

PROGETTAZIONE AMBIENTALE, RISCHI COMPLESSI E CRISI CLIMATICA

Sistemi di adattamento per il contrasto
degli impatti climatici negli insediamenti urbani

PhD Candidate: **Sara Verde**

Tutor: **prof. arch. Mario Losasso**
Co-tutor: **prof. arch. Valeria D'Ambrosio**

PROGETTAZIONE AMBIENTALE, RISCHI COMPLESSI E CRISI CLIMATICA

Sistemi di adattamento per il contrasto degli
impatti climatici negli insediamenti urbani

Università degli Studi di Napoli Federico II

DiARC –Dipartimento di Architettura

Dottorato di Ricerca in Architettura XXXVI ciclo

Coordinatore: prof. arch. Fabio Mangone

Area Tematica: Tecnologie sostenibili, recupero e rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente

Settore Scientifico Disciplinare: Tecnologia dell'Architettura – SSD ICAR 12

PhD Candidate: **Sara Verde**

Tutor: **prof. arch. Mario Losasso**

Co-tutor: **prof. arch. Valeria D'Ambrosio**



Università degli Studi
di Napoli "Federico II"



dottorato di ricerca
in architettura



DiARC
dipartimento di architettura
università degli studi di napoli federico II
scuola politecnica e delle scienze di base

Indice

Introduzione	6
Domanda e obiettivi di ricerca	7
Metodologia della ricerca	8
Output della ricerca	9
 Parte 1 - LO SCENARIO DI RIFERIMENTO: CONDIZIONI DI POLICRISI E MULTIRISCHIO CLIMATICO NEGLI INSEDIAMENTI URBANI	10
1 CRISI INTERCONNESSE E RISCHI COMPLESSI PER L'AMBIENTE COSTRUITO	12
1.1 Gli scenari di crisi nel nuovo regime climatico	13
1.1.1 Dalle crisi alle policrisi nello scenario abitativo contemporaneo	13
1.1.2 L'innovazione dei modelli abitativi come risposta alle crisi	16
1.1.3 L'emergenza ambientale nel nuovo regime climatico	29
1.2 Le condizioni multirischio negli insediamenti urbani e metropolitani	33
1.2.1 Evoluzione e definizione del concetto di rischio	33
1.2.2 Rischi complessi: rischi a cascata e rischi composti	39
1.2.3 I rischi climatici in ambito urbano	43
Riferimenti bibliografici	47
2 MODELLI DI CONOSCENZA DEI RISCHI CLIMATICI NEGLI INSEDIAMENTI URBANI	54
2.1 Modelli per la valutazione dei rischi climatici negli insediamenti urbani	55
2.1.1 L'approccio <i>hazard/risk based</i> : le posizioni della ricerca scientifica	55
2.1.2 Analisi e classificazione degli <i>hazard</i> agenti nei contesti urbani	60
2.1.3 Gli impatti climatici nei contesti urbani	64
2.2 La conoscenza dei sistemi urbani complessi nelle condizioni multirischio	68
2.2.1 Tassonomie per la conoscenza dei tessuti urbani	68
2.2.2 Gli indicatori di impatto alla scala urbana ed edilizia	74
Riferimenti bibliografici	80
 Parte 2 - IL CONTRASTO DEGLI IMPATTI CLIMATICI IN CONDIZIONI MULTIRISCHIO	86
3 RISCHI CLIMATICI, CLIMATE ADAPTATION DESIGN, APPROCCI DELLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE	89
3.1 <i>Climate Adaptation Design</i> per il contrasto degli impatti climatici	90
3.1.1 Adattamento climatico: un concetto in evoluzione	90
3.1.2 Direttive internazionali e nazionali per l'adattamento climatico	96
3.1.3 L'integrazione degli approcci <i>Climate Change Adaptation e Disaster Risk Reduction</i>	101
3.1.4 L'adattamento per il contrasto degli impatti climatici in ambito urbano	103
3.2 La Progettazione Ambientale per il progetto resiliente dell'ambiente costruito	115

3.2.1	L'approccio della Progettazione Ambientale al progetto urbano	115
3.2.2	Il progetto <i>climate-resilient</i> per il contrasto degli impatti climatici	119
	Riferimenti bibliografici	130
4	IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA: UNO STRUMENTO DI SUPPORTO DECISIONALE PER IL PROGETTO DI ADATTAMENTO CLIMATICO	137
4.1	La valutazione degli impatti climatici in condizioni multirischio	138
4.1.1	La proposta di un <i>workflow</i> operativo per la valutazione degli impatti climatici 138	
4.1.2	<i>Framework</i> concettuale	140
4.1.3	<i>Workflow</i> operativo	144
4.2	Il <i>Proof of Concept Design Process</i> per il supporto decisionale degli interventi di adattamento climatico in scenari multirischio	152
4.2.1	I principi del <i>Proof of Concept</i> : definizione e obiettivi	152
4.2.2	Lo sviluppo del PoC in ambito urbano	156
4.2.3	Sistemi di adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia	159
4.3	<i>Output</i> della ricerca: <i>workflow</i> processuale per il progetto di adattamento climatico in ambito urbano	174
	Riferimenti bibliografici	179
	Parte 3 - UN CASO APPLICATIVO. L'AREA DI NAPOLI EST COME CONTESTO URBANO CRITICO AI RISCHI CLIMATICI	184
5	UN'APPLICAZIONE SPERIMENTALE PER IL TESTING DEL WORKFLOW PROCESSUALE DI SUPPORTO ALLE DECISIONI	187
5.1	L'area di Napoli est nella sua dimensione urbana e ambientale	188
5.1.1	Il contesto territoriale e insediativo	188
5.1.2	Gli impatti climatici sul sistema edifici-spazi aperti	192
5.2	La valutazione degli impatti derivanti da scenari di multirischio climatico	195
5.2.1	Applicazione del <i>workflow</i> operativo in relazione agli <i>hazard</i> climatici <i>heat wave</i> e <i>pluvial flooding</i>	195
5.2.2	Elaborazione delle carte di impatto integrato	203
5.3	Il <i>Proof of Concept Design</i> per il progetto di adattamento climatico negli insediamenti urbani	206
5.3.1	Definizione dell'obiettivo del PoC e individuazione delle aree di <i>testing</i> ..	206
5.3.2	Modellazione e simulazione per la valutazione della capacità di adattamento agli impatti integrati	207
5.3.3	<i>Progressive upgrade approach</i> e categorie di intervento per il progetto di adattamento climatico	211
5.3.4	Fase di <i>testing</i> e scheda di valutazione	213
5.3.5	Verifica dell'efficacia del PoC	240
5.3.6	Relazione tra i sistemi tecnici per l'adattamento climatico degli spazi <i>outdoor</i> e gli indicatori di impatto all' <i>heat wave</i> e al <i>pluvial flooding</i>	244
	Riferimenti bibliografici	251
	Conclusioni	256

Introduzione

Negli ultimi anni si è affermata la crescente consapevolezza che le crisi generate dal cambiamento climatico e dal degrado ambientale, oltre che da processi di globalizzazione, catastrofi naturali, shock energetici ed economici, pandemie e instabilità geopolitica, si stiano moltiplicando e sovrapponendo in maniera tale che non debbano più essere considerate come eventi unici o straordinari ma come una serie di fattori con i quali convivere all'interno di importanti implicazioni per gli insediamenti urbani e metropolitani.

Lo scenario attuale è caratterizzato da **crisi urbane interconnesse e convergenti** che stanno influenzando in modo significativo gli stili di vita degli abitanti e hanno conseguenze importanti per lo stesso spazio urbano.

In questo contesto, le emergenze ambientali acquisiscono un posto di primo piano nel panorama degli eventi quotidiani che coinvolgono tutti gli aspetti abitativi. Gli stati emergenziali, non più circoscrivibili a soli eventi calamitosi e straordinari, si estendono alla molteplicità delle forme ordinarie dell'abitare, trasformandosi in condizioni croniche di **rischio** per le pratiche residenziali, lavorative e ricreative, ai vari livelli del sistema insediativo.

Accanto alle importanti sfide in ambito urbano messe in atto dalla sempre maggiore presa di coscienza dell'emergenza climatica, la pandemia da COVID-19, l'instabilità politica e la recrudescenza della guerra all'interno dei confini dell'Unione Europea hanno evidenziato la **fragilità dei sistemi** fisici e socioeconomici nell'attuale condizione comunemente definita di **policrisi**. Questa condizione evidenzia le vulnerabilità dei sistemi in scenari multirischio delineando così la consapevolezza di vivere in una "**società del rischio**" che hanno rivelato problematiche specifiche in diversi ambiti.

In questo contesto, gli **insediamenti urbani e metropolitani**, oltre a caratterizzarsi come fattori di pressione sul sistema climatico-ambientale e globale, si configurano come le aree **maggiormente vulnerabili** agli impatti generati dai rischi ambientali, naturali e antropici. Tali impatti sono dipendenti dalla pericolosità dell'evento in atto e sono diretta conseguenza di fattori intrinseci – sia fisici che sociali - del sistema colpito.

Alla luce di tali riflessioni, di grande interesse e attualità appare il **rapporto tra crisi, rischi e impatti** sulle città nel nuovo regime climatico. In questo contesto, la condizione di **multirischio climatico** determinano alla scala urbana ed edilizia richiedono approcci innovativi nella conoscenza e nella valutazione degli impatti integrati dei rischi climatici e rendono necessaria l'adozione di strategie mirate alla riduzione della vulnerabilità dei sistemi colpiti e all'aumento della loro capacità di **adattamento**. A tal scopo, la **Progettazione Ambientale** assume un ruolo centrale, essendo dotata di appropriati strumenti metodologici per affrontare le **complesse interazioni tra progetto di architettura e contesto ambientale** al fine di garantire una maggiore qualità dello spazio abitativo e raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale nel contesto definito dalla condizione di multirischio nell'attuale regime climatico.

Domanda e obiettivi di ricerca

Lo scenario attuale ha determinato anche sulla spinta di direttive e programmi di ricerca internazionali e nazionali lo sviluppo di progetti innovativi, pianificazioni, progetti pilota e processi di gestione mirati a migliorare le capacità di risposta delle città alle condizioni multirischio in particolare quelle connesse ai fenomeni climatici pericolosi. Dallo stato dell'arte emerge, tuttavia, ancora una difficoltà nello sviluppo di metodologie e modelli simulativi che tengano conto delle **interazioni tra i diversi rischi** (*compound o cascading effect*) (Pescaroli & Alexander, 2018) e gli impatti che questi determinano sul sistema urbano, una scala dei modelli di analisi del rischio esistenti troppo ampia (livello regionale) per rapportarsi alla scala locale e quindi, non in grado di supportare efficacemente il progetto alla scala urbana ed edilizia e una mancanza di **interazione tra i modelli esistenti di analisi del rischio climatico e le modalità di intervento di adattamento** per il contrasto degli impatti climatici negli insediamenti urbani e metropolitani.

In questo contesto, diventa fondamentale sviluppare la capacità di elaborazione e integrazione di dati e informazioni provenienti da fonti di acquisizione differenti per la valutazione dei rischi e implementare strumenti di supporto al processo decisionale in grado di orientare il progetto in chiave *climate-proof* alla scala locale tramite l'impiego di soluzioni tecnico ambientali.

Sulla base di tali premesse, la **domanda di ricerca** si è soffermata sulla comprensione della relazione tra rischi, crisi e impatti. In che modo si sono sviluppate le modalità di risposta dei modelli abitativi alle crisi nel contesto europeo alla scala urbana ed edilizia? Quali sono le modalità di conoscenza, valutazione e trasferimento dell'analisi dei rischi climatici e qual è il loro contributo per il supporto al progetto di adattamento climatico degli insediamenti urbani nel campo della Progettazione Tecnologica e Ambientale.

Il lavoro di ricerca si propone, quindi, i seguenti **obiettivi generali**:

- di indagare possibili modalità di conoscenza e di valutazione multirischio (climatico) sulla base di scenari di impatto definiti derivanti da *hazard* diversi –
- di implementare un approccio metodologico sperimentale basato sul *Proof of Concept Design Process* per il supporto decisionale al progetto di adattamento climatico alla scala locale negli insediamenti urbani.

Al fine di rispondere alla domanda di ricerca, gli obiettivi generali possono essere distinti nei seguenti obiettivi specifici:

- sperimentare una riduzione della scala dei modelli di analisi multirischio attraverso la proposta di un *workflow* operativo di valutazione degli impatti climatici integrati che sia potenzialmente trasferibile e replicabile rispetto ad altri modelli di valutazione del rischio;
- proporre uno strumento di supporto decisionale al progetto di adattamento climatico attraverso l'applicazione sperimentale della metodologia del *Proof of Concept* agli interventi alla scala urbana ed edilizia;

- definire indicatori e indici per la valutazione preliminare della capacità di adattamento in condizioni di multirischio climatico, in particolare rispetto agli impatti derivanti dai fenomeni pericolosi di *heat wave* e *pluvial flooding*.

Metodologia della ricerca

La ricerca, guidata da un approccio sistemico e multidisciplinare proprio della Progettazione Tecnologica e Ambientale, ha seguito un percorso articolato in tre fasi: analitico/conoscitiva, sintetico/comparativa, sperimentale.

Nella prima **fase analitico/conoscitiva**, il lavoro di ricerca si è focalizzato sull'analisi dello stato dell'arte ai fini della formulazione delle ipotesi e della domanda di ricerca. In particolare lo studio ha riguardato la condizione di crisi interconnesse e convergenti, la relazione tra rischi, crisi e impatti, il tema dei rischi complessi nel nuovo regime climatico relativamente agli impatti che questi determinano sugli insediamenti urbani e l'evoluzione dell'approccio ambientale al progetto in condizioni di multirischio climatico.

La **fase sintetico/comparativa** ha portato alla definizione dell'approccio metodologico per la costruzione di un *workflow* processuale di supporto decisionale al progetto di adattamento climatico negli insediamenti urbani. La prima parte ha riguardato un'analisi con un approccio comparativo e deduttivo degli attuali approcci *hazard* e *risk based* per la valutazione multirischio in generale con un focus sui rischi climatici che ha portato alla definizione di un *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato dei rischi climatici derivanti dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* alla scala urbana ed edilizia. Il *framework* concettuale e operativo è stato sviluppato in ambiente GIS a partire dall'analisi e dai database dei modelli di valutazione dei rischi climatici negli insediamenti urbani prodotti nell'ambito delle ricerche *Metropolis – Metodologie e tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza di sistemi urbani*" (PONREC 2007/2013 - Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio) e *Planner – Piattaforma per la gestione dei rischi naturali in ambienti urbanizzati* (Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio). Parallelamente, a partire dall'analisi di casi studio internazionali e di cataloghi di soluzioni di intervento *climate-proof*, è stato sviluppato un approccio metodologico, basato sulla metodologia del *Proof of Concept Design*, di supporto al progetto di adattamento climatico per il contrasto degli impatti.

Nella **fase sperimentale**, il *workflow* processuale proposto è stato testato sulla città di Napoli. Innanzitutto, sulla base dei dati forniti dai modelli di valutazione dell'impatto climatico derivante dai fenomeni di *pluvial flooding* e di *heat wave* rispettivamente provenienti dalle ricerche *Metropolis* e *Planner*, il *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato, sviluppato tramite l'utilizzo di strumenti IT (*GIS-based*), è stato testato per la macroarea di Napoli est al fine di individuare sulla base delle caratteristiche di vulnerabilità, esposizione e *hazard* le aree maggiormente critiche. Successivamente, per alcune di queste aree *hotspot* è stato applicato l'approccio metodologico del

Proof of Concept per l'individuazione delle categorie di intervento per il progetto di adattamento climatico per il contrasto di impatti climatici multipli attraverso un approccio ricorsivo di progressive upgrade e definendo un set di indici e indicatori per la valutazione della capacità di adattamento degli interventi proposti in condizioni multirischio.

Il lavoro di ricerca è stato svolto inoltre attraverso il confronto con le attività sviluppate nell'ambito delle ricerche *Planner – Piattaforma per la gestione dei rischi naturali in ambienti urbanizzati* (Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio) e *RETURN - multi-Risk sciEnce for resilienT commUnities undeR a changiNg climate*, più recente, all'interno del *Partenariato EstesopNRR – PE3 Rischi ambientali, naturali e antropici*, che hanno rappresentato un *background* di dati, metodologie e aspetti metaprogettuali utili al tema dottorale.

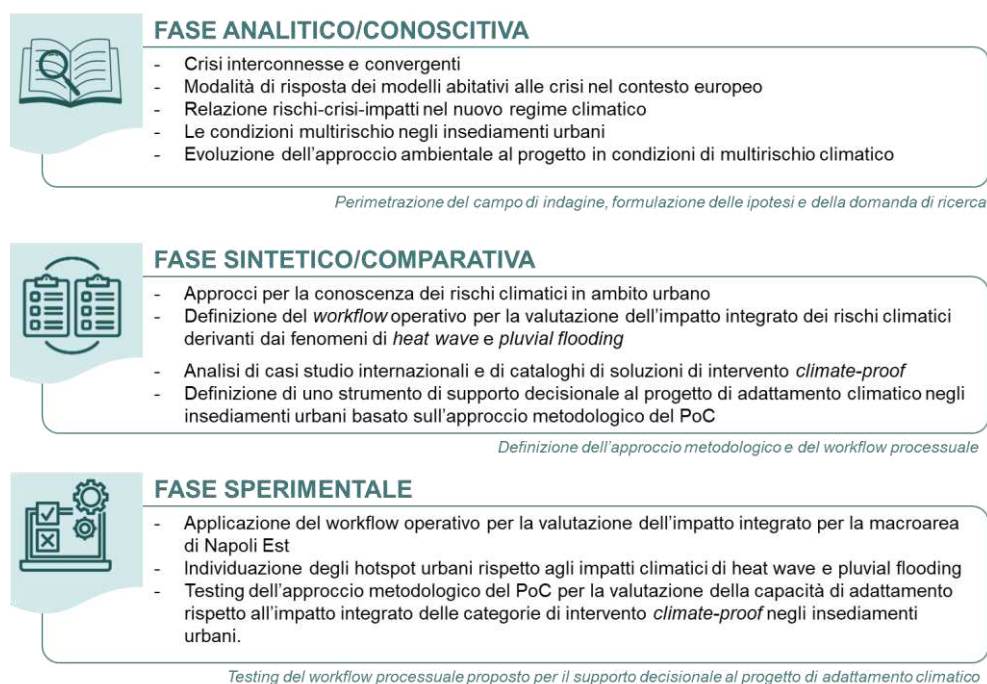


Figura 1 - Le fasi della ricerca.

Output della ricerca

L'output della ricerca si configura nella definizione di un **workflow processuale di supporto alle decisioni per il progetto di adattamento climatico in condizioni di multirischio**, sviluppato in due fasi.

La prima fase consiste nella costruzione del **workflow operativo** per la valutazione dell'impatto integrato derivante da *heat wave* e *pluvial flooding* finalizzato all'individuazione degli *hotspot* urbani.

Mentre, la seconda fase delinea, attraverso l'approccio metodologico del **proof of concept**, una modalità semplificate per la dimostrazione e la valutazione della capacità di adattamento climatico alla scala del progetto urbano, tramite categorie di intervento-tipo, degli interventi *climate-proof* per il contrasto dell'impatto integrato di *heat wave* e *pluvial flooding*.

Parte 1

**LO SCENARIO DI RIFERIMENTO: CONDIZIONI
DI POLICRISI E MULTIRISCHIO CLIMATICO
NEGLI INSEDIAMENTI URBANI**

Il recente periodo della pandemia ha reso evidente la vulnerabilità degli insediamenti urbani rispetto agli impatti delle crisi. In particolare, ha rimesso in luce un dibattito che, sin dagli anni '70 affronta il tema delle crisi periodiche che permeano la nostra contemporaneità andando a costituire una condizione continua di policrisi. Attualmente, lo scenario globale è caratterizzato da una complessa interconnessione di crisi che vanno da quella sanitaria a quella economica a quella energetica, tutte sullo sfondo della più complessa crisi climatica, imponendo una risposta che sia altrettanto complessa e multipolare.

In questo contesto emerge la relazione che sussiste tra rischi, crisi e impatti, con particolare riferimento alle condizioni multirischio che hanno un impatto significativo sugli insediamenti urbani, caratterizzati dall'intricata interazione tra i sistemi biologici, infrastrutturali, geologici e geomorfologici, nonché socioeconomici che li costituiscono. Si manifestano in questo scenario una serie di rischi, sia di natura climatica che non climatica, che interagendo tra loro contribuiscono all'aggravamento degli impatti complessivi. L'emergere della condizione di policrisi e di rischi complessi, amplificati dal nuovo regime climatico, possono innescare il superamento di punti critici, noti come *breaking points*, compromettendo potenzialmente l'equilibrio dei sistemi socio-ecologici, ambientali ed urbani.

Negli ultimi decenni, in particolare, si è assistito a un'accentuazione significativa degli impatti del cambiamento climatico, soprattutto negli insediamenti urbani. Questa intensificazione si è tradotta in un incremento sia in termini di numeri che di gravità dei rischi climatici. Una delle conseguenze dirette di tutto ciò è stato l'incremento della frequenza di eventi catastrofici, sia di origine naturale che antropica. Tali eventi, a loro volta, hanno determinato un impatto significativo sulla salute umana, sui mezzi di sussistenza e sulle infrastrutture critiche, generando effetti negativi sull'integrità e sul funzionamento degli insediamenti urbani.

In questo contesto, il progetto alla scala urbana ed edilizia è chiamato a ridefinire il proprio ruolo riconoscendo le intricate relazioni che sussistono tra il contesto e le sue varie componenti, al fine di fornire risposte efficaci ai nuovi scenari multirischio. La sua funzione dovrebbe abbracciare un possibile cambio di paradigma attraverso l'adesione a fattori esterni come i nuovi valori di equità, la riduzione della pressione sull'ambiente, la promozione di modelli di sviluppo sostenibile e le nuove forme collaborative dell'economia. Un progetto urbano strategicamente evoluto e ambientalmente orientato deve basarsi su metodologie e azioni di sviluppo sperimentale secondo qualificazioni multidisciplinari, multiscalari, processuali e decisionali in cui sia prevalente il valore delle fasi di analisi e conoscenza, degli obiettivi e dei risultati da raggiungere rispetto al progetto inteso come prodotto.

In questo quadro, le nuove sfide che si delineano non possono essere efficacemente affrontate attraverso gli strumenti e le concezioni convenzionali. Si pone, quindi, la necessità di rivedere metodologie, approcci, strumenti e obiettivi, spingendo verso logiche di intervento che siano trasversali e non limitate a specifici settori disciplinari. Ciò richiede una sinergia di competenze eterogenee, promuovendo un dialogo interdisciplinare in una prospettiva olistica e integrata finalizzata ad affrontare le complessità che caratterizzano gli scenari attuali.

1 CRISI INTERCONNESSE E RISCHI COMPLESSI PER L'AMBIENTE COSTRUITO

1.1 Gli scenari di crisi nel nuovo regime climatico

1.1.1 Dalle crisi alle policrisi nello scenario abitativo contemporaneo

Nel nuovo regime climatico, il tema della **crisi** è diventato un fattore chiave nel dibattito legato alle emergenze ambientali che stanno interessando il sistema sociotecnico contemporaneo. Le crisi, nell'immaginario collettivo, comportano incertezza, urgenza e soprattutto impatti sui sistemi fisici e socioeconomici (Farazmand, 2016; Boin, Ekengren & Rhinard, 2016). Attualmente, l'**interconnessione tra rischi, crisi e impatti** è sempre più evidente. I rischi possono, infatti, possono derivare dalla presenza di vari *hazard*, fenomeni pericolosi che possono agire nell'ambito di disastri naturali, pandemie e cambiamenti climatici. Il manifestarsi di *hazard* può determinare crisi che sconvolgono le società e le economie, provocando impatti significativi, come la perdita di vite umane, danni alle infrastrutture, instabilità economica.

In un contesto così definito, una prima questione da affrontare è quella relativa alla definizione del concetto di crisi. Si tratta di un «concetto-processo» (Colloca, 2010), sulla definizione del quale hanno inciso nel tempo la speculazione intellettuale e il susseguirsi di riflessioni di natura culturale, economica, politica e sociale¹.

La crisi rappresenta il momento della scelta, indica una **modifica inaspettata e imprevedibile** di uno stato fisiologico che cambia radicalmente le condizioni di stato precedenti.

Nonostante il suo significato originario, oggi è abituale pensare alla crisi come a una frattura netta sottovalutando il concetto parallelo di apertura di nuovi percorsi e di nuove opportunità.

Con riferimento al concetto di “catastrofe”, Renè Thom² rilevava il **rapporto** evidente tra **crisi e catastrofe**. La prima spesso annuncia e provoca la seconda, anche se non è possibile definire un determinismo in tale relazione a causa del carattere fluttuante della crisi che può far sì che la stessa venga riassorbita senza lasciare traccia e senza provocare alcun mutamento evidente (Thom, 1980a; 1980b). Edgar Morin descrive invece la crisi **come l'aumento del disordine e dell'incertezza all'interno di un sistema** individuale o collettivo che provoca il blocco dei dispositivi di organizzazione, determinando da un lato delle rigidità e dall'altra lo **sblocco di virtualità fino allora inibite**. Nonostante le accezioni negative originatesi in particolare negli ultimi due secoli, infatti, la natura della crisi è di scatenare la ricerca di soluzioni nuove e può essere **fonte di progresso** (Morin, 1968; 1976; 2017). Zardini (Doglio & Zardini, 2021) fa risalire la crisi odierna

¹ La parola “crisi” deriva dal sostantivo greco *krisis* (κρίσις), e dal verbo *krino* (κρίνω). Entrambi i termini afferiscono all'area semantica di «separare», «decidere», «distinguere». Si può quindi pensare alla **crisi come un punto di svolta** in cui la differenza tra la realtà che precede quel momento e la realtà che lo segue è molto più marcata che nella maggior parte degli altri momenti (Diamond, 2019).

² La Teoria delle catastrofi, venuta alla luce negli anni '50 e '60 ed associata sostanzialmente al matematico francese René Thom (1923-2002) rappresenta un tentativo di spiegare le forme naturali, la loro origine, la loro permanenza e le loro trasformazioni. Partendo dall'osservazione dei fenomeni naturali, Thom considerava natura come un insieme di forme dinamiche, nel senso che nascono, entrano in conflitto e muoiono in un continuo divenire. I cambiamenti di forma vengono chiamati catastrofi (dal greco cambiamento, rovesciamento) e, più in generale, una catastrofe si verifica quando si rompe l'equilibrio di un sistema.

agli anni '70³, delineando quella che appare come una lunga **crisi climatico-ambientale, energetica, sanitaria**, che investe anche le istituzioni, il mondo del lavoro e lo stesso progetto moderno. Analogamente, Serres (2015) affronta la crisi finanziaria del 2007, individuando grandi eventi "critici" preannunciati da tempo e attribuibili secondo una visione ecosistemica alla mancata armonizzazione temporale e funzionale del rapporto tra uomo, ambiente e tecnologia. Latour (2017) non parla della **crisi** come di un evento contingente e rimovibile, ma come una **condizione perenne** a cui l'uomo deve continuamente prepararsi e a cui deve adattarsi. Diamond (2019), infatti, nel definire la crisi come "momento di verità", evidenzia come tale definizione comporti il problema pratico di definire quanto debba durare tale momento, quanto ampia la differenza tra condizioni precedenti e successive, e quale la frequenza che permette di distinguere i momenti effettivamente identificabili come crisi dagli episodi di minore importanza etichettabili come deviazioni temporanee dalla norma o come fasi di un'evoluzione graduale.

Negli **insediamenti urbani**, le **crisi** possono essere individuate **come un continuum** in cui le **vulnerabilità croniche** o gli stati strutturali di crisi **possono** essi stessi **portare a momenti episodici di shock acuti** (Robin, Chazal, Acuto & Carrero, 2019). Per esempio, il cambiamento climatico è un fenomeno che si sviluppa nel lungo periodo (anche se si manifesta attraverso eventi estremi), che nel tempo si è accumulato fino a minacciare le funzioni del sistema terrestre globale. Al contrario, la pandemia determinata dal COVID-19 è emersa come un momento di *shock* acuto e improvviso (Westman et al., 2022). Nel contesto attuale, risulta impossibile in ambito urbano affrontare le crisi come singoli processi o eventi. Ci troviamo in un'epoca di crisi urbane interconnesse e convergenti che influenzano in modo significativo gli stili di vita e hanno conseguenze importanti negli impatti sugli insediamenti urbani.

L'idea comune di crisi - intesa come una singolarità di durata limitata, un evento che può essere lasciato nel passato grazie alle misure intraprese per contrastarla - risulta attualmente inadeguata rispetto alla crescente complessità degli scenari socioeconomici e climatico-ambientali. Ciò si traduce nella visione della crisi come **condizione duratura** da cui è difficile distaccarsi e che richiede di «adottare tattiche più che strategie» (Pasqui, 2012) in modo permanentemente temporaneo.

³ Nel 1972, il Rapporto del Club di Roma *I limiti dello sviluppo* comincia a evidenziare l'incompatibilità tra cicli biologici e cicli tecnologici evidenziando come la terra possa essere identificata come un sistema chiuso all'interno del quale le risorse sono limitate e gli attuali ritmi di sviluppo dell'umanità stanno rapidamente distruggendo il capitale naturale e, se non verrà invertita la rotta, l'esito sarà inevitabilmente il raggiungimento del punto di crisi (alimentare, delle risorse non rinnovabili, da inquinamento, ecc.) e il collasso. La crisi energetica originata dall'Oil Shock del 1973 pose fine allo sviluppo economico che aveva caratterizzato l'occidente negli anni '50 e '60 con importanti conseguenze sull'industrializzazione che per la prima volta si trovò ad affrontare il problema del risparmio energetico. Con la crisi energetica del 1973 si cominciò a parlare di ecologia e di risparmio energetico, simboli di un cambiamento della mentalità della società internazionale e della vita di tutti i giorni.

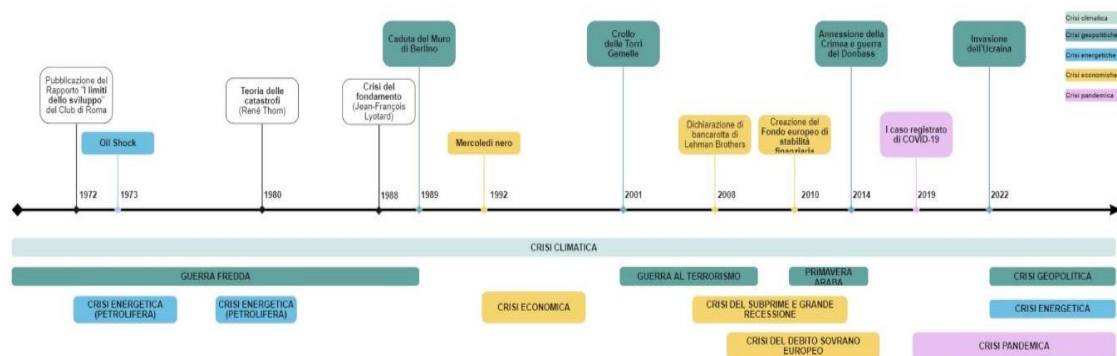


Figura 2 - Timeline dei principali fattori di crisi dal 1970 ad oggi

L'emergenza COVID-19 ha rappresentato un punto di svolta di grande rilevanza, configurando la prima emergenza globale in un'era dominata dalla rivoluzione industriale. Essa ha evidenziato la vulnerabilità del sistema socioeconomico e dei sistemi urbani sottoposti a una **molteplicità di impatti derivanti da una condizione di amplificazione e sovrapposizione dei rischi** ambientali in uno **stato persistente e strutturale di policrisi**⁴ in cui si intrecciano aspetti biologici, ambientali e socioeconomici (Butera, 2021) e che disvela oggi, più che in passato, la complessità quale attributo caratterizzante tutti i campi del sapere, che racchiude e svela aspetti inediti della realtà delle cose (Losasso, 1991).

La relazione tra rischi, crisi e impatti richiede un approccio adeguato per una gestione efficace. Lo stesso *IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change*, in riferimento al cambiamento climatico, riconosce che, nel momento in cui gli impatti climatici si intersecano con aree ad alta vulnerabilità, essi contribuiscono e aggravano le crisi già in atto in quelle regioni come, ad esempio, fame, mancanza di acqua, povertà, disuguaglianze sociali, migrazioni e guerre (IPCC, 2022a).

È importante comprendere la **connessione tra rischi, crisi e impatti** per sviluppare soluzioni resilienti in grado di affrontare le sfide poste dall'attuale situazione di crisi convergenti. Sebbene i rischi e, di conseguenza, le crisi che ne derivano non possano essere eliminati del tutto, una gestione efficace dei rischi, che consenta una risposta rapida alle crisi, può ridurre la gravità e prevenire gli impatti maggiori sugli insediamenti urbani.

La condizione di policrisi conferma il continuo allontanamento dell'agire e del pensiero contemporaneo dal progetto moderno e dai suoi rassicuranti fattori di emancipazione e progresso (Lyotard, 1987). In aggiunta a questo scenario, vanno inoltre considerati i rischi relativi all'interazione tra il rapido tasso di urbanizzazione e la densità di popolazione che insieme al crescente consumo delle risorse naturali hanno determinato negli ultimi anni lo squilibrio ecologico che ha poi portato all'esplosione pandemica. Se l'architettura contemporanea abbandona i processi lineari meccanici e abbraccia i processi di compressione spazio-temporale favoriti dalle tecnologie digitali (Harvey, 2015), la nuova scena che prende il sopravvento è quella di nuove complessità

⁴ Il termine "polycrisi" è già emerso in passato in riferimento alla crisi socio-economica affrontata dall'Unione Europea dopo la crisi del Subprime del 2008 (Mash, 2012; Zeitlin, Nicoli and Laffan 2019).

che richiedono nuovi sforzi collettivi per la loro comprensione e gestione. Le **crisi** rappresenterebbero, dunque, un **potente motore di cambiamento anche in ambito urbano**, generando impatti e nuovi “immaginari” ogni volta che cambiano gli equilibri (Brissette, 2016).

1.1.2 L'innovazione dei modelli abitativi come risposta alle crisi

Le società umane hanno sempre dovuto affrontare rischi e pericoli derivanti da eventi quali terremoti, inondazioni, epidemie, guerre, incendi, ecc. Nel corso dei secoli, a queste crisi se ne sono aggiunte di nuove derivanti, ad esempio, dalla possibilità di disastri chimici tossici o da ricadute radioattive connesse allo sviluppo di sostanze tossiche sintetiche nel XIX secolo e dell'energia nucleare nel XX secolo (Quantarelli, Boin & Lagadec, 2018). Ciò influisce sugli assetti delle città che, nel corso della loro storia, hanno affrontato molteplici crisi, da quelle sanitarie e ambientali alle guerre e alle grandi trasformazioni economico-sociali.

Dalla recessione economica e dall'austerità alle diseguaglianze e al razzismo, dalle pandemie ai rapidi cambiamenti tecnologici, dalla crisi climatica all'instabilità geopolitica, le sfide che gli insediamenti urbani si trovano ad affrontare non sono solo numerose ma sempre più interconnesse (Westman et al., 2022).

Le crisi delle città contemporanee sono per molti versi vicine all'esperienza storica; tuttavia, la loro velocità e il continuo sovrapporsi dilatano il senso di incertezza e amplificano la vulnerabilità urbana. Allo scopo di comprendere in che modo queste possano essere affrontate e quali misure adottare risulta significativa l'analisi di alcuni dei modelli abitativi emersi in Europa in risposta ad alcuni grandi periodi di crisi.

Periodo	Crisi	Caratteristiche principali dei modelli abitativi
Anni '20-'30	Crisi economica Crisi abitativa	Rapida urbanizzazione <i>Existenzminimum</i>
Anni '40-'60	Crisi economica Crisi abitativa	Quartieri sperimentali –Industrializzazione edilizia Città giardino (Europa) Abitazione di massa (piano INA Casa)
Anni '70-'80	Crisi energetica	Modelli sperimentali di case autosufficienti Rivisitazione del rapporto città-campagna Megastrutture urbane
Anni '80-'90	Crisi geopolitica (caduta del Muro di Berlino)	Quartieri sperimentali Principi della sostenibilità ambientale, economica e sociale
Anni 2000	Crisi economica Crisi climatica	Recupero e rinnovo urbano
Anni 2020	Crisi climatica Crisi pandemica Crisi energetica Crisi geopolitica	Risparmio e uso efficiente delle risorse

Tabella 1 - Crisi e modelli abitativi di risposta

In Europa, gli anni del **primo dopoguerra** (anni '20-'30 del '900) sono stati segnati da una forte **crisi degli alloggi** e dagli effetti della **crisi economica** determinata dal Crollo della Borsa di *Wall Street* nel 1929⁵.

Per far fronte alla carenza di abitazioni derivante dalle conseguenze generate dal conflitto, l'Europa è stata caratterizzata in questo periodo da una **rapida urbanizzazione**.

In questo scenario, si svolge il primo CIAM – Congresso Internazionale di Architettura Moderna (*Congrès Internationaux d'Architecture Moderne*) nel 1928 che si pone il problema di definire l'**esistenza minima**, ovvero i requisiti essenziali dell'unità abitativa minima accessibile con un reddito minimo. Tale tema associato a quello dell'uso efficace delle risorse assume rilevanza nel momento in cui l'Europa deve fronteggiare le conseguenze della Grande Depressione, a valle della crisi economica del 1929.

La rapida urbanizzazione, esito della necessità di dare una risposta intensiva alla crisi abitativa determinata dalle conseguenze del conflitto e della crisi economica, è guidata dal principio dell'**abitazione minima**, in contrasto con la città speculativa dell'800⁶, caratterizzata da edilizia seriale a basso costo, dotata di servizi e infrastrutture tali da garantire efficaci standard abitativi.

Il **secondo dopoguerra** (anni '50-'60 del '900) è nuovamente caratterizzato da una profonda **crisi economica**, che i Paesi europei fronteggiano utilizzando i fondi forniti dal Piano Marshall varato dagli Stati Uniti nel 1948. Tali aiuti oltre a fornire i mezzi per i generi di prima necessità furono anche alla base della **ricostruzione post-bellica** in tutto il Continente. Durante questo periodo di crescita negli anni '50 e '60, si diffonde una visione della società il cui obiettivo è quello di promuovere la stabilità sociale e la crescita economica. Le città in questo periodo sono pianificate secondo idee collegate alla nuova prosperità economica attraverso nuove relazioni spaziali fra costruito, società, ambiente, nuovi impianti insediativi, legati ai processi di espansione urbana nelle periferie attraverso innovative declinazioni del rapporto tipologia edilizia e morfologia urbana, sperimentazione dell'industrializzazione edilizia, di nuove forme di residenzialità (Kolbe, 2008).

In Europa, a partire dal dopoguerra, infatti, la necessità di ricostruzione è affiancata dall'urgenza di fornire una risposta coerente alla crescita delle città, conseguente ai flussi migratori dalle campagne

⁵ La mancata crescita del potere d'acquisto nonostante l'incremento di produttività e investimenti, la politica monetaria della Fed e la continua espansione del credito attraverso tassi artificialmente bassi e l'eccesso di prestiti a carattere speculativo sono alcune tra quelle considerate le principali cause della crisi culminata nel crollo della Borsa di Wall Street il 29 ottobre 1929. La ripresa si ebbe solo a partire dal 1933 con l'adozione di un programma di riforme economiche: il New Deal.

La crisi economica del 1929 da locale divenne globale in seguito a ruolo centrale assunto dall'economia degli Stati Uniti dopo la prima guerra mondiale. Essi rappresentavano, infatti, i principali fornitori di capitali nell'economia internazionale successiva alla Grande Guerra e il ritiro dei crediti determinò gravi conseguenze per le finanze e le economie dei paesi europei in ricostruzione (i.e. Germania e Austria). Tutti i Paesi europei risentirono della crisi economica statunitense e, in particolare, delle misure protezionistiche degli USA che furono adottate a loro volta da numerosi stati europei in difesa delle industrie nazionali [13].

⁶ Nel 1800 si assiste un'urbanizzazione rapida e incontrollata caratterizzata da condizioni igieniche scarse, inadeguatezza dei sistemi idrici e fognari, ecc. che hanno spesso determinato lo sviluppo di malattie come la tubercolosi e il colera. Sono rappresentative di ciò le "città di Mietskasernen" in Germania: le "caserme con alloggi in affitto", ovvero i grandi edifici costruiti in questo periodo per ospitare tutti coloro che arrivavano nella capitale in cerca di lavoro durante l'epoca dell'industrializzazione.

verso i centri urbani (Melotti, 2016). In questo contesto emerge il **tema dell'abitazione di massa** (Atzeni et al., 2018).

Con il CIAM di Otterlo del 1959 irrompe il **tema della memoria e della tradizione** pur nella continuità del moderno. Allo stesso tempo si manifestano nuovi principi legati al superamento dei criteri del funzionalismo moderno (come standard e zonizzazione, risultanti della *Functional City* e della Carta di Atene esiti del CIAM del 1933) e l'introduzione di nuovi caratteri quali il progresso tecnologico, la mobilità territoriale, la commistione delle funzioni specializzate e le nuove tipologie urbanistiche ed edilizie. I progetti realizzati in questo periodo risultano caratterizzati da: la forza dell'impianto, la riconoscibilità delle sequenze degli spazi, l'evidenza della modalità di concezione dei progetti, la costruzione in relazione al contesto ambientale e al clima, la capacità di affrontare il tema della quantità residenziale basandosi sulle relazioni con il contesto, sull'innovazione sociale (Losasso, 2018).

Se la costruzione anteguerra dei quartieri pubblici guardava ancora alla città consolidata riproponendo anche in periferia, la logica dell'isolato canonico, (Visconti, 2022). La ricostruzione post-bellica si sviluppa secondo diversi modelli abitativi:

- **quartieri sperimentali** caratterizzati da una forte spinta all'industrializzazione attraverso la sperimentazione di nuovi prototipi tecnologici-costruttivi e la prefabbricazione per velocizzare i tempi di costruzione di nuovi edifici residenziali (ne è rappresentativo il quartiere sperimentale QT8, a Milano);
- **New Towns**, un programma sviluppatosi in Europa e, caratterizzato da due obiettivi principali: il riequilibrio delle grandi concentrazioni urbane generate dallo sviluppo capitalistico e il decongestionamento dell'area londinese intorno alla quale gli insediamenti erano localizzati. Alla base della pianificazione di questi nuovi insediamenti possono essere identificati alcuni principi di base tra cui: l'intenzione correlata di incentivare una comunità attiva e una vita di quartiere in contrapposizione alla presunta "atomizzazione" e all'anonimato della grande città e il criterio di separazione tra pedoni e traffico stradale nella pianificazione delle reti stradali e di comunicazione (Clapson, 2017).
- **Quartieri del "neorealismo"**, tendenza, sviluppatasi nell'Italia del secondo dopoguerra, in cui la spinta al rinnovamento portò allo sviluppo di un nuovo linguaggio legato alla riutilizzazione di forme architettoniche legate alla tradizione, con una nuova razionalità del costruito che si riallaccia all'equilibrio della vita di borgo. In Italia, tutto ciò si lega all'introduzione del Piano INA-CASA, volto a favorire, oltre al rilancio dell'attività edilizia, anche l'assorbimento di un considerevole numero di disoccupati e la costruzione di alloggi per le famiglie a basso reddito. Nella costruzione fu favorito l'utilizzo di tecniche tradizionali al fine di garantire la maggiore occupazione possibile per far fronte alla disoccupazione dilagante negli anni del secondo dopoguerra. Con la costruzione di nuovi brani di città, interpretata dalla corrente neorealista, si cercò di adeguare le condizioni sociali, di vivibilità, di benessere e igienico-sanitarie mediante l'espressa volontà di organizzare in maniera distinta e funzionale parti della città. I nuovi insediamenti furono in grado non solo di definire

spazi per la condivisione e la socialità ma di dialogare in maniera coerente con le condizioni ambientali delle aree in cui si andarono a innestare.

Nel 1973 l'**Oil Shock** determinato dallo scoppio della Guerra del Kippur, determina a livello globale un periodo di profonda **crisi energetica** determinata dalla scarsità della risorsa petrolifera. A questa crisi energetica-petrolifera corrisponde anche un periodo di **recessione economica**, conseguenza del boom economico che aveva caratterizzato gli anni '50 e '60. Nel passaggio verso gli anni '70, inoltre, gli eventi politici del 1968 rappresentano un momento di rottura in cui si assiste a una crisi della concezione tradizionale della società borghese. La maggiore dominanza degli aspetti sociali e la crescita dell'interesse verso l'ecologia spingono verso una pianificazione con una maggiore partecipazione civica.

Questi anni sono caratterizzati dall'**emergere della questione ambientale** (in questo periodo vengono pubblicati nel 1970 *La Speranza Progettuale* di Tomàs Maldonado, nel 1972 *The Limits to Growth. I limiti dello sviluppo* commissionato al MIT dal Club di Roma e pubblicato da Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers e William W. Behrens III, nel 1987 *Our Common Future. Rapporto Bruntland* in cui, per la prima volta, venne introdotto il concetto di sviluppo sostenibile) che porta allo sviluppo di un approccio progettuale connesso a un'estensione delle metodiche, tipiche del progetto di architettura, e legato al concetto di *Environmental Design* che sposta «l'interesse della progettazione dall'oggetto-edificio, al contesto, e all'intero sistema ambientale». La **risposta alle crisi** di questo periodo **non** è più **unitaria ma molteplice** e caratterizzata da diversi modelli abitativi: modelli sperimentali di case autosufficienti, rivisitazione del rapporto città-campagna, grandi megastrutture urbane.

Subentra, inoltre, una riflessione sulla **grande dimensione** e sull'**autonomia delle parti urbane**, fino alla riscoperta della storia come valore con cui dialogare e confrontarsi e, infine, al rilancio dell'esperienza dell'**industrializzazione edilizia** (Losasso, 2022).

Tra gli anni '80 e '90 riemerge, infatti, il tema dei *Grand Ensemble*, soluzione francese alla crisi abitativa che consisteva in grandi agglomerati fatti di unità abitative che sorgevano spesso fuori dai centri, a distanza dalla città, dotate di reti infrastrutturali per il collegamento con i centri urbani. La realizzazione di questi complessi si lega anche alla **volontà di limitare il fenomeno dell'urban sprawl** che aveva caratterizzato l'espansione urbana negli anni '30. Si assiste a un'estremizzazione del processo di amplificazione dimensionale che porta alla realizzazione di macrostrutture architettoniche fondate su uno modo dell'abitare che, nel perseguire una commistione di usi e interazioni sociali voleva ambiziosamente definire vere e proprie entità morfologiche (Capozzi, 2022).

La realizzazione di queste "megastrutture" è resa possibile anche all'innovazione nel campo dell'industria del cemento armato e dall'impiego di processi costruttivi non tradizionali in cui emergono aspetti quali l'industrializzazione, la meccanizzazione, l'organizzazione razionale del cantiere e la prefabbricazione.

Questo periodo si conclude con una fase di transizione che negli **anni '90** si orienta ad altri temi e ad altre processualità. Si verifica in questo periodo una **fase di contrazione**, in cui la domanda abitativa si coniuga non più attraverso la costruzione di nuove parti di una città in espansione ma con azioni “dentro”, un **costruito assorbito nella città consolidata e reso periferico soprattutto dalla marginalità e dal degrado**.

Si sviluppa, inoltre, la **consapevolezza dei pericoli dell'uso eccessivo delle risorse fossili** e dei rischi che queste comportano per gli ecosistemi. È posta maggiore attenzione, dal punto di vista della progettazione, a sistemi di monitoraggio dei livelli di sostenibilità ed efficienza tecnologica e alla scelta dei materiali, tenendo ben presente l'insegnamento di Ezio Manzini, che nel 1992 parlava di un mondo possibile solo se sostenibile. Si comincia a sviluppare anche una prima consapevolezza **degli effetti del cambiamento climatico** attraverso l'istituzione delle *COP – Conference of Parties* da parte dell'*UNFCC - Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici* e la sigla degli *Accordi di Rio* nel 1992 e del *Protocollo di Kyoto* nel 1997.

Negli anni '90, i **primi quartieri sperimentali, che applicano i principi della sostenibilità ecologica**, economica e sociale, si sviluppano principalmente nelle città dell'Europa del Nord (Fitzgerald & Lenhart, 2016; Tucci & Baiani, 2020). Ne sono esempio il quartiere sperimentale Ecolonia in Olanda e il Vauban in Germania.

Gli **anni 2000** rappresentano il momento di **riconoscimento della crisi climatica**. Il Rapporto Stern del 2006 evidenzia quanto il cambiamento climatico sia in atto e come negli anni determinerà enormi problemi economico-finanziari. I fattori socio-economici concorrono alla vulnerabilità delle città agli impatti del cambiamento climatico, in termini di variazione della crescita demografica, politiche di occupazione e uso dei suoli, crescita economica, ecc.

Questi anni sono, però, principalmente, caratterizzati dalla **crisi economica del Subprime** (2008), le cui conseguenze si ripercuotono anche sul settore delle costruzioni per quanto riguarda le nuove costruzioni. Si perde lo slancio verso modelli abitativi basati su nuove costruzioni mentre assume rilevanza il **tema del recupero e del rinnovo urbano**.

Ciò contribuisce alle prime esperienze sperimentali di applicazione dei principi dello sviluppo sostenibile all'architettura saranno successivamente implementate e codificate in Europa con la costruzione degli **Eco-distretti** (Tucci & Baiani, 2020). Tale termine identifica un processo di trasformazione che mira a integrare obiettivi di sviluppo sostenibile ed equità sociale e a ridurre l'impronta ecologica di un quartiere, un'area o una regione, con una sempre più intensa sensibilità alle tematiche ambientali.

Un Eco-distretto assicura uno sviluppo o una rigenerazione, a scala di quartiere, che affronti la mitigazione e l'adattamento al clima con strategie sostenibili e inclusive, impiegando tecnologie circolari e resilienti, *nature-based*, infrastrutture intelligenti ed energie rinnovabili (Battisti et al., 2015). Svolgono, inoltre, un'azione propulsiva sull'intera città, fissando livelli più elevati nel raggiungere obiettivi di resilienza elevati (Fitzgerald, 2016). Un Eco-Distretto è, quindi, un quartiere che genera tutta la sua energia da fonti rinnovabili in-site, raccoglie e ricicla l'acqua piovana e i

rifiuti e dà la priorità agli accessi pedonali, ciclabili e di transito. Combina usi misti, parchi attrezzati, scuole, centri comunitari e servizi e infrastrutture IT⁷ avanzate.

Il **Triennio 2020-2023** è stato caratterizzato da due profondi momenti di crisi: la **crisi pandemica** e la **crisi energetica**. Tali crisi, derivate da due grandi momenti di rottura dell'equilibrio - la diffusione del COVID-19 e lo scoppio del conflitto russo-ucraino – si sviluppano sullo sfondo della sempre più presente crisi climatica. Per descrivere questo scenario, è stato spesso utilizzato il termine policrisi per evidenziare una condizione in cui le crisi interconnesse e convergenti agiscono non solo in ambito socioeconomico ma anche sull'ambiente fisico e urbano.

Si determina in questo scenario lo sviluppo di **modelli abitativi** che agiscono alla scala urbana ed edilizia non con la nuova costruzione ma attraverso un **risparmio e un uso efficiente delle risorse**, sia dal punto di vista del consumo di suolo sia dal punto di vista del risparmio energetico.

Tali modelli abitativi prefigurano scenari di carattere generale, che richiedono poi applicazioni specifiche. La *15 minute city*, la *green city*, la *circular city*, la *smart city*, la *resilient city*, la *self-sufficient city*, ecc. sono modelli utopici di risposta alle crisi in atto (climatica, energetica, pandemica, ecc.) che non sono realizzabili nella loro totalità ma solo in misura parziale.

Un *exempla* è rappresentato dal progetto di riqualificazione di HafenCity ad Amburgo il cui target principale è la protezione rispetto agli impatti derivanti dal cambiamento climatico. La crisi climatica, l'urbanizzazione e la digitalizzazione hanno determinato, infatti, nuove sfide per la convivenza umana che rendono fondamentali nella progettazione degli insediamenti urbani principi quali la protezione del clima e dell'ambiente e la conservazione della biodiversità. In questo contesto il progetto di riqualificazione del quartiere di HafenCity individua come strategie principali la *mixité* insediativa, la preservazione dei caratteri tipologici delle strutture portuali e del rapporto con l'acqua, la qualità degli spazi pubblici, l'accessibilità e la fruibilità dei luoghi, la permeabilità urbana e la continuità con il centro storico (Caja, 2008).

⁷ Infrastruttura di *Information Technology*.

GROßSIEDLUNG SIEMENSSTADT, Berlino, 1929-1931

Luogo: Berlino, Germania

Progettisti: Hans Scharoun, Martin Wagner (scala urbana), Otto Bartning, Alfréd Forbáth, Walter Gropius, Hugo Häring, Paul Rudolf Henning, Hans Scharoun (edifici)

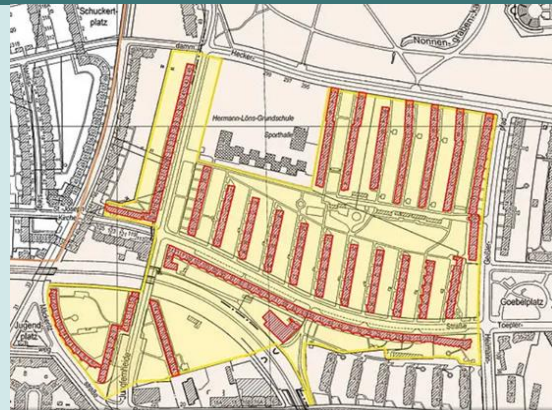


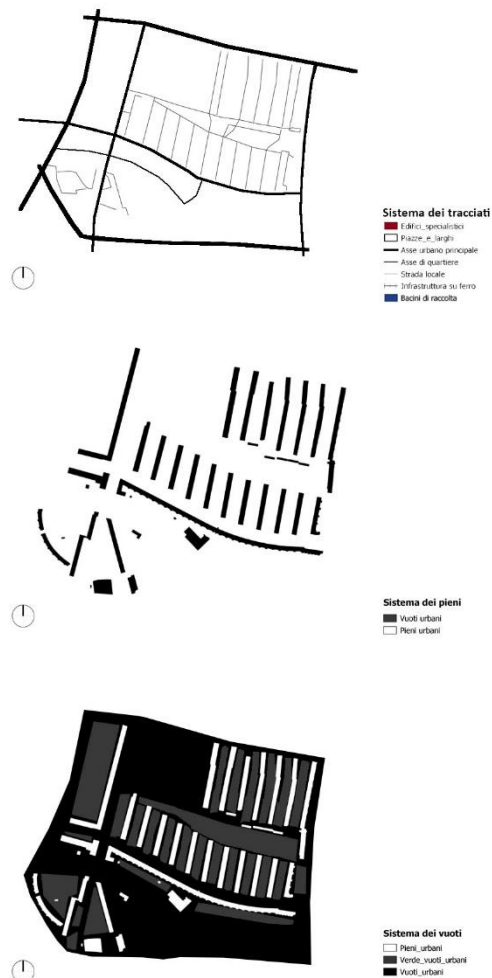
Figura 3 - Großsiedlung Siemensstadt, General management plan

Il quartiere, costruito tra il 1929 e il 1931, rappresenta uno degli esempi più rilevanti di edilizia residenziale durante la Repubblica di Weimar. Il progetto fu realizzato dal gruppo di architetti riunito nell'associazione *Der Ring* costituito da: Otto Bartning, Alfréd Forbáth, Walter Gropius, Hugo Häring, Paul Rudolf Henning e Hans Scharoun.

La realizzazione di questo quartiere si inserisce nell'ambito delle politiche abitative in **risposta alla crisi degli alloggi** post I Guerra Mondiale. In particolare, rientra in un programma speciale della municipalità della città di Berlino per far fronte alla carenza di alloggi e per il rinnovo delle case "obsolete".

I blocchi lineari, o "Zeilenbau", sono generalmente orientati secondo un asse nord-sud per massimizzare l'**accesso alla luce del giorno**, a strisce parallele, con **spazi verdi** tra di loro e balconi individuali. Particolare attenzione è posta al **rapporto con il contesto e con le preesistenze ambientali**.

Hans Scharoun, responsabile del progetto urbanistico, raggruppò gli edifici secondo il **principio delle "unità di quartiere"**, concetto legato a quello di Bruno Taut di *Nature as Outdoor Living Space*.



Box 1 - Großsiedlung Siemensstadt (Berlino, 1929-1931)

QUARTIERE QT8, Milano, 1945-1954

Luogo: Milano, Italia

Progettisti: Piero Bottoni, Giuseppe Pagano, Mario Pucci

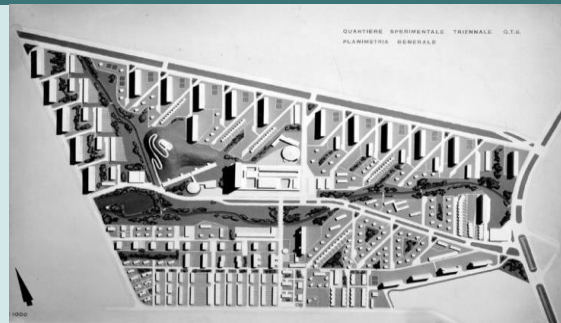
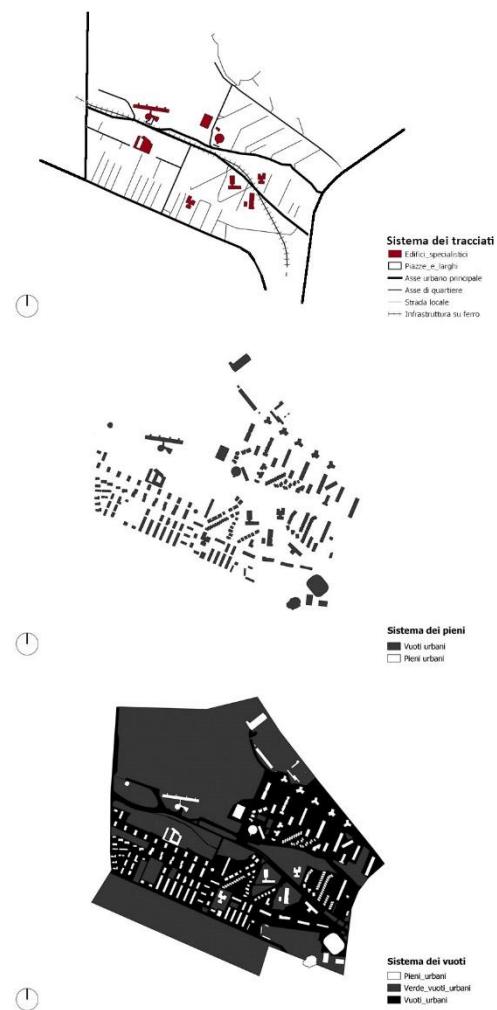


Figura 4 - QT8, Planimetria generale

La realizzazione di questo quartiere si inserisce nel periodo di ricostruzione di un gran numero di residenze ideate nella logica della **“casa per tutti”**. Il QT8 è un quartiere di edilizia residenziale che nasce per rispondere a un’esigenza pratica, quella di rialloggiare gli sfollati del conflitto, ma si carica fin da subito di un valore culturale più ampio, ossia vuole rappresentare un **modello**, un precedente di qualità **per l’espansione urbana** del capoluogo lombardo, di cui già si presagisce l’intensificazione che puntualmente avverrà di lì a poco.

Nel 1946-47 furono realizzate le prime case costruite ex novo a Milano nel dopoguerra per reduci senz’altro caratterizzate dall’**innovazione degli aspetti costruttivi**, come l’utilizzo del sistema “Brevetti Gaburri” di Milano consistente nella prefabbricazione fuori opera di pilastri e travi resi solidali con calcestruzzo colato nella cavità corrispondente al nodo trave-pilastro, solai prefabbricati con cappa sovrapposta gettata rivestite con pannelli di tamponamento prefabbricati rivestite con pannelli anch’essi prefabbricati (Sansò, 2022). Nel 1948 inoltre si realizzarono, in questo quartiere, per la prima volta in Italia case **prefabbricate** a 4 piani.

Molta attenzione venne prestata agli **spazi verdi**, sia con la realizzazione dei primi campi gioco per ragazzi, sia con aree verdi condominiali, sia infine con la creazione di un vasto parco di circa 375.000 m², in grado di soddisfare non solo le esigenze degli abitanti del quartiere ma anche, in generale, di tutta la città.



Box 2 - QT8, Milano, 1945-195

HARLOW, 1947-1958

Luogo: Harlow, Gran Bretagna

Progettisti: Sir Frederick Gibberd

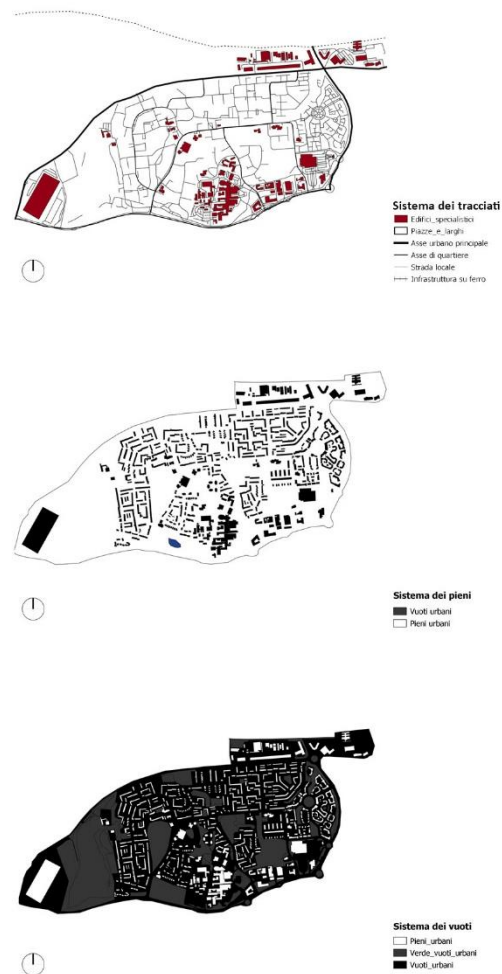


Figura 5 - Harlow Masterplan

Il sito per la nuova città di Harlow fu individuato a ovest dell'esistente villaggio di Old Harlow, ideale per una nuova città: ragionevolmente vicino a Londra, un'ampia area rurale non sviluppata all'incrocio di un'autostrada e con una linea ferroviaria principale.

Il piano mostra il **rapporto tra le diverse tipologie edilizie**, il collegamento tra gli **edifici organizzati in gruppi** all'interno della regione e il **paesaggio che separa le aree edificate** e si estende nella campagna circostante. Inoltre, è possibile individuare la **distinzione tra le aree destinate alla "vita" e quelle destinate all' "industria"**, con il **centro della città quale fulcro dell'intero progetto**. Tutte le zone, seppur distinte, sono collegate tra loro da un **sistema di strade principali e circondate dalla cintura verde**.

La disposizione dei gruppi di edifici è stata organizzata in modo da **preservare i boschi e le fasce alberate, utilizzate per separare le aree edificate**. I vecchi vicoli con i cespugli e i bordi erbosi sono stati conservati nel piano regolatore per diventare **piste pedonali e ciclabili**. Ciascuno dei gruppi abitativi comprendeva per l'80% **alloggi a due piani con giardino privato** e per il resto una serie di **abitazioni a schiera**.



Box 3 - Harlow New Town, Gran Bretagna, 1947-1958

SPINE BIANCHE, Matera, 1954-1959

Luogo: Matera, Italia

Progettisti: Carlo Ayomino, M. Ottolenghi, M. Fiorentino, S. Lenci, C. Chiarini, M. Girelli, G. De Carlo, M. Fiorentino, N. Selem, F. Gorio, M. Valori, V. Sangirardi

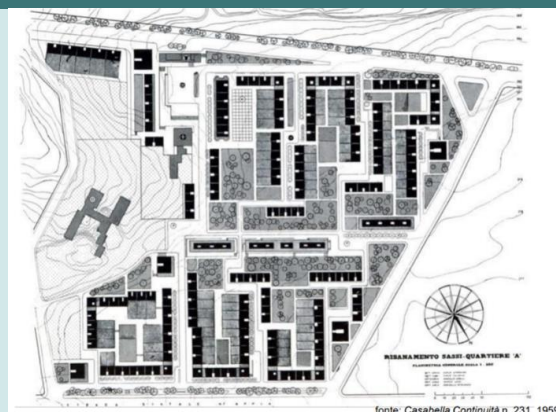
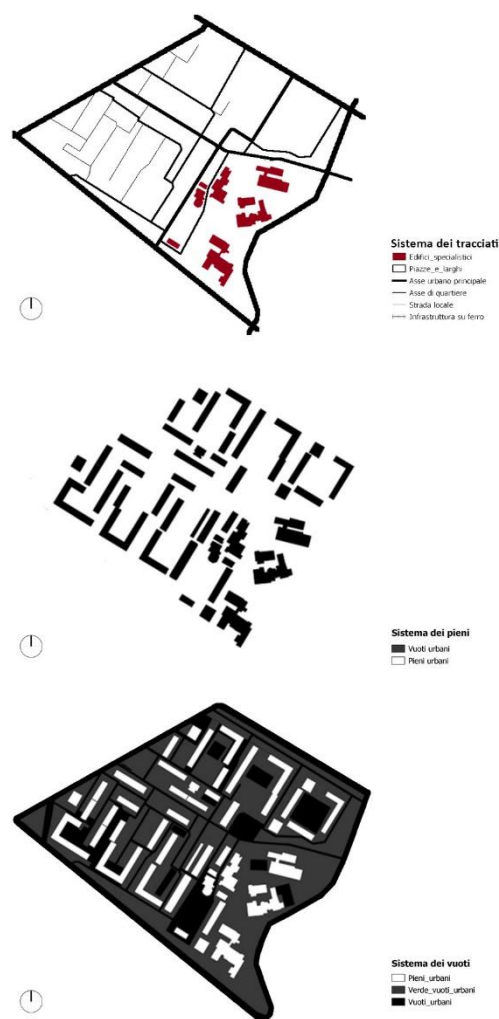


Figura 6 - Risanamento dei Sassi, Quartiere A

Il quartiere Spine Bianche fu progettato e realizzato negli anni immediatamente successivi allo sgombero degli antichi rioni dei Sassi e rappresenta un'opera di grande importanza nel passaggio da un neorealismo di tipo organico verso una tendenza più aperta ma guidata da una posizione razionale spinta verso lo standard senza rinnegare il rapporto con la tradizione e con la storia. La legge speciale per il risanamento dei Sassi prevede la **realizzazione dei quartieri di edilizia residenziale pubblica** ed un processo di **restauro urbanistico del nucleo originario**. L'utilizzo di bandi di concorso induce a una **progettazione urbana innovativa** che prevede **ampie dotazioni di spazi pubblici, servizi e attrezzature**, in grado di porsi in continuità con i modelli di vita sociale dei Sassi. Nel quartiere, definito come **parte urbana formalmente compiuta** in relazione alla città che si svincola dalla tradizionale accezione di borgo, particolare cura è posta al progetto delle corti, attrezzate a verde e sulle quali affacciano i prospetti principali degli edifici. La posizione delle corti rispetto ai tracciati unitamente ai tempi di percorrenza, la regolarità della distribuzione degli edifici, elogio alla razionalità fanno sì che quello di Spine Bianche sia uno **spazio calcolato e funzionalmente distribuito** definisce in modo preciso le **gerarchie** e il tipo di relazione sociale. La continuità tra le parti è generata dal **sistema di circolazione e di distribuzione dello spazio interno** che determina un rapporto graduale con la città, visibile anche in relazione all'altezza degli edifici.

All'interno del quartiere sono presenti **diverse tipologie edilizie** che riescono a convergere tutte in un'unica **composizione organica** facendo ricorso a **elementi semplici e durevoli** quali la regolarità delle strutture in c.a., il rivestimento in mattoni, con un basamento in pietra di Trani bocciardata, la copertura inclinata in tegole marsigliesi e i 3 tipi di infissi in base alla destinazione d'uso degli edifici (Coletta, 2022).



Luogo: Alphen aan den Rijn, Olanda

Progettisti: Lucien Kroll

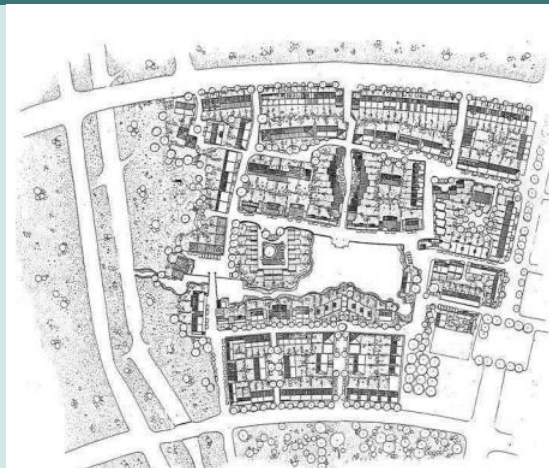
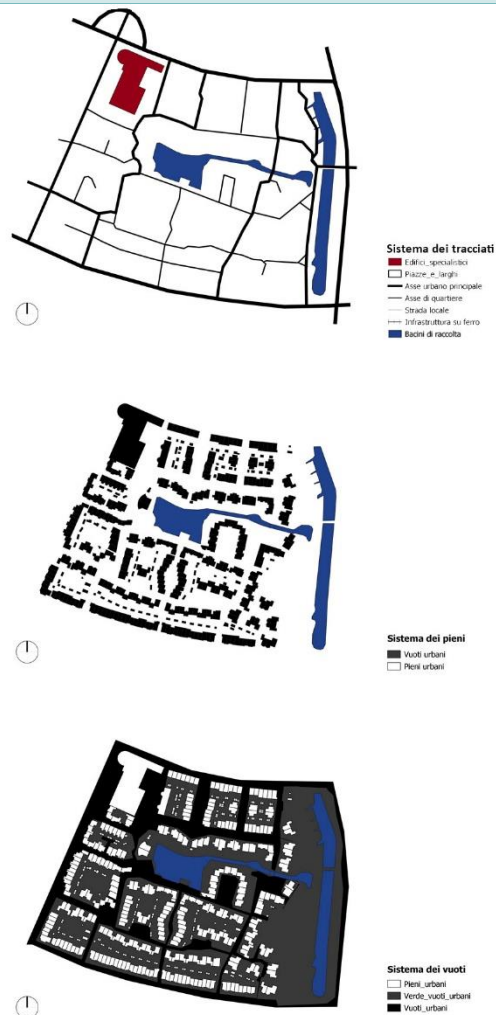


Figura 7 - Ecologia Materplan

Il progetto di quest'eco quartiere sperimentale sorto all'inizio degli anni '90 e finanziato dalla NOVEM (l'Ente Nazionale per l'Energia e per l'Ambiente) si basa su alcuni principi di base tra cui la **qualità del costruito** e delle **tecnologie** e dei **materiali** impiegati e la **problematica energetica**. La realizzazione del quartiere ha seguito, relativamente alla costruzione degli edifici, il National Environmental Policy Plan del governo olandese (1989) che si basa su tre principi fondamentali:

- Conservazione dell'energia
- Gestione dell'intero ciclo di vita dei componenti
- Miglioramento qualitativo delle condizioni di vita.

Sono stati presi inoltre in esame gli **aspetti sociali, urbani, architettonici, pubblici e psicologici**. Il punto di partenza per la progettazione è la **razionalizzazione energetica**, che punta alla **riduzione dei consumi** e allo **sfruttamento di fonti rinnovabili e sostenibili**. Sono state messe in campo tre strategie per il risparmio energetico: conservazione del calore (isolamento termico, uso energia solare, consumi energetici globali), gestione globale delle risorse (acqua potabile, materiali edilizi ecocompatibili, durata e adattabilità delle costruzioni), miglioramento della qualità abitativa (prestazioni acustiche, soluzioni tecniche per aumentare la salubrità indoor e la sicurezza degli utenti). Tali strategie si ritrovano in modo diverso nelle singole abitazioni.



Box 5 - Ecologia, Alphen aan den Rijn, Olanda, 1989

Luogo: Friburgo, Germania

Progettisti: Kohlhoff & Kohlhoff of Stuttgart



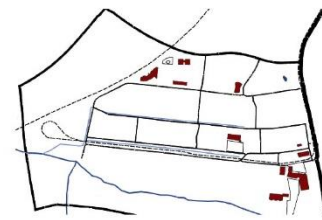
Figura 8 - Vauban plan.

Il quartiere, che sorge sul sito di un ex caserma dell'esercito francese, vede come principio chiave dell'intervento una **pianificazione gerarchica dei flussi di trasporto** studiata per ridurre drasticamente i veicoli ad uso privato. Le nuove parti urbane sono state concepite insieme alla progettazione della rete infrastrutturale dei trasporti, vero campo strategico nella rigenerazione urbana. I tracciati viari e pedonali costituiscono **sistemi di connessione fra unità residenziali** oltre che fra elementi urbani ed edifici e la qualità dello spazio pubblico è determinata dalla sua integrazione con gli spazi collettivi e privati oltre che dalla cura dell'arredo urbano.

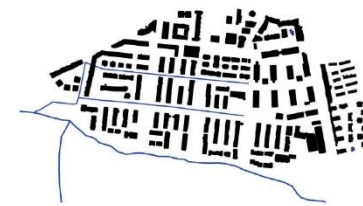
La nuova realtà abitativa è ricercata sia sul piano funzionale e strategico che nelle relazioni gerarchiche fra tracciati, elementi urbani, edifici, infrastrutture e spazi pubblici. È stata sviluppata una **costante ricerca della pluralità e della diversificazione del costruito**, attuando la scelta programmatica delle **mixité funzionali** e di tipologie edilizie con edifici residenziali misti e commerciali.

Il concept ecologico del quartiere si fonda su quattro pilastri: **la mobilità, il verde e lo spazio pubblico, la risorsa idrica e l'energia**. Il progetto prevede l'apertura di 5 nuovi corridoi ecologici che contribuiscono ad apportare benefici in termini di **comfort termoclimatico grazie all'evapotraspirazione e di ventilazione** all'interno del quartiere.

Il quartiere, inoltre, risponde agli **standard energetici** imposti dalla città, che imponeva che gli edifici fossero completamente realizzati a basso consumo energetico. In particolare, il progetto presenta alcune "emergenze energetiche", quali le Kleeuser, la Sonnenshiff e l'insediamento Solariedlung am Schlierberg, a bilancio energetico positivo.



Sistema dei tracciati
 ■ Edificio, specialistico
 □ Piazza, a larghezza
 — Asse urbano principale
 — Asse di quartiere
 — Strada locale
 — Infrastruttura su ferro
 — Canali
 — Flusso sotterraneo
 ■ Bordo d'acqua



Sistema dei pieni
 ■ Pieni urbani
 □ Pieni urbani



Sistema dei vuoti
 □ Pieni urbani
 ■ Verde, vuoti urbani
 ■ Vuoti urbani



Luogo: Amburgo, Germania

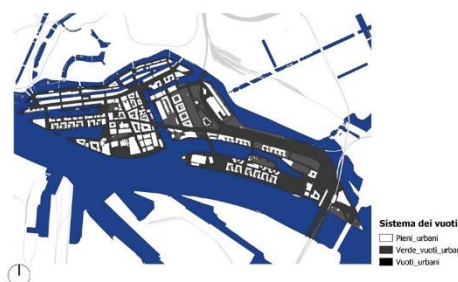
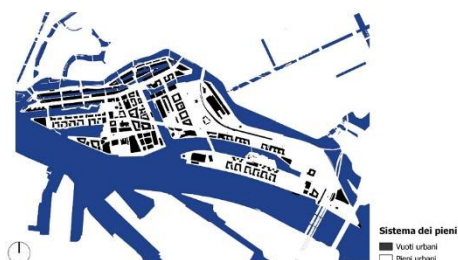
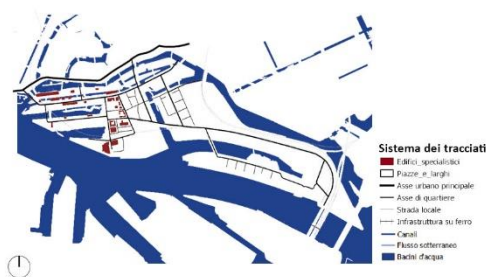
Progettisti: AA.VV.



Figura 9 - HafenCity masterplan

Il piano per la riqualificazione del quartiere di HafenCity rappresenta un **processo di trasformazione radicale** per il porto della città di Amburgo. Tra gli obiettivi principali del progetto c'è la necessità di **proteggere il porto dall'aumento del fenomeno di inondazione a cui è soggetto a causa degli impatti del cambiamento climatico**. A tal fine, il quartiere di HafenCity si propone di ridefinire il water-front della città verso l'Elba attraverso la definizione di alcuni aspetti: utilizzo di **tipologie abitative miste, mixità insediativa**, per la **rivalutazione dell'ambiente urbano circostante**; la preservazione delle strutture portuali e del loro rapporto con l'acqua; la qualità degli spazi pubblici; l'accessibilità pubblica ai differenti ambiti residenziali e terziari; la permeabilità e la continuità tra il centro storico, i nuovi interventi e i quartieri adiacenti.

Aspetto innovativo nel processo progettuale è l'interpretazione del **masterplan come un "canovaccio" modificabile quando necessario**. Ciò è reso possibile da un lato dall'individuazione dell'isolato come unità di base del progetto e dall'utilizzo di una griglia di base con alcune invarianti fisse costituite dai moli e dai bacini portuali preesistenti che ordina l'insediamento del sistema dello spazio aperto e degli edifici.



1.1.3 L'emergenza ambientale nel nuovo regime climatico

Nel processo di sviluppo degli insediamenti urbani, spesso non sono state effettuate adeguate valutazioni delle conseguenze a lungo termine determinate dall'eccessiva antropizzazione e dal consumo di risorse naturali. Ciò ha effettivamente trasformato la natura in uno "spazio recintato" all'interno dell'ambiente costruito contribuendo all'affermazione dell'**Antropocene**, cioè una fase della storia globale in cui le azioni degli esseri umani sono la principale causa di modificazione degli equilibri planetari (Crutzen, 2006; Butera, 2021; Clemente, 2023). Nel corso degli ultimi decenni, l'impatto significativo delle attività umane sulle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'ambiente è diventato sempre più evidente e innegabile. Allo stesso tempo, si sono manifestati chiaramente i **danni causati dal cambiamento climatico sia all'ambiente naturale che all'ambiente costruito** (IPCC, 2021).

A partire dalla Rivoluzione Industriale, è stato possibile osservare un aumento delle temperature medie globali nell'atmosfera, nelle acque e nei suoli che hanno indotto il fenomeno del *Global Warming*. Rispetto al periodo precedente all'industrializzazione (1800-1889), è stato registrato un aumento medio della temperatura globale di circa $+1.0^{\circ}\text{C}$, con intervalli probabili compresi tra $+0,8^{\circ}\text{C}$ e $+1,2^{\circ}$, con un aumento che si è verificato in modo esponenziale, accelerando nella seconda metà del XX secolo. Questo aumento delle temperature ha determinato una variazione nei regimi termici e delle precipitazioni, che si è tradotta in un aumento degli eventi meteorologici e climatici estremi, caratterizzati da una maggiore intensità, frequenza e durata. Tra questi eventi rientrano ondate di calore, periodi di siccità, precipitazioni intense, ondate di freddo, uragani e mareggiate. Inoltre, è possibile osservare fenomeni a lungo termine come l'innalzamento del livello medio del mare, l'acidificazione delle acque e la riduzione del ghiaccio nell'Artico (IPCC, 2021).

L'insieme di queste alterazioni ha portato, già nel 1992, l'*UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici) a definire il cambiamento climatico come un cambiamento del clima attribuito, direttamente o indirettamente, all'attività antropica e che porta all'alterazione dell'atmosfera aggiungendosi alla variabilità climatica naturale osservata in periodi di tempo comparabili (UNFCCC, 1992). Questa definizione ha evidenziato il **legame tra attività umana e cambiamenti climatici**, superando la distinzione tra cambiamento climatico e variabilità climatica naturale. Nel più recente report AR6 dell'IPCC, questa correlazione tra l'attività antropica e le variazioni climatiche è stata ribadita, definendo il cambiamento climatico come un complesso di alterazioni climatiche che perdurano nel tempo e che sono principalmente attribuibili all'attività antropica (IPCC, 2021).

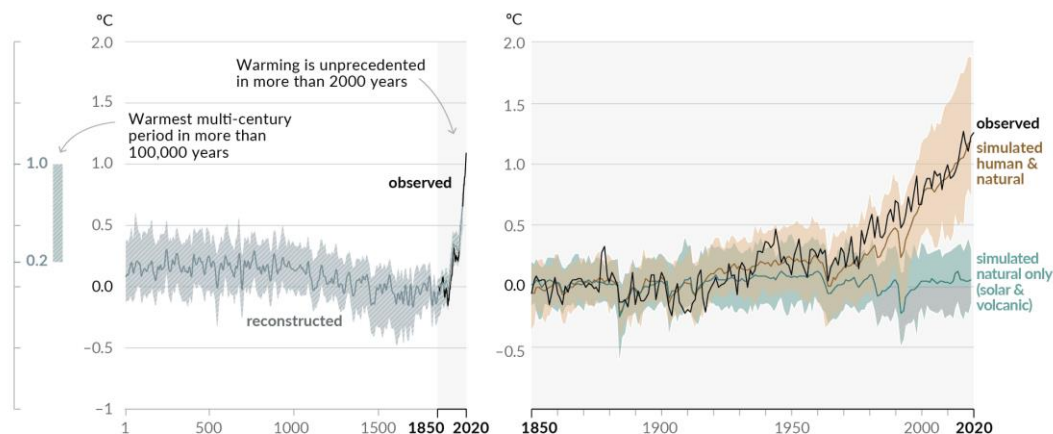


Figura 10 - Storico del cambiamento della temperatura globale (Fonte: IPCC, 2021).
 A destra, il grafico mostra le variazioni della temperatura superficiale globale ricostruite a partire dagli archivi paleoclimatici e dalle osservazioni dirette. A sinistra, il grafico rappresenta, invece le variazioni della temperatura superficiale globale negli ultimi 170 anni rispetto al periodo 1850-1900. Il confronto è operato tra la variazione osservata, quella attribuibile ai soli fattori naturali e quella attribuibile alla convergenza di fattori antropici e naturali.

L'intensificazione dei fenomeni climatici estremi, come uragani, alluvioni e incendi sempre più devastanti e frequenti, ha finalmente condotto alla consapevolezza del problema reale rappresentato dal riscaldamento globale, causa principale del cambiamento climatico. Quest'ultimo costituisce uno degli aspetti centrali di un'**emergenza ambientale alla scala globale**: l'alterazione del metabolismo del "super-organismo" noto come biosfera. Le manifestazioni di questa alterazione includono il riscaldamento globale e la graduale perdita di biodiversità, che sono emersi in modo sempre più evidente nelle ultime decadi.

La biosfera rappresenta un sistema altamente complesso di interrelazioni in cui anche piccole modifiche in un settore possono scatenare reazioni a catena in molteplici altri contesti. L'evoluzione delle specie ha sempre risentito delle intricate dinamiche legate agli habitat, all'adattamento alle condizioni climatiche e alle interazioni con gli agenti naturali. Gli esseri umani a lungo sono stati uno tra i tanti fattori di cambiamento nell'evoluzione planetaria, subendo in buona parte gli effettivi di dinamiche complesse a livello ambientale, al giorno d'oggi è l'attività umana un elemento centrale nella caratterizzazione del cambiamento.

«L'uomo è parte integrante della biosfera o, come hanno proposto efficacemente James Lovelock e Lynn Margulis negli anni Settanta del secolo scorso, è parte integrante di Gaia, il superorganismo dotato di un sistema di auto-regolazione basato su meccanismi di retroazione, un sistema complesso con proprietà emergenti, in cui l'intero è più delle sue parti» (Butera, 2021, p.28).

L'impatto degli esseri umani sul pianeta è complesso e ricco di interconnessioni. Eppure, in molti casi, tutte queste dinamiche sono completamente ignorate perché non si è abituati a pensare in termini di interconnessioni complesse e si continua a pensare e ad agire come se i rapporti causa-effetto fossero lineari anziché sistemici.

A partire dagli anni Cinquanta del XX secolo, si ha la cosiddetta “Grande accelerazione” e si assiste a un rapidissimo miglioramento della condizione umana che si trasforma, però, ben presto in una rapida aggressione unilaterale nei confronti di “Gaia” (ovvero della biosfera). Nello scenario attuale, **risulta necessario ripensare la relazione uomo-ambiente**. Il nuovo modello di interazione tra gli esseri umani e la biosfera, fondamentale per mettere in atto i processi di rigenerazione necessari, dovrà tenere conto di quelli che sono stati denominati “**planetary boundaries**” (Rockström et al., 2009), confini o limiti planetari entro i quali l'umanità può continuare a svilupparsi e prosperare mantenendo stabile l'equilibrio del sistema Terra. Superarli, infatti, aumenterebbe il rischio di generare cambiamenti ambientali improvvisi e/o irreversibili su larga scala.

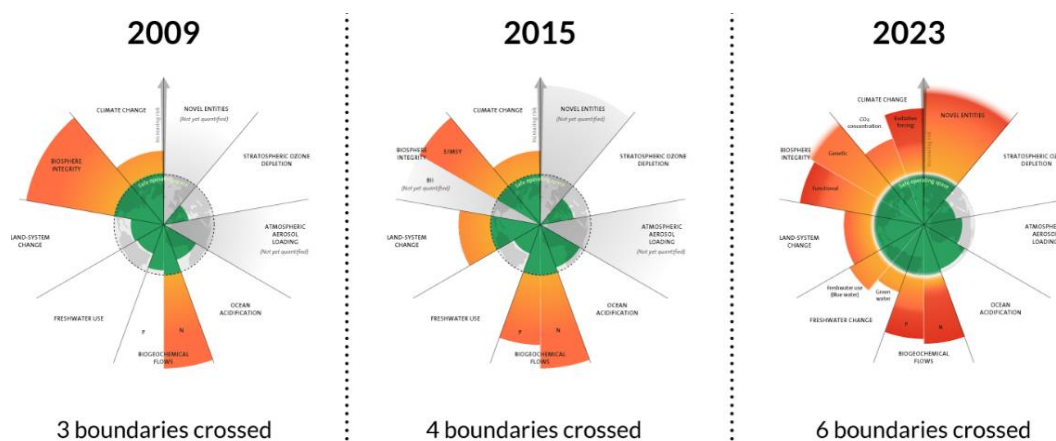


Figura 11 - L'evoluzione del sistema dei *planetary boundaries* (Fonte: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, 2023).

Il concetto di planetary boundaries presenta una serie di nove limiti planetari entro i quali l'umanità può continuare a svilupparsi e prosperare per le generazioni a venire. Nel settembre 2023, sono stati quantificati, per la prima volta, tutti i nove processi che regolano la stabilità e la resilienza del sistema Terra.

L'ultimo aggiornamento non solo ha quantificato tutti i confini, ma conclude anche che sei dei nove confini sono stati oltrepassati. Il superamento dei confini aumenta il rischio di generare cambiamenti ambientali bruschi o irreversibili su larga scala.

I confini sono processi interconnessi all'interno del complesso sistema biofisico terrestre. Ciò significa che un'attenzione globale ai soli cambiamenti climatici non è sufficiente per aumentare la sostenibilità. Al contrario, la comprensione dell'interazione tra i confini, in particolare il clima, e la perdita di biodiversità è fondamentale per la scienza e la ricerca.

In questo contesto, emerge chiaramente la stretta interconnessione tra i modelli di sviluppo socioeconomico e le condizioni climatiche: gli impatti ambientali presenti e futuri sono intrinsecamente legati ai cambiamenti climatici e, quindi, alle attività umane connesse all'aumento della concentrazione di gas a effetto serra in atmosfera che ne sono la principale causa. Nelle **città** e nelle **aree metropolitane** – che rappresentano una delle **aree più vulnerabili al cambiamento climatico e ai suoi effetti** sulle componenti materiali e immateriali, sociali ed economici - le implicazioni ambientali svolgono un ruolo fondamentale nella progettazione di strategie e azioni innovativa che diano risposte efficaci a questo problema complesso. Le comunità urbane sono chiamate ad **affrontare la “questione ambientale” con una visione sistemica e multiscale** che coinvolga non solo la tutela e la conservazione dell'ambiente ma anche il ripristino, la

trasformazione e la valorizzazione delle risorse, compresi gli insediamenti urbani stessi (Losasso, 2020; Tucci, 2013).

Nel **nuovo regime climatico** così configurato, al fine di avere un rapporto equilibrato con le condizioni climatiche è necessaria la costruzione di un rapporto equilibrato natura/cultura a partire da una concezione dell'essere umano come parte di un tutto da non distanziare nemmeno linguisticamente con un modo oppositivo natura/cultura (Latour, 2017).

L'emergere della condizione di policrisi e di rischi complessi amplificati dal nuovo regime climatico evidenziano la consapevolezza che i modelli insediativi e abitativi concepiti come risposta alle crisi del XX secolo e del primo decennio del XXI secolo sono ora essi stessi in crisi. Questi schemi, infatti, originariamente elaborati per affrontare le sfide del passato, si dimostrano oggi inadeguati a fronteggiare gli impatti e le sfide climatiche contemporanee. L'aumentare della frequenza e delle intensità dei fenomeni climatici pericolosi dei loro impatti richiede un ripensamento fondamentale di tali modelli che mette in luce la necessità di strategie urbane e abitative innovative e resilienti.

In ambito progettuale, ciò richiede lo **sviluppo di nuovi modelli abitativi che considerino le complesse interazioni tra la componente antropica e quella naturale all'interno dei sistemi ambientali**. Queste interazioni richiedono un approccio progettuale che sia consapevole dei crescenti scenari di rischio amplificati dalla crisi climatica e che non si limiti ai meri aspetti morfologici e funzionali-spaziali ma che tengano conto di tutta la dimensione ambientale (Clemente,

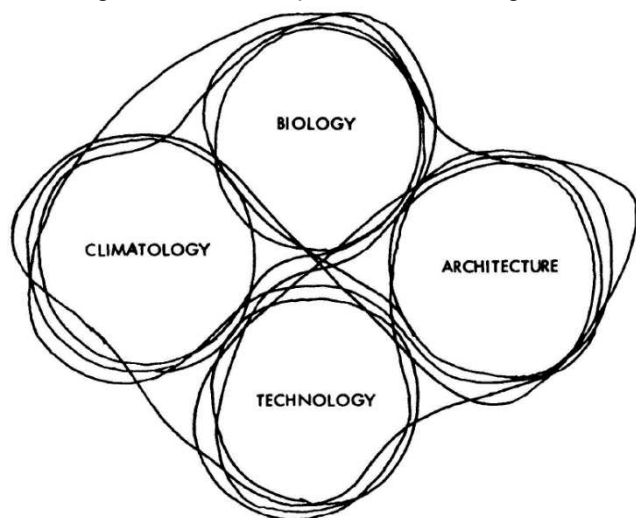


Figura 12 - I campi interconnessi dell'equilibrio climatico (fonte: Olgay, 1963).

2023). L'approccio auspicabile si configura come la definizione di modalità progettuali di intervento che agiscano sugli insediamenti urbani in sinergia con le componenti naturali, piuttosto che in contrasto, sfruttandone le potenzialità per migliorare gli stili di vita e raggiungere una situazione che possa essere categorizzata come "climaticamente equilibrata" (trad. da "climate balances"). In questo contesto, il processo di costruzione di un "ambiente climaticamente equilibrato" si configura come un iter complesso che richiede un

approccio sistemico e multidisciplinare che connetta diversi ambiti del sapere a partire dalla climatologia fino ad arrivare all'architettura (Olgay, 1963).

Ciò comporta una visione culturale più ampia e un approccio tecnico-operativo nella progettazione architettonica (Schiaffonati et al., 2011). In questo quadro, la Progettazione Ambientale assume un ruolo cruciale nel guidare lo sviluppo futuro degli insediamenti urbani, garantendo che siano resilienti e sostenibili, in grado di adattarsi alle sfide climatiche e di preservare l'equilibrio tra ambiente e sviluppo socioeconomico.

1.2 Le condizioni multirischio negli insediamenti urbani e metropolitani

1.2.1 Evoluzione e definizione del concetto di rischio

L'incertezza e il rischio generato dalla minaccia dei fenomeni naturali sono aspetti fondamentali coinvolti nelle dinamiche dell'ambiente costruito. Negli ultimi decenni, l'emergere di quella che il sociologo tedesco Ulrich Beck ha definito "**società del rischio**" ha visto un'enfasi crescente sulle misure di preparazione per la gestione del rischio quali caratteristiche essenziali per l'organizzazione della società contemporanea (Beck, 1992, Beck, 1999). Tali priorità si sono inserite nei discorsi politici e sono sempre più importanti nella costruzione delle aree urbane (Branscomb, 2004; Coaffee e Rogers, 2008; Howe e White, 2004; Raco, 2003; Coaffe, 2018).

Le teorie scientifiche del rischio hanno visto il proliferare di diversi approcci, facendo riferimento a un'entità la cui definizione è quantitativa ma anche potenzialmente fallace perché basata su assunzioni ed elaborazioni di dati incerti che limitano la loro accuratezza (De Lotto, 2015). Oggi il rischio si è evoluto in un concetto che va oltre l'idea di perdita finanziaria ed è spesso associato a una serie di rischi di nuova definizione «su vasta scala», che «non possono essere delimitati spazialmente, temporalmente o socialmente». Come osserva ancora Giddens (1999, p. 34), il rischio è «onnipresente in un mondo interdipendente».

DOCUMENTO	ENTE/ ORGANIZZAZIONE	ANNO	DEFINIZIONE
Shelter after disaster: guidelines for assistance. Natural Disasters and Vulnerability Analysis	UNDRO - Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator	1982	meaning the expected number of lives lost, persons injured, damage to property and disruption of economic activity due to a particular natural phenomenon, and consequently the product of specific risk and elements at risk. <i>Elements at risk:</i> meaning the population, buildings and civil engineering works, economic activities, public services, utilities and infrastructure, etc.... at risk in a given area. <i>Specific risk:</i> meaning the expected degree of loss due to a particular natural phenomenon and as a function of both natural hazard and vulnerability.
Internationally agreed glossary of basic terms related to Disaster Management	UNDHA - UN Department of Humanitarian Affairs	1992	Expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability.
Reducing disaster risk : a challenge for development : a global report	UNDP - United Nations Development Programme, Bureau	2004	The probability of harmful consequences, or expected loss of lives, people injured, property, livelihoods, economic activity disrupted (or environment damaged) resulting from interactions between natural or human induced hazards and

	for Crisis Prevention and Recovery		vulnerable conditions. Risk is conventionally expressed by the equation: $\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability}$
Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives	UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction	2004	The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions. Conventionally risk is expressed by the notation $\text{Risk} = \text{Hazards} \times \text{Vulnerability}$. Some disciplines also include the concept of exposure to refer particularly to the physical aspects of vulnerability. Beyond expressing a possibility of physical harm, it is crucial to recognize that risks are inherent or can be created or exist within social systems. It is important to consider the social contexts in which risks occur and that people therefore do not necessarily share the same perceptions of risk and their underlying causes.
Adaptation Policy framework for climate change: developing strategies, policies and measures	UNDP – United Nations Development Programme	2005	(climate-related) – is the result of the interaction of physically defined hazards with the properties of the exposed systems – i.e., their sensitivity or (social) vulnerability. Risk can also be considered as the combination of an event, its likelihood, and its consequences – i.e., risk equals the probability of climate hazard multiplied by a given system's vulnerability.
Report of the open ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction	UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction	2009	The combination of the probability of an event and its negative consequences. This definition closely follows the definition of the ISO/IEC Guide 73. The word “risk” has two distinctive connotations: in popular usage the emphasis is usually placed on the concept of chance or possibility, such as in “the risk of an accident”; whereas in technical settings the emphasis is usually placed on the consequences, in terms of “potential losses” for some particular cause, place and period. It can be noted that people do not necessarily share the same perceptions of the significance and underlying causes of different risks.
Climate Change 2014: Synthesis Report - AR5-SYR (10/2014)	IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change	2014	The potential for consequences where something of value is at stake and where the outcome is uncertain, recognizing the diversity of values. Risk is often represented as probability or likelihood of occurrence of hazardous events or trends multiplied by the impacts if these events or trends occur. In this report, the term risk is often used to refer to the potential, when the outcome is uncertain, for adverse consequences on lives, livelihoods, health, ecosystems and species, economic, social and cultural assets, services (including environmental services) and infrastructure.
Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction:	UNISDR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction	2015	Cfr UNISDR (2004)

A Technical Review			
Special Report on Global Warming of 1.5°C - SR15 (10/2018)	IPCC	2018	The potential for adverse consequences where something of value is at stake and where the occurrence and degree of an outcome is uncertain. In the context of the assessment of climate impacts, the term risk is often used to refer to the potential for adverse consequences of a climate-related hazard, or of adaptation or mitigation responses to such a hazard, on lives, livelihoods, health and well-being, ecosystems and species, economic, social and cultural assets, services (including ecosystem services), and infrastructure. Risk results from the interaction of vulnerability (of the affected system), its exposure over time (to the hazard), as well as the (climate-related) hazard and the likelihood of its occurrence.
Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability	IPCC	2022	The potential for adverse consequences for human or ecological systems, recognising the diversity of values and objectives associated with such systems. In the context of climate change, risks can arise from potential impacts of climate change as well as human responses to climate change. Relevant adverse consequences include those on lives, livelihoods, health and well-being, economic, social and cultural assets and investments, infrastructure, services (including ecosystem services), ecosystems and species. In the context of climate change impacts, risks result from dynamic interactions between climate-related hazards with the exposure and vulnerability of the affected human or ecological system to the hazards. Hazards, exposure and vulnerability may each be subject to uncertainty in terms of magnitude and likelihood of occurrence, and each may change over time and space due to socio-economic changes and human decision-making (see also risk management, adaptation and mitigation). In the context of climate change responses, risks result from the potential for such responses not achieving the intended objective(s), or from potential trade-offs with, or negative side-effects on, other societal objectives, such as the Sustainable Development Goals (SDGs) (see also risk trade-off). Risks can arise, for example, from uncertainty in implementation, effectiveness or outcomes of climate policy, climate-related investments, technology development or adoption, and system transitions. <i>Compound risks:</i> arise from the interaction of hazards, which may be characterised by single extreme events or multiple coincident or sequential events that interact with exposed systems or sectors.

Tabella 2 - Definizioni del termine Rischio nella letteratura tecnica legata al cambiamento climatico e alla gestione del rischio

Nell'analisi delle principali definizioni del concetto di rischio, emergono cambiamenti significativi che riflettono un'evoluzione concettuale nel tempo. Inizialmente, il rischio era concepito come la semplice quantificazione dei danni attesi a seguito di un evento catastrofico (cfr. UNDRO, 1982). Successivamente, si è evoluto includendo la probabilità di danni a beni, persone o risorse in conseguenza a tali eventi (cfr. UNDP, 2004).

L'attuale concetto di rischio, come delineato da UNISDR nel 2004 e successivamente adottato nel contesto dei rischi climatici nel rapporto AR5 dell'IPCC del 2014, considera il rischio come il risultato di tre variabili interconnesse: vulnerabilità, esposizione e *hazard*. Questa prospettiva più avanzata riconosce che il rischio non può essere compreso completamente senza considerare la complessità delle interazioni tra questi elementi.

In questo modo, la definizione attuale di rischio si sposta oltre la mera quantificazione di danni e si avvicina a una comprensione più completa e dinamica, riconoscendo la **natura interconnessa e multifattoriale di questo concetto nei contesti di gestione del rischio**.

Il rischio rappresenta la probabilità dell'avverarsi di impatti negativi per i sistemi antropici o ecologici, tenendo conto della diversità dei beni e degli obiettivi associati a tali sistemi (IPCC, 2020). Alla base di tale definizione c'è dunque la **probabilità** che sottolinea che l'incertezza, o più in generale la conoscenza incompleta rappresenta un elemento chiave per una valutazione e una gestione significativa del rischio.

Nel campo dei cambiamenti climatici, l'IPCC nel *Sixth Assessment Report - AR6* (IPCC, 2022) viene ribadito **che i rischi climatici derivano dalle interazioni dinamiche tra i pericoli (*hazard*) legati al clima e l'esposizione e la vulnerabilità del sistema antropico o ecologico danneggiato da tali pericoli**. *Hazard*, esposizione e vulnerabilità possono essere soggetti a incertezza in termini di magnitudo e probabilità di accadimento di un evento pericoloso. Ciascuno dei tre fattori può cambiare nel tempo e nello spazio a causa dei mutamenti socioeconomici e dei processi decisionali umani. Inoltre, nel contesto del cambiamento climatico, i rischi possono derivare dai potenziali impatti climatici ma anche dalle risposte antropiche al cambiamento climatico stesso⁸. Le conseguenze negative rilevanti in entrambi i casi includono quelle su vite, mezzi di sussistenza, salute e benessere, beni e investimenti economici, sociali e culturali, infrastrutture, servizi, ecosistemi e specie biotiche (IPCC, 2020).

⁸ Nel contesto delle risposte ai cambiamenti climatici, i rischi derivano dalla possibilità che tali risposte non raggiungano gli obiettivi prefissati, o da potenziali compromessi con altri obiettivi della società, o effetti collaterali negativi su di essi, quali per esempio gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. I rischi possono derivare, inoltre, dall'incertezza nell'attuazione, nell'efficacia o nei risultati delle politiche climatiche, degli investimenti legati al clima, dello sviluppo o dell'adozione di tecnologie e delle transizioni di sistema.

RISCHIO	Il potenziale di conseguenze negative per i sistemi antropici o ecologici, riconoscendo la diversità dei beni e degli obiettivi associati a tali sistemi. Nel contesto dei cambiamenti climatici, i rischi possono derivare dai potenziali impatti dei cambiamenti climatici e dalle risposte umane ai cambiamenti climatici. Le conseguenze negative rilevanti includono quelle su vite umane, mezzi di sussistenza, salute e benessere, beni e investimenti economici, sociali e culturali, infrastrutture, servizi (compresi i servizi ecosistemici), ecosistemi e sistemi ecologici. Nel contesto degli impatti dei cambiamenti climatici, i rischi derivano dalle interazioni dinamiche tra i pericoli legati al clima e l'esposizione e la vulnerabilità del sistema umano o ecologico interessato ai pericoli. I pericoli, l'esposizione e la vulnerabilità possono essere soggetti a incertezza in termini di magnitudo e probabilità di accadimento e possono cambiare nel tempo e nello spazio a causa dei cambiamenti socioeconomici e delle decisioni umane.
HAZARD	Il potenziale verificarsi di un evento o di una tendenza fisica naturale o indotta dall'uomo che può causare la perdita di vite umane, lesioni 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, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi e contesti che potrebbero essere colpiti negativamente.
VULNERABILITA'	La propensione o la predisposizione ad essere colpiti negativamente. La vulnerabilità comprende una serie di concetti ed elementi, tra cui la sensibilità o la suscettibilità ai danni e la mancanza di capacità di affrontare e adattarsi.
IMPATTI	Le conseguenze dei rischi che si realizzano sui sistemi naturali e antropici, dove i rischi derivano dalle interazioni tra i pericoli legati al clima (compresi gli eventi climatici/meteorologici estremi), l'esposizione e la vulnerabilità. Gli impatti si riferiscono generalmente agli effetti su vite, mezzi di sussistenza, salute e benessere, ecosistemi e specie, beni economici, sociali e culturali, servizi (compresi i servizi ecosistemici) e infrastrutture. Gli impatti possono essere definiti conseguenze o effetti e possono essere negativi o positivi.

Box 8 - Definizioni di rischio, *hazard*, esposizione, vulnerabilità e impatti dal Glossario dell'IPCC (2021).

From climate risk to climate resilient development: climate, ecosystems (including biodiversity) and human society as coupled systems

(a) Main interactions and trends

(b) Options to reduce climate risks and establish resilience

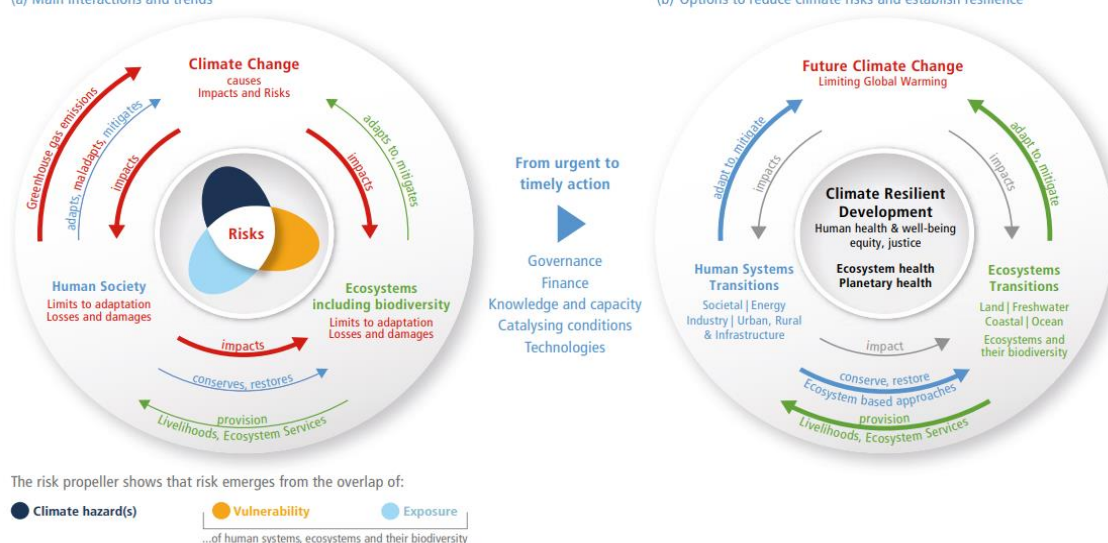


Figura 13 - *Framework* del rischio climatico nel *Six Assessment Report* dell'IPCC: dal rischio climatico al climate resilient development (2022).

La definizione adottata dall'IPCC nel più recente report AR6 (IPCC, 2022) introduce un approccio più inclusivo alle situazioni in cui il concetto di rischio può essere applicato sulla base della diversità dei beni ("valori") e quindi delle conseguenze potenzialmente avverse o negative. Il *Six Assessment Report*, sulla base del modello per l'analisi dei rischi climatici individuato nel precedente AR5 (2014), riconosce **l'interdipendenza tra il clima, gli ecosistemi, la biodiversità e i sistemi antropici** proponendo una maggiore integrazione tra le scienze naturali, ecologiche, sociali ed economiche. Attualmente, infatti, la valutazione degli impatti e dei rischi derivanti dal cambiamento climatico si colloca in un contesto di tendenze globali non climatiche in atto, come la perdita di biodiversità, il consumo insostenibile delle risorse naturali, il degrado degli ecosistemi, la rapida urbanizzazione e il degrado urbano, i cambiamenti demografici, le disuguaglianze sociali ed economiche e le possibili future pandemie. L'interazione tra queste tendenze è alla base dei rischi derivanti dal cambiamento climatico, dal degrado degli ecosistemi e dalla perdita di biodiversità e, allo stesso tempo, offrono opportunità per il futuro. Comprendere queste interazioni consente di delineare e definire strategie e azioni di adattamento e mitigazione climatica per il raggiungimento degli obiettivi di *climate resilient development* che sostenga la salute dell'uomo e il benessere degli ecosistemi (IPCC WGII, 2022).

In ambito urbano assumono rilevante importanza le componenti di esposizione e vulnerabilità, condizionate da numerosi fattori quali le caratteristiche economiche e culturali delle comunità insediate, il grado di infrastrutturazione dell'ambiente costruito, la qualità dei servizi ecosistemici e le minacce derivanti dalle azioni antropiche come il sovrasfruttamento delle risorse o il degrado ambientale delle aree che forniscono risorse e servizi naturali (Gencer et al., 2018). Ciò contribuisce alla crescente consapevolezza che gli eventi disastrosi sono spesso esacerbati nelle città a causa delle interazioni con i sistemi infrastrutturali urbani, la popolazione e le attività economiche e risulta fondamentale migliorare la risposta delle città a tali eventi che caratterizzano i sistemi ambientali ⁹contemporanei. In questo contesto, stanno assumendo sempre maggiore rilevanza i campi di studio e ricerca relativi alla valutazione multirischio e al *risk management*.

Per la peculiarità del carattere di interdipendenza degli approcci relativi alla conoscenza dei fattori di rischio, sia in fase di conoscenza che in quella progettuale «è necessario acquisire la consapevolezza che i fenomeni ambientali vanno collocati nell'ambito dei fenomeni sistemici interconnessi che interessano lo spazio di vita degli individui e delle altre specie viventi» (Losasso, 2016).

⁹ Un sistema ambientale viene definito come la rappresentazione spaziale di un ecosistema. È costituito dall'insieme di più sistemi specie-specifici che concorrono alla complessità ambientale.

1.2.2 Rischi complessi: rischi a cascata e rischi composti

Così come il concetto di crisi composte (*compound crises*) include interazioni complesse di causa e impatto, allo stesso modo i concetti di **rischio composto e a cascata** (*compound risk* e *cascading risk*) comprendono l'**interazione di diversi tipi di hazard** a diverse scale (a evoluzione lenta o rapida) che determinano in questo modo dinamiche complesse e non lineari (Westman et al., 2022; Zscheischler et al., 2018; Wahl et al., 2015).

Nel nuovo regime climatico, molteplici driver dei rischi climatici interagiscono tra di loro così come con rischi di diversa natura. Le connessioni tra sistemi socioeconomici, ambientali e tecnologici trasferiscono il rischio da un sistema o da un settore all'altro, generando nuovi rischi o amplificando quelli esistenti (Helbing, 2013; Simpson et al., 2021). Ciò sottolinea la complessità delle interazioni tra i molteplici fattori di rischio del cambiamento climatico e il modo in cui i rischi multipli si combinano.

Gli impatti e i rischi del cambiamento climatico stanno diventando sempre più complessi e difficili da gestire. Più *hazard* climatici si stanno manifestando – e si manifesteranno con sempre maggiore frequenza – simultaneamente con l'interazione di molteplici rischi climatici, determinando un aggravamento del rischio complessivo.

L'IPCC ha definito, nel report redatto dal *Working Group II Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, questa tipologia di interazione fra diversi rischi come **rischi complessi**, ovvero quei rischi derivanti da più *hazard* climatici che si verificano contemporaneamente e da più rischi che interagiscono, aggravando il rischio complessivo e facendo sì che essi si trasmettano attraverso sistemi interconnessi e tra regioni diverse (IPCC, 2022b).

I rischi multipli interagiscono con molteplici vulnerabilità agli hazard climatici aggravando il rischio complessivo. Ad esempio, la crescente concomitanza di ondate di calore e siccità sta causando numerose perdite alla produzione agricola. Nel caso in cui il riscaldamento globale superasse la soglia di +1.5°C rispetto all'epoca preindustriale, con l'aumento della concomitanza di eventi climatici estremi aumenterà il rischio di perdite simultanee dei raccolti nelle principali regioni produttrici di cibo. Il futuro innalzamento del livello del mare, combinato con le mareggiate e le *heavy rains*, aumenterà il rischio di alluvioni. I rischi per la salute e la produzione alimentare saranno resi più gravi dall'interazione di ondate di calore, caratterizzate da temperature elevate per periodi molto lunghi, e siccità. Gli impatti derivanti da questi rischi interagenti porteranno presumibilmente a un aumento dei prezzi dei prodotti alimentari, incidendo sulla capacità di acquisto delle famiglie e determinando un aumento della malnutrizione e della mortalità legata al clima, in particolare nelle regioni in cui non sono attive politiche di adattamento climatico (IPCC, 2022b).

Compound risk	i rischi composti derivano dall'interazione di hazard, che possono essere caratterizzati da singoli eventi estremi o da molteplici eventi coincidenti o sequenziali che interagiscono con i settori esposti.
Cascading risk	Un evento o una tendenza che ne innesca altri; le interazioni possono essere unidirezionali ma possono anche avere delle retroazioni; il rischio a cascata è spesso associato alla componente di vulnerabilità del rischio.
Emergent risk	Un rischio che deriva dall'interazione di fenomeni in un sistema complesso; ad esempio, il rischio causato quando gli spostamenti geografici della popolazione umana in risposta ai cambiamenti climatici portano a un aumento della vulnerabilità e dell'esposizione delle popolazioni e della regione ricevente.
Aggregate risk	L'accumulo di determinanti indipendenti del rischio.
Amplified risk	Il sostanziale rafforzamento del rischio di fondo attraverso la combinazione o la concentrazione di determinanti del rischio nel tempo e nello spazio.
Interacting risk	Le combinazioni di hazard e le loro influenze reciproche tra diversi fattori e le convergenze con i driver ambientali.
Interconnected risk	Le complesse interazioni tra sistemi umani, ambientali e tecnologici con interdipendenze fisiche che sono strettamente legate alle interazioni sociali interconnesse.
Interdependent risk	I sistemi complessi comportano interazioni e interdipendenze che non possono essere separate e che portano a una serie di rischi imprevedibili.
Multi-risk	Il rischio complessivo derivante da diversi hazard, tenendo conto delle possibili interazioni tra pericoli e vulnerabilità che comportano prospettive sia di multi-hazard che di multi-vulnerabilità.
Systemic risk	Il rischio sistemico deriva dalle interconnessioni tra i rischi (networked risk), in cui un danno iniziale localizzato potrebbe avere effetti disastrosi e causare, nel caso più estremo, danni illimitati.

Tabella 3 - Tipi di rischio complesso (Fonte: Simpson et al., 2021)

In questo campo, sulla base della letteratura scientifica, sono stati identificati due principali tipologie di interazioni tra *hazard*:

- un *hazard* è innescato da un altro, inducendo una serie di *hazard* che si succedono a catena;
- due *hazard* avvengono nello stesso momento o uno dopo l'altro senza però avere una correlazione di causa/effetto lineare l'uno con l'altro.

Nel primo caso si fa riferimento all'effetto a cascata (*cascading risks*) mentre nel secondo a quello composto (*compound risks*) (Wang et al., 2020).

Si definisce **rischio a cascata** «un evento o una tendenza che ne innesca altri; le interazioni possono essere unidirezionali (i.e., effetti domino o di contagio) ma possono avere anche delle retroazioni; il rischio a cascata è spesso associato alla componente di vulnerabilità del rischio» (Simpson et al., 2021, p. 491). Esso deriva dall'interazione di diversi elementi all'interno di un sistema. I cambiamenti in una parte del sistema possono innescare cambiamenti secondari in altri elementi collegati, portando a una reazione a catena di impatti. I rischi a cascata «possono essere rappresentati da una sequenza temporale costituita da: una singola catena di eventi, in caso di attivazione di un evento che induca un singolo grafo di eventi (*event tree*); una sequenza di più catene in parallelo, in caso di attivazione di un evento che induca più grafi di eventi in parallelo» (Versace, Zuccaro, Albarello & Mugnozza, 2023, p.14). Tali eventi possono essere particolarmente difficili da valutare e gestire a causa delle complesse interazioni coinvolte. Tali rischi derivano dal

verificarsi di più eventi estremi simultanei e possono avere conseguenze significative sia per i sistemi naturali che per quelli socioeconomici (Abram et al., 2019).

I **rischi composti**, invece, «derivano dall'interazione degli *hazard*, che possono essere caratterizzati da singoli eventi estremi o da eventi estremi multipli coincidenti o sequenziali che interagiscono con i sistemi o i settori esposti» (Simpson et al., 2021, p. 491). Questo tipo di rischi fanno, dunque, riferimento al verificarsi di più pericoli coincidenti o sequenziali che hanno il potenziale di creare impatti più gravi e interconnessi. Sono caratterizzati dalla loro rarità, che spesso porta alla mancanza di dati o modelli statistici per valutare accuratamente i rischi nelle condizioni attuali o future. I rischi composti possono derivare dall'interazione di diversi *hazard* climatici e possono, a loro volta, provocare effetti a cascata e ripercussioni all'interno del sistema nel quale agiscono (IPCC, 2022c; Abram et al., 2019).

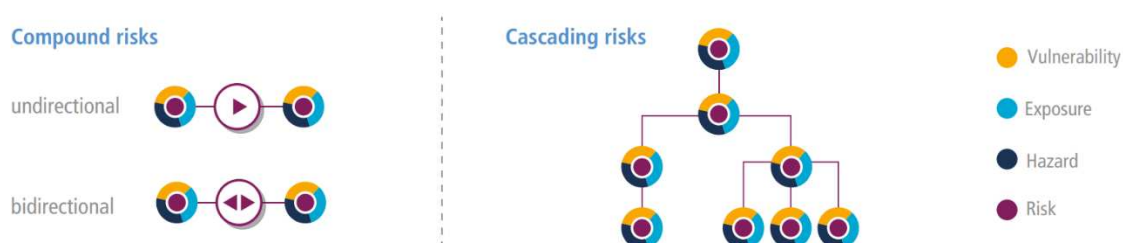


Figura 14 - Rischi complessi: Interazioni composte e a cascata (fonte: IPCC, 2022b)

I rischi complessi sono, quindi, caratterizzati da processi che generano eventi secondari determinati da eventi fisici (ad esempio, una frana innescata da un terremoto), caratteristiche dell'ambiente costruito (ad esempio, la presenza di infrastrutture critiche o insediamenti urbani fragili) e dalle comunità (nel senso di comportamenti e stili di vita). Il livello di interconnessione e interdipendenza può essere causato da catene di causalità interattive, che possono estendersi nello spazio e nel tempo (Pescaroli & Alexander, 2018).

Attualmente, una migliore comprensione delle interazioni fisiche ha teso a **spostare la valutazione** del rischio **verso approcci multirischio**, focalizzando l'attenzione sui fattori della società contemporanea e dell'ambiente costruito che ad esso contribuiscono.

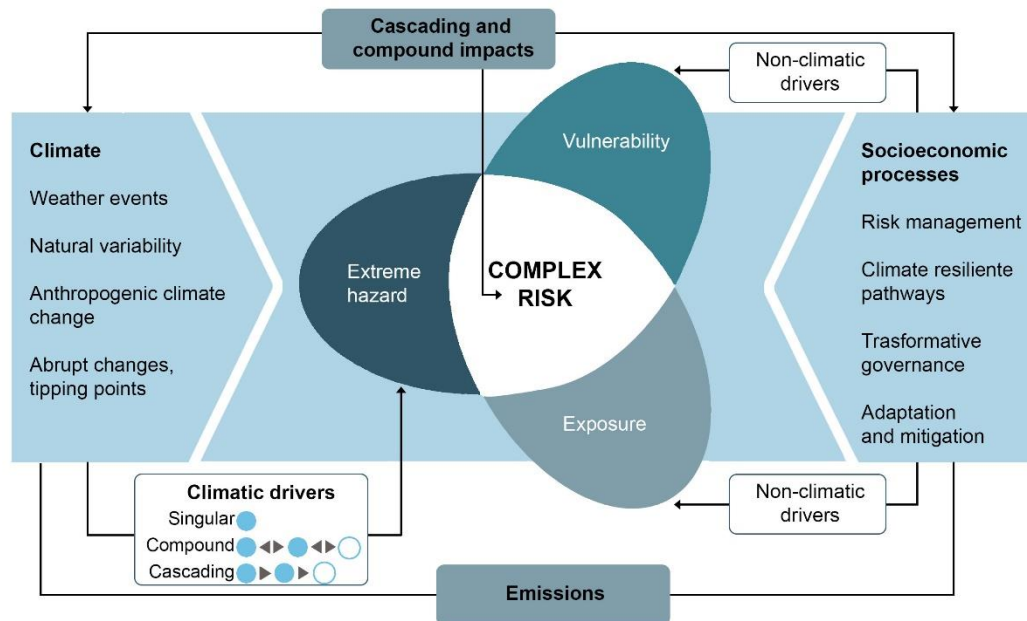


Figura 15 - Quadro di riferimento per i rischi complessi (Fonte: elaborazione da IPCC, 2022b; Abram et al., 2019).

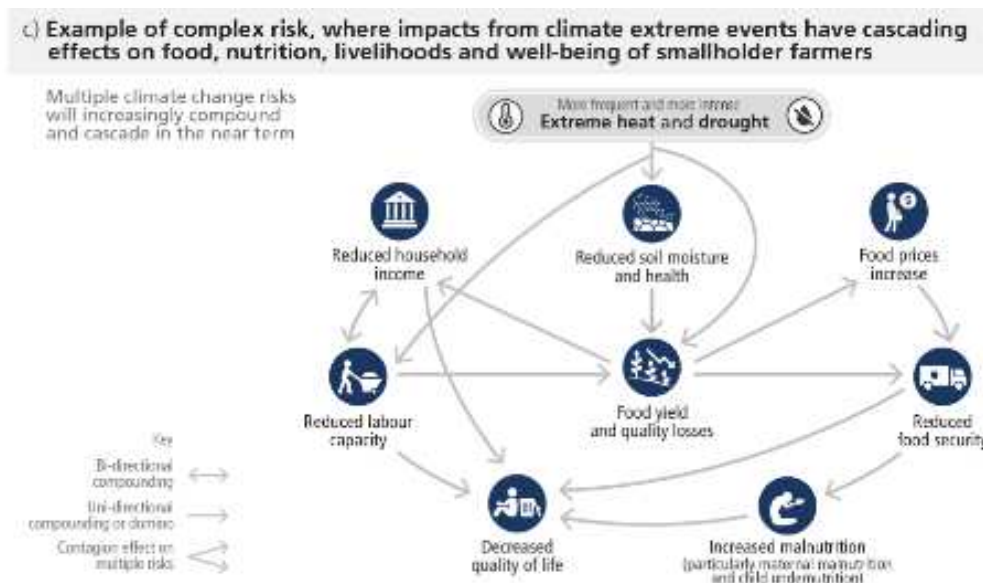


Figura 16 - Esempio di rischio complesso, in cui gli impatti di eventi estremi hanno effetti a cascata su tutti i settori (Fonte: IPCC, 2023).

Gli *hazard* climatici possono innescare rischi a cascata che coinvolgono diversi settori e si propagano in diverse regioni seguendo complesse connessioni naturali e sociali. Nell'immagine è riportato l'esempio di come un evento estremo di *heat wave* e uno di siccità che colpiscono un'area a vocazione agricola determini rischi interconnessi che a loro volta generano impatti a cascata a livello biofisico, economico e sociali sui gruppi particolarmente vulnerabili.

1.2.3 I rischi climatici in ambito urbano

Dal rapporto AR5 dell'IPCC in poi, la base di conoscenza relativa agli impatti e ai rischi osservati e prospettati derivanti dalla combinazione di *hazard* climatici, esposizione e vulnerabilità è stata notevolmente ampliata (IPCC, 2014; IPCC, 2023). Gli insediamenti urbani sono soggetti a una **diversificata gamma di rischi legati a pericoli ambientali, naturali e antropici**, che interagendo tra loro, richiedono valutazioni adeguate e misure significative per la mitigazione e l'adattamento alle condizioni multirischio (Clemente, 2023).

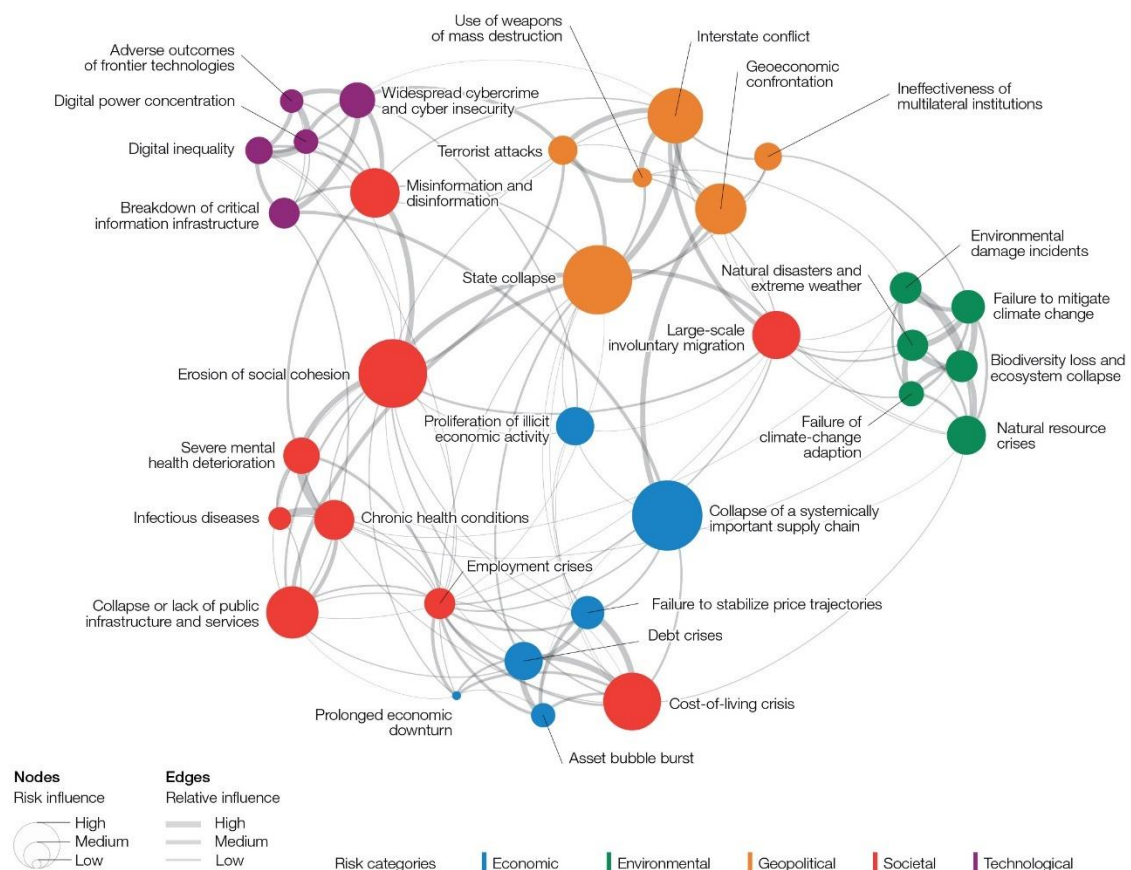


Figura 17 - Scenario di rischi interconnessi alla scala globale (Fonte: World Economic Forum, Global Risk, Perception Survey, 2022-2023).

Gli impatti dei cambiamenti climatici attuali e i rischi ad essi correlati sono oggi valutati in termini di danni, conseguenze negative e perdite economiche e non. Negli ultimi decenni, in particolare, **l'incidenza degli effetti del cambiamento climatico si è intensificata nei contesti urbani**, dando luogo a un incremento in termini di numero e severità dei rischi connessi al clima. Questo incremento ha comportato una crescente frequenza di disastri, sia di natura naturale che di origine antropica che, a loro volta, hanno determinato un notevole impatto sulla salute umana, sui mezzi di sussistenza e sulle infrastrutture critiche influenzando negativamente sull'integrità e sul funzionamento degli insediamenti urbani e sulla capacità di risposta degli stessi alla scala locale (UNGA, 2016).

Le città sono oggi esposte a una molteplicità di eventi pericolosi, sia di origine climatica che non, che possono incidere sugli insediamenti e sulle infrastrutture **in modo simultaneo (*compound risk*) o sequenziale (*cascading risk*)**, talvolta interagendo tra loro e amplificando i danni. L'ultimo report (AR6) dell'IPCC evidenzia, ad esempio, un aumento, nell'ultimo periodo, dell'intensità delle **temperature estreme** con conseguente aumento dei fenomeni di **ondate di calore** nelle aree urbane, dove hanno aggravato anche gli eventi pericolosi legati all'inquinamento atmosferico e limitato il funzionamento di alcune infrastrutture di base per il funzionamento delle città (IPCC, 2022). Gli impatti osservati, in questo caso, si sono concentrati, in particolare, tra i residenti urbani economicamente e socialmente emarginati residenti soprattutto negli insediamenti informali. Infrastrutture cruciali, come i sistemi di trasporto, approvvigionamento idrico, servizi igienico-sanitari ed elettrici, sono state compromesse da eventi estremi o da processi a insorgenza graduale, con conseguenti perdite economiche, interruzione dei servizi e impatti sul benessere delle comunità urbane.

Eventi connessi ai rischi composti possono, anche, essere innescati da *hazard* come eventi estremi singoli o eventi multipli coincidenti che si sovrappongono e interagiscono con i sistemi urbani, configurando rischi climatici composti (*compound climate risks*) (Leonard et al., 2014; IPCC, 2019b; Piontek et al., 2014). Gli *hazard* idrometeorologici, come le **precipitazioni estreme** causate da cicloni tropicali o temporali, spesso si combinano con mareggiate e deflussi di acqua dolce, dando luogo a elevati rischi composti per i centri abitati maggiormente esposti (Zheng, Westra & Sisson, 2013; Chen & Liu, 2014; Ourbak & Magnan, 2018; Dowdy & Catto, 2017). L'effetto *compounding* tra questi *hazard* idrometeorologici suggerisce che l'impatto combinato di questi eventi sia maggiore rispetto a sé ciascuna di queste variabili fosse da sola e che posso amplificare i rischi nelle località colpite (Kew et al., 2013; Vitousek et al., 2017).

Nei contesti urbani e metropolitani, gli effetti dei rischi climatici sono amplificati da elementi specifici, come la densità della popolazione, la configurazione urbana e il layout degli edifici. Ciò è dovuto principalmente all'elevato livello di impermeabilità e all'assorbimento e alla trattenuta del calore dovute alle caratteristiche di *heat-retaining* dei materiali da costruzione e alla scarsa ventilazione naturale nei tessuti urbani più densamente popolati (Oke et al., 2017; Clemente, 2023). In questi contesti, inoltre, gli impatti negativi attribuibili alle conseguenze della crisi climatica sono maggiormente accentuanti anche a causa delle specifiche caratteristiche morfologiche degli edifici, delle proprietà termiche e idrauliche delle superfici e della carenza di vegetazione (Mercogliano, 2020).

I *compound risk* per gli insediamenti urbani sono, altresì, amplificati dall'incremento degli eventi climatici estremi, come l'**urban flooding** dovuto a precipitazioni estreme e mareggiate che incidono negativamente sul funzionamento delle infrastrutture e delle reti di trasporto ma anche sul funzionamento delle reti ICT (provocando danni agli impianti di cavi sotterranei o alle torri di trasmissione) e le reti elettriche. Questi rischi crescenti nelle città è dovuto anche alla scarsa capacità di adattamento delle città, che può derivare anche dalle differenze nella qualità delle infrastrutture all'interno delle stesse aree urbane. Ad esempio, nelle zone urbane in espansione

caratterizzate da insediamenti informali, si riscontrano spesso carenze in termini di materiali, sicurezza strutturale e accessibilità che determinano comunemente una maggiore vulnerabilità ai *compound* e *cascading risks* (IPCC, 2022).

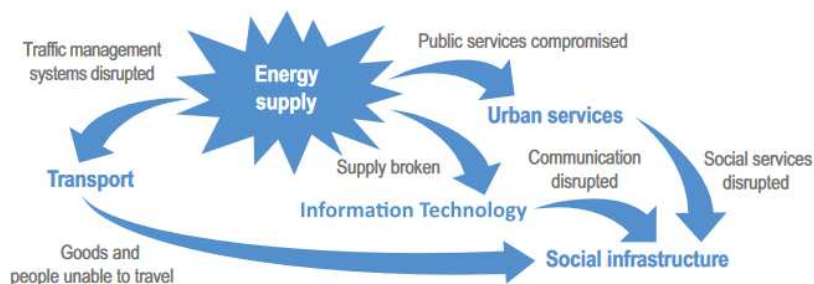
Nello scenario attuale, i rischi sono, dunque, complessi e multidimensionali e possono amplificare significativamente l'impatto di eventi singoli in termini di spazio, scala e tempo. Tali impatti sono determinati in larga parte dalla vulnerabilità urbana e/o dall'interdipendenza delle infrastrutture critiche urbane (Pescaroli and Alexander, 2018; Zuccaro, De Gregorio and Leone, 2018). La peculiare natura delle aree urbane, caratterizzate da un'elevata fragilità, vulnerabilità ed esposizione agli impatti derivanti dai rischi climatici e da una elevata eterogeneità in termini di caratteristiche morfologiche, demografiche e socioeconomiche, incrementa la loro propensione al rischio influenzata, insieme alla loro capacità di resilienza, influenzate da una complessa interazione di fattori che comprendono non solo quelli climatici, ma anche quelli socioeconomici e istituzionali (CMCC, 2021).

All'interno dei contesti urbani italiani, possono essere trovate molte caratteristiche fisiche e strutturali peculiari, sia in termini di quantità che di qualità del tessuto edilizio. Questo generalmente si traduce in una significativa impermeabilizzazione delle superfici e in uno sviluppo delle aree naturali limitato negli insediamenti urbani. Per questo motivo, tali centri urbani si trasformano in veri *"hot-spot"* nei quali si concentrano le conseguenze negative del cambiamento climatico. In tale contesto, *hazard* come ondate di calore e precipitazioni intense possono generare impatti di intensità notevolmente differenti rispetto ad altre aree, con un conseguente grave rischio per la salute e l'incolumità dei cittadini, in particolare per le categorie di popolazione più vulnerabili. Per mitigare queste conseguenze negative, dipendenti in modo significativo dalle caratteristiche specifiche di ciascuna città, diventa essenziale condurre studi e analisi mirate che consentano di individuare i rischi specifici di ciascuna realtà urbana (CMCC, 2021).

L'**impatto** dei cambiamenti climatici si manifesta in modi diversi **in base alle specifiche caratteristiche dei contesti locali** che ne definiscono condizioni di vulnerabilità ed esposizione, e le città si trovano in prima linea nell'individuazione di strategie, misure e strumenti mirati a mitigare questi impatti. L'obiettivo è quello di garantire la crescita sociale ed economica delle comunità urbane, preservando nel contempo la sicurezza dei cittadini e il miglioramento della qualità della vita e dell'ambiente. Considerare gli impatti e rischi dei cambiamenti climatici nella progettazione e nella pianificazione degli insediamenti e delle infrastrutture urbane e rurali è fondamentale per la resilienza e il miglioramento del benessere umano. La fornitura di servizi di base e infrastrutture, la diversificazione dei mezzi di sussistenza e occupazione, il rafforzamento dei sistemi alimentari locali e regionali e l'adattamento a livello di comunità, svolgono un ruolo cruciale nel miglioramento delle condizioni e degli stili di vita, in particolare dei gruppi maggiormente vulnerabili. Una pianificazione inclusiva, integrata e a lungo termine alla scala locale, comunale, subnazionale e nazionale, insieme a sistemi di regolamentazione e monitoraggio efficaci e a risorse e capacità finanziarie e tecnologiche, favoriscono la transizione dei sistemi urbani e rurali. Partenariati efficaci tra governi, società civile e organizzazioni del settore privato alle diverse scale, forniscono

infrastrutture e servizi in grado di aumentare la capacità di adattamento e di contrasto agli impatti dei rischi derivanti dalla crisi climatica in atto (IPCC, 2022). La gestione delle sfide poste dagli impatti nei contesti urbani derivanti dai rischi complessi connessi alla crisi climatica richiede quindi una comprensione approfondita delle dinamiche complesse che sottendono a tali impatti e una risposta che tenga conto di questa diversificazione di fattori.

1 Rapid onset event, e.g. flood or storm surge



2 Slow-onset or chronic impacts, e.g. recurrent food price shocks or everyday flooding

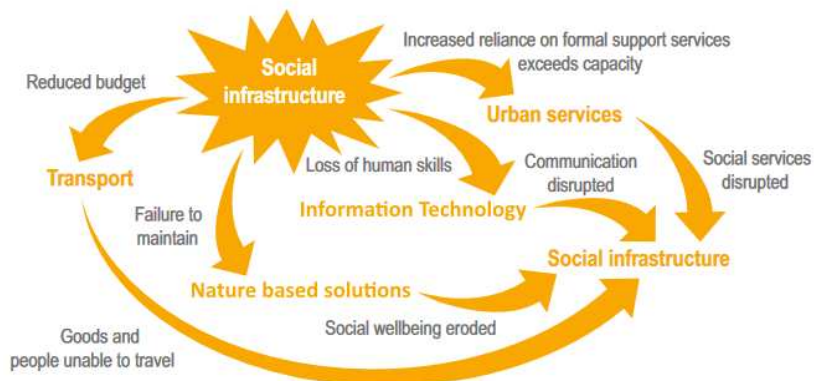


Figura 18 - Esempi di processi che mostrano come gli impatti climatici incidono sulla natura interconnessa delle città, degli insediamenti urbani e delle infrastrutture (Fonte: IPCC, 2022).

Caso 1 – Evento ad insorgenza rapida come un'alluvione o una tempesta: un'alluvione improvvisa danneggia la fornitura di energia, ad esempio allagando una sottostazione elettrica. L'impatto diretto dell'alluvione si ripercuote rapidamente a cascata sulle infrastrutture sociali, compromettendo i servizi urbani, interrompendo i servizi informatici e bloccando la gestione del traffico.

Caso 2 – Impatti lenti o cronici, ad esempio contrazioni ricorrenti dei prezzi dei prodotti alimentari o inondazioni ricorrenti: Gli impatti cronici delle inondazioni ricorrenti danneggiano nel tempo le infrastrutture sociali, con la conseguente riduzione dei mezzi di sussistenza e dei servizi sanitari e scolastici locali. Questi impatti si propagano a cascata riducendo le entrate fiscali cittadine in un momento in cui aumenta la domanda di servizi urbani, tra cui il trasporto pubblico, l'emigrazione di lavoratori qualificati riduce la base di competenze per la manutenzione di sistemi informatici e spazi naturali come i parchi pubblici. Questi impatti, a loro volta, limitano le infrastrutture sociali.

Riferimenti bibliografici

- Abram, N., Gattuso, J.-P., Prakash, A., Cheng, L., Chidichimo, M.P., Crate, S., ... & von Schuckmann, K. (2019). 2019: Framing and Context of the Report. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge (UK) e New York: Cambridge University Press.
- Alexander, A. (2009). *Britain's New Towns: Garden cities to sustainable communities*. Londra: Routledge.
- Atzeni, C. & Mocchi, S. (2018) *Modernità resiliente. Esperienze d'habitat in Algeria*. Macerata: Quodlibet Studio.
- Baricco, A. (2020). Virus: è arrivato il momento dell'audacia. *La Repubblica*, 26/03/2020.
- Battisti, A., Endres, E., Santucci, D., & Tucci, F. (2015). ENERGIE Bedrohung oder Chance für die europäische Stadtlandschaft? ENERGIA Occasione o Minaccia per Il Paesaggio Urbano europeo?. In *ENERGIE. Bedrohung oder Chance für die europäische Stadtlandschaft?* | *ENERGIA. Occasione o Minaccia per Il Paesaggio Urbano europeo?* (pp. 1-200). Technische Universität München.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*, vol. 17.
- Beck, U. (2018). *Ecological politics in an age of risk*. John Wiley & Sons.
- Boin, A., Ekengren, M. & Rhinard, M. (2020). Hiding in Plain Sight: Conceptualizing the Creeping Crisis. *Risk, hazards & crisis in public policy*, 2 (2), 116-138. doi: 10.1002/rhc3.12193
- Branscomb, L. M. (2006). Sustainable cities: Safety and security. *Technology in Society*, 28(1-2), 225-234.
- Brissette, E. (2016). The Prefigurative Is Political: On Politics Beyond 'The State'. In Dinerstein, A. C. (Ed.), *Social sciences for another politics. Women theorizing without parachutes* (pp. 109-120). Basingstoke (U. K.): Palgrave Macmillan.
- Butera, F. M. (2021). *Affrontare la complessità per governare la transizione ecologica*. San Giuliano Milanese: Edizioni Ambiente.
- Caja, M. (2008). La HafenCity Hamburg: Una città-porto tra continuità e innovazione. *Portus Plus*.
- Capozzi, R. (2022). Arcipelaghi d'ordine. In Attademo, A., Bassolino, E. & Orfeo, C., *La costruzione della periferia. Napoli 1945-1986* (p. 13-15). Napoli: Clean.
- Chen, W. B., & Liu, W. C. (2014). Modeling flood inundation induced by river flow and storm surges over a river basin. *Water*, 6(10), 3182-3199.
- Clapson, M. (2017). The English new towns since 1946: what are the lessons of their history for their future?. *Histoire urbaine*, (3), 93-111.
- Clemente, M. F. (2023). *Climate Risks/Urban Waterfront. La progettazione ambientale per la resilienza climatica delle aree urbane costiere*. Napoli: Clean.
- CMCC – Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (2021). *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in sei città italiane*. Disponibile in: <https://www.cmcc.it/it/rischio-clima-citta-2021> [4 Ottobre 2023].
- Coaffee, J. (2008). Risk, resilience, and environmentally sustainable cities. *Energy Policy*, 36(12), 4633-4638.

- Coaffee, J., & Rogers, P. (2008). Rebordering the city for new security challenges: from counter-terrorism to community resilience. *Space and Polity*, 12(1), 101-118.
- Coletta, I. (2022). Il quartiere e l'unità di vicinato. Spine Bianche, Matera, 1955-1959. In Dell'Acqua, F. & Sansò, C. (Ed.), *Periferie e residenza pubblica in Italia. Gli anni 1945-2000. Progetti, processi, idee di città* (p.155-161). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Colloca, C. (2010). La polisemia del concetto di crisi: società, culture, scenari urbani. *Società Mutamento Politica*, 1(2), 19-39.
- Crutzen, P. J. (2006). The "anthropocene". In Ehlers, E., Krafft, T. (Eds.). *Earth System Science in the Anthropocene*. Berlin: Springer, pp. 13-18.
- De Lotto, R. (2015). Prefazione. In Gazzola, V. *Uso del suolo e riduzione del rischio naturale in ambito urbano. Conoscenza, metodo e strumenti per la ridefinizione funzionale preventiva*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli, pp. 11- 14.
- Diamond, J. (2019). *Crisi. Come rinascono le nazioni*. Torino: Einaudi.
- Doglio, F. & Zardini, M. (2021). *Dopo le crisi. 1973, 2001, 2008, 2020 (Vol. 1)*. Siracusa: LetteraVentidue Edizioni.
- Dowdy, A. J., & Catto, J. L. (2017). Extreme weather caused by concurrent cyclone, front and thunderstorm occurrences. *Scientific Reports*, 7(1), 40359.
- Farazmand, A. (2001). *Handbook of crisis and emergency management*. CRC Press.
- Fitzgerald, J., & Lenhart, J. (2016). Eco-districts: can they accelerate urban climate planning?. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 34(2), 364-380.
- Fratini, F. (2014). HafenCity, Amburgo: un progetto integrato. *Urbanistica Informazioni*, 256. Disponibile in: <http://www.urbanisticainformazioni.it/Hafen-City-Amburgo-un-progetto-integrato.html> [4 ottobre 2023].
- Gencer, E., Folorunsho, R., Linkin, M., Wang, X., Natenzon, C. E., Wajih, S., Mani, N., Esquivel, M., Ali Ibrahim, S., Tsuneki, H., Castro, R., Leone, M., Panjwani, D., Romero-Lankao, P. & Solecki, W. (2018). Disasters and risk in cities. In Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S. Dhakal, S. & Ali Ibrahim, S. (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. New York: Cambridge University Press, pp. 61–98.
- Gibberd Architects. *Harlow Master Plan. Harlow, Essex*. Disponibile in: <https://www.gibberd.com/projects/harlow-master-plan> [4 ottobre 2023].
- Giddens, A. (1999). Risk and responsibility. *Mod. L. Rev.*, 62, 1.
- Harvey, D. (2015). *La crisi della modernità*. Milano: Feltrinelli.
- Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497(7447), 51-59.
- Howe, J., & White, I. (2004). Like a fish out of water: The relationship between planning and flood risk management in the UK. *Planning Practice and Research*, 19(4), 415-425.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Annex II: Glossary. In Mach, K.J., Planton, S. and von Stechow, C. (Eds.). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Summary for Policymakers. In *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.* Disponibile in: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. In *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.* Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/site/s/3/2022/03/01_SROCC_SPM_FINAL.pdf [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2020). *The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussions.* Disponibile in: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/01/The-concept-of-risk-in-the-IPCC-Sixth-Assessment-Report.pdf> [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge (UK) e New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022a). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022b). Full Report. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022c). Glossary. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge (UK) e New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Disponibile in: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf [4 ottobre 2023].
- Kew, S. F., Selten, F. M., Lenderink, G., & Hazeleger, W. (2013). The simultaneous occurrence of surge and discharge extremes for the Rhine delta. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(8), 2017-2029.
- Kolbe, L. (2008). *Planning and dream of a better city on a globalized world.* Disponibile in: http://laurakolbe.net/puheet/puhe_iphs.htm [23 luglio 2023]

- Latour, B. (2017). *Facing Gaia: Eight lectures on the new climatic regime*. John Wiley & Sons.
- Leonard, M., Westra, S., Phatak, A., Lambert, M., van den Hurk, B., McInnes, K., ... & Stafford-Smith, M. (2014). A compound event framework for understanding extreme impacts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(1), 113-128.
- Losasso, M. (1991). *Architettura, tecnologia e complessità*. Napoli: Clean.
- Losasso, M. (2017). Cultura tecnologica e dimensioni del sociale. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 6-10.
- Losasso, M. (2018). Prefazione. In Atzeni, C. & Mocchi, S., *Modernità resiliente. Esperienze d'habitat in Algeria* (pp.7-12). Macerata: Quodlibet Studio.
- Losasso, M. (2020). Processi innovativi per l'adattamento climatico nella rigenerazione dei distretti urbani/ Innovating Processes for Climate Adaptation in Urban District Regeneration. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, pp. 9-14.
- Losasso, M. (2022). Costruire la periferia. L'esperienza a Napoli dal 1945 al 1986. In Attademo, A., Bassolino, E. & Orfeo, C., *La costruzione della periferia. Napoli 1945-1986* (p. 9-11). Napoli: Clean.
- Losasso, mi. (2016). Climate risk, Environmental Planning, Urban design. *UPLanD – Journal of Urban Planning & environmental Design*, 1(1), 2019-232.
- Disponibile in: <https://core.ac.uk/download/pdf/236168036.pdf> [4 ottobre 2023].
- Lyotard, J. F. (1987). *Il postmoderno spiegato ai bambini*. Milano: Feltrinelli.
- Mash, B. (2012). Climate change, the threat of collapse and the opportunity for transformation. *Continuing Medical Education*, 30(3), 67.
- Melotti, U. (2016). *Flussi migratori e rotte internazionali*. Disponibile in: <https://www.istitutoeuroarabo.it/DM/flussi-migratori-e-rotte-internazionali/#:~:text=All%E2%80%99inmani%20della%20seconda%20guerra%20mondiale%20si%20ebbe%20l%E2%80%99inversione,l%E2%80%99Algeria%20in%20Africa%20e%20Cuba%20in%20America%20Latina.> [4 ottobre 2023].
- Morin, E. (1968). Pour une sociologie de la crise. *Communications*, 12, 2-16.
- Morin, E. (1976). Pour une crisologie. *Communications*, 25, 149-153.
- Morin, E. (2017). *Per una teoria della crisi*. Roma: Armando Editore.
- Morin, E. (2020). *Cambiamo strada. Le 15 lezioni del Coronavirus*. Milano: RaffaelloCortina.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Ourbak, T., & Magnan, A. K. (2018). The Paris Agreement and climate change negotiations: Small Islands, big players. *Regional Environmental Change*, 18, 2201-2207.
- Pasqui, G. (2012). Tra repubblica e democrazia. Alcune riflessioni sulle prospettive delle pratiche Urbanistiche. *Crios*, 2(1), 59-70.

- Pescaroli, G., & Alexander, D. (2018). Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: a holistic framework. *Risk analysis*, 38(11), 2245-2257.
- Piontek, F., Müller, C., Pugh, T. A., Clark, D. B., Deryng, D., Elliott, J., ... & Schellnhuber, H. J. (2014). Multisectoral climate impact hotspots in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3233-3238.
- Quarantelli, E. L., Boin, A., & Lagadec, P. (2018). Studying future disasters and crises: A heuristic approach. *Handbook of disaster research*, 61-83.
- Raco, M. (2003). Remaking place and securitising space: urban regeneration and the strategies, tactics and practices of policing in the UK. *Urban studies*, 40(9), 1869-1887.
- Robin, E., Chazal, C., Acuto, M. & Carrero, R. (2019). (Un)learning the city through crisis: lessons from Cape Town. *Oxford Review of Education*, 45(2), 242-257. doi: 10.1080/03054985.2018.1551197
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <http://www.jstor.org/stable/26268316>
- Sansò, C. (2022). Una collina in città: abitare ai piedi del monte Stella. Il Quartiere QT8, Milano, 1945-1957. In Dell'Acqua, F. & Sansò, C. (Ed.), *Periferie e residenza pubblica in Italia. Gli anni 1945-2000. Progetti, processi, idee di città* (p. 98-105). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Tecnologia dell'architettura per la progettazione ambientale. *Techne*, 1, pp. 48-53.
- Serres, M. (2015). *Temps des crises*. Le Pommier.
- Simpson, N. P., Mach, K. J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., ... & Trisos, C. H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4(4), 489-501.
- Stockholm Resilience Centre. *Planetary boundaries*. Disponibile in: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> [23 settembre 2023].
- Thom, R. (1980a). *Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli*. Milano: Einaudi.
- Thom, R. (1980b). Crisi e catastrofe. In D'Eramo M. (Ed.), *La crisi del concetto di crisi*. Cosenza: Lerici.
- Tucci, F. & Baiani, S. (2020). Eco-Distretto/Eco-District. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design* (p. 113-122). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Tucci, F. (2013). Progettazione ambientale, tra emergenza e scarsità di risorse: alcune riflessioni di metodo/Environmental Design with Regard to Emergency and Scarce Resources: A Few Method Reflections. *Techne*, 5, pp. 44-52.

- UNDHA - UN Department of Humanitarian Affairs (1992). *Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management*. Disponibile in: <https://reliefweb.int/report/world/internationally-agreed-glossary-basic-terms-related-disaster-management> [23 settembre 2023].
- UNDP - United Nations Development Programme (2005). *Adaptation Policy framework for climate change: developing strategies, policies and measures*. Disponibile in: https://www.preventionweb.net/files/7995_APF.pdf [23 settembre 2023].
- UNDP - United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development: a global report*. Disponibile in: <https://digitallibrary.un.org/record/515746> [23 settembre 2023].
- UNDRO - Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator. (1982). *Shelter after disaster: Guidelines for assistance*. Disponibile in: <https://digitallibrary.un.org/record/48456> [23 settembre 2023].
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (1992). "Article 1". *UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*. Disponibile in: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf [12 ottobre 2021].
- UNGA - United Nations General Assembly (2016). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Disponibile in: <https://digitallibrary.un.org/record/852089> [4 ottobre 2021].
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2004). *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives*. Disponibile in: https://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf [23 settembre 2023].
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2009). *Report of the open ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Disponibile in: <https://digitallibrary.un.org/record/852089> [23 settembre 2023].
- UNISDR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015). *Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review*. Disponibile in: https://www.preventionweb.net/files/45462_backgroundpaperonterminologyaugust20.pdf [23 settembre 2023].
- Versace, P., Zuccaro, G., Albarello, D., & Mugnozza, G. S. (2023). Natural and anthropogenic risks: proposal for an interdisciplinary glossary. *Italian journal of engineering geology and environment*, (1), 5-18.
- Visconti, F. (2022). Periferie e idee di città. In Attademo, A., Bassolino, E. & Orfeo, C., *La costruzione della periferia. Napoli 1945-1986* (p. 17-19). Napoli: Clean.
- Vitousek, S., Barnard, P. L., & Limber, P. (2017). Can beaches survive climate change?. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122(4), 1060-1067.
- Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S. D., & Luther, M. E. (2015). Increasing risk of compound flooding from storm surge and

- rainfall for major US cities. *Nature Climate Change*, 5(12), 1093-1097.
- Wang, J., He, Z., & Weng, W. (2020). A review of the research into the relations between hazards in multi-hazard risk analysis. *Natural Hazards*, 104, 2003-2026.
- Westaman, L.; Patterson, J.; Macrorie, R.; Orr, C.J.; Ashcraft, C.M.; Castàn Broto, V.; Dolan, D.; Mukesh, G.; van der Heijden, J.; Hickmann, T.; Hobbins, R.; Papin, M.; Robin, E.; Rosan, C.; Torrens, J. & Webb, R. (2022). Compound urban crises. *Ambio*, 51, 1402-1415. doi: 10.1007/s13280-021-01697-6
- Zeitlin, J., Nicoli, F., & Laffan, B. (2019). Introduction: The European Union beyond the polycrisis? Integration and politicization in an age of shifting cleavages. *Journal of European Public Policy*, 26(7), 963-976.
- Zheng, F., Westra, S., & Sisson, S. A. (2013). Quantifying the dependence between extreme rainfall and storm surge in the coastal zone. *Journal of hydrology*, 505, 172-187.
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., ... & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469-477.
- Zuccaro, G., De Gregorio, D., & Leone, M. F. (2018). Theoretical model for cascading effects analyses. *International journal of disaster risk reduction*, 30, 199-215.

2 MODELLI DI CONOSCENZA DEI RISCHI CLIMATICI NEGLI INSEDIAMENTI URBANI

2.1 Modelli per la valutazione dei rischi climatici negli insediamenti urbani

2.1.1 L'approccio *hazard/risk based*: le posizioni della ricerca scientifica

Attualmente, la condizione di policrisi caratterizzata da rischi multipli definisce scenari multirischio con importanti impatti in ambito urbano. L'ambiente costruito – che rappresenta uno dei principali fattori di emissione di gas serra responsabile del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici – è costantemente sottoposto a una molteplicità di **condizioni di rischio sia a insorgenza rapida**, come i terremoti, **sia a insorgenza lenta**, come quelli legati ai cambiamenti climatici (D'Amico et al., 2021). Data la complessità del sistema urbano e le vulnerabilità che lo caratterizzano, la **valutazione del rischio** e la proposta di strategie per contrastarne gli impatti devono basarsi su un'**ottica multi-disciplinare e multi-rischio**. Risulta prioritario adottare un approccio che fornisca una migliore comprensione delle complesse dinamiche determinate dalla condizione multirischio e che sia in grado di valutare gli impatti presenti e futuri degli eventi legati al clima sull'ambiente costruito, sugli insediamenti urbani e sul patrimonio culturale, tenendo conto della loro vulnerabilità legata a tale scenario. Un approccio riduzionista, che si concentri solo sui singoli *hazard* che si verificano in determinate aree geografiche e sull'analisi degli impatti nei singoli settori, oggi è non più efficace per affrontare i rischi ambientali, naturali e antropici.

A livello europeo sono stati raggiunti risultati significativi in materia di catastrofi e rischi.

Ad esempio, il progetto *New Multi-HAZard and MulTi-RIsK Assessment MethodS for Europe* (2010-2013)¹⁰, che ha sviluppato metodi e strumenti che tengono conto delle diverse interdipendenze tra i diversi *hazard* per generare valutazioni del rischio più accurate e complesse, che portino a migliori piani di risposta, includendo eventi a cascata e congiunti nella valutazione del rischio e nella sua attuazione nell'ambito di diverse strutture di *governance*. Nell'ambito di uno scenario multirischio, sono stati armonizzati modelli e metodi di valutazione dei singoli pericoli e della vulnerabilità esistenti che hanno condotto all'elaborazione di un'infrastruttura *multihazard* e multirischio per la valutazione e la lotta ai rischi correlati a varie minacce naturali attraverso un atteggiamento coerente. Precedentemente, lo *Hyogo Framework for Action* (2005-2015) ha proposto un progetto globale per riduzione del rischio di catastrofi (*disaster risk reduction*) con un piano decennale, adottato nel 2005 da 168 Stati membri delle Nazioni Unite in occasione della *World Conference on Disaster Risk Reduction*. L'obiettivo del progetto era quello di costruire la resilienza delle nazioni e delle comunità ai rischi di catastrofe, ottenendo una riduzione sostanziale delle perdite dovute a talie venti entro il 2015, in termini di vite umane e di beni sociali, economici e ambientali delle comunità e dei Paesi. L'HFA comprendeva cinque aree con priorità d'azione per raggiungere la *disaster resilience* per le comunità vulnerabili nel contesto dello sviluppo sostenibile (UNISDR,

¹⁰ *New Multi-HAZard and MulTi-RIsK Assessment MethodS for Europe*. Disponibile in: <https://cordis.europa.eu/project/id/265138/reporting>.

2005). La *European Commission Communication on the Internal Security strategy* (EC, 2010) prevede l'istituzione di una politica coerente di gestione dei rischi, che collegherà le minacce e le valutazioni dei rischi con il processo decisionale e sostiene un "approccio omnicomprensivo alla valutazione delle minacce e dei rischi". Il "Quadro comunitario sulla prevenzione delle catastrofi all'interno dell'UE" (trad. *European Community framework on disaster prevention within the EU*) sottolinea l'utilità di un approccio multirischio per un quadro comunitario di prevenzione delle catastrofi" (Komendantova et al., 2016) e, con la *European DRR strategy*, riconosce la necessità di un approccio MRA nella gestione del rischio di catastrofi (EC, 2010). La nuova politica di gestione del rischio a livello europeo collega la valutazione multirischio al processo decisionale (EC, 2014; EC & ECHO, 2021; Komendantova et al., 2016).

La valutazione dei rischi derivanti da eventi naturali, in particolare quelli legati al clima, dovrebbe adottare un approccio globale che consideri tutti gli aspetti che contribuiscono all'aumento dei pericoli, dell'esposizione e della vulnerabilità in una prospettiva multirischio (Del Monaco et al., 2006; Gallina et al., 2016). Esposizione e vulnerabilità dovrebbero essere considerati come fattori determinanti delle perdite e analizzati contestualmente alla variabilità climatica naturale e quella legata ai cambiamenti climatici di origine antropogenica per la valutazione dei rischi e degli impatti derivanti (IPCC, 2012). Lo scopo dell'approccio multirischio (*Multi-Risk Approach* -MRA) è quello di prendere in considerazione le interdipendenze tra più rischi, che possono innescare una catena di eventi naturali e antropici con diverse scale spaziali e temporali (Komendantova et al., 2016).

Il *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* pone l'attenzione sull'azione alla scala locale incoraggiando un **approccio olistico al rischio**, che dovrebbe considerare tutti i pericoli (*hazard*) a cui una comunità è esposta, l'integrazione delle conoscenze tecnico-scientifiche con quelle locali e l'inclusione del concetto di rischio nei piani locali per ottenere una significativa riduzione dei disastri entro il 2030 (UNISDR, 2015).

Sulla base della letteratura presente sul tema, nel passaggio dalla valutazione a rischio singolo a quella del rischio multiplo si possono individuare diversi livelli di valutazione (Gallina et al., 2016; Komendantova et al., 2016). I principali sono:

- *Single-hazard risk*;
- *Single-risk*;
- *Multi-hazard risk*;
- *Multi-risk*.

L'approccio ***single-hazard risk*** è un metodo ampiamente utilizzato nella valutazione e nella gestione del rischio che si concentra sull'analisi di uno specifico *hazard*. È un tipo di approccio che utilizza un processo sistematico che vede inizialmente l'identificazione e la caratterizzazione dell'*hazard*, valutandone la probabilità di accadimento e le potenziali conseguenze. Può far riferimento sia a metodi qualitativi che quantitativi. L'obiettivo è quello di stimare i potenziali impatti sulla vita umana, sull'ambiente e sui fattori socioeconomici. Sulla base di questa analisi, è possibile sviluppare strategie di gestione di uno specifico rischio, consentendo agli stakeholder di allocare le

risorse e implementare misure che riducano efficacemente i rischi associati allo specifico hazard di riferimento (Vose, 2008).

Le analisi del tipo *single-risk* presentano numerosi punti di contatto con quelle di tipo *single-hazard risk*. Esse partono dalla determinazione di un singolo rischio (ovvero la probabilità e i possibili impatti) derivante da uno specifico *hazard* (ad esempio, il *flooding*) che si verifica in una particolare area geografica in un determinato periodo di tempo (Theoharidou et al., 2015).

Attualmente, la ricerca sull'analisi e valutazione dei singoli *hazard* è avanzata. Tuttavia, in presenza di più *hazard* simultanei, i risultati dell'analisi del rischio risultano spesso imprecisi e incompleti. Ciò è dovuto, da un lato, al fatto che l'analisi del rischio derivante da più *hazard* non corrisponde alla sola somma degli esiti ottenuti dall'analisi dei singoli *hazard* e, dall'altro, alla necessità effettiva di una comparabilità dei risultati per i singoli *hazard* (Kappes et al., 2012, Wang et al., 2020). Concentrarsi solo sugli *hazard* naturali più evidenti o sugli eventi più recenti può risultare pericoloso, in quanto molte potenziali minacce agli insediamenti urbani non vengono opportunamente valutate. Tuttavia, a differenza delle analisi di un singolo pericolo (*single-hazard analysis*), l'esame di pericoli multipli (*multi-hazard analysis*) pone una serie di sfide aggiuntive a causa delle diverse caratteristiche dei processi. In particolare, ciò si riferisce alla valutazione del livello di pericolo (*hazard level*), della vulnerabilità e del livello di rischio che ne deriva (Kappes et al., 2012). Pertanto, risulta necessario affrontare le cause e le conseguenze di tutti i potenziali *hazard* per valutare i rischi e gli impatti dei rischi multipli su una città. In questo contesto, l'approccio *multi-hazard* contribuisce a comprendere come gli *hazard* e le vulnerabilità si combinano sul territorio e fornisce una **rappresentazione più accurata della complessità dei rischi per le aree urbane** (Gallina et al., 2016; Carpignano, A et al., 2009; Sharma et al., 2019).

Nell'ambito dei documenti di politica tecnica internazionale, il termine *multi-hazard* è stato utilizzato per la prima volta nell'*Agenda 21*, documento che richiama l'utilizzo di una ricerca che facesse riferimento ad un approccio *multi-hazard* come parte dei processi di pianificazione e gestione degli insediamenti "umani" nelle aree a rischio di disastri (*disaster-prone*) (UNEP, 1992). Successivamente un richiamo a questo tipo di approccio è presente nel *Johannesburg Plan*, in cui si fa riferimento all'utilizzo di un approccio integrato, *multi-hazard* e inclusivo per affrontare la vulnerabilità, la valutazione del rischio e la gestione delle catastrofi nell'ambito della protezione e della gestione delle risorse naturali alla base dello sviluppo economico e sociale (UN, 2002). In seguito, lo *Hyogo Framework of Action* suggerisce un approccio integrato e *multi-hazard* per la riduzione del rischio di catastrofi nelle politiche, nella pianificazione e nella programmazione relative allo sviluppo sostenibile, alle attività di soccorso, di riabilitazione e di recupero nelle situazioni post-catastrofe (UNISDR, 2005).

Il passaggio da un approccio *single-risk* a un approccio *multi-hazard risk* determina un **incremento della complessità dei processi e della quantità dei dati richiesti** per operare le valutazioni. Questa transizione, inoltre, implica un cambio di prospettiva: **da una prospettiva "hazard-centered" propria del *single-risk approach* a una prospettiva "territorial-centered" che caratterizza il *multi-hazard risk approach***. Il primo elemento da definire in questo ultimo caso è,

infatti, l'area o la porzione di territorio di interesse, composto da elementi a rischio ovvero vulnerabili in differenti modi a vari *hazard*.

Nel *single-risk approach* (SR), il primo elemento dell'analisi da definire è l'*hazard*. A seguire sono poi identificate l'area di impatto dell'*hazard* di riferimento e la valutazione degli effetti potenziali che questo ha sull'area di interesse.

Nel *multi-hazard risk approach*, invece, la prima fase consiste nell'individuazione dell'area di interesse, ovvero la porzione di territorio che sarà alla base delle analisi. La fase successiva consiste, poi, nell'identificazione degli *hazard* che insistono sull'area di interesse identificata e, infine, si ha la valutazione degli impatti degli *hazard* identificati sull'area oggetto di analisi (Gasparini et al., 2014). Rispetto alla *single-risk analysis*, l'analisi del rischio in scenari *multi-hazard* è, conseguentemente, più complessa e difficile. Ciò è dovuto alle diverse caratteristiche dei diversi tipi di *hazard* che determinano differenze nei metodi di analisi (Wang et al., 2020). Inoltre, per la maggior parte dei processi di analisi *single-risk* sono disponibili numerosi approcci consolidati, attualmente sono ancora in numero minore gli studi che analizzano le interazioni tra *hazard* multipli (Kappes et al., 2012).

L'approccio *multi-hazard risk* prevede diverse fasi, come l'identificazione dei pericoli, la valutazione della vulnerabilità, l'analisi del rischio e la gestione del rischio. L'identificazione dei pericoli e la valutazione della vulnerabilità sono essenziali in quanto forniscono informazioni sulla probabilità e sull'impatto di un disastro. L'analisi del rischio aiuta a dare priorità ai pericoli in base all'impatto potenziale sulle comunità e sull'economia, mentre la gestione del rischio si concentra sull'attuazione di strategie efficaci per prevenire o ridurre gli effetti del disastro.

Un ulteriore aspetto che emerge nel campo delle analisi *multi-hazard risk* è la tipologia di approccio utilizzato per scegliere quali sono gli *hazard* rilevanti da considerare in un'area. È possibile distinguere principalmente due tipologie di approcci:

- **approccio spaziale** (*all hazard at a place*), nel quale data una certa area tutti gli *hazard* presenti in essa sono presi in considerazione;
- **approccio tematico** (*more than one hazard*), nel quale è condotta un'analisi congiunta di uno o più processi di *hazard* nel caso in cui un *hazard* ne innesca un altro.

Multi-hazard risk analysis e *multi-risk analysis*, nonostante siano entrambi approcci utilizzati per valutare e gestire i rischi, differiscono dal punto di vista degli obiettivi e dei processi messi in campo.

Le analisi di tipo *multi-hazard risk* comportano la valutazione di più *hazard* o minacce che possono colpire un sistema o una regione. È un tipo di analisi che considera la probabilità e le potenziali conseguenze di vari *hazard* che si verificano contemporaneamente o in sequenza. Tali *hazard* possono includere eventi naturali come terremoti, inondazioni, uragani, o rischi di origine antropica come la fuoriuscita di sostanze chimiche. L'obiettivo di questo tipo di analisi è comprendere gli effetti combinati o a cascata di più *hazard* su un sistema o una popolazione e sviluppare strategie per mitigare tali effetti.

L'**analisi multirischio** (*multirisk analysis*), al contrario, è possibile definirla come un concetto più ampio che va al di là dell'analisi di *hazard* multipli. Comprende la valutazione e la gestione di vari rischi associati a un particolare sistema, progetto o attività. Non considera solo gli *hazard*, ma tiene conto anche delle componenti di vulnerabilità ed esposizione oltre che degli eventuali impatti associati a tali rischi. Nelle analisi multirischio, i rischi sono valutati considerando diverse dimensioni come gli aspetti ambientali, sociali, economici e tecnologici. Tale approccio mira a fornire una comprensione completa del quadro complessivo dei rischi presenti in un'area e a facilitare un processo decisionale informato considerando le sue diverse dimensioni.

In sintesi, mentre le analisi *multi-hazard risk* si concentrano specificatamente sulla valutazione degli effetti combinati di più *hazard*, le analisi multirischio adottano un **approccio più olistico, considerando gli *hazard* insieme alle altre dimensioni del rischio (vulnerabilità ed esposizione)** per fornire una comprensione più ampia dei rischi coinvolti.

SINGLE-HAZARD RISK ANALYSIS	SINGLE RISK ANALYSIS	MULTI-HAZARD RISK ANALYSIS	MULTIRISK ANALYSIS
OBIETTIVO COMUNE			
Supporto decisionale per gli <i>stakeholder</i> e i progettisti per la definizione di misure atte a mitigare gli impatti derivanti dai rischi negli insediamenti urbani.			
OBIETTIVI SPECIFICI			
È un tipo di analisi che utilizza un processo sistematico partendo dall'identificazione e dalla caratterizzazione di uno specifico <i>hazard</i> , valutandone la probabilità di accadimento e le potenziali conseguenze	È un tipo di analisi focalizzata sulla valutazione e sulla gestione di un solo rischio specifico derivante dalla probabilità e dalle conseguenze di un <i>hazard</i> specifico.	Esamina gli effetti e le interazioni di più <i>hazard</i> su un sistema o una popolazione. Mira a identificare e a comprendere l'interazione tra gli <i>hazard</i> , le loro potenziali sinergie o i rischi che si sommano e le implicazioni per il sistema o la popolazione oggetto di studio.	Esamina gli effetti e le interazioni di più rischi tenendo conto non solo degli <i>hazard</i> ma anche delle componenti di vulnerabilità ed esposizione. Mira a fornire una comprensione olistica del panorama complessivo del rischio, considerando le interdipendenze tra le diverse dimensioni del rischio.
APPROCCI			
Segue un processo standardizzato che parte dall'identificazione di un <i>hazard</i> specifico valutando la probabilità di rischio che questo comporta e gli impatti che ne possono derivare.		Considera la probabilità e le conseguenze potenziali di vari <i>hazard</i> che si verificano contemporaneamente o in sequenza. Si concentra sulla comprensione degli effetti a cascata e delle interdipendenze tra gli <i>hazard</i> .	Valuta gli <i>hazard</i> , le vulnerabilità e le esposizioni e le potenziali conseguenze associate a tali rischi. Considera molteplici dimensioni del rischio tenendo conto di fattori ambientali, sociali, economici e tecnologici.

Tabella 4 - Confronto tra i diversi metodi di valutazione del rischio.

Nello scenario attuale, con l'avvento di problemi globali come il cambiamento climatico, la crescita demografica e la scarsità di risorse, i sistemi naturali e antropici si trovano ad affrontare sfide sempre più severe dovute all'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi (in particolare, quelli causati o amplificati dal cambiamento climatico). Per ridurre l'impatto, risulta necessaria la considerazione e l'analisi completa di tutti gli *hazard* rilevanti (Wang et al., 2020).

Un approccio *multi risk* nelle aree urbane rappresenta una modalità di analisi e di intervento che prende in considerazione i vari tipi di pericoli che possono verificarsi in una determinata area urbana (come terremoti, inondazioni, incendi, frane e altri disastri). L'approccio multirischio mira a identificare e valutare i fattori di vulnerabilità e di esposizione e gli impatti potenziali dei diversi *hazard* presenti nell'ambiente urbano, fornendo una comprensione completa dei rischi coinvolti e dei mezzi migliori per mitigarli. Adottare un approccio multirischio nelle aree urbane permetterebbe l'attuazione di misure e strategie flessibili e adattabili a diversi tipi di rischi, contribuendo a costruire la resilienza delle comunità urbane.

2.1.2 Analisi e classificazione degli *hazard* agenti nei contesti urbani

Nel periodo dall'anno 2000 all'anno 2019 è stato registrato un numero crescente di eventi catastrofici in tutto il mondo con un totale di 7.348 disastri legati ai rischi naturali (esclusi quelli biologici e tecnologici) che hanno colpito circa 4 miliardi di persone e ha provocato perdite economiche per circa 3.000 miliardi di dollari (UNDRR & Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2020).

Il clima e i rischi ad esso correlati, come inondazioni, tempeste e siccità, sono stati gli eventi scatenanti di oltre il 75% dei disastri verificatisi a livello globale nell'ultimo decennio. In proporzione, questi disastri colpiscono più intensamente i Paesi meno sviluppati, rivelandosi particolarmente dannosi per le popolazioni in condizioni di povertà (McBean & Rodgers, 2010).

Numerose aree nel mondo sono soggette a diversi rischi naturali e una riduzione efficace del rischio è possibile solo attraverso una vasta diffusione della conoscenza del rischio e di tutte le variabili che ad esso concorrono: *hazard*, vulnerabilità ed esposizione (UNISDR, 2005).

Tuttavia, le analisi multirischio pongono una serie di difficoltà in particolare a causa delle differenti caratteristiche dei diversi *hazard*. Per questo motivo, la consapevolezza della necessità di indagare e gestire i diversi tipi di *hazard* che possono concorrere ai rischi per beni, persone e risorse è aumentata nel corso del tempo (Kappes et al., 2012).

Nel campo dei cambiamenti climatici, il *Sixth Assessment Report* dell'IPCC definisce gli *hazard* climatici come «il potenziale verificarsi di un evento o di una tendenza fisica naturale o indotta dall'uomo che può causare la perdita di vite umane, lesioni o altri impatti sulla salute, nonché danni e perdite a proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali» (IPCC, 2021; 2022). Nel contesto attuale, in cui gli eventi meteorologici estremi e gli altri pericoli derivanti dai cambiamenti climatici sono aumentati sia nella frequenza che in intensità,

si rende necessario comprendere quali sono i fenomeni che determinano gli impatti climatici in modo tale da valutare i rischi climatici e pianificare gli adeguati interventi di adattamento e mitigazione.

In ambito internazionale, numerosi enti ed organizzazioni hanno sviluppato differenti tassonomie degli *hazard* che possono potenzialmente determinare impatti su beni, persone e risorse negli insediamenti urbani.

Nell'ambito del **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030** (UNISDR, 2015) è stata sviluppata una tassonomia degli *hazard* per l'ambito del *risk assessment*. Questo Quadro d'azione comprende i rischi causati dai disastri di origine naturale e i rischi ambientali e tecnologici correlati. Si tratta quindi di un **approccio olistico e multi-hazard** alla gestione del rischio di catastrofi e alle reciproche relazioni, che possono avere un impatto significativo sui sistemi sociali, economici, culturali e ambientali (UNISDR, 2020). Nell'ambito di questa tassonomia, gli *hazard* identificati sono suddivisi in **8 macrocategorie**:

- *biological,*
- *hydrometeorological,*
- *technological,*
- *geohazard,*
- *chemical,*
- *environmental,*
- *extraterrestrial,*
- *Societal.*

All'interno di ognuna di queste categorie sono, poi, individuati i fenomeni pericolosi specifici per un totale di più 300 fenomeni. Sulla base di tale classificazione, gli *hazard* possono includere condizioni latenti che possono rappresentare minacce future e possono avere **origini diverse**: **naturali** (geologiche, idrometeorologiche e biologiche) o **indotte da processi umani** (degrado ambientale e rischi tecnologici).

È importante notare come in questa prima tassonomia l'**assenza di una macrocategoria dedicata agli *hazard* climatici** che sono assorbiti nella categoria *hydrometeorological*, **segno di una tassonomia non climaticamente orientata**.

Una classificazione simile a quella sviluppata dal *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030* è stata sviluppata dalla **Commissione Europea con il report *Science for disaster risk management 2020 - Acting today, protecting tomorrow*** (EC, 2020b).

Le **5 categorie** individuate da questa classificazione sono le seguenti:

- *Geophysical*
- *Hydrogeological*
- *Metereological*
- *Climatological*
- *Human-made.*

Si può, quindi, osservare, in questo caso, l'**introduzione** della categoria dedicata agli **hazard climatici** che si aggiungono agli *hazard* idrogeologici e agli *hazard* meteorologici.

Negli ultimi anni si è, infatti, registrata una maggiore consapevolezza del cambiamento climatico attribuito alle attività antropiche e responsabile dell'aumento in intensità e frequenza degli eventi estremi. L'introduzione di una categoria specifica per gli *hazard* climatici nella classificazione sviluppata dalla Commissione Europea nel 2020 rappresenta un primo segno dello **spostamento del focus sugli aspetti climatici quali fattori scatenanti e amplificatori di altri tipi di hazard**.

In questo nuovo quadro di riferimento determinato dall'acuirsi degli impatti legati al cambiamento climatico, il **Technical Expert group on sustainable finance** (EU Technical Expert Group on Sustainable Finance [TEG], 2019) ha sviluppato nel 2020 una tassonomia di **climate - related hazard**, una classificazione specifica per gli *hazard* legati al clima finalizzata a guidare gli utenti della *EU Taxonomy* alla comprensione degli **hazard che hanno il maggiore impatto sul sistema bio-fisico**.

Gli *hazard* climatici sono in questo caso suddivisi in **4 macrocategorie** che includono i fenomeni pericolosi legati ad:

- acqua,
- temperatura,
- vento,
- movimenti di massa.

Tutti i gruppi comprendono *hazard* acuti (estremi) e cronici (a lenta insorgenza). Sono, tuttavia, esclusi tutti quegli *hazard* risultanti da quelli climatici ma considerati secondari (compresi, ma non solo, i rischi chimici, biologici, ecologici ed epidemiologici).

Nel campo dei cambiamenti climatici, la classificazione più recente e aggiornata alla quale si fa riferimento è quella sviluppata dal **Working Group I nel Sesto Rapporto di Valutazione (AR6) sviluppato dall' IPCC**. Gli *hazard*, identificati come **Climate Impact Drivers** (CIDs), rappresentano in questo caso condizioni fisiche del sistema climatico che influenzano società ed ecosistemi e, a seconda delle caratteristiche del sistema, possono essere dannosi, positivi o neutri (IPCC, 2021).

Le **7 macrocategorie** individuate nel report sono le seguenti:

- *heat and cold,*
- *wet and dry,*
- *wind,*
- *snow and ice,*
- *coastal,*
- *oceanic,*
- *other.*

Rispetto alla classificazione proposta dal TEG, dunque, è possibile riscontrare una maggiore settorializzazione con l'aggiunta della categoria "Other" (categoria che include i seguenti fenomeni specifici: *air pollution weather, atmospheric CO₂, radiation at surface*) (IPCC, 2021).

I *Climate Impact Drivers* individuati nel report sono 35, distribuiti con maggiore o minore intensità per le diverse regioni a scala globale. Il quadro dei *Climate Impact Drivers* sviluppato nell'AR6 supporta una **valutazione delle condizioni climatiche mutevoli rilevanti per gli impatti settoriali e la valutazione del rischio**.

TEG (2019)	UNDRR (2020)	European Commission (2020)	IPCC – WGI AR6 (2021)
Temperature-related	Biological	Geophysical	Heat and cold
Wind-related	Hydrometereological	Hydrogeological	Wet and dry
Water-related	Technological	Metereological	Wind
Solid mass-related	Geohazard	Climatological	Snow and ice
	Chemical	Human-made	Coastal
	environmental		Oceanic
	Extraterrestrial		other
	Societal		
	Source:		
<i>Technical Expert group on sustainable finance</i>	<i>Hazard definition & classification review - Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030</i>	<i>Science for disaster risk management 2020 - Acting today, protecting tomorrow</i>	<i>Climate Change 2021 – The Physical Science Basis</i>

Tabella 5 - Confronto tra le tassonomie di *hazard* analizzate.

Dall'analisi dello stato dell'arte e delle tassonomie esistenti relative agli *hazard* che determinano impatti sugli insediamenti urbani, emerge – come evidenziato dalla tabella 5 - lo spostamento da parte degli organismi internazionali dell'attenzione sulla classificazione degli *hazard* climatici individuati quali fattori scatenanti e amplificatori di altri tipi di *hazard* di origine naturale o antropica (Ghosh, 2018). In particolare, si evidenzia la distinzione tra gli *hazard* idrometereologici, ovvero processi o fenomeni naturali di natura atmosferica, idrologica o oceanografica, che possono causare perdita di vite umane, danni a risorse o beni o degrado ambientale (UNISDR, 2004), e gli *hazard* climatici, intesi come condizioni fisiche del sistema climatico (come, ad esempio, eventi estremi) che possono essere direttamente collegate a impatti (positivi o negativi) sui sistemi umani o ecologici e valutabili attraverso una serie di indici e indicatori (IPCC, 2021).

La comprensione degli *hazard* svolge un ruolo fondamentale nella conoscenza e nella gestione degli impatti del cambiamento climatico. Le tassonomie degli *hazard* contribuiscono a comprendere meglio la natura dei rischi climatici, la loro interconnessione e il loro impatto nei diversi settori includendo quello degli insediamenti urbani. Inoltre, queste classificazioni influiscono in modo determinante sull'identificazione delle azioni di risposta appropriate per il contrasto e la riduzione degli impatti climatici, agendo in questo modo sulle vulnerabilità sociali, economiche e ambientali.

2.1.3 Gli impatti climatici nei contesti urbani

Il cambiamento climatico, come evidenziato precedentemente, ha determinato un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi climatici estremi e, di conseguenza, degli che questi determinano negli insediamenti urbani.

Negli ultimi decenni, è stato osservato un aumento delle temperature atmosferiche, accompagnato da un incremento in termini di intensità, frequenza e durata degli **eventi di ondata di calore** nei contesti urbani durante la stagione estiva. Oltre alle variazioni di temperatura, il cambiamento climatico ha influenzato anche l'intensità e la frequenza degli **hazard climatici legati ai regimi pluviometrici** caratterizzati da una maggiore variabilità annuale con eventi di precipitazioni più intensi in autunno, inverno e primavera, soprattutto nelle regioni settentrionali. Questi eventi sono affiancati da periodi in cui le precipitazioni sono, al contrario, meno frequenti, soprattutto in estate e nelle zone meridionali, contribuendo al verificarsi di fenomeni di **siccità**.

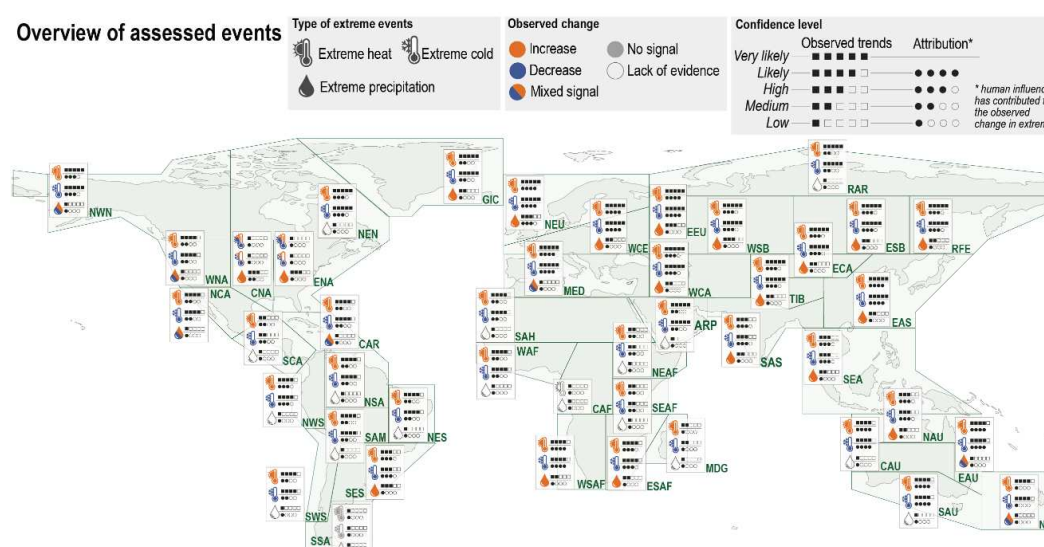


Figura 19 - Quadro delle variazioni osservate alla scala globale per gli estremi di freddo, caldo e umidità (cold, hot, and wet extremes) e il potenziale contributo antropico a questi (Fonte: IPCC, 2021). Nell'immagine sono rappresentate le modifiche osservate negli estremi di freddo, caldo e umidità su scala globale, con l'indicazione del grado di influenza del cambiamento climatico di origine antropica su tali variazioni. Per ogni regione, le variazioni negli estremi sono rappresentate attraverso il colore: l'arancione indica aumenti nei valori degli estremi, mentre il blu indica diminuzioni.

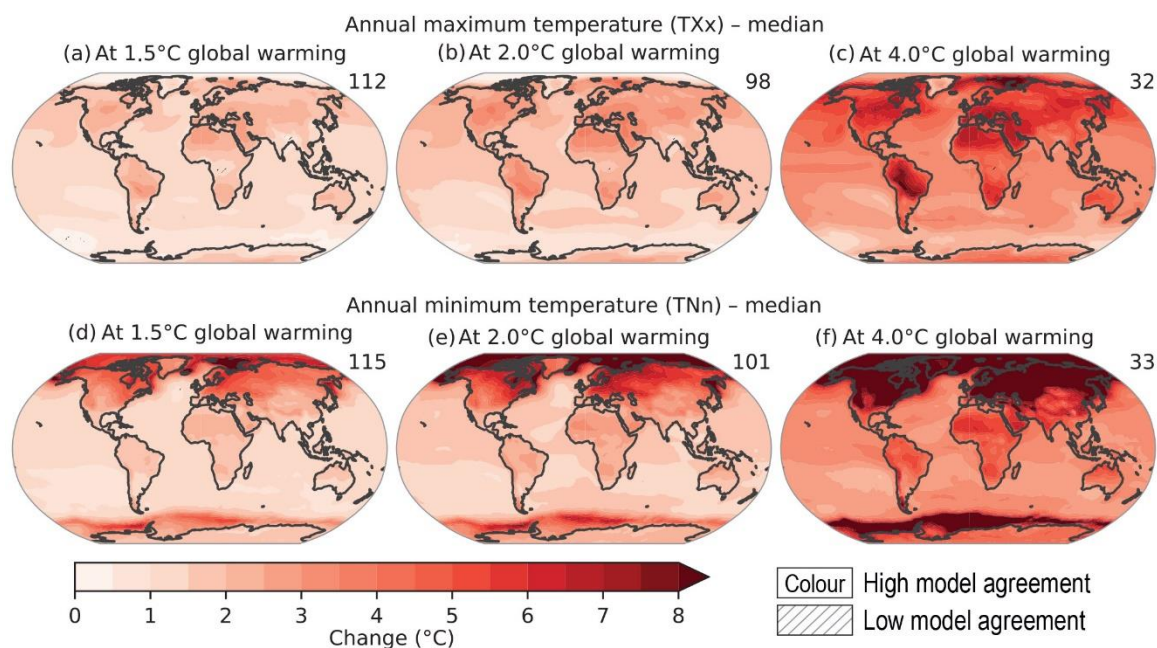


Figura 20 - Variazioni previste per la temperatura massima annuale e la temperatura minima annuale per gli scenari di riscaldamento globale a 1.5°C, 2°C e 4°C rispetto ai valori di riferimento del 1850-1900 (Fonte: IPCC, 2021).

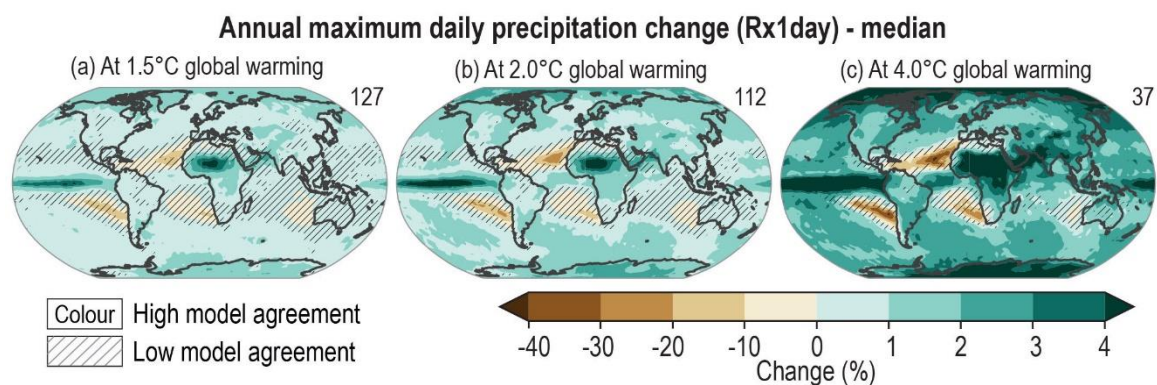


Figura 21 - Variazioni previste nelle precipitazioni massime giornaliere annuali per gli scenari di riscaldamento globale a 1.5°C, 2 °C e 4°C rispetto ai valori di riferimento del 1850-1900 (Fonte: IPCC, 2021).

Un altro effetto significativo è rappresentato dall'**aumento del livello medio del mare**, il quale costituisce una questione di estrema criticità per gli insediamenti urbani localizzati nelle aree costiere e nelle vicinanze dei delta fluviali. A partire dalla Rivoluzione Industriale, il livello del mare ha conosciuto un incremento esponenziale, attribuibile per la maggior parte all'innalzamento delle temperature che ha causato il progressivo scioglimento dei ghiacciai. Queste condizioni potrebbero essere ulteriormente esacerbate da eventi improvvisi come mareggiate e tsunami, contribuendo a un aumento dei fenomeni di inondazione costiera (Clemente, 2023).

Secondo l'ultimo report dell'IPCC, gli impatti climatici a livello regionale saranno principalmente concentrati in Europa, nel Mediterraneo e, in generale, nelle città costiere e nelle piccole isole. Questi impatti avranno **conseguenze significative sui sistemi urbani e metropolitani**,

comportando danni alle infrastrutture e ai servizi, oltre a impatti negativi su importanti settori economici come l'agricoltura e il turismo.

L'Italia è una delle nazioni più vulnerabili ai rischi ambientali, con una particolare enfasi su *hazard* come terremoti, eruzioni, fenomeni geomorfologici, eventi idrologici e idraulici e eventi climatici estremi. L'attuale cambiamento climatico ha incrementato il numero di impatti derivanti da ondate di calore più frequenti e intense, piogge abbondanti, riduzione delle precipitazioni, siccità, desertificazione, erosione, salinizzazione delle falde acquifere e innalzamento del livello del mare.

In questo scenario, gli insediamenti urbani subiscono notevolmente gli impatti derivanti dal verificarsi di fenomeni climatici estremi che comportano conseguenze diverse in termini di tipo, entità e scala creando sfide uniche per ciascun contesto urbano. Esiste una **relazione dinamica tra eventi climatici, urbanizzazione e attività umane**. Gli impatti di un evento climatico possono peggiorare a causa della presenza e concentrazione di attività economiche (come l'esposizione aumentata dovuta all'infrastruttura urbana dei centri cittadini) o a causa dell'azione o inazione umana (come la manutenzione inadeguata dei sistemi di drenaggio o la costruzione in zone alluvionali). Questi fattori molto spesso fungono da "catalizzatori della distruzione", ancor più dell'evento climatico stesso. La complessa interazione tra le attività umane e gli *hazard* climatici determina chi è esposto e suscettibile a un evento e in che misura possono gestire le conseguenze. Inoltre, le disuguaglianze strutturali svolgono un ruolo significativo nella distribuzione delle risorse e nella costruzione della capacità di adattamento per le fasce più vulnerabili. Poiché questi gruppi sono meno propensi a contribuire a regimi di sicurezza sociale formali, sono spesso trascurati quando si prioritizzano gli sforzi di sviluppo (Costella et al., 2021).

In aggiunta, poiché la maggioranza della popolazione globale (circa 4.2 miliardi di individui) vive nelle città, questi risultano essere particolarmente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici, soprattutto all'interno degli insediamenti informali, caratterizzati da una limitata capacità di adattamento. In questo contesto, va sottolineato che gli **impatti climatici non colpiscono in modo uniforme** l'intera popolazione urbana, ma incidono in maniera sproporzionata sui gruppi sociali più vulnerabili, tra cui i poveri, le persone con bassa istruzione e abilità, le donne e coloro che appartengono a minoranze etniche o razziali. Di conseguenza, qualsiasi strategia di adattamento rivolta agli ambienti urbani e all'infrastruttura deve necessariamente coinvolgere attivamente i membri di questi gruppi.

I rischi climatici **incidono** nei contesti urbani **sull'approvvigionamento di servizi essenziali** come il trasporto pubblico, l'energia elettrica, il sistema idrico e i servizi igienico-sanitari. Interruzioni nell'erogazione di questi servizi possono avere effetti significativi su attività commerciali, servizi sanitari, illuminazione pubblica, fornitura d'acqua, trasporto pubblico, gestione del traffico e sicurezza pubblica. Ad esempio, le temperature estreme, a seconda delle località e delle circostanze, possono influire sulla produzione di energia elettrica (Smid, 2018).

Gli impatti dei cambiamenti climatici in atto incidono, inoltre, **sul sistema degli edifici e degli spazi aperti**. Le temperature in aumento, per esempio, stanno causando come documentato da numerosi enti ondate di calore sempre più frequenti e intense. Il prolungarsi di queste condizioni hanno

importanti impatti sugli edifici, in particolare dal momento che la maggior parte del patrimonio edilizio esistente a livello europeo non sono progettati per resistere a tali condizioni (EC, 2020a). Le temperature elevate possono portare a condizioni di **stress termico negli edifici**, aumentando la richiesta di raffrescamento e aumentando, di conseguenza, i **costi energetici** e contribuendo all'**aumento delle emissioni climalteranti** in atmosfera. Inoltre, in alcuni casi, temperature elevate per prolungati periodi di tempo possono danneggiare i materiali da costruzione nel tempo, aumentando i costi di manutenzione degli edifici. Anche le inondazioni determinano per l'ambiente costruito impatti significativi. L'aumento del livello del mare e l'incremento delle precipitazioni portano spesso a fenomeni di inondazione costiera e fluviale in molte aree. Questi eventi possono causare danni strutturali agli edifici e alle infrastrutture, oltre a rappresentare una minaccia per la popolazione. Inoltre, le inondazioni, alla scala urbana, possono contaminare le riserve d'acqua e danneggiare gli spazi aperti come boschi, parchi e aree ricreative mentre, alla scala dell'edificio, possono allagare cantine e piani inferiori. Ulteriormente eventi come le tempeste di vento possono danneggiare le coperture, gli infissi e le facciate degli edifici. Lunghi periodi di siccità possono determinare una scarsità d'acqua che può influire sulla manutenzione di giardini, parchi e aree verdi in generale, riducendo la qualità degli spazi aperti urbani e aumentare la domanda di acqua per scopi domestici, incrementando i costi e mettendo sotto pressione le risorse idriche locali.

Sebbene molte città abbiano sviluppato piani di adattamento climatico, purtroppo solo un numero limitato di essi è stato effettivamente attuato. Inoltre, gran parte di questi piani è incentrata principalmente sulla riduzione del rischio climatico, trascurando spesso le opportunità offerte dalla mitigazione del cambiamento climatico e dallo sviluppo sostenibile.

In questo quadro, data la diffusione globale e il potenziale aumento della frequenza e della gravità degli eventi catastrofici dovuti ai cambiamenti climatici, nonché l'accresciuta esposizione e vulnerabilità dei sistemi socio-ecologici, è di cruciale importanza sviluppare un quadro globale per una migliore comprensione delle complesse dinamiche di multirischio climatico e migliori modelli predittivi in grado di quantificare il multirischio su diverse scale temporali. Un approccio riduzionista, che si focalizza su singoli pericoli in specifiche aree geografiche e analizza gli impatti su settori individuali, si dimostra insufficiente e sottostima notevolmente il rischio effettivo. È necessario un approccio olistico che consideri il multirischio in tutte le sue componenti e coinvolga diversi settori.

2.2 La conoscenza dei sistemi urbani complessi nelle condizioni multirischio

2.2.1 Tassonomie per la conoscenza dei tessuti urbani

Nel contesto attuale, caratterizzato da condizioni multirischio legate agli impatti climatici, nelle aree urbane è cruciale esaminare in modo approfondito i fattori chiave che riguardano la conoscenza, la valutazione e l'interazione reciproca di tali rischi. Questo approccio è essenziale per sviluppare metodologie e modelli dedicati alla prevenzione e all'adattamento agli impatti climatici. L'obiettivo principale è aumentare la resilienza delle comunità urbane, affrontando in modo efficace le sfide connesse ai cambiamenti climatici. Ciò implica una comprensione approfondita delle dinamiche interconnesse dei rischi climatici e di come questi interagiscono con le caratteristiche specifiche dei tessuti urbani, creando così basi solide per implementare strategie che proteggano e potenzino la capacità di contrasto degli impatti dei rischi climatici delle aree urbane.

Gli **insediamenti urbani** si configurano come **sistemi complessi** in cui l'habitat umano si intreccia con una diversificata gamma di elementi naturali e antropici all'interno del contesto ambientale di riferimento. Questa interazione, caratterizzata da varie forme di sovrapposizione, contribuisce in modo significativo alla complessità ambientale che caratterizza tali contesti (Clemente, 2023).

La comprensione del sistema urbano, in questo quadro, costituisce una fase difficile del processo progettuale data la sua composizione fatta di parti ed elementi che, nonostante presentino spesso differenze scalari significative, interagiscono strettamente tra di loro.

Il sistema urbano, sia nella sua totalità che nelle sue componenti, può essere oggetto di **diversi approcci analitici**, che vanno dalle letture morfologiche alle interpretazioni percettive, nonché a modalità di analisi delle interazioni dei fenomeni fisici con la sfera sociale, economica e ambientale¹¹.

Poiché implica l'incrocio di diverse prospettive, l'interdisciplinarietà è essenziale nell'affrontare la complessità degli insediamenti urbani. Ad esempio, i comportamenti prestazionali degli elementi urbani possono essere studiati sia da un punto di vista ingegneristico, valutando la resistenza strutturale degli edifici, che da un punto di vista sociale, valutando come le persone interagiscono con l'ambiente costruito. Tale complessità, inoltre, aumenta quando si considera la relazione tra il sistema urbano e l'ambiente circostante, che include gli impatti ambientali e le risorse disponibili (Losasso, 2016). La lettura integrata di questi elementi richiede una prospettiva sistemica che abbracci tutti i vari aspetti del sistema urbano. Ciò facilita una comprensione più ampia e approfondita delle dinamiche in gioco.

¹¹ Le analisi tipo-morfologiche esplorano la struttura fisica delle aree urbane, considerando la forma, la disposizione e le caratteristiche fisiche degli elementi che le compongono. Le letture percettive, invece, si concentrano sulla percezione sensoriale delle persone nello spazio urbano, valutando il modo in cui le caratteristiche architettoniche e paesaggistiche influenzano l'esperienza degli utenti.

Tale comprensione approfondita delle strutture urbane implica, prima di tutto, l'identificazione delle matrici formative, ovvero delle condizioni originarie che sottendono ogni processo tipologico¹². Il riconoscimento di queste matrici rappresenta una forma di riduzione fenomenologica essenziale per affrontare la complessità intrinseca degli organismi. (Caniggia, 1981). Questo tipo di studi «tendono a definire una lettura processuale del contesto, a partire dai concetti di tipo, matrice, trasformazione diacronica e variante sincronica, e a ipotizzare una sorta di possibile gradazione del progetto tipologico identificabile anche in relazione alla differente storicità del contesto» (Visconti, 2016).

Nel campo della Progettazione Tecnologica e Ambientale, accanto alle letture circoscritte di aspetti settoriali quali quelli morfologici di spazi, manufatti edilizi ed elementi urbani - derivanti dall'aggregazione di più edifici e spazi aperti - sono stati progressivamente introdotti **nuovi approcci conoscitivi, che si basano su «nuovi apporti analitici e strumentali**, a partire anche da altri ambiti disciplinari che concorrono alla definizione e costruzione dell'architettura: tra questi quelli più rilevanti sono quelli delle logiche della sostenibilità che definiscono una precisa direzione culturale nella concezione dell'habitat, non limitata ai soli aspetti fisico formali, ma [...] orientata a un'idea di sostenibilità ambientale e socio-economica preludio degli attuali approcci della *governance* ambientale» (Losasso, 2016, p.92; Schiaffonati et al., 2011). Tra questi, l'approccio sistemico si focalizza sulla costruzione dell'habitat attraverso processi complessi, evitando predeterminazioni e valorizzando le relazioni tra le parti (sia materiali che immateriali) e ponendo particolare attenzione alle dinamiche dei rapporti tra l'uomo e la creazione del proprio ambiente abitativo (Vittoria, 1976).

In campo tecnologico e ambientale, la conoscenza del sistema urbano in relazione a eventi climatici critici, come ad esempio *pluvial flooding* e *heat wave*, ha come obiettivo quello di **individuare le caratteristiche del costruito che contribuiscono all'aumento degli impatti dei rischi climatici**, creando così banche dati che guidino strategie, organizzando informazioni quantitative e qualitative in base a logiche di sistema e processuali (D'Ambrosio & Leone, 2016).

A tal fine sono condotte analisi che mirano ad individuare le relazioni tra i principi insediativi, i processi di realizzazione e formazione dello spazio costruito, gli aspetti funzionali-spaziali, socio-economici e produttivi e di identità urbana attraverso l'acquisizione di dati quantitativi e qualitativi su diverse scale, valutando le prestazioni e la vulnerabilità a eventi critici a livello di distretti urbani, complessi edilizi, edifici e spazi aperti.

L'analisi e la caratterizzazione degli insediamenti urbani in risposta ai fenomeni di multirischio climatico è, dunque, un processo mirato a individuare l'intricato sistema di relazioni che esistono tra le varie componenti dei sistemi urbani. La costruzione di questa conoscenza di base si configura come una fase preliminare fondamentale volta all'elaborazione di un approccio *knowledge-based*,

¹² Il termine tipologia, dal greco τύπος e λόγος, indica lo studio dei tipi, laddove, in termini estensivi, per tipo si intende uno schema ideale, una forma generale, cui può ricondursi, per astrazione, una moltitudine di oggetti/individui, in virtù del loro avere caratteri comuni.

la cui complessità è enfatizzata dalla sua capacità classificatoria necessaria per affrontare in modo esaustivo le complesse dinamiche legate alla vulnerabilità e all'esposizione dei tessuti urbani.

La classificazione delle informazioni acquisite è cruciale per identificare pattern e tendenze ricorrenti, facilitare la comprensione della struttura urbana e fornire una base solida per valutare i fattori di vulnerabilità ed esposizione rispetto ai differenti rischi climatici.

Gli elementi fisici e funzionali degli insediamenti, il comportamento delle infrastrutture e la distribuzione delle risorse sono tutti elementi che vengono presi in considerazione durante il processo di classificazione. La suddivisione sistematica di queste informazioni consente di identificare aree specifiche dell'ambiente urbano che potrebbero essere più esposti o vulnerabili in condizioni multirischio specifiche. Attraverso una comprensione approfondita delle dinamiche di vulnerabilità ed esposizione, è possibile realizzare interventi mirati che migliorano la resilienza dei tessuti urbani nei confronti delle sfide ambientali che sono sempre più interconnesse e complesse.

Da un punto di vista conoscitivo alla macroscale urbana, la **scomposizione del sistema urbano in ambiti settoriali** consente di individuare una serie di interventi di adattamento climatico relativi a specifici settori. Questa analisi, oltre a facilitare la valutazione dell'efficacia di tali interventi, chiarisce le relazioni tra i vari subsistemi urbani, contribuendo così a sviluppare una classificazione omogenea che tiene conto delle caratteristiche morfologiche, ambientali e sociali degli insediamenti urbani. Una possibile approccio di questo tipo si può sviluppare sulla base delle indicazioni fornire dal *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* per la definizione delle linee strategiche di sviluppo per il contrasto dei cambiamenti climatici che, suddividendo le possibili azioni in due tipologie principali (azioni di tipo *soft* (non infrastrutturali) e azioni di tipo *grey* (infrastrutturali) o *green* (relativo a soluzioni ecosistemiche) (MASE, 2022; MASE, 2023), permette l'elaborazione di un modello conoscitivo del sistema urbano basato su un'integrazione degli aspetti *green* e *grey*, al fine di rappresentare sistematicamente le condizioni urbane e le interconnessioni tra gli elementi naturali e quelli influenzati dall'attività umana.

Tale approccio identifica e categorizza cinque ambiti settoriali di analisi, sia di carattere conoscitivo che progettuale, per comprendere in maniera articolata il tessuto urbano e le sue dinamiche intrinseche. Gli ambiti settoriali, sono focalizzati su diversi aspetti che delineano il sistema ambientale e sono distinti in: *soft* (aspetti che non riguardano direttamente interventi strutturali e materiali, e contribuiscono alla creazione di capacità adattiva attraverso maggiore conoscenza), *grey* (aspetti di tipo infrastrutturale), *green* (aspetti relativi al sistema del verde), *blue* (aspetti relativi al sistema idrografico e del water management), *red* (aspetti relativi al sistema del costruito) (Dell'Acqua et al., 2021).

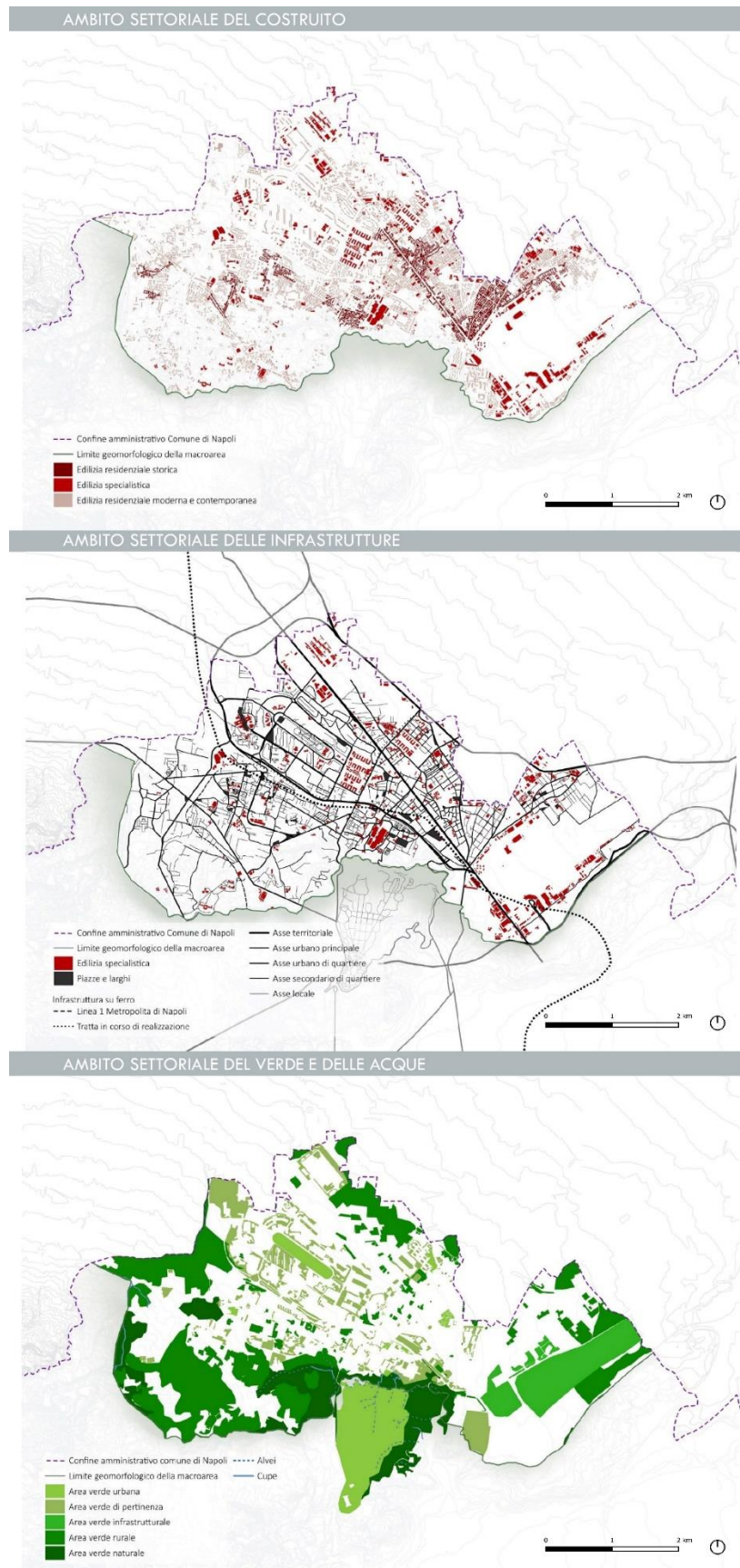


Figura 22 - Esempio di analisi per ambiti settoriali per l'area a nord di Napoli (Fonte: elaborazione di A. Tornatore, 2022, Tesi di Laurea).

Questa metodologia di analisi semplifica l'individuazione dei distretti negli insediamenti urbani, considerati come una scala intermedia tra la città e il quartiere, con una popolazione compresa tra 20.000 e 50.000 abitanti. Questi distretti sono caratterizzati da specifici tratti insediativi e confini naturali distinti, all'interno dei quali si trovano funzioni di servizio e infrastrutture, che possono essere ulteriormente suddivisi in sottoinsiemi urbani di dimensioni più ridotte (Bologna et al., 2021b).

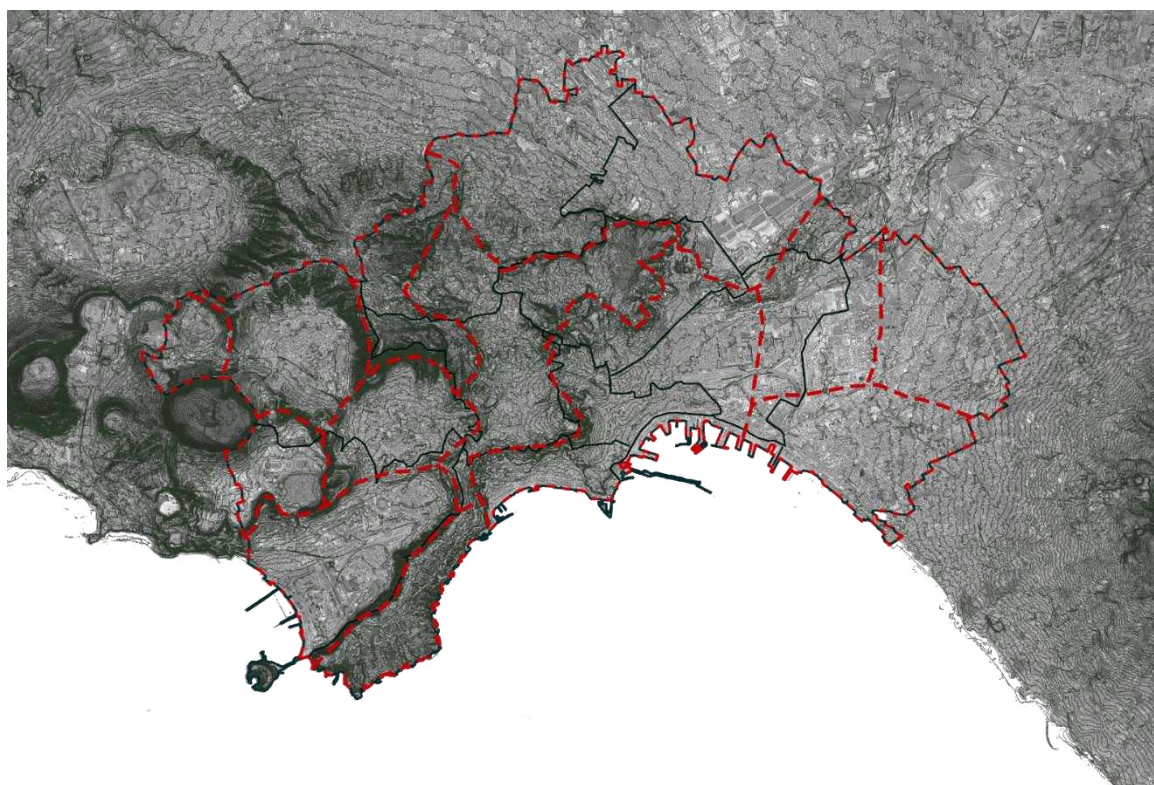


Figura 23 - Individuazione dei distretti urbani per la città di Napoli (Fonte: elaborazione di L. Miccio, 2020, Tesi di Laurea).

I fenomeni di più recente espansione urbana, a cui non sono applicabili le convenzionali modalità classificatorie per la città storica e la città consolidata, richiedono altresì l'elaborazione di approcci sperimentali nell'ambito degli studi urbani e tipo-morfologici che consentano di sviluppare tassonomie dei tessuti urbani in grado di consentire una lettura agile delle organizzazioni formale e tipo-morfologiche delle parti omogenee (D'Ambrosio & Leone, 2016).

Uno di questi approcci è quello che vede costruzione di una tassonomia dei tessuti urbani basata su **Ambiti urbani omogenei**¹³. Gli AUO sono classificati a partire dalla ricorrenza di caratteristiche comuni (tipologie edilizie e costruttive, tracciati, funzioni prevalenti e densità) ritenendo ipotizzabile,

¹³ Questo approccio per la classificazione dei tessuti urbani è stato sviluppato e implementato nell'ambito dei progetti di ricerca: "Metropolis – Metodologie e tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza di sistemi urbani" (PONREC 2007/2013) (Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio) e PRIN 2015 "Adaptive design e innovazioni tecnologiche per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di cambiamento climatico / Adaptive Design and Technological Innovations for the Resilient Regeneration of Urban Districts in Climate Change Regime" (Principal Investigator: Mario Losasso).

per essi, **comportamenti e livelli di vulnerabilità simili**. Per la costruzione delle caratteristiche e delle prestazioni dell'edilizia di base si è fatto riferimento a metodologie proprie dell'analisi tecnologico-ambientale. I dati e le informazioni di carattere quantitativo e qualitativo sono stati inquadrati in relazione a logiche sistemiche e di processo organizzate attraverso un approccio multiscalare (ambiti urbani, unità edilizie complesse, isolati, edifici e spazi aperti) (D'Ambrosio, 2016).

La costruzione degli Ambiti Urbani Omogenei coinvolge il rilievo e la definizione delle caratteristiche funzionali-spaziali insieme alle prestazioni tecnologiche e ambientali e rappresentano un livello di conoscenza fondamentale per lo sviluppo di un sistema semplificato volto a valutare il grado di adattabilità degli spazi aperti urbani.

Gli Ambiti Urbani Omogenei definiti rappresentano tessuti contraddistinti da differenti caratteristiche morfologiche, ambientali e tecnologiche, sia dello spazio aperto, sia degli edifici (Filagrossi Ambrosino & Leone, 2017) e possono essere considerati a tutti gli effetti come **unità minime rispetto alle quali attuare interventi di adattamento**. Questi ultimi vanno realizzati in base ai livelli di vulnerabilità con specifiche soluzioni tipo e categorie di opere (Bologna et al. 2021a; Losasso et al., 2021).

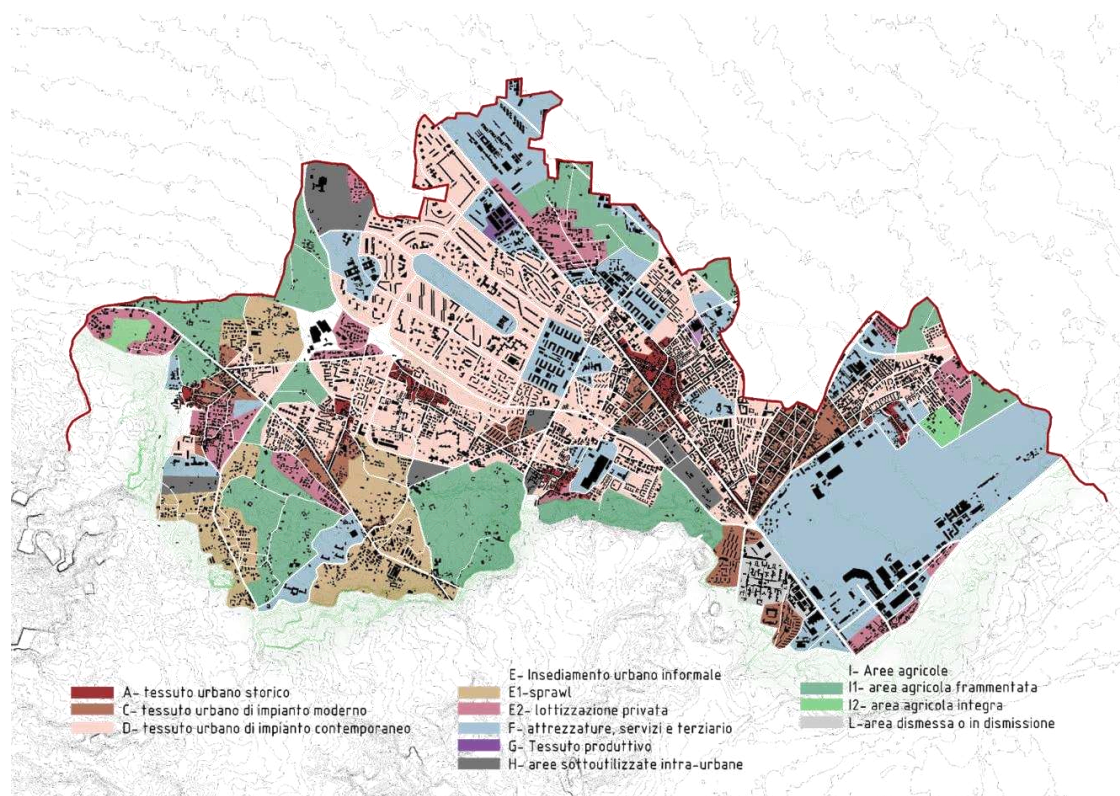


Figura 24 - Individuazione degli Ambiti Urbani Omogenei per l'area a nord di Napoli (Fonte: elaborazione di L. Miccio, 2020, Tesi di Laurea).

Le omogeneità in termini morfo-tipologici delineano varie aree urbane. Esaminando le loro caratteristiche fisiche, morfologiche, tipologiche, ambientali e prestazionali, è possibile "categorizzare" i tessuti edilizi, gli spazi aperti e, successivamente, gli elementi urbani. Ciò comprende diverse forme di costruzione, le tecniche utilizzate nella costruzione degli edifici, le

coerenze infrastrutturali e le relazioni con le tracce storiche (come tracciati storici, progressive conurbazioni, e le peculiarità dell'edificato).

Analisi conoscitive di questo tipo che portano alla definizione di tassonomie specifiche per i tessuti urbani consentono di definire per gli insediamenti urbani **contesti urbani critici** caratterizzati dalla concentrazione o sovrapposizione di rischi e impatti rilevati che si intersecano a loro volta con i fattori di vulnerabilità e di esposizione determinati dalle caratteristiche fisiche delle aree oggetto di analisi, rendendo prioritaria l'adozione di misure di contrasto come strategie e azioni di adattamento, di riduzione della vulnerabilità e dell'esposizione, di incremento della resilienza.

2.2.2 Gli indicatori di impatto alla scala urbana ed edilizia

La costruzione di quadri di conoscenza per l'ambiente costruito necessita di basarsi, nel campo degli scenari multirischio, su informazioni e dati quantitativi, misurabili e verificabili. In questo contesto, gli indicatori svolgono un ruolo fondamentale in quanto rendono possibile misurare gli impatti e valutare l'efficacia delle diverse strategie di intervento nel contesto urbano,

L'utilizzo degli indicatori si è diffuso maggiormente a partire dagli anni '90 quando furono introdotti come strumenti fondamentali per costruire quadri di conoscenza e monitorare nei diversi Paesi le politiche in relazione agli obiettivi di sviluppo sostenibile¹⁴.

Gli **indicatori** possono essere definiti come entità semplici, utilizzate al posto di un'altra entità per operazioni mentali e pratiche al fine di **fornire una rappresentazione sintetica di una realtà complessa** (Malcevski, 1987)¹⁵. L'indicatore, di base, possiede un significato che va oltre quello del singolo parametro da cui deriva. È significato sintetico e, generalmente, sviluppato per uno scopo specifico.

È possibile distinguere gli indicatori in due gruppi principali: indicatori qualitativi e indicatori quantitativi.

¹⁴ Quest'iniziativa fu promossa dall' *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD), organizzazione intergovernativa di paesi sviluppati, che ha concepito il proposito di usare gli indicatori come strumento di monitoraggio e di divulgazione delle informazioni. La loro introduzione da parte dell'OECD testimonia il riconoscimento della necessità di strumenti efficaci per valutare e comunicare la sostenibilità ambientale, guidando in questo modo l'implementazione di politiche legate allo sviluppo sostenibile.

¹⁵ Gli indicatori si differenziano dagli indici. Infatti, mentre il primo esprime un valore relativo a una determinata caratteristica, l'indice, invece, esprime un insieme di indicatori, aggregati tra loro in maniera diversa per fornire un parametro di più facile comprensione.

INDICATORI QUALITATIVI	Si riferiscono alla discrezione di caratteristiche o proprietà che hanno la capacità di rappresentare una determinata situazione. Hanno maggior valore quanto più è dettagliata la ricchezza della descrizione. Questo tipo di indicatori è importante perché non sempre è possibile riportare una caratteristica a un valore numerico.
INDICATORI QUANTITATIVI	Sono dati numerici che hanno la funzione di mettere in evidenze in modo sintetico una determinata situazione. A loro volta si dividono in indicatori assoluti (quando il significato è interpretato attraverso una tabella in cui accanto al valore è riportato il suo significato) e indicatori relativi (che hanno senso solo se confrontati tra di loro, non essendoci una scala o valori minimi e massimi di riferimento).

Box 9 - Distinzione tra indicatori qualitativi e indicatori quantitativi.

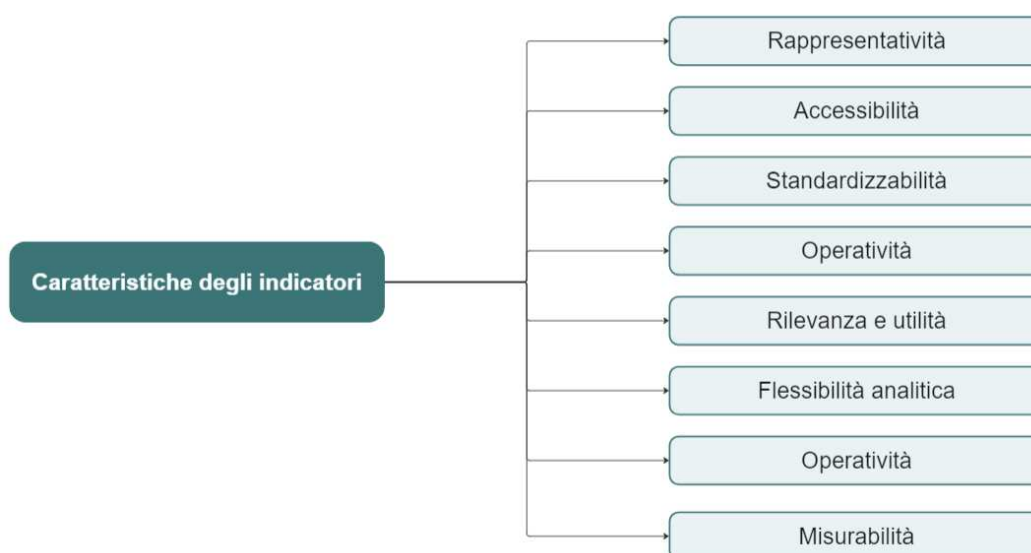


Figura 25 - Caratteristiche di base degli indicatori.

Un approccio di conoscenza basato sugli indicatori assume una rilevanza cruciale nell'ambito dei modelli di analisi ambientale grazie alla loro capacità di offrire una rappresentazione sintetica di complesse problematiche legate alla complessità dei sistemi urbani.

L'analisi del rischio climatico richiede la formulazione di ipotesi sui potenziali scenari futuri, ad esempio, di emissioni globali di GHG, dell'incremento delle temperature e dei loro effetti. Nell'ambito degli **approcci per la valutazione e la riduzione degli impatti** su persone, beni e risorse derivanti dalla combinazione di diversi tipi di rischi è possibile riscontrare tra gli aspetti più critici da un lato, quello relativo alla modellazione degli *hazard* climatici attraverso scenari di proiezione, dall'altro delle caratteristiche fisiche e socioeconomiche degli insediamenti urbani che incidono sui fattori di vulnerabilità ed esposizione.

La valutazione di queste componenti determinanti nella valutazione degli impatti derivanti dai rischi climatici deve tenere conto di **molteplici dimensioni**: l'impatto fisico-ambientale degli *hazard*

climatici, la capacità del sistema di riprendersi dopo un evento estremo e di adattarsi ai cambiamenti nel lungo periodo, le caratteristiche socio-economiche del sistema che contribuiscono a far fronte agli sforzi di adattamento.

Approcci di tipo quantitativo sono, dunque, essenziali per migliorare la comprensione degli effetti ambientali, sociali ed economici al fine della mitigazione dei rischi connessi al cambiamento climatico.

Ad esempio, i processi di previsione, proiezione e simulazione richiedono l'utilizzo di sistemi di variabili numeriche, fondamentali per confrontare le condizioni precedenti e successive ad interventi di adattamento. In questa prospettiva, i sistemi di indicatori emergono come strumenti informativi essenziali, mostrando valori specifici che rispondono alle diverse esigenze decisionali e gestionali (D'Ambrosio, 2020). Questi indicatori non solo forniscono una risposta ai processi decisionali e alle attività di gestione, ma diventano anche cruciali nelle fasi di monitoraggio e di gestione delle risorse ambientali. Svolgono, inoltre, un ruolo fondamentale nell'affrontare le conseguenze degli impatti climatici, facilitando le azioni di ripristino e contribuendo alla prevenzione di futuri eventi. La visualizzazione di valori specifici attraverso sistemi di indicatori è cruciale per una comprensione approfondita delle dinamiche ambientali e per orientare scelte strategiche atte a mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici.

Negli approcci di tipo quantitativo per l'analisi del rischio, indici e indicatori di tipo deterministico sono **strumenti essenziali per la valutazione della vulnerabilità e dell'esposizione** agli impatti dei cambiamenti climatici negli insediamenti urbani. Tali strumenti forniscono un mezzo sistematico e strutturato per identificare e dare priorità alle aree e alle comunità che sono a rischio di impatti connessi agli *hazard* climatici, oltre ad esaminare le cause alla base della vulnerabilità e delle aree oggetto di analisi.

La valutazione accurata dei livelli effettivi di rischio nei contesti urbani richiede lo sviluppo di approfondite conoscenze per ciascuna delle componenti che compongono il rischio stesso. Ciò implica la creazione di metodologie originali e modelli sperimentali mirati a comprendere gli impatti su una scala di dettaglio maggiore rispetto a quella di un'area più ampia. In particolare, la vulnerabilità climatica, intesa come la predisposizione di un sistema umano o naturale a subire impatti negativi dai cambiamenti climatici, è strettamente correlata ai fattori intrinseci del sistema urbano. Questi fattori sono espressi attraverso le sue caratteristiche, che influenzano il grado di esposizione ai fenomeni climatici e il livello di sensibilità del sistema di fronte a tali impatti.

La scelta e lo sviluppo degli indici e degli indicatori utilizzati nelle valutazioni quantitative dei fattori di vulnerabilità, esposizione e *hazard* deve essere basato su un attento esame della letteratura esistente, sulla disponibilità di dati. Gli indicatori **riducono la complessità di questioni multidimensionali** attraverso la loro quantificazione proporzionale, consentendo di analizzare, confrontare e comunicare in questo modo idee, processi e scalarità complesse. In questo modo, una valutazione del rischio basata su indici e indicatori è in grado di integrare dati provenienti da diverse discipline (Fleming et al., 2023).

La scelta e l'analisi di indicatori per la stima delle componenti di vulnerabilità ed esposizione degli insediamenti urbano fornisce **parametri misurabili e monitorabili nel tempo**. Si tratta di strumenti e processi che offrono una base solida per valutare l'evoluzione di queste determinanti e implementare strategie di gestione del rischio climatico a breve e lungo termine (D'Ambrosio, 2016).

Il nuovo regime climatico in continua evoluzione impone l'adozione di misure di mitigazione delle emissioni climalteranti che devono essere complementare da una progettazione orientata al *climate adaptation design*. Questo approccio richiede una visione olistica, integrata con approfondimenti specifici in punti chiave dei sistemi urbani. La sua efficacia deve essere misurabili e verificabile attraverso l'impiego di avanzati sistemi di indicatori (Losasso, 2016b)

I sistemi di indici e indicatori costituiscono strumenti chiave nella **valutazione dell'efficacia delle misure di adattamento e mitigazione climatica** implementate. Svolgono, altresì, un ruolo fondamentale nell'identificare le aree che necessitano di ulteriori interventi, introducendo nuove prestazioni – inizialmente non previste – tramite strategie progettuali di adattamento agli impatti climatici e di mitigazione delle emissioni climalteranti al fine di ridurre la vulnerabilità e l'esposizione complessiva e potenziare la capacità di risposta del sistema.

Nei processi di trasformazione dell'ambiente costruito orientati alla resilienza climatica, le fasi del processo edilizio devono concentrarsi, nello scenario attuale, sulla riduzione dei rischi climatici attraverso trasformazioni durevoli, ecocompatibili, economicamente sostenibili e socialmente accettabili. Il raggiungimento degli obiettivi *climate-proof* richiede una **valutazione integrata delle ricadute degli interventi progettuali**, considerando possibili interferenze nel conseguimento dei target di adattamento e mitigazione climatica fissati (D'Ambrosio, 2020).

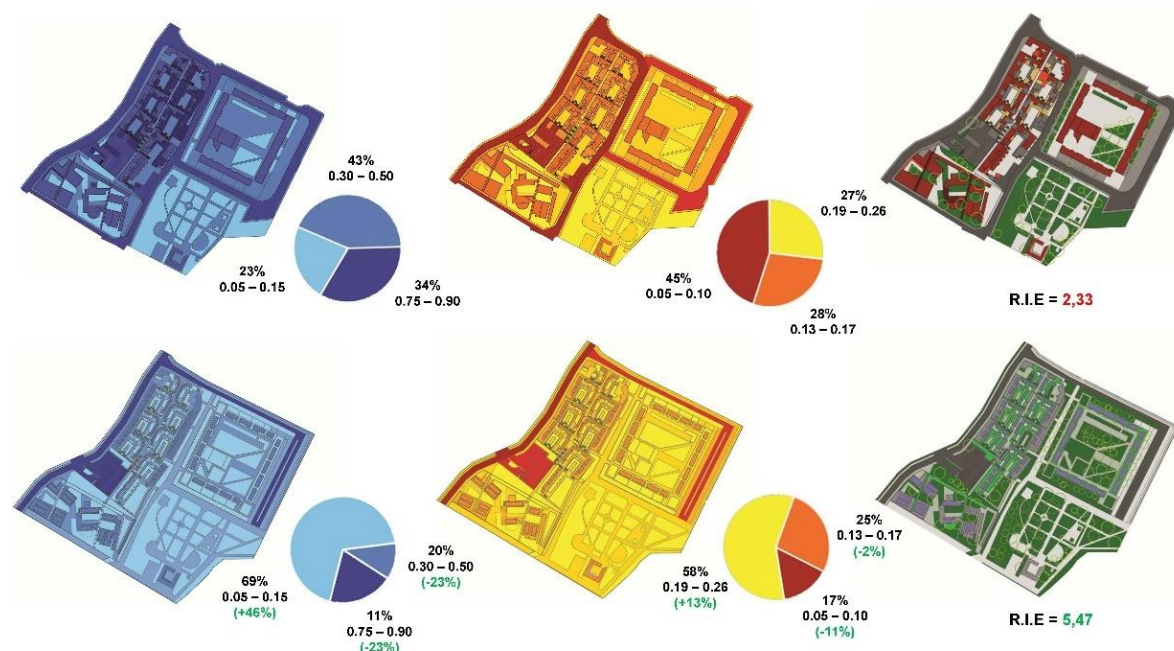


Figura 26 - Esempio dell'utilizzo degli indicatori per la valutazione degli interventi progettuali mediante un confronto dei valori ex ante ed ex post (Fonte: elaborazione di D. Morelli, 2022, Tesi di Laurea). L'utilizzo di set di indici e indicatori emerge come uno strumento diagnostico di rilievo, fornendo una **misura tangibile degli obiettivi da raggiungere**. La loro applicazione consente di monitorare

l'efficacia delle azioni intraprese per il conseguimento di tali obiettivi, anticipando l'evoluzione di scenari futuri. In tal modo, gli indici e gli indicatori giocano un ruolo cruciale nel fornire un quadro informativo dettagliato e dinamico, contribuendo a guidare decisioni e interventi mirati nel contesto dei rischi determinati dal cambiamento climatico.

Sulla base di tali considerazioni, risulta evidente come la selezione ragionata di indici e indicatori costituisca uno degli *step* principali nei processi di analisi e valutazione del rischio per il controllo e il monitoraggio dell'efficacia dei progetti di adattamento in fase pre e post intervento.

La selezione degli indicatori deve essere mirata a evidenziare la correlazione tra le diverse tipologie di *hazard* climatici come ondate di calore, inondazioni, piogge estreme e siccità, e i loro impatti potenziali (diretti o indiretti). Questa scelta, inoltre, deve basarsi sulle caratteristiche fisiche specifiche del sistema urbano e mira a fornire un supporto nel processo di identificazione degli obiettivi di adattamento specifici e nella definizione di target quantitativi di riferimento. Gli obiettivi prioritari, nel contesto della selezione di indici e indicatori, riguardano l'adattamento agli stress microclimatici associati all'isola di calore urbana, agli allagamenti superficiali, agli aspetti legati alla gestione del ciclo dell'acqua a scala locale, all'efficienza ecologica dei suoli urbani. Questo approccio mirato contribuisce a identificare i fattori di maggiore rilevanza per un progetto *climate-resilient*, consentendo di sviluppare strategie alla scala urbana ed edilizia mirate ed efficaci.

Alcuni indicatori che possono essere individuati per la conoscenza della morfologia urbana sono, ad esempio, lo *Sky View Factor* e l'*Urban Aspect Ratio*. Questi insieme all'albedo e al *Normalized Difference Vegetation Index* possono, per esempio, fornire informazioni sullo scambio di calore radiante tra la terra e il cielo contribuendo all'individuazione delle corrette misure da intraprendere per ridurre la vulnerabilità del sistema fisico rispetto a fenomeni di ondata di calore. Allo stesso modo, alla scala dell'edificio per comprenderne e monitorarne le prestazioni termofisiche possono essere individuati indicatori tecnologici come la Trasmittanza, lo Sfasamento o il Fattore di Attenuazione. Inoltre, per valutare le condizioni di stress termico legate ai fenomeni climatici estremi rispetto agli edifici e agli spazi aperti è possibile individuare indicatori o indici ambientali di comfort outdoor e indoor come il *Predicted Mean Vote* (PMV), la *Mean Radiant Temperature* (MRT) o l'*Universal Thermal Climate Index* (UTCI) (Losasso et al., 2020).

In generale, la predisposizione di un quadro di conoscenze completo relativo agli insediamenti urbani, basato sull'uso di banche dati e indicatori (Dell'Acqua & Kuhn, 2020), risulta uno strumento fondamentale per il supporto delle strategie di adattamento mirate alla riduzione degli impatti dei rischi climatici.

A tal fine, l'evoluzione rapida delle **tecnologie informatiche**, abbinate alle convenzionali tecnologie per la realizzazione degli interventi sul costruito, svolge un ruolo importante. Le *Information and Communication Technologies* (ICT) emergono come una frontiera cruciale nei processi di **modellazione e simulazione per la misura e la valutazione degli indicatori** all'interno delle tecnologie abilitanti (Tersigni & Leone, 2019).

Tra gli strumenti più diffusi, è possibile individuare i Sistemi Informativi Geografici (GIS), in grado di elaborare dati storici provenienti da stazioni metereologiche e modelli climatici regionali (RCM) consentendo l'identificazione degli *hotspot* di calore urbano e delle aree potenzialmente soggette a inondazioni. Anche gli strumenti di progettazione parametrica, come *Grasshopper* con *Ladybug* e *Dragonfly*, offrono la possibilità di visualizzare e valutare dati climatici su vasta scala, utilizzando informazioni dal *National Climactic Data Center* (NCDC) e immagini termiche satellitari come quelle provenienti da *Landsat* (Tersigni, 2017 *Metropolis 2*).

La capacità di simulare scenari climatici complessi consente ai progettisti di anticipare e mitigare impatti negativi, supportando una progettazione resiliente orientata agli effetti dei cambiamenti climatici. L'approccio basato su GIS e strumenti parametrici apre nuove prospettive nella valutazione del rischio climatico, fornendo una base informativa solida per affrontare le sfide nella progettazione e nella gestione degli ambienti costruiti determinate dagli scenari di multirischio climatico.

Riferimenti bibliografici

- Bologna, R., Alberti, F., Hasanaj, G. & Arnetoli, M.V. (2021a). 1. Le parti e il tutto: approccio sistemico e tassonomie urbane in chiave climate-proof/ The Elements and the Whole: Climate-Proof Systematic Approach and Urban Taxonomies. In Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.) (2021). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation* (p. 27-34). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.) (2021b). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Caniggia, G. (1981). *Strutture dello spazio antropico: studi e note*. Firenze: Alinea.
- Carpignano, A., Golia, E., Di Mauro, C., Bouchon, S., & Nordvik, J. P. (2009). A methodological approach for the definition of multi-risk maps at regional level: first application. *Journal of risk research*, 12(3-4), 513-534.
- Clemente, M. F. (2023). *Climate Risks/Urban Waterfront. La progettazione ambientale per la resilienza climatica delle aree urbane costiere*. Napoli: Clean.
- Costella, C., Natson, S., Sengupta, S., & McDowell, S. (2021). *Urban climate risks and the role of social protection*. Disponibile in: https://www.climatecentre.org/wp-content/uploads/RCCC_Urban-climate-risks-brief_Case-Studies.pdf [6 ottobre 2023].
- D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge*. Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V. (2016). Innovazione e sperimentazione nei processi di conoscenza dell'ambiente costruito / Innovation and experimentation in the knowledge processes of the built environment. In D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge* (p. 50-57). Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V. (2020). Progetto climate proof: indicatori, controllo e monitoring/ Climate Proof Project: Indicators, Control and Monitoring. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, (p. 172-178). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- D'Amico, A., Russo, M., Bernabei, L., Angelosanti, M., Cantatore, E., Fatiguso, F. et al. (2021). Verso una valutazione multi-rischio per la sicurezza dell'ambiente

- costruito e dei suoi utenti: una scheda per la definizione di scenari negli spazi aperti urbani. In Sicignano, E. (Ed.), *Design and Construction. Tradition and innovation in the practice of architecture/ Progetto e Costruzione. Tradizione ed innovazione nella pratica dell'architettura* (p. 1508-1525). Monfalcone: EdicomEdizioni.
- Del Monaco, G., Margottini, C., & Spizzichino, D. (2006). ARMONIA methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. *Deliverable 3.1. 1, ARMONIA*.
- Dell'Acqua, F. & Kuhn, N. (2020). L'uso degli indicatori nel progetto ambientale / Use of Indicators in the Environmental Project. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, (p. 257-260). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Dell'Acqua, F. & Verde, S. (2021). Approccio knowledge-based al progetto ambientale per il contrasto degli impatti climatici nella macroarea di Napoli nord". In Cardone, B., Di Martino, F. (Eds.), *Gis Day 2021 Il GIS per il governo e la gestione del territorio*, (p. 23-42). Canterano: Aracne.
- EC - European Commission & ECHO - Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations (2021). *Overview of natural and man-made disaster risks the European Union may face – 2020 edition*. Disponibile in: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/89fcf0fc-edb9-11eb-a71c-01aa75ed71a1> [6 ottobre 2023].
- EC – European Commission (2009). *EU Strategy for supporting Disaster Risk Reduction in Developing Countries. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. COM (2009) 84 final*. Disponibile in: https://ec.europa.eu/echo/files/policies/dipecho/EU_Strategy_supporting_DRR_2009_en.pdf [6 ottobre 2023].
- EC – European Commission (2010). *The EU Internal Security Strategy in Action: Five steps towards a more secure Europe. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. COM (2010) 673 final*. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0673:FIN:EN:PDF> [6 ottobre 2023].
- EC – European Commission (2014). *Overview of natural and man-made disaster risks in the EU Accompanying the document. Commission Staff Working Document - The post 2015 Hyogo Framework for Action: Managing risks to achieve resilience. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. SWD (2014) 134 final*. Disponibile in: https://ec.europa.eu/echo/files/news/post_hyogo_risks_overview_en.pdf [6 ottobre 2023].
- EC – European Commission (2020a). *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM/2020/662 final*. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0662> [6 ottobre 2020].

- EC – European Commission (2020b). *Science for Disaster Risk Management 2020. Acting Today, Protecting Tomorrow*. Disponibile in: <https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/knowledge/SCIENCE-FOR-DRM/Science-for-Disaster-Risk-Management-2020> [6 ottobre 2023].
- EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (2019). *Financing a Sustainable European Economy. Taxonomy Technical Report*. Disponibile in: https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/3567-190618-sustainable-finance-teg-report-taxonomy_en.pdf [6 ottobre 2023].
- Filagrossi Ambrosino, C. & Leone, M.F. (2017). Catalogo di alternative tecniche per l'adattamento ai cambiamenti climatici / Catalogue of technical alternatives for climate change adaptation. 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* (p. 72-82). Napoli: Clean.
- Fleming, C. S., Regan, S. D., Freitag, A., & Burkart, H. (2023). Indicators and participatory processes: a framework for assessing integrated climate vulnerability and risk as applied in Los Angeles County, California. *Natural Hazards*, 115(3), 2069-2095.
- Gallina, V., Torresan, S., Critto, A., Sperotto, A., Glade, T., & Marcomini, A. (2016). A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment. *Journal of environmental management*, 168, 123-132.
- Gasparini, P., & Garcia-Aristizabal, A. (2014). Seismic risk assessment, cascading effects. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, 1-20.
- Ghosh, A. (2017). *La grande cecità – Il cambiamento climatico e l'impossibile*. Vicenza: Neri Pozza.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Disponibile in: <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/> [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK) e New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022a). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K., & Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Natural hazards*, 64, 1925-1958.
- Komendantova, N., Scolobig, A., Garcia-Aristizabal, A., Monfort, D., & Fleming, K. (2016). Multi-risk approach and urban resilience. *International Journal of Disaster*

- Resilience in the Built Environment*, 7(2), 114-132.
- Losasso, M. (2016a). L'apporto tecnologico e ambientale per la conoscenza dei distretti urbani/ Technological and environmental aid for the knowledge of urban districts. In D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge* (p. 92-111). Napoli: Clean.
- Losasso, M. (2016b). Prefazione. In D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge* (p. 20-25). Napoli: Clean.
- Losasso, M., Giugni, M., D'Ambrosio, V., Rigillo, M., De Paola, F., Di Martino, F., Pugliese, F., Dell'Acqua, F. & Gerundo, C. (2021). 1. Progettazione multiscalare per la resilienza dei Distretti urbani. Eco-distretti e soluzioni climate-proof per l'area occidentale di Napoli. Il caso applicativo di Soccavo/Multi-scale Design for the Resilience of Urban Districts. Eco-Districts and Climate-proof Solutions for the Western Area of Naples. The Application Case of Soccavo. In Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.) (2021). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation* (p. 78-121). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.) (2020), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Malcevski, S. (1987). Indicatori eterogenei e bilanci d'impatto ambientale. Elementi per un paradigma di collegamento. In Schimdt di Friedberg P. (Ed.), *Gli indicatori ambientali: valori, metri e strumenti nello studio dell'impatto ambientale*. Milano: Franco Angeli.
- MASE - Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022). Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici. In *PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/PNACC_AllegatoI_metodologie_definizione_strategie_piani_regionali_adattamento.pdf [8 agosto 2023].
- MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/7726/11206?Testo=&RaggruppamentoID=1004> [16 agosto 2023].
- McBean, G., & Rodgers, C. (2010). Climate hazards and disasters: the need for capacity building. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(6), 871-884.
- Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Tecnologia dell'architettura per la progettazione ambientale. *Techne. The*

- Journal of Technology for Architecture and Environment*, (1), 48-53.
- Sharma, A., & Miyazaki, H. (2019). Multi-hazard risk assessment in urban planning and development using AHP. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 363-371.
- Smid, M. (2018). *Climate change and impacts in the urban systems* (Doctoral dissertation, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)).
- Tersigni, E. & Leone, M.F. (2019). *Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali*. Napoli: Clean.
- Tersigni, E. (2017). Strumenti digitali per il controllo ambientale del progetto adattivo / Digital tools for the environmental control of the adaptive project. 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* (p. 214-225). Napoli: Clean.
- Theocharidou, M., & Giannopoulos, G. (2015). Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. *Scientific and Technical Research Reports*.
- UN – United Nations (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development. Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September 2002*. Disponibile in: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N02/636/93/PDF/N0263693.pdf?OpenElement> [6 ottobre 2023].
- UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction & Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2020). *The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)*. Disponibile in: <https://www.preventionweb.net/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019#:~:text=In%20the%20period%202000%20to%202019%2C%20there%20were,a%20sharp%20increase%20over%20the%20previous%20twenty%20years.> [6 ottobre 2023].
- UNEP – United Nations Conference on Environment & Development (1992). *Agenda 21*. Disponibile in: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf> [6 ottobre 2023].
- UNISDR - United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030*. Disponibile in: https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf [8 agosto 2023].
- UNISDR - United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (2004). *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*. Disponibile in: <https://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives> [6 ottobre 2023].
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. Disponibile in: <https://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergovr/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-english.pdf> [6 ottobre 2023].

- Visconti, F. (2016). Gli elementi tipo-morfologici del sistema urbano: tradizione, attualità e futuro / Typological and morphological elements of urban systems: tradition, present practices and the future. In D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge* (p. 80-91). Napoli: Clean.
- Vittoria, E. (1976). Tecnologia dell'architettura. In *Guida dello Studente, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Napoli, a.a. 1976-77*.
- Vose, D. (2008). *Risk Analysis. A quantitative guide*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Wang, J., He, Z., & Weng, W. (2020). A review of the research into the relations between hazards in multi-hazard risk analysis. *Natural Hazards*, 104, 2003-2026.

Parte 2

**IL CONTRASTO DEGLI IMPATTI CLIMATICI IN
CONDIZIONI MULTIRISCHIO**

In conformità con le diverse interpretazioni del concetto di rischio nell'ambito del *Disaster Risk Reduction* e con quanto evidenziato dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change*, i rischi derivano dalle interazioni dinamiche degli hazard con l'esposizione e la vulnerabilità del sistema interessato. Gli impatti potenziali rilevanti includono principalmente quelli sulla vita, i mezzi di sussistenza, la salute e il benessere, gli asset e gli investimenti economici, sociali e culturali, le infrastrutture e i servizi (compresi i servizi ecosistemici) e gli ecosistemi.

Nel nuovo regime climatico, gli insediamenti urbani a causa dell'alta densità di popolazione e di urbanizzazione sono particolarmente soggetti a una diversificata gamma di rischi legati a pericoli ambientali, naturali e antropici, derivanti sia da fattori climatici che non climatici e che possono verificarsi sia in maniera simultanea sotto forma di *compound risk*, o in successione sotto forma di *cascading risk*.

Questi eventi, talvolta interagendo tra loro in modo sinergico, hanno il potenziale di amplificare i danni agli insediamenti urbani e alle infrastrutture erichiedono valutazioni adeguate e misure significative per la mitigazione e l'adattamento alle condizioni multirischio. Le strategie di intervento alla scala locale dovrebbero agevolare un adattamento climatico complessivo, incorporando non solo soluzioni tecnologiche ma anche misure incentrate sull'equilibrio degli ecosistemi e interventi volti a promuovere cambiamenti negli stili di vita, in risposta alle condizioni multirischio attuali.

Da questo punto di vista, le città svolgono un ruolo fondamentale nell'attuazione di misure, azioni e interventi di adattamento per il contrasto degli impatti dei rischi climatici. La risposta di adattamento climatico degli insediamenti urbani è, infatti, strettamente connessa alla disposizione spaziale, alla morfologia degli edifici e degli elementi urbani, nonché alle tecniche costruttive, alle prestazioni dei singoli elementi e ad altre caratteristiche specifiche, come la massa termica e la riflettanza delle superfici, insieme alla presenza di vegetazione. L'integrità fisica, la funzionalità e le prestazioni di tali elementi costituiscono fattori chiave che contribuiscono al grado di vulnerabilità ed esposizione dei sistemi urbani agli impatti climatici.

La necessità di mitigazione dei rischi climatici e di potenziamento della resilienza agli impatti climatici emergono come obiettivi prioritari dal panorama attuale descritto. Tuttavia, per perseguire tali scopi, è cruciale intraprendere azioni che agiscono in maniera integrata sia per la mitigazione delle emissioni climalteranti che per l'adattamento per il contrasto degli impatti climatici. In particolare, l'attuazione di strategie di adattamento climatico attraverso l'introduzione di interventi *climate-resilient* svolge un ruolo fondamentale nel conseguimento degli obiettivi di resilienza degli insediamenti urbani in condizioni multirischio.

Dalla revisione dello stato dell'arte emerge tuttavia una difficoltà significativa nello sviluppare metodologie e modelli simulativi che siano in grado di tenere conto degli impatti del multirischio climatico alla scala urbana ed edilizia. Inoltre, è stato possibile osservare che la scala dei modelli di analisi del rischio attualmente disponibili è spesso troppo ampia. Orientandosi prevalentemente a livello regionale, risulta inadeguata per affrontare e supportare in modo efficace progetti alla scala urbana ed edilizia. Un'ulteriore criticità è stata riscontrata relativamente alla mancanza

dell'interazione tra i modelli esistenti di analisi dei rischi climatici e le strategie di intervento mirate al contrasto degli impatti ad essi connessi negli insediamenti urbani.

Da ciò emerge la necessità di concepire progetti alla scala urbana ed edilizia che si confrontino con le specifiche caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione che contraddistinguono gli insediamenti urbani, adottando un approccio olistico e multiscalare, caratteristico dell'ambito disciplinare della Progettazione Ambientale. Si tratta di un approccio in cui siano bilanciate le necessità di qualità architettonica e urbana insieme a quelle di adattamento agli impatti climatici e di mitigazione delle condizioni multirischio. Inoltre, Il progetto dovrebbe essere concepito negli scenari climatici attuali in modo tale che le azioni di adattamento climatico non solo rispondano agli impatti, ma agiscano parallelamente per la riduzione delle emissioni climalteranti.

Negli insediamenti urbani, gli attuali scenari multirischio amplificati dai cambiamenti climatici richiedono un approccio che tenga conto della complessità intrinseca dei sistemi urbani, al fine di delineare interventi di adattamento mirati a contrastare gli impatti climatici e a migliorare la capacità di risposta resiliente. A tal fine, è essenziale sviluppare modelli di conoscenza e supporto decisionali per il progetto di adattamento alla scala urbana ed edilizia. La struttura di questa conoscenza di base rappresenta una fase preliminare cruciale per lo sviluppo di un approccio *knowledge-based*. Tale approccio è finalizzato all'analisi e alla caratterizzazione degli insediamenti urbani per l'individuazione di contesti insediativi e aree critiche caratterizzati dalla concentrazione o sovrapposizione di rischi e impatti, in cui risulti prioritaria l'applicazione di strategie e azioni di adattamento, riduzione della vulnerabilità e dell'esposizione, e potenziamento della resilienza.

In questo quadro, il lavoro di ricerca condotto propone lo sviluppo di un *workflow* processuale di supporto alle decisioni per il progetto di adattamento in condizioni di multirischio climatico negli insediamenti urbani. Il *workflow* proposto è finalizzato alla costruzione di uno strumento di supporto decisionale da adottare nelle fasi preliminari del processo progettuale per: l'individuazione delle aree maggiormente critiche dal punto di vista dei fattori di vulnerabilità, esposizione e hazard climatici in condizioni multirischio (hotspot urbani) e la valutazione degli interventi di adattamento in termini di contrasto degli impatti climatici attraverso un set di indici e indicatori e l'applicazione del processo di *Proof of Concept*.

Il *workflow* così configurato vuole, da un lato, offrire una valutazione qualitativa e quantitativa dell'impatto integrato di più rischi climatici sugli insediamenti urbani alla scala locale e dall'altro, offrire una modalità semplificata di valutazione della capacità di contrasto degli impatti climatici di un set di sistemi tecnici per l'adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia.

L'approccio ciclico e iterativo basato su un approccio *evidence-based* con l'uso di indici e indicatori adottato nel *workflow* proposto fa sì che esso si configuri come uno strumento di supporto sia per i decisori dei settori pubblico, privato e imprenditoriale sia per il pubblico meno esperto, da utilizzare nelle fasi preliminari di sviluppo del progetto di adattamento climatico nelle aree maggiormente critiche dal punto di vista degli impatti climatici.

3 RISCHI CLIMATICI, *CLIMATE ADAPTATION* *DESIGN*, APPROCCI DELLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE

3.1 *Climate Adaptation Design* per il contrasto degli impatti climatici

3.1.1 Adattamento climatico: un concetto in evoluzione

La storia dell'evoluzione umana e, più in generale, della vita sul nostro pianeta è caratterizzata dalla continua evoluzione e adattamento alle condizioni climatiche. Tali processi di adattamento hanno riguardato sia la variabilità climatica-zonale che quella "naturale" dovuta alle variazioni periodiche dei parametri orbitali terrestri e alle variazioni temporanee dovute a eventi estremi (MASE, 2022). Negli ultimi anni, l'emergenza climatica ha determinato nuove importanti sfide in ambito urbano che comportano la necessità di strategie di politica tecnica in grado di guidare azioni e interventi per nuove organizzazioni della vita urbana e per la trasformazione di parti di città particolarmente vulnerabili ed esposte (Aprèda, D'Ambrosio and Di Martino, 2019; Watts et al., 2020; Steele and Rubin, 2020).

In relazione alle proiezioni climatiche (IPCC, 2023) gli impatti di maggiore rilievo attesi nei prossimi decenni potranno riguardare l'elevato innalzamento delle temperature, l'aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi, la riduzione delle precipitazioni annuali medie o la riduzione dei flussi fluviali annui (MASE, 2022).

Come è noto la comunità internazionale sta affrontando il problema dei cambiamenti climatici e dei rischi a esso associati attraverso misure di **mitigazione** e **adattamento**. Per mitigazione climatica si intende qualsiasi intervento umano che riduca le fonti (*sources*) di rilascio, o rafforzi e potenzi le fonti di assorbimento (*sinks*) dei gas serra (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale [ISPRA], 2023)

L'adattamento climatico, invece, racchiude tutte quelle **azioni mirate alla riduzione della vulnerabilità dei sistemi a rischio in risposta agli impatti climatici attuali o previsti allo scopo di moderare o limitare i danni derivanti da questi ultimi o di sfruttarne le eventuali opportunità** (Füssel, 2007; IPCC, 2022).

Nell'ambito del report dell'IPCC AR5 del 2014, l'adattamento in relazione al cambiamento climatico è definito come *«il processo di adattamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di moderare o evitare i danni o di sfruttare le opportunità positive. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti»*. A causa dei progressi scientifici, questa voce del glossario differisce per ampiezza e per focalizzazione da quella utilizzata nel Quarto Rapporto di Valutazione e nei precedenti report dell'IPCC (IPCC, 2014). Nello *Special Report on Global Warming of 1.5°C del 2018*, la definizione di adattamento è ulteriormente modificata. L'IPCC in questo report lo definisce come *«nei sistemi umani, il processo di adattamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti, al fine di moderarne i danni e sfruttarne le opportunità positive. Nei sistemi naturali, invece, esso rappresenta il processo*

di adeguamento al clima attuale e ai suoi effetti. In entrambi i casi, l'intervento umano può facilitare tale adeguamento» (IPCC, 2018, p. 542).

Nell'ultimo report dell'IPCC pubblicato nel 2022 *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* la definizione di base di “adattamento climatico” riprende quella utilizzata nel report del 2018, mettendo in evidenza il ruolo svolto dai processi di adattamento nel contribuire alla riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità dei sistemi ai cambiamenti climatici. È ulteriormente specificata la diversa modalità in cui l'adattamento agisce nei sistemi ecologici/naturali e nei sistemi umani/antropici (IPCC, 2022). Nei primi l'adattamento comprende aggiustamenti autonomi attraverso processi ecologici ed evolutivi. Nei secondi esso può essere anticipatorio o reattivo, nonché incrementale o trasformativo (cfr. Tab. 7). I processi di adattamento modificano quelli che sono gli attributi fondamentali di un sistema socio-ecologico in previsione degli impatti derivanti dai cambiamenti climatici.

DOCUMENTO	ENTE/ ORGANIZZAZIONE	ANNO	DEFINIZIONE
Special Report Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation - SREX	IPCC	2012	In human systems, the process of adjustment to actual or expected climate and its effects, in order to moderate harm or exploit beneficial opportunities. In natural systems, the process of adjustment to actual climate and its effects; human intervention may facilitate adjustment to expected climate.
Climate Change 2014: Synthesis Report - AR5-SYR (10/2014)	IPCC	2014	The process of adjustment to actual or expected climate and its effects. In human systems, adaptation seeks to moderate or avoid harm or exploit beneficial opportunities. In some natural systems, human intervention may facilitate adjustment to expected climate and its effects. FTN: Reflecting progress in science, this glossary entry differs in breadth and focus from the entry used in the Fourth Assessment Report and other IPCC reports.
Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate	EEA	2016	The process of adjusting to actual or expected changes in the climate and its effects. In human systems (e.g. urban areas), adaptation seeks to moderate or avoid harm or exploit beneficial opportunities.
PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici	MATTM	2018	Il processo di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di limitare o evitare danni e/o sfruttare le opportunità favorevoli. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti
Special Report on Global Warming of	IPCC	2018	In human systems, the process of adjustment to actual or expected climate and its effects, in order to moderate harm or exploit beneficial

1.5°C - SR15 (10/2018)			opportunities. In natural systems, the process of adjustment to actual climate and its effects; human intervention may facilitate adjustment to expected climate and its effects.
Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability	IPCC	2022	Adaptation in ecological systems includes autonomous adjustments through ecological and evolutionary processes. In human systems, adaptation can be anticipatory or reactive, as well as incremental and/ or transformational. The latter changes the fundamental attributes of a social-ecological system in anticipation of climate change and its impacts. Adaptation is subject to hard and soft limits. Resilience in literature has a wide range of meanings. Adaptation is often organized around resilience as bouncing back and returning to a previous state after a disturbance. More broadly the term describes not just the ability to maintain essential function, identity and structure, but also the capacity for transformation. [...] Adaptation is defined, in human systems, as the process of adjustment to actual or expected climate and its effects in order to moderate harm or take advantage of beneficial opportunities. In natural systems, adaptation is the process of adjustment to actual climate and its effects; human intervention may facilitate this.
PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici	MASE	2022	Processo di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti; in particolare, attraverso l'adattamento si cerca di mitigare i rischi o di sfruttare le eventuali opportunità che derivano dal mutamento climatico.

Tabella 6 - Definizioni del termine Adattamento nella letteratura tecnica sul cambiamento climatico.

I processi di adattamento dei sistemi sono strettamente connessi anche alla “*coping capacity*” e alla loro “*adaptive capacity*”. La “***coping capacity***” fa riferimento alla capacità di persone, organizzazione e sistemi che utilizzano competenze e risorse disponibili, di gestire condizioni avverse, rischi o disastri. La capacità di “far fronte” richiede continua consapevolezza, risorse e buona gestione, sia in tempi normali che in caso di catastrofi o condizioni avverse (Leone, 2020; IPCC, 2022; IPCC, 2012). La “*coping capacity*” contribuisce, inoltre, alla **riduzione dei rischi** (trad. disaster risk) (UNISDR, 2009). Per “**capacità adattiva**” si intende, invece, la «capacità di istituzioni, sistemi, esseri umani e altri organismi di adattarsi ai potenziali danni, di sfruttare le opportunità o di rispondere alle conseguenze» (IPCC, 2014; Leone, 2020; UNISDR, 2009). Essa fa riferimento alla capacità di un sistema o di un individuo di adattarsi a condizioni mutevoli o di riprendersi dagli impatti del cambiamento. Nei sistemi ecologici, la capacità di adattamento è influenzata dalla biodiversità e dal grado di ridondanza del sistema. Nei sistemi sociali umani, è determinata dalle strutture e dai processi che consentono o limitano le scelte di azione e che modellano la capacità delle persone di anticipare e pianificare i cambiamenti futuri (UN General Assembly, 2016)

Mentre la mitigazione climatica è, dunque, finalizzata a ridurre il tasso e l'intensità del cambiamento climatico, **l'adattamento contribuisce ad affrontare le conseguenze dei cambiamenti climatici già in atto**. Esso include, quindi, tutti i processi e le azioni che contribuiscano alla **riduzione degli impatti negativi del cambiamento climatico** (MASE, 2023).

È possibile distinguere due tipologie di adattamento (MASE, 2022):

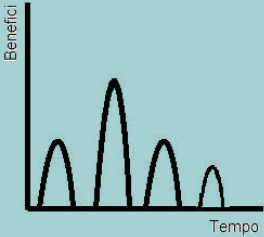
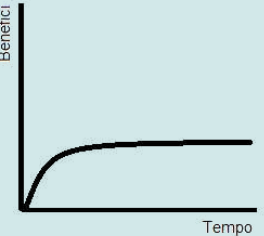
- **Adattamento proattivo;**
- **Adattamento reattivo.**

L'adattamento proattivo include tutte quelle attività intraprese prima che gli impatti siano osservati (anticipatorie o proattiva). L'adattamento reattivo, invece, include tutte quelle attività avviate dopo che gli impatti sono stati avvertiti (reattive). Entrambe le tipologie di azioni possono essere programmate ma, l'adattamento reattivo «può avvenire anche spontaneamente innescato da cambiamenti ecologici nei sistemi naturali e da cambiamenti di mercato o di benessere nei sistemi umani» (MASE, 2022).

Inoltre, alla scala locale, le azioni di adattamento possono essere classificate in tre **approcci**:

- ***Coping*;**
- ***Incremental*;**
- ***Transformative*.**

Le strategie e le azioni di “*coping*” fanno riferimento soprattutto alla risposta ai danni derivanti da un disastro e la successiva ripresa (p.e. le misure di *lockdown* durante la prima parte dell'emergenza pandemica nel 2020). L'adattamento “*incrementale*” (*incremental approach*) si basa invece su strategie e azioni di adattamento esistenti e fa riferimento a soluzioni e tecnologie conosciute, implementandole e aumentando la loro capacità di evitare danni derivanti da livelli di rischio futuri. Entrambi gli approcci si basano su conoscenze comprovate e le azioni che contemplano sono relativamente veloci da mettere in atto e riescono ad affrontare in modo sufficiente ed efficace sfide a breve e a medio termine (EEA, 2016; MASE, 2022). Tuttavia, alcuni effetti a lungo termine non possono essere affrontati utilizzando questi due approcci. In questo caso, al fine di “proteggere” i sistemi a rischio da impatti molto più ampi, possono essere utilizzate strategie e azioni che seguono un approccio più ampio e sistemico quale quello “trasformativo” (*transformative*). Tale approccio risulta particolarmente significativo in ambito urbano. La pianificazione delle città, degli edifici e delle infrastrutture dovrebbero, infatti, essere realizzate per durare nel tempo. Ciononostante, la vulnerabilità ai cambiamenti climatici, ad esempio, è spesso il risultato di azioni umane come «l'insediamento in aree a rischio, una progettazione edilizia inadeguata o altri comportamenti che aggravano l'impatto dei cambiamenti climatici» (trad. da EEA, 2016, p.8). In questo caso, il *transformative approach* cerca di integrare i processi di adattamento con gli altri aspetti che caratterizzano lo sviluppo urbano, trasformando le sfide derivante dagli impatti in opportunità per migliorare il funzionamento degli insediamenti e la qualità della vita.

DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE	CARATTERISTICHE	TIPO DI AZIONI PREVALENTI
COPING	Sono le strategie che si concentrano principalmente su risposte a breve e medio termine volte a riparare i danni da un disastro e a promuovere la ripresa in seguito.	- Benefici a breve termine che si riducono a zero ad ogni nuovo disastro; - Costi elevati nel tempo; - Passivo/emergenziale; - Considera i livelli di rischio attuali (punta alla gestione di crisi e calamità); - Alti rischi di maladattamento 	- Azioni locali e settoriali; - Applica tecnologie e approcci noti e affidabili.
INCREMENTAL	È l'estensione delle azioni normalmente adottate per ridurre le perdite o aumentare i benefici derivanti dalla variabilità climatica e dagli eventi estremi. Queste possono includere l'aumento delle difese contro le inondazioni esistenti, la modifica dei sistemi di allerta per i fenomeni meteorologici estremi, l'aumento dell'approvvigionamento idrico attraverso l'aumento delle dimensioni o del numero di bacini o la riduzione della domanda e le misure di gestione degli ecosistemi e delle foreste. Le misure di adattamento incrementali sono quelle già sperimentate e conosciute in una regione o in un sistema - per affrontare l'attuale variabilità climatica e gli eventi estremi.	- Funzionano efficacemente solo entro determinati livelli di rischio; - I benefici si stabilizzano nel tempo e i livelli di rischio più elevati richiederanno gestione. - Orizzonti temporali a breve/medio termine; - Medi rischi di maladattamento. 	- Azioni di piccola entità e discrete, connesse a cambiamenti minimi per acquisire vantaggi all'interno del sistema; - Applica tecnologie e metodi noti e ne aumenta l'efficienza.
TRANSFORMATIVE	Comprende azioni che utilizzano il comportamento e la tecnologia per cambiare le componenti biofisiche,	- Richiedono tempo e sforzi all'inizio, ma poi i benefici aumentano e sono stabili; - È necessario pochissimo intervento per tamponare	- Azioni di sistema finalizzate a produrre

	sociali o economiche di un sistema in modo fondamentale, ma non necessariamente irreversibile. Comprendono misure pianificate e reattive che utilizzano un approccio diverso dal metodo standard; includono l'innovazione o lo spostamento di alcune attività in nuovi luoghi. L'adattamento trasformatore guarda al lungo termine e adotta un approccio sistemico alla pianificazione e all'attuazione. Può derivare da singole iniziative o da una serie di rapidi cambiamenti incrementali in una particolare direzione. L'adattamento trasformatore può essere positivo, in termini di guadagni, o negativo, in termini di perdite o di raggiungimento dei limiti dell'adattamento.	livelli di rischio estremamente elevati; - Visione lungimirante a lungo termine; - Integrazione di mitigazione e adattamento; - Permette di catturare nuove opportunità; - Bassi rischi di maladattamento.	cambiamenti strutturali; - Esplora soluzioni innovative in sostituzione o completamento di quelle tradizionali.
--	--	---	--

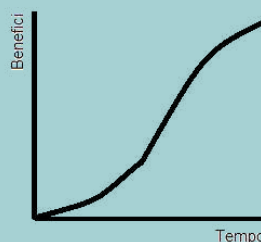


Tabella 7 - Caratteristiche dei diversi approcci di adattamento (Fonte: EEA, 2013; MASE, 2022).

L'aumentare della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici di origine antropica (IPCC, 2021) hanno causato, al di là della naturale variabilità del clima, impatti negativi diffusi e perdite e danni alla natura e a persone e beni. Inoltre, tali eventi estremi hanno in alcuni casi anche determinato impatti irreversibili, poiché i sistemi naturali e umani sono stati spinti al di fuori della loro capacità di adattamento. Nei luoghi in cui sono stati messi in atto **processi di adattamento è stato possibile osservare una riduzione della vulnerabilità dei sistemi** in oggetto. Esistono diverse opzioni di adattamento che possono essere utilizzate per contribuire alla gestione degli impatti dei cambiamenti climatici. Tuttavia, molte iniziative danno priorità alla riduzione del rischio climatico immediato e a breve termine (*coping approach*), riducendo l'opportunità di un adattamento trasformatore (*transformative approach*). L'attuazione di tali processi dipende però anche dalla capacità e dall'efficacia dei processi decisionali e di governance, condizioni fondamentali e abilitanti per sostenere uno **sviluppo resiliente ai cambiamenti climatici**.

3.1.2 Direttive internazionali e nazionali per l'adattamento climatico

Gli effetti del cambiamento climatico rappresentano e rappresenteranno in futuro una delle sfide più rilevanti da affrontare sia a livello globale che nazionale.

Nel 1988, l'*Assemblea Generale delle Nazioni Unite* ha definito i cambiamenti climatici come un *common concern* che è deve essere affrontato con un sforzo congiunto da parte della comunità internazionale (UN General Assembly, 1988).

Nel campo del diritto internazionale, a partire dalla *Convenzione-quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici* del 1992, la comunità internazionale ha istituito norme e regolamenti mirati a trattare e prevenire in modo specifico le cause e gli effetti dei cambiamenti climatici attraverso varie misure nell'ambito dell'azione climatica (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica [MASE], 2022).

La comunità internazionale affronta il problema dei cambiamenti climatici attraverso misure di mitigazione e adattamento, in particolare dal momento che l'IPCC è giunto alla conclusione che il cambiamento climatico è ormai incontestabile, e che gran parte dell'aumento delle temperature osservato dalla metà del XX secolo è stato innescato dall'incremento delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera, derivanti principalmente dalle attività umane come la combustione di carburanti fossili (IPCC, 2021). In termini generali, l'aspetto delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici è soggetto a una disciplina meno dettagliata e specifica rispetto all'altro fondamentale ambito rappresentato dalle misure di mitigazione. Tuttavia, è importante notare che elementi significativi relativi all'adattamento sono inclusi o possono essere dedotti attraverso un processo interpretativo dai principali strumenti giuridici attualmente in vigore.

Sia la *Convenzione-quadro delle Nazioni Unite su cambiamenti climatici* del 1992¹⁶ che il *Protocollo di Kyoto*¹⁷, pur avendo come focus principale quello della riduzione e della stabilizzazione del livello delle emissioni di gas serra nell'atmosfera, presentano numerosi riferimenti al tema dell'adattamento (UN, 1992; UN, 1998). In particolare, fanno riferimento all'obbligo di formulare, applicare, attuare, pubblicare e aggiornare regolarmente misure nazionali e regionali per facilitare un adeguato adattamento ai cambiamenti climatici (art. 4 – Convenzione-quadro delle Nazioni Unite

¹⁶ La *Convenzione quadro delle Nazioni Unite su cambiamenti climatici* (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC) - adottata nel corso della Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992 (cd. Earth Summit) – è da non confondersi con gli *Accordi di Rio*, benché entrambi facciano riferimento agli stessi concetti. Gli *Accordi di Rio* si riferiscono in modo informale ai risultati complessivi e agli accordi raggiunti durante la Conferenza del 1992, tra cui l'UNFCCC. Tutti i Paesi che hanno ratificato la Convenzione si riuniscono annualmente nelle *COP – Conference of Parties*. L'UNFCCC rappresenta il primo trattato ambientale a livello internazionale che punta alla riduzione delle emissioni dei gas serra, alla base dell'ipotesi di riscaldamento globale.

¹⁷ Il *Protocollo di Kyoto* (1997, che fa seguito alla *Convenzione-quadro delle Nazioni Unite*), ha rappresentato e rappresenta ancora oggi uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali volti a combattere i cambiamenti climatici. Esso rappresenta una pietra miliare nell'ambito delle leggi ambientali internazionali, essendo il primo accordo a imporre vincoli legalmente vincolanti sui Paesi maggiormente sviluppati al fine di ridurre le emissioni climateranti. Attraverso il *Protocollo di Kyoto* sono stati istituiti obblighi di diminuzione delle emissioni che i Paesi firmatari devono rispettare, accompagnati da sistemi in grado di agevolare l'adempimento di tali impegni climatici.

sui cambiamenti climatici; art. 10 – Protocollo di Kyoto), alla cooperazione tra gli Stati per l'adattamento all'impatto dei cambiamenti climatici (art. 4 – Convenzione-quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici) e all'obbligo dei Paesi più sviluppati di fornire un contributo ai Paesi in via di sviluppo particolarmente vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici (art. 4 – Convenzione-quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici; art. 12 – Protocollo di Kyoto).

Anche l'Accordo di Parigi del 2015¹⁸ che ha come fulcro le *Nationally determined contributions* (NDCs)¹⁹, all'articolo 7 affronta molteplici aspetti dell'adattamento climatico, dall'essere un *global goal* per gli Stati parte dell'Accordo, alla sua natura di *global challenge*, all'interno di un quadro di *governance* multilivello che si estende dal livello locale a quello sovranazionale. Questo approccio multilivello intende fornire una risposta a lungo termine alle sfide della tutela delle popolazioni, dell'ambiente di vita e degli ecosistemi (UN, 2015a).

Altri strumenti internazionali di rilievo che fanno riferimento al tema delle misure di adattamento per il contrasto degli impatti del cambiamento climatico sono l'*Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile* e i 17 *Sustainable Development Goals* (SDGs). Nello specifico, l'Obiettivo 13 si propone di affrontare congiuntamente le sfide associate al cambiamento climatico attraverso l'implementazione di strategie di mitigazione e di adattamento. Tale obiettivo, in particolare, affronta l'aspetto dell'adattamento, definendo una serie di misure chiave per affrontare gli impatti climatici. In primo luogo, si propone di rafforzare la capacità di resilienza e adattamento nei confronti dei rischi legati al clima e ai disastri naturali a livello globale. In secondo luogo, mira a integrare le strategie di contrasto al cambiamento climatico all'interno delle politiche, strategie e piani nazionali. Questo approccio riflette l'impegno internazionale nell'affrontare le sfide del cambiamento climatico attraverso una serie di iniziative mirate a creare una base solida per un futuro sostenibile (UN, 2015b).

Il tema dell'adattamento è affrontato anche nel campo della normativa internazionale per la gestione del rischio. Il *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030*, focalizzato sia sui rischi derivanti da disastri naturali che da azioni antropiche, richiede esplicitamente che gli Stati adottino misure decisive al fine di prevenire e mitigare il rischio di disastri. Tale documento sancisce un passaggio fondamentale dalla mera "gestione delle catastrofi" alla più proattiva "gestione del rischio da catastrofi", stabilendo particolare importanza alla prevenzione. La gestione e la resilienza nei confronti del rischio di catastrofi, inoltre, si intreccia con vari aspetti legati all'adattamento climatico, manifestando una notevole sovrapposizione tra le due sfere. Questa sinergia rivela un'interconnessione fondamentale che richiede un approccio integrato al fine di affrontare in modo

¹⁸ L'Accordo di Parigi, adottato nel 2015 durante la Conferenza delle Parti (COP21) dell'UNFCCC, stabilisce l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura globale al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, con sforzi per limitarlo a 1.5°C. Attualmente lo strumento attraverso il quale è regolata sul piano internazionale la materia ambientale in tema di cambiamenti climatici, sia sotto l'aspetto delle misure di mitigazione che di quelle di adattamento.

¹⁹ Le *Nationally determined contributions* (NDCs) rappresentano gli impegni e le azioni che ciascun Paese si impegna a intraprendere nel contesto dell'Accordo di Parigi. Ogni Paese che ha aderito a tale Accordo è tenuto a presentare le proprie NDCs, che includono misure, obiettivi e politiche per la mitigazione e, se rilevante, per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Questi contributi sono determinati a livello nazionale nel senso che ogni Paese decide autonomamente quali azioni intraprendere in base alle sue condizioni, capacità e circostanze nazionali.

efficace le sfide legate alla gestione dei rischi complessi e all'adattamento al mutare delle condizioni climatiche (UNISDR, 2015).

A livello europeo, l'integrazione delle politiche tecniche in tema di contrasto degli impatti climatici e la partecipazione pubblica insieme al ruolo dell'innovazione tecnologica e della pianificazione alla scala urbana emergono come elementi chiave per una crescita urbana sostenibile e resiliente nei report sviluppati dall'*European Environment Agency* (EEA) relativi al tema dell'adattamento climatico in ambito urbano (EEA, 2020a; EEA, 2020c). Il report *Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate* analizza le sfide e le opportunità legate all'evoluzione delle città in risposta ai cambiamenti climatici, evidenziando le strategie adottate dalle città europee per contrastare le conseguenze negative degli impatti climatici. Il rapporto fornisce una panoramica dei settori chiave influenzati dal cambiamento climatico, come la gestione delle acque, l'energia, i trasporti e la salute pubblica, e offre esempi di buone pratiche adottate da diverse città. Inoltre, vengono discussi gli ostacoli all'adattamento e i benefici potenziali delle politiche urbane mirate alla resilienza. Il documento enfatizza l'importanza della collaborazione tra i vari attori, nonché della condivisione delle conoscenze e delle esperienze tra le città europee per affrontare efficacemente i cambiamenti climatici e promuovere la sostenibilità urbana (EEA, 2016). L'adattamento delle città europee ad un clima che cambia è ulteriormente sviluppato nel report dell'EEA del 2020 *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. Il documento fornisce un quadro dettagliato degli impatti climatici attuali e futuri sugli insediamenti urbani, analizzando – anche in questo caso – l'evoluzione delle strategie di adattamento adottate da diverse città in diversi settori tra i quali rientrano anche l'edilizia e i trasporti. In particolare, è sottolineato l'importante ruolo della pianificazione urbanistica e dell'innovazione tecnologica nel promuovere la resilienza delle città. Nel complesso, offre una panoramica esauriente sull'adattamento urbano al cambiamento climatico in Europa, evidenziando la necessità di azioni coordinate e politiche mirate per affrontare con successo le sfide future (EEA, 2020b).

L'importanza della pianificazione e dell'azione congiunta tra governi, comunità e settori privati per affrontare gli impatti climatici è ulteriormente sottolineata dal rapporto *Advancing toward climate resilience in Europe – Status of reported national adaptation actions in 2021* che enfatizza la valenza dell'integrazione delle politiche climatiche nelle strategie di sviluppo sostenibile e la necessità di promuovere la conoscenza e la consapevolezza tra i decisori e il pubblico sottolineando l'esigenza di affrontare la sfida della resilienza climatica in modo collaborativo ed efficace per garantire un futuro sostenibile per l'Europa (EEA, 2022).

In merito al tema dell'adattamento climatico, l'Europa ha anche sviluppato la *Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici* (nel 2013, a cui poi è seguito un aggiornamento nel 2020-2021) (EC, 2021), un atto privo di efficacia vincolante che però si pone come obiettivo quello di «contribuire a rendere l'Europa più resiliente attraverso il miglioramento della capacità di reazione agli impatti dei cambiamenti climatici» (MASE, 2022, p.19).

Attualmente ha assunto un particolare rilievo anche la proposta della Commissione Europea riguardante l'adozione di un Regolamento che istituisce una “Legge europea per il clima”,

un'iniziativa annunciata nell'ambito del *Green Deal Europeo* (EC, 2019). Tale proposta all'art. 4 si concentra sull'adattamento climatico ribadendo l'impegno dell'UE e degli Stati membri nel migliorare la capacità di adattamento (in linea con l'art. 7 dell'*Accordo di Parigi*) e richiedendo agli Stati membri di elaborare strategie e piani di adattamento che includano esaustivi quadri di gestione del rischio.

A livello nazionale, in Italia il primo documento di rilievo sul tema è la *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (SNAC) che offre una visione strategica nazionale per affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici, delineando azioni potenziali per mitigare gli effetti su settori socioeconomici e sui sistemi naturali (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [MATTM], 2015). La SNAC è declinata in 4 obiettivi principali: il contenimento della vulnerabilità climatica dei sistemi naturali e socioeconomici, l'incremento della capacità di adattamento di questi ultimi, il miglioramento dello sfruttamento delle eventuali opportunità e il coordinamento delle azioni a diversi livelli. In seguito all'approvazione della SNAC, l'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) dà avvio alla redazione di un *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (PNACC) la cui prima condivisione è avvenuta nel 2018 e che è stato rielaborato nel 2022 dal Ministero della Transizione Ecologica (ora Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – MASE) al fine di integrare in maniera più efficace gli indirizzi forniti dall'Accordo di Parigi e nei diversi atti di fonte internazionale e dell'UE precedentemente citati. Il principale scopo del PNACC è quello di fornire un quadro di indirizzo a scala nazionale per attuare azioni mirate alla mitigazione dei rischi derivanti dai cambiamenti climatici, migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali e trarre vantaggio dalle eventuali potenziali opportunità derivanti dalle condizioni climatiche (MASE, 2023).

Alla scala locale alcune Regioni hanno avviato processi per integrare l'adattamento climatico nella redazione delle Strategie Regionali per lo Sviluppo Sostenibile mentre altre hanno assunto iniziative per la localizzazione delle azioni di adattamento destinate ad ambiti specifici del contesto regionale. Anche le Città Metropolitane stanno lavorando alla definizione di *Agende metropolitane per lo sviluppo sostenibile* che, in linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030, includano il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici e quello della resilienza delle aree metropolitane (MASE, 2022).

Da ciò emerge che il quadro giuridico a livello internazionale, europeo e nazionale, finora delineato, spesso manca di efficacia vincolante. Nonostante la mancanza di obblighi precisi e di conseguenti sanzioni per la loro violazione, resta fondamentale il ruolo delle misure di adattamento per affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici, ridurre la vulnerabilità dei sistemi sociali, economici e naturali nei confronti dei rischi climatici.

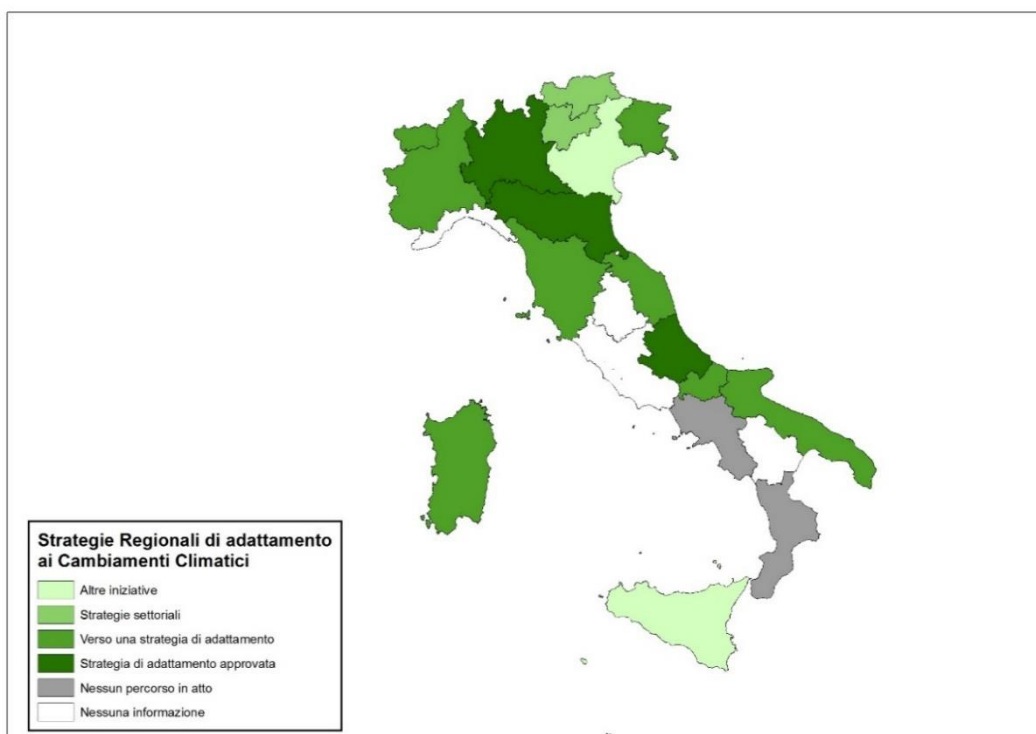


Figura 27 - Strategie regionali di adattamento ai cambiamenti climatici (Fonte: Elaborazioni ISPRA su dati delle Regioni, 2018).

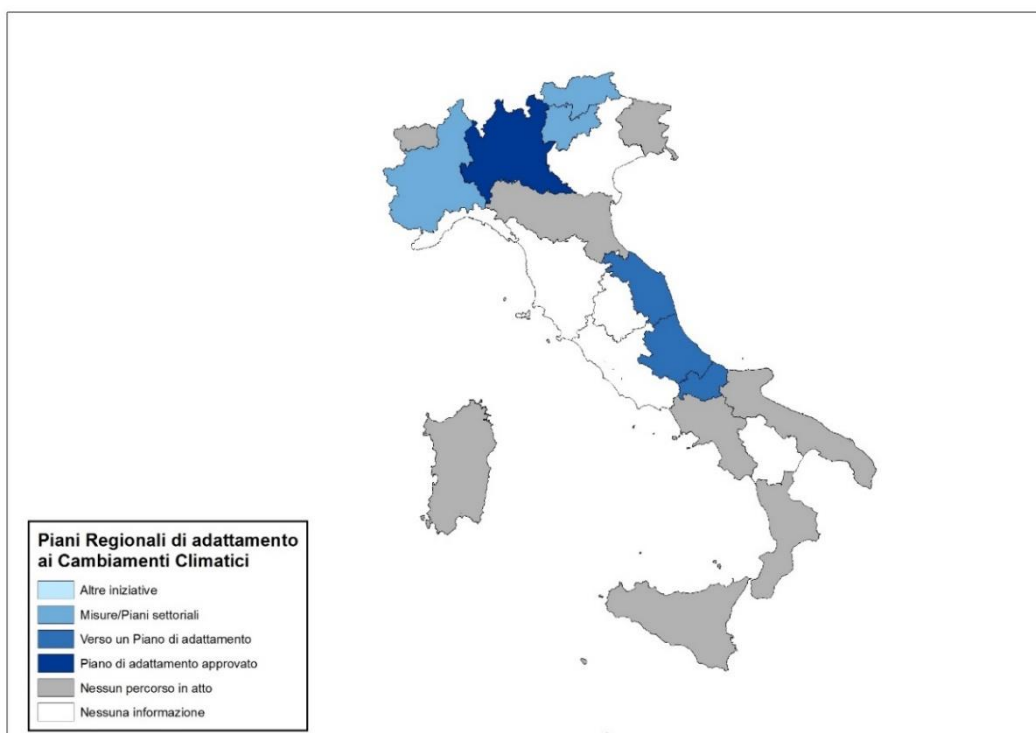


Figura 28 - Piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici (Fonte: Elaborazioni ISPRA su dati delle Regioni, 2018)

3.1.3 L'integrazione degli approcci *Climate Change Adaptation* e *Disaster Risk Reduction*

L'impatto dei rischi legati al clima su economia, salute umana ed ecosistemi sono amplificati dai cambiamenti avvenuti negli ultimi decenni nei sistemi ambientali e socio-economici. Per tale motivo, gli interventi mirati alla riduzione del rischio da catastrofi e all'adattamento a un clima che cambia sono diventati una priorità sia a livello globale che europeo.

Il *Climate Change Adaptation* (CCA) e il *Disaster Risk Reduction* forniscono due approcci complementari per la gestione dei rischi climatici al fine di costruire società resilienti (EEA, 2017).

Per *Climate Change Adaptation* si intende il processo di adattamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti. Nei sistemi antropici, l'adattamento cerca di moderare o evitare i danni o di sfruttare le opportunità positive derivanti dal contrasto degli impatti dovuti ad hazard climatici. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti (IPCC, 2014; UNDRR, 2020).

L'approccio *Disaster Risk Reduction* (DRR) mira a prevenire nuovi rischi di catastrofi e ridurre quelli esistenti (sulla base della combinazione delle componenti del rischio identificate in *hazard*, vulnerabilità ed esposizione), e a gestire il rischio residuo, contribuendo a rafforzare la resilienza e a raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile (IPCC, 2014; UNISDR, 2017; UNDRR, 2020).

I diversi background del *Disaster Risk* e del *Climate Change* – il primo emergente dalle scienze del rischio e della gestione delle emergenze, il secondo dalle scienze della Terra, dalla meteorologia e dalla climatologia, e solo recentemente riconosciuto come sfida globale – hanno limitato finora la creazione di un approccio metodologico e operativo integrato in una prospettiva di modellazione e progettazione multirischio (Zuccaro & Leone, 2018).

La comprensione delle differenti scale temporali, spaziali e funzionali alla quale lavorano i due approcci è di fondamentale importanza per affrontare il legame tra CCA e DRR e sviluppare appropriate strategie e azioni per la riduzione del rischio e l'adattamento agli impatti climatici.

In particolare, è opportuno tenere conto delle discrepanze alla scala spaziale, in quanto le tematiche relative al cambiamento climatico sono analizzate principalmente su scala globale – anche se si stanno sviluppando sempre di più approcci di *downscaling* – mentre i rischi e gli impatti che ne derivano sono studiati prevalentemente nelle rispettive regioni e località in cui si verificano.

Gli studiosi del clima hanno principalmente elaborato modelli e proiettato tendenze alla scala globale. Coloro che si occupano, invece, di riduzione del rischio analizzano generalmente le vulnerabilità e i rischi locali in aree specifiche, compresi le comunità potenzialmente o effettivamente colpite.

Al fine di attuare un collegamento tra gli approcci CCA e DRR è necessario migliorare i processi di scambio e combinazione delle diverse scale spaziali su cui si concentrano e agiscono. Ciò richiede, innanzitutto, una migliore integrazione a livello locale dei piani di adattamento con le misure di riduzione del rischio e l'armonizzazione con le strategie di adattamento internazionali e nazionali.

Un'altra questione da affrontare è quella delle differenze alla scala temporale. Le misure di gestione del rischio sono spesso concepite per affrontare i rischi esistenti piuttosto che su approccio a lungo termine. Al contrario, le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sono (o dovrebbero essere) caratterizzate da prospettive a lungo termine (EEA, 2017).

CLIMATE CHANGE ADAPTATION		DISASTER RISK REDUCUTION	
Obiettivo comune			
Sia la CCA che la RRC si occupano di prevenzione e riduzione dei rischi di catastrofi, riducendo la vulnerabilità e aumentando la resilienza delle comunità.			
Differenze principali			
Focus principale rivolto al futuro e ai nuovi rischi Il CCA prende in considerazione ii cambiamenti climatici e la variabilità del clima, compresi gli eventi estremi, e si concentra principalmente sulla riduzione di rischi derivanti dai cambiamenti climatici attuali e futuri.		Focus sul presente e sul contrasto e la gestione dei rischi esistenti Il DRR si concentra sulla riduzione dei rischi sulla base dell'esperienza e delle conoscenze pregresse. Considera come stazionaria la probabilità di accadimento di eventi estremi e, non considera il cambiamento climatico come un fattore sistematico di rischio.	
Interventi prevalentemente legati agli hazard climatici Il CCA affronta i rischi connessi agli hazard climatici (come, ad esempio, tempeste, heavy rains, heat wave e siccità) o rischi idrogeologici (come, ad esempio, inondazioni) che rappresentano sottoinsiemi dei rischi trattati dal DRR. Inoltre Scala temporale più lunga Il CCA affronta anche gli impatti di cambiamenti ad insorgenza lenta (ad esempio, aumento della temperatura media, innalzamento del livello del mare, siccità, scioglimento dei ghiacciai, perdita di biodiversità).		Interventi mirati a tutte i tipi di hazard Il DRR contempla tutti i tipi di hazard compresi quelli geofisici (ad esempio, terremoti o eruzioni vulcaniche, frane o valanghe), idrometeorologici (ad esempio, tempeste, temperature estreme, alluvioni), climatici (ad esempio, siccità, incendi, precipitazioni intense), biologici (ad esempio, malattie, infestazioni di insetti) e tecnologici (ad esempio, fuoriuscite di sostanze tossiche o incidenti industriali).	
Origine e cultura nella teoria scientifica Il CCA è stato sviluppato con l'aumento dei progressi nella comprensione della minaccia costituita dal cambiamento climatico.		Origine e cultura nell'assistenza umanitaria e nella protezione civile In generale, il DRR ha background scientifico più lungo e ha avuto origine dalle attività dei Dipartimenti della protezione civile e dall'azione umanitaria in seguito a eventi disastrosi.	
Attori principali nei ministeri e nelle agenzie per l'ambiente Il CCA è sviluppato e gestito principalmente dai dipartimenti governativi, dai ministeri e dalle istituzioni scientifiche responsabili dell'ambiente e del clima.		Attori principali nei ministeri e nelle agenzie per la protezione civile Il DRR è sviluppato e gestito principalmente dai dipartimenti governativi, ministeri e agenzie responsabili della protezione civile, della sicurezza nazionale, della gestione delle emergenze e dell'assistenza umanitaria.	

Tabella 8 - Confronto tra gli approcci CCA e DDR (Fonte: EEA, 2017).

Gli approcci CCA e DDR sono, tuttavia, potenzialmente complementari e possono rafforzarsi a vicenda per la costruzione della resilienza delle comunità affette da condizioni avverse. Inoltre, la

sinergia tra CCA e DDR contribuisce all'implementazione degli aspetti *climate proof* nell'approccio DDR al fine, da un lato, di prevenire le attività che aumenterebbero le vulnerabilità agli impatti climatici a medio e lungo termine e, dall'altro, di tenere conto dei potenziali rischi aggiuntivi indotti dal cambiamento climatico (International Organization for Migration [IOM], 2015).

Gli approcci basati sul rischio per determinare l'efficacia dell'adattamento hanno un grande potenziale per supportare il processo decisionale per la definizione di azioni atte al contrasto degli impatti climatici, ma spesso richiedono una grande quantità di dati, risorse e competenze multidisciplinari che non sono sempre disponibili (de Murieta, Galarraga & Olazabal, 2021). Affrontare DDR e CCA in una prospettiva orientata alla progettazione ambientale per la riduzione del rischio e degli impatti climatici comporta la chiara necessità di rafforzare la collaborazione tra aree caratterizzate da background di ricerca diversi, ma complementari per contribuire efficacemente a individuare risposte e soluzioni adeguate alla complessità sistemica della sfida posta dal cambiamento climatico. Ciò implica la necessità di individuare sinergie e opportunità di integrazione in relazione all'uso del territorio, allo sviluppo urbano, alle questioni sociali, alla protezione ambientale, alla pianificazione e alla risposta alle emergenze (Zuccaro & Leone, 2018).

3.1.4 L'adattamento per il contrasto degli impatti climatici in ambito urbano

Gli insediamenti urbani rappresentano sistemi complessi in cui l'habitat umano si intreccia con una vasta gamma di componenti abiotiche e biotiche all'interno del sistema ambientale di riferimento. Questi sistemi, in vari gradi di sovrapposizione tra loro contribuiscono all'intricata complessità ambientale di questi contesti, che è caratterizzata dalla coesistenza di elementi antropici e naturali (Clemente, 2023).

Negli ultimi decenni, gli effetti del cambiamento climatico hanno determinato l'aumento del numero e l'entità dei rischi climatici in ambito urbano. L'incapacità di gestire gli effetti dei rischi climatici può, talvolta, contribuire a un incremento del livello di impatto. Di conseguenza, adottare un approccio flessibile, in grado di "adattarsi" non solo ai cambiamenti attuali ma anche a quelli futuri, emerge come la strada più efficace, al fine di ridurre non solo gli impatti climatici ma anche di migliorare la qualità della vita su una scala più ampia. Riconoscere la dinamicità dei cambiamenti climatici e adottare strategie di adattamento diventa essenziale per preservare la sostenibilità ambientale e promuovere il benessere a lungo termine²⁰.

In un contesto caratterizzato, dunque, da un nuovo regime climatico, emerge la necessità di riconsiderare, ridefinire e riorganizzare i modelli insediativi alla scala urbana ed edilizia, dando vita a una profonda riflessione sul concetto stesso di habitat e degli spazi dell'abitare urbano. Tale

²⁰ L'adozione di misure di adattamento, seppure inizialmente correlata a una accettazione passiva dell'impatto antropico sull'ambiente (Pielke, 1998), è oggi universalmente riconosciuta per la sua efficacia e la capacità di generare benefici a breve e lungo termine.

processo rappresenta un tema sempre presente nell'ambito della Progettazione Ambientale, in quanto intrinsecamente collegato da un lato alla componente tecnologica e dall'altro alle complesse relazioni che si instaurano tra gli individui e l'ambiente circostante.

Nella riorganizzazione degli spazi abitabili, svolge un ruolo cruciale – come evidenziato da Bruno Munari negli anni '60 nella sua ricerca – l'innovazione, poiché tra le varie possibilità offerte dalla tecnologia, essa permette agli individui di personalizzare e ottimizzare il loro rapporto con l'ambiente in cui vivono. Questo concetto innovativo di habitat, in ambito architettonico e paesaggistico, mette in luce il ruolo cruciale delle tecnologie nel plasmare modi di vita e di abitare, che diventano principi guida nell'organizzazione dello spazio-ambiente, già sottolineati nel 1975 da Eduardo Vittoria nell'evidenziare l'importanza di una transizione fondamentale dall'approccio tradizionale basato sulla “tecnologia dell'architettura” a quello delle “tecnologie dell'habitat”. In questa visione, l'ambiente fisico beneficia di “tecnologie derivanti”, capaci di reinventare lo spazio per restituire all'umanità i benefici della natura, promuovendo così nuove relazioni tra l'uomo e il suo ambiente (Vittoria, 1988).

Attualmente, la ricerca sullo spazio abitabile e sui modelli insediativi è caratterizzata da una crescente enfasi sulle caratteristiche di adattabilità in risposta a condizioni ambientali emergenziali, ampiamente influenzate dalla crescente scarsità di risorse, dai regimi climatici critici, dal sovrapporsi di crisi ambientali e dall'impatto ambientale derivante dagli stili di vita contemporanei.

I documenti di politica tecnica evidenziano l'importanza di una pianificazione a un livello strategico preliminare a cui dovrebbero seguire azioni concrete, il cui risultato si traduce in scelte progettuali dimostrative e facilmente replicabili su scala territoriale, con l'obiettivo finale di raggiungere livelli adeguati di adattamento climatico attraverso un approccio graduale che parte dalla definizione strategica fino all'implementazione di azioni replicabili²¹.

Le strategie di intervento alla scala locale dovrebbero facilitare un adattamento complessivo, integrando misure tecnologiche, soluzioni incentrate sull'equilibrio degli ecosistemi e interventi che promuovano cambiamenti comportamentali e di stili di vita alla luce delle nuove condizioni ambientali (EC, 2019).

La risposta di adattamento del sistema urbano è strettamente correlata alle conformazioni spaziali e alla morfologia degli edifici e degli elementi urbani, nonché alle tecniche costruttive, alle prestazioni e ad altre caratteristiche specifiche come la massa termica e la riflettanza delle superfici, oltre alla presenza di vegetazione. L'integrità fisica, la funzionalità e le prestazioni di questi elementi costituiscono fattori che contribuiscono al grado di vulnerabilità agli impatti climatici (D'Ambrosio & Leone, 2016; Losasso, 2020).

²¹ L'importanza dei processi di *downscaling* è sottolineata dal Report *Global Warming of 1.5°C* del 2018 redatto dall'IPCC. Il documento evidenzia come interventi di adattamento climatico non adeguati possano generare impatti negativi sulle comunità e compromettere il processo complessivo di sviluppo sostenibile dei sistemi urbani. In particolare, si afferma «i progetti per l'adattamento in svariati settori 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, p. 21).

In questo contesto, le possibilità tecnologiche svolgono un ruolo cruciale, consentendo la creazione di soluzioni innovative per gli artefatti abitativi al fine di affrontare tali sfide emergenti. In questo quadro, è di fondamentale importanza definire gli elementi di innovazione negli habitat urbani, poiché ciò consente di collocare il contributo dell'adattamento climatico per il contrasto dei rischi in un sistema complesso di esigenze. Tale approccio deve tenere conto non solo delle esigenze climatiche, ma anche di fattori socioeconomici, culturali e di qualità della vita per creare ambienti urbani resilienti e sostenibili. Questa significativa trasformazione deve essere guidata da una serie di fattori innovativi che influenzano sia gli aspetti fisici che quelli immateriali contribuendo a ridefinire il modo in cui vengono progettati e concepiti gli spazi urbani.

Molteplici tematiche urbane, architettoniche e ambientali, come l'approccio bioclimatico, l'efficienza energetica, l'ottimizzazione degli impianti, il comfort ambientale, la gestione delle risorse idriche, l'*urban greening*, ecc., sono chiamate a convergere verso obiettivi orientati all'adattamento dei sistemi urbani agli impatti dei cambiamenti climatici (Losasso, 2018; Tersigni & Leone, 2019).

L'implementazione di misure di adattamento consente di incidere sulla vulnerabilità e sulla esposizione degli insediamenti urbani attraverso azioni *soft* (coinvolgendo comportamenti, culture, e concezioni degli spazi) e fisiche (comprendendo edifici e infrastrutture, ecc.), oltre che socioeconomiche. Lo sviluppo coordinato di azioni per il rinnovo urbano dal punto di vista funzionale-spaziale, ambientale e tecnologico deve porre alla base del progetto urbano alcune azioni strategiche e interconnesse, che modifichino la struttura urbana in risposta alle nuove dinamiche del contesto ambientale (Losasso, 2021)

Tra queste azioni, un intervento chiave riguarda la **riduzione delle distanze fisiche e temporali** all'interno delle città, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di decongestionamento, de-intensificazione, policentralità, autosufficienza e offerta di servizi ecosistemici. Ciò può essere messo in atto seguendo il concetto della "città dei 15 minuti", la proposta attuata per la riconversione della città di Parigi in una "*ville du quart d'heure*", in cui si prevede di intervenire sugli spazi urbani, decentralizzando i servizi e fornendo più opzioni per camminare e utilizzare mezzi di trasporto green individuali in modo da poter raggiungere luoghi di lavoro, attività ricreative, spazi verdi e piccole imprese in 15 minuti. Un concetto chiave della "città dei 15 minuti" è proprio quello di garantire l'accesso equo ai servizi attraverso la promozione di una mobilità sostenibile (una mobilità prevalentemente ciclopedonale, che riduce da un lato i consumi energetici e dall'altro le emissioni climalteranti). Localmente, infatti, si promuovono servizi essenziali come istruzione, assistenza sanitaria, commercio al dettaglio, spazi verdi e luoghi di lavoro.

Un modello simile è stato utilizzato anche in Australia, dove la *Greater Sydney Commission* ha adottato il concetto del *30-Minute City* (Levinson, 2019) come fulcro del Piano quarantennale per la città di Sydney. In questo caso, data anche la diversità del contesto urbano di applicazione, modello mira a garantire che i residenti possano raggiungere uno dei tre centri regionali strategici in meno di mezz'ora, sia a piedi, in bicicletta, o utilizzando i mezzi pubblici.

Questo tipo di interventi pongono la mobilità ecologica come un obiettivo strategico nell'ambito dell'urbanistica, con l'implementazione di trasporti pubblici elettrici, piste ciclabili, *bike sharing*, auto

elettriche, stazioni di *car sharing* e percorsi ciclopeditoni, anche con soluzioni meccaniche come scale mobili, contribuendo al miglioramento della qualità della vita dei residenti e consentendo loro di accedere facilmente ai servizi essenziali anche in condizioni di emergenza.

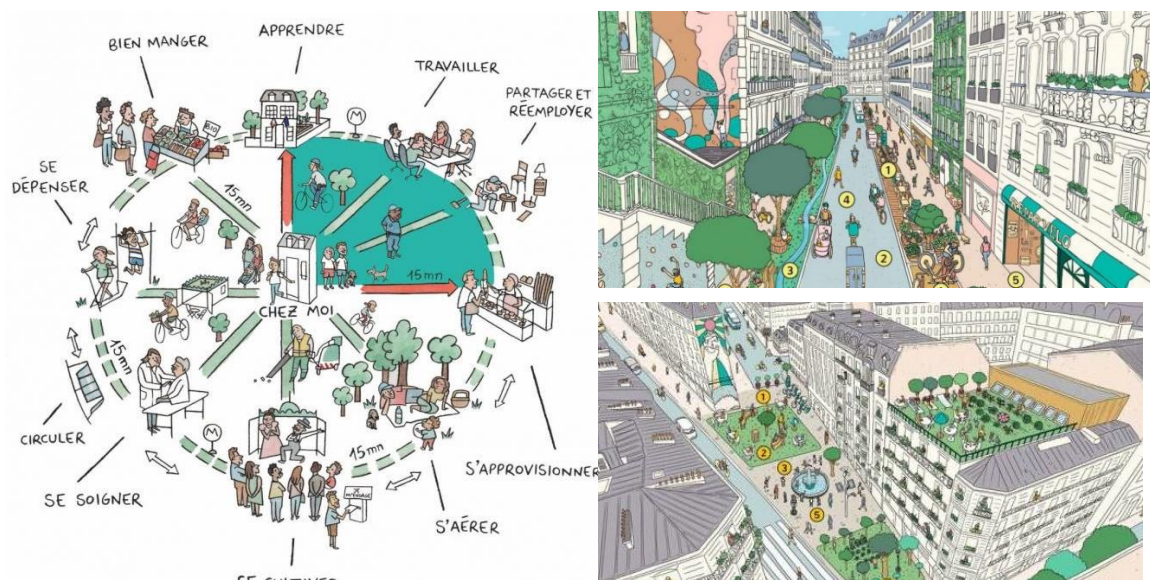


Figura 29 - Il diagramma su cui si basa il modello della 15-minute city e alcune ipotesi di recupero delle aree urbane di Parigi sulla base di questo modello (Fonte: elaborazione della Ville de Paris, 2020).

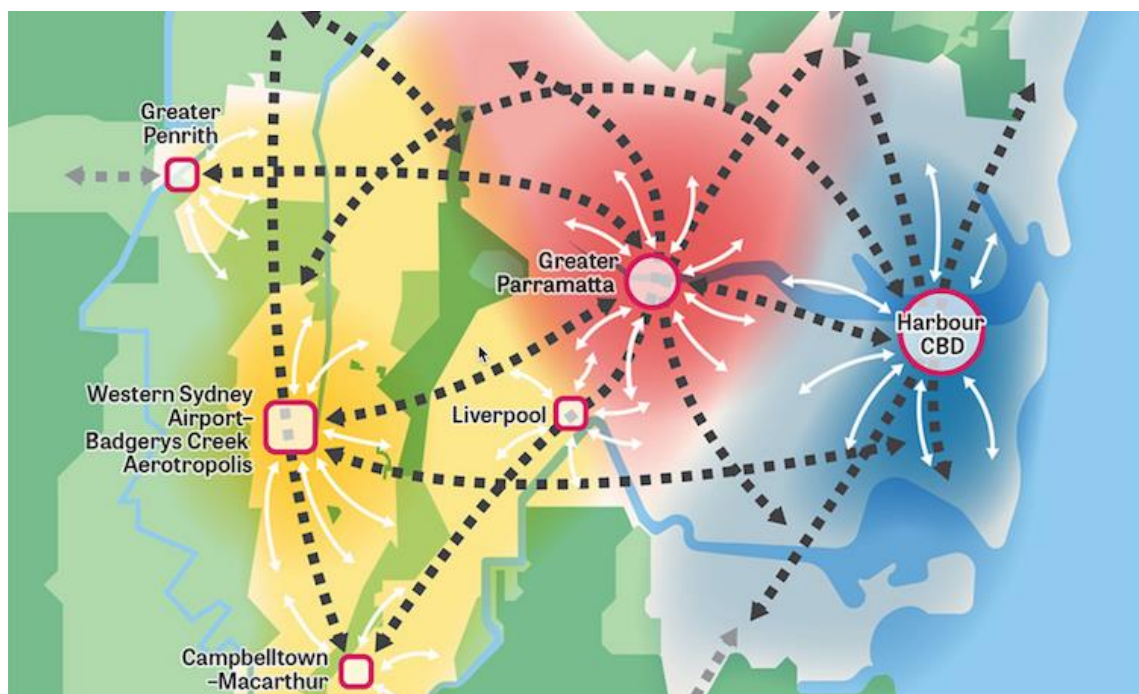


Figura 30 - The Greater Sydney Commission's Three Cities Plan, che si pone come obiettivo principale quello di garantire ai residenti la possibilità di raggiungere uno dei tre centri regionali strategici in meno di mezz'ora (Fonte: elaborazione della Greater Sydney Commission).

Per migliorare la qualità dell'ambiente urbano, è necessario anche lavorare alla **distribuzione equa dei servizi ecosistemici**, come le aree verdi, cercando di renderli accessibili al maggior numero possibile di residenti. Dal punto di vista del **greening urbano**, efficace per la risposta ai molteplici impatti ambientali, molte città europee stanno promuovendo azioni che mirano a una rivalutazione e riutilizzo delle risorse verdi esistenti. Ad Amburgo, gli interventi di *greening* costituiscono esempi illuminanti di un approccio metodologico basato sulla creazione di tassonomie per i percorsi e gli spazi aperti, al fine di definire interventi di trasformazione appropriati a livello distrettuale e l'applicazione di soluzioni NBS (Dell'Acqua 2023). Le strategie di sviluppo urbano hanno fatto proprio l'approccio del *climate adaptation design*, relazionando il sistema dei tracciati, declinati come anelli e assi verdi paesaggistici, alle aree di nuova espansione. Infatti, relativamente alle strategie di adattamento climatico, il piano di Amburgo prevede anche, oltre a strategie e azioni di tipo *hard engineering* di protezione degli argini fluviali con sistemi di barriere, dighe e isole artificiali, strategie e azioni di tipo *soft*, focalizzati sulla valorizzazione del capitale naturale tramite l'implementazione del *GrünesNetz Hamburg Programme*, ossia la Rete Verde di Amburgo²². Questa rete intricata di infrastrutture verdi mira a realizzare una doppia finalità: promuovere la mobilità sostenibile e ottenere benefici tangibili in termini di adattamento e mitigazione climatica. Ulteriori misure di adattamento climatico individuate sono focalizzate sulle superfici stradali, sulle coperture e sulle superfici opache verticali degli edifici e sono legate alle caratteristiche dei tessuti urbani come la morfologia dei profili stradali e la densità degli edifici.

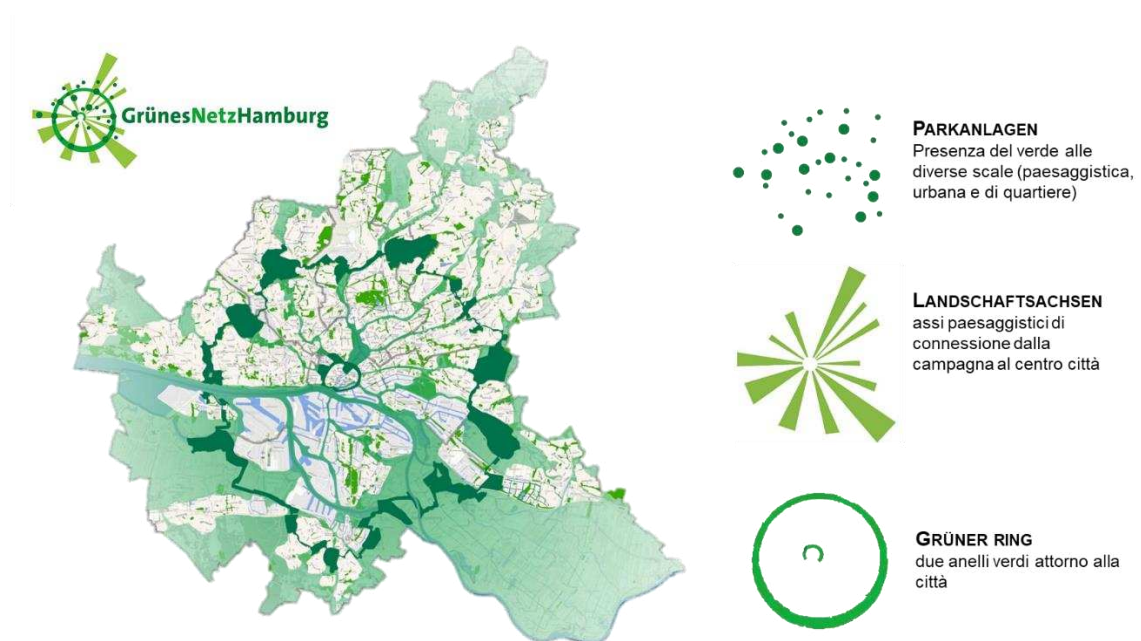


Figura 31 - Piano per la Rete verde di Amburgo.
Il piano prevede la realizzazione di un sistema di verde pubblico in cui ogni elemento deve essere interamente percorribile sia a piedi che in bici: la città sarà così permeabile sia dall'uomo che dalla natura e nessuno avrà più bisogno di utilizzare la macchina entro il 2034.

²² Cfr. Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft. *Hamburgs vielfältige Grün- und FreiräumeDas Grüne Netz Hamburg*.



Figura 32 - Grüner Ring 1, Pflanzen un Blumen - Hamburgs Grunes Wohnzimmer, Amburgo (Foto di Heino Grunert).

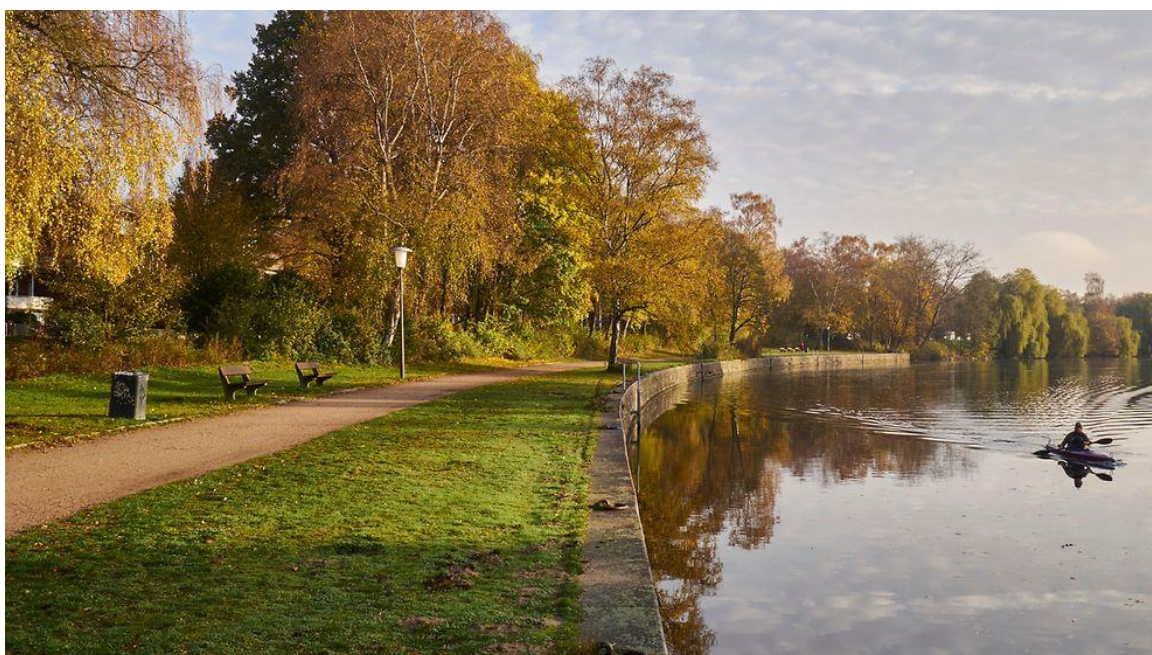


Figura 33 - Grüner Ring 2, Alsterlauf in Hohe Quartiersparl Brabandstrabe, Amburgo (Foto di Robin Lindner).

Le *green infrastructure* si configurano come un approccio ibrido necessario nelle aree urbane, dove l'applicazione delle sole soluzioni di tipo *green* si rivelerebbe insufficiente per contrastare gli impatti climatici. Sono misure flessibili che combinano diverse funzioni (ecologiche, sociali, economiche, abiotiche, biotiche e culturali degli spazi verdi) operando in modo sinergico alle diverse scale (dal singolo lotto al distretto alla città fino ad arrivare, in alcuni casi, a scale territoriali più ampie) e combinando diversi tipi di spazio verdi e blu (ad esempio, aree naturali e seminaturali, corpi d'acqua, spazi pubblici e privati come parchi e giardini (Leone & Tersigni, 2018).

Nella città di Londra, l'*All London Green Grid Framework Plan (ALGG)*²³, prevede la realizzazione di una rete di spazi verdi ricchi di vegetazione denominata “*green grid*”, che si integra sinergicamente con il sistema idrico, noto come “*blue ribbon*”. L'ALGG incoraggia la creazione di una rete multifunzionale di spazi aperti di alta qualità che colleghino i centri urbani, i nodi dei trasporti pubblici, le principali zone residenziali e di lavoro con parchi, spazi aperti, il fiume Tamigi e la fascia verde urbana promuovendo, inoltre, la creazione di aree verdi all'interno dell'insediamento urbano. In questo modo, il Piano si prefigge di: aumentare l'accesso agli spazi aperti, preservare i paesaggi e l'ambiente naturale, contribuire all'adattamento della città agli impatti dei cambiamenti climatici, favorire la mobilità sostenibile incentivando uno stile di vita sano, promuovere l'autoproduzione sostenibile di cibo e sostenere competenze ecologiche e approcci sostenibili nella progettazione, gestione e manutenzione.



Figura 34 - *East London Green Grid* (Fonte: *East London Green Grid Design for London*). Nell'implementazione di tali strategie di adattamento a livello locale nelle aree urbane, assumono un ruolo di rilievo le *Nature Based Solutions* (NBS), soluzioni tecniche che si "ispirano" e "imitano" gli elementi naturali garantendo diversi benefici, tra cui la gestione sostenibile delle risorse idriche, il controllo delle sostanze inquinanti nell'aria, la riduzione del consumo energetico, il miglioramento

²³ Mayor of London (2011). *Green infrastructure and open environments: the All London Green Grid*.

del microclima, la promozione della salute e del benessere sociale, nonché la preservazione della biodiversità, che contribuiscono al miglioramento del grado di adattamento climatico delle città (Leone & Tersigni, 2018).

Ad Atene, il progetto *ONE STEP BEYOND* dello studio olandese *OKRA Landschapsarchitecten* (vincitore del concorso internazionale di progettazione bandito dal Comune di Atene) si propone di realizzare una città resiliente capace di affrontare le ondate di calore e mitigare gli impatti negativi dell'effetto isola di calore urbano con una strategia basata sulla creazione di una spina verde centrale, generando zone d'ombra e riparo diffusi per migliorare il comfort termico all'aperto. La vegetazione viene utilizzata per definire spazi coperti per la socialità e percorsi pedonali riparati, trasformando la strada in un ampio boulevard. Attraverso l'inclusione di aree a prato, alberature e pavimentazioni permeabili si implementeranno le connessioni tra le aree verdi preesistenti, migliorando le condizioni di benessere negli spazi pubblici. A questa strategia basata sull'incremento del *greening* urbano è strettamente correlata quella legata al **water management**, utilizzando un sistema di recupero dell'acqua piovana per garantire l'apporto di acqua necessario al mantenimento e la cura della vegetazione e all'abbassamento delle temperature durante la stagione calda (Bassolino, 2022).



Figura 35 - Esempi di realizzazione delle aree verdi e delle zone d'ombra con il confronto ex ante ed ex post intervento per il contrasto degli impatti dell'ondata di calore ad Atene (Fonte: <https://www.okra.nl/en/projects/re-think-athens/>).

Attraverso un *heat sensitive urban design*, il progetto urbano può quindi svolgere un cruciale nel raffrescamento delle città per il contrasto delle ondate di calore. L'implementazione di azioni di *greening* urbano – impostate a partire da *green infrastructure* e *nature based solutions*, secondo una graduazione possibile di *green belt*, parchi urbani e *pocket park* oltre che agendo sulle superfici con pavimentazioni ad alto grado di albedo e soprattutto permeabili - favorisce un elevato *sky view factor*²⁴, agevolando il rilascio del calore trattenuto in aree urbane compatte o in canyon urbani (Losasso, 2021).

²⁴ La porzione di cielo visibile da un punto di osservazione.

Sono numerose le esperienze a livello europeo che hanno messo in campo soluzioni morfologiche e tecnico-spaziali tramite progetti e piani innovativi sia alla scala urbana che edilizia che tengono conto dei fattori di incertezza e non predittività che caratterizzano il nuovo regime climatico, adattandosi in modo flessibile alle mutevoli condizioni ambientali ed economiche, garantendo una maggiore resilienza delle città alle sfide emergenti. A Berlino, sono state sviluppate strategie e azioni di mitigazione e adattamento climatico integrate nel piano di sviluppo urbano noto come *StEP Klima - StadtEntwicklungsPlan Klima Konkret* (Piano di Sviluppo Urbano Climatico)²⁵. Il Piano si concentra su alcuni obiettivi chiave tra cui la riduzione dell'inquinamento delle acque superficiali in seguito a precipitazioni intense, la prevenzione e la riduzione dei danni causati da inondazioni e *heavy rains*, la raccolta delle acque piovane per scopi di raffreddamento tramite evaporazione e l'implementazione delle riserve di acqua sotterranea. A tal fine, il piano di adattamento identifica come strategia principale quella della “*sponge city*”, impiegando soluzioni tecniche e materiali tali da rendere le superfici urbane orizzontali e verticali dispositivi in grado di immagazzinare l'acqua dopo eventi di precipitazioni intense per poi restituirla al ciclo dell'acqua tramite varie strategie, tra cui il rallentamento dei flussi di scorrimento, il drenaggio, l'infiltrazione e l'evaporazione attraverso le superfici vegetate.

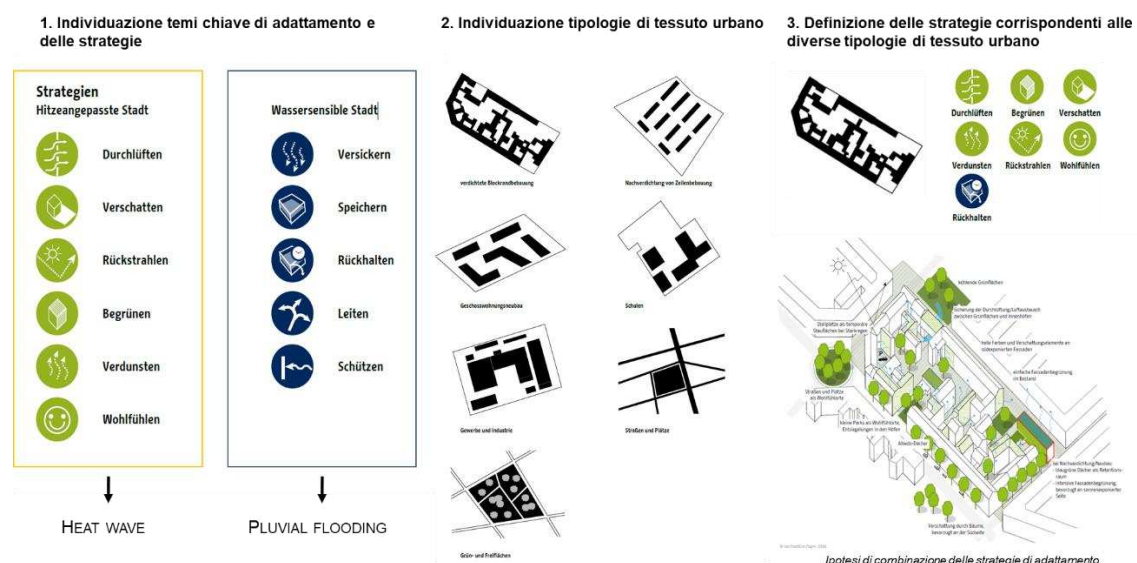


Figura 36 - Struttura dello StEP Klima - StadtEntwicklungsPlan Klima Konkret.

Il piano di adattamento della città di Berlino si basa su due obiettivi principali: da un lato il soddisfacimento della richiesta abitativa dovuta alla crescita demografica della città e dell'altro l'adattamento agli impatti derivanti dagli *hazard* climatici di *heat wave* e *pluvial flooding*.

A Parigi, il progetto per l'eco-distretto di *Clichy-Batignolles* mira a ridurre la quantità di acqua piovana scaricata nella rete fognaria al fine di minimizzare il rischio di saturazione della rete e l'inquinamento della Senna. L'infiltrazione delle acque nel terreno è favorita dalla ridotta superficie delle strade, tetti verdi e, soprattutto, la presenza del grande parco centrale. L'acqua raccolta è

²⁵ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (2016). *StEP Klima - StadtEntwicklungsPlan Klima Konkret*.

prevalentemente impiegata per l'irrigazione degli spazi verdi e dei tetti verdi. L'eccedenza è recuperata e raccolta in un fosso per poi essere conservata in appositi serbatoio che alimentano un bacino biotopo. Le piante acquatiche filtranti presenti nel bacino contribuiscono naturalmente alla depurazione dell'acqua (Cecafosso, 2020).



Figura 37 - Vista del parco centrale, Eco-Distretto di Clichy-Batignolles, Parigi.

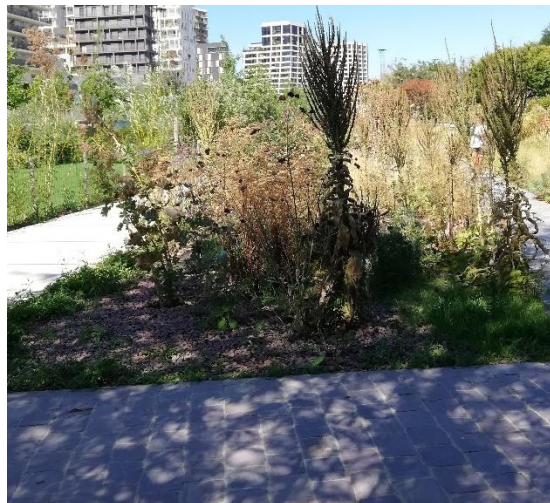


Figura 38 - Sistemi per la raccolta e il recupero delle acque meteoriche, Eco-Distretto di Clichy-Batignolles, Parigi.



Figura 39 - Bacino di raccolta delle acque meteoriche con piante per la fitodepurazione, Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi.

Il tema dell'**autoproduzione, sia in termini energetici che alimentari**, emerge nella definizione di nuovi modelli abitativi e habitat urbani innovativi finalizzati a promuovere la produzione di beni di uso quotidiano in modo sostenibile e spesso con soluzioni *low-cost* e *low-tech*. Nel Piano per il Clima di Barcellona, le trasformazioni che interesseranno la città nei prossimi anni saranno orientate a rendere ciascun quartiere un "*habitat* urbano" autosufficiente (Guallart, 2015) dal punto di vista della dotazione di servizi raggiungibili attraverso sistemi di mobilità ecologica, connesso agli altri quartiere attraverso l'implementazione delle reti informatiche e digitali e caratterizzato da un sistema di spazi pubblici ri-naturalizzati, in cui gli aspetti ambientali orientano il progetto urbano ed edilizio. Attraverso il Piano, inoltre, la città ha messo in campo strategie e azioni di adattamento climatico in ambito urbano agli effetti dei fenomeni di ondata di calore e di *flooding*, e di mitigazione climatica per il raggiungimento della *carbon neutrality* entro il 2050. La decarbonizzazione rappresenta un'altra priorità nella trasformazione degli habitat urbani. Ciò implica una graduale riduzione della dipendenza da fonti energetiche fossili e una maggiore adozione di fonti rinnovabili e pratiche energetiche sostenibili all'interno delle città, supportate da tecnologie per le comunità energetiche e scambi locali. Si assiste a una transizione dalle costruzioni a energia quasi zero (NZEB) a distretti a energia netta zero (NZED), mirando a ridurre la richiesta di energia e aumentare la quota proveniente da fonti locali rinnovabili.

Sempre a Clichy-Batignolle, conformemente al Piano climatico di Parigi, gli edifici evono rispettare standard energetici molto bassi. A tal fine, sono impiegati involucri ad alte prestazioni e sistemi passivi per massimizzare la ventilazione e la luce naturali. Dal punto di vista energetico, si adotta la geotermia per il riscaldamento e l'acqua calda, e il fotovoltaico per l'illuminazione. Impianti

fotovoltaici sono installati ovunque possano produrre l'elettricità (sia sui tetti più esposti al sole sia sulle facciate) (Cecafosso, 2020).



Figura 40 - Impianti fotovoltaici posizionati sia sulle coperture che sulle facciate per massimizzare la produzione di energia, Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi.

In ambito progettuale, il nuovo regime climatico impone lo sviluppo di modelli innovativi in cui si riconosca da una la centralità della componente tecnico-spaziale e dall'altra quella dei comportamenti individuali e collettivi, nonché delle capacità di adattamento delle comunità. Le esperienze progettuali descritte evidenziano la necessità di un approccio al progetto urbano che affronti contemporaneamente i diversi aspetti che la combinazione dei rischi climatici e dei fattori di vulnerabilità ed esposizione che caratterizzano i sistemi urbani ha reso evidenti, al fine di attuare misure di adattamento adeguate alle esigenze dell'attuale scenario di multirischio climatico. Questo approccio mette in luce il ruolo dei sistemi eco-sociotecnici, in grado di auto-organizzarsi e, in situazioni di crisi, sviluppare soluzioni per il contrasto dei rischi e l'aumento della resilienza negli insediamenti urbani. In questo modo è possibile sviluppare "nuove frontiere per la modellazione dell'ambiente" (Rigillo & Attaianese, 2021) consentendo di considerare le interazioni che intercorrono tra la componente abiotica e biotiche dei sistemi ambientali nel processo di progettazione. Si comprende, inoltre, quanto sia necessaria una trasformazione della concezione in chiave ambientale del progetto, in cui l'aspetto della conoscenza diventa cruciale. Accanto alla valutazione degli impatti, diventa fondamentale anche la simulazione preventiva degli esiti al fine di fornire un supporto alle decisioni progettuali attraverso dati, scenari e soluzioni alternative.

3.2 La Progettazione Ambientale per il progetto resiliente dell'ambiente costruito

3.2.1 L'approccio della Progettazione Ambientale al progetto urbano

L'ambiente antropico si trova al centro di numerose criticità, che derivano sia dagli impatti dei rischi climatici che dalle caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione degli habitat urbani derivanti dagli interventi degli esseri umani sullo spazio abitabile. Tali criticità determinano la crescente necessità di adattamento a cambiamenti di stato che si manifestano repentini, improvvisi e difficilmente prevedibili o misurabili. In questo scenario, pertanto, le azioni di adattamento si collocano nell'ambito della Progettazione Ambientale e delle trasformazioni che l'uomo apporta a un habitat urbano minacciato da tali condizioni di multirischio climatico. Diventa, dunque, imperativo affrontare le sfide derivanti dalle dinamiche ambientali e antropiche per garantire la sostenibilità e la resilienza degli insediamenti urbani di fronte a un panorama sempre più complesso e mutevole.

L'interazione tra l'essere umano e l'ambiente naturale, nel contesto dello sviluppo delle società occidentali, affonda le sue radici nei principi del pensiero della Grecia classica, in cui l'uomo era visto come un soggetto a doversi adattare alla natura e non il contrario. Questa prospettiva ha subito una trasformazione significativa con l'avvento del pensiero positivista e il progresso scientifico. In questo contesto, la natura è stata sempre più considerata come un campo da dominare attraverso l'impiego della tecnologia (Losasso, 2006). Tale cambiamento di paradigma ha plasmato in modo sostanziale la percezione e l'approccio delle società occidentali nei confronti dell'ambiente, influenzando in modo duraturo le dinamiche culturali e scientifiche legate alla gestione delle risorse naturali e allo sviluppo tecnologico.

Negli anni '60 prende vita un intenso dibattito che approfondisce il tema del **rapporto tra uomo e ambiente**, un movimento che ha segnato l'inizio dell'attenzione verso l'ambiente, sia dal punto di vista etico che pratico (Tucci, 2022). Questo periodo ha visto la crescita della consapevolezza critica verso l'enorme impatto che il progresso tecnologico stava avendo sull'ambiente. La società ha cominciato a rendersi conto delle conseguenze devastanti del consumo eccessivo di risorse naturali e dei danni irreversibili che si stavano accumulando a causa dell'eccessiva interferenza umana nei delicati equilibri del mondo naturale. Si è iniziato a riconoscere che l'antropizzazione dell'ambiente, intesa come l'influenza sempre più invasiva dell'umanità sulla natura, stava mettendo a rischio non solo gli ecosistemi, ma anche la stessa sopravvivenza della specie umana.

Nel corso degli anni, questa consapevolezza si è sviluppata ulteriormente, portando a importanti cambiamenti nelle politiche ambientali, nelle pratiche industriali e nel comportamento individuale.

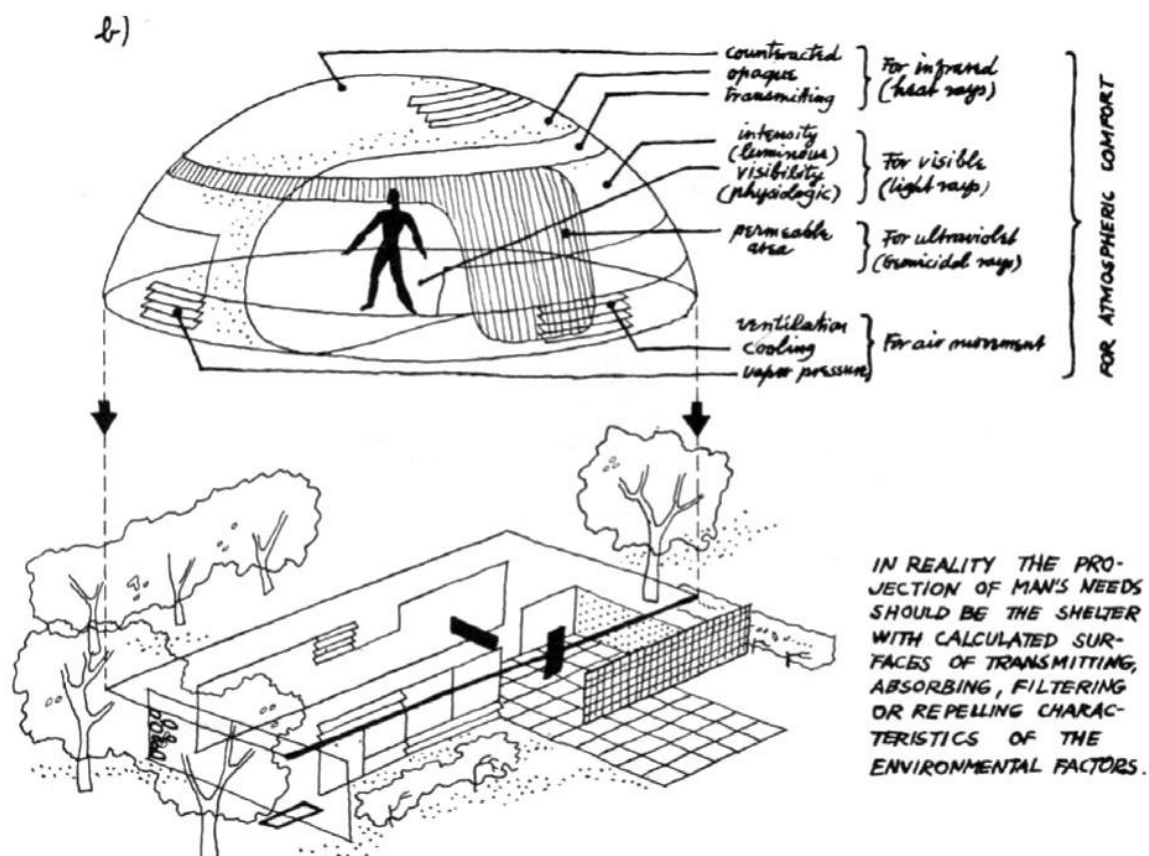


Figura 41 - Environmental Building Design Process (fonte: Orendorff, J., Cole, A., 1954, Application of Climatic Data to House Design, Washington: US Government Printing Office).

Tutti gli elementi ambientali sono basati sulla comprensione di come l'essere umano reagisce ad essi al fine di mantenere il punto di equilibrio del metabolismo.

Negli anni '70, la visione del problema ambientale è profondamente stravolta dal sopravvenire di nuovi accadimenti e dall'insorgere di processi di carattere politico, sociale e culturale (Gangemi, 2001). Si susseguono in questo periodo avvenimenti come l'embargo del petrolio da parte dei paesi arabi del 1973 che mettono in **crisi il modello di sviluppo economico dell'epoca**. Il rapporto del MIT – Club di Roma mette in luce la **consapevolezza della limitatezza delle risorse e dell'esigenza di tutelare gli equilibri dell'ecosistema** e rappresenta un primo segnale concreto dell'esigenza inderogabile di un cambiamento di rotta che riguarda non solo il settore socioeconomico ma anche il campo dell'architettura (Meadows et al., 1972; Fanzini, 2022).

Nello stesso periodo, a Stoccolma ha luogo un evento storico di portata globale: la conferenza delle Nazioni Unite intitolata "L'Ambiente Umano". Questo congresso rappresenta uno dei primi passi significativi nel promuovere la protezione dell'ambiente naturale comprensivo dei suoi elementi fondamentali di acqua, suolo e aria. Durante questa conferenza storica, è emersa chiaramente la necessità di intraprendere azioni concrete per la conservazione, protezione e miglioramento dell'ambiente naturale. Inoltre, è stato riconosciuto il ruolo centrale dell'essere umano come parte integrante dell'ecosistema terrestre e, allo stesso tempo, come artefice delle trasformazioni ambientali. Questo evento ha messo le basi per una maggiore consapevolezza dell'importanza della tutela ambientale e dell'equilibrio tra l'ambiente naturale e le attività umane. Ha sottolineato

quanto sia urgentemente necessario agire per salvaguardare le risorse naturali della Terra e garantire un futuro sostenibile per le generazioni a venire (UN, 1972).

I principi affermati negli anni successivi in materia di sviluppo sostenibile dai documenti internazionali, a partire dall'Agenda XXI (1992) e dal Protocollo di Kyoto (1997), introducono delle fondamentali innovazioni nell'approccio metodologico ai temi della tutela ambientale, riconoscendo la qualità ambientale, come elemento guida di uno sviluppo sostenibile. L'**emergenza ambientale** (Gangemi, 2001), inizialmente sottovalutata, assume gradualmente un carattere sempre più evidente e condiviso. Questo crescente riconoscimento si traduce in direttive, accordi e protocolli a livello internazionale che hanno portato all'implementazione progressiva di normative e strumenti di controllo nell'ambito ambientale. Si è delineato, di conseguenza, un cambiamento graduale ma significativo nell'approccio progettuale in favore di prospettive *human e environment centred*.

In questo scenario, l'attività progettuale viene riconsiderata attribuendole un ruolo di centralità come processo dialettico di fondamentale importanza, in grado di gestire in modo equilibrato la relazione tra l'essere umano e l'ambiente circostante. Questa riconsiderazione emerge come risposta alla crescente preoccupazione per il nichilismo culturale e politico prevalente nella società consumistica dell'epoca. Questa nuova prospettiva attribuita alla progettazione aveva l'obiettivo di invertire il percorso di esplosiva congestione causato dalla continua e incontrollata crescita, un processo che precedentemente era stato considerato irreversibile (Maldonado, 1970).

Le crisi in atto e future rendono inevitabile una revisione delle forme e modalità tipiche della Progettazione tecnologica e ambientale, che oggi più che nel passato è chiamata a contribuire alla gestione del **complesso rapporto tra uomo e ambiente** e ad affrontare la questione ambientale con una **visione sistemica**, dando risposte adeguate al frequente insorgere di situazioni d'emergenza (Tucci, 2013).

«Nel grande quadro dell'attuale "polycrisi" evocata da Edgar Morin (Morin, 2020), il progetto dovrebbe ricostruire un proprio ruolo inserendosi in un possibile scenario di cambio di paradigma, attraverso l'adesione a fattori esogeni quali i nuovi valori di equità, di riduzione della pressione sull'ambiente, di promozione di modelli di sviluppo sostenibili, di nuove organizzazioni collaborative dell'economia (Piketty, 2020). Nell'evoluzione e nello sviluppo delle tecnologie si dovrebbe ripartire da una ridefinizione delle **interconnessioni fra ambiente, umanità e sviluppo tecnologico**, mentre le molteplici condizioni di emergenza andrebbero affrontate a partire da un impulso verso nuove organizzazioni urbane» (Losasso, 2022, p.8).

In questo scenario, la Progettazione ambientale si confronta con la **crisi del rapporto tra ambiente naturale e antropico**, conseguenza diretta delle crisi ambientali, che rende indispensabili un approccio integrato e sistemico che risponda efficacemente nell'ambito del progetto di architettura agli impatti derivanti dai "rischi complessi" (IPCC, 2022)²⁶ che si attivano in una transizione verso le nuove complessità del mondo contemporaneo. Occorre operare **un riallineamento del progetto per l'ambiente costruito alle nuove prospettive dell'abitare** attraverso una discontinuità con

²⁶ Cfr. *Complex Risk* (IPCC, 2022).

l'orizzonte della modernizzazione e nuove forme organizzative dello spazio abitabile nei nuovi scenari evolutivi e trasformativi della contemporaneità (Harvey, 2015).

Attualmente in un ecosistema che si basa su equilibri fragili già influenzati da numerosi disastri naturali, la crisi climatica sta delineando scenari futuri sempre più preoccupanti. Questo scenario emergente – caratterizzato da un graduale aumento della temperatura media globale e un crescente intensificarsi di fenomeni climatici estremi che comprendono l'innalzamento del livello del mare, intense precipitazioni, ondate di calore, periodi di siccità, tempeste di vento e tornado (IPCC, 2023) - delineano l'urgenza di intraprendere azioni concrete per affrontare la sfida dell'adattamento e della mitigazione climatica, sia nelle aree urbane che nei contesti naturali. Ciò implica la necessità di riconsiderare gli stili di vita e promuovere processi urbani rigenerativi. In questo nuovo paradigma, la protezione della biodiversità, la salvaguardia della salute, la promozione della sicurezza, il miglioramento del comfort e il sostegno alle comunità e alle loro culture assumono un ruolo di primaria importanza (Losasso & Rigillo, 2022).

Gli impatti derivanti dal multirischio climatico attuale influiscono negativamente sulle aree urbane che rappresentano un punto focale sul quale concentrare gli sforzi di adattamento e mitigazione. Le specifiche caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione che contraddistinguono le città – dovute alla loro densità demografica, l'elevata concentrazione di risorse, l'eccessiva impermeabilizzazione delle superfici urbane orizzontali e verticali, la scarsa presenza di aree verdi diffuse - determinano, quindi, la necessità di sviluppare strategie di pianificazione e gestione urbana che affrontino in modo efficace questi problemi e promuovano l'adozione di stili di vita più sostenibili e la creazione di comunità resilienti. È essenziale concepire progetti alla scala urbana ed edilizia che si confrontino con un approccio caratteristico della Progettazione Ambientale, un approccio olistico che consideri l'interazione tra la componente antropica e la componente naturale dei sistemi ambientali, al fine di garantire la sopravvivenza di entrambi. Questo approccio deve bilanciare le necessità di qualità architettonica e urbana insieme ai requisiti del sistema sociotecnico ed economico, integrandoli con le sfide ambientali e la gestione efficiente dei processi di transizione verde (Losasso, 2021).

Nell'attuale "società del rischio", l'implementazione di misure di adattamento in grado di contrastare gli impatti dei rischi climatici e allo stesso tempo mitigare le cause delle emissioni climalteranti si configurano come uno degli obiettivi principali per la Progettazione Ambientale per gli insediamenti urbani. Il progetto dovrebbe essere concepito in modo che le azioni di adattamento non solo rispondano agli impatti climatici, ma agiscano parallelamente come agenti di riduzione delle emissioni. Ciò è realizzabile attraverso la realizzazione di un sistema edifici-spazi aperti caratterizzato da una maggiore efficienza energetica lungo l'intero ciclo di vita. Implementando i principi della circolarità nel rinnovo edilizio e urbano, si può conseguire una significativa riduzione delle emissioni di gas serra associate ai sistemi costruttivi, nonché alla loro intensità energetica e materiale. In questo contesto, ai progettisti è affidato il ruolo di coniugare progettualità e innovazione tecnologica in riferimento alle capacità conservative, adattive, reattive e rigenerative volte a minimizzare gli impatti e le vulnerabilità ambientali dell'ambiente costruito con progetti che esprimano la dimensione prioritaria dell'azione alla scala locale (Losasso et al., 2020).

3.2.2 Il progetto *climate-resilient* per il contrasto degli impatti climatici

Nella sua accezione generale, il concetto di resilienza²⁷ fa riferimento alla **capacità continua di un sistema**, di un'organizzazione, di una comunità o di un individuo **di adattarsi di fronte a crisi acute e a stress cronici** (Martin-Breen e Anderies, 2011; Salem et al., 2017). Più in generale, il termine “resilienza” descrive non solo la **capacità di mantenere funzioni, identità e strutture essenziali, ma anche la capacità di trasformazione** (IPCC, 2022)

DOCUMENTO	ENTE/ ORGANIZZAZIONE	ANNO	DEFINIZIONE
Report of the open ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction	UNISDR	2009	The ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate, adapt to, transform and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions through risk management.
Arctic Resilience Interim Report 2013	Artic Council, Stockholm Environment Institute, Stockholm Resilience Centre	2013	The capacity of a social-ecological system to cope with disturbance, responding or reorganizing in ways that maintain its essential function, identity and structure, whilst also maintaining the capacity for adaptation, learning and transformation. [...] Social-ecological systems are interwoven systems of human societies and ecosystems. The concept of a social-ecological system emphasizes that humans are part of nature and that these systems function in interdependent ways. Resilience is a property of social-ecological systems that relates to the capacity of the system to cope with disturbance and recover in such a way as to maintain its core function and identity, whilst also maintaining the ability to learn from and adapt to changing conditions, and when necessary to transform. A resilient Arctic system is thus better able to absorb disruptions in the form of both abrupt disturbance events as well as more gradual forces of change. Furthermore, a resilient Arctic system is capable of persisting within a broad range of conditions, and adjusting in a relatively smooth manner to varying circumstances. When a system is no longer able to adapt, it is likely to experience a transformation. Transformations are fundamental changes in social-ecological systems that involve crossing a threshold to a new “regime” characterized by a different set of critical interactions. While transformations can entail

²⁷ La resilienza in letteratura ha un'ampia gamma di significati. «Il termine resilienza deriva dal latino *resiliens-entis*, participio presente del verbo *resilire* che significa rimbalzare, alludendo a un comportamento elastico e alla capacità di riconquistare una condizione di equilibrio» (PRIN 2015 vol.1, p. 95).

			considerable disruption, they are not always undesirable. In some cases they may lead to greater future resilience for certain components of the system.
Climate Change 2014: Synthesis Report - AR5-SYR (10/2014)	IPCC	2014	The capacity of social, economic and environmental systems to cope with a hazardous event or trend or disturbance, responding or reorganizing in ways that maintain their essential function, identity and structure, while also maintaining the capacity for adaptation, learning and transformation. FTN: This definition builds from the definition used in Arctic Council (2013).
Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate	EEA	2016	
Special Report on Global Warming of 1.5°C - SR15 (10/2018)	IPCC	2018	
Special Report on Climate Change and Land - SRCCL (09/2019)	IPCC	2019	The capacity of interconnected social, economic and ecological systems to cope with a hazardous event, trend or disturbance, responding or reorganizing in ways that maintain their essential function, identity and structure. Resilience is a positive attribute when it maintains capacity for adaptation, learning and/or transformation (adapted from the Arctic Council, 2013).
Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability	IPCC	2022	The capacity of social, economic and ecosystems to cope with a hazardous event or trend or disturbance, responding or reorganising in ways that maintain their essential function, identity and structure as well as biodiversity in case of ecosystems while also maintaining the capacity for adaptation, learning and transformation. Resilience is a positive attribute when it maintains such a capacity for adaptation, learning, and/or transformation.

Tabella 9 - Definizioni del termine Resilienza nella letteratura tecnica sul cambiamento climatico

Al di là delle numerose definizioni possibili (cfr. Tab.. 8) legate al concetto di resilienza è possibile riscontrare alcune caratteristiche invarianti che da esse emergono e che la caratterizzano: **la resilienza è sistemica, interscalare e interdisciplinare** (Rossi & Arnetoli, 2020B; Lucarelli & Rigillo, 2018).

Nel campo del cambiamento climatico, la definizione di resilienza climatica fornita dal Report AR5 dell'IPCC fa riferimento alla «capacità dei sistemi sociali, economici e ambientali, di far fronte ad un evento pericoloso o una tendenza o una perturbazione, rispondendo o riorganizzandosi senza perdere la loro funzione essenziale, l'identità e la struttura mantenendo inoltre la capacità di adattamento, apprendimento e trasformazione» (IPCC, 2014, p. 127).

Negli ultimi anni, anche in relazione all'aumentare degli impatti climatici, la riflessione legata a tale concetto è stata rivolta in modo specifico agli **aspetti spaziali e territoriali della resilienza**

nell'ambito dello sviluppo e della pianificazione locale e regionale, assumendo una particolare rilevanza per le **città**, quali «**sistemi adattivi altamente complessi** (Godschalk, 2003) derivanti dall'interazione di diversi sottosistemi: fisico, funzionale e socio-economico» (Rossi & Arnetoli, 2020a p.99).

Attualmente, i contesti urbani presentano, però, una resilienza bassa o addirittura nulla che richiede l'introduzione del paradigma della resilienza nella progettazione e nella pianificazione come fattore di innovazione dei metodi e del processo di trasformazione dell'ambiente urbano (Rossi & Arnetoli, 2020a; Rigillo, 2015). In ambiente urbano, la resilienza è strettamente connessa alle condizioni funzionali-spaziali e ambientali, agli aspetti processuali e di *governance* e agli aspetti tecnico-costruttivi. Richiede l'attuazione di strategie che comprendano la previsione e la prevenzione dei rischi, l'adattamento agli impatti, così come la riduzione delle vulnerabilità e la programmazione di misure di mitigazione a lungo termine (Losasso, 2018).

La resilienza di territori, città ed edifici rappresenta la nuova sfida nell'attuale società del rischio, in cui è necessario coniugare progettualità e innovazione in riferimento alle capacità conservative, adattive, reattive e rigenerative volte a minimizzare gli impatti e le vulnerabilità derivanti da eventi estremi (Losasso, 2018). I contesti urbanizzati, per loro natura, spesso mostrano una capacità ridotta sia di resistere agli impatti ambientali, sia di recuperare i danni conseguenti, indicando una resilienza bassa, scarsa o addirittura nulla. La perdita di adattabilità in sistemi con bassa resilienza comporta una diminuzione della capacità di affrontare i cambiamenti indotti da fattori stressanti. Tuttavia, la resilienza - in termini di capacità di resistenza ai cambiamenti e all'auto-conservazione funzionale - può trasformarsi in un'opportunità per riorganizzare il sistema con azioni destinate alla conservazione del sistema stesso (Bellini et al., 2018)

Nel contesto attuale, ridurre i rischi climatici e aumentare la resilienza agli impatti sono obiettivi fondamentali. A tale scopo, è necessario agire con azioni mirate alla riduzione delle emissioni (mitigazione), all'adattamento agli impatti e all'aumento della resilienza (Spano et al., 2020)²⁸. In particolare, l'implementazione **strategie di adattamento climatico** tramite l'introduzione di interventi *climate-proof* fornisce un **contributo fondamentale** nel raggiungimento degli obiettivi di resilienza degli insediamenti urbani in condizioni multirischio.

Le strategie e le azioni oggi disponibili possono contribuire ad aumentare la resilienza nel nuovo regime climatico, con **ricadute positive sulla salute umana, le condizioni di vita, il benessere sociale ed economico, e la qualità dell'ambiente**. In questo senso, le misure per la resilienza climatica possono essere considerate come indirizzi di sviluppo sostenibile che combinano strategie e azioni di adattamento agli impatti climatici e mitigazione delle emissioni climalteranti.

La resilienza dei sistemi urbani prevede, dunque, non solo la riduzione delle vulnerabilità e il miglioramento delle condizioni di adattamento (prevenzione/riduzione dei danni, sfruttamento delle opportunità offerte da nuovi scenari post impatto) ma anche capacità reattiva e rigenerativa. Le

²⁸ Il primo approccio agisce sugli effetti, il secondo agisce sulle cause, il terzo sulla capacità di risposta (IPCC, 2014).

città più efficaci nel contrasto degli impatti sia sul sistema fisico urbano, che su quello sociale e sulle infrastrutture, saranno quelle in grado di ridurre la propria vulnerabilità attraverso misure coerenti con gli approcci di *disaster risk reduction* e *disaster risk management* e attuando politiche di sviluppo locale basate sulla sinergia fra adattamento climatico e mitigazione climatica delle emissioni di GHG.

Nelle aree metropolitane, l'evoluzione del concetto di resilienza abbraccia una condizione multi-scalare e multi-settoriale di adattamento e mitigazione dei rischi climatici. Inoltre, la condizione *hazard-specific* e *site-specific* della resilienza mira all'individuazione e alla costruzione di scenari integrati, finalizzati alla sua misurabilità e allo sviluppo di progetti, prodotti e processi che riducano sia il fabbisogno di risorse che l'impatto ambientale (Losasso, 2018).

In uno scenario così delineato, il progetto **climate resilient-based** si caratterizza per la capacità di trovare il connubio tra le strategie di sviluppo sostenibile, di adattamento per il contrasto degli impatti climatici e di mitigazione delle emissioni climalteranti con la *governance* delle risorse e l'innovazione tecnologica, sviluppando modelli di conoscenza e processi progettuali che orientino le trasformazioni dell'ambiente costruito tenendo conto delle molteplici istanze del progetto urbano nei suoi aspetti ambientali, sociali ed economici (Antonini & Tucci, 2017; Losasso, 2018).

A livello internazionale, la Commissione Europea e l'Organizzazione delle Nazioni Unite, nei documenti *Towards a European framework for action* (EC, 2009) e *Saving Cities: Adaptation as part of Development* (Un-Habitat, 2011), individuano alcuni possibili indirizzi strategici per un effettivo incremento del grado di resilienza dell'ambiente costruito. Gli interventi volti all'innalzamento delle capacità di resilienza, mitigazione e adattamento degli insediamenti alla scala urbana ed edilizia, possono essere distinti in 3 categorie di azioni (Tucci, 2018):

- *Azioni strategiche strutturali "grigie"*, che operano direttamente sul sistema fisico dell'ambiente costruito, basate su interventi di progettazione tecnologiche finalizzati alla realizzazione di operazioni *deep renovation* di edifici e infrastrutture per renderli capaci di resistere agli eventi estremi;
- *Azioni strategiche infrastrutturali "verdi"*, basate su interventi biofisici nell'ambiente costruito per incrementare la resilienza degli ecosistemi attraverso la riduzione della perdita di biodiversità, il ripristino dei cicli dell'acqua e l'introduzione di servizi ecosistemici;
- *Azioni strategiche non strutturali "soft"*, che fanno riferimento alla definizione e all'applicazione di politiche e procedure per l'ambiente costruito volte a ridurre o a prevenire la vulnerabilità non solo degli elementi urbani oggetto di interventi di tipo "grigio" o "verde" ma dell'intero sistema.

Nelle esperienze progettuali urbane realizzate in Europa, alcune città hanno attuato trasformazioni in chiave resiliente che nei prossimi decenni potrebbero rivelarsi decisive. A Barcellona, ad esempio, è operativo il programma *Resilienza e adattamento del cambiamento climatico per l'area metropolitana di Barcellona 2015-2020*, che ha come principale obiettivo lo sviluppo delle proiezioni climatiche per definire i principali rischi e le aree di intervento prioritarie al fine di indurre un incremento della resilienza climatica.

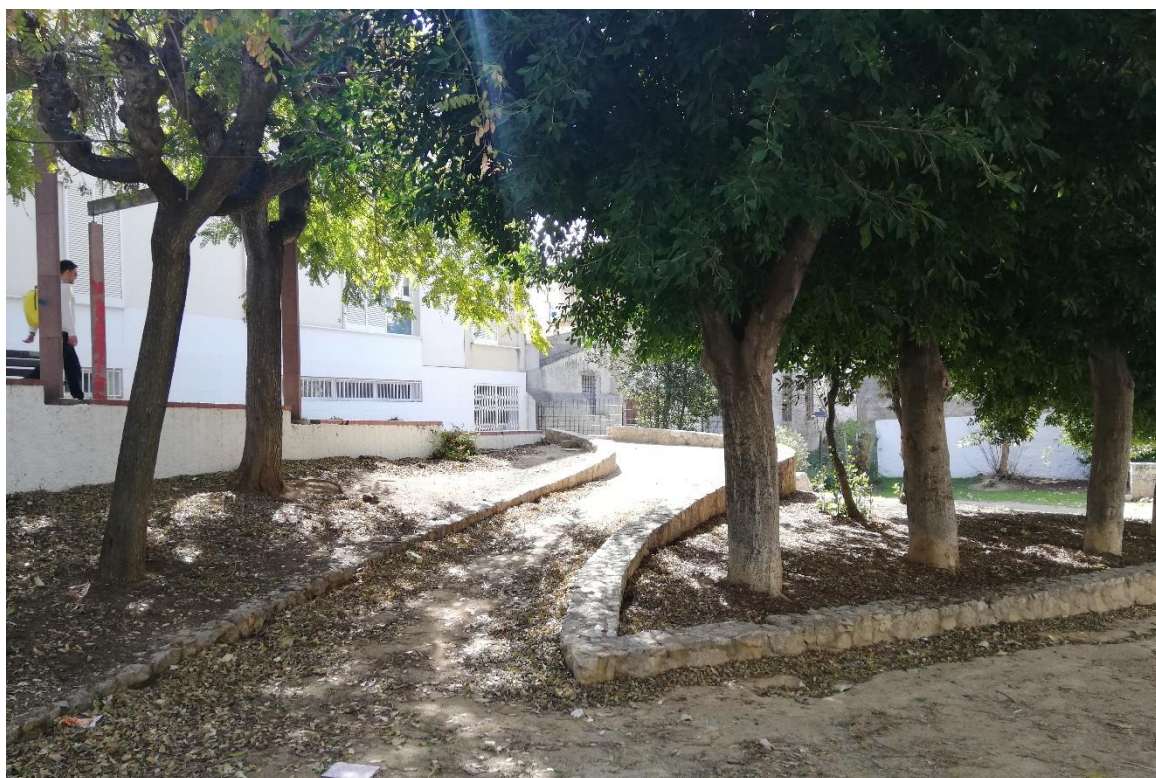


Figura 42 - Parchi urbani con funzione di "rifugio climatico", Sitges.



Figura 43 - Interventi di *greening* urbano con sistemi di irrigazione per la manutenzione durante le ondate di calore, Barcellona.

A Parigi, gli interventi di *greening* contribuiscono alla riduzione della vulnerabilità in particolare rispetto alle periodiche inondazioni della Senna e alla riqualificazione delle sponde quale fattore di rigenerazione urbana innovativa. Dopo l'alluvione del giugno 2016, nella città sono state implementate strategie per la gestione degli impatti dovuti a fenomeni di *heavy rains* e *river flooding*, programmate a livello locale, in grado di rivelare i punti deboli dei sistemi anti-alluvione, e mostrare, al tempo stesso, l'importanza dell'approccio alla resilienza urbana. L'utilizzo di *Nature Based Solutions* si è rivelato particolarmente efficace nell'area di *Essonne*, dove la gestione "ecosistemica" delle alluvioni sviluppata dal sindacato intercomunale per il risanamento della Valle della Bièvre e la rinaturazione ecologica dei bacini come corpi idrici permanenti ha l'aumento della capacità di stoccaggio dell'acqua, limitando considerevolmente i danni provocati dall'alluvione. Oltre ad essere multifunzionali (le zone umide smorzano anche gli impatti dovuti a inondazioni e siccità, purificano l'acqua, immagazzinano il carbonio in modo efficiente, ecc.), le NBS sono, nel costo complessivo, spesso meno costose delle soluzioni "grigie", anche se difficili da applicare in via esclusiva (Barroca & Pacteau, 2018).



Figura 44 - Spazi pubblici attrezzati a seguito della riqualificazione della riva sinistra della Senna, Parigi.



Figura 45 - Interventi di greening urbano per la riqualificazione dei percorsi pedonali, Parigi.



Figura 46 - *Nature Based Solutions* per la riduzione dei fenomeni di *runoff* in seguito ad eventi di heavy rains e il miglioramento del comfort termico outdoor durante gli eventi di ondata di calore, Parigi.



Figura 47 - Pavimentazioni permeabili per favorire il drenaggio delle acque meteoriche nei bacini di raccolta, Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi.

Anche Amburgo ha attivato un piano per ridurre drasticamente l'uso delle auto entro il 2034 attraverso varie misure tra cui spicca la "Rete Verde di Amburgo", in cui resilienza della città è individuabile non solo nella qualità ambientale degli spazi pubblici ma anche nella permeabilità multimodale del sistema sostenibile della rete di mobilità. Inoltre, sono state messe in campo misure per incrementare la capacità di drenaggio delle precipitazioni meteoriche intense come sistemi di vasche di raccolta integrate e infiltrazione nei suoli permeabili, considerando nella stagione estiva il contributo del *greening* urbano alla riduzione degli effetti delle ondate di calore (Losasso, 2018).

Tra gli interventi realizzati ad Amburgo, emerge quello del progetto del nuovo quartiere ad HafenCity. Il progetto ha come obiettivo quello di costruire un insediamento sostenibile e resiliente, preservando i caratteri tipologici e l'identità delle strutture portuali, il rapporto con l'acqua, la qualità degli spazi pubblici, l'accessibilità e la fruibilità dei luoghi, garantendo la permeabilità urbana, oltre alla continuità con il centro storico e alla *mixité* funzionale. Una delle caratteristiche principali dell'area è la sua particolare vulnerabilità ai rischi climatici legati ai fenomeni di inondazione ed erosione costiera, dovuta alla vicinanza al fiume e alle caratteristiche del suolo. Per tale motivo, il progetto del *waterfront* e delle aree contigue prevede la realizzazione di tutte le reti di trasporto costruite a un'altezza compresa tra i 7.50 e gli 8.30 m sopra il livello del mare rendendo l'infrastruttura di trasporto resiliente anche in caso di eventi climatici estremi (le inondazioni hanno una variazione media compresa tra i 3 e 4 m). Anche le aree pedonali pubbliche sono progettate per poter essere, quando necessario, inondate per adattarsi ai livelli incrementali dell'acqua prevedendo danni minimi e controllati. Si configura, in questo modo, un'area urbana in cui l'approccio ambientale al progetto urbano è finalizzato all'incremento della resilienza climatica, alla riduzione dei danni e alla mitigazione degli impatti (Clemente, 2023).



Figura 48 - Percorsi sopraelevati per garantire il funzionamento delle infrastrutture di trasporto anche in caso di inondazione, HafenCity, Amburgo.

L'approccio di *down* e *upscaling* nei processi di trasformazione *resilient*-based dell'ambiente costruito diventa significativo soprattutto in relazione alle prassi di verifica *ex ante* ed *ex post* che consentono di valutare l'efficacia delle strategie e delle soluzioni messe in campo (D'Ambrosio et al., 2021). In quest'ottica, si inserisce l'*Urban Heat Island Strategy Plan* di Vienna, il cui obiettivo principale è quello di mostrare a pianificatori, architetti e tutti gli stakeholders rilevanti una serie di misure da attuare per ridurre gli impatti negativi del clima e di dimostrare le misure di mitigazione e adattamento appropriate per una pianificazione resiliente al clima. A tal fine, l'eco-distretto di Aspern Seestadt è stato utilizzato come prototipo per l'attuazione di una pianificazione integrata *climate-resilient* basata su simulazioni microclimatiche, condotte per l'intera area per migliorare la progettazione del nuovo quartiere relativamente alla disposizione degli isolati, le proprietà delle superficie e la quota di spazi aperti verdi. Rispetto al masterplan originario, sono state necessarie solo poche modifiche, per quanto riguarda l'orientamento delle strade, la distribuzione dell'altezza degli edifici e la progettazione degli spazi aperti (la disposizione delle superfici e la distribuzione della vegetazione).

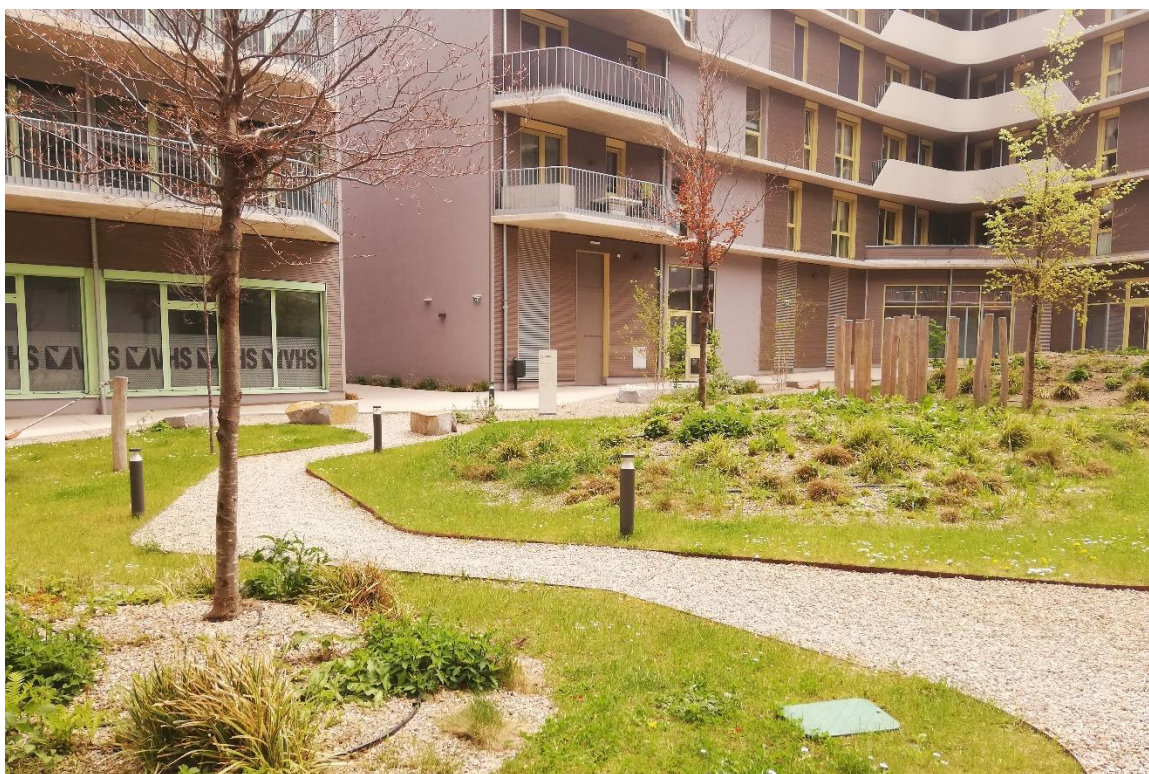


Figura 49 - Corti verdi tra gli edifici per il miglioramento del microclima urbano, Aspern Seestadt, Vienna.



Figura 50 - Lago artificiale per lo smaltimento delle acque meteoriche, Aspern Seestadt, Vienna.



Figura 51 - Pavimentazioni con un'albedo elevata per la riduzione delle temperature superficiali e il miglioramento del comfort termico *outdoor*, Aspern Seestadt, Vienna.

Una progettazione *climate-resilient* comporta, quindi, una città più verde, in cui la vegetazione si configuri in una vera e propria infrastruttura urbana finalizzata alla produzione di servizi ecosistemici, con particolare riguardo a quelli legati alla regolazione del microclima. Le aree verdi dovranno prevedere la possibilità di trasformarsi in rifugi climatici che permettano di affrontare le ondate di calore e le alte temperature. A ciò contribuiranno anche le azioni e i sistemi legati all'acqua come lamine d'acqua e fontane, attrezzate per essere a tutti gli effetti luoghi della vita quotidiana, considerando alla regolazione del microclima urbano come un ulteriore requisito di efficienza nel disegno dello spazio pubblico. Alla scala edilizia, gli interventi riguarderanno, invece, l'implementazione di viceversa tetti verdi, tetti ventilati, tetti giardino che contribuiscano a contrastare l'effetto dell'isola di calore e l'accumulo di temperatura (Losasso, 2018).

I progetti resilienti si configurano, quindi, come progetti in cui la specifica concezione del progetto e l'impiego delle tecnologie innovative consentono di gestire i molteplici livelli di complessità che caratterizzano l'ambiente antropico in scenari di multirischio climatico, mediante logiche *site-specific* e *risk-specific*. Incrementare la resilienza, infatti, non significa mai ristabilire esattamente lo *status quo* ma introdurre «nuove dinamiche progettuali, capaci di individuare le potenzialità di co-evoluzione dell'ambiente costruito e dell'utenza e basate su strategie, adattive e di mitigazione» (Gallo & Romano, 2018, p. 279), predisponendo i sistemi urbani a reagire a impatti imprevisti e sviluppando la loro capacità di affrontarli invece che tentare di bloccarli.

Riferimenti bibliografici

- Antonini, E. & Tucci, F. (Eds.) (2017). *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy. La costruzione di un Manifesto della Green Economy per l'Architettura e la Città del Futuro | Architecture, City and Territory towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architecture and the City of the Future*. Milano: Edizioni Ambiente.
- Apreda, C., D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2019). A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environmental Science & Policy*, 93, 11-26.
- Artic Council. (2013). *Summary for policy-makers. Arctic Resilience Interim Report 2013*.
- Attaianese, E., & Rigillo, M. (2021). Ecological-thinking and collaborative design as agents of our evolving future. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 97-101.
- Barroca, B., & Pacteau, C. (2018). Resilienza e progetto urbano: cosa ci insegnano le alluvioni del 2016 in Francia?. *Techne*, 15, 31-38.
- Bassolino, E. (2022). *Climate-adaptive design e tecnologie digitali: modelli, strumenti e pratiche*. Napoli: Clean.
- Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft. *Hamburgs vielfältige Grün- und Freiräume Das Grüne Netz Hamburg*. Disponibile in: <https://www.hamburg.de/gruenes-netz/> [10 ottobre 2023].
- Bellini, O. E., Marini, A., & Passoni, C. (2018). Sistemi a esoscheletro adattivo per la resilienza dell'ambiente costruito/Adaptive exoskeleton systems for the resilience of the built environment. *Techne*, 71-80.
- Cecafosso, V. (2020). Il progetto di rigenerazione integrata di Clichy-Batignolles a Parigi / The Clichy-Batignolles Integrated Regeneration Project in Paris, In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, (p.301-306). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Clemente, M. F. (2023). *Climate Risks/Urban Waterfront. La progettazione ambientale per la resilienza climatica delle aree urbane costiere*. Napoli: Clean..
- D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2016), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge*. Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V., Rigillo, M., Tersigni, E. (2021). *Transizioni*. Napoli: Clean.
- de Murieta, E. S., Galarraga, I., & Olazabal, M. (2021). How well do climate adaptation policies align with risk-based approaches? An assessment framework for cities. *Cities*, 109, 103018.
- Dell'Acqua, F. (2023). *Green Infrastructure e Climate Change Adaptation Design. Strategie, azioni e soluzioni nature-based per l'adattamento climatico in ambito urbano*. Napoli: Clean.
- EC – European Commission (2009). *Commission White Paper: 'Adapting to*

- climate change: Towards a European framework for action*. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010IP0154> [10 ottobre 2023].
- EC - European Commission (2019). *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*. Document 52019DC0640, COM (2019) 640 final. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=COM:2019:640:FIN> [16 agosto 2023].
- EC - European Commission (2021). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Empty – Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. COM (2021) 82 final. Disponibile in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0082> [16 agosto 2023].
- EEA – European Environment Agency (2013). *Adaptation in Europe. Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-europe#:~:text=Topics%3A%20Policy%20instruments%20Climate%20change%20adaptation%20EEA%20Report,be%20used%20to%20support%20adaptation%20planning%20and%20implementation> [10 ottobre 2023].
- EEA – European Environment Agency (2016). *Urban adaptation to climate change in Euopre 2016. Transforming cities in a changing climate*. EEA Report No 12/2016. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-2016> [16 agosto 2023].
- EEA - European Environment Agency (2017). *Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe: enhancing coherence of the knowledge base, policies and practices*. Office for Official Publ. of the Europ. Communities.
- EEA – European Environment Agency (2020a). *Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle*. EEA Report No 6/2020. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/national-adaptation-policies> [16 agosto 2023].
- EEA – European Environment Agency (2020b). *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. EEA Report No 12/2020. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe> [16 agosto 2023].
- EEA – European Environment Agency (2020c). *Urban Sustainability in Europe. What is driving cities' environmental change?*. EEA Report No 16/2020. Disponibile in : <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sustainability-in-europe-what> [16 agosto 2023].
- EEA – European Environment Agency (2022). *Advancing towards climate resilience in Europe: status of reported national adaptation actions in 2021*. EEA Report No 11/2022. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/advancing-towards-climate-resilience-in-europe> [16 agosto 2023].

- Fanzini, D. (2022). La Progettazione ambientale nel contesto internazionale. In Attaianesi, E. & Losasso, M. (Eds.), *La ricerca nella Progettazione ambientale. Gli anni 1970-2008. I contributi delle Sedi Universitarie del Cluster Progettazione ambientale della Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura*, (p. 16-22). Santrcangelo di Romagna: Maggioli.
- Füssel, H. M. (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability science*, 2, 265-275.
- Gallo, P., & Romano, R. (2018). RIPENSARE IL MARGINE: AMBIENTE COSTRUITO E RESILIENZA NELLA CITTA'INFORMALE. *Techne*, 15, 279-290.
- Gangemi, V. (2001). *Emergenza Ambiente. Teorie e sperimentazione della Progettazione Ambientale*. Napoli: Clean.
- Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural hazards review*, 4(3), 136-143.
- Gualart, V. (2015). Da pianificazione urbana a Habitat Urbano. *TECHNE*, (10), 24-28.
- Harvey, D. (2015). *La crisi della modernità*. Milano: Feltrinelli.
- IOM - International Organization for Migration (2015). *Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in IOM's Response to Environmental Migration*. Disponibile in: https://publications.iom.int/system/files/pdf/ddr_cca_infosheet.pdf [1 agosto 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf [10 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (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*. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/site/s/2/2022/06/SR15_AnnexI.pdf [10 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. In *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/site/s/3/2022/03/01_SROCC_SPM_FINAL.pdf [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2020). *The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussions*. Disponibile in: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/01/The-concept-of-risk-in-the-IPCC-Sixth-Assessment-Report.pdf> [4 ottobre 2023].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK) e New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). *Climate Change 2022:*

- Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Disponibile in: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf [4 ottobre 2023].
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf [1 agosto 2023].
- ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2023). Voce Adattamento. *Glossario Sezione Biodiversità.* Disponibile in: <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/glossario> [10 ottobre 2023].
- ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2018). *Strategie e piani di adattamento ai cambiamenti climatici.* Disponibile in: <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/da/downreport/html/6905> [10 ottobre 2023].
- Leone, M. F. (2020). Adattamento climatico e gestione del rischio. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design,* (p.83-88). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Leone, M.F. & Tersigni, E. (2018). *Progetto resiliente e adattamento climatico. Metodologie, soluzioni progettuali e tecnologie digitali.* Napoli: Clean.
- Levinson, D.M. (2019). *The 30-Minute City – Designing for Access.* Network Design Lab.
- Losasso, M. & Rigillo, M. (2022). Il futuro ora: il progetto per l'adattamento e la mitigazione climatica. *Ambiente rischio comunicazione. Quadrimestrale di analisi e monitoraggio ambientale*, 18, 57-60.
- Losasso, M. (2006). *Riqualificare i litorali urbani. Progetti e tecnologie per interventi sostenibili sulla fascia costiera di Napoli.* Napoli: Clean.
- Losasso, M. (2018). Progetto, ambiente, resilienza. *TECHNE J. Technol. Archit. Environ*, 15, 16-20.
- Losasso, M. (2020). Processi innovativi per l'adattamento climatico nella rigenerazione dei distretti urbani/ Innovating Processes for Climate Adaptation in Urban Districts Regeneration. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design,* (p.9-14). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Losasso, M. (2021). Progetto urbano, condizioni di contesto e adattamento climatico. *EcoWebTown Journal of Sustainable Design*, 24, 16-23.
- Losasso, M. (2022). Crisi interconnesse e complessità del progetto. *Techne*, 23, 7-9.

- Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.) (2020). *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Lucarelli, M. T., & Rigillo, M. (2018). Resilienza e cultura tecnologica: la centralità del metodo. *Techne*, 15, 60-64.
- Maldonado, T. (1970). *La speranza progettuale*. Torino: Einaudi.
- Martin-Breen, P., & Anderies, J. M. (2011). *Resilience: A literature review*.
- MASE - Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022). Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici. In *PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/PNACC_Allegato1_metodologie_definizione_strategie_piani_regionali_adattamento.pdf [8 agosto 2023].
- MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: <https://va.mite.gov.it/IT/Oggetti/Documentazione/7726/11206?Testo=&RaggruppamentoID=1004> [16 agosto 2023].
- MATTM – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2018). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: <https://www.certifico.com/component/attachments/download/32252> [10 ottobre 2023].
- MATTM – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015). *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Disponibile in: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/documento_SNAC.pdf [10 ottobre 2023].
- Mayor of London (2011). *Green infrastructure and open environments: the All London Green Grid*. Disponibile in: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/algg_spg_mar2012.pdf?token=k8ya9qQt [10 ottobre 2023].
- Meadows, D., Dennis, D., Jorgen, R. & William, W. (1972). *I limiti dello sviluppo. Verso un equilibrio globale*, Milano: Edizioni scientifiche e tecniche Mondadori.
- Morin, E. (2020). *Cambiamo strada. Le 15 lezioni del Coronavirus*. Milano: RaffaelloCortina.
- Pielke Jr, R. A. (1998). Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global environmental change*, 8(2), 159-170.
- Piketty, T. (2020). *Capitale e ideologia. La nave di Teseo*. Milano.
- Rigillo, M. (2015). Vulnerabilità e resilienza dell'ambiente urbano. *ECO WEB TOWN*, 1(12/13), 200-212.
- Rossi, R. & Arnetoli, M. V. (2020a). Resilienza Urbana/Urban Resilience. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, (p.99-102). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Rossi, R. & Arnetoli, M. V. (2020B). Resilienza/Resilience. In Losasso, M.,

- Lucarelli, M.T., Rigillo, M. & Valente, R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/ Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, (p.93-98). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Salem, S., Campidelli, M., El-Dakhkhni, W. W., & Tait, M. J. (2018). Resilience-based design of urban centres: Application to blast risk assessment. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 3(2), 68-85.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (2016). *StEP Klima - StadtEntwicklungsPlan Klima Konkret*. Disponibile in: <https://www.berlin.de/sen/stadtentwicklung/planung/stadtentwicklungsplaene/step-klima-2-0/> [10 ottobre 2023].
- Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Marras, S., Trabucco, A., Adinolfi, M., ... & Zavatarelli, M. (2020). Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia. *Fondazione CMCC—Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici: Lecce, Italy*.
- Steele, J.R. & Rubin, R. (2020). Converging Crisis: Coronavirus and Climate Change. *SNC – LAVALIN*. Disponibile in: <https://www.snclavalin.com/en/beyond-engineering/covid-climate-change> [15 maggio 2021].
- Tucci, F. (2013). Progettazione ambientale, tra emergenza e scarsità di risorse: alcune riflessioni di metodo/Environmental Design with Regard to Emergency and Scarce Resources: A Few Method Reflections. *Techne*, 5, 44.
- Tucci, F. (2018). Resilienza ed economie green per il futuro dell'architettura e dell'ambiente costruito. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, 15, 153-164.
- Tucci, F. (2022). La Progettazione ambientale nel contesto nazionale: radici, nascita, evoluzione. In Attaianesi, E. & Losasso, M. (Eds.), *La ricerca nella Progettazione ambientale. Gli anni 1970-2008. I contributi delle Sedi Universitarie del Cluster Progettazione ambientale della Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura*, (p. 23-34). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- UN – United Nations (1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Disponibile in: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/NL7/300/05/PDF/NL730005.pdf?OpenElement> [10 ottobre 2023].
- UN – United Nations (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponibile in: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conven.pdf> [8 agosto 2023].
- UN – United Nations (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponibile in: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> [8 agosto 2023].
- UN – United Nations (2015a). *Paris Agreement*. Disponibile in: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [8 agosto 2023].
- UN – United Nations (2015b). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development A/RES/70/1*. Disponibile in: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> [8 agosto 2023].

- UN General Assembly (1988). Protection of global climate for present and future generations of mankind, A/RES/43/53. In *Resolutions and Decisions adopted by the General Assembly during its 43rd session: GAOR, 43rd Session, Supplement No. 49*. Disponibile in: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/53/0/32/IMG/NR053032.pdf?OpenElement> [8 agosto 2023].
- UN-Habitat (2011). *Saving Cities: Adaptation as part of development*. Disponibile in: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2012/06/Pr4SavingCities.pdf#:~:text=Saving%20CityS%3A%20adaptation%20aS%20part%20of%20development%20Climate,made%20in%20counteracting%20the%20risks%20o f%20climate%20change>. [10 ottobre 2023].
- UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2020). *Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in the UN Sustainable Development Cooperation Framework. Guidance Note on Using Climate and Disaster Risk Management to Help Build Resilient Societies*. Disponibile in: <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-08/Integrating-DRR-CCA-in-CFs-web.pdf> [1 agosto 2023].
- UNISDR – United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (2017). *UNISDR Annual Report 2017*. Disponibile in: https://www.unisdr.org/files/58158_unisdr2017annualreport.pdf [1 agosto 2023].
- UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2009). *Report of the open ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Disponibile in: <https://digitallibrary.un.org/record/852089> [23 settembre 2023].
- UNISDR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030*. Disponibile in: https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf [8 agosto 2023].
- United Nations General Assembly (2016). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Disponibile in: https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf?_gl=1*98ncsh*_ga*MTk4MDIzNTg3Mi4xNjk2NjE1MTk3*_ga_D8G5WXP6YM*MTY5Njk0MDYxNC4yLjAuMTY5Njk0MDYyOC4wLjAuMA.. [10 ottobre 2023].
- Vittoria, E. (1988). Le tecnologie devianti dell'Architettura. In Fabbri, M., Pastore, D. (Eds.), *Architetture per il Terzo Millennio. Una seconda rivoluzione urbana?*, (p. 59-68). Roma: Fondazione Adriano Olivetti.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., ... & Costello, A. (2021). The 2020 report of the Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129-170.
- Zuccaro, G., & Leone, M. F. (2018). Building resilient cities: A simulation-based scenario assessment methodology for the integration of DRR and CCA in a multi-scale design perspective. *Procedia engineering*, 212, 871-878.

4 IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA: UNO STRUMENTO DI SUPPORTO DECISIONALE PER IL PROGETTO DI ADATTAMENTO CLIMATICO

4.1 La valutazione degli impatti climatici in condizioni multirischio

4.1.1 La proposta di un *workflow* operativo per la valutazione degli impatti climatici

Le conseguenze negative sugli insediamenti urbani derivanti dai cambiamenti climatici sono molteplici e legate ai diversi impatti derivanti dai fenomeni climatici estremi sia sul sistema fisico che socio-economico. Nel campo del *multi-risk assessment* è necessario tenere conto degli impatti prodotti da tutti i possibili eventi di pericolo (*hazard events*) che possono verificarsi in un'area geografica assegnata.

A fini di un intervento urbano *climate-resilient*, individuare nell'area di interesse gli **hotspot** - intesi come aree nelle quali insistono diversi *hazard* climatici associati a un'elevata concentrazione di fattori di esposizione e vulnerabilità del sistema urbano (quali i fattori geomorfologici e fisico-insediativi) – risulta essere uno step fondamentale nel processo progettuale con approccio ambientale (De Souza et al., 2015).

Il concetto di hotspot, che letteralmente può essere tradotto come “punto caldo”, non è strettamente legato all'individuazione di aree in cui si verificano fenomeni di temperature elevate ma, bensì fa riferimento a punti negli insediamenti urbani e metropolitani in cui le attuali dinamiche insediative delle città, congiuntamente agli effetti del cambiamento climatico e degli eventi estremi, determinano un aumento degli impatti derivanti dai rischi climatici (SNPAmbiente, 2022).

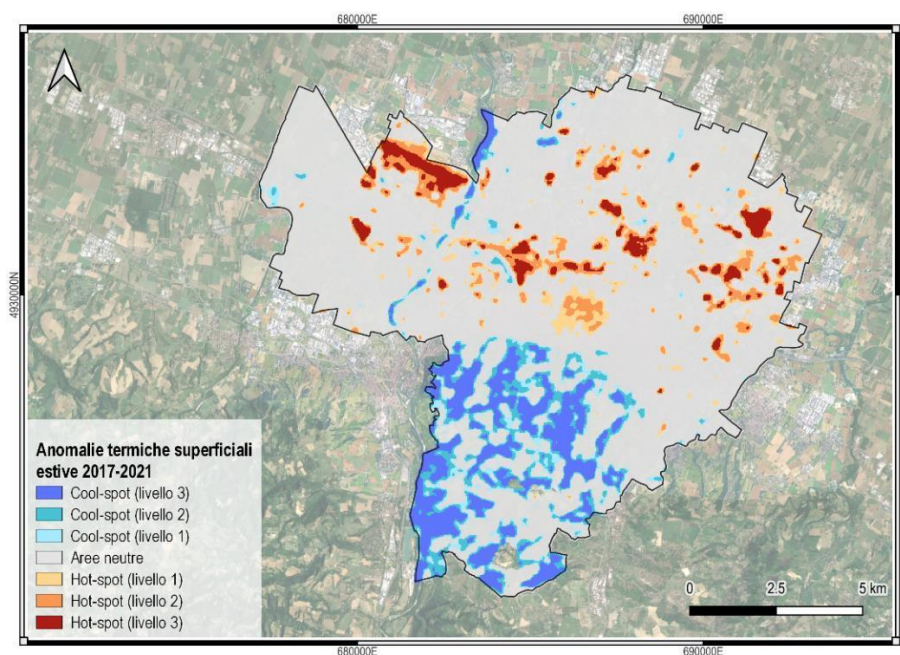


Figura 52 - Individuazione degli hotspot urbani in base alla mappa delle anomalie termiche superficiali estive per la città di Bologna (fonte: SNPAmbiente, 2022).

Nell'ambito della letteratura di settore, l'individuazione degli hotspot urbani fa riferimento all'individuazione di regioni o porzioni di territorio caratterizzate da un'elevata presenza demografica, un'elevata urbanizzazione, un'intensa mobilità e attività economiche fiorenti che determinano un'intensità di spopolamenti e attività di persone, beni e servizi in queste aree (Zhao et al., 2017; Ahas et al., 2010; Hollenstein, Purves, 2010; Xia, Li, Chen, Liao, 2019). Sono queste tutte caratteristiche che influiscono in modo rilevante sui fattori di vulnerabilità ed esposizione agli impatti climatici in ambito urbano. In relazione alle condizioni multirischio legate al cambiamento climatico, è possibile identificare gli hotspot urbani come quei "punti" negli insediamenti urbani in cui gli effetti negativi derivanti dalla combinazione di vulnerabilità, esposizione e hazard si delineano come fattori di transizione dalle condizioni di rischio climatico agli impatti climatici. I rischi climatici, l'elevata esposizione e vulnerabilità e la presenza di beni immateriali supportano il concetto di aree hotspot come "punti critici" nei contesti urbani, da verificare attraverso opportuni sistemi di indici e indicatori, modellazioni e simulazioni finalizzati all'individuazione delle adeguate strategie e azioni per l'adattamento climatico, la riduzione dei fattori di vulnerabilità ed esposizione e il potenziamento della resilienza degli insediamenti urbani.

In questo ambito, si fa riferimento a specifici "scenari di impatto", derivanti dalla combinazione dei parametri legati ai fattori di *hazard*, vulnerabilità ed esposizione. La definizione di scenari di impatto indotti dai cambiamenti climatici a livello locale rappresenta un aspetto essenziale per la valutazione del grado di vulnerabilità delle aree urbane e la conseguente definizione di strategie di adattamento e mitigazione (Rubino, 2017).

In relazione a quanto esposto nei capitoli precedenti, la valutazione degli impatti derivanti da differenti rischi climatici rappresenta una fase fondamentale per comprendere le caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione dei territori che determinano ricadute negative su beni, persone e servizi e per indirizzare interventi in grado di ridurre la vulnerabilità del sistema fisico. Il processo da adottare è un processo iterativo, che arriva alla valutazione degli impatti dei rischi climatici attraverso la conoscenza delle variabili del sistema e delle vulnerabilità delle sue componenti.

La valutazione dell'impatto complessivo sugli insediamenti urbani necessita l'individuazione di un **workflow operativo, orientato al supporto decisionale** del processo progettuale, che consenta il passaggio da modelli teorici e concettuali ad un modello operativo di quantificazione. Ai fini della presente ricerca, l'approccio adottato è quello individuato nell'AR5 (IPCC, 2014) e nell'AR6 (IPCC, 2023) ²⁹dove gli impatti sono individuati come le conseguenze dei rischi concretizzati sui sistemi naturali e umani e in cui i rischi derivano dall'interazione di *hazard* legati al clima (compresi eventi climatici estremi), esposizione e vulnerabilità (cfr. Box 8).

²⁹ Nei report citati, gli impatti su un sistema (naturale o antropico) si riferiscono agli effetti o ai danni causati da fenomeni climatici estremi. Questi impatti sono strettamente correlati ai rischi climatici, intesi come il risultato della probabilità di verificarsi di eventi climatici pericolosi e degli effetti prodotti da questi eventi. L'esposizione al rischio (che può essere rappresentata dalle persone, dalle strutture, dalle infrastrutture o dai servizi del sistema urbano) indica la caratteristica di un sistema di essere esposto al rischio nell'occorrenza di uno scenario di *hazard* che potrebbe causare danni. L'impatto derivante da uno specifico scenario di *hazard* è valutato considerando il suddetto scenario, il valore di esposizione e la vulnerabilità intrinseca del sistema urbano (Di Martino & Sessa, 2017).

Sulla base dei riferimenti teorici e delle criticità individuate nello stato dell'arte (cfr. par. 2.1.1), si vuole proporre un *workflow* operativo per l'individuazione degli impatti di rischi climatici derivanti da *hazard* differenti che sia orientato al supporto decisionale del progetto di adattamento per il contrasto degli impatti climatici negli insediamenti urbani.

Il processo di analisi e valutazione è un **processo informatizzato**, condotto mediante l'utilizzo di *KETs – Key Enabling Technologies, in ambiente GIS-based* al fine di restituire informazioni misurabili sulle caratteristiche biofisiche e socioeconomiche del sistema edifici-spazi aperti. Si rapporta con analisi a scala urbana, consentendo di valutare le caratteristiche insediative e geomorfologiche che influenzano il rischio e che possono essere migliorate attraverso specifiche azioni di adattamento climatico.

La valutazione dell'efficacia delle azioni proposte sarà, successivamente, effettuata utilizzando in maniera sperimentale una metodologia applicativa basata sui principi del *Proof of Concept Design Process*, che consente di verificare potenzialità e criticità degli interventi proposti secondo un percorso ricorsivo e nell'ottica di innovazione graduale e di miglioramento continuo.

L'applicazione sperimentale del processo proposto è stata effettuata sulla città di Napoli utilizzando i dati relativi agli impatti generati dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* elaborati nell'ambito delle ricerche METROPOLIS ³⁰e PLANNER³¹.

4.1.2 Framework concettuale

La gestione dei rischi climatici e dei conseguenti impatti rappresenta un aspetto cruciale per la pianificazione territoriale e la gestione dei sistemi urbani. Le città devono organizzarsi per affrontare eventi estremi senza subire perdite, danni o riduzioni delle funzionalità, evitando impatti significativi sulla qualità della vita. Il contrasto degli impatti climatici e lo sviluppo di capacità di ripristino delle condizioni precedenti ad essi richiedono di riportare alcune prestazioni e indicatori del sistema ai livelli pre-impatto, contribuendo così alla resilienza del sistema oggetto di intervento (Manfredi, 2016).

³⁰ Il progetto di ricerca "*Metropolis – Metodologie e tecnologie integrate e sostenibili per l'adattamento e la sicurezza di sistemi urbani*" (PONREC 2007/2013) definisce un quadro di strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici, utili a sviluppare opportuni processi metodologici e operativi necessari al controllo prestazionale degli interventi alle diverse scale, a partire dalla modellazione delle caratteristiche di vulnerabilità del sistema urbano e dalla simulazione di scenari di impatto climatico attesi (Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio).

³¹ Il progetto di ricerca "*Planner – Piattaforma per la gestione dei rischi naturali in ambienti urbanizzati*" consiste nella realizzazione di uno strumento di supporto alle decisioni che, attraverso la prototipazione di una piattaforma SW (Spatial Decision Support System SDSS) basata su tecnologia WEB-GIS, consenta di mappare il livello di vulnerabilità rispetto ai rischi di tipo ambientale (hazard sismico, idrogeologico, cambiamenti climatici) fornendo un kit completo di strumenti interoperabili, tecnologie e metodologie di lavoro correlate, finalizzato a supportare i pianificatori urbani e le pubbliche amministrazioni nella valutazione, gestione e mitigazione tempestiva, attraverso misure di miglioramento della resilienza (Coordinatore e Responsabile Scientifico per il Gruppo di Ricerca del DiARC: Valeria D'Ambrosio).

L'obiettivo del *workflow* proposto è analizzare e classificare gli impatti derivanti da *hazard* climatici estremi diversi negli insediamenti urbani al fine di individuare e valutare l'efficacia di azioni di adattamento per il contrasto degli impatti climatici nelle aree che risultino maggiormente critiche (*hotspot* urbani).

Sulla base dello stato dell'arte (cfr. par. 2.1.1) e dell'analisi dei modelli per la valutazione degli scenari di impatti derivanti da rischio singolo elaborati nell'ambito di precedenti ricerche (D'Ambrosio & Leone, 2016; D'Ambrosio & Leone, 2017; D'Ambrosio & Di Martino, 2016; Aprea, D'Ambrosio & Di Martino, 2019; Verde & Bassolino, 2020; Bassolino, Tersigni, Gifuni & Miraglia, 2021; Verde, Bassolino & Gagliardi, 2021; D'Ambrosio & Sgobbo, 2021; Tersigni, D'Ambrosio & Di Martino, 2021; Clemente, D'Ambrosio & Focareta, 2022; Clemente, 2023; D'Ambrosio, Di Martino & Tersigni, 2023; Clemente, D'Ambrosio, Di Martino & Miraglia, 2023), il processo - sviluppato prevalentemente in ambiente GIS - utilizza scenari di impatto costruiti prendendo in considerazione uno specifico scenario di *hazard*, il valore esposto al rischio e la vulnerabilità del sistema. Il valore esposto al rischio (esposizione) è definito in relazione alle entità su cui potrebbe prodursi il danno. Gli scenari di impatto utilizzati per valutare l'impatto combinato su una determinata area derivante dai rischi climatici sono stati elaborati integrando lo scenario di *hazard* analizzato con la vulnerabilità integrata ³²del sistema, che prende in considerazione l'esposizione e la vulnerabilità intrinseca ³³ degli elementi dei sottosistemi che interagiscono spazialmente con l'esposizione.

Nell'ambito del processo proposto sono stati valutati gli impatti derivanti dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* assumendo come valore esposto il totale della popolazione potenzialmente soggetta a subire gli impatti negativi nel momento in cui si verificano eventi climatici estremi di questo tipo.

Gli impatti derivanti dai singoli fenomeni sono derivati dai modelli costruiti nell'ambito delle ricerche METROPOLIS e PLANNER. Esse hanno visto la costruzione di un modello operativo, che in linea con quanto descritto nei Report AR5 e AR6 dell'IPCC, vede la vulnerabilità come una «componente intrinseca al sistema colpito che, insieme all'esposizione e all'*hazard*, consente di valutare gli impatti e il rischio climatico» (Aprea, 2017, p.60).

³² La vulnerabilità integrata rappresenta un indicatore di vulnerabilità associato all'elemento del sottosistema in cui è sito il valore esposto al danno, che integra la vulnerabilità intrinseca degli elementi dei sottosistemi che interagiscono con l'esposizione e con la vulnerabilità medesima.

³³ Per vulnerabilità intrinseca si intendono quelle caratteristiche che, indipendentemente dalla portata del fenomeno climatico considerato e dalle interazioni tra i sottosistemi, determinano la propensione di ogni singolo elemento appartenente al sistema urbano a subire effetti negativi.



Figura 53 - Modello di valutazione del rischio nei report AR5 e AR6 (Fonte: elaborazione da IPCC, 2014; IPCC, 2023; Apreda; 2017).

Prima di procedere alla valutazione dell'impatto è effettuata la combinazione di queste componenti intrinseche di vulnerabilità al sistema con la sua esposizione rispettivamente ai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* al fine di definire la componente di vulnerabilità integrata, mirata a considerare le relazioni che si stabiliscono tra le diverse componenti del sistema, individuando le interconnessioni tra le caratteristiche fisiche e socioeconomiche e i valori esposti al potenziale impatto (Apreda, 2017).

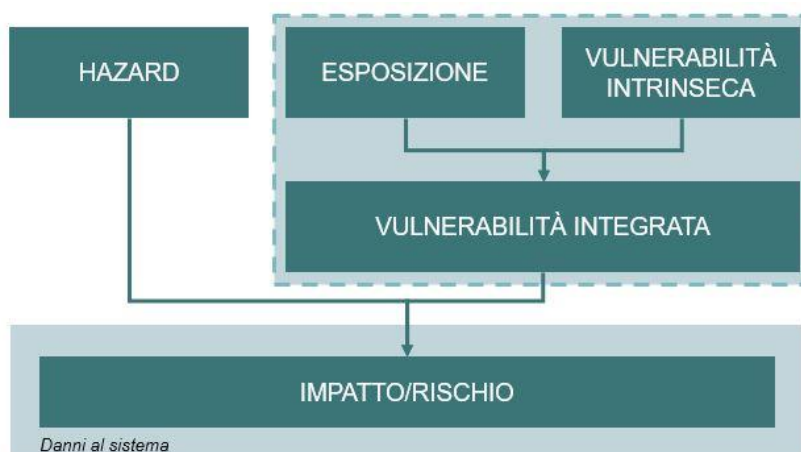


Figura 54 - Modello di valutazione del rischio adottato nelle ricerche METROPOLIS e PLANNER (Fonte: elaborazione da D'Ambrosio & Leone, 2017; D'Ambrosio, Di Martino & Miraglia, 2023).

Nel *framework* concettuale adottato per l'elaborazione del processo di valutazione degli impatti climatici negli insediamenti urbani, i valori di *hazard*, vulnerabilità ed esposizione sono valutati attraverso un approccio sistemico rispetto al sistema degli spazi aperti, agli edifici e alla popolazione. Ciò consente di analizzare e comprendere più approfonditamente le dinamiche interne che influenzano la vulnerabilità e la capacità dell'ambiente urbano di fronte ai rischi climatici.

Gli scenari di impatto singolo sono stati formulati tramite una carta di vulnerabilità integrata del sistema urbano, realizzata assegnando ad ogni elemento del sistema l'indicatore di esposizione rilevante e di vulnerabilità intrinseca. Successivamente, lo scenario di impatto è ottenuto associando la vulnerabilità integrata del sistema urbano a uno specifico scenario di hazard

associato a un particolare fenomeno climatico (nel caso specifico, *heat wave* e *pluvial flooding*) (D'Ambrosio & DI Martino, 2017).

Definiti gli scenari di impatto ai singoli fenomeni, la stima dell'impatto integrato ai diversi fattori di rischio è ottenuto associando i valori derivanti dalle precedenti valutazioni in un unico indicatore che, ai fini di una semplificazione, omogeneità e comparazione rispetto alle precedenti valutazioni, si è scelto di valutare utilizzando la stessa scala di valutazione utilizzata per gli indicatori di *hazard*, vulnerabilità intrinseca, esposizione, vulnerabilità integrata e impatto singolo.

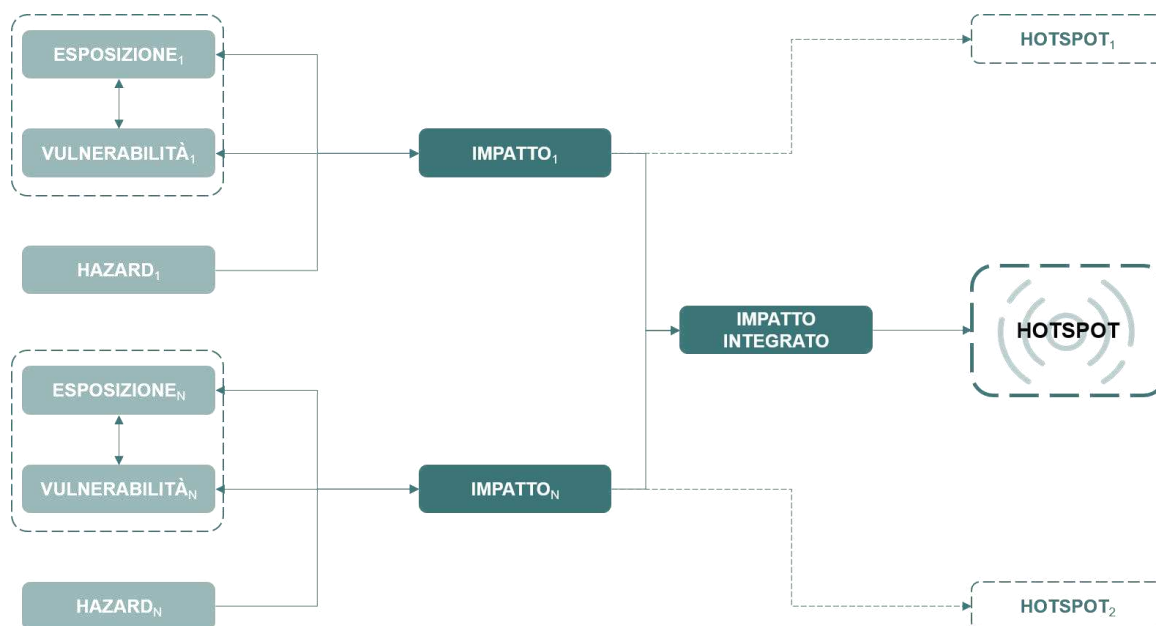


Figura 55 - *Framework* concettuale del *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato rispetto ai fenomeni climatici multipli.

Nell'ottica di una semplificazione e di una futura replicabilità del processo di valutazione, è stata individuata quale unità spaziale di riferimento per l'analisi dell'impatto integrato la sezione di censimento³⁴, così come definita dal 15° Censimento della Popolazione e delle Abitazioni condotto dall'ISTAT³⁵ del 2011³⁶. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di avere un'unità di misure coesa

³⁴ Le sezioni di censimento rappresentano delle unità territoriali ben definite, omogenee dal punto di vista geografico e amministrativo, che raccolgono informazioni socio-demografiche e strutturali sulla popolazione e sull'ambiente costruito. Questa unità di riferimento permette di catturare le dinamiche e le peculiarità proprie di una determinata area urbana, fungendo da fondamento per la valutazione dell'impatto integrato di vari fattori, tra cui quelli legati ai rischi climatici. Inoltre, la scelta di basarsi sul Censimento Istat del 2011 garantisce una continuità temporale e uno standard di riferimento consolidato, consentendo di confrontare i risultati ottenuti in diverse fasce temporali. Allo stesso tempo, l'applicabilità di questa metodologia su scala nazionale offre la possibilità di estendere l'analisi a diverse realtà urbane, consentendo di identificare tendenze e criticità comuni o specifiche a livello territoriale.

³⁵ Le informazioni raccolte per il 15° Censimento generale dall'Istituto Nazionale di Statistica si riferiscono al 9 ottobre 2011. L'Istat mette a disposizione i dati geografici relativi al sistema di basi territoriali degli anni 1991, 2001 e 2011 che coprono l'intera zonizzazione del territorio italiano. Le informazioni geografiche delle sezioni di censimento sono state unite a livello nazionale e sono accessibili in due differenti proiezioni geografiche (il sistema di riferimento ED 1950 UTM Zona 32n e il WGS 84 UTM Zona 32n, che è stato utilizzato nel processo proposto) in formato *shapefile*.

³⁶ È stato necessario utilizzare i dati relativi al 2011 poiché, seppur in parte diffusi i dati provvisori relativi al 2021, questi non sono ancora disponibile per la Campania. Inoltre, i dati, ancora in lavorazione, sono rilasciati

e significativa, in grado di essere correlata alle analisi a scala urbana e di essere potenzialmente applicabile su tutto il territorio nazionale.

L'adozione delle **sezioni di censimento** come **unità spaziali di riferimento** rappresenta una strategia mirata a garantire coerenza, comparabilità e replicabilità nella valutazione dell'impatto integrato, contribuendo così a una migliore comprensione delle dinamiche urbane e dei loro effetti in risposta ai cambiamenti climatici e alle sfide ambientali.

Ogni sezione è caratterizzata da un unico valore di *hazard*, esposizione, vulnerabilità intrinseca, vulnerabilità integrata e impatto rispetto ai fenomeni singoli e da un valore di impatto integrato.

4.1.3 Workflow operativo

La metodologia che è stata individuata e adottata considera l'intera complessità del sistema urbano, determinata dalla pluralità di attributi e relazioni che lo caratterizzano. Essa assume la forma di un approccio generale, il quale può essere applicato con successo per valutare qualsiasi tipologia di combinazione di rischi. Nel contesto della presente ricerca, il processo è stato appositamente sperimentato nell'ambito dei rischi climatici causati da eventi quali *heat wave* e *pluvial flooding*. Questo approccio metodologico, attraverso l'analisi delle variabili che costituiscono le determinanti del rischio (vulnerabilità, esposizione e *hazard*), consente di cogliere le dinamiche che guidano l'interazione tra i fattori di rischio e le componenti del sistema urbano.

La sperimentazione può potenzialmente rappresentare uno strumento utile per il contrasto degli impatti climatici negli insediamenti urbani, in quanto permette di sviluppare strategie di mitigazione dei rischi e interventi di adattamento climatico mirati e basati su una conoscenza specifica del contesto di interesse.

Il *workflow* operativo per l'individuazione degli *hotspot* urbani rispetto agli impatti climatici integrati derivanti dai fenomeni di *pluvial flooding* e *heat wave*, è costituito dai seguenti step:

1. Definizione dell'area di riferimento e delle relative sezioni di censimento ISTAT;
2. Intersezione delle unità spaziali di riferimento con gli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding* ricavati dai database delle ricerche METROPOLIS e PLANNER;
3. Calcolo del potenziale impatto integrato per sezione di censimento. Le sezioni per le quali gli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding* sono alti o medio-alti sono considerate le aree maggiormente critiche e nel quale c'è maggiore probabilità che si verifichino rischi multipli;
4. Elaborazione delle carte di output mediante l'individuazione di cinque classi di impatto;
5. Individuazione degli *hotspot* urbani.

per singole regioni non mosaicate a livello nazionale determinando possibili gap e/o sovrapposizioni dei limiti delle unità spaziali. Il consolidamento e la diffusione dei dati definitivi avrà probabilmente luogo a partire dal 2024.

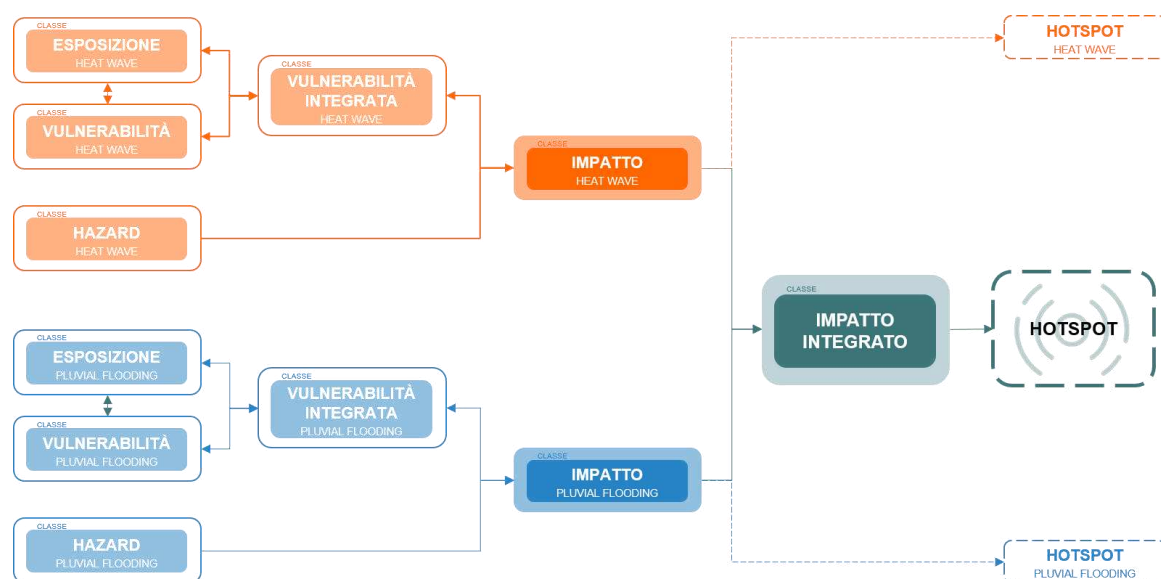


Figura 56 - Workflow operativo per l'individuazione degli *hotspot* urbani.

1. Definizione dell'area di riferimento e delle relative sezioni di censimento ISTAT

Sulla base di analisi geomorfologiche e funzionali-spaziali, si procede con il riconoscimento e la perimetrazione di un ambito territoriale esteso, all'interno del quale si condurranno le successive analisi e valutazioni. L'obiettivo principale di questa fase è individuare una macroarea urbana soggetta al verificarsi di più *hazard* climatici estremi. Questo step iniziale costituisce un fondamentale passo preliminare per identificare e circoscrivere le aree che potrebbero essere maggiormente esposte agli impatti negativi degli eventi di *heat wave*³⁷ e *pluvial flooding*.³⁸

L'analisi delle caratteristiche geomorfologiche e funzionali-spaziali è mirata a considerare sia gli aspetti fisici del territorio che le interazioni funzionali-spaziali che lo caratterizzano. Questo approccio permette di ottenere una visione complessiva e integrata, focalizzandosi sulla comprensione delle dinamiche che potrebbero rendere alcune zone più vulnerabili agli impatti climatici. La delimitazione dell'ambito territoriale di interesse costituisce, quindi, il primo passo verso un'analisi dettagliata delle aree critiche all'interno di tale contesto, consentendo di avviare un processo di valutazione accurate e di pianificazione mirata per la mitigazione e il contrasto degli impatti derivanti dai rischi climatici.

I dati sono ricavati dal DBT di Napoli, dalle Cartografie Geologiche Nazionali, dall'ISTAT e dalle immagini satellitari fornite da Google e dalla piattaforma ESRI.

³⁷ *Heat wave* (o ondate di calore) rappresentano un periodo di tempo caratterizzato da temperature anormalmente elevate, spesso definito con riferimento a una soglia di temperatura relativa, che può durare da due giorni a mesi.

³⁸ *Pluvial flooding* si verifica quando la quantità di pioggia supera la capacità dei sistemi di drenaggio delle acque piovane urbane o del terreno di assorbirla. L'acqua in eccesso scorre in superficie, formando ristagni in depressioni naturali o artificiali e in aree a bassa altitudine o dietro ostacoli.

Da ciascuna delle basi di dati disponibili sono state estratte le informazioni necessarie per condurre le analisi finalizzate alla definizione dei limiti geomorfologici, infrastrutturali e amministrativi che risultano cruciali per la perimetrazione accurata della macroarea di studio. Questo processo di estrazione e analisi dei dati provenienti dalle diverse fonti è stato fondamentale per ottenere una rappresentazione completa e dettagliata del contesto territoriale in cui si inserisce l'analisi climatica, garantendo la precisione e l'affidabilità delle valutazioni svolte.

2. Intersezione delle unità spaziali di riferimento con gli impatti di heat wave e pluvial flooding ricavati dai database delle ricerche METROPOLIS e PLANNER

La seconda fase è dedicata alla raccolta accurata dei dati inerenti agli impatti derivanti dai fenomeni climatici estremi, focalizzandosi, nell'applicazione sperimentale in oggetto, specialmente sugli eventi di *heat wave* e *pluvial flooding*, e concentrandosi sull'analisi del loro impatto sul sistema urbano. In questa fase, sulla base dei database utilizzati, si procede a definire con precisione le caratteristiche dei valori esposti alle condizioni climatiche estreme e a valutare la vulnerabilità del sistema urbano nei confronti di tali eventi.

L'obiettivo principale è comprendere come tali fenomeni possano influenzare in modo diretto o indiretto la città, evidenziando le aree più vulnerabili. Questa raccolta di dati è essenziale per una valutazione completa e accurata degli impatti climatici sugli insediamenti urbani e deve essere condotta in maniera dettagliata e comparata per i singoli modelli di impatto.

Infatti, ogni *hazard* climatico presenta caratteristiche uniche, quindi ogni modello di impatto richiede un'analisi e un calcolo specifico. Dal momento che ciascun *hazard* è diverso, è fondamentale affrontare ogni valutazione con precisione, riconoscendo le peculiarità di ciascun fenomeno e adattando le modalità di analisi di conseguenza. Questo approccio mirato consente di ottenere una visione completa e accurata degli impatti climatici, consentendo una valutazione completa e informata per lo svolgimento delle successive fasi.

Il confronto dei diversi modelli di impatto è stato condotto analizzando nello specifico i parametri indicati di seguito:

- Unità spaziale di riferimento
- Dati di input
- Risoluzione spaziale
- *Hazard* di riferimento
- Dimensione temporale dell'*hazard*
- Scenario di impatto
- Valore esposto
- Tipo di impatto
- Metodo di calcolo dell'impatto
- Output principali

Parametri di analisi	Modello
<i>Unità spaziale di riferimento</i>	
<i>Dati di input</i>	
<i>Risoluzione spaziale</i>	
<i>Hazard di riferimento</i>	
<i>Dimensione temporale dell'hazard</i>	
<i>Scenario di impatto</i>	
<i>Valore esposto</i>	
<i>Tipo di impatto</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'impatto</i>	
<i>Output principali</i>	

Tabella 10 - Schema di base per l'analisi e il confronto dei modelli di impatto.

Gli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding* sono inizialmente valutati singolarmente. Ciò è dovuto al fatto che le caratteristiche degli *hazard* differiscono a seconda degli specifici pericoli a cui si fa riferimento e quindi differiscono anche i metodi per analizzarli e che i differenti *hazard* determinano rischi e impatti diversi a seconda di quali siano gli elementi a rischio rendendo fondamentali l'analisi dei fattori di vulnerabilità e di esposizione, i cui metodi di valutazione variano, però, anch'essi a seconda degli specifici *hazard*.

Nell'ambito della ricerca in atto, i dati necessari alle valutazioni degli impatti sono ricavati dai database dalle ricerche METROPOLIS e PLANNER. Nello specifico, i dati relativi all'*heat wave* provengono dalle sperimentazioni e dalle elaborazioni svolte nell'ambito della ricerca PLANNER mentre per il *pluvial flooding* si è utilizzato il database fornito dalla ricerca METROPOLIS.

Nell'ambito dei modelli di valutazione degli impatti analizzati e utilizzati, un aspetto cruciale ha riguardato la comprensione delle modalità di valutazione della vulnerabilità degli elementi che compongono il sistema urbano. La vulnerabilità climatica – intesa come la predisposizione di un sistema a subire gli impatti derivanti dai cambiamenti climatici – è strettamente legata ai fattori intrinseci del sistema urbano. Questi fattori sono espressi dalle sue caratteristiche, che influiscono sia sul livello di esposizione ai fenomeni climatici che sulla sensibilità del sistema a tali impatti. Intervenire su queste caratteristiche mediante strategie e interventi progettuali di adattamento può portare a una significativa riduzione dei valori di vulnerabilità del sistema e a un aumento della sua capacità di risposta resiliente. La predisposizione degli elementi che costituiscono il sistema urbano a subire gli effetti negativi degli impatti climatici è misurata quantitativamente tramite set di indicatori definiti per restituire il comportamento e le prestazioni offerte dal sistema urbano rispetto ai determinati *hazard* di *heat wave* e *pluvial flooding*. Tutti gli indicatori sono classificati in una scala con valori discreti da 1 a 5 in ordine di gravità discendente per, poi, definire una classe di vulnerabilità esisto di un processo di taratura, che vede l'attribuzione di una scala di pesi da 1 a 5, esito di una media pesata dei valori di tutti gli indicatori, in cui «il grado di vulnerabilità del

sottosistema e costituito da un valore intero da 1 a 5, dove a valore minore corrisponde una vulnerabilità maggiore» (Di Martino & Sessa, 2017, p.52).



Figura 57 - Set di indicatori utilizzati per la valutazione della vulnerabilità del sistema urbano nell'ambito dei modelli di impatto utilizzati (Fonte: Aprea, 2017; D'Ambrosio, Di Martino & Miraglia, 2023).

La raccolta dati da fonti specializzate sul tema degli impatti in ambito urbano dei rischi climatici consente di ottenere informazioni accurate per valutare in modo completo e approfondito l'impatto integrato dei fenomeni considerati sugli insediamenti urbani al fine di contribuire, successivamente, all'implementazione dei processi di conoscenza a supporto di una pianificazione alla scala urbana più resiliente e in grado di contrastare gli effetti negativi determinati dal cambiamento climatico.

Allo scopo di stabilire una correlazione significativa tra i due *database*, è stato necessario condurre un processo di integrazione dei dati che è stato condotto stabilendo come unità atomica di riferimento la sezione di censimento. Tutti i dati pertinenti sono stati estratti dai database e associati alle sezioni di censimento che ricadono all'interno della macroarea di riferimento. Ogni sezione di censimento è stata associata con le informazioni relative a *hazard*, vulnerabilità, esposizione e impatti. Per consentire una valutazione più chiara e una successiva analisi dei dati, ogni caratteristica per sezione di censimento è stata classificata in 5 classi. La scala va da 1 (indicante un alto livello di criticità) a 5 (che rappresenta un basso livello di criticità) per riflettere il livello di criticità della sezione rispetto alla specifica determinante del rischio presa in considerazione. Tale processo di classificazione consente una rapida identificazione delle aree maggiormente critiche in termini di rischio climatico, facilitando così il processo decisionale e la pianificazione di misure per l'adattamento climatico mirate nelle zone più critiche. L'associazione dei dati provenienti dai due database alle sezioni di censimento rappresenta uno step cruciale nel processo proposto di valutazione di impatto integrato derivante dai rischi climatici.

3. Scenari potenziali di impatto integrato

L'impatto integrato è ottenuto affiancando l'impatto al rischio derivante dall'*heat wave* all'impatto al rischio derivante dal *pluvial flooding* (calcolati tenendo conto dello stesso scenario RCP 4.5 a medio termine [2041-2070]). Nella sperimentazione, il valore dell'indice di impatto integrato è stato opportunamente normalizzato e classificato in classi con valori discreti da 1 a 5 in ordine di gravità discendente. L'obiettivo è la quantificazione dell'impatto negli insediamenti urbani determinato dalla coesistenza di fenomeni di *heat wave* e fenomeni di *pluvial flooding*.

Il ragionamento parte dalla considerazione che, in alcune aree, le caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione possono influire in modo significativo sugli impatti climatici, soprattutto quando si considerano rischi multipli. La valutazione dell'impatto integrato tiene in considerazione le componenti sensibili del sistema urbano in relazione ai fenomeni presi in considerazione, al fine di comprenderne gli effetti complessi e sinergici che possono emergere dal coesistere di questi rischi sulla stessa zona. Affinché gli impatti singoli possano essere confrontati in modo significativo, è stato fondamentale lo step di normalizzazione e standardizzazione di ciascun valore su una scala comune. Questo processo garantisce che i dati relativi agli impatti derivanti da *heat wave* e *pluvial flooding* possano essere intersecati e valutati in modo univoco, consentendo una valutazione coerente degli impatti cumulati.

Questo approccio consente di comprendere in modo più completo gli effetti congiunti sulla città e di valutarne meglio l'entità, fornendo informazioni cruciali per la pianificazione e la gestione dei rischi climatici in contesti urbani complessi. Una volta ottenuti i valori confrontabili su una scala uniforme degli impatti dei due rischi individuali, vengono definite una serie di condizioni per l'assegnazione del valore di impatto integrato.

4. Carte di impatto integrato

A partire dai potenziali scenari di impatto integrato, ai fini di una visualizzazione dei risultati sintetica e orientata al supporto decisionale, l'indicatore di impatto integrato per sezione censuaria è classificato in classi con valori discreti da 1 a 5 in ordine di gravità discendente (alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso).

Ad ogni classe di impatto è assegnato un colore in modo tale da rendere l'elaborato uno strumento sintetico e facile da utilizzare per il supporto decisionale al progetto in ambito urbano.

Legenda	Classe di impatto integrato
	Alto
	Medio-alto
	Medio
	Medio-basso
	Basso

Tabella 11 - Scala di classificazione dell'impatto integrato.

Tutte le elaborazioni sono svolte utilizzando strumenti *GIS-based* così che, oltre alla rappresentazione grafica intuitiva, ogni sezione censuaria contiene in forma di attributi spaziali tutti i dati che hanno contribuito alla determinazione dell'impatto integrato. Le informazioni, in questo modo, possono essere inoltre modificate, aggiornate e ulteriormente combinate per il supporto decisionale a progettisti e pianificatori ma anche ad altri enti, pubblici o privati, come istituzione o enti assicurativi.

5. Individuazione degli hotspot urbani

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalla visualizzazione delle carte di output elaborate e del database costruito in ambiente GIS di impatto integrato, è possibile chiaramente individuare gli *hotspot* urbani (cfr. par. 4.1.1), ovvero le aree con maggiore criticità nell'ambito di contesti urbani critici per le quali i valori di impatto integrato rientrano nelle classi di alto e medio-alto.

Hotspot urbani	<i>Classe di impatto integrato</i>
	Alto
	Medio-alto

Tabella 12 - Criterio di individuazione degli *hotspot* urbani rispetto alla scala di classificazione di impatto integrato.

La criticità, così valutata, è basata su un insieme di dati complesso che comprende sia l'esposizione, ovvero la popolazione che è suscettibile di subire gli impatti considerati in queste zone, sia la vulnerabilità, determinata dalle caratteristiche fisiche del sistema urbano considerato.

L'identificazione di queste aree critiche rappresenta un passo fondamentale per gli step successivi di pianificazione alla scala urbana consentendo di concentrare risorse e sforzi nei settori in cui sono necessari interventi prioritari per aumentare la resilienza del territorio e proteggere la popolazione dagli impatti climatici.

Nell'ambito della ricerca condotta, è opportuno sottolineare che gli *hotspot* urbani sono individuati unicamente utilizzando un **approccio "quantitativo"**, non tenendo conto delle ulteriori condizioni non misurabili ma qualitativamente descrivibili che caratterizzano questi luoghi negli insediamenti urbani.

Un'area urbana è identificabile come un *hotspot*, anche in base alle caratteristiche legate alle sue componenti immateriali che si innestano su quelle materiali che costituiscono il contesto urbano e che sono indissolubilmente funzionali alla cultura dell'abitare. Agire con un approccio ambientale su di essi significa agire contestualmente su categorie come «variabilità, contraddittorietà e trasformabilità all'interno di un processo aperto ma compatibile con le preesistenze culturali» (Losasso, 2018b). Queste categorie rappresentano i tratti distintivi degli indirizzi operativi finalizzati alla conoscenza e alle strategie di progettazione ambientale relative alla valorizzazione delle

componenti immateriali degli insediamenti urbani. Un modello di conoscenza completo si caratterizza per lo studio sia delle componenti materiali che immateriali tenendo conto delle numerose specificità che determinano l'unicità e il valore culturale di un sistema insediativo come, ad esempio, la distinzione dei caratteri architettonici e urbani nelle successive stratificazioni ambientali, l'organizzazione degli spazi, i rapporti di continuità ambientale, la visualizzazione spaziale dell'insieme e dei singoli elementi che costituiscono il sistema ma anche, i valori funzionali di questi elementi e la loro rispondenza alla vita della comunità e all'ambiente, in un contesto nel quale la qualità della vita, un valore culturale intangibile, diventa un'espressione della qualità ambientale del contesto stesso (Losasso, 2018a).

Un ulteriore aspetto da tenere in conto nella valutazione degli impatti integrati riguarda la diversità degli elementi da considerare che costituiscono un insediamento urbano. Da un lato, si manifesta, infatti, la complessità della quantificazione degli impatti (legati agli aspetti materiali), dall'altro la complessità legata alla valutazione delle componenti immateriali che caratterizzano in maniera univoca i diversi contesti, entrambe determinando specifiche esposizioni e vulnerabilità che influiscono sugli impatti climatici.

Esistono diversi approcci per l'individuazione e la valutazione degli impatti, che vanno da quelli qualitativi o rappresentativi a modelli di analisi e simulazione. Tra questi, l'approccio multicriteriale (Gravagnuolo et al., 2021) emerge come il più idoneo nell'ambito della valutazione degli impatti climatici, in particolare legati alla definizione di strategie di intervento per l'adattamento climatico (Mrak et al., 2022; Kubal et al., 2009). Tale approccio implica l'identificazione di diverse alternative di soluzioni e un insieme di criteri eterogenei che rende possibile in una maniera più dettagliata la comparazione degli impatti. È un metodo di valutazione molto utile in particolare nel campo del *decision-making* a livello progettuale degli insediamenti urbani, in quanto permette di confrontare con un vasto sistema di parametri (legati sia alla componente materiale che immateriale dei sistemi urbani) diverse alternative di intervento.

4.2 Il *Proof of Concept Design Process* per il supporto decisionale degli interventi di adattamento climatico in scenari multirischio

4.2.1 I principi del *Proof of Concept*: definizione e obiettivi

Le attuali sfide legate alle condizioni multirischio connesse al cambiamento climatico negli insediamenti urbani impongono una profonda analisi dei molteplici fattori connessi alla comprensione, valutazione e interazione reciproca di tali rischi. Questo complesso scenario richiede un approccio sistemico mirato a sviluppare metodologie e modelli destinati a prevenire, adattare e mitigare gli impatti climatici, il tutto con l'obiettivo di potenziare la resilienza delle comunità urbane.

In uno scenario così delineato, l'attuazione di strategie e azioni sostenibili e resilienti diventa un elemento cruciale per prevenire e contrastare gli effetti negativi dei rischi associati agli eventi climatici estremi, considerando attentamente la dimensione ambientale nei processi progettuali. L'efficacia di tali progetti risiede nella loro capacità di anticipare scenari futuri attraverso l'impiego di quadri di conoscenza avanzati, l'analisi dei centri urbani da una prospettiva sistemica e l'utilizzo di strumenti di supporto al progetto ambientale. Questi modelli strumenti possono comprendere modelli di interpretazione dei contesti urbani e modellazioni che consentono di valutare e pianificare in modo accurato le misure necessarie per affrontare le sfide climatiche emergenti e migliorare la resilienza delle comunità urbane.

La resilienza degli insediamenti urbani nel nuovo regime climatico è, dunque, intrinsecamente legata alla loro capacità di anticipare e comprendere i futuri scenari climatici. Un progetto urbano resiliente si presenta come un progetto che integri in maniera armonica la dimensione ambientale, anticipando scenari futuri e adattandosi alle specifiche condizioni locali (Losasso, 2017)). Questa capacità di adattamento rende il progetto urbano in grado di affrontare con successo gli imprevisti e le sfide poste dai cambiamenti climatici, mentre continua a garantire una qualità di vita sostenibile per i suoi abitanti.

In questo scenario, emerge con chiarezza la necessità di sviluppare una **conoscenza orientata al supporto decisionale**, soprattutto nella fase di definizione della fattibilità e di sperimentazione delle idee e dei *concept* progettuali. Ciò è possibile tramite l'impiego di un approccio focalizzato sulla valutazione della fattibilità dei *concept* progettuali, noto come ***Proof of Concept*** (PoC), attraverso l'utilizzo di progetti pilota, dimostratori e *test bed*. Questo approccio consente di sviluppare una metodologia che incorpora requisiti specifici, misurazioni, obiettivi e risultati, determinando l'applicabilità di un'idea in vari scenari potenziali.

In termini generali, il *Proof of Concept* è un prototipo concettuale, sviluppato in una fase pre-decisionale, finalizzato alla valutazione delle potenzialità di un'idea e degli investimenti associati.

Significa letteralmente “prova di concetto” e simula l’idea di un nuovo prodotto o servizio, inizialmente come un prototipo concettuale e, in seguito, con test reali.

Una definizione di “*proof of concept*” può essere la seguente: una prova di un’idea o metodo che è fattibile tecnologicamente (Goldenberg, 2023). Attualmente, il processo di *proof of concept* non è incorporato nelle metodologie esistenti di sviluppo del progetto, ma è utilizzata come strumento in alcune teorie di sviluppo del prodotto, come quelle di Ulrich ed Eppinger, Ullman e Otto e Wood (Westberg, 2014). La rilevanza del *proof of concept* risiede nella sua capacità di dimostrare la fattibilità di un’idea o metodo nella pratica (Paterson & Dayson, 2011).

Nel contesto della valutazione di fattibilità e sperimentazione di idee e *concept*, il PoC si configura come una fase critica nel processo progettuale che mira a trasformare il concetto iniziale di un prodotto (sia esso materiale o immateriale) o di un processo in un *concept* chiaramente definito. Questo passaggio è fondamentale per formalizzare successivamente un intervento, una produzione o un’organizzazione strutturata. Il *Proof of Concept Design* si caratterizza per la sua ciclicità, che trova corrispondenza in un approccio metodologico completo e sistematico all’osservazione, alla conoscenza, all’individuazione delle criticità e alla valutazione dei fattori di *hazard*, vulnerabilità ed esposizione.

Questo processo comporta una valutazione approfondita degli impatti potenziali e dei requisiti necessari alla conversione del *concept* in azioni concreti. Inoltre, questo processo implica anche la definizione di scenari possibili e obiettivi strategici e la messa a punto di azioni specifiche per il contrasto degli impatti identificati o la mitigazione delle cause che li generano. Una caratteristica fondamentale di questo approccio è il suo basarsi su **processi iterativi e progressivi**, orientati all’**innovazione graduale**.

Un aspetto cruciale del *Proof of Concept Design Process* è la sua connessione con il concetto di *Technology Readiness Level* (TRL)³⁹, che esprime il grado di maturità tecnologica di un’ipotesi o di un progetto (Bruno et al., 2020; EC, 2014). Tuttavia, è opportuno notare che il PoC va oltre la sola tecnologia, poiché può essere applicato anche all’ambito urbano nella sua complessità tenendo in considerazione i vari aspetti che lo compongono.

³⁹ Il *Technology Readiness Level* (TRL) è un indice che può essere utilizzato per valutare il grado di sviluppo e maturità di una tecnologia. Esso consente di identificare e monitorare le diverse fasi coinvolte nel processo di sviluppo tecnologico, dall’ideazione iniziale fino alla potenziale commercializzazione. Il TRL suddivide questo percorso in diverse fasi: fasi di ricerca e sviluppo, di riproduzione in laboratorio, di *testing*, di prototipizzazione e di piloting sino al monitoraggio di fasi sperimentali produttive e operative. Può assumere un valore che va da 1 a 9, dove il valore più basso (1) rappresenta uno stadio iniziale di sviluppo tecnologico, mentre il valore più alto (9) indica una tecnologia completamente sviluppata e pronta per l’implementazione sul mercato.

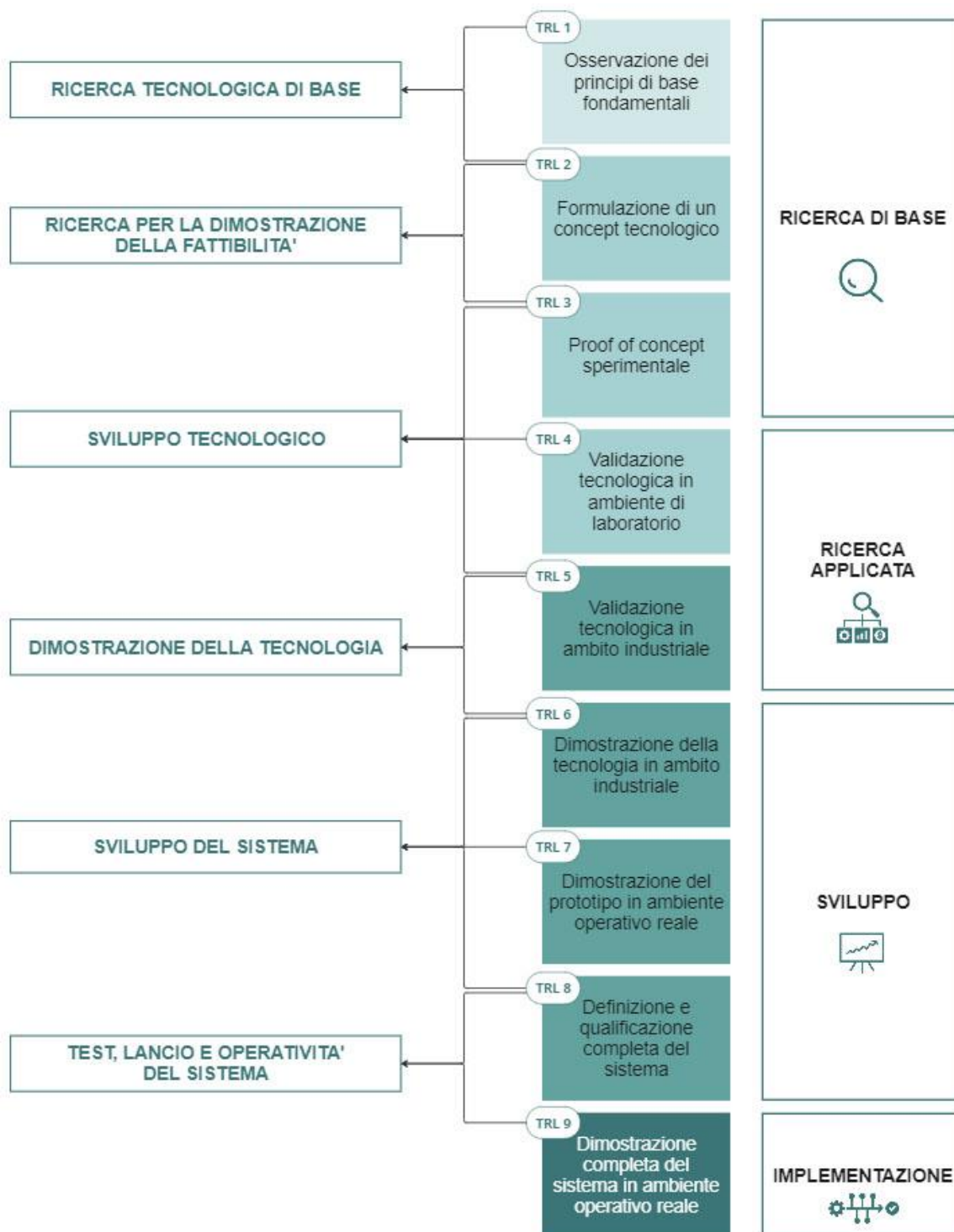


Figura 58 - Livelli di *Technology Readiness Level*.

Il grado di TRL distingue e identifica per un progetto o un prodotto le fasi di ricerca e sviluppo, di riproduzione in laboratorio, di testing, di prototipizzazione e di piloting sino al monitoraggio di fasi sperimentali produttive operative.

Il *Proof of Concept Design Process* può essere paragonato al metaprogetto e al *metadesign*, concetti che hanno la loro origine negli anni '70 nell'ambito dell'ingegneria meccanica (De Paolis, 2005; Franzato, 2005). Tuttavia è importante notare che il metaprogetto segue un approccio prevalentemente lineare mentre il PoC segue una metodologia più dinamica nell'approccio alle

impostazioni e alla risoluzione dei problemi, concentrandosi sulla definizione di soluzioni, test e scenari parziali che aiutano a valutare il grado di fattibilità di un *concept*.

Dal *metadesign* al *Proof of Concept Design Process*

Il *Metadesign* rappresenta una metodologia pre-progettuale che si estende dall'ambito materiale a quello immateriale nei sistemi funzionali-spaziali. È un processo che si è sviluppato inizialmente nell'ambito della tecnologia e del design industriale.

Questo tipo di approccio integrato considera diversi fattori, tra cui l'ambiente, la tecnologia, la morfologia, il contesto socioeconomico e culturale, ecc., cercando di comprendere le interconnessioni tra di essi.

Una delle componenti fondamentali del metaprogetto riguarda la fase preliminare di organizzazione dei requisiti, sia quelli specifici che quelli relazionali. La definizione dei requisiti deriva da un'analisi approfondita delle attività coinvolte e da interazioni con le parti interessate nel processo progettuale. L'obiettivo principale è quello di generare una serie di scenari e variazioni (che possono riguardare dimensioni, spazi, aspetti tecnologici, organizzativi, funzionali, tipologici, concettuali e operativi) per definire soluzioni diverse ma tutte orientate verso gli obiettivi prestabiliti (Leone & Raven, 2018; Losasso et al., 2020).

Il *Metadesign* può rappresentare una delle fasi maggiormente critiche nell'ambito del processo decisionale che mira a esaminare in modo approfondito e interdisciplinare le diverse dimensioni e diversi settori che costituiscono il panorama delle decisioni progettuali. Nonostante si proponga di analizzare in modo esaustivo tutti i molteplici aspetti dei sistemi decisionali, l'approccio del *metadesign* è di base un approccio di tipo lineare.

Il concetto di *Proof of Concept* (PoC) può essere paragonato a quello di metaprogetto e *metadesign*. Il metaprogetto implica una fase pre-progettuale durante la quale vengono definite le azioni sia di tipo materiale che immateriali attraverso l'identificazione di requisiti specifici. L'obiettivo è offrire un ampio spettro di scenari e variazioni che generino diverse soluzioni allineate agli obiettivi prestabiliti. Diversamente dall'approccio lineare del metaprogetto, che potrebbe costituire una limitazione in certi contesti, l'approccio del *Proof of Concept* è un attivo e dinamico. Dopo le fasi iniziali di sviluppo, validazione e test, si intraprende un percorso ciclico. Il miglioramento continuo realizzato tramite l'iterazione più volte del processo richiama la filosofia Kaizen, che promuove l'innovazione graduale e il costante perfezionamento delle soluzioni.

Inoltre, il PoC è un processo strettamente legato alla dimostrazione della fattibilità di un'idea o di un *concept* e coinvolge la creazione di un prototipo o modello per testare ed valutare il concetto prima di ulteriori sviluppi o implementazioni.

Box 10 - Confronto tra il *Metadesign* e il *Proof of Concept*.

Un *Proof of Concept* è, dunque, un processo volto a dimostrare la **fattibilità** e il potenziale di un concetto o di un'idea. L'obiettivo principale è quello di convalidare la fattibilità tecnica, operativa ed economica di una soluzione o di un'innovazione proposta. Attraverso questo processo, si cercano di identificare e affrontare eventuali sfide o limitazioni che potrebbero emergere nelle prime fasi del processo progettuale. Un *proof of concept* si basa sulla creazione di un prototipo o una simulazione che permetta di testare concretamente il concetto o l'idea.

Questa fase iniziale di validazione rappresenta uno step essenziale per garantire che un'idea possa essere tradotta in una soluzione pratica e efficiente. Durante il *Proof of Concept Design Process*, vengono raccolti dati e informazioni cruciali per valutare la fattibilità e l'efficacia del concetto proposto. Questi dati possono essere di diversa natura e includere risultati tecnici, dati operativi e

analisi dei costi. I dati e le prove raccolte durante questo processo forniscono una base solida per decidere se continuare a investire nell'idea, svilupparla ulteriormente e implementarla. Inoltre, questa fase contribuisce a identificare i rischi potenziali e a mitigarli in anticipo, riducendo il potenziale spreco di risorse in progetti che potrebbero non essere praticabili o efficaci.

Un *proof of concept*, altresì, è spesso utilizzato per interfacciarsi con *stakeholder*, investitori o *decision-makers* dimostrando l'efficacia e il valore dell'idea proposta. Presentando dati concreti e risultati positivi, infatti, si può dimostrare in modo convincente che il concetto o l'idea proposta abbiano il potenziale di generare benefici significativi.

In sintesi, il *Proof of Concept Design Process* è uno strumento essenziale per ridurre i rischi, ottimizzare le risorse e garantire la fattibilità di un'idea o una proposta progettuale e rappresenta uno step critico nello sviluppo del processo progettuale.

4.2.2 Lo sviluppo del PoC in ambito urbano

Il *Proof of Concept Design Process* è caratterizzato da un approccio metodologico che mira a sviluppare un prodotto in una fase intermedia del suo ciclo di sviluppo e realizzazione. Lo scopo principale del PoC non è tanto quello di giungere al prodotto finale, ma piuttosto di testare un'idea o un concetto per dimostrarne la fattibilità. In sostanza, il PoC agisce come un ponte tra il concetto iniziale e il prodotto finale, consentendo un'analisi approfondita delle potenzialità e delle sfide legate all'idea in oggetto.

L'approccio metodologico utilizzato in un processo di progettazione del *Proof of Concept* prevede tipicamente diverse fasi⁴⁰.

Il primo passo riguarda la definizione chiara del problema o dell'obiettivo che il PoC mira ad affrontare o raggiungere. Successivamente è necessario sviluppare una progettazione concettuale o un'idea che rappresenti la soluzione che si vuole proporre, delineandone gli aspetti chiave e le diverse componenti e funzionalità. Il passo successivo è l'elaborazione di un modello o di una versione in scala ridotta della soluzione proposta. Questo modello viene poi testato e valutato per stabilirne la fattibilità, la funzionalità e le prestazioni. La fase di *testing* coinvolge la conduzione di esperimenti, simulazioni o prove per raccogliere dati e informazioni finalizzate alla valutazione dell'efficacia del concept proposto. I risultati e le conclusioni della fase di testing sono analizzati e utilizzati per perfezionare e migliorare il *design*. Infine, sulla base della valutazione condotta sui risultati ottenuti dalla fase di testing, possono essere apportate ulteriori iterazioni o modifiche al design prima di procedere alle fasi successive di sviluppo o implementazione⁴¹.

⁴⁰ *Phases of a Proof of Concept (POC)* (2022), <https://www.infinitearesearch.com/en/sin-categoria-en/phases-of-a-proof-of-concept-poc/>.

⁴¹ Malsam, W. (2023), *What Is Proof of Concept (POC)? Examples for Business, Software & More*, <https://www.projectmanager.com/blog/proof-of-concept-definition>

Le fasi del *Proof of Concept Design* possono essere, quindi, distinte in:

1. Definizione dell'obiettivo che la il concept o l'idea proposta devono raggiungere;
2. Sviluppo del concept o dell'idea progettuale;
3. Elaborazione di un modello in scala ridotta che replichi tutte le caratteristiche del concept o dell'idea progettuale;
4. *Testing* del modello attraverso simulazioni;
5. Raccolta dei dati derivanti dalla fase di testing;
6. Valutazione e validazione del concept o dell'idea progettuale:
 - a. Se i risultati raccolti durante la fase di *testing* dimostrano la validità del concept nel raggiungimento dell'obiettivo fissato, si passa alle successive fasi di sviluppo della proposta progettuale;
 - b. Se i risultati raccolti durante la fase di testing non dimostrano la validità del concept nel raggiungimento dell'obiettivo fissato, si procede alla reiterazione del processo partendo dal punto 2 migliorando e implementando il concept di partenza.

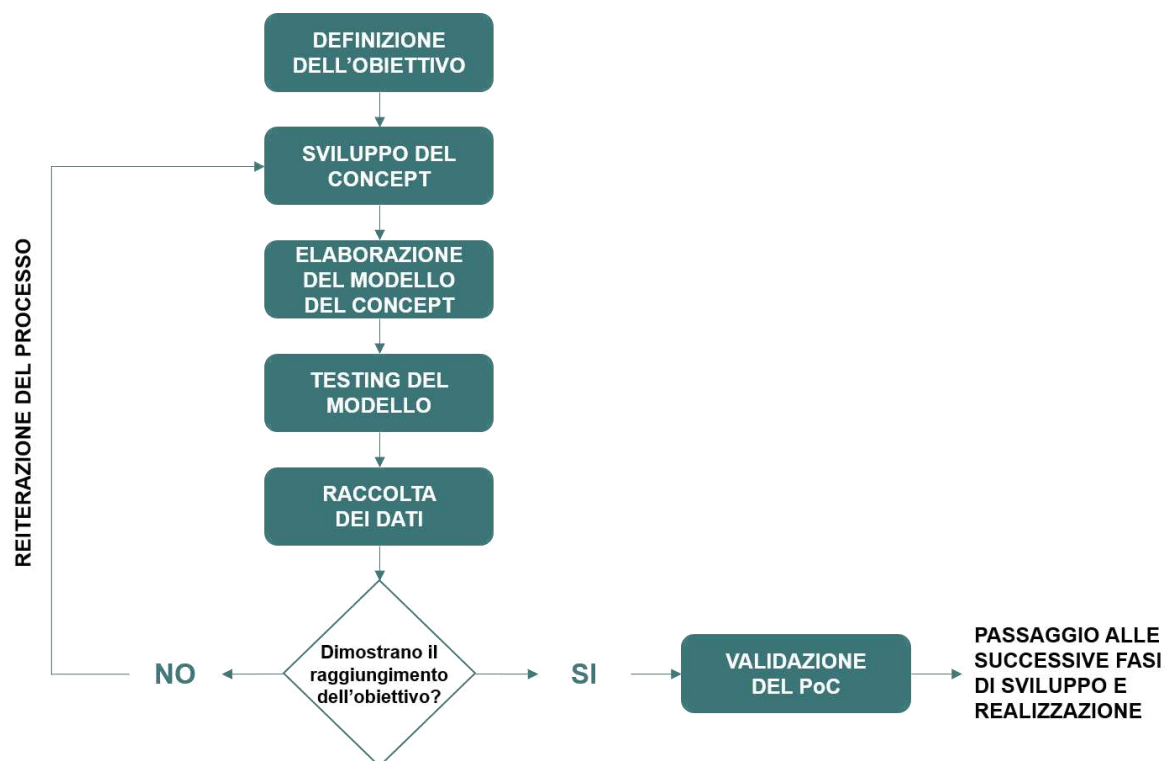


Figura 59 - Framework processuale del *Proof of Concept Design Process*.

Il PoC, presentato sotto forma di un documento o di dimostrazioni pratiche, si traduce spesso in un prototipo, che può essere sia di natura materiale che immateriale, e che deve operare in un contesto specifico e rappresentativo dell'ambito di interesse. In questa fase, strumenti come il prototipo stesso, il *pilot* o il *Minimun Viable Product* (MVP)⁴² sono finalizzati a evidenziare non solo le

⁴² Il *Minimun Viable Product* (MVP) o "prodotto minimo funzionante" indica la versione iniziale e base di un prodotto priva delle caratteristiche più avanzata ma che contiene solo quelle essenziali. È un prodotto reale

potenzialità dell'idea, ma anche le incertezza, i problemi e le criticità che richiedono ulteriori approfondimenti, iterazioni e test necessari per perfezionare il concept.

Prototipo	Modello limitato, sviluppato per garantire la validità di un'idea o di un processo e fornire le linee guida per un sistema reale che funzioni correttamente.
Pilot	Una versione di un'idea o di un processo funzionante che può essere applicate nella vita reale, anche se parziale.
Minimun Viable Product	Una versione rapida di un'idea o di un processo, anche se parziale, realizzata allo scopo di determinare se è opportuno procedere a una soluzione più avanzata.

Box 11 - Definizioni di prototipo, pilot e MVP⁴³.

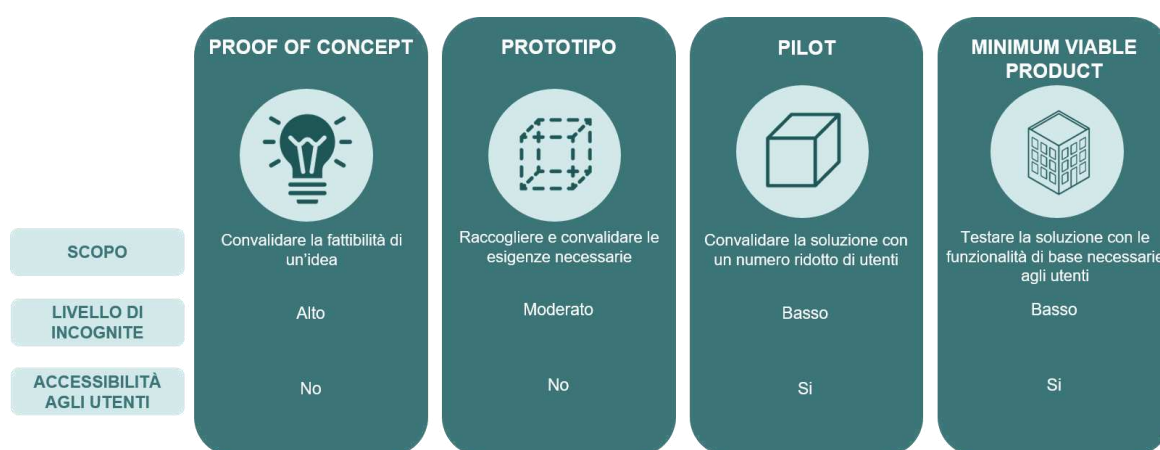


Figura 60 - Differenze tra il PoC e le possibili successive fasi di sviluppo⁴⁴.

Il *Proof of Concept Design Process* può rivestire dunque un ruolo di fondamentale importanza nel contesto della riorganizzazione delle città. In particolare, può rivelarsi un prezioso strumento per la realizzazione di interventi negli *hotspot* urbani, intesi come aree caratterizzate da una particolare concentrazione di rischi e nelle **fasi di pianificazione degli interventi di adattamento necessari**. L'approccio metodologico circolare del PoC, così codificato, consente infatti di comprendere quali azioni, misure e interventi siano necessari per mitigare gli impatti derivanti da rischi climatici anche mettendo in campo processi di *progressive upgrade*, ovvero di miglioramento progressivo degli interventi ipotizzati.

L'applicazione del processo in ambito urbano rende necessario operare un bilanciamento tra l'esigenza di una contestualizzazione spaziale (e geografica) e un processo di astrazione

che viene generato con le minori spese e le caratteristiche basiche sufficienti a testarlo subito con la potenziale clientela immettendolo sul mercato e ricavandone i feedback. Le caratteristiche principale di un MVP sono: tempi di realizzazione brevi e costi contenuti.

⁴³ *Proof of Concept vs Prototype vs MVP vs Pilot*, <https://www.cprime.com/resources/blog/proof-of-concept-vs-prototype-vs-mvp-vs-pilot-plan-to-realize-your-idea/>

⁴⁴ Kahil, D. (2021), *Envisioning To Delivery – POC, Prototypes, Pilots and MVP*, <https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

necessario per ottenere alcuni principi generali di intervento attraverso l'attivazione di un processo induttivo-deduttivo. Ciò richiede sempre di partire da contesti reali in quanto i fattori di esposizione, vulnerabilità e *hazard* dell'ambiente costruito sono strettamente connesse alle caratteristiche *site-specific* tipo-morfologiche, funzionali-spaziali e ambientali che incidono notevolmente sugli impatti climatici e sulla capacità di risposta ad essi.

Inoltre, grazie alla capacità di mettere a sistema una serie di tool, approcci e obiettivi della realtà virtuale e della modellazione e simulazione digitale, il PoC risulta un mezzo efficace per far fronte alla chiara richiesta degli *stakeholders* nelle aree urbane, ovvero la necessità di un supporto decisionale per orientare verso strategie di adattamento per il contrasto degli impatti climatici le trasformazioni fisiche, funzionali, sociali ed economiche degli assetti urbani e dei servizi ad essi connessi.

L'approccio metodologico del PoC si configura come un processo multidimensionale che innesci lo sviluppo di idee e concept progettuali alla scala urbana ed edilizia in seguito all'identificazione di esigenze specifiche dei contesti oggetto della progettazione. Queste vengono sottoposte a un processo iterativo di confronto dei risultati attesi e di quelli ottenuti, che costituisce una fase molto importante nello sviluppo stesso del PoC, conducendolo gradualmente a un livello di maturità medio.

Il PoC, grazie alle caratteristiche di flessibilità e adattabilità proprio del processo, permette di prevedere e riprodurre cicli ricorsivi di modellazione, simulazione, analisi e valutazione delle ipotesi progettuali che permettono di apportare miglioramenti all'idea di partenza. I PoC possono infatti essere molteplici tenendo conto dell'adattamento ai rischi e della mitigazione delle loro cause con un approccio pragmatico che si basa su valutazioni e validazioni continue, garantendo l'allineamento con obiettivi misurabili e dimostrabili. In questo modo, i *Proof of Concept* diventano non solo strumenti di sperimentazione tecnologica ma anche veicoli per la gestione efficiente dei rischi e la realizzazione di progressi significativi nei contesti di ricerca e sviluppo nel campo degli interventi di adattamento per l'ambiente costruito.

In sintesi, il Proof of Concept Design Process permette di esplorare soluzioni innovative e promuovere l'adozione di strategie di adattamento in grado di aumentare la resilienza degli insediamenti urbani. Il PoC rappresenta un processo decisionale informato che si basa su dati concreti, analisi approfondite e valutazioni dettagliate e fornisce, in questo modo, una base solida per il futuro sviluppo e la gestione delle città in un contesto di cambiamento climatico in evoluzione.

4.2.3 Sistemi di adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia

Il progetto di adattamento per il contrasto degli impatti climatici si caratterizza per la multiscalarità sia in fase istruttoria che operativa. In quest'ambito, la tecnologia consente di gestire il processo progettuale integrando visioni ad ampia scala con definizioni di dettaglio identificando diverse scale di riferimento (insediamento, distretto, sistema edificio-spazio aperto).

In ambito urbano, la valutazione degli impatti climatici derivanti dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* costituisce una fase fondamentale per definire l'applicabilità del progetto di adattamento climatico inteso come progetto in grado di contrastare i danni derivanti da scenari di rischio futuri.

Negli ultimi decenni, l'aumento della consapevolezza dell'aggravamento della vulnerabilità agli impatti climatici degli insediamenti urbani ha contribuito alla definizione di un quadro condiviso a livello internazionale sulle principali strategie progettuali e soluzioni tecnico-progettuali per gli interventi di adattamento climatico che occorre integrare opportunamente a quelle previste per la mitigazione delle emissioni climalteranti nei processi di rigenerazione urbana e retrofit edilizio (Leone, 2017).

In questo quadro, risulta necessaria una concezione degli insediamenti come entità complesse in una prospettiva dinamica per la quale gli interventi di adattamento si configurano come interventi flessibili di riqualificazione e di retrofit alla scala urbana ed edilizia. Questi interventi, per essere efficaci dal punto di vista del contrasto degli impatti climatici, richiedono l'utilizzo di un flusso continuo di informazioni e di dati (derivanti da simulazioni, indicatori, sensori, ecc.) che attraverso processi continui di *feedback* propri del *Proof of Concept Design Process* (cfr par. 4.2.1) portano a interventi sull'ambiente costruito con ricadute reattive e sistemiche, che contribuiscono alla resilienza del sistema.

Le misure alla scala locale di cui servirsi per l'adattamento agli impatti climatici sono il risultato di programmi di ricerca e di innovazione che servono alla definizione di strumenti operativi nell'ambito del progetto *climate-resilient* alla scala urbana ed edilizia con azioni strategiche sia a breve che a medio termine. A livello internazionale, esistono oggi numerosi strumenti che raccolgono e catalogano le differenti soluzioni-tipo possibili esistenti per l'adattamento climatico. Tra questi, vi è la piattaforma *Climate Adapt*⁴⁵, attualmente tra gli strumenti di riferimento delle conoscenze relative alle buone pratiche e alle soluzioni di adattamento e mitigazione nell'ambito dei Paesi dell'Unione Europea. A questa, si aggiunge anche il progetto *RESIN – Climate Resilient Cities and Infrastructures*⁴⁶, un progetto di ricerca europeo finalizzato a potenziare la resilienza climatica nelle città europee. Il progetto ha sviluppato strumenti pratici e applicabili per supportare le città nella progettazione e implementazione di strategie di adattamento climatico per i loro contesti locali, tra cui la *RESIN Adaptation Options Library*, incentrata sulle prestazioni delle misure di adattamento rilevanti per i contesti urbani, coprendo specificamente misure legate al calore, alluvioni pluviali, fluviali e costiere e alla siccità (Bassolino, 2022).

⁴⁵ CLIMATE-ADAPT, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

⁴⁶ *Climate resilient cities and infrastructure (RESIN)*, <https://cca-p6.devel5cph.eionet.europa.eu/en/metadata/projects/climate-resilient-cities-and-infrastructure#:~:text=Climate%20resilient%20cities%20and%20infrastructure%20RESIN%20is%20a,critical%20infrastructure%20to%20extreme%20weather%20and%20climate%20change.>

CLIMATE APP ⁴⁷	CLIMATE-ADAPT ⁴⁸	CLARITY ⁴⁹	URBAN GREEN BLUE GRIDS ⁵⁰	URBAN ADAPTATION TOOL (UAT) ⁵¹
1. Definizione e funzione primaria 2. Co-benefits 3. Dettagli 4. Adaptation target (pluvial flooding, drought, heat, coastal and pluvial flooding, groundwater)	1. Descrizione 2. Categoria 3. Categoria IPCC 4. Partecipazione e degli stakeholder 5. Fattori di successo e limiti 6. Costi e benefice 7. Aspetti legali 8. Tempo di implementazione/realizzazione 9. Life time	1. Descrizione tecnica 2. Benefice climatici 3. Adaptation targets (heat wave, pluvial flooding, fluvial flooding/storm surge) 4. Performance parameters (albedo, emissività, runoff) 5. Costi (costruzione, manutenzione/gestione) 6. Co-benefits (ambientali, sociali, economici)	1. Descrizione 2. Dettagli aggiuntivi 3. “Temi” (water, heat, biodiversity, urban agriculture, air quality, energy, social and economic importance)	1. Descrizione 2. Benefici (climatici) 3. Co-benefits 4. Effetto sugli hazard (urban heat island) 5. Casi studio

Tabella 13 - Confronto tra le strutture dei diversi cataloghi di soluzioni tecniche climate proof consultati per l'individuazione delle categorie di intervento per l'adattamento climatico agli impatti multirischio.

Sulla base di tali programmi e studi e dalle esperienze di progetti di adattamento a livello nazionale e internazionale (cfr. 3.1.4) è possibile identificare alcune categorie di intervento-tipo tra i sistemi di adattamento agli impatti climatici di *heat wave* e *pluvial flooding*, identificando anche la scala di intervento alla quale essere operano. Tra queste, in particolare, quelle maggiormente diffuse nell'ambito delle *best practices* internazionali consolidate emergono sistemi per il retrofit degli edifici (isolamento termico, infissi performanti), sistemi legati all'impiego di *cool materials* (*cool pavements*, *cool reflective roofs*) e sistemi legati ad azioni di *greening*, *de-paving*, *shading* e *water bodies*.

⁴⁷ *ClimateApp*, <https://www.climateapp.nl/>

⁴⁸ *CLIMATE-ADAPT*, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

⁴⁹ *CLARITY*, <https://clarity-h2020.eu/>. Nell'ambito della reportistica è proposto il catalogo “Adaptation Measures Technical Cards”, annex III D 3.3.

⁵⁰ *URBAN GREEN-BLUE GRIDS for resilient cities*, <https://www.urbangreenbluegrids.com/design-tool/>

⁵¹ *Urban Adaptation Tools (UAT)*, <https://crudlaburba.wixsite.com/tools/maps>. Il sito si basa sul lavoro di ricerca svolto dagli studenti del Département Génie Urbain della Université Gustave Eiffel (Angela Ruggiero, Nicolas Bernard e Danna Lopez; coord. Margot Pellegrino).

Hazard di riferimento: heat wave

Le temperature elevate collegate al prolungarsi per lunghi periodi di tempo di fenomeni di ondata di calore influenzano vari aspetti dalle città (sia dal punto di vista della salute che dell'ambiente costruito). Per questo motivo, l'efficacia delle misure di adattamento che si confrontano con l'*hazard heat wave* è legata a diversi parametri ambientali che fanno riferimento non solo al comfort termoisometrico ma anche alle caratteristiche dell'ambiente costruito (come albedo, temperature superficiali, ecc.).



Figura 61 - Efficacia delle misure di adattamento rispetto all'*hazard heat wave* (Fonte: EEA, 2020).

Nel campo dei sistemi per l'adattamento agli impatti derivanti dai fenomeni di ondata di calore, le *green infrastructure* così come le *Nature Based Solutions* sono sicuramente tra quelli più efficaci. La presenza di vegetazione può ridurre la capacità di accumulo del calore delle superfici urbane e abbassare la temperatura dell'aria attraverso un aumento dell'evapotraspirazione e l'ombreggiatura. Le *green infrastructure* può inoltre offrire altri benefici, come la riduzione del rischio di inondazioni e una varietà di vantaggi socio-economici e di benessere (Dell'Acqua, 2023).

Le *Nature Based Solutions* si delineano, inoltre, come possibili catalizzatori di resilienza e promotori di processi di trasformazione sostenibile. Un aspetto che le rende particolarmente vantaggiose è la loro adattabilità alle diverse scale che consente loro di generare benefici su più livelli e di essere integrate nel progetto urbano in varie declinazioni (Calliari et al., 2019). Questa versatilità delle NBS emerge sia a livello fisico che concettuale, poiché possono apportare benefici non solo di natura ambientali ma anche di ordine economico e sociale. La loro caratteristica di potersi aggregare in «sistemi multifunzionali, in grado di generare significativi valori aggiunti superiori alla semplice somma delle parti» (Mussinelli, Tartaglia, Bisogni, Malcevschi 2018, p. 116) le rende adatte a essere integrate, connesse o annesse tra loro o a sistemi di natura differente, rendendole fruibili su diverse scale.

L'utilizzo di interventi di *greening* urbano nell'ambiente costruito emerge, di fatto, come una delle soluzioni più ampiamente adottate e universalmente supportate dalla comunità scientifica. Ciò è dovuto al contributo significativo che la vegetazione può apportare al miglioramento del microclima urbano, attraverso la riduzione delle temperature dell'aria, la fornitura di ombreggiatura diretta e l'evapotraspirazione delle superfici naturali.

Altre opzioni per la riduzione degli impatti delle temperature elevate in ambito urbano contemplano l'utilizzo di *cool materials*, ovvero materiali con elevata riflettanza solare ed emissione infrarossa, su facciate, tetti e pavimenti; soluzioni basate sull'utilizzo dell'acqua come, ad esempio, la nebulizzazione all'aperto (tenendo sempre presente la disponibilità delle risorse idriche); e, quando possibile, modifiche della configurazione urbana agendo sulla densità edilizia e l'altezza degli edifici.

Un aspetto fondamentale riguarda l'integrazione di diverse soluzioni tecniche per arrivare a sistemi di adattamento in grado di produrre i maggiori benefici in termini di riduzione dell'impatto dell'*heat wave*. Ad esempio, l'implementazione di soluzioni NBS con soluzioni basate sull'introduzione di *water bodies* nelle aree urbane e l'uso di materiali riflettenti può portare a diminuzioni sostanziali delle temperature urbane come dimostrato da uno studio condotto per la città di Porto. Lo studio ha dimostrato che, in un futuro evento di ondata di calore nella città, il raddoppio delle superfici verdi dal 5% al 10 % della superficie urbana risulta in una diminuzione delle temperature massime nei pressi delle aree edificate di circa 1°C durante il giorno e di 0.3-0.5°C durante la notte. Inoltre, questa riduzione di temperature è stata osservata, seppur in misura più ridotta, anche in seguito all'impiego di tetti verdi o di *cool reflective roofs* su circa il 75 % della superficie edificata della città (Carvalho et al., 2017; EEA, 2020).

Da un punto di vista della morfologia urbana, aumentare l'altezza degli edifici o, nel caso di nuovi insediamenti, il corretto orientamento dei tracciati, può contribuire ad aumentare le zone d'ombra e a creare "canali" che favoriscano la ventilazione naturale sia alla scala urbana che a quella dell'edificio stesso, migliorando complessivamente il comfort termico degli utenti.

Per quanto riguarda gli edifici, invece, le soluzioni più efficaci per il miglioramento del comfort termico *indoor* in caso di eventi di ondata di calore, includono l'utilizzo di tetti verdi in combinazione con *cool reflective roofs*. A questi possono essere associati sistemi per il raffreddamento passivo e *schermature esterne* per evitare l'irraggiamento solare diretto. In particolare, numerosi studi hanno dimostrato che l'utilizzo di schermature esterne risultano tra le soluzioni più efficaci per la riduzione delle temperature interne sia per le abitazioni che per gli edifici adibiti ad ufficio. Un altro metodo chiave per abbassare la temperatura negli edifici è l'aumento della ventilazione naturale.

Un altro aspetto da considerare rispetto ai sistemi di adattamento all'*heat wave* è quello legato all'utilizzo degli impianti di condizionamento. Un utilizzo estensivo di questi impianti, infatti, può essere visto come un maladattamento, poiché può aumentare le emissioni di gas climalteranti in atmosfera, emette calore all'esterno e non sempre è efficace (particolarmente durante i periodi in cui il sistema energetico è potenzialmente sotto stress a causa dell'eccessiva domanda e utilizzo). Tuttavia, l'associazione di questi sistemi per il condizionamento a sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili (come impianti fotovoltaici) può costituire una possibile soluzione che contempla sia la necessità di adattamento agli impatti climatici che la mitigazione delle emissioni climalteranti (International Energy Agency [IEA], 2018).

Hazard di riferimento: pluvial flooding

Il *flooding* rappresenta probabilmente uno tra gli *hazard* climatici più evidenti e dannosi in Europa, a causa degli impatti visibili che determina. Eventi di *pluvial flooding* (inondazioni da acque superficiali) si verificano quando un evento di pioggia estremamente intenso satura i sistemi di drenaggio. Ciò provoca inondazioni localizzate e improvvise perché l'acqua non riesce ad essere riassorbita e smaltita. Per questo motivo, nelle città la riduzione degli impatti causati da fenomeni di questo tipo è cruciale.



Figura 62 - Efficacia delle misure di adattamento rispetto all'hazard pluvial flooding (Fonte: EEA, 2020).

A questo scopo, le *green infrastructure* in combinazione con le NBS svolgono ancora una volta un ruolo fondamentale. Infatti, sistemi come i tetti verdi o le trincee vegetate si dimostrano essere efficaci nell'intercettare l'acqua piovana, riducendo il deflusso e ritardando il picco di portata (Dell'Acqua, 2023).

Questi possono essere accoppiati a sistemi per il drenaggio delle acque piovane come *gutter*, ovvero uno scarico aperto non permeabile utilizzato per la raccolta delle acque piovane lungo le strade, solitamente connesso al sistema fognario. La sua pendenza può seguire quella della strada stessa o può essere realizzata artificialmente. In questo caso non può avere una lunghezza superiore ai 30 m; se, invece, segue la pendenza stradale, deve avere una profondità di almeno 0.5 m⁵².

Una funzione simile può essere svolta anche da NBS come i *rain garden*, aiuole depresse che intercettano acqua piovana proveniente da tetti, suolo stradale, aree parcheggio che generalmente si accumula durante gli eventi atmosferici. Questi sistemi contribuiscono notevolmente alla riduzione dell'impatto e dell'inquinamento idrico, intercettando e trattenendo l'acqua piovana di ruscellamento e deflusso urbano, riducendo quindi il cosiddetto effetto *runoff*.

Altri sistemi di adattamento ai fenomeni di *pluvial flooding* prevedono la definizione di aree alla scala urbana per la raccolta al suolo dell'acqua piovana come bacini di raccolta o *water squares*.

Un ruolo importante è svolto anche dalle pavimentazioni permeabili che, quando accoppiate a *cool materials*, oltre a fornire un elevato contributo alla riduzione delle temperature urbane e all'effetto isola di calore urbana, permettono all'acqua di infiltrarsi nel terreno riducendo il fenomeno del ruscellamento superficiale. Inoltre, quando bagnati questi pavimenti contribuiscono al raffrescamento dell'aria innescando meccanismi di evapotraspirazione simili a quelli delle superfici vegetate (Bassolino, 2022).

Altri sistemi che possono essere utilizzati alla scala dell'edificio riguardano la raccolta delle acque meteoriche, attraverso serbatoi d'acqua. In questo modo si riduce l'utilizzo dell'acqua proveniente dalla rete idrica e si favorisce l'autosufficienza per usi irrigui.

⁵² *ClimateApp*, <https://www.climateapp.nl/>

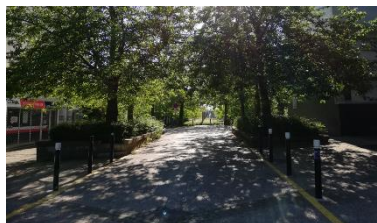
TREES IN STREETSCAPES

L'utilizzo delle alberature nelle piazze o lungo le strade contribuisce da un lato a determinare zone d'ombra riducendo il carico di radiazione solare che raggiunge l'area al di sotto delle chiome. Inoltre, contribuiscono al miglioramento del microclima degli spazi aperti attraverso il meccanismo dell'evapotraspirazione. Un ulteriore beneficio si riscontra nel potenziale raffreddamento delle superfici verticali, in quanto – se adeguatamente posizionati – le alberature possono contribuire ad incanalare e aumentare la velocità delle brezze. Introdurre alberature nelle città svolge, altresì, un ruolo anche dal punto di vista della mitigazione climatica, in quanto contribuiscono all'assorbimento della CO₂ presente in atmosfera.

Come parte della rete di spazi verdi nelle città, le alberature possono contribuire alla gestione delle acque meteoriche tramite l'intercettazione dell'acqua piovana, l'evapotraspirazione, l'assorbimento dell'acqua da parte delle radici e l'infiltrazione nel suolo. Inoltre, in base all'altezza e alla densità della chioma possono anche contribuire alla regolazione delle temperature outdoor. A questo fenomeno contribuiscono anche il colore, la densità, lo spessore e la consistenza del fogliame. Un verde più scuro e denso è più efficace nella creazione di zone d'ombra e nella riduzione delle temperature.



Viale alberato, Champs-sur-Marne, Francia.



Parc de la Villette, Parigi, Francia.



GREENING

Scala



Città



Distretto urbano

Hazard climatico di riferimento



Heat wave



Pluvial flooding

Tipo di azione



Grey



Green

PERGOLA AND CANVAS

I sistemi per l'ombreggiamento artificiali hanno la funzione di proteggere un'area di uno spazio urbano dalla radiazione solare.

La scelta del tipo di copertura determina la qualità dell'ombra in base alla quantità di radiazione trasmessa nell'area sottostante. Esistono diversi tipi di sistemi di ombreggiamento: coperture semplici costituite da un solo strato di materiale e chiuse in alto, nelle quali il calore si accumula determinando un aumento delle temperature superficiali; coperture aperte costituite da più strati (quello inferiore non è raggiunto dalla radiazione solare) nelle quali il calore viene dissipato attraverso le aperture.

Le coperture, inoltre, possono essere rigide o removibili. Nel primo caso, fanno parte integrante della configurazione fisica di un luogo e sono generalmente realizzate in materiali che non permettono la radiazione solare. Le coperture removibili, al contrario, si adattano alle esigenze climatiche dello spazio in un preciso momento garantendo la fruibilità e la flessibilità dei luoghi.

Al fine di ridurre l'impatto termico e visivo della luce solare, tensostrutture e pergole contribuiscono alla creazione di zone d'ombra e a ridurre il riscaldamento di strade ed edifici. È possibile utilizzare tessuti tecnici riflettenti con aumento dell'efficacia contro il carico termico. Per le pergole si possono utilizzare essenze che, oltre a creare ombra, contribuiscono a ridurre la temperatura dell'aria circostante.



Sistemi di ombreggiamento in un "rifugio climatico", Sitges, Spagna.



Parc de la Villette, Parigi, Francia.



SHADING

Scala



Distretto urbano



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey

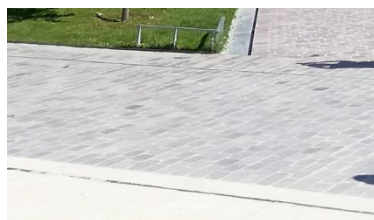
COOL PAVEMENTS

Sono pavimentazioni realizzate con materiali caratterizzati da un'elevata riflettanza solare, ottenuta tramite l'utilizzo di tinte chiare (tipicamente il bianco) o con colori più scuri tratta però con pigmenti speciali riflettenti all'infrarosso che aumentano la riflettanza mantenendo la risposta cromatica desiderata. Quando raggiunti dalla radiazione solare, l'elevata riflettanza dei cool materials permette di limitare l'innalzamento della temperatura superficiale, quanto sottoposti a carichi termici. Inoltre, l'elevata emissività contribuisce a un più favorevole rilascio termico durante la notte del colo immagazzinato durante le ore diurne. Esistono diverse tipologie: si possono utilizzare delle vernici riflettenti oppure si possono utilizzare mattonelle apposite realizzate già con alte proprietà riflettenti.

L'utilizzo di pavimentazioni cool (ovvero con un alto valore di albedo) in ambiente urbano determina una riduzione delle temperature superficiali e ambientali, contribuendo a un generale miglioramento del comfort termico outdoor. Nell'impiego di questa tipologia di soluzioni è, tuttavia, necessario tenere presente che utilizzare materiali con un coefficiente di albedo troppo alto può determinare discomfort visivo a causa dei fenomeni di abbagliamento così come un discomfort termico, in quando la radiazione riflessa ritorna nell'ambiente sotto forma di energia termica ed è percepita dagli utenti.



Utilizzo di pavimentazioni con cool materials integrate ad interventi di greening urbano, Campus Wu, Vienna, Austria.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi Francia.



DE-PAVING

Scala



Distretto urbano

Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey

GREEN AREAS

Nelle green infrastructures, l'adattamento climatico è affidato al ricorso ad aree vegetate e soluzioni tecnologiche NBS (Nature Based Solutions). Alla scala urbana, contribuiscono ad attenuare significativamente gli effetti degli impatti legati ai fenomeni di flooding, runoff e ondata di calore. L'introduzione di aree di verde urbano contribuisce all'abbassamento delle temperature nelle città. Inoltre, le aree verdi contribuiscono anche all'aumento dell'umidità dell'aria, influiscono sulla circolazione dell'aria e contribuiscono al filtraggio e al trattamento dell'aria e alla relativa riduzione della concentrazione di sostanze inquinanti.

Il raffrescamento alla scala del sistema edificio-spazi aperti è reso possibile dal fenomeno dell'evapotraspirazione (quantità d'acqua che, con riferimento all'unità di tempo, dal terreno passa nell'aria allo stato di vapore).

Dal punto di vista del pluvial flooding, l'incremento delle aree verdi negli insediamenti urbani contribuisce ad aumentare la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche.



Jardin de la Folie Titon, Parigi, Francia.



Promenade Plante, Parigi, Francia.



GREENING

Scala



Città

Distretto urbano

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Pluvial flooding

Tipo di azione



Grey

Green

WATER ELEMENTS

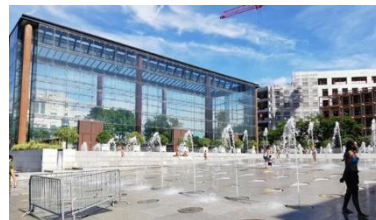
L'inserimento di corpi d'acqua negli ambienti urbani contribuisce sensibilmente al raffrescamento della temperatura senza alterare i livelli di umidità. Infatti, attraverso la sua capacità di mantenere una temperatura superficiale inferiore a quella dell'aria e di altri materiali e la bassa riflettanza fanno sì che mantenga una temperatura superficiale quasi costante.

Inoltre, il raffrescamento può avvenire mediante l'acqua nebulizzata con fontane o giochi d'acqua ricreativi o bagnando le strade. Gli effetti di raffrescamento sono maggiori quando l'acqua è in movimento rispetto a quando è ferma, a causa del processo di miscelazione dell'acqua corrente con l'aria e con il trasporto di calore. Il getto d'acqua di una fontana, ad esempio, ha un effetto rinfrescante maggiore grazie all'ampia superficie di contatto tra acqua e aria, che stimola l'evaporazione. L'effetto rinfrescante per evaporazione si verifica anche quando l'acqua nebulizzata entra in contatto con la pelle, diminuendo la temperatura corporea.

L'operazione di bagnare le strade può anch'essa avere un effetto rinfrescante sull'ambiente circostante, in particolare quando questa è effettuata al mattino e al pomeriggio, alla luce diretta del sole. Alcuni esperimenti condotti a Parigi hanno rivelato che l'irraggiamento dei marciapiedi, l'area in cui i pedoni sono maggiormente esposti, è un metodo efficace per limitare il massimo stress termico giornaliero.



Jardin des Tuileries, Parigi, Francia



Parco André Citroën, Parigi, Francia.



WATER BODIES

Scala



Distretto urbano



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey

SHADING DEVICES

Le schermature esterne costituiscono una soluzione tecnica per il controllo solare passivo e possono avere un chiaro impatto sia sul comfort termico che sul consumo energetico.

In riferimento alla normativa, l'Allegato M al D.Lgs. 311/2006, definisce le schermature solari come "sistemi che, applicati all'esterno di una superficie vetrata trasparente, consentono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottici luminosi in risposta agli stress solari".

Le schermature solari possono essere sia interne che esterne e, inoltre, si distinguono in frangisole strutturali fissi (hanno il compito di proteggere dai raggi solari e, allo stesso tempo, di permettere loro di interagire visivamente con lo spazio esterno) e schermature solari mobili (possono essere attivati in caso di effettiva necessità, per schermare la radiazione solare incidente sulla facciata).

Fungono da barriera esterna per regolare la radiazione solare diretta senza impedire l'illuminazione e la ventilazione naturale degli ambienti interni. La radiazione solare diretta è schermata dagli elementi che costituiscono la schermatura, permettendo all'edificio di mantenere inalterata la temperatura interna, con un impatto rilevante sul fabbisogno energetico degli edifici.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi, Francia.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi, Francia.



SHADING

Scala



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey

GREEN SHADING ELEMENTS

L'utilizzo di elementi (anche naturali come gli alberi) per creare zone d'ombra contribuisce a ridurre il carico termico nelle aree urbane e a diminuire i fenomeni di abbagliamento.

Nel caso delle pergole, una pergola vegetale si costituisce come un passaggio ombreggiato formato da un sistema di travi orizzontali e verticali u cui poggiano e crescono piante rampicanti. L'utilizzo della vegetazione, nella costruzione di tali elementi, fa sì che la sua temperatura superficiale non superi mai di molti gradi la temperatura dell'aria.

Solitamente si utilizzano delle piante rampicanti (utili anche nel caso in cui si possieda poco spazio calpestabile) che consentono di realizzare delle superfici vegetate su qualsiasi pendenza e verticalità senza togliere spazio. In questi sistemi, le piante da utilizzare devono essere scelte in base al clima e in base alla necessità di esposizione solare.



Siviglia, Spagna.



Torre Gloriès, Barcellona, Spagna.



GREENING

Scala



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey



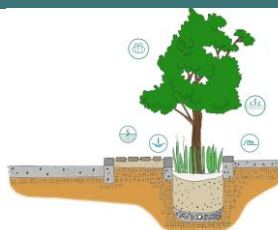
Green

RAIN GARDEN

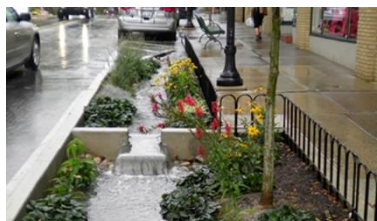
I rain garden (letteralmente “giardini della pioggia”) Sono costituiti da aree verdi depresse che intercettano acqua piovana che generalmente si accumula durante gli eventi atmosferici. Lo scopo è quello di rallentare il flusso di acqua piovana che, allo stesso tempo, è depurata grazie all'infiltrazione nel terreno e all'utilizzo di specie arboree specifiche.

Dal punto di vista strutturale, i rain garden sono dei bacini depressi che, sfruttando la pendenza naturale del suolo, raccolgono l'acqua in eccesso che si accumula sulle superfici impermeabili ad esso adiacenti. Il bacino può essere costituito da ghiaia, sabbia, compost organico e terreno del sito in cui sono realizzati. Generalmente, inoltre, possono essere suddivisi in tre zone: umida, localizzata al centro e che può accogliere le piante che gradiscono un terreno umido; secca o asciutta, per le piante che prediligono un terreno asciutto; moderata, adatta per le piante che si adattano a entrambi i tipi di terreno. Gli elementi che lo compongono, in sintesi, sono: terriccio drenante, dreno di raccolta dell'acqua, fascia erbosa a scopo protettivo, area di ristagno, pacciamatura, piante.

Questi sistemi contribuiscono notevolmente alla riduzione dell'impatto e dell'inquinamento idrico, intercettando e trattendo l'acqua piovana di ruscellamento e deflusso urbano, riducendo quindi il cosiddetto effetto “run off”.



Campus Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne, Francia.



Borough of State College Government



GREENING

Scala



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey



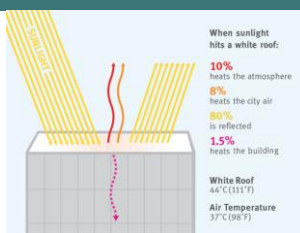
Green

COOL REFLECTIVE ROOF

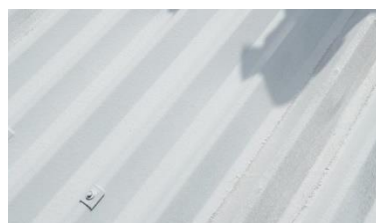
Le superfici riflettenti sono superfici alterate artificialmente che possono fornire un'elevata riflettanza solare. Questa è la capacità di riflettere le lunghezze d'onda visibili, infrarosse e ultraviolette del sole e di ridurre il trasferimento di calore alla superficie. Il tipo più noto di superficie riflettente è il cool roof. Sebbene sia vero che i cool roof sono per lo più associati ai tetti bianchi, sono disponibili in una varietà di colori e materiali e sono disponibili sia per edifici commerciali che residenziali.

I tetti tradizionali possono raggiungere temperature fino a 85°C nei mesi estivi, mentre i cool roof rimangono più freschi di 28-33°C. Sono stati sviluppati materiali di copertura speciali, lamine, tegole e metalli con rivestimenti speciali. Questi materiali per tetti sono arrivati di recente sul mercato europeo, ad esempio le lamine leggere e le tegole sintetiche leggere che sostituiscono la ghiaia come zavorra.

Hanno la capacità di far risparmiare fino al 15% del consumo annuo di energia per il condizionamento dell'aria di un edificio a un piano.



Esempio di cool reflective roof con vernici (fonte: <https://floridaqualityroofing.com/miami-commercial-reflective-cool-roof/>)



Esempio di cool reflective roof con lamine (fonte: <https://www.cbnme.com/analysis/beat-the-sun-cool-reflective-roof-coatings-by-dow/>)



ISOLAMENTO TERMICO

Scala



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



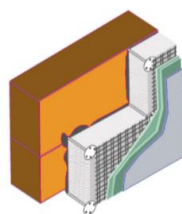
Grey

THERMAL INSULATION

Il "cappotto termico" è una tecnica per limitare la dispersione del calore nelle abitazioni con l'ausilio di pannelli isolanti installati sulla superficie esterna delle pareti perimetrali dell'edificio.

Il vantaggio principale è la riduzione della necessità di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo, dato che funge da barriera tra i locali abitati e il caldo o il freddo dell'ambiente esterno; inoltre migliora il comfort abitativo riducendo anche il passaggio di umidità e rumore dall'esterno all'interno. Porta ad un aumento della classe energetica dell'edificio, alla riqualificazione estetica della parete su cui è installato e ad un conseguente aumento del valore dell'immobile.

Possono essere distinte tre tipologie: isolamento dall'esterno, la soluzione maggiormente efficace per gli edifici in particolare quando è previsto un rifacimento della facciata; isolamento dall'interno, un intervento non eccessivamente costoso che però determina una riduzione dello spazio abitabile; isolamento in intercapedine, quando la parete contiene un'intercapedine che può essere riempita con gli opportuni materiali isolanti.



Esempio di isolamento a cappotto esterno (fonte: <https://www.blanchin.it/isolamento-a-cappotto/>)



Esempio di isolamento in intercapedine (fonte: <https://www.coibentarecasa.it/confronto-isolanti-termici/>)



ISOLAMENTO TERMICO

Scala



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Tipo di azione



Grey

GREEN ROOFS (EXTENSIVE/INTENSIVE)

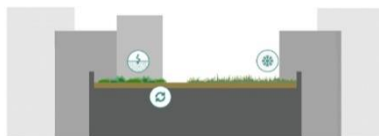
Un tetto verde o tetto vivente è un tetto di un edificio parzialmente o completamente coperto da vegetazione e terreno di coltura, piantati sopra una membrana impermeabilizzante. Può anche includere strati aggiuntivi come una barriera per le radici e sistemi di drenaggio e irrigazione. I tetti estensivi sono ricoperti da un leggero strato di vegetazione e sono più leggeri di un tetto verde intensivo.

I tetti verdi estensivi sono costituiti da un sottile strato di substrato e da uno strato di vegetazione di muschio/sedum, che può essere integrato con erbe e prato. La capacità di raffreddamento dei tetti asciutti in estate è inferiore. Sotto lo strato del substrato si trova uno strato drenante o sistema di drenaggio, quindi uno strato resistente alle radici e sotto questo la struttura del tetto e l'isolamento. Le piante di muschio/sedum sono molto adatte, poiché queste piante hanno la capacità di immagazzinare grandi quantità di acqua e sono quindi in grado di sopravvivere a periodi di siccità prolungati. Anche i tetti in muschio/sedum non richiedono un sistema di irrigazione.

I tetti verdi intensivi sono più spessi e possono sostenere una più ampia varietà di piante, ma sono più pesanti e richiedono una manutenzione maggiore rispetto ai tetti estensivi.

Questa tipologia di copertura contribuisce ad abbassare le temperature dell'aria nelle aree urbane, mitigando l'effetto isola di calore.

Inoltre, i tetti verdi contribuiscono all'immagazzinaggio dell'acqua piovana.



Esempio di tetto verde estensivo, Anversa (fonte: <https://www.viceverda.be/groendak-antwerpen.html>)



Esempio di tetto verde intensivo (fonte: <https://zinc-greenroof.co.uk/systems/intensive>)



GREENING

Scala



Distretto urbano

Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Heat wave

Pluvial flooding

Tipo di azione



Grey

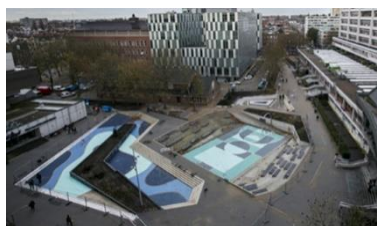
Green

WATER SQUARES

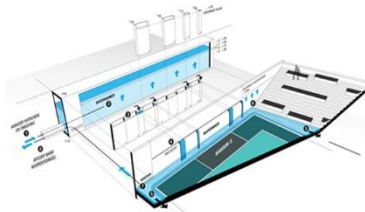
Le water squares sono una tipologia di piazza che combina lo stoccaggio e la raccolta dell'acqua piovana con il miglioramento della qualità dello spazio urbano. Le water squares sono luoghi asciutti che, in caso di precipitazioni intense, si trasformano in veri e propri bacini d'acqua, allagati in maniera controllata per un periodo di tempo che, per ragioni igieniche, non può superare le 32 ore. Inoltre, genera opportunità per creare qualità ambientale e identità agli spazi centrali dei quartieri. Il più delle volte la piazza può essere utilizzata come spazio ricreativo. Quando si verificano forti piogge, l'acqua piovana raccolta dal quartiere confluisce nella piazza d'acqua per un breve periodo. Dopo averla utilizzata come spazio tampone, l'acqua filtrata viene reimpressa nel sistema idrico.

La piazza può anche essere una misura per migliorare la qualità delle acque libere negli ambienti urbani.

La manutenzione e la gestione sono fattori importanti, poiché l'acqua raggiunge la piazza dall'alto e non viene depurata. Ciò significa che, dopo il pompaggio dell'acqua, sulla piazza rimangono sostanze inquinanti come fango, rifiuti, foglie e rami. Questi inquinanti devono essere rimossi non appena la piazza è asciutta, per garantire che la piazza torni a essere attraente e utilizzabile.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi, Francia.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi, Francia.



WATER BODIES

Scala



Distretto urbano

Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Pluvial flooding

Tipo di azione



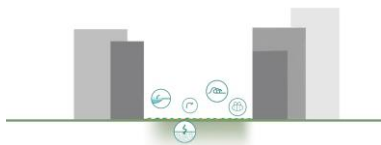
Grey

PERMEABLE PAVEMENTS

Le superfici pavimentate, come tetti, strade e parcheggi, riducono la capacità di infiltrazione del suolo e aumentano il deflusso delle acque superficiali. Di conseguenza, aumenta il rischio di alluvioni e la necessità di ulteriore capacità di ritenzione idrica. Diminuendo l'area totale delle superfici pavimentate, una maggiore quantità di acqua può infiltrarsi nel terreno e si crea uno spazio verde aggiuntivo.

Le pavimentazioni permeabili sono una gamma di materiali e tecniche sostenibili per pavimentazioni caratterizzate da una base e un sottofondo che consentono il movimento dell'acqua attraverso la superficie. Oltre a ridurre il ruscellamento, questo sistema intrappola efficacemente i solidi sospesi e filtra gli inquinanti presenti nel terreno. Oltre alle pavimentazioni, gli esempi includono strade, prati e aree soggette a traffico veicolare leggero, come i parcheggi.

Le pavimentazioni permeabili sono costituite da materiale poroso attraverso il quale l'acqua può passare; le pavimentazioni permeabili contengono o creano parti aperte attraverso le quali l'acqua può infiltrarsi. Tutti i materiali porosi e parzialmente aperti sono molto adatti a queste pavimentazioni. Le precipitazioni possono infiltrarsi nel terreno senza alcuna difficoltà apprezzabile; la percentuale di aperture varia da circa il 15% al 40%.



Campus Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne, Francia



Campus Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne, Francia.



DE-PAVING

Scala



Distretto urbano



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Pluvial flooding

Tipo di azione



Grey

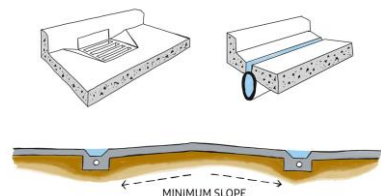
GUTTER

Si tratta di canali di scolo aperti non permeabili che raccolgono l'acqua piovana in eccesso rispetto alle superfici urbane. Di solito, sono collocate ai lati delle strade e collegate a un tombino o a un corpo idrico superficiale.

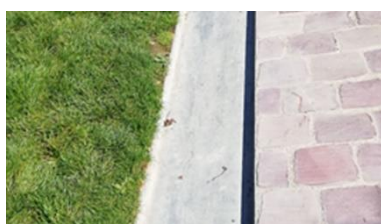
I gutter sono sistemi semplici di drenaggio fuori terra da utilizzare nelle strade e nelle piazze. Nella fase di realizzazione, è importante tenere conto che della pendenza necessaria per far sì che le acque piovane vengano trasportate ai sistemi di smaltimento preposti.

Ne esistono diverse tipologie: fluted gutter, possono essere utilizzate in situazioni esistenti e hanno il vantaggio di essere facilmente applicabili in tutti i profili stradali; open gutter, possono drenare più acqua grazie alla maggiore profondità possibile e sono meno dipendenti dalle pendenze naturali o artificiali; covered gutters, sono solitamente sistemi prefabbricati coperti da una griglia semplice fuori terra.

Un aspetto fondamentale da tenere conto nella scelta del tipo di sistemi è il livello di manutenzione.



Aspern Seestadt, Vienna.



Eco-Distretto di Clichy Batignolles, Parigi, Francia.



GREENING

Scala



Distretto urbano



Edificio – Spazio aperto

Hazard climatico di riferimento



Pluvial flooding

Tipo di azione



Grey

4.3 Output della ricerca: *workflow* processuale per il progetto di adattamento climatico in ambito urbano

Le condizioni di multirischio climatico richiedono oggi un approccio in grado di considerare la complessità costitutiva dei sistemi urbani al fine di definire interventi di adattamento adeguati per contrastare gli impatti climatici e migliorare la capacità di risposta resiliente degli insediamenti urbani.

A questo scopo, risulta necessario sviluppare nell'ambito della progettazione alla scala urbana ed edilizia modelli di conoscenza e supporto alle decisioni capaci di comprendere gli elementi che determinano le caratteristiche di identità e riconoscibilità dei luoghi e di trarre, da questi, le criticità che emergono in modo misurabile attraverso la costruzione di set di indici e indicatori appropriati che consentano anche la valutazione dell'efficacia *ex ante* ed *ex post* le proposte di intervento progettuale.

L'aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi climatici estremi rende opportuna l'implementazione di processi di adattamento in grado di ridurre i fattori di vulnerabilità ed esposizione di alcune aree particolarmente critiche dal punto di vista degli impatti dei rischi complessi. L'adozione di strategie di adattamento mirate è cruciale per favorire la resilienza degli insediamenti urbani.

L'efficacia dei progetti di adattamento per il contrasto degli impatti climatici è strettamente correlata alla loro capacità di anticipare gli scenari futuri mediante l'osservazione e la conoscenza dei rischi con l'identificazione delle caratteristiche di vulnerabilità, esposizione e hazard. Ciò richiede l'utilizzo di molteplici fonti informative tramite strumenti appositamente progettati per supportare i processi decisionali e sviluppati con un approccio sistemico e multiscalare mirato a considerare i diversi fattori che contribuiscono alla definizione del progetto dell'ambiente costruito nell'ambito dei cambiamenti climatici. In questo modo, si può affrontare integralmente la complessità delle interazioni tra i vari elementi che costituiscono i sistemi urbani e sviluppare soluzioni di adattamento che contribuiscano al contrasto degli impatti e alla gestione dei rischi climatici sia nel breve termine (*coping approach*) che nel lungo termine (*transformative approach*).

In questo contesto, il lavoro di ricerca propone la definizione di un ***workflow* processuale di supporto alle decisioni per il progetto di adattamento climatico in condizioni di multirischio**, sviluppato in due fasi:

- il *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato derivante da *heat wave* e *pluvial flooding* e l'individuazione degli *hotspot* urbani;
- il *proof of concept* per la valutazione della capacità di adattamento degli interventi *climate-proof* per il contrasto dell'impatto integrato di *heat wave* e *pluvial flooding*.

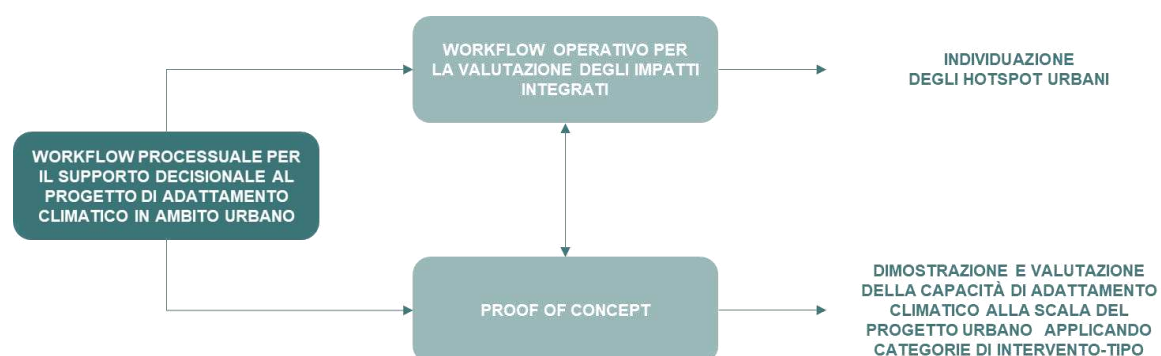


Figura 63 - Inquadramento concettuale del *workflow* processuale.

Il *workflow* proposto si configura come uno **strumento di supporto per i decisori nelle fasi preliminari di sviluppo del progetto** di adattamento climatico nelle aree maggiormente critiche dal punto di vista degli impatti climatici. Lo strumento di supporto alle decisioni sviluppato offre nella:

I fase

- una valutazione qualitativa e quantitativa degli impatti derivanti da più rischi climatici (impatti integrati) sugli insediamenti urbani;

II fase

- una modalità semplificata di valutazione della capacità di adattamento delle proposte progettuali finalizzate al contrasto degli impatti in condizioni di multirischio climatico, contribuendo a guidare lo sviluppo di politiche, piani e progetti.

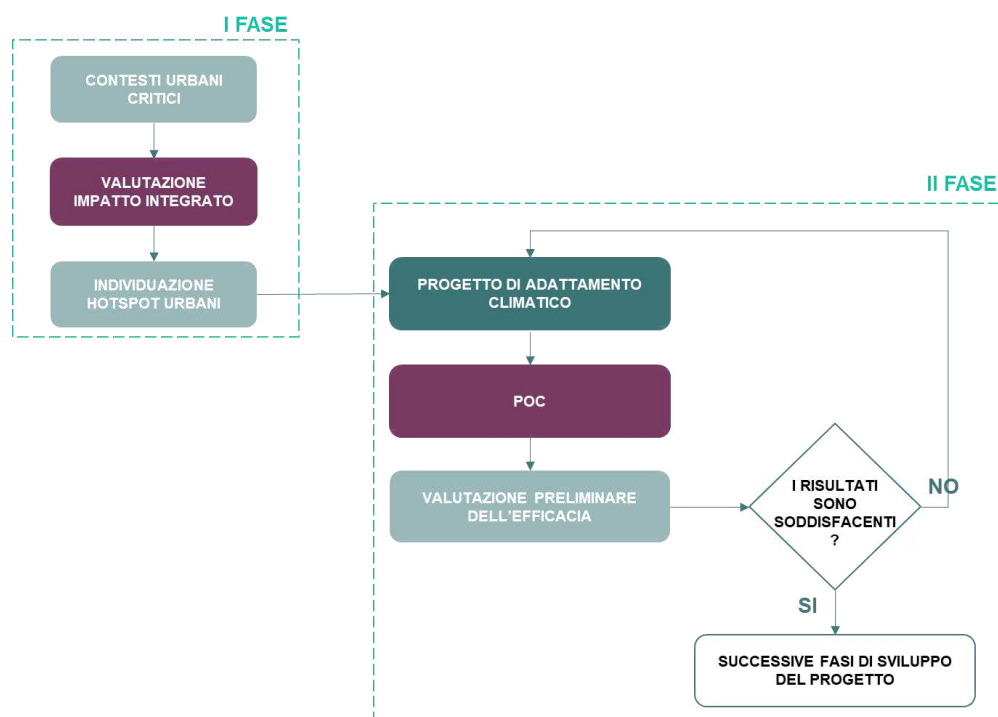


Figura 64 - Fasi operative del *workflow* processuale.

Nella prima fase, l'utilizzo di modelli di conoscenza basati su set di indici e indicatori per la valutazione delle caratteristiche di vulnerabilità, esposizione e hazard dei sistemi urbani ha rappresentato uno step cruciale per l'individuazione degli *hotspot* urbani⁵³. In questa fase, un ruolo importante è svolto dalla provenienza dei dati di base ⁵⁴utilizzati per la valutazione degli impatti climatici. L'attendibilità dei dati utilizzati, infatti, agevola la trasferibilità e la replicabilità del workflow operativo di valutazione dell'impatto integrato in variegati contesti urbani e in diverse condizioni di multirischio.

Nella seconda fase, l'utilizzo dell'approccio metodologico del *Proof of Concept Design* ha consentito l'introduzione di alcuni elementi innovativi che contribuiscono all'utilità del modello decisionale proposto. Innanzitutto, un PoC svolge un ruolo significativo nell'identificare e affrontare le sfide e le limitazioni che possono emergere nelle prime fasi di sviluppo di un'idea o di un progetto. Un tale approccio proattivo consente di individuare in maniera preventiva e tempestiva eventuali problemi o criticità connesse all'idea o al progetto in oggetto, offrendo così l'opportunità di apportare le dovute correzioni e miglioramenti (Westberg, 2014).

Il *Proof of Concept Design Process* offre anche un ambiente ideale per testare e convalidare nuove tecnologie e soluzioni. Fornisce, dunque, una fase di test essenziale per valutare l'efficacia e la fattibilità delle proposte e garantire che soddisfino gli obiettivi fissati. Da questo punto di vista, l'introduzione del processo di *Proof of Concept Design* nello sviluppo dello strumento di supporto alle decisioni per il progetto di adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia si configura come uno **strumento ottimale per la verifica della fattibilità e della validità di soluzioni proposte** per il contrasto degli impatti climatici in condizioni di multirischio con un **approccio evidence-based** che permette di prendere decisioni informate e di orientare lo sviluppo verso la direzione ottimale per la riduzione degli impatti integrati (Goldenberg, 2023).

Inoltre, l'utilizzo di prototipi, *pilot* o MVP⁵⁵ durante le fasi di elaborazione del *proof of concept* e nelle fasi successive di sviluppo consente una visualizzazione tangibile delle idee e degli interventi *climate-proof* proposti. È questo un aspetto molto importante per la comunicazione delle intenzioni progettuali e per la dimostrazione della praticità delle soluzioni proposte. La comunicazione e la documentazione dei risultati e dei progressi ottenuti durante il PoC consentono a una più ampia *audience* di trarre vantaggio dalle soluzioni che sono state sviluppate.

Inoltre, nell'ambito del progetto urbano, l'approccio metodologico adottato con il *Proof of Concept Design*, insieme alle fasi di miglioramento progressivo dei modelli soggetti a *testing*, contribuisce in

⁵³ Identificati come aree nelle quali insistono diversi *hazard* climatici associati a un'elevata concentrazione di fattori di esposizione e vulnerabilità del sistema urbano

⁵⁴ Nell'applicazione sperimentale condotta per il testing della I parte del *workflow* processuale derivano dai modelli di valutazione degli scenari di impatto sviluppati nell'ambito della ricerca METROPOLIS per il *pluvial flooding* e della ricerca PLANNER per l'*heat wave*.

⁵⁵ Kahil, D. (2021), *Envisioning To Delivery – POC, Prototypes, Pilots and MVP*, <https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

Proof of Concept vs Prototype vs MVP vs Pilot, <https://www.cprime.com/resources/blog/proof-of-concept-vs-prototype-vs-mvp-vs-pilot-plan-to-realize-your-idea/><https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

modo significativo all'identificazione - e alla loro successiva implementazione - di numerose criticità rilevanti nei contesti urbani. Infatti, i principi di previsione, proiezione, valutazione e verifica basata su dati concreti e misurabili, che sono propri del progetto di adattamento climatico negli insediamenti urbani e che caratterizzano l'approccio metodologico del PoC, gli consentono, da un lato, di definire criteri chiave generali che possono essere applicati a una vasta gamma di contesti e dall'altro, considerando contesti spaziali specifici, di attivare un processo di ragionamento induttivo-deduttivo che consente di derivare principi generali a partire da esperienze concrete. L'utilizzo dei contesti reali come punto di partenza è un aspetto cruciale poiché le loro specificità spaziali e geografiche nonché le loro caratteristiche uniche, in termini di esposizione e vulnerabilità ai rischi, influenzano notevolmente la risposta agli impatti dei rischi stessi.

La capacità del PoC, sviluppato nell'ambito del lavoro di ricerca, di operare come un effettivo strumento utile all'identificazione e al *testing* di categorie di intervento per l'adattamento climatico nei contesti urbani consente l'elaborazione e la sperimentazione di nuove idee e tecnologie mirate al contrasto degli impatti connessi ai rischi climatici. Il processo messo in campo con il *Proof of Concept* si configura come strumentale nel testare e validare le misure di adattamento climatico e può ulteriormente essere sviluppato in futuro prendendo in considerazione fattori come la convenienza economica e la fattibilità giuridico-amministrativa.

Il *workflow* sviluppato e sperimentato nell'ambito della ricerca permette di valutare il potenziale impatto degli interventi e strategie di adattamento climatico proposte per le aree maggiormente critiche rispetto agli impatti climatici, facilitando il coinvolgimento e il processo decisionale degli *stakeholder* coinvolti e contribuendo a un'efficace distribuzione delle risorse basata sulla progettazione e sul *testing* delle misure di adattamento necessarie a far fronte alle conseguenze negative dei rischi climatici. L'approccio ciclico e iterativo del PoC – introdotto nello strumento di supporto alle decisioni sviluppato - permette, inoltre, di stabilire una **filiera caratterizzata da feedback continui che forniscono un valido supporto decisionale ai policy maker**, consentendogli di sviluppare strategie di adattamento finalizzate al contrasto degli impatti dei rischi climatici.

Applicato agli insediamenti urbani, infatti, il PoC permette ai progettisti testare e convalidare idee e concetti e di valutare la fattibilità e l'efficacia di diverse tipologie di interventi di progettazione urbana prima di implementarle su larga scala. Attraverso la modellazione e la simulazione su piccola scala, il processo del PoC aiuta i progettisti a comprendere gli impatti potenziali e i vantaggi degli interventi di adattamento climatico proposti prima che questi vengano realizzati in modo da comprendere durante la fase decisionale potenzialità e criticità delle misure proposte.

L'approccio metodologico utilizzato basato su valutazioni e validazioni derivanti da dati misurabili e risultati dimostrabili, rappresenta un processo multidimensionale che, attraverso operazioni di *downscaling* e *upscaling*, rende possibile una suddivisione del sistema urbano in componenti più gestibili e analizzabili, consentendo così di ottenere risultati significativi relativi ai rischi associati agli impatti climatici, che possono essere innescati o amplificati a livello locale. La possibilità di mettere in atto cicli iterativi rende possibile la rimodulazione e l'evoluzione delle soluzioni proposte

tenendo in considerazione l'adattamento ai rischi e la mitigazione delle loro cause con un approccio in cui diverse metodologie possono convergere, fornendo ipotesi valutabili e validabili attraverso l'utilizzo di adeguate metriche di misurazione.

Nel complesso, il workflow processuale proposto si configura come uno strumento di supporto da utilizzare nelle fasi preliminari del processo progettuale, **rivolto sia ai decisori dei settori pubblico, privato e imprenditoriale sia al pubblico meno esperto**, finalizzato all'elaborazione di strategie e azioni di adattamento climatico nei contesti urbani in condizioni di multirischio. Il modello decisionale proposto potrebbe rappresentare un efficace supporto ai decisori nel passaggio dalla fase istruttoria (analisi e comprensione dei rischi climatici) alla fase di progettazione e attuazione (progetto di adattamento climatico) negli insediamenti urbani, comprendendo già nelle fasi iniziali del progetto dove allocare le risorse necessarie, in quali termini e secondo quale entità.

Ulteriori approfondimenti che si configurano come potenziali sviluppi futuri possono essere individuati nel processo di determinazione degli hotspot urbani, considerandone le criticità sia dal punto di vista delle caratteristiche materiali che immateriali al fine di definire correttamente l'applicabilità degli interventi di adattamento climatico rispetto ai contesti locali. Ulteriormente, il processo di definizione e valutazione delle categorie di intervento di adattamento climatico per il contrasto degli impatti può essere implementato considerando i vincoli di tipo giuridico-amministrativo ed economico, al fine di fornire ai decisori strumenti sempre più completi per scelte progettuali e decisioni sempre più informate ed efficaci.

Riferimenti bibliografici

- Apreda, C. (2017). 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*, (p.58-71). Napoli: Clean.
- Apreda, C., D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2019). A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environmental Science & Policy*, 93, 11-26.
- Bassolino, E. (2022). *Climate-adaptive design e tecnologie digitali: modelli, strumenti e pratiche*. Napoli: Clean.
- Bassolino, E., D'Ambrosio, V., & Sgobbo, A. (2021). Data Exchange Processes for the Definition of Climate-Proof Design Strategies for the Adaptation to Heatwaves in the Urban Open Spaces of Dense Italian Cities. *Sustainability*, 13(10), 5694.
- Bologna, R., Alberti, F., Hasanaj, G. & Arnetoli, M.V. (2021). 5. 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. (Eds.). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban District to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, (p. 250-293). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Bruno, I., Lobo, G., Covino, B. V., Donarelli, A., Marchetti, V., Panni, A. S., & Molinari, F. (2020, September). Technology readiness revisited: a proposal for extending the scope of impact assessment of European public services. In *Proceedings of the 13th international conference on theory and practice of electronic governance* (pp. 369-380).
- Calliari, E., Staccione, A., & Mysiak, J. (2019). An assessment framework for climate-proof nature-based solutions. *Science of the Total Environment*, 656, 691-700.
- Carvalho, D., Martins, H., Marta-Almeida, M., Rocha, A., & Borrego, C. J. U. C. (2017). Urban resilience to future urban heat waves under a climate change scenario: A case study for Porto urban area (Portugal). *Urban Climate*, 19, 1-27.
- Clemente, M. F. (2023). Il modello Coast-RiskBySea per il supporto decisionale al progetto climate proof. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, 25.
- Clemente, M. F., D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2023). Quantify the Contribution of Nature-Based Solutions in Reducing the Impacts of Hydro-Meteorological Hazards in the Urban Environment: A Case Study in Naples, Italy. *Land*, 12(3), 569.
- Clemente, M. F., D'Ambrosio, V., & Focareta, M. (2022). The proposal of the Coast-RiskBySea: COASTal zones RISK assessment for Built environment bY extreme SEA level, based on the new Copernicus Coastal Zones data. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102947.
- D'Ambrosio, V. & Di Martino, F. (2017). Vulnerabilità e impatti climatici nei tessuti urbani: processi sperimentali. 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, (p.84-105). Napoli: Clean.

D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2016). *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge*. Napoli: Clean.

D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2017). *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*. Napoli: Clean.

D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2016). The Metropolis research. Experimental models and decision-making processes for the adaptive environmental design in climate change. *UPLanD-Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 1(1), 187-187.

D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2023). A GIS-based framework to assess heatwave vulnerability and impact scenarios in urban systems. *Scientific Reports*, 13(1), 13073.

D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Tersigni, E. (2023). Towards Climate Resilience of the Built Environment: A GIS-Based Framework for the Assessment of Climate-Proof Design Solutions for Buildings. *Buildings*, 13(7), 1658.

De Paolis, R. (2005). Metaprogetto. In *Atlante della comunicazione* (pp. 202-206). HOEPLI.

De Souza, K., Kituyi, E., Harvey, B., Leone, M., Murali, K. S., & Ford, J. D. (2015). Vulnerability to climate change in three hot spots in Africa and Asia: key issues for policy-relevant adaptation and resilience-building research. *Regional Environmental Change*, 15, 747-753.

Dell'Acqua, F. (2023). *Green Infrastructure e Climate Change Adaptation Design. Strategie, azioni e soluzioni nature-based per l'adattamento climatico in ambito urbano*. Napoli: Clean.

Di Martino, F. & Sessa, S. (2017). Metodologia e modello gerarchico per la valutazione della vulnerabilità climatica del sistema 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*, (p.46-57). Napoli: Clean.

EC – European Commission (2014). *HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015 General Annexes Page 1 of 1 Extract from Part 19 - Commission Decision C(2014)4995 G. Technology readiness levels*. Disponibile in: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf [12 ottobre 2023].

EEA – European Environment Agency (2020). *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. EEA Report No 12/2020. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe> [16 agosto 2023].

Franzato, C. (2015). Architettura tra processo e metaprogetto. *IN_BO. Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura*, 6(3).

Goldenberg, G. (2023). Proof of concept. *Nursery World*, 2023(3), 22-23.

Gravagnuolo, A., Bosone, M., Girard, L. F., De Toro, P., Iodice, S., Micheletti, S., ... & Lupu, A. (2021). Deliverable 2.5 Methodologies for impact assessment of cultural heritage adaptive reuse.

IEA – International Energy Agency (2018). *The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning*. Disponibile in: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling> [15 ottobre 2023].

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf [1 agosto 2023].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponibile in: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf [4 ottobre 2023].

Kubal, C., Haase, D., Meyer, V., & Scheuer, S. (2009). Integrated urban flood risk assessment—adapting a multicriteria approach to a city. *Natural hazards and earth system sciences*, 9(6), 1881-1895.

Leone, M. F., & Raven, J. (2018). Metodi progettuali multiscalarari e mitigazione adattiva per la resilienza climatica delle città. *Techne*, 15, 299-310.

Leone, M.F. (2017). Impatti climatici nelle aree urbane e vulnerabilità del sistema socio-fisico:

Disaster Risk Reduction e Climate Change Adaptation / Climate impacts in urban areas and vulnerabilities of the sociophysical system: Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. 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*, (p.22-31). Napoli: Clean.

Losasso, M. (2017). Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito. 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*, (p.152-169). Napoli: Clean.

Losasso, M. (2018a) (Ed.). *Principi insediativi e progetto ambientale. Conoscenza e indirizzi per la valorizzazione del sistema dei vuoti del Centro Antico di Napoli*. Napoli: Clean.

Losasso, M. (2018b). Il patrimonio culturale degli spazi vuoti del Centro Antico di Napoli. Conoscenza e strategie di progettazione ambientale. In Losasso, M. (Ed.), *Principi insediativi e progetto ambientale. Conoscenza e indirizzi per la valorizzazione del sistema dei vuoti del Centro Antico di Napoli*, (p.9-35). Napoli: Clean.

Losasso, M., Leone, M., & Tersigni, E. (2020). Approcci di computational design per la rigenerazione resiliente dello spazio pubblico. *Techne*, 19, 232-241.

Manfredi, G. (2017). Progettare la città in condizioni di rischio. 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, (p.8-9). Napoli: Clean.

Mark, T., MacLean-Blevins. (2018). *Conceptual design—how do we begin the design process?*. 101-125. doi: 10.1016/B978-0-323-44501-6.00005-2

Mrak, I., Ambruš, D., & Marović, I. (2022). A Holistic Approach to Strategic Sustainable Development of Urban Voids as Historic Urban Landscapes from the Perspective of Urban Resilience. *Buildings*, 12(11), 1852.

Mussinelli, E. G., Tartaglia, A., Bisogni, G. L., & Malcevschi, S. (2018). Il ruolo delle Nature-Based Solutions nel progetto architettonico e urbano/The role of Nature-Based Solutions in architectural and urban design. *Techne*, 15, 116-123.

Paterson, R., & Dayson, K. T. (2011). *Proof of concept-Community Land Trusts*.

Rubino, E. (2017). Approccio integrato a supporto della gestione urbana sostenibile. 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*, (p.10-11). Napoli: Clean.

SPNAmbiente (2022). Big EO data per la stima degli hot spot termici urbani tramite cloud computing. In *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022*. Disponibile in: https://issuu.com/snpambiente/docs/rapporto_consumo_di_suolo_2022/s/16625928 [19 ottobre 2023].

Tersigni, E., D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2021). Innovative Processes for Climate Risk Reduction of the Built Heritage. In *New*

Metropolitan Perspectives: Knowledge Dynamics and Innovation-driven Policies Towards Urban and Regional Transition Volume 2 (pp. 1980-1989). Springer International Publishing.

Tersigni, E., Gifuni, S., & Miraglia, V. (2021). Un processo GIS-Based per il riconoscimento dei tipi edilizi ricorrenti nei contesti urbani finalizzato all'analisi di categorie d'intervento climate proof per la mitigazione climatica. In *Gis Day 2020. Il GIS per il governo e la gestione del territorio* (pp. 73-102). Aracne.

Verde, S., & Bassolino, E. (2020). Processi di data analysis e data exchange tra strumenti GIS-based e tool di design parametrico per la definizione del comportamento microclimatico degli spazi aperti. *URBANISTICA INFORMAZIONI*, 289, 11-15.

Verde, S., Bassolino, E., & Gagliardi, U. (2021). Applicazione di processi di data analysis e data exchange tra strumenti GIS-Based e parametric design tools per la generazione di carte di resilienza climatica del sistema degli spazi aperti urbani. In *Gis Day 2020. Il GIS per il Governo e la Gestione del Territorio* (pp. 15-40). Aracne.

Xia Z, Li H, Chen Y, Liao W. Identify and Delimitate Urban Hotspot Areas Using a Network-Based Spatiotemporal Field Clustering Method. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019; 8(8):344. <https://doi.org/10.3390/ijgi8080344>

Westberg, J. (2014). *Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen*.

Zhao, P., Qin, K., Ye, X., Wang, Y., & Chen, Y. (2017). A trajectory clustering approach based on decision graph and data field for detecting hotspots. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(6), 1101-1127.

Zheng, Y., Zhang, L., Xie, X., & Ma, W. Y. (2009, April). Mining interesting locations and travel sequences from GPS trajectories. In *Proceedings of the 18th international conference on World wide web* (pp. 791-800).

Sitografia

CLARITY, <https://clarity-h2020.eu/>. Nell'ambito della reportistica è proposto il catalogo "Adaptation Measures Technical Cards", annex III D 3.3.

Climate resilient cities and infrastructure (RESIN), <https://cca-p6.devel5cph.eionet.europa.eu/en/metadata/projects/climate-resilient-cities-and-infrastructure#:~:text=Climate%20resilient%20cities%20and%20infrastructure%20RESIN%20is%20a,critical%20infrastructure%20to%20extreme%20weather%20and%20climate%20change>.

CLIMATE-ADAPT, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

ClimateApp, <https://www.climateapp.nl/>

Kahil, D. (2021), *Envisioning To Delivery – POC, Prototypes, Pilots and MVP*, <https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

Malsam, W. (2023), *What Is Proof of Concept (POC)? Examples for Business, Software & More*,

<https://www.projectmanager.com/blog/proof-of-concept-definition>

Phases of a Proof of Concept (POC) (2022), <https://www.infinitiaresearch.com/en/sin-categoria-en/phases-of-a-proof-of-concept-poc/>.

Proof of Concept vs Prototype vs MVP vs Pilot, <https://www.cprime.com/resources/blog/proof-of-concept-vs-prototype-vs-mvp-vs-pilot-plan-to-realize-your-idea/><https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

Urban Adaptation Tools (UAT), <https://crudlaburba.wixsite.com/tools/maps>. Il sito si basa sul lavoro di ricerca svolto dagli studenti del Département Génie Urbain della Université Gustave Eiffel (Angela Ruggiero, Nicolas Bernard e Danna Lopez; coord. Margot Pellegrino).

URBAN GREEN-BLUE GRIDS for resilient cities, <https://www.urbangreenbluegrids.com/design-tool/>

Parte 3

UN CASO APPLICATIVO.

**L'AREA DI NAPOLI EST COME CONTESTO
URBANO CRITICO AI RISCHI CLIMATICI**

Nell'ambito del lavoro di ricerca condotto, il workflow processuale di supporto alle decisioni per gli interventi di adattamento climatico negli insediamenti urbani è stato testato nel contesto urbano dall'area est di Napoli.

L'area di Napoli est, infatti, si configura come un contesto urbano critico poiché rappresenta un sistema complesso incapace di garantire le prestazioni attese relative agli aspetti fisici, socio-economici ed ecologici. Inoltre, si tratta di un contesto sul quale coesistono diversi tipi di rischio da quello vulcanico a quello climatico.

Nell'ambito della sperimentazione condotta si fa riferimento, in quest'area, agli impatti connessi ai rischi climatici, che si manifestano in una vivibilità compromessa, e a misure di mitigazione e adattamento agli impatti climatici inadeguate che determinano, a loro volta, elevati rischi di perdite e danni a persone, beni e servizi.

Il workflow descritto nel capitolo 4 si divide in due fasi, ognuna delle quali è articolata in diversi step.

La prima fase è finalizzata alla valutazione dell'impatto integrato derivante da più rischi climatici e la conseguente individuazione delle aree maggiormente critiche che si caratterizzano come *hotspot* urbani.

Il primo step ha riguardato la definizione dell'area di analisi e degli hazard rilevanti da considerare. Nel caso specifico, gli hazard climatici individuati agenti sull'area sono l'*heat wave* e il *pluvial flooding*. La scelta degli hazard è stata basata sui dati climatici che caratterizzano la zona e sulla base dei risultati di ricerche precedenti (nello specifico i progetti di ricerca METROPOLIS e PLANNER) che hanno analizzato gli scenari di impatto derivanti da questi due fenomeni per l'area in oggetto.

Sulla base dei dati esistenti relativi a *heat wave* e *pluvial flooding*) sono stati valutati i fattori di hazard, vulnerabilità ed esposizione, finalizzati alla costruzione dei singoli scenari di impatto. Vulnerabilità ed esposizione dell'area sono stati valutati sulla base di specifici set di indicatori.

Ottenuti gli scenari di impatto singoli, tramite l'utilizzo di strumenti *GIS-based* e di regole di aggregazione, è possibile individuare le classi di impatto integrato (impatto *heat wave* + impatto *pluvial flooding*) per tutta l'area di analisi. Si considera come valore esposto il totale della popolazione potenzialmente soggetta a subire gli impatti negativi nel momento in cui si verifichino eventi climatici estremi di questo tipo.

Sulla base delle carte di impatto integrato elaborate per sezione di censimento, è possibile procedere all'identificazione, da un punto di vista unicamente quantitativo, degli hotspot urbani come le aree in cui la classe di impatto integrato risulta più alta e quindi maggiormente critica.

Individuati gli hotspot urbani, è stato possibile procedere, su alcune aree campione, all'applicazione della seconda fase del *workflow* processuale di supporto alle decisioni, finalizzata alla valutazione semplificata degli interventi di adattamento in termini di contrasto degli impatti climatici attraverso un set di indici e indicatori nelle fasi preliminari del processo progettuale.

A questo scopo, si è scelto innanzitutto di applicare in questa fase il processo del *Proof of Concept*, utilizzato come strumento di supporto per lo sviluppo di interventi di adattamento al multirischio climatico negli insediamenti urbani, consentendo la valutazione, da un lato, della loro efficacia in termini di contrasto degli impatti climatici e dall'altro, della loro fattibilità alla scala urbana ed edilizia.

Al fine di condurre la fase di *testing* prevista dal PoC, il primo *step* – dopo l'individuazione delle aree sulle quali effettuare la sperimentazione progettuale – ha riguardato la definizione del set di indici e indicatori finalizzati a valutare gli interventi di adattamento climatico in termini di: livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave* e livello di criticità per l'adattamento al *pluvial flooding*.

Successivamente sono stati individuati i sistemi tecnici per l'adattamento climatico e gli scenari progettuali da testare sulle aree hotspot, allo scopo di individuare il grado di intervento richiesto efficace per il contrasto degli impatti climatici.

Per ogni scenario progettuale, è stata costruita una scheda di valutazione in cui sono descritti gli interventi di adattamento previsti, le caratteristiche dei materiali utilizzati e i valori dei parametri necessari a valutare il livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave* e il livello di criticità per l'adattamento al *pluvial flooding*.

Sulla base dei risultati degli indici e degli indicatori individuati, è possibile, per ogni area *hotspot*, comprendere il grado di intervento necessario affinché le azioni di adattamento climatico proposte agiscano in modo efficace per il contrasto degli impatti climatici.

Elaborato il processo di PoC e testato su alcune aree campione, è stato necessario procedere alla verifica dell'efficacia del processo di valutazione degli interventi progettuali proposto. A tale scopo, la verifica dell'efficacia del PoC è stata realizzata tramite la realizzazione di un *pilot*, rappresentato dallo sviluppo per una delle aree hotspot identificate precedentemente a livello metaprogettuale di interventi di adattamento per il contrasto degli impatti climatici derivanti dai fenomeni pericolosi di *heat wave* e *pluvial flooding*.

Nell'ambito del *pilot*, il calcolo degli indici e degli indicatori utilizzati nel PoC per la valutazione del livello di criticità per l'adattamento ai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* è stato accompagnato dal ricalcolo dei valori di impatto integrato, sulla base del ricalcolo degli indicatori di vulnerabilità intrinseca del sistema fisico adottati nel calcolo degli scenari di impatto dei singoli fenomeni *heat wave* e *pluvial flooding*.

Nel caso in esame, a un miglioramento degli indici e degli indicatori utilizzati nel PoC è corrisposto un abbassamento della classe di impatto integrato. Ciò conferma l'efficacia degli interventi di adattamento climatico sperimentati e testati e valida il processo di PoC come strumento di verifica preliminare per il progetto di adattamento climatico.

Dalle fasi di modellazioni, simulazione e *testing* effettuate, infine, è stato possibile individuare una relazione tra i sistemi tecnici per l'adattamento climatico degli spazi outdoor testati e gli indicatori utilizzati per la valutazione degli scenari di impatto all'*heat wave* e al *pluvial flooding*.

5 UN'APPLICAZIONE SPERIMENTALE PER IL TESTING DEL WORKFLOW PROCESSUALE DI SUPPORTO ALLE DECISIONI

5.1 L'area di Napoli est nella sua dimensione urbana e ambientale

5.1.1 Il contesto territoriale e insediativo

La condizione di multirischio climatico, come delineato precedentemente, interessa in modo significativo gli insediamenti urbani e metropolitani, caratterizzati nella loro complessità dall'interazione tra sottosistemi biofisici, infrastrutturali, geologici, geomorfologici e socioeconomici. La presenza di rischi complessi (*compound risks* e *cascading risk*) e il manifestarsi contestualmente di condizioni multirischio possono innescare il superamento di punti critici di rotture (*tipping points*), che possono potenzialmente determinare una compromissione dell'equilibrio dei sistemi socio-ecologici, ambientali e urbani (IPCC, 2022).

In questo scenario, l'individuazione di contesti insediativi⁵⁶, caratterizzati dalla concentrazione e/o sovrapposizione di rischi complessi e conseguenti impatti, diventa un'azione prioritaria in quanto rende possibile l'applicazione di misure di contrasto adeguate a migliorare la capacità di risposta degli insediamenti urbani (come, ad esempio, strategie e azioni di adattamento per la riduzione dei fattori di vulnerabilità ed esposizione e l'incremento della resilienza). A tal fine, nell'analisi dei contesti insediativi in condizioni di multirischio climatico, vanno considerate le sue condizioni caratterizzanti come tessuti, tracciati viari, condizioni geomorfologiche, limiti naturali, infrastrutture critiche, sistema del verde, ecc. (cfr. par. 2.2.1) che sono oggetto degli impatti di possibili rischi poiché presentano differenti condizioni di risposta ad essi in base alle specifiche caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione.

Pertanto, in relazione alle condizioni di multirischio, gli impatti derivanti dai rischi complessi si manifestano nei contesti insediativi urbani in particolar modo in alcune aree che possono essere identificate come contesti urbani critici. Questi possono essere definiti come parti di un contesto insediativo o di un distretto urbano in cui i rischi interconnessi, come eventi composti o a cascata, agiscono su vulnerabilità ed esposizioni specifiche, determinando impatti, perdite e danni a risorse, beni e persone. Nei contesti urbani critici, è possibile successivamente tramite il ricorso a processi di downscaling all'individuazione degli hotspot urbani, in cui il livello di criticità è evidenziato attraverso sistemi di indici e indicatori relativi a hazard, vulnerabilità e esposizione. Questo approccio mira a una comprensione dettagliata delle criticità esistenti alla scala urbana ed edilizia, consentendo una risposta mirata rispetto ai rischi specifici che i contesti urbani possono affrontare in scenari di multirischio.

⁵⁶ Un contesto insediativo può essere definito come l'insieme dei rapporti intrinseci tra i modelli di organizzazione urbana e le componenti ambientali, sociali ed economiche. Tali rapporti sono caratterizzati da omogeneità, isomorfismi e variazioni nei livelli di densità urbana, dispersione insediativa, habitat diffuso o frammentato, oltre a condizioni biofisiche, geologiche e geomorfologiche variabili. Un contesto insediativo fa riferimento a una descrizione di fenomeni urbani a diverse scale, che includono la parte urbana, il distretto urbano, il quartiere e le aggregazioni complessi degli edifici (Magnaghi, 2010).

Dal punto di vista delle condizioni di multirischio climatico, l'area metropolitana di Napoli si caratterizza come un contesto insediativo particolarmente vulnerabile alle conseguenze derivanti degli impatti del cambiamento climatico. Napoli, infatti, è classificata come l'area urbana italiana con la più alta densità di abitanti per km² e si colloca fra i comuni italiani con la più alta percentuale di superficie artificiale rispetto ai confini amministrativi (pari al 63%). Inoltre, come tutte le aree costiere italiane, nell'arco temporale 2021-2050 sarà caratterizzata da un aumento di temperatura equivalente a 1.3°C⁵⁷ e ha registrato, dal 2010 ad oggi, un aumento del verificarsi degli eventi classificati come calamitosi legati, per la maggior parte, ad allagamenti da piogge intense e a episodi di trombe d'aria che hanno determinato danni ingenti alla scala urbana ed edilizia e interruzioni ai servizi e alle infrastrutture (Spano et al., 2021).

Nell'ambito del contesto insediativo dell'area metropolitana di Napoli, emerge come contesto urbano critico rispetto alle condizioni di multirischio climatico l'area di Napoli est.



Figura 65 - Individuazione dell'area di Napoli est, identificata come contesto urbano critico nell'area metropolitana napoletana (Fonte: elaborazione da ESRI Satellite).

La zona orientale di Napoli – identificata come contesto urbano critico - include nove quartieri del comune di Napoli appartenenti a quattro distretti urbani caratterizzati da condizioni fisiche e sociali differenti. Ciò fa sì che essa si configuri come un contesto urbano in cui si verificano con varie condizioni di vulnerabilità ed esposizione, determinate dalle diverse caratteristiche tipomorfologiche e tecnologiche del patrimonio costruito presente nell'area (Aprèda, D'Ambrosio & Di Martino, 2019). Occupa una ampia porzione del territorio comunale caratterizzata da un'elevata complessità determinata da molteplici elementi naturali, urbani e antropici a partire dal tessuto edilizio del centro storico, compatto e regolare, fino ad arrivare ai grandi insediamenti industriali e al tessuto edilizio più recente nato nei quartieri di San Giovanni, Barra e Ponticelli.

⁵⁷ L'aumento di temperature è valutato rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 (Spano et al., 2020).



Figura 66 - Area di Napoli est con i limiti amministrativi dei quartieri (a sinistra) e con l'individuazione dei distretti urbani (a destra).

Ciò determina un patrimonio edilizio estremamente variegato per epoca di realizzazione, tecniche costruttive e morfologia il cui sviluppo incontrollato ha favorito il proliferare di condizioni di isolamento e di degrado fisico e sociale di una parte consistente dell'area.

Si può definire il contesto urbano dell'area orientale di Napoli come un territorio in attesa di trasformazione sotto diversi aspetti. Dal punto di vista funzionale, il progressivo processo di dismissione che ha coinvolto l'intera zona determina la necessità di riconfigurare un'ampia porzione urbana. Questa riconfigurazione dovrebbe conferire all'area una struttura funzionale più articolata e complessa superando l'originaria monocromaticità che, nel corso dei decenni passati, l'ha quasi resa estranea al tessuto urbano di Napoli. Dal punto di vista morfologico, i vuoti lasciati dalle aree industriali rappresentano una grande sfida da affrontare in quanto essi pongono il problema non solo di colmare le lacune nel panorama urbano determinate da questi spazi in disuso, ma anche la necessità di utilizzarli come risorsa per nuovi sviluppi e usi, contribuendo così a ridefinire l'identità e la vitalità di questa parte della città (Sansò & Visconti, 2017).

Tale condizione di criticità è accentuata da molteplici episodi di abusivismo, dalla mancanza di attrezzature e servizi e dalla presenza di numerosi vuoti e spazi di risulta determinati dalle infrastrutture sopraelevate stradali e ferroviarie. Queste infrastrutture agiscono come barriere fisiche tra le varie parti, ostacolando le connessioni e potenzialmente diventando luoghi di accumulo dei rifiuti. Un ulteriore aspetto critico è emerso da uno studio demografico condotto dal Comune di Napoli, il quale ha rilevato che l'area est risulta essere fortemente svantaggiata rispetto ad altre zone della città, principalmente a causa di una condizione di elevato disagio socioeconomico (Comune di Napoli, 2017).

In base a queste caratteristiche, è possibile identificare l'area di Napoli est come un contesto urbano critico sotto diversi aspetti, che spaziano dalla struttura urbana alla consistenza edilizia, e coinvolgono anche fattori ambientali e socioeconomici. Questa molteplicità di elementi la rende un'area particolarmente significativa nel contesto delle condizioni di multirischio climatico e, di

conseguenza, un candidato ideale per l'applicazione sperimentale del workflow processuale di supporto decisionale al progetto di adattamento climatico delineato nel capitolo precedente.

La complessità dei fattori in gioco in questa zona fa sì che essa si configuri come un'area ottimale per testare l'efficacia del processo decisionale proposto, consentendo un'applicazione pratica è un'affinazione delle metodologie adottate. Questa scelta mirata permette un'analisi completa delle dinamiche urbane, edilizie e ambientali in un contesto di criticità, contribuendo così a un'applicazione più efficace delle strategie di adattamento nei contesti urbani critici in condizioni di multirischio climatico.

Inoltre, l'area di Napoli est è emersa come il territorio di testing ideale anche grazie alla disponibilità dei dati relativi agli impatti di fenomeni climatici pericolosi elaborati nell'ambito delle ricerche Metropolis e Planner(D'Ambrosio & Leone, 2016; D'Ambrosio & Leone, 2017; D'Ambrosio & Di Martino, 2016; Aprea, D'Ambrosio & Di Martino, 2019; Verde & Bassolino, 2020; Bassolino, Tersigni, Gifuni & Miraglia, 2021; Verde, Bassolino & Gagliardi, 2021; D'Ambrosio & Sgobbo, 2021; Tersigni, D'Ambrosio & Di Martino, 2021; D'Ambrosio, Di Martino & Tersigni, 2023). L'attendibilità dei dati, in quanto espressione accurata di un'applicazione metodologica, permette di rendere significativo il test del workflow processuale proposto e ne permettono la trasferibilità e la replicabilità in contesti urbani e condizioni di multirischio differenti.

La disponibilità delle informazioni presenti nei due database ha permesso l'applicazione della prima fase del *workflow* dedicato alla valutazione dell'impatto integrato per l'area rispetto agli hazard di heat wave e pluvial flooding e la validazione, nella seconda fase, del Proof of Concept per il supporto decisionale per gli interventi di adattamento climatico in condizioni di multirischio.

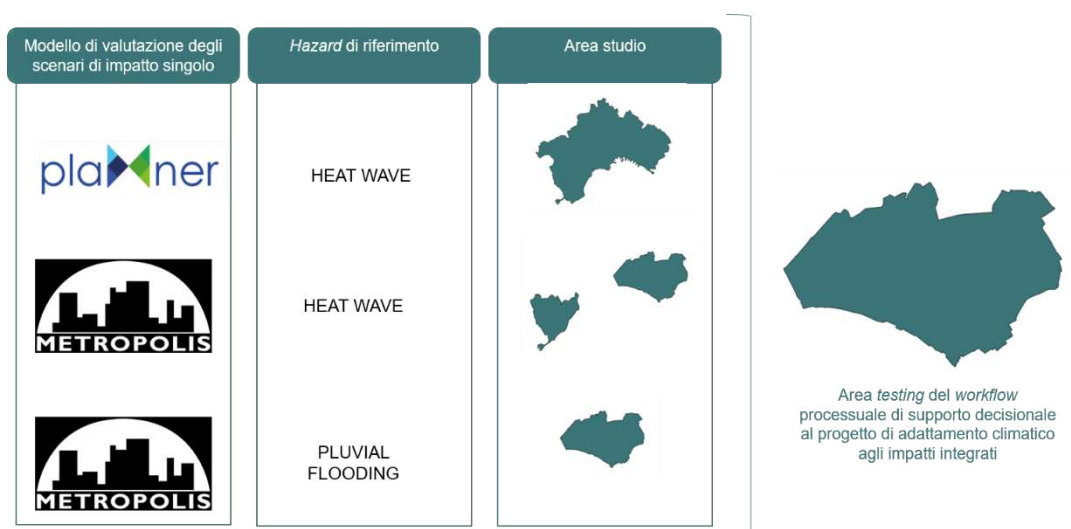


Figura 67 - Individuazione dell'area di testing sulla base delle banche dati disponibili nei modelli di valutazione degli scenari di impatto singolo.

5.1.2 Gli impatti climatici sul sistema edifici-spazi aperti

Il contesto napoletano, come molte altre città situate nella regione del Mediterraneo, sta già affrontando una sostanziale variazione climatica rispetto al periodo di riferimento “storico” compreso tra il 1971 e il 2001. Gli ultimi anni, in particolare, hanno mostrato un costante aumento delle temperature minime e massime, con un conseguente aumento di fenomeni più frequenti e intensi di ondate di calore. Parallelamente, i modelli stagionali delle precipitazioni delineano un’alternanza sempre più evidente tra periodi di siccità ed eventi climatici estremi caratterizzati da piogge intense concentrate in poche ore, causando spesso episodi di allagamenti superficiali.

Le diverse aree del sistema urbano presentano una varietà di caratteristiche socio-economiche, morfologiche e storiche (Aprèda et al., 2019). I dati forniti dall’ISTAT indicano che, nel 2018, le anomalie di temperatura massima riscontrate nella città rispetto al periodo di riferimento 1971-200 sono diminuite, registrando un calo di -0.9°C . Tuttavia, in contrasto a questa riduzione, è stato anche osservato un significativo aumento delle notti tropicali, con un aumento di +37 giorni durante l’estate 2018 rispetto alla media del periodo di riferimento. Questa variazione significativa nelle notti tropicali può avere conseguenze negative rilevanti sulla qualità della vita, sul comfort termico e sulla salute della popolazione. Si tratta di un aspetto molto critico, in particolare negli insediamenti urbani, dove le condizioni microclimatiche possono essere fortemente influenzate dalle caratteristiche dell’ambiente costruito (Spano et al., 2021). Inoltre, la città di Napoli è anche affetta da un pronunciato effetto di isola di calore urbana, attribuibile alla compatta disposizione delle aree edificabili, alla presenza di strade strette, parchi di dimensioni ridotte e profondi canyon, oltre a una specifica conformazione architettonica che ostacola la ventilazione naturale (Fortelli et al., 2016; Di Cristo et al., 2007). Tale configurazione urbana contribuisce all’accumulo e al rilascio di calore, intensificando gli effetti dell’isola di calore e influenzando il microclima locale.

L’area metropolitana è, altresì, caratterizzata da una complessa orografia del territorio, che raggiunge un’altitudine massima di 500 m a.s.l.⁵⁸ con la presenza di importanti pendenze che interagiscono con una complessa e articolata rete fognaria, in larga parte sotterranea e che colloca le sue origini in epoca antica.

⁵⁸ Metri sul livello del mare.



Figura 68 - Carta della geomorfologia della città di Napoli.

Questi fattori rendono spesso difficoltosa la gestione del drenaggio delle acque piovane e la manutenzione della rete. I principali problemi legati al fenomeno del *pluvial flooding* sono, quindi, riconducibili a due fattori principali. Innanzitutto, si verifica una problematica legata alla raccolta delle acque piovane superficiali, specialmente durante eventi di pioggia anche di media frequenza. Tale difficoltà di captazione contribuisce all'accumulo delle acque sulla superficie e, conseguente, a fenomeni locali di allagamento in città. Inoltre, è possibile evidenziare una capacità insufficiente della rete di drenaggio della città, che porta all'esondazione durante eventi di pioggia estrema. Entrambi questi fattori contribuiscono a causare situazioni di allagamento, amplificando gli impatti del *pluvial flooding* nella zona urbana di Napoli.

Questi cambiamenti nel clima impongono sfide significative per la gestione delle risorse e la pianificazione alla scala urbana ed edilizia, richiedendo una risposta adeguata per mitigare gli impatti negativi sugli insediamenti urbani. L'analisi e la comprensione di tali cambiamenti, con particolare attenzione alle caratteristiche fisiche del sistema edifici-spazi aperti che determinano i fattori di vulnerabilità ed esposizione per il contesto urbano, sono fondamentali per sviluppare strategie di adattamento e resilienza mirate, che possano preservare la sostenibilità ambientale e la qualità della vita nella città di Napoli (Zuccaro & Leone, 2021).

La zona orientale di Napoli est, caso applicativo sperimentale di questo lavoro di ricerca, rivela una significativa vulnerabilità agli impatti climatici, in particolare derivante da fenomeni pericolosi di *heat wave* e *pluvial flooding*. Tale vulnerabilità è intrinseca a diverse caratteristiche del sistema fisico edifici-spazi aperti (D'Ambrosio & Leone, 2017). L'elevata impermeabilizzazione del suolo, insieme all'alta densità dell'ambiente costruito e ad altri fattori, come perdite della rete di drenaggio, infiltrazione di acque piovane dalla superficie e conseguente erosione del sottosuolo determinano un'amplificazione degli impatti del *pluvial flooding*. La presenza limitata di aree vegetate a carattere

naturale e l'alta percentuale di superfici impermeabili emergono, in particolare, come alcuni dei fattori determinanti di questa condizione di vulnerabilità rispetto ai fenomeni di flooding. Infatti la scarsità di zone vegetate riduce la capacità del sistema urbano di assorbire le precipitazioni e, allo stesso tempo, l'impermeabilizzazione delle superfici determina un aumento del runoff superficiale. Oltre alla presenza di vegetazione e le caratteristiche dei materiali, anche le differenti configurazioni morfologiche e spaziali di relazione tra gli elementi urbani che definiscono lo spazio possono svolgere un ruolo fondamentale nella variazione del microclima urbano, contribuendo a un incremento dell'intensità degli impatti delle *heat wave*. Ad esempio, in spazi maggiormente dilatati, la mancanza di alberi e l'assenza di zone d'ombra, unite all'utilizzo di superfici impermeabili e poco riflettenti alla radiazione solare, si traducono in condizioni di comfort termico *outdoor* scarse (Bassolino, 2022). Inoltre, anche le prestazioni degli involucri degli edifici rappresentano un ulteriore elemento critico. La loro inefficienza, infatti, può rendere difficile il mantenimento del comfort termoisolante *indoor* sia durante il periodo estivo che durante quello invernale.



Figura 69 - Vulnerabilità integrato del sistema urbano rispetto al fenomeno dell'ondata di calore (fonte: D'Ambrosio & Di Martino, 2016).

Questa complessa interazione di fattori agisce come un moltiplicatore degli impatti degli climatici, sottolineando l'urgenza di intervenire sul sistema edifici-spazi aperti. La riqualificazione di questo sistema con soluzioni *climate-proof* è essenziale per affrontare le sfide climatiche attuali e future, riducendo la vulnerabilità e migliorando la resilienza agli eventi climatici estremi.

In questo quadro, risulta altresì fondamentale lo sviluppo di modelli e di strumenti di supporto per la valutazione della capacità di adattamento dei sistemi urbani per il contrasto degli impatti climatici in condizioni multirischio. Questi processi implicano l'utilizzo di tools e tecnologie (come *Key Enabling Technologies*) che rendano possibile la simulazione di scenari alternativi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità attraverso l'attuazione di soluzioni innovativi di adattamento climatico negli insediamenti urbani.

5.2 La valutazione degli impatti derivanti da scenari di multirischio climatico

5.2.1 Applicazione del *workflow* operativo in relazione agli *hazard* climatici *heat wave* e *pluvial flooding*

La prima fase ha riguardato l'individuazione dei limiti dell'area di analisi. A tal fine è stato necessario attraverso analisi geomorfologiche e funzionali spaziali individuare i limiti geomorfologici, infrastrutturali e amministrativi per effettuare la perimetrazione della macroarea di analisi.

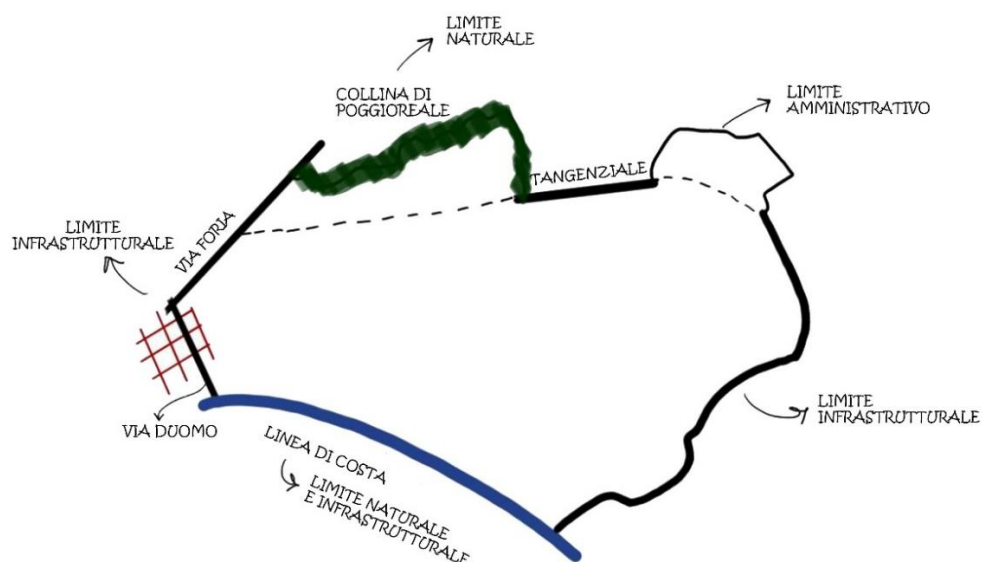


Figura 70 - Perimetrazione della macroarea di analisi.

L'area è compresa tra i limiti fisici naturali costituiti dalla collina di Poggioreale a Nord e dalla linea di costa a sud, i limiti infrastrutturali del centro storico (così come determinato dal perimetro UNESCO) a ovest individuati nello specifico da via Foria e via Duomo e della tangenziale a nord e ad est. La perimetrazione tiene, inoltre, conto nella parte nord-est dei limiti amministrativi, che pure non tenendo conto degli aspetti tipo-morfologici e geomorfologici, risultano necessari per la definizione di strategie adeguata di adattamento per gli interventi di rigenerazione urbana in accordo con le linee guida definite dagli strumenti normativi.

L'area prescelta presenta rilevanti condizioni di criticità dovute alla scarsa presenza di alberature, all'elevata impermeabilizzazione delle superfici e alle prestazioni scadenti del patrimonio edilizio dal punto di vista delle prestazioni termiche ed energetiche.



Figura 71 - Analisi dell'ambito settoriale del costruito dell'area di Napoli est (fonte: elaborazione da DBT Napoli).

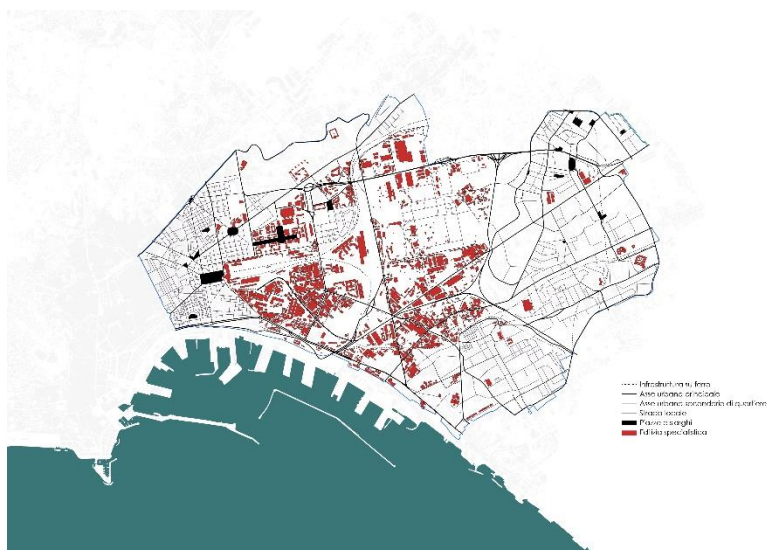


Figura 72 - Analisi dell'ambito settoriale delle infrastrutture di trasporto dell'area di Napoli est (fonte: elaborazione da dati DBT Napoli).



Figura 73 - Analisi dell'ambito settoriale del sistema del verde dell'area di Napoli est (fonte: elaborazione da DBT Napoli).

Una volta perimetrata l'area, utilizzando i dati forniti dal database delle basi territoriali dell'ISTAT è stato possibile individuare le sezioni di censimento, unità spaziale atomica di riferimento alla base

del *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato, che ricadono nell'area di analisi individuata.

Ciò è stato effettuato intersecando in ambiente GIS il perimetro dell'area con le sezioni di censimento per la Campania. Tramite un'operazione di *cutting* è stato possibile estrarre complete di tutti gli attributi le sezioni di censimento all'interno della macroarea di Napoli est, perimetro dell'ambito di interesse. In questo modo è stato possibile definire la base dati operativa sul quale condurre le successive fasi del processo.



Figura 74 - Individuazione delle sezioni di censimento facenti parte dell'area di analisi.

La fase successiva ha riguardato il reperimento dei dati relativi agli impatti di *pluvial flooding* e *heat wave* nell'area di Napoli Est.

Innanzitutto è stato necessario verificare che i dati relativi agli impatti derivanti dal rischio di *pluvial flooding* e *heat wave* fossero stati elaborati nelle stesse condizioni. Tale condizione è stata verificata dal momento che in entrambi i casi il valore esposto assunto è la popolazione ed è possibile assumere per entrambi i fenomeni lo scenario di riferimento RCP 4.5 a medio termine.

Parametri di analisi	Modello METROPOLIS
Unità spaziale di riferimento	Edificio residenziale
Dati di input	Database topografico (.shp), fornito dalla Regione Campania; Digital Terrain Model (raster) e Digital Surface Model(raster), fornito dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del Mare; Basi territoriali censimento 2011 (.shp), fornito dall'ISTAT
Risoluzione spaziale	Scala 1:5000
Hazard di riferimento	Pluvial flooding
Dimensione temporale dell'hazard	PLUVIAL FLOODING estremo (sono considerati i dati di pioggia giornaliera e i valori estremi delle precipitazioni in finestre temporali anche inferiori alle 24 ore)
Scenario di impatto	Scenario RCP 4.5 a lungo termine (2071-2100); Scenario RCP 4.5 a medio termine (2041-2070); Scenario RCP 4.5 a breve termine (2011-2040); Scenario RCP 8.5 a lungo termine (2071-2100); Scenario RCP 8.5 a medio termine (2041-2070); Scenario RCP 8.5 a breve termine (2011-2040)
Valore esposto	popolazione
Tipo di impatto	superficie di utilizzo ai piani terra in relazione alla popolazione che ne usufruisce
Metodo di calcolo dell'impatto	calcolo del valore di Esposizione effettuando una stima della popolazione che usufruisce della superficie di utilizzo ai piani terra degli edifici; calcolo dell'indicatore di vulnerabilità integrata prendendo in considerazione l'esposizione, la vulnerabilità intrinseca degli edifici e la vulnerabilità intrinseca degli spazi aperti circostanti (inclusi in un'estensione circolare di 100 m di raggio intorno all'edificio); calcolo dell'indicatore di impatto, prendendo in considerazione la vulnerabilità integrato e lo scenario di hazard al pluvial flooding
Output principali	carta di scenario di impatto elaborata sulla base della configurazione di uno scenario di hazard correlato alla concentrazione nell'area di studio delle segnalazione fornite dall'Ufficio della Protezione Civile del Comune di Napoli

Tabella 14 - Confronto delle caratteristiche dei modelli di valutazione del rischio elaborati dalle ricerche METROPOLIS e PLANNER.

Parametri di analisi	Modello PLANNER
<i>Unità spaziale di riferimento</i>	Sezione di censimento
<i>Dati di input</i>	Database topografico (.shp), fornito dalla Regione Campania; Digital Terrain Model (raster) e Digital Surface Model (raster), fornito dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del Mare; Basi territoriali censimento 2011 (.shp), fornito dall'ISTAT; Dati satellitari del Satellite Sentinel2 (raster); Dati satellitari del satellite Landsat8 (raster) delle Land Surface Temperature diurne; Dati satellitari del satellite Landsat8 (raster) delle Land Surface Temperature notturne.
<i>Risoluzione spaziale</i>	Scala 1:10000
<i>Hazard di riferimento</i>	Heat wave
<i>Dimensione temporale dell'hazard</i>	HEATWAVE estremo (quando temperatura massima giornaliera, temperatura minima giornaliera, indice giornaliero di calore e gradiente giornaliero della temperatura superficiale tra giorno e ore notturne superano una soglia specificata per più di tre giorni consecutivi)
<i>Scenario di impatto</i>	Scenario RCP 4.5 a lungo termine (2071-2100); Scenario RCP 4.5 a medio termine (2041-2070); Scenario RCP 4.5 a breve termine (2011-2040)
<i>Valore esposto</i>	popolazione residente; popolazione di fascia debole; fuel poverty
<i>Tipo di impatto</i>	disagi derivanti dalla presenza di fenomeni di heat wave nel tessuto urbano di studio in relazione alla popolazione totale residente, la popolazione di fascia debole (bambini e anziani, categorie più a rischio dal punto di vista sanitario) e la popolazione disoccupata o con reddito basso (che non può avere le necessarie risorse economiche per l'acquisto e l'utilizzo di beni di consumo energetico)
<i>Metodo di calcolo dell'impatto</i>	disagi derivanti dalla presenza di fenomeni di heat wave nel tessuto urbano di studio in relazione alla popolazione totale residente, la popolazione di fascia debole (bambini e anziani, categorie più a rischio dal punto di vista sanitario) e la popolazione disoccupata o con reddito basso (che non può avere le necessarie risorse economiche per l'acquisto e l'utilizzo di beni di consumo energetico)
<i>Output principali</i>	3 scenari di impatto per ogni scenario di pericolosità (uno per ognuna delle carte di vulnerabilità integrata ottenute). 9 carte di scenario di impatto (3 a breve termine, 3 a medio termine e 3 a lungo termine)

Per quanto riguarda il rischio determinato dal fenomeno di *heat wave*, le informazioni presenti nel database della ricerca PLANNER sono già forniti alla scala della sezione di censimento quindi non c'è stato bisogno di normalizzare i dati per riportarli all'unità spaziale atomica di riferimento. L'operazione effettuata per ottenere la carta di impatto relativa al fenomeno dell'*heat wave* per l'area di Napoli est è stata quella di estrarre dal database di PLANNER le informazioni relative all'area di analisi ed effettuare un *join* con le sezioni di censimento dell'ambito di interesse. Gli impatti nel caso dell'*heat wave* sono elaborati:

- rispetto alla popolazione residente
- rispetto alle fasce deboli
- rispetto alla *fuel poverty*.

Ciò ha portato all'elaborazione di 3 carte di impatto con diversi livelli di criticità.

Per quanto riguarda il rischio determinato dal *pluvial flooding*, invece, è stato necessario utilizzare un processo diverso dal momento che le informazioni relative a questo fenomeno nell'ambito della ricerca METROPOLIS non erano già fornite per l'unità spaziale sezione di censimento ma bensì per edificio.

In primo luogo, è stato necessario associare ogni edificio alla sezione di censimento in cui è localizzato. Ciò è stato possibile, sempre in ambiente GIS, intersecando i due *layer* (Impatti *Pluvial Flooding* per edificio e Sezioni di censimento). Tuttavia, è stato necessario rifinire il processo in quanto un edificio potenzialmente può ricadere in più di una sezione di censimento. Allo scopo di stabilire la sezione di censimento di appartenenza, è stata calcolata - attraverso un algoritmo - la percentuale di area di ogni edificio intersecata per ogni sezione, stabilendo l'appartenenza ad una sezione di censimento per una percentuale di intersezione superiore al 60%.

Successivamente è stato necessario normalizzare i dati stabilendo il valore medio di impatto al *pluvial flooding* per ogni sezione di censimento. Per fare ciò è stato utilizzato il comando "*summarize*" che ha permesso di estrarre in una nuova tabella il valore "*average*" (valore medio) di impatto per ogni sezione di censimento.

Per tutte le sezioni in cui il valore di impatto risulta 0 è stata effettuata una verifica manuale individuando le sezioni in cui effettivamente non vi è la presenza di edifici e quelle per cui invece la percentuale di intersezione degli edifici è inferiore al 60%. In quest'ultimo caso il calcolo dell'impatto medio è stato effettuato manualmente ed inserito nella tabella di *output* precedentemente ottenuta.

Una volta effettuato ciò, è stato necessario effettuare il *join* tra questa nuovo file input di dati e il *layer* delle sezioni di censimento al fine di ottenere una carta di output degli impatti del *pluvial flooding* per sezione di censimento.

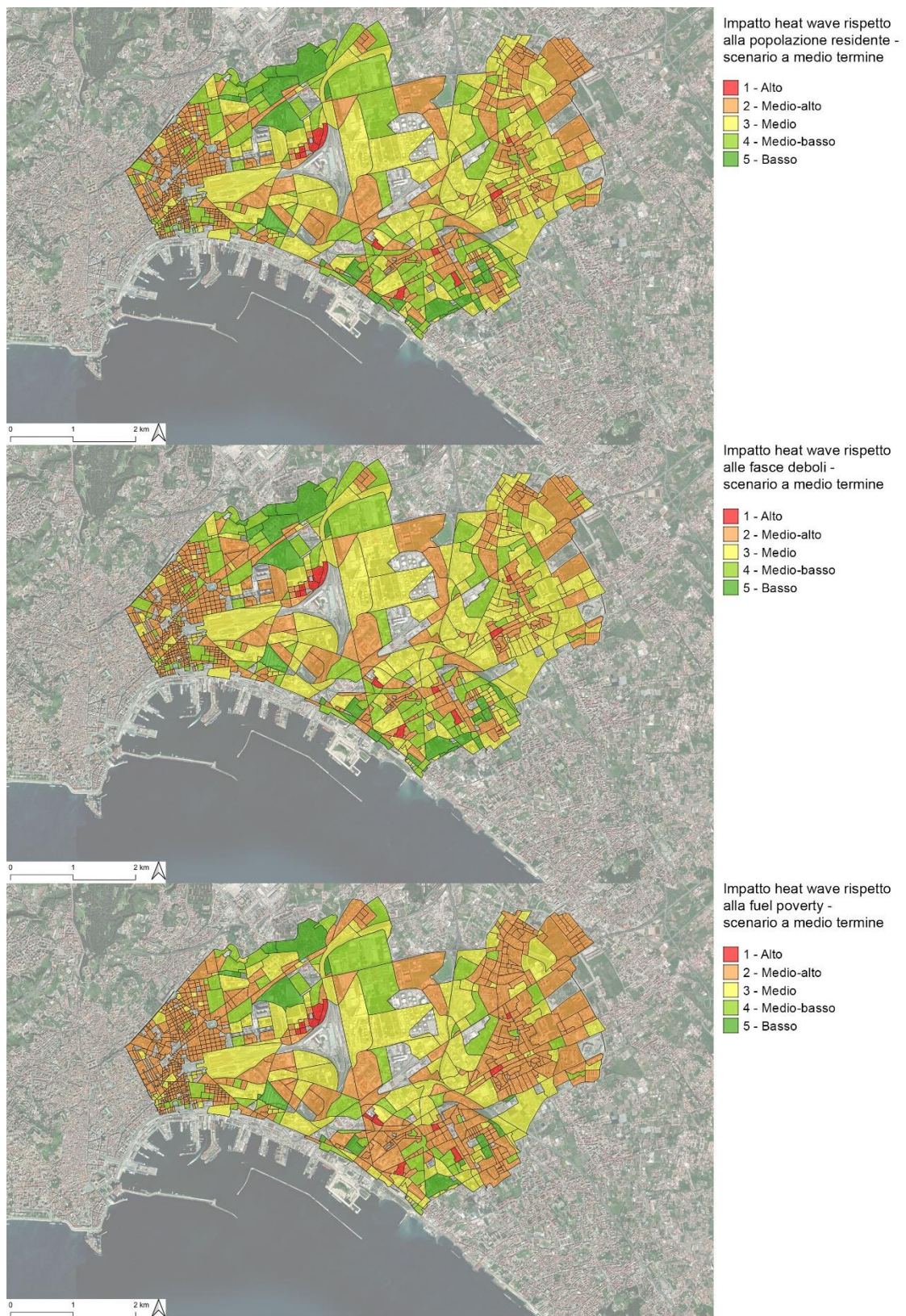


Figura 75 - Carte degli scenari di impatto all'heat wave per l'area di Napoli est (Fonte: database ricerca PLANNER).

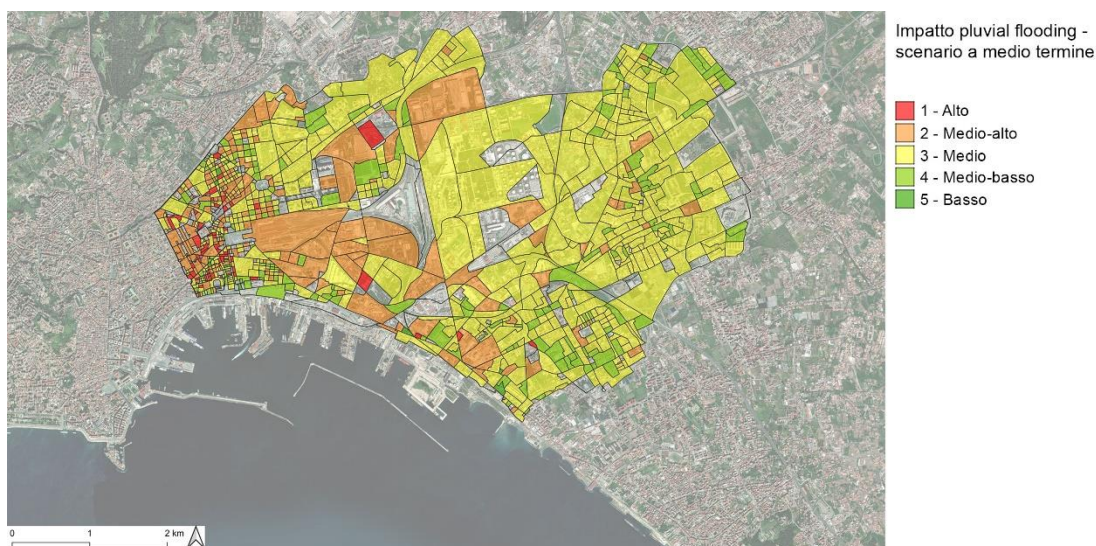


Figura 76 - Carte dello scenario di impatto al pluvial flooding per l'area di Napoli est (Fonte: database ricerca METROPOLIS).

Entrambi gli impatti sono classificati in una scala di 5 classi con valori discreti da 1 a 5 in ordine di gravità discendente (alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso).

Una volta normalizzati i dati dei due *database*, è stato possibile procedere alla fase successiva di individuazione dell'impatto integrato per sezione di censimento derivante dai rischi climatici posti dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding*.

A tal fine è stato costruito un *database* in cui sono stati raccolti le informazioni per ogni sezione censuarie relativi all'impatto dell'*heat wave* relativo alla popolazione residente, all'impatto dell'*heat wave* relativo alle fasce deboli, all'impatto dell'*heat wave* relativo alla *fuel poverty* e all'impatto del *pluvial flooding* relativo alla popolazione presenti in ogni sezione censuaria che subisce tali impatti.

Il *database* è così costruito:

ID.	SEZ.	IMPATTO	HEAT	IMPATTO	HEAT	IMPATTO	HEAT	IMPATTO
CENSUARIA		WAVE	POP.	WAVE	FASCE	WAVE	FUEL	PLUVIAL
		TOTALE		DEBOLI		POVERTY		FLOODING

Tabella 15 - Struttura del *database* preliminare alla valutazione dell'impatto integrato.

Dalle informazioni esistenti, è possibile ottenere tre differenti valutazioni di impatto integrato associando di volta in volta i dati relativi agli impatti del *pluvial flooding* con quelli i diversi impatti dell'*heat wave*. I tre diversi scenari di impatto integrato derivano dalle seguenti associazioni:

- Impatto *pluvial flooding* + impatto *heat wave* pop. totale
- Impatto *pluvial flooding* + impatto *heat wave* fasce deboli
- Impatto *pluvial flooding* + impatto *heat wave fuel poverty*

L'assegnazione del valore di impatto integrato per ciascuna delle associazioni precedentemente indicate è stata effettuata stabilendo su base empirica una serie di condizioni.

5.2.2 Elaborazione delle carte di impatto integrato

L'assegnazione del valore di impatto integrato per ciascuna delle associazioni precedentemente indicate è stata effettuata stabilendo su base empirica una serie di condizioni. Le condizioni stabilite sono le seguenti:

<i>Classe di impatto integrato</i>	<i>Valori di impatto al pluvial</i>	<i>Valori di impatto all'heat wave</i>
ALTO	$0 < PF < 3$	$0 < HW < 3$
MEDIO-ALTO	$0 < PF < 3$	$HW \geq 3$
	$PF \geq 3$	$0 < HW < 3$
MEDIO	$PF = 3$	$HW = 3$
MEDIO-BASSO	$PF = 3$	$HW > 3$
	$PF > 3$	$HW = 3$
BASSO	$PF > 3$	$HW > 3$

Tabella 16 - Regole per l'attribuzione della classe di impatto integrato.

Sulla base di queste condizioni sono state elaborate le tre carte di impatto integrato. Per tutti gli scenari di impatto integrato sono state individuati le sezioni di censimento che possono essere identificate come *hotspot* urbani, individuati come le aree maggiormente critiche per le quali i valori dell'impatto integrato ricadono nelle classi ALTO e MEDIO-ALTO.



Figura 77 - Sezioni di censimento che rispondono alle condizioni di impatto integrato stabilite per l'identificazione degli hotspot urbani..

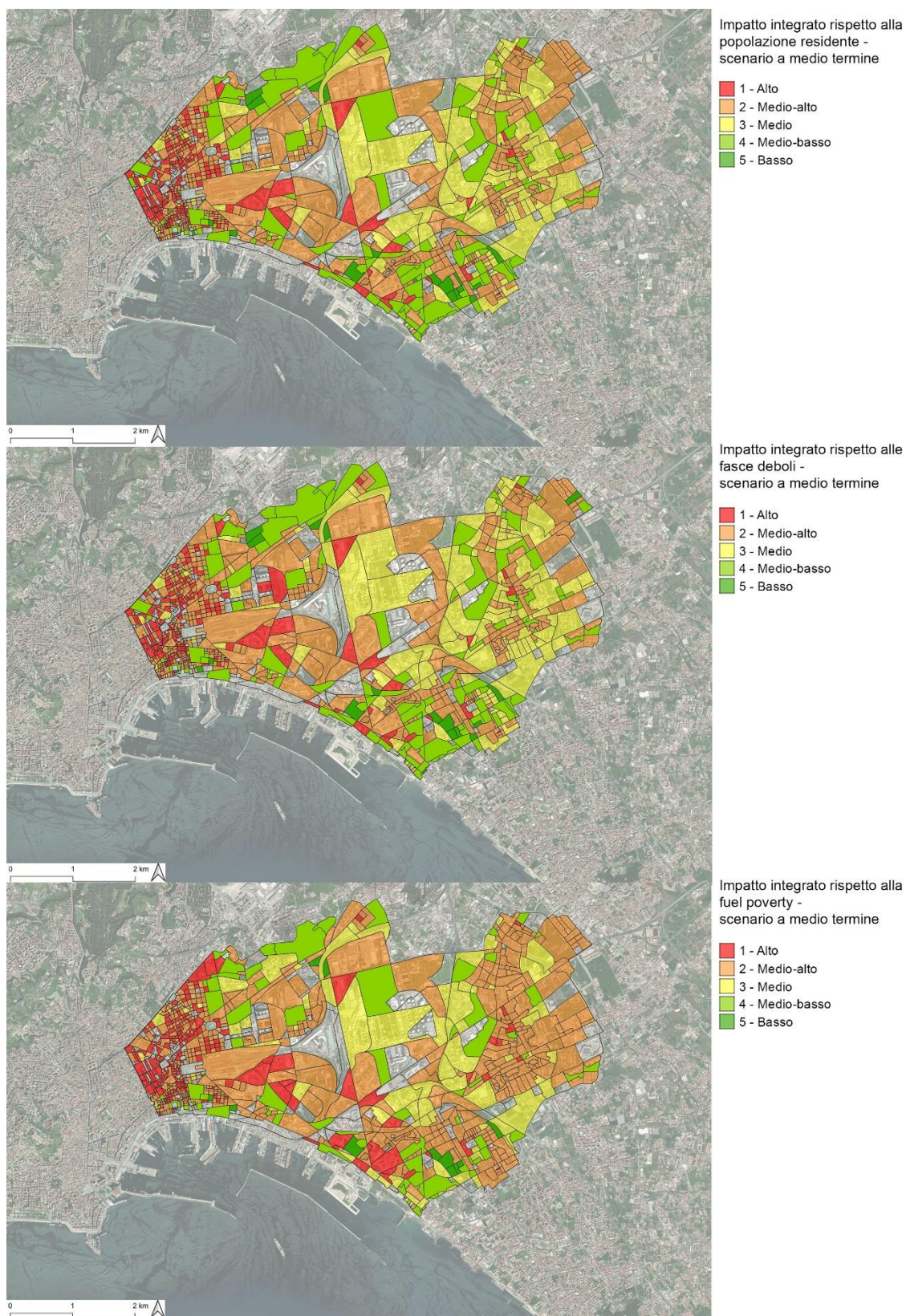


Figura 78 - Carte degli scenari di impatto integrato per l'area di Napoli est.

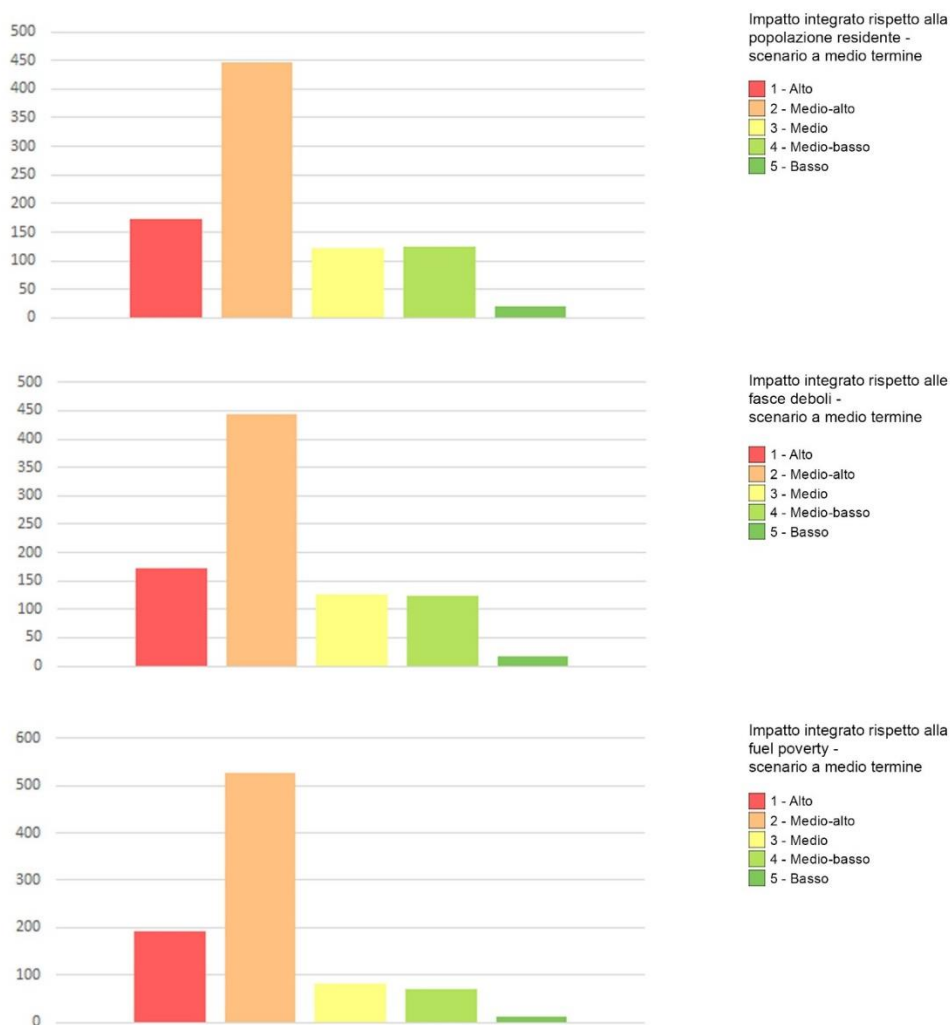


Figura 79 - Istogramma relativi agli scenari di impatto integrato per l'area di Napoli est.

Dalla visualizzazione delle cartografie e dei relativi istogrammi, si evince che gli scenari di impatto integrato rispetto ai fenomeni pericolosi di *heat wave* e *pluvial flooding* sono classificati prevalentemente tra i valori 1 (alto) e 2 (medio-alto). Rispetto allo scenario a medio termine è possibile osservare che la maggior parte delle sezioni di censimento – circa il 69 % in tutti e tre casi – sono classificate con classe di impatto integrato alto o medio-alto ed è possibile, quindi, identificarle come aree di possibili *hotspot* urbani rispetto ai due fenomeni considerati.

In particolare, dalle carte tematiche è possibile individuare la zona ad ovest dell'area studio, nei pressi del Centro Storico, e la zona corrispondente al quartiere di Ponticelli come le aree in cui sono presenti il maggior numero di sezioni di censimento con un livello di criticità alto e sulle quali dovranno focalizzarsi gli interventi di adattamento per il contrasto degli impatti climatici.

5.3 Il *Proof of Concept Design* per il progetto di adattamento climatico negli insediamenti urbani

5.3.1 Definizione dell'obiettivo del PoC e individuazione delle aree di *testing*

Il processo di *Proof of Concept Design* è utilizzato come strumento di supporto per lo sviluppo di interventi di adattamento al multirischio climatico negli insediamenti urbani. L'applicazione del PoC agli insediamenti urbani offre ai progettisti l'opportunità di esplorare e convalidare idee ed ipotesi progettuali, consentendo una valutazione accurata della fattibilità di diversi interventi di progettazione alla scala urbana ed edilizia prima che questi vengano implementati. L'approccio metodologico del PoC è utilizzato per analizzare gli impatti ai rischi climatici derivanti dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* in ambito urbano e garantire che le proposte progettuali di adattamento climatico ipotizzate siano in grado di rispondere efficacemente per il contrasto degli impatti climatici.

Sulla base del *framework* processuale^{59 60} descritto nel paragrafo 4.2.2, attraverso l'applicazione proposta, il PoC si pone come obiettivo quello di comprendere quale è il grado di intervento alla scala edilizia e urbana richiesto in termini di adattamento necessario per agire in maniera efficace sugli impatti di multirischio climatico in ambito urbano.

TARGET DEFINITION	Comprensione del grado di intervento necessario alla scala edilizia e urbana in termini di adattamento per agire in maniera efficace sugli impatti di multirischio climatico in ambito urbano.		
CONCEPT DESIGN	Applicazione incrementale di categorie di intervento climate-proof e valutazione del loro grado di incidenza sull'adattamento tramite la valutazione del livello di criticità delle aree di testing per l'adattamento all' <i>heat wave</i> e al <i>pluvial flooding</i>		
DESIGN PROGRAMME	Definizione del perimetro delle aree di testing	Definizione delle categorie di intervento climate-proof per il progetto di adattamento	Definizione del set di indici e indicatori per la valutazione del grado di incidenza sull'adattamento della categorie di intervento
DESIGN TESTING	Costruzione di un modello digitale tridimensionale dell'area di testing	Applicazione incrementale delle categorie di intervento climate-proof	Simulazione ricorsiva dei modelli
DATA COLLECTION	Raccolta dei dati ottenuti dalle simulazioni e verifica dei risultati rispetto ai modelli e agli interventi applicati		
DESIGN VALIDATION	Se i dati raccolti restituiscono diversi valori degli indici e degli indicatori scelti rispetto alle categorie di intervento migliorativi rispetto allo stato di fatto fornendo input utili per il progetto, il PoC è validato.		

Figura 80 - *Proof of Concept*: applicazione sperimentale del *framework* processuale per il progetto di adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia.

⁵⁹ *Phases of a Proof of Concept (POC)* (2022), <https://www.infinitiaresearch.com/en/sin-categoria-en/phases-of-a-proof-of-concept-poc/>.

⁶⁰ Malsam, W. (2023), *What Is Proof of Concept (POC)? Examples for Business, Software & More*, <https://www.projectmanager.com/blog/proof-of-concept-definition>

Per poter effettuare correttamente la valutazione degli interventi di adattamento proposti, successivamente è stato necessario individuare le aree sulle quali effettuare le operazioni di *testing*.

La prima ipotesi ha riguardato l'individuazione delle aree di *testing* come perimetrate sulla base della classificazione delle AUO (Ambiti Urbani Omogenei) (D'Ambrosio, 2016; Bologna et al., 2021). Essi, infatti, per le loro caratteristiche di omogeneità dal punto di vista morfologico, ambientale e tecnologico possono essere considerati a tutti gli effetti come efficaci unità minime di riferimento rispetto alle quali attuare interventi di adattamento (Filagrossi, Ambrosini & Leone, 2017; Losasso et al., 2021).

Tuttavia, utilizzare la perimetrazione degli ambiti urbani omogenei non è risultata essere un'ipotesi perseguibile dal momento che le valutazioni degli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding* disponibili per l'area studio sono state elaborate utilizzando la dimensione della sezione di censimento come elemento atomico informativo a cui è stata assegnata la classe di impatto.

Per questo motivo, le informazioni derivanti dagli AUO sono utilizzate per acquisire la base di conoscenza necessaria all'identificazione delle caratteristiche delle aree di *testing* ma il PoC è sviluppato utilizzando come dimensione minima di riferimento per la fase di *testing* la sezione di censimento, al fine di poter valutare in maniera conforme i miglioramenti in termini di impatto connessi agli interventi di adattamento.

Per tutte le sezioni scelte per procedere alla fase di testing del PoC è stato elaborato un modello digitale tridimensionale che rispecchia le caratteristiche fisiche, morfologiche e ambientali del sistema reale scelto come riferimento.

5.3.2 Modellazione e simulazione per la valutazione della capacità di adattamento agli impatti integrati

Per procedere alla fase di *testing*, una volta completate la fase di elaborazione del modello, è necessario stabilire un set di indicatori e di indici che rendano possibile la valutazione delle proposte di intervento di adattamento climatico.

L'utilizzo di un set di indici e indicatori rappresenta uno strumento diagnostico efficace in grado di quantificare un obiettivo, valutare l'efficacia delle azioni intraprese per raggiungerlo e anticipare lo sviluppo di scenari futuri. Essi forniscono una misura delle prestazioni, consentendo una valutazione continua e predittiva dell'impatto delle ipotesi progettuali implementate.

Il grado di intervento alla scala edilizia e urbana richiesto in termini di adattamento necessario per agire in maniera efficace sugli impatti di multirischio climatico in ambito urbano è stato valutato in termini di:

- Livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave*;
- Livello di criticità per l'adattamento al *pluvial flooding*.

Per ognuno dei due livelli di criticità individuati, è stato stabilito un set di indici e indicatori come riportato nella tabella 19.

Livello di criticità per l'adattamento all' <i>heat wave</i> ;	Albedo
	Predicted Mean Vote
Livello di criticità per l'adattamento al <i>pluvial flooding</i> .	Coefficiente di deflusso
	Indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio

Tabella 17 - Set di indici e indicatori scelto per la valutazione del grado di intervento di adattamento climatico richiesto.

Indici e indicatori per la valutazione del livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

- Predicted Mean Vote

Il PMV è un indice che permette di valutare il comfort termico percepito dagli utenti. Questo indice tiene conto sia di variabili ambientali (temperatura, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità del vento) che soggettive (età, metabolismo, isolamento termico fornito dall'abbigliamento indossato). Restituisce come risultato un valore numerico su una scala che di base va da -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e lo 0 rappresenta lo stato di benessere termico (ISO, 2005). Tuttavia, essendo generalmente un indice nato da una funzione matematica per la restituzione del comfort termico indoor, i limiti inferiori e superiori dei valori sperimentali forniti dalla scala di Fanger non sono necessariamente esaustivi per le condizioni outdoor e possono raggiungere valori anche al di fuori della scala standard proposta (Fanger, 1972). Nell'ambito del settaggio dei parametri per il calcolo del PMV giocano un ruolo importante quelli relativi alle caratteristiche dell'individuo rispetto al quale è effettuato il calcolo. Il tipo di individuo considerato in questo caso è un individuo standard con le seguenti caratteristiche: uomo, altezza 175 cm, peso 75 kg, 35 anni di età, vestiario con valore di clothing 0,70.

- Albedo

L'albedo è un indice adimensionale che misura la quantità e la qualità dell'energia solare riflessa da una superficie. Si misura su una scala di valori che va da 0 a 1, dove 1 rappresenta la massima riflettanza, indicando che la superficie è in grado di riflettere completamente l'energia solare incidente (superfici bianche), mentre 0 rappresenta il più alto valore di assorbimento della radiazione solare (superfici nere) (Bassolino, 2020a).

L'albedo è una caratteristica termo-fisica dei materiali che influenza la loro capacità di assorbire la radiazione solare. Un'albedo elevato implica un minore valore di assorbimento di radiazione solare,

rendendo la superficie tendenzialmente più fresca. Al contrario, un'albedo più basso consente di trattenere una maggiore quantità di radiazione, contribuendo a riscaldare la superficie.

Superfici con alto albedo possono influire sul microclima urbano contribuendo a mantenere temperature più basse riflettendo una maggiore quantità di energia solare.

Indici e indicatori per la valutazione del livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

- Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso, che viene solitamente espresso mediante la lettera greca ψ (psi), rappresenta, per una determinata superficie, il rapporto tra l'acqua piovana che viene rilasciata e l'acqua piovana che viene captata in uno specifico intervallo di tempo.

Varia in una scala che va da 0 a 1, dove a coefficiente uguale a 0 corrispondono superfici per le quali è nulla la quantità di acqua rilasciata, mentre a coefficiente uguale a 1 corrispondono superfici che rilasciano il 100% dell'acqua captata.

Dipende, in larga parte, dalle caratteristiche proprie delle superfici come la copertura vegetale e le caratteristiche del suolo.

I coefficienti di deflusso utilizzati provengono dalla letteratura e dalla normativa europea e nazionale (Norme DIN, FLL, ATV, scala Frühling, UNI 11235) e sono attribuiti ad ogni superficie in base alla tipologia di soluzione tecnica adottata⁶¹.

- Indice di Riduzione Impatto Edilizio (RIE)

Il RIE, noto come Indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio, è un indice utile a valutare la qualità ambientale di un'area urbana ed è utile alla certificazione degli interventi edilizi in relazione alla permeabilità dei suoli e delle aree verdi. È uno strumento operativo che è stato integrato negli strumenti urbanisti del Comune di Bolzano per la prima volta nel 2004 (Bassolino, 2020b).

Questo indice, espresso su una scala che va da 0 a 10, è calcolato attraverso un algoritmo che valuta la capacità di un'area edificata o edificabile di gestire in modo efficiente le acque meteoriche.

Il Comune di Bolzano ha definito criteri specifici per ottenere la certificazione RIE necessaria per il rilascio della autorizzazione edilizie o di abitabilità. Ad esempio, in zone produttive, come capannoni e stabilimenti, il valore di RIE deve essere maggiore o uguale a 1,50, mentre in zone residenziali, come condomini, scuole e chiese, deve essere maggiore o uguale a 4,00⁶².

⁶¹ Gestione delle acque meteoriche. Il coefficiente di deflusso, <https://www.harpogroup.it/sites/default/files/harpogroup.it/pag-static/allegato/seic-vpe-acque-meteoriche.pdf>

⁶² Comune di Bologna (2015). *Regolamento Urbanistico Edilizio. Complementi: Schede tecniche di dettaglio* 2015, <https://sit.comune.bologna.it/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/6c31f8aa-1fdd-4218-a908-c4e437ded0b0/SchedeTecnicheDettaglio2015.pdf>

L'algoritmo del RIE è definito dalla formula indicata di seguito:

$$RIE = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Vi} \frac{1}{\Psi_i} + (S_e)}{\sum_{i=1}^n S_{Vi} + \sum_{j=1}^m S_{ij} \Psi_j}$$

dove:

S_{Vi} = i-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata trattata a verde

S_{ij} = j-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata non trattata a verde

Ψ_i = i-esimo coefficiente di deflusso

Ψ_j = j-esimo coefficiente di deflusso

S_e = Superfici equivalenti alberature.

La formula di calcolo considera le superfici permeabili e impermeabili tenendo conto dei loro coefficienti di deflusso e della superficie equivalente delle alberature presenti. Questo indice svolge un ruolo importante nella valutazione dell'impatto ambientale di un intervento, evidenziando l'efficacia nella regolamentazione delle acque.

Strumenti digitali per la modellazione e la simulazione

Nel contesto attuale, l'innovazione nel campo delle tecnologie digitali ha assunto un ruolo fondamentale nei processi di trasformazione e rigenerazione urbana in connessione all'approccio disciplinare intrinseco della Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'architettura. L'obiettivo è quello di fornire soluzioni avanzate per affrontare gli impatti connessi ai rischi climatici. La spinta all'innovazione digitale, la gestione dei processi digitali e l'adozione di un approccio basato sul *Data Driven Design* sono diventati ormai una necessità imprescindibile per una progressione tecnologica che abbracci appieno l'ambito digitale. Le *Key Enabling Technologies* (KET)⁶³ sono alla base di questa tendenza in espansione e si concentrano principalmente sui complicati processi di gestione dei dati provenienti da contesti naturali e antropici. Particolarmente nell'ambito degli obiettivi di mitigazione e adattamento climatico, questi dati sono strumenti essenziali per convertire informazioni in strategie e azioni concrete. Le tecnologie abilitanti come *Internet of Things* (IoT), *Big Data Analytics*, *Open Data*, *Additive Manufacturing*, BIM e strumenti di simulazione e modellazione offrono la possibilità di prevedere, valutare e testare in modo ricorsivo l'efficacia delle scelte progettuali e rappresentano un fattore di innovazione per la costruzione di habitat innovativi.

⁶³ Cit. European Commission. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Key Enabling Technologies—A Bridge to Growth and Jobs*. COM(2012)341. 2012.

L'utilizzo di *tool* digitali per la simulazione e la modellazione dei parametri ambientali ha costituito un aspetto rilevante nel processo di PoC, in particolare nelle fasi di elaborazione del modello, di testing e di valutazione e verifica degli interventi di adattamento al multirischio climatico proposti.

Per la modellazione e simulazione utilizzate nelle fasi di *testing* e verifica delle ipotesi progettuali degli interventi di adattamento sono stati utilizzati strumenti *GIS-based*, *Rhinoceros* per la modellazione tridimensionale, la piattaforma di *Virtual Programming Language* (VPL) di *Grasshopper* e di alcuni suoi *add-on*, quali *Ladybug* e *Dragonfly* e *ENVI-met 5* (utilizzato nello specifico per il calcolo del PMV). I processi di *data analysis* e *data visualization* sono stati condotti tramite il software *Excel*.

5.3.3 *Progressive upgrade approach* e categorie di intervento per il progetto di adattamento climatico

Nella fase di *testing* degli interventi di adattamento climatico, è stato adottato un approccio di *progressive upgrade*, definendo 5 scenari di intervento incrementali volti a migliorare progressivamente la capacità di adattamento delle aree coinvolte, al fine di ridurre gli impatti derivanti da rischi climatici. Questo tipo di approccio si rivela utile poiché fornisce un supporto pratico ai progettisti e offre una metodologia per la programmazione graduale degli interventi di adattamento climatico, orientata all'ottimizzazione delle risorse disponibili.

L'adozione di un approccio di *progressive upgrade* apre diverse opportunità. Da un lato, consente di trasformare gli interventi manutentivi in soluzioni tecniche che fanno riferimento ad una prospettiva di riqualificazione urbana ed edilizia, integrando la dimensione ambientale nei processi di manutenzione. Dall'altro, orienta tali interventi verso gli obiettivi di adattamento climatico, attraverso fasi pianificate nel tempo, interconnesse con le strategie di mitigazione delle emissioni climalteranti e di gestione dei rischi climatici.

Questo approccio di intervento graduale si propone di superare le sfide legate alla complessità delle dinamiche climatiche e delle condizioni urbane. Si cerca, in questo modo, di massimizzare l'efficacia degli interventi, assicurandosi che siano adattati alle mutevoli esigenze e sfide emergenti nel nuovo regime climatico.

Questo tipo di approccio si inserisce coerentemente nel processo di PoC. L'approccio metodologico del *progressive upgrade*, infatti, implica la trasformazione graduale e incrementale di un sistema o di un processo per migliorarne le prestazioni o l'efficacia nel tempo. Nel contesto del processo di PoC, esso può essere utilizzato come metodologia per testare e affinare gradualmente l'idea progettuale iniziale. In questo modo, anziché implementare un design complesso in una sola volta, si adotta un approccio graduale con miglioramenti incrementali basati sull'esperienza acquisita e sui risultati ottenuti valutando di volta in volta la fattibilità delle diverse fasi del progetto.

Ad ognuno dei 5 scenari di *progressive upgrade* corrisponde l'applicazione di una o più categorie di intervento per l'adattamento climatico dedotte dallo studio e dall'analisi di esperienze simili in ambito nazionale e internazionale come l'*Urban Adaptation Support Tool*, sviluppato nell'ambito della Piattaforma Europea per l'Adattamento climatico *Climate Adapt*, e l'*Urban Green-Blue grids for resilient cities*, una piattaforma che raccoglie soluzioni e best practices finalizzate allo sviluppo della biodiversità e con una migliore qualità ambientale.

Le soluzioni individuate dall'analisi dei cataloghi (vedi Tabella 13 - Confronto tra le strutture dei diversi cataloghi di soluzioni tecniche climate proof consultati per l'individuazione delle categorie di intervento per l'adattamento climatico agli impatti multirischio.) sono inserite all'interno di più ampie categorie di intervento per l'adattamento agli impatti climatici, in particolare rispetto ai fenomeni climatici di *heat wave* e *pluvial flooding*⁶⁴.

Relativamente allo spazio aperto, le categorie di intervento climate-proof che sono state utilizzate nell'ambito dell'applicazione sperimentale presentata in questo lavoro sono le seguenti:

- **GREENING**, l'inclusione di elementi come alberature, aree verdi. Questo tipo di soluzioni contribuisce a ridurre la concentrazione di CO₂ nelle aree urbane migliorando, allo stesso tempo, le condizioni di comfort termoisolante outdoor. L'inserimento di alberature negli spazi urbani, ad esempio, contribuisce all'ombreggiamento e, attivando fenomeni di evapotraspirazione, determina effetti positivi sulla riduzione delle temperature urbane, sugli impatti delle ondate di calore e sull'effetto dell'isola di calore urbano. Inoltre soluzioni, come *wetlands*, *bioshields*, *buffer zones*, *green roofs*, *tree pits*, *street side swales*, contribuiscono alla riduzione degli impatti dell'*urban flooding* per la gestione sostenibile delle acque meteoriche
- **DE-PAVING**, la riduzione del livello di impermeabilizzazione delle superfici urbane orizzontali introducendo pavimentazioni permeabili, con adeguate capacità termiche e fisiche che consentono alle superfici urbane di non raggiungere temperature elevate e di contribuire al deflusso superficiale delle acque piovane, grazie alla permeabilità dei materiali rispetto agli strati sottostanti:
- **COOL MATERIALS**, materiali che si caratterizzano per l'altra riflettanza solare, ottenuta attraverso l'uso di materiali di colore chiaro o superfici trattate con l'applicazione di vernici, o anche tramite la creazione di materiali con particolari pigmenti riflettenti per la radiazione infrarossa. L'utilizzo di questo tipo di materiali all'interno dei contesti urbani favorisce la

⁶⁴ CLARITY, <https://clarity-h2020.eu/>. Nell'ambito della reportistica è proposto il catalogo "Adaptation Measures Technical Cards", annex III D 3.3.

CLIMATE-ADAPT, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

ClimateApp, <https://www.climateapp.nl/>

Urban Adaptation Tools (UAT), <https://crudlaburba.wixsite.com/tools/maps>. Il sito si basa sul lavoro di ricerca svolto dagli studenti del Département Génie Urbain della Université Gustave Eiffel (Angela Ruggiero, Nicolas Bernard e Danna Lopez; coord. Margot Pellegrino).

URBAN GREEN-BLUE GRIDS for resilient cities, <https://www.urbangreenbluegrids.com/design-tool/>

riduzione delle temperature superficiali e contribuisce alla riduzione dell'effetto di isola di calore urbana.

Mentre per quanto riguarda gli edifici, le categorie di intervento sperimentate sono le seguenti:

- **GREEN ROOFS**, contribuiscono a limitare le dispersioni di calore, generando un impatto positivo sul fabbisogno energetico dell'edificio. Inoltre, la presenza di vegetazione sulla copertura favorisce l'assorbimento di CO₂ dall'ambiente circostante e aumenta la capacità della copertura stessa di riflettere la radiazione solare;
- **COOL REFLECTIVE ROOFS**, coperture che hanno un'elevata capacità di riflettere la radiazione solare incidente e, contemporaneamente, emettere energia termica nell'infrarosso. Hanno cioè un'elevata riflettanza solare ed un'elevata emissività termica. Questo tipo di coperture sono caratterizzate da una bassa temperatura superficiale anche sotto irraggiamento solare diretto.
- **SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI**, con infissi ad alte prestazioni per ridurre le dispersioni termiche dell'edificio. Ciò comporta una significativa riduzione del consumo energetico e, di conseguenza, delle emissioni climalteranti in atmosfera;
- **ISOLAMENTO TERMICO**, ovvero tutti quei sistemi e quelle operazioni volte alla riduzione del flusso termico di calore scambiato tra due ambienti a temperature differenti. È uno tra i fattori principali per il raggiungimento del comfort termico degli occupanti negli edifici.

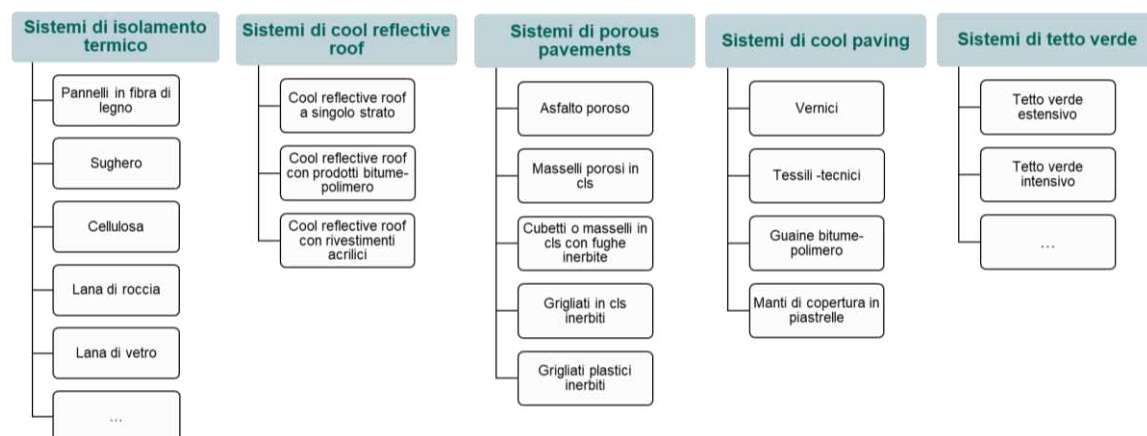


Figura 81 - Relazione tra alcune delle categorie di intervento utilizzate e le soluzioni tecniche comprese al loro interno.

5.3.4 Fase di *testing* e scheda di valutazione

Una volta individuate le categorie di intervento sono stati definiti i 5 scenari di progressive upgrade sul quale condurre le fasi di testing e successivamente di valutazione dell'efficacia delle ipotesi

progettuali proposte tramite il confronto *ex ante* ed *ex post* della misura del set di indici e indicatori individuato precedentemente.

Scenario 1	Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con materiali permeabili.
Scenario 2	Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con cool materials permeabili e riqualificazione delle coperture con sistemi di cool reflective roofs.
Scenario 3	Deimpermeabilizzazione dell'area con cool materials permeabili e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e tetto verde estensivo.
Scenario 4	Deimpermeabilizzazione dell'area con cool materials permeabili e interventi di greening (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi al di sotto dei 12) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e tetto verde estensivo (spessore 8 cm).
Scenario 5	Deimpermeabilizzazione dell'area con cool materials permeabili e interventi di greening (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi tra i 12 e i 18 m) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e tetto verde estensivo (spessore tra gli 8 e i 10 cm).

Tabella 18 - Scenari di *progressive upgrade* testati con il *Proof of Concept Design Process*.

Al fine di semplificare la fase di valutazione delle alternative progettuali, è stata costruita una scheda di valutazione in cui sono descritti gli interventi di adattamento previsti, le caratteristiche dei materiali utilizzati e i valori dei parametri necessari a valutare il livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave* e al *pluvial flooding* al fine di comprendere il grado di intervento necessario per agire in maniera efficace rispetto ai rischi climatici determinati dai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* negli insediamenti urbani.

I punti che caratterizzano le schede sono i seguenti:

- *Descrizione dell'intervento*

Gli interventi di adattamento che saranno oggetto di testing sono brevemente descritti evidenziando la scala alla quale sono applicati (spazio aperto ed edificio) e individuando le diverse combinazioni tra le diverse categorie di intervento messe in campo.

- *Caratteristiche fisiche dell'area*

Sia per lo stato di fatto che per i diversi scenari di intervento sono riportate le diverse caratteristiche delle superfici che caratterizzano l'area di intervento sia dal punto di vista quantitativo che dal punto di vista delle caratteristiche termo-fisiche dei materiali che la costituiscono. Sono riportati per ogni superficie i coefficienti di deflusso e di albedo corrispondenti.

- *Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave*

Sono riportati i valori medi per l'area oggetto di test di Predicted Mean Vote e di albedo, evidenziando il livello di criticità che questi comportano sulla base delle scale precedentemente individuate.

- *Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding*

Sono riportati i valori medi per l'area oggetto di test di Riduzione dell'Impatto Edilizio e di coefficiente di deflusso, evidenziando il livello di criticità che questi comportano sulla base delle scale precedentemente individuate.

Alla fine di ogni sequenza di modellazione e simulazione, i risultati dei diversi scenari sono comparati ed è valutato il livello di upgrade di interventi di adattamento necessari per agire in maniera efficace rispetto ai possibili impatti derivanti dai rischi climatici connessi a *heat wave* e *pluvial flooding*.

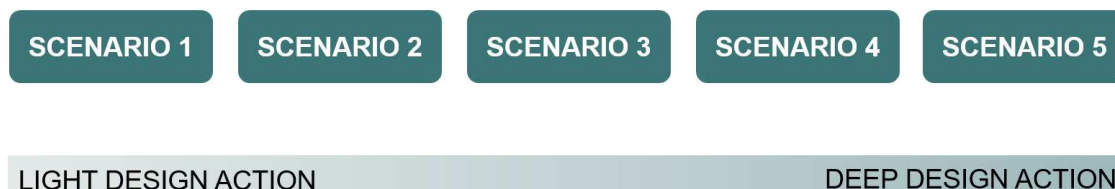


Figura 82 - Relazione tra gli scenari testati e il grado di intervento richiesto per la riduzione degli impatti.

A titolo esemplificativo, si riportano i risultati sintetici ottenuti dall'applicazione del processo a una delle aree nel contesto dell'area di studio con alto livello di criticità rispetto agli impatti cumulati di *heat wave* e *pluvial flooding*. La sezione in oggetto è localizzata nel tessuto storico del distretto urbano di Ponticelli.

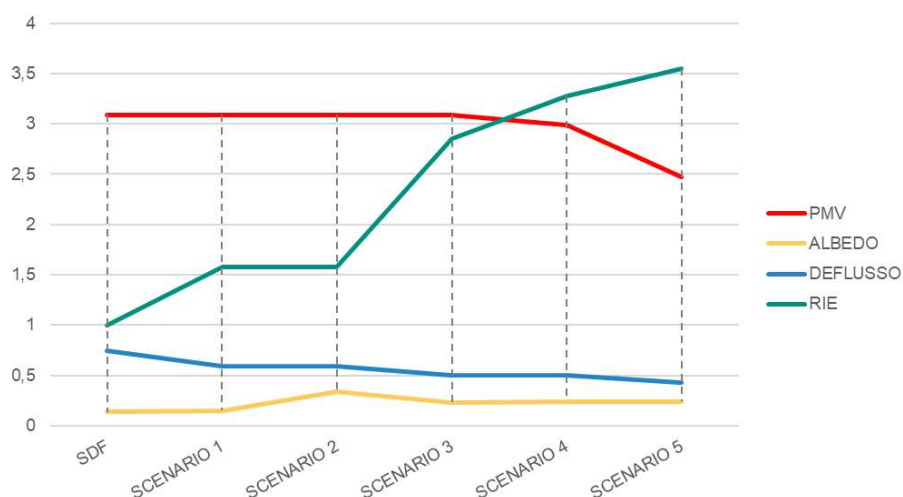


Figura 83 - Quadro sintetico dei valori di *Predicted Mean Vote*, albedo, Indice RIE e coefficiente di deflusso per i cinque scenari sperimentati nell'area test 1.

Dal grafico è possibile osservare un miglioramento dei parametri in tutti gli scenari testati, con un incremento corrisponde all'aumento dell'invasività degli interventi di adattamento proposti. Tuttavia, effettuando nuovamente la valutazione di impatto integrato rispetto a *heat wave* e *pluvial flooding*, con nessun degli scenari sperimentati si riesce ad ottenere una riduzione significativa del livello di criticità dell'area. Ciononostante, dallo scenario 2 in poi è possibile riscontrare una riduzione della vulnerabilità intrinseca dell'area, segno che gli interventi proposti incidono positivamente sulla capacità di adattamento dell'area e che per ottenere risultati significati è necessario mettere in campo un intervento maggiormente invasivo (Scenario 5) al fine di ottenere i migliori benefit in termini di riduzione degli impatti climatici.

SCENARI DI INTERVENTO

Scenario 1 Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con materiali permeabili.

Categorie di intervento utilizzate							
	DE-PAVING	COOL MATERIALS	COOL REFLECTIVE ROOFS	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	ISOLAMENTO TERMICO	GREEN ROOFS	GREENING

Scenario 2 Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con *cool materials* permeabili e riqualificazione delle coperture con sistemi di *cool reflective roofs*.

Categorie di intervento utilizzate							
	DE-PAVING	COOL MATERIALS	COOL REFLECTIVE ROOFS	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	ISOLAMENTO TERMICO	GREEN ROOFS	GREENING

Scenario 3 Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roofs*.

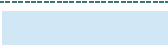
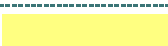
Categorie di intervento utilizzate							
	DE-PAVING	COOL MATERIALS	COOL REFLECTIVE ROOFS	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	ISOLAMENTO TERMICO	GREEN ROOFS	GREENING

Scenario 4 Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e interventi di *greening* (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi al di sotto dei 12) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roofs* (spessore 8 cm).

Categorie di intervento utilizzate							
	DE-PAVING	COOL MATERIALS	COOL REFLECTIVE ROOFS	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	ISOLAMENTO TERMICO	GREEN ROOFS	GREENING

Scenario 5 Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e interventi di *greening* (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi tra i 12 e i 18 m) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roofs* (spessore tra gli 8 e i 10 cm).

Categorie di intervento utilizzate							
	DE-PAVING	COOL MATERIALS	COOL REFLECTIVE ROOFS	SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	ISOLAMENTO TERMICO	GREEN ROOFS	GREENING

SCALE DI VALUTAZIONE		
LIVELLO DI CRITICITÀ PER L'ADATTAMENTO ALL'HEAT WAVE		
Predicted Mean Vote (PMV) ⁶⁵		
Legenda	Valore del dato	Classe di criticità
	$PMV \geq 3.00$	ALTA
	$+2.00 \leq PMV < +3.00$	MEDIO-ALTA
	$+1.00 \leq PMV < +2.00$	MEDIA
	$+0.50 \leq PMV < +1.00$	MEDIO-BASSA
	$-0.50 < PMV < +0.50$	BASSA
	$-0.50 \leq PMV < -1.00$	MEDIO-BASSA
	$-1.00 \leq PMV < -2.00$	MEDIA
	$-2.00 \leq PMV < -3.00$	MEDIO-ALTA
	$PMV \geq -3.00$	ALTA
Albedo (ρ_{suolo}) ⁶⁶		
Legenda	Valore del dato	Classe di criticità
	$0.90 \leq \rho_{suolo} \leq 1.00$	ALTA
	$0.80 \leq \rho_{suolo} < 0.90$	MEDIO-ALTA
	$0.70 \leq \rho_{suolo} < 0.80$	MEDIA
	$0.60 \leq \rho_{suolo} < 0.70$	MEDIO-BASSA
	$0.40 \leq \rho_{suolo} < 0.60$	BASSA
	$0.30 \leq \rho_{suolo} < 0.40$	MEDIO-BASSA
	$0.20 \leq \rho_{suolo} < 0.30$	MEDIA
	$0.10 \leq \rho_{suolo} < 0.20$	MEDIO-ALTA
	$0.00 \leq \rho_{suolo} < 0.10$	ALTA

⁶⁵ Criteri e metodi per la valutazione del rischio microclima ambienti moderati e ambienti severi; https://www.portaleagentifisici.it/filemanager/userfiles/MICROCLIMA/PAF_MICROCLIMA_VALUTAZIONE_05_06_2019_rev0.docx.pdf?lg=IT

⁶⁶ Classificazione utilizzata nell'ambito della valutazione della vulnerabilità nella ricerca PLANNER rispetto all'hazard heat wave.

SCALE DI VALUTAZIONE		
LIVELLO DI CRITICITÀ PER L'ADATTAMENTO AL <i>PLUVIAL FLOODING</i>		
Coefficiente di deflusso (ψ) ⁶⁷		
<i>Legenda</i>	<i>Valore del dato</i>	<i>Classe di criticità</i>
	$0.80 \leq \psi < 1$	ALTA
	$0.60 \leq \psi < 0.80$	MEDIO-ALTA
	$0.40 \leq \psi < 0.60$	MEDIA
	$0.20 \leq \psi < 0.40$	MEDIO-BASSA
	$0.00 \leq \psi < 0.20$	BASSA
Indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio (RIE) ⁶⁸		
<i>Legenda</i>	<i>Valore del dato</i>	<i>Classe di criticità</i>
	$RIE < 2.00$	ALTA
	$2.00 \leq RIE < 4.00$	MEDIO-ALTA
	$4.00 \leq RIE < 6.00$	MEDIA
	$6.00 \leq RIE < 8.00$	MEDIO-BASSA
	$RIE \geq 8.00$	BASSA
Livelli del RIE da garantire in base alla destinazione d'uso dell'area di analisi		
<i>Destinazione d'uso</i>	<i>Valore</i>	<i>Classe</i>
Zone a destinazione residenziale	$RIE \geq 4.00$	MINIMO
	$RIE \geq 5.00$	MIGLIORATIVO
	$RIE \geq 6.00$	DI ECCELLENZA
Zone a destinazione produttiva	$RIE \geq 1.50$	MINIMO
	$RIE \geq 2.00$	MIGLIORATIVO
	$RIE \geq 2.50$	DI ECCELLENZA

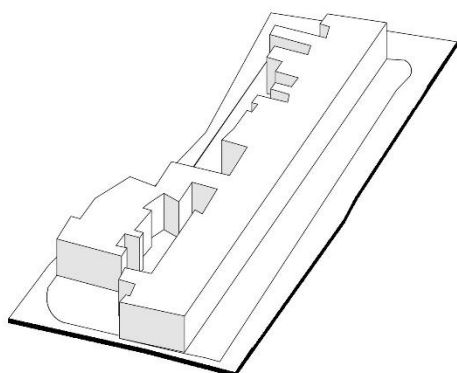
⁶⁷ Classificazione utilizzata nell'ambito della valutazione della vulnerabilità nella ricerca METROPOLIS rispetto all'hazard pluvial flooding.

⁶⁸ <https://opencity.comune.bolzano.it/Servizi/Richiedere-la-Certificazione-RIE-Riduzione-dell-Impatto-Edilizio>.

SEZIONE 1

STATO DI FATTO

Caratteristiche fisiche dell'area



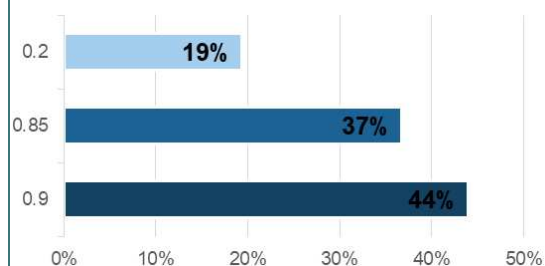
Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto non drenante	2545	0.9	0.1
Aree con pavimentazioni non permeabili	1337	0.9	0.22
Aree incolte	1704	0.2	0.2
Aree edificate	3241	0.85	0.1

Tipo di alberature

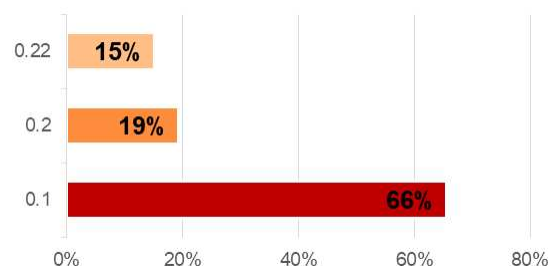
Non sono presenti alberature.



Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo

