,58
		Riduzione generale ENVI-met		-1,29	-0,10	-0,08	-1,38
		Punteggio		13	1	1	14
	Physiological Equivalent Temperature (°C)	Valore minimo	44,13	42,92	43,97	44,66	42,39
		Valore massimo	63,40	63,00	63,40	64,00	62,6
		Riduzione generale ENVI-met		-17,2	-0,40	0,05	-17,8
		Punteggio		17	0	0	18
	Grado di adattamento UHI	Punteggio		59	5	6	63
		Valutazione		discreto	insufficiente	insufficiente	ottimo

Tab. 1 - Risultati delle analisi termiche derivanti dalle simulazioni delle alternative testate con il rispettivo punteggio e la valutazione qualitativa rispetto al decremento misurato.

percepito allo stato originario è rappresentata dall'alternativa 4 del *rain garden*, capace di registrare un valore di 3,98 punti e una riduzione di -1,35. La soluzione meno efficace è la numero 3 contraddistinta dalla pavimentazione permeabile *cool material* in cui, nonostante vi sia stata la totale sostituzione della precedente pavimentazione in calcestruzzo grigio, le simulazioni termiche registrano 5,28 punti di PMV e un impercettibile miglioramento nel punto di controllo pari a -0,05 punti.

Per l'indicatore del *Physiological Equivalent Temperature* (PET), analogamente a quanto osservato nella temperatura media radiante e nel PMV, la soluzione più efficace è rappresentata dal *rain garden* mentre quella meno incisiva è sempre la pavimentazione permeabile *cool material*. Nel primo caso si ha una riduzione dell'indice PET che passa da 52,52 °C dello stato attuale a 43,25 °C dello stato post-intervento, registrando -9,27 °C. Nel secondo caso si verifica un peggioramento rispetto allo stato di fatto e si misura 52,76 °C, che segna un peggioramento del benessere percettivo di +0,24 °C.

Per meglio comprendere i progressi e i risultati ottenuti dalle singole soluzioni di adattamento, e ad integrazione delle misurazioni effettuate sul punto di controllo (i=30; j=33; z=4) appena descritto, di seguito sono riportati i valori massimi e minimi registrati nelle differenti simulazioni e le rispettive riduzioni massime (in termini di decremento rispetto allo stato di fatto), misurate attraverso la comparazione con il software ENVI-met all'interno dell'intera area modellata. I risultati mostrano, da un lato, un comportamento microclimatico analogo a quello osservato per il singolo punto di controllo, ma dall'altro, registrano valori di riduzione più significativi per il fatto che l'area di confronto risulta essere più vasta rispetto al singolo punto di controllo scelto per le misurazioni specifiche.

Anche in questo caso si osserva che la soluzione di adattamento che raggiunge i valori più elevati è rappresentata dal *rain garden* in cui sono contestualmente presenti sia alberature che aree verdi permeabili. Tale riduzione in termini generali è misurata in -0,61 °C sulla temperatura dell'aria potenziale, -24,76 °C sulla temperatura media radiante, -1,38 punti di PVM e -17,80 °C per quanto attiene il PET. Viceversa, le due soluzioni meno efficaci sono la superficie permeabile *cool material* e quella verde permeabile che, da un lato, registrano rispettivamente riduzioni di temperatura potenziale dell'aria pari a -0,59 e -0,32, dall'altro lato, riportano decrementi quasi nulli per gli indicatori di temperatura media radiante, PMV e PET.

Rispetto alle riduzioni conseguite, sia nello specifico punto di controllo che in generale all'interno dell'intera area di simulazione, è possibile constatare che tali risultati rappresentano contributi significativi per il microclima dell'area analizzata in quanto consentono di abbassare il PMV di quasi uno punto e mezzo e la PET di circa 18 gradi, il che equivale a cambiare classe di comfort termico, come chiaramente dimostrato da Nardino et al. (2019) e Bruse et al. (1998).

Valutazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni termiche e definizione del punteggio e dei valori soglia per la misurazione del grado di adattamento alle isole di calore urbane

A conclusione delle differenti simulazioni e dal confronto operato con la letteratura scientifica di genere sull'argomento è stato possibile definire:

- una valutazione qualitativa rispetto alle specifiche *performance* misurate;
- i valori soglia di efficacia prestazionale delle diverse alternative progettuali;
- un punteggio sintetico per la misurazione dell'efficacia complessiva per l'adattamento alle isole di calore urbane delle differenti alternative progettuali testate.

In particolare, per quanto attiene la valutazione sulle *performance* termiche, si è fatto riferimento

alla *literature review* di Tsoka et al. (2018), in cui, a fronte di una meta-analisi ottenuta dai risultati di 52 articoli scientifici che misuravano le prestazioni microclimatiche attraverso simulazioni con il software ENVI-met, sono stati individuati i valori medi potenziali delle riduzioni generate dalle soluzioni delle alberature e del verde e dei *cool materials*. Nello specifico, l'articolo analizza un campione di 97 casi di simulazioni fluidodinamiche computazionali realizzate con ENVI-met, in cui: 49 studi impiegano le “*urban greenery techniques*” ovvero alberature e soluzioni di verde urbano, 38 studi analizzano le prestazioni dei *cool materials*, mentre 10 studi valutano l'applicazione combinata di vegetazione e *cool materials*.

Dai risultati degli studi analizzati da Tsoka et al. (2018) che hanno impiegato alberature e verde urbano emerge che:

- la riduzione media della temperatura potenziale dell'aria oscilla tra $-0,20^{\circ}\text{C}$ e $-1,60^{\circ}\text{C}$, con un valore medio di $-0,60^{\circ}\text{C}$. In tutti gli studi analizzati, la massima riduzione misurata dovuto alle alberature si raggiunge nei punti al di sotto della chioma o nella sua zona di ombreggiamento;
- l'applicazione di superfici naturali a prato mostra un potenziale decremento stimato compreso tra i valori di $-0,15^{\circ}\text{C}$ e $-1,0^{\circ}\text{C}$;
- la temperatura media radiante misurata su 9 simulazioni mostra una riduzione compresa tra $-4,00^{\circ}\text{C}$ e $-37,00^{\circ}\text{C}$, con il valore medio che si aggira attorno ai $-20,00^{\circ}\text{C}$;

Al contrario, i risultati delle ricerche che hanno sperimentato i *cool materials* mostrano che:

- l'applicazione di materiali ad alta albedo influenza notevolmente l'equilibrio radiativo delle superfici al suolo e, di conseguenza, lo scambio radiativo dei pedoni con l'ambiente circostante e il loro comfort. La riduzione misurata sulla temperatura dell'aria potenziale raggiunta per il minor trasferimento di calore sensibile all'aria è spesso controbilanciata dalla maggiore riflessione della radiazione solare, che influisce negativamente sui valori della temperatura media radiante e quindi sull'equilibrio termico umano e il benessere degli utenti.
- le pavimentazioni *cool materials* sono altamente riflettenti e hanno un maggiore effetto di raffreddamento nella temperatura potenziale dell'aria;
- i risultati di 36 simulazioni mostrano che la riduzione di temperatura potenziale dell'aria media corrisponde a valori tra $-0,30^{\circ}\text{C}$ per i *cool roof* e $-0,80^{\circ}\text{C}$ per i *cool pavement*. Valori maggiori di riduzione a livello del suolo sono da attribuire principalmente alle caratteristiche dei *canyon* stradali all'interno delle aree urbane, che incidono significativamente sulla temperatura dell'aria.

In virtù delle considerazioni sopra riportate, possiamo considerare come soglie di efficacia prestazionali delle simulazioni i seguenti valori di riduzione:

- per la temperatura dell'aria potenziale: $-0,20^{\circ}\text{C}$;
- per la temperatura media radiante: $-8,00^{\circ}\text{C}$;
- per il PMV: $-0,40$ punti;
- per il PET: $-3,00^{\circ}\text{C}$;

Sulla base della definizione dei valori soglia di seguito sono stati definiti le principali valutazioni qualitative per ciascun *range* di decremento e una valutazione globale per definire l'efficacia di adattamento delle singole alternative testate. Nella fattispecie, il punteggio per la valutazione del grado di adattamento alle isole di calore urbane delle singole soluzioni è stato attribuito in base ai valori descritti all'inizio del capitolo (vedi p. 289), la cui efficacia si raggiunge al conseguimento di almeno 15 punti.

Attribuendo il punteggio alle singole soluzioni si osserva che la soluzione più efficace per

Indicatore \ Voto	Valore soglia					
	insufficiente	sufficiente	buono	discreto	ottimo	eccellente
Temperatura potenziale dell'aria (°C)	< 0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	> 0,80
Temperatura media radiante (°C)	< 0,00	1,00-8,00	8,00-16,00	16,00-24,00	24,00-32,00	> 32,00
Predict Mean Vote (-)	< 0,10	0,10-0,40	0,40-0,80	0,80-1,20	1,20-1,60	> 1,60
Physiological Equivalent Temperature (°C)	< 0,00	0,10-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	12,00-16,00	> 16,00
Punteggio per valutazione efficacia UHI	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	> 75

Tab. 2 - Benchmark di riferimento per la valutazione qualitativa dell'efficacia di adattamento alle isole di calore urbane.

contrastare le isole di calore urbane è il *rain garden* che totalizza 51 punti e risponde in maniera discreta e ottima a tutti e quattro gli indicatori utilizzati per le analisi termiche. Segue per efficacia, al secondo posto, la soluzione delle alberature con 42 punti e una risposta all'adattamento compresa tra buona e discreta, mentre al terzo e quarto posto, con una valutazione insufficiente per l'adattamento termico si collocano rispettivamente la pavimentazione permeabile *cool material* con 5 punti e la superficie verde permeabile con 4 punti.

Nonostante la soluzione della superficie permeabile *cool material* abbia registrato sempre valori di riduzione bassi o quasi nulli, risultando la meno efficace negli indicatori di temperatura media radiante, PMV e PET, è stata tuttavia l'alternativa più efficace nell'indicatore della temperatura dell'aria potenziale nel punto di controllo scelto ($i=30$; $j=33$; $z=4$). Questo risultato ha consentito alla soluzione progettuale di non essere la peggiore dal punto di vista dell'efficacia all'adattamento per le criticità delle temperature elevate, lasciando il posto alla soluzione della superficie verde permeabile.

Tuttavia, il comportamento anomalo di quest'ultima soluzione naturale non sorprende ed è stato riscontrato anche in altre analisi realizzate con ENVI-met. A titolo esemplificativo, Bruse et al. (2009) descrivono come l'effetto sul microclima del terreno naturale sia esattamente lo stesso dell'asfalto nel momento in cui la superficie verde non viene irrigata durante le ondate di caldo. Tale comportamento è giustificato dalla riduzione del coefficiente di trasferimento del calore quando il terreno si secca, il che comporta un maggior riscaldamento degli strati superficiali. A questo, inoltre, si aggiunge una variazione dell'albedo del suolo vegetato a cui corrisponde una maggiore radiazione solare riflessa nell'ambiente, causando un innalzamento dei valori della temperatura media radiante (Bruse et al., 2009).

Per meglio comprendere questa risposta termica, occorre ricordare che molta dell'acqua assorbita dalle piante - o dalla vegetazione in generale - viene traspirata, mentre solamente una piccola parte è utilizzata per il processo di fotosintesi. Pertanto, in una giornata molto calda in cui la disponibilità di acqua nel terreno è elevata, la pianta sarà in grado di traspirare e, con il contributo dell'evaporazione del terreno, potrà raffrescare l'ambiente circostante. Al contrario, in presenza di un suolo arido, in cui non c'è la possibilità di far traspirare la pianta ed evaporare l'acqua nel terreno gli scambi di calore con l'ambiente si interrompono e viene meno l'effetto della mitigazione termica (Trimmel, 2008).

Per quanto attiene la valutazione della risposta termica delle soluzioni testate all'interno

dell'intera area di simulazione, come visto e descritto in precedenza, in generale, la riduzione ottenuta dalla comparazione con il software ENVI-met riporta risultati più significativi rispetto a quelli misurati nel punto di controllo specifico. Le riduzioni più significative si confermano sempre nelle soluzioni del *rain garden* che, a fronte di un totale di 63 punti rappresenta un'ottima soluzione per adattarsi all'isola di calore urbana. Anche le alberature confermano la loro discreta efficacia per adattarsi alle alte temperature con 59 punti. Le soluzioni meno incisive, ancora una volta, sono la superficie verde permeabile e la pavimentazione *cool material* che totalizzano rispettivamente 5 e 6 punti e una votazione insufficiente per rispondere alle criticità termiche. Nello specifico, il *rain garden* e le alberature rappresentano un'ottima soluzione per l'adattamento climatico e sono in grado di incidere in maniera positiva su tutti gli indicatori termici. Al contrario, la risposta della superficie vegetata e della pavimentazione *cool material* ottiene una valutazione positiva solamente nell'indicatore della temperatura dell'aria potenziale con una discreta riduzione sopra il valore di soglia minimo. Tale comportamento però, ai fini della valutazione globale dell'efficacia, viene annullato dai valori insufficienti sugli indicatori di temperatura media radiante, PMV e PET.

Possiamo, in definitiva concludere che, le soluzioni della superficie verde permeabile e della pavimentazione *cool material* rappresentano alternative efficaci per l'adattamento climatico solamente se applicate insieme ad altre soluzioni, naturali o artificiali, che sono in grado di compensare i loro bassi risultati dal punto di vista del comfort termico.

Analisi e valutazioni idrauliche: risultati raggiunti e riduzioni massime e minime

Nella valutazione delle prestazioni idrauliche, contrariamente a quanto descritto per le simulazioni termiche, i *range* prestazionali e i valori soglia devono essere considerati in relazione a due parametri: l'estensione dell'area di intervento e il coefficiente di *runoff* della soluzione inserita. Questi due parametri, infatti, sono strettamente correlati nella valutazione del comportamento idraulico e incidono direttamente sulla prestazione finale dell'alternativa progettuale scelta.

Nel caso specifico delle quattro soluzioni testate, l'estensione superficiale coincide con l'area di *testing* di 600 mq per tutte le soluzioni ad eccezione delle alberature, di cui si considera come zona di influenza la superficie proiettata a terra dalla loro chioma. Viceversa, per quanto attiene il coefficiente di *runoff* o coefficiente di deflusso urbano, questo è stato individuato da fonti bibliografica e varia da soluzione a soluzione. Tale coefficiente viene definito come la percentuale di acqua piovana incidente su una data superficie che non viene infiltrata né evaporata e si trasforma in deflusso idrico superficiale (Moccia et al., 2016; IPCC, 2018).

Nella fattispecie, la valutazione dell'efficacia prestazionale per le criticità idrauliche si basa sul valore globale di *runoff* dell'area complessiva del cortile scolastico. Tale valore è misurato in percentuale e, oltre alla superficie di *testing*, comprende tutta la parte antistante il cortile scolastico realizzata in calcestruzzo grigio, l'area asfaltata di colore rosa e una piccola area residuale di terreno nudo. Questa valutazione, pertanto, prevede un unico indicatore prestazione a cui, come osservato per le *performance* termiche, ad una maggiore riduzione corrisponde una maggiore efficacia rispetto alle criticità degli allagamenti urbani causati dalle piogge estreme.

Nello specifico, il più elevato valore di deflusso superficiale, a cui corrisponde la situazione idraulica peggiore, è misurato allo stato originario in cui a fronte di una superficie completamente impermeabilizzata in calcestruzzo e un coefficiente di 0,90 si raggiunge l'88% del *runoff* globale. La soluzione di adattamento con il minore valore globale di *runoff*, ovvero quella che raggiunge la riduzione più elevata e pertanto rappresenta l'alternativa progettuale più efficace per gestire le

		Stato di fatto (ex-ante)	Scenari di progetto (ex-post)			
		Soluzione 0 (calcestruzzo)	Soluzione 1 (alberature)	Soluzione 2 (superf. verd. perm.)	Soluzione 3 (pav. perm. cool mater.)	Soluzione 4 (rain garden)
Coefficiente di runoff (-)	Valore coefficiente	0,90	0,10	0,15	0,60	0,10
	Riduzione del coefficiente		0,80	-0,75	-0,30	-0,80
	Valutazione		ottimo	discreto	sufficiente	ottimo
Valore globale di runoff (%)	Risultato	88%	76%	72%	82%	71%
	Differenze		-12%	-16%	-6%	-17%
	Punteggio		12	16	6	17
	Valutazione		buono	discreto	sufficiente	ottimo
Grado di adattamento HR	Punteggio		12	16	6	17
	Valutazione		buono	discreto	sufficiene	ottimo

Tab. 3 - Risultati dell'efficacia di adattamento, in relazione alla massima riduzione ottenuta sul coefficiente e sul valore globale di runoff, per le singole soluzioni progettuali testate rispetto ai fenomeni di flooding urbano.

piogge estreme, è la soluzione 4 rappresentata dal *rain garden* con un coefficiente di 0,10 e il 71% di deflusso idrico. Tale soluzione, infatti, permette di abbattere il coefficiente di deflusso di -0,80 e quello del valore globale di *runoff* di -17%.

La soluzione progettuale meno incisiva per quanto attiene le questioni idrauliche è rappresentata dall'alternativa della pavimentazione permeabile *cool material*. Il risultato di questa valutazione dipende dal coefficiente di *runoff* di 0,60 che mostra una riduzione di solo -0,30 rispetto a quello dello stato originario. Il valore globale di *runoff* raggiunto dalla pavimentazione permeabile misura 82% con un decremento di soli -6 punti percentuali rispetto allo stato di fatto. Dato l'elevato grado di integrabilità con altre alternative tecniche posseduto dalla pavimentazione permeabile e in un'ottica di rigenerazione urbana finalizzata all'adattamento, tale risultato può essere facilmente incrementato aggiungendo, in maniera sinergica e sistemica, ulteriori soluzioni di adattamento più efficaci.

Le soluzioni mediane sono rappresentate dalle alberature e dalla superficie verde permeabile. Le alberature hanno un coefficiente di *runoff* molto basso pari a 0,10, con una riduzione di -0,80 rispetto al coefficiente dello stato di fatto. Questo permette a tale alternativa progettuale di raggiungere un valore globale di deflusso pari al 76%, con una riduzione di -12 punti percentuali grazie alla capacità captante delle foglie. Occorre a questo proposito fare una dovuta precisazione. L'efficacia di quest'ultima soluzione sarebbe nettamente minore in condizioni invernali in quanto la pianta inserita, che è caducifoglie, avrebbe un coefficiente di *runoff* molto minore rispetto a quello considerato per la condizione estiva in cui sono operate le simulazioni termiche e le valutazioni idrauliche. Tale riduzione è una diretta conseguenza attribuibile alla perdita di un'ampia parte della superficie fogliare capace di intercettare gli ingenti volumi causati dalle precipitazioni meteoriche.

La superficie verde permeabile, invece, presenta un coefficiente di *runoff* pari a 0,15, che riduce di -0,75 quello dell'esistente pavimentazione in calcestruzzo, e permette al valore globale di deflusso di raggiungere il 72% segnando, con una di riduzione del -16%, il secondo decremento più significativo tra tutte le alternative progettuali testate. Tale risultato, rispetto alle prestazioni termiche, risulta molto significativo e conferma la predisposizione delle superfici vegetate come soluzioni per rispondere in maniera efficace alle criticità degli allagamenti urbani causati dalle piogge estreme.

Indicatore \ Voto	Valore soglia					
	insufficiente	sufficiente	buono	discreto	ottimo	eccellente
Coefficiente runoff (-)	> 0,90	0,90-0,60	0,60-0,40	0,40-0,20	0,20-0,10	< 0,10
Riduzione coefficiente di runoff (-)	< 0,10	0,10-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80	0,80-0,90	> 0,90
Valore globale coefficiente di runoff (%)	> 90	90-80	80-70	70-60	60-50	< 50
Riduzione valore globale coefficiente di runoff (%)	< 4	4-8	8-12	12-16	16-20	> 20
Punteggio per valutazione efficacia HR	< 4	4-8	8-12	12-16	16-20	> 20

Tab. 4 - Benchmark di riferimento per la valutazione qualitativa dell'efficacia alle precipitazioni estreme e ai fenomeni di *flooding* urbano.

Valutazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche e definizione del punteggio e dei valori soglia per la misurazione del grado di adattamento agli allagamenti urbani

I fenomeni di *flooding* in ambito urbano sono connessi ad una molteplicità di fattori, tra cui l'intensità e la frequenza degli eventi piovosi, la topografia, la pendenza dei bacini, le proprietà fisiche delle superficie e dei sistemi di drenaggio. Al fine di individuare l'efficacia prestazionale delle singole soluzioni testate per affrontare gli allagamenti urbani causati dalle piogge estreme, vengono individuati indicatori specifici che descrivono il comportamento delle differenti caratteristiche climatiche, fisiche e di permeabilità dei suoli (Aprèda, 2019).

Secondo la metodologia del metodo predittivo per il comportamento idraulico, adottata all'interno della seguente ricerca e descritta nel dettaglio da Moccia et al. (2016), ogni superficie esposta a pioggia, sulla base di verifiche empiriche e dati di letteratura scientifica possiede un coefficiente di *runoff* che rappresenta la percentuale di acqua pluviale incidente che si trasforma in deflusso superficiale. Tale coefficiente varia principalmente in relazione ai parametri di scabrosità, permeabilità e inclinazione del piano di posa. Pertanto, possiamo affermare che a valori di *runoff* prossimi 1 corrispondono superfici altamente impermeabili, come ad esempio una copertura metallica (0,95), una pavimentazione in asfalto (0,90) in calcestruzzo (0,90) oppure in mattoni (0,70-0,85). Viceversa, a valori di *runoff* più vicini allo 0 corrisponde superfici ad un elevato grado di permeabilità, quali ad esempio le superfici in ghiaia (0,30), terreni sabbiosi (0,05-0,20), superfici naturali verdi (0,10), etc.

In virtù di tali considerazioni e in accordo con il *Soil Survey Manual* (2017) e la letteratura scientifica di genere (Aprèda, 2019; Moccia et al., 2016; Rigillo et al., 2016; Regione Emilia-Romagna, 2020) l'efficacia prestazionale dei suoli è diretta conseguenza della permeabilità o tasso di infiltrazione che varia in funzione della tessitura terreno. In base a questo criterio, la soglia di efficacia prestazionali delle soluzioni di adattamento al *pluvial flooding*, è stata fissata per la seguente ricerca alla classe di permeabilità moderata a cui corrisponde un coefficiente di *runoff* pari a 0,80 e una riduzione di -0,20.

Sulla base dell'individuazione del valore soglia, di seguito sono riportati i principali *range* di decremento e la rispettiva valutazione qualitativa per misurare l'efficacia di adattamento delle singole alternative testate. In particolare, il punteggio per la valutazione del grado di adattamento alle piogge estreme delle singole soluzioni è stato attribuito in base ai valori descritti all'inizio del

		Valore soglia				
Voto	insufficiente	sufficiente	buono	discreto	ottimo	eccellente
Indicatore						
Punteggio per valutazione efficacia multi-hazard	< 10	10-30	30-50	50-70	70-90	> 90

Tab. 5 - *Benchmark* di riferimento per la valutazione qualitativa dell'efficacia *multi-hazard* delle soluzioni progettuali testate.

capitolo (vedi p. 289), la cui efficacia si raggiunge al conseguimento di almeno 4 punti. In definitiva, le quattro soluzioni progettuali testate rispondono tutte efficacemente all'adattamento per il contrasto agli allagamenti urbani causati dalle precipitazioni estreme. In particolare, l'alternativa del *rain garden* ha un'ottima efficacia contro il *pluvial flooding* e totalizza 17 punti. Sono altresì soluzioni efficaci anche la superficie verde permeabile e le alberature che a fronte di un'ottima riduzione del coefficiente di *runoff* ottengono anche un significativo risultato sulla riduzione globale del deflusso superficiale pari rispettivamente a -16% e -12% rispetto allo stato originario. Anche la soluzione della pavimentazione permeabile *cool material*, nonostante sia quella che riporta una riduzione del coefficiente di *runoff* meno significativa risulta essere sufficiente per affrontare le criticità idrauliche legate alle piogge estreme, misurando una riduzione sul valore globale del *runoff* pari a -6%.

Valutazione *multi-hazard* delle soluzioni di adattamento testate

L'individuazione di valori soglia, *range* prestazionali e punteggi specifici ha consentito di valutare il livello di efficacia all'adattamento termico e idraulico delle differenti soluzioni di adattamento testate. Tuttavia, come abbiamo ampiamente osservato nel corso della trattazione della ricerca, a partire dallo stato dell'arte, dagli esempi dei casi di studio e fino alla costruzione del repertorio di soluzioni di adattamento, il contrasto agli impatti del *climate change* non può essere settoriale ma deve analizzare una pluralità di informazioni e valutare criticità multiple. Per questo motivo, in ultima analisi, al fine di garantire una completezza nella trattazione sull'efficacia prestazionale è stata valutata la risposta *multi-hazard* delle quattro soluzioni progettuali di adattamento testate. La valutazione *multi-hazard* è stata ottenuta sommando i contributi dei punteggi sintetici attribuiti per l'efficacia alle isole di calore urbane e agli allagamenti urbani causati da precipitazioni estreme. Tale valutazione multicriterio riporta, in maniera sintetica, la risposta delle differenti alternative alle criticità climatiche indagate dalla ricerca e viene calcolata sulla media delle valutazioni individuate nei paragrafi precedenti. Da ciò risulta che un'ottima soluzione per affrontare in maniera efficace entrambe le pericolosità climatiche è rappresentata dalla soluzione numero 4 del *rain garden*, con un totale di 68 punti se ci si riferisce alla valutazione termica nel punto di controllo ($i=30$; $j=33$; $z=4$), e 80 se si considera la comparazione generale operata con il software ENVI-met. L'esito di questa risposta è in linea con quelli precedentemente osservati nelle analisi termiche e idrauliche.

Segue in maniera analoga con un'ottima efficacia *multi-hazard* la soluzione numero 1 delle alberature, con 54 punti se si considera la valutazione nel punto di controllo e 71 nella comparazione generale. Questa soluzione, insieme a quella del *rain garden*, ha sempre ottenuto risultati positivi sia nelle valutazioni termiche che in quelle idrauliche.

Infine, troviamo la soluzione numero 2 della superficie verde permeabile con 20 e 21 punti, rispettivamente valutati nel punto di controllo e nella comparazione generale, che riescono a raggiungere una sufficiente valutazione dell'efficacia alle pericolosità climatiche indagate. Rispetto

		Scenari di progetto				
		Soluzione 1 (alberature)	Soluzione 2 (superf. verd. perm.)	Soluzione 3 (pav. perm. cool mater.)	Soluzione 4 (rain garden)	
Valutazione efficacia nel punto di controllo (i=30; j=33; z=4)	Grado di adattamento UHI	Punteggio	42	4	5	51
		Valutazione	buono	insufficiente	insufficiente	discreto
	Grado di adattamento HR	Punteggio	12	16	6	17
		Valutazione	buono	discreto	sufficiene	ottimo
	Grado di adattamento Multi-Hazard	Punteggio	54	20	11	68
		Valutazione	discreto	sufficiente	sufficiente	discreto
Valutazione efficacia generale attraverso comparazioni ENVI-	Grado di adattamento UHI	Punteggio	59	5	6	63
		Valutazione	discreto	insufficiente	insufficiente	ottimo
	Grado di adattamento HR	Punteggio	12	16	6	17
		Valutazione	buono	discreto	sufficiene	ottimo
	Grado di adattamento Multi-Hazard	Punteggio	71	21	12	80
		Valutazione	ottimo	sufficiente	sufficiente	ottimo

Tab. 6 - Punteggio del grado di adattamento raggiunto dalle quattro soluzioni di adattamento testate rispetto alle pericolosità termiche, idrauliche e multi-hazard.

alle due soluzioni più efficaci, la superficie verde permeabile non riesce ad ottenere una buona valutazione *multi-hazard* in quanto la sua efficacia alle temperature elevate, presa singolarmente, è risultata insufficiente su tutti gli indicatori di *comfort*.

In maniera analoga, la soluzione della pavimentazione permeabile *cool material* totalizza solamente 11 e 12 punti, rispettivamente valutati nel punto di controllo e nella comparazione generale con ENVI-met. Nonostante sia stato osservato che questa soluzione è quella che riduce maggiormente l'indicatore della temperatura dell'aria potenziale nello specifico punto di controllo, la sua valutazione globale sull'efficacia *multi-hazard*, seppur risulti sufficiente è tuttavia relativamente bassa se comparata con le soluzioni più efficaci. Il motivo di tale risultato prestazionale è, ancora una volta, legato ad una valutazione dell'efficacia insufficiente su molti indicatori per l'adattamento alle isole di calore urbane.

Conclusioni

Le soluzioni testate in via sperimentale rappresentano due diverse tipologie di alternative progettuali per l'adattamento. Da un lato troviamo le soluzioni di adattamento "semplici" rappresentate dalle alberature e della superficie verde permeabile. Dall'altro le soluzioni progettuali "composte" contraddistinte dalla superficie permeabile *cool material* e dal *rain garden*. Queste ultime, in particolare, sono costituite da più elementi tecnici-architettonici e presentano proprietà fisico-materiche in grado di incrementare le prestazioni alle sfide climatiche, sia termiche che idrauliche.

Le alberature sono in grado di risondere con un'ottima efficacia ad entrambe le criticità climatiche analizzate; al contrario le superfici verdi permeabili costituiscono una valida

PET	Thermal sensation	PMV
< 4 °C	Very cold	< -4
< 8 °C	Cold	< -3
< 13 °C	Cool	< -2
< 18 °C	Slightly cool	< -1
18 - 23 °C	Comfortable	-1 / 1
> 23 °C	Slightly warm	> 1
> 29 °C	Warm	> 2
> 35 °C	Hot	> 3
> 41 °C	Very hot	> 4

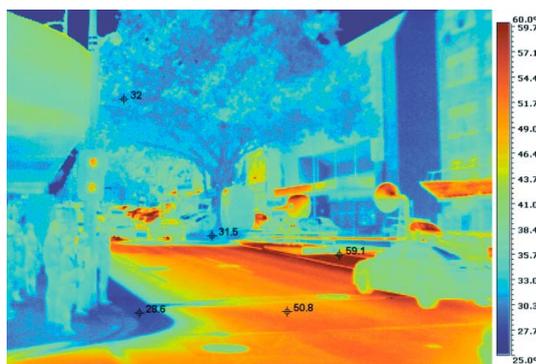


Fig. 1 - A sinistra, i valori di comfort termico percepito associato ai valori degli indici di PET e PMV (Source: Fanger 1972; Höpfe 1987). A destra, un'immagine termica in infrarossi di Melbourne Australia in cui sono evidenti le differenti temperature superficiali dei materiali e della vegetazione (Source: CBN News).

soluzione per adattarsi ai fenomeni di *flooding* urbano causati dalle precipitazioni estreme ma non sono altrettanto efficaci per contrastare le isole di calore urbane. Per raggiungere un'adeguata risposta di adattamento termico di quest'ultima soluzione è fondamentale garantire un costante approvvigionamento idrico alla vegetazione e al suolo.

La superficie permeabile *cool material* è caratterizzata da una pavimentazione porosa con elevati valori di albedo ed emissività che ne garantiscono ottime prestazioni termiche per la riduzione della temperatura potenziale dell'aria, ma non un altrettanto risultato in termini di benessere *outdoor* sugli indicatori della temperatura media radiante, PET e PMV. Questo ci consente di affermare che la sola applicazione diffusa di materiali ad elevata riflettanza solare (alta albedo) è oggettivamente in grado di ridurre la temperatura dell'aria ma comporta un peggioramento del comfort percepito dagli utenti. In questa divergenza tra la riduzione dei parametri oggettivi e quelli riferiti al *comfort* si inserisce il progetto di architettura. Questo non può essere sostituito da una applicazione "a tappeto" di semplici soluzioni di adattamento efficaci ma necessita di una ponderata valutazioni *site specific* che, di volta in volta, tiene conto delle esigenze specifiche dell'utenza e del contesto in cui opera.

Il *rain garden*, che rappresenta di per se una soluzione semplice, viene in questo caso integrato con alberature che ne aumentano la capacità di raccolta e captazione delle piogge, riducono significativamente il *runoff* e allo stesso tempo abbattano significativamente la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante e contribuiscono ad aumentare il comfort e la sensazione di benessere nel cortile. La compresenza di soluzioni naturali quali le alberature e la superficie vegetata permeabile in grado di ombreggiare, traspirare e raccogliere un'ingente quantità di acqua meteorica consente all'alternativa progettuale di risultare quella più efficace tra tutte quelle testate.

In definitiva, possiamo pertanto affermare che la soluzione delle alberature rappresenta l'alternativa progettuale "semplice" più efficace per quanto concerne l'adattamento termico, idraulico e *multi-hazard*; mentre il *rain garden* è la soluzione progettuale di adattamento "composta" che raggiunge i maggiori valori di efficacia in assoluto per il contrasto agli eventi estremi indagati dalla ricerca. A conclusione della sperimentazione operata sulle quattro diverse soluzioni progettuali di adattamento è possibile delineare un chiaro quadro dei risultati sull'efficacia rispetto alle differenti pericolosità climatiche delle isole di calore urbane e del *pluvial flooding*.

I risultati delle simulazioni termiche indicano che le soluzioni progettuali di adattamento con valori di albedo più elevati, ovvero più prossimi ad 1, e in grado di generare un maggiore ombreggiamento, rispondono meglio alle criticità termiche mostrando significativi valori di riduzione negli indicatori climatici. Tale circostanza però non viene sempre confermata nei risultati sul comfort che, se sommati a elevati valori di emissività (come nel caso dei *cool materials* e della superficie verde permeabile), registrano un peggioramento sul PET e PMV, e pertanto incidono negativamente sul benessere *outdoor*.

Per quanto concerne le valutazioni idrauliche è possibile affermare il contrario: a valori di *runoff* più bassi corrisponde una maggiore efficacia prestazionale nella risposta agli eventi di precipitazioni estreme. Tale parametro è giustificato dal fatto che ad un valore più prossimo allo 0 del coefficiente di *runoff* coincide una minore percentuale di acqua pluviale incidente che si trasforma in deflusso superficiale, riducendo il tempo di corrivazione e il volume d'acqua che raggiunge il sistema di smaltimento fognario. Inoltre, nelle valutazioni idrauliche con il metodo predittivo, contrariamente a quanto visto per le simulazioni termiche, i valori soglia possono tendere a risultati prestazionali più significativi se si agisce sull'estensione superficiale e sul coefficiente di deflusso superficiale. Per far ciò, al fine di ridurre il rischio di *flooding* urbano, si possono prevedere soluzioni di adattamento maggiormente performanti per la gestione delle acque meteoriche e una elevata capillarità e/o sistematicità degli interventi all'interno di aree più estese.

7.3 - Modello di valutazione della capacità di adattamento delle soluzioni progettuali

Le misurazioni dei comportamenti termici ed idraulici delle quattro soluzioni di adattamento testate hanno permesso di comprendere e identificare le diverse risposte rispetto alle pericolosità climatiche dell'isola di calore e delle precipitazioni estreme. Tale approccio all'analisi per l'adattamento climatico si configura come una risposta *multi-hazard* che, in relazione ai risultati provenienti da diversi indicatori prestazionali, consente di identificare il grado di adattamento delle singole soluzioni progettuali.

La metodologia complessiva dell'analisi *multi-hazard*, impiegata per la misurazione dell'efficacia delle quattro alternative progettuali, consente di delineare un modello replicabile di valutazione dell'efficacia delle soluzioni a molteplici pericolosità climatiche. Il modello si inserisce idealmente nella fase preliminare del processo edilizio, si basa sull'impiego di parametri oggettivi ed è costituito di tre macro-fasi che possiamo sintetizzare concettualmente in: analisi dello stato di fatto (valutazione *ex-ante*), proposta progettuale (ipotesi *ex-post*), valutazione dell'efficacia prestazionale (comparazione *ex-ante/ex-post*).

Nel analisi dello stato di fatto (valutazione *ex-ante*) vengono riportare le caratteristiche fisiche e materiche dello spazio urbano analizzato e definite le condizioni climatiche in cui sono simulate e valutate le prestazioni climatiche dello stato di fatto. Questa prima macro-fase è costituita da tre passaggi operativi chiave che sono applicati sia per le indagini sulle pericolosità termiche che in quelle idrauliche e sono riassumibili nella sequenza: *modellazione-simulazione termica/ valutazione idraulica- estrapolazione dei risultati*.

La proposta progettuale (ipotesi *ex-post*) si riferisce alla fase propositiva e ideativa in cui viene identificata una soluzione progettuale di adattamento. Tale operazione prefigura pertanto uno stato modificato che differisce da quello originario ed è oggetto della valutazione di efficacia. Questa seconda macro-fase ripercorre i tre medesimi passaggi descritti per la macro-fase

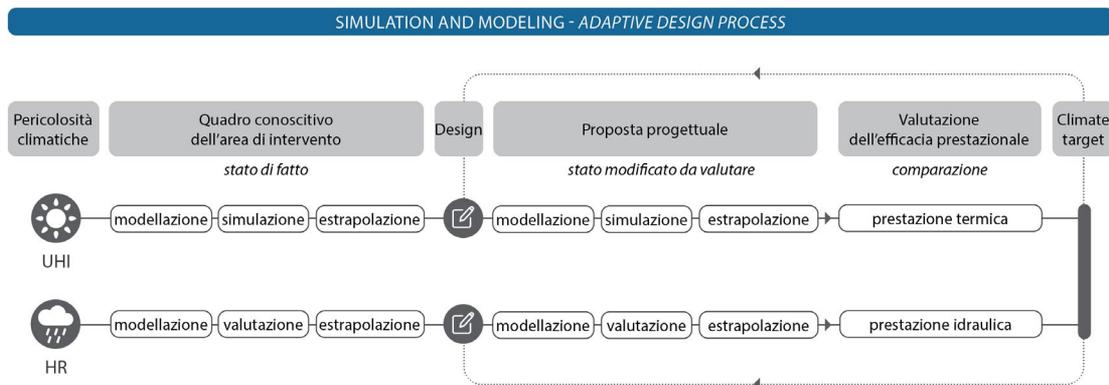


Fig. 2 - Schema metodologico per la valutazione dell'efficacia prestazionale delle soluzioni di adattamento climatico.

conoscitiva: *modellazione-simulazione termica/valutazione idraulica-estrapolazione dei risultati*. L'impostazione metodologica impiegata per le due precedenti macro-fasi permette di armonizzare i risultati delle simulazioni termiche e delle valutazioni idrauliche garantendo la comparabilità, nella terza macro-fase, e la valutazione del grado di efficacia prestazionale per le differenti soluzioni testate. Questo ultimo passaggio di comparazione e valutazione dei risultati ha lo scopo di misurare il miglioramento delle prestazioni termiche e idrauliche a seguito dell'inserimento della soluzione di adattamento e rappresenta un test di verifica che può essere reiterato all'interno del processo ideativo fino al raggiungimento delle *performance* ottimali.

Gli esiti della sperimentazione hanno confermato l'efficacia delle quattro soluzioni progettuali di adattamento testate e permesso di mettere a punto un processo di valutazione dell'efficacia prestazionale rispetto alle principali criticità climatiche ricorrenti in Europa. Il metodo sviluppato muove in direzione di una progettazione predittiva dei comportamenti climatici finalizzato all'adattamento climatico che si basa sul raggiungimento di specifici valori soglia prestazionali, misurabili attraverso simulazioni e valutazioni che impiegano strumenti di *Information Technology* (IT). L'approccio proposto si basa su un'organizzazione dinamica della fase progettuale e ideativa che attraverso simulazioni e valutazioni in ambiente digitale e con appropriati strumenti di IT, prefigura l'efficacia delle soluzioni di *adaptive design* per incrementare la resilienza, sviluppare l'adattamento e ridurre le vulnerabilità climatiche.

Come si evince dai risultati descritti nel capitolo precedente, i valori soglia identificati sono ben lontani dal raggiungimento della sensazione di benessere valutata dagli indici di Fanger (PMV e PET di Fig.1). È infatti utile ricordare che per gli ambienti esterni, in condizioni climatiche estreme quali le isole di calore urbane e gli allagamenti urbani valutati nelle sperimentazioni, risulta poco significativo tendere a tali valori. Per questo motivo, l'individuazione delle riduzioni specifiche rispetto a indicatori scelti è stato un criterio di misurazione dell'efficacia utile e adeguato agli obiettivi della ricerca. Tali riduzioni, infatti, non hanno come obiettivo il raggiungimento della soglia di benessere, ma bensì una riduzione dei valori massimi e minimi nella comparazione tra lo stato ex-ante ed ex-post.

Una reale efficacia delle soluzioni progettuali di adattamento in condizioni climatiche estreme si raggiunge attraverso una diffusa applicazione delle alternative progettuali, sia *nature based* che artificiali. L'impiego di strategie a livello distrettuale e/o cittadino sono in grado di migliorare significativamente gli impatti termici, causati dalle isole di calore urbane, e quelli idraulici, conseguenti all'eccessivo grado di impermeabilizzazione dei suoli nelle città.

References

Contesto di indagine, metodi e strumenti impiegati nella sperimentazione

- Ambrosini D., Galli G., Mancini B., Nardi I., Sfarra S., (2014) “Evaluating Mitigation Effects of Urban Heat Islands in a Historical Small Center with the ENVI-Met® Climate Model”, in *Sustainability vol. 6 n. 10*, Switzerland.
- Bologna R., Alberti F., Arnetoli M.V., Hasanaj G. (2021). “Vulnerabilità climatica e riqualificazione degli spazi pubblici del distretto urbano di Scandicci (Città metropolitana di Firenze)/Climatic vulnerability and redevelopment of public spaces in the urban district of Scandicci (Metropolitan city of Florence)”, in Bologna R., Losasso M., Mussinelli E., Tucci F., *Dai distretti agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/From urban district to eco-district. Knowledge methodologies, strategic programmes, pilot projects for climate adaptation*, Sant'Arcangelo di Romagna (RM) Maggioli, pp. 251-293.
- Bosco R., Cozzolino S., Donadio C. (2020), “Indice di permeabilità / Permeability index”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale / Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant'Arcangelo di Romagna, Maggioli, pp. 203-206.
- Cecafosso V. (2020), “Temperatura media radiante (TMR)/Mean radiant temperature (MRT)”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale / Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant'Arcangelo di Romagna, Maggioli, pp. 241-244.
- Cimillo M. (2020a), “Predict Mean Vote (PMV)”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale / Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant'Arcangelo di Romagna, Maggioli, pp. 249-252.
- Cimillo M. (2020b), “Physiological Equivalent Temperature (PET)”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale / Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Sant'Arcangelo di Romagna, Maggioli, pp. 245-248.
- Fabrizi K. (2017), “Guida all'utilizzo di Envi-met”, in *REBUS® RENovation of public Building and Urban Spaces*, Maggiolini editore, Centro stampa Regione Emilia-Romagna.
- IPCC, (2018), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Moccia, F.D., & Sgobbo, A. (2016). “Resilienza urbana e pluvial flooding: lo studio predittivo del comportamento idraulico urbano / Urban Resilience and pluvial flooding: the predictive study of the urban hydraulic behavior”, in D'Ambrosio, V. & Leone M.F. (eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza / Environmental Design for Climate Change adaptation. Innovative models for the production of knowledge*. CLEAN Edizioni, Napoli, pp. 136-145.

Regione Emilia-Romagna (2020), *Liberare il suolo. Criteri e linee guida per la resilienza urbana negli interventi di rigenerazione*, Save Our Soil 4 Life (SOS4LIFE), available at: <https://www.sos4life.it/documenti/> (accessed 16 January 2021)

Misurazioni dei risultati termici e idraulici delle soluzioni progettuali e modello di valutazione dell'efficacia all'adattamento climatico.

- Apreda, C. (2019), “Modelli di vulnerabilità ai fenomeni di heat wave e pluvial flooding in ambito urbano”, in D'Ambrosio, V., Leone, M.F. (eds), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. 2.Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici / Environmental design for climate change adaptation. 2. Tools and guidelines for climate risk reduction*, Clean, Napoli, pp. 58-71.
- Bassolino E. (2021), “Albedo”, in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna, pp. 199-202.
- Bruse M., Fleer H., (1998), “Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, in *Environmental Modelling & Software*, Volume 13, Issues 3–4, pp. 373-384.
- Bruse M., Dostal P., Huttner S., Katzschner A., (2009), “Strategies For Mitigating Thermal Heat Stress In Central European Cities: The Project Klimes”, in *The seventh International Conference on Urban Climate*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.
- Tsoka S., Tsikaloudaki A., Theodosiou T. (2018), “Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review”, in *Sustainable Cities and Society*, Volume 43, pp. 55-76.
- Nardino, M., Laruccia, N., (2019), “Land Use Changes in a Peri-Urban Area and Consequences on the Urban Heat Island”, in *Climate*, 7, p. 133.
- Soil Science Division Staff (2017) *Soil survey manual*, C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Regione Emilia-Romagna (2020), *Liberare il suolo. Criteri e linee guida per la resilienza urbana negli interventi di rigenerazione*, Save Our Soil 4 Life (SOS4LIFE), available at: <https://www.sos4life.it/documenti/> (accessed 16 January 2021)
- Rigillo M., Boccia L., Capolupo A., Majello M.C.V., “La conoscenza dei suoli urbani per la riduzione del rischio climate change” in D'Ambrosio V., Leone M., *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza / Environmental Design for Climate Change adaptation. Innovative models for the production of knowledge*, Clean, Napoli, pp. 126-135.
- Trimmel H., (2008), *Using Microscale Climatological Simulation in Landscape Planning - an ENVI-met 3 User's Perspective*, Institute of Meteorology - University of Applied Life Sciences - BOKU Wien, pp.
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., Meng, Q. (2013), “Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behaviour of different ground surfaces”, in *Building and Environment*, vol. 60, pp. 93–104.

PARTE V

CONSIDERAZIONI FINALI

CAPITOLO 8

Considerazioni conclusive della ricerca

I diversi aspetti indagati dalla presente ricerca rappresentano le tessere di un percorso che, come in un puzzle, risultano interconnesse tra di loro e ne definiscono l'immagine complessiva. Tutte le diverse parti sono collegate, ogni fase è strettamente correlata a quella precedente e costituisce la base di partenza per quella successiva. In questo ultimo capitolo, le varie parti che definiscono la ricerca vengono analizzate nel dettaglio, illustrando i principali risultati raggiunti e i contributi di originalità, descrivendo i limiti e le criticità riscontrate, ed infine, vengono ipotizzati alcuni possibili scenari di sviluppo futuri in riferimento al tema della progettazione per l'adattamento climatico.

8.1 - Risultati della ricerca e contributi di originalità

I principali risultati annoverabili al seguente lavoro di tesi di dottorato comprendono: la definizione di un quadro omogeneo di casi di studio di progetti di adattamento nel continente europeo; la costruzione di un repertorio di soluzioni progettuali per l'adattamento climatico; la verifica dell'efficacia delle soluzioni di adattamento alle specifiche pericolosità climatiche indagate dalla ricerca; la messa a punto di un modello replicabile in base al quale poter valutare l'efficacia *multi-hazard* delle differenti alternative progettuali.

L'analisi dei casi di studio ha permesso di costruire uno specifico quadro delle conoscenze di progetti per l'adattamento climatico che si riferisce alle principali regioni biogeografiche presenti in Europa. I progetti di *adaptive design* individuati rappresentano buone pratiche di adattamento riconosciute dai principali organismi internazionali nell'ambito del *Climate Change Adaptation*, si riferiscono a diversi ambiti urbani della città contemporanea e rispondono ad una o più criticità climatiche differenti. Tale operazione è risultata propedeutica, e pertanto fondamentale, all'individuazione delle principali soluzioni progettuali di adattamento al cambiamento climatico, al loro funzionamento rispetto alle diverse pericolosità climatiche e alla valutazione dei risultati finali conseguiti. Hanno rappresentato esiti altresì significativi, all'interno di questa prima fase analitica del lavoro, anche le informazioni acquisite sui livelli di *governance*, sulle differenti strategie di intervento messe in campo e sugli elementi dello spazio urbano coinvolti nel progetto. In particolare, i progetti di adattamento climatico, hanno evidenziato la scelta di intervenire sullo spazio aperto delle città, tramite una gestione pubblica degli interventi e attraverso strategie olistiche di carattere infrastrutturale, capaci di offrire nuova linfa agli insediamenti urbani maggiormente stressati da condizioni climatiche avverse. Inoltre, tali conoscenze rappresentano informazioni utili per guidare una rigenerazione del tessuto urbano non solamente dal punto di vista fisico, climatico e ambientale ma offrendo un significativo contributo anche in termini economici e sociali.

Il repertorio di soluzioni progettuali ha permesso di identificare 21 differenti alternative tecniche e spaziali dal quale poter attingere per orientare la costruzione di un progetto *climate-oriented* basato sulla resilienza e l'adattamento climatico. Tale risultato rappresenta un fondamentale strumento a disposizione di progettisti, amministratori, decisori politici e aziende produttrici, in quanto costituisce un contributo originale e attualmente non documentato in letteratura scientifica e tecnica nel campo dell'architettura. Pertanto, grazie al repertorio è possibile selezionare la soluzione progettuale o il gruppo di soluzioni adattive più adeguate alle specificità del contesto di intervento, alle differenti pericolosità climatiche da affrontare, in relazione ai meccanismi di funzionamento o in riferimento ai principali indicatori climatici. Attraverso il repertorio è inoltre possibile identificare le soluzioni appartenenti alla macro-classe delle *nature based solutions* oppure a quella delle soluzioni artificiali. Un ulteriore approfondimento è stato fatto in relazione alla tipologia: le soluzioni sono state classificate in *green solutions*, quelle con un prevalente carattere naturale, *grey solutions*, quelle contraddistinte da elementi artificiali, e *blue solutions*, che identificano le alternative progettuali, sia verdi che grigie, che presentano una particolare predisposizione al contrasto della pericolosità idraulica. Infine, l'ultima catalogazione, che si riferisce alle categorie di intervento, permette di selezionare la soluzione progettuale in riferimento alla sua conformazione tipologica-spaziale di applicazione. Rappresentano un esempio di tale distinzione tassonomica i canali, i bacini, gli elementi puntuali oppure quelli a prevalente sviluppo superficiale.

In merito alla terza fase della ricerca un importante risultato è stato quello della determinazione dell'efficacia di un campione di quattro soluzioni progettuali desunte dal repertorio. Quest'operazione ha consentito di valutare le risposte termiche e idrauliche delle differenti alternative progettuali, testate attraverso strumenti informatici e modelli valutativi predittivi. L'impiego di strumenti e metodi di analisi e valutazione preventiva, come il software ENVI-met e il metodo predittivo sul comportamento idraulico, permettono di prevedere il comportamento climatico in seguito all'inserimento di determinate alternative progettuali e misurarne la risposta in termini di adattamento. Gli esiti di tale sperimentazione hanno confermato con differenti gradi di incisività l'efficacia di tutte le soluzioni di adattamento testate sia per il contrasto alle pericolosità generate da stress termico che a quelle conseguenti i fenomeni di precipitazioni estreme.

Un ulteriore contributo originale dalla ricerca si riferisce alla determinazione della capacità di adattamento *multi-hazard* per le quattro differenti alternative progettuali valutate e la messa a punto di un modello generale replicabile per la loro valutazione. Questa operazione ha permesso alle soluzioni di adattamento di essere analizzate in maniera non settoriale rispetto alle differenti pericolosità climatiche che si abbattano sull'ambiente costruito della città e di essere privilegiate tra le diverse alternative progettuali per le loro caratteristiche di contrasto ad una molteplicità di *hazard* climatici. Tale operazione è stata espletata attraverso la definizione di una valutazione sintetica che descrive, attraverso l'utilizzo di un punteggio, il grado di adattamento alle pericolosità delle isole di calore urbane, del *pluvial flooding* e *multi-hazard*.

In definitiva, l'insieme dei prodotti contenuti nella presente ricerca, dalla raccolta e analisi di casi di studio di progetti di adattamento climatico, alla costruzione di un repertorio di soluzioni tecnologiche-spaziali e alla loro valutazione prestazionale, fino alla definizione di un modello per la simulazione/valutazione dell'efficacia per l'incremento delle capacità di adattamento specifiche e/o *multi-hazard*, costituiscono un importante bagaglio di conoscenze per la prefigurazione di un adeguato progetto di *adaptive design*, capace di guidare la transizione verso sistemi urbani resilienti.

8.2 - Limiti e criticità della ricerca

I principali limiti riscontrati nelle diverse attività del lavoro di ricerca sono riferibili principalmente alla fase di analisi, che ha contraddistinto la *Parte II* della ricerca in riferimento ai casi studio di progetti per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico, e alla fase propositiva della *Parte IV*, dedicata alla costruzione del modello per la valutazione dell'efficacia prestazionale di un campione di soluzioni progettuali.

Nella fase di analisi della ricerca è interessante osservare che le principali pratiche di adattamento urbane si concentrano sulle pericolosità delle temperature elevate, delle precipitazioni estreme che causano allagamenti urbani e dei fenomeni di siccità e scarsità idrica. Un fattore limitante è rappresentato dal fatto che, rispetto a questi esempi progettuali di adattamento in Europa, nessuno opera per il contrasto alle tempeste di vento. Tale mancanza conoscitiva viene dichiarata anche nell'ultimo report sull'adattamento delle città pubblicato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente che conferma la scarsità di studi e progetti in merito alle misure di adattamento urbano per fronteggiare le tempeste di vento. Al contrario, nel repertorio di soluzioni progettuali, questa carenza non si ripropone in quanto sono presenti soluzioni di adattamento (come, ad esempio, le alberature e le coperture urbane) che rappresentano valide alternative per difendersi dai flussi di vento estremo.

Se da un lato la scarsità di informazioni progettuali di casi di studio per il contrasto alle tempeste di vento in Europa rappresenta certamente una carenza rilevante visto l'inasprimento nel numero e dell'intensità di tali fenomeni climatici estremi, dall'altra parte questa mancanza rappresenta un'interessante opportunità per ampliare l'attività di ricerca futura su questo campo di indagine. Per quanto riguarda la fase propositiva della ricerca, le principali limitazioni si riferiscono alle sperimentazioni sia termiche che idrauliche per la misurazione dell'efficacia prestazionale delle soluzioni progettuali. In particolare, nell'impiego del software di simulazione microclimatica ENVI-met il principale limite riscontrato riguarda la significativa quantità di tempo necessario che passa dal momento in cui prendono avvio le operazioni di modellazione (e ancora prima di definizione di un quadro di conoscenze completo sull'area da analizzare) fino al raggiungimento dei risultati finali (ovvero in cui si valutano le comparazioni). Tale criticità si concentra principalmente nella fase di simulazione che, come abbiamo avuto modo di descrivere nel capitolo sesto, nonostante venga opportunamente tarata, impiega molto tempo nell'eseguire tutto il processo di calcolo.

Nelle operazioni di valutazione idraulica eseguite con il metodo predittivo la principale limitazione si riferisce all'impiego di un metodo di calcolo semplificato rispetto ai più complessi software di analisi della gestione idraulica forniti dagli strumenti ingegneristici. Se da un lato, ai fini della valutazione dell'efficacia idraulica, il metodo predittivo ha rappresentato uno strumento valido nel misurare l'efficacia delle soluzioni progettuali, dall'altro, l'utilizzo di uno strumento IT, al pari di ENVI-met, per le questioni idrauliche riferite principalmente alle piogge estreme, avrebbe fornito certamente un contributo significativo nella direzione di una maggiore precisione nei risultati.

8.3 - Prospettive future

Nei prossimi anni le mutazioni climatiche continueranno ad abbattersi sugli insediamenti urbani con sempre maggior violenza e un tendenziale peggioramento degli impatti, in termini di isole di calore urbane, allagamenti pluviali, siccità e tempeste di vento. A fronte di tali circostanze, risulta pertanto quanto mai necessario disporre di metodi, strumenti e soluzioni progettuali basate sull'*adaptive design*, al fine di fronteggiare i rischi connessi ad un clima in costante mutamento e colmare le carenze conoscitive e normative nazionali ed europee che ancora sono presenti sulle questioni dell'adattamento climatico.

La ricerca sulle tematiche della progettazione adattiva è costantemente *in progress* e richiede, oltre ad una visione globale attenta ai fenomeni climatici, una pragmatica azione-sperimentazione locale *site specific*. La sfida del cambiamento climatico impone una seria riflessione sulla preparazione delle città e delle infrastrutture territoriali di base come gli ospedali, le scuole, le università, l'edilizia residenziale pubblica e tutti gli spazi urbani pubblici per fronteggiare gli attuali e i futuri eventi climatici severi.

In riferimento al presente studio, le ricerche future potrebbero, da un lato, ampliare il campo di indagine delle esperienze progettuali di adattamento climatico a differenti contesti geografici, dall'altro, incrementare il numero di casi studio in modo da individuare un maggiore numero di soluzioni e strategie urbane per l'adattamento climatico delle città. Sulla base di tali considerazioni, un ulteriore avanzamento della ricerca è rappresentato dall'integrazione dei cataloghi e dei *database* dalle piattaforme di organi istituzionali che operano nel campo del *climate change adaptation* (come ad esempio C40, Climate Adapt, Rockefeller Foundation, Metro Adapt Platform, etc.) con

le università, i centri di ricerca e gruppi di lavoro. Ciò permetterebbe di armonizzare e snellire l'enorme quantità di informazioni spesso disorganizzate e disomogenee in merito all'argomento. Per quanto riguarda il repertorio di soluzioni progettuali di adattamento, tale risultato non rappresenta certamente un traguardo definitivo delle possibili alternative esistenti ma costituisce una prima stesura che sicuramente potrà essere incrementata. Alle future ricerche si richiede di operare secondo due principali direzioni di sviluppo, una verticale e l'altra orizzontale. Nello sviluppo verticale sarà da privilegiare la ricerca specifica *indeep* sull'efficacia delle soluzioni e sulla definizione delle caratteristiche specifiche delle differenti alternative progettuali. Tale operazione è fondamentale per assicurare un adeguato livello di approfondimento a tutte le scale del processo edilizio senza limitarsi alla fase del preliminare. Nello sviluppo orizzontale si dovrà privilegiare lo studio di nuove soluzioni progettuali di adattamento in risposta al maggior numero di pericolosità climatiche, *singole o multi-hazard*. Il fine di tale operazione è quello di ampliare il numero di alternative progettuali a disposizione di progettisti, amministratori, decisori politici e ditte produttrici. Un contributo in questi termini è rappresentato dall'utilizzo di strumenti informatici che possano costituire cataloghi *online*, aperti e aggiornabili.

Nella fase di sperimentazione e proposizione, le future ricerche dovranno in primo luogo individuare metodi e strumenti che siano in grado di restituire uno stesso numero di *output* a conclusione del processo di valutazione dell'efficacia termica e idraulica. Si raccomanda pertanto l'utilizzo di software IT che possano operare in parallelo senza creare una disparità in termini di comparabilità e affidabilità dei risultati. In merito alle analisi sul *comfort outdoor* è utile avviare la sperimentazione anche su altre fasce di popolazione sensibile quale può essere ad esempio la popolazione anziana che è altamente vulnerabile alle questioni climatiche.

In definitiva le aree di indagine che si aprono a conclusione del presente lavoro di ricerca mostrano nuovi obiettivi e prospettive di sviluppo estremamente rilevanti ma presentano sempre come obiettivo comune quello di costruire sistemi urbani più resilienti per il benessere e la salute dei cittadini.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA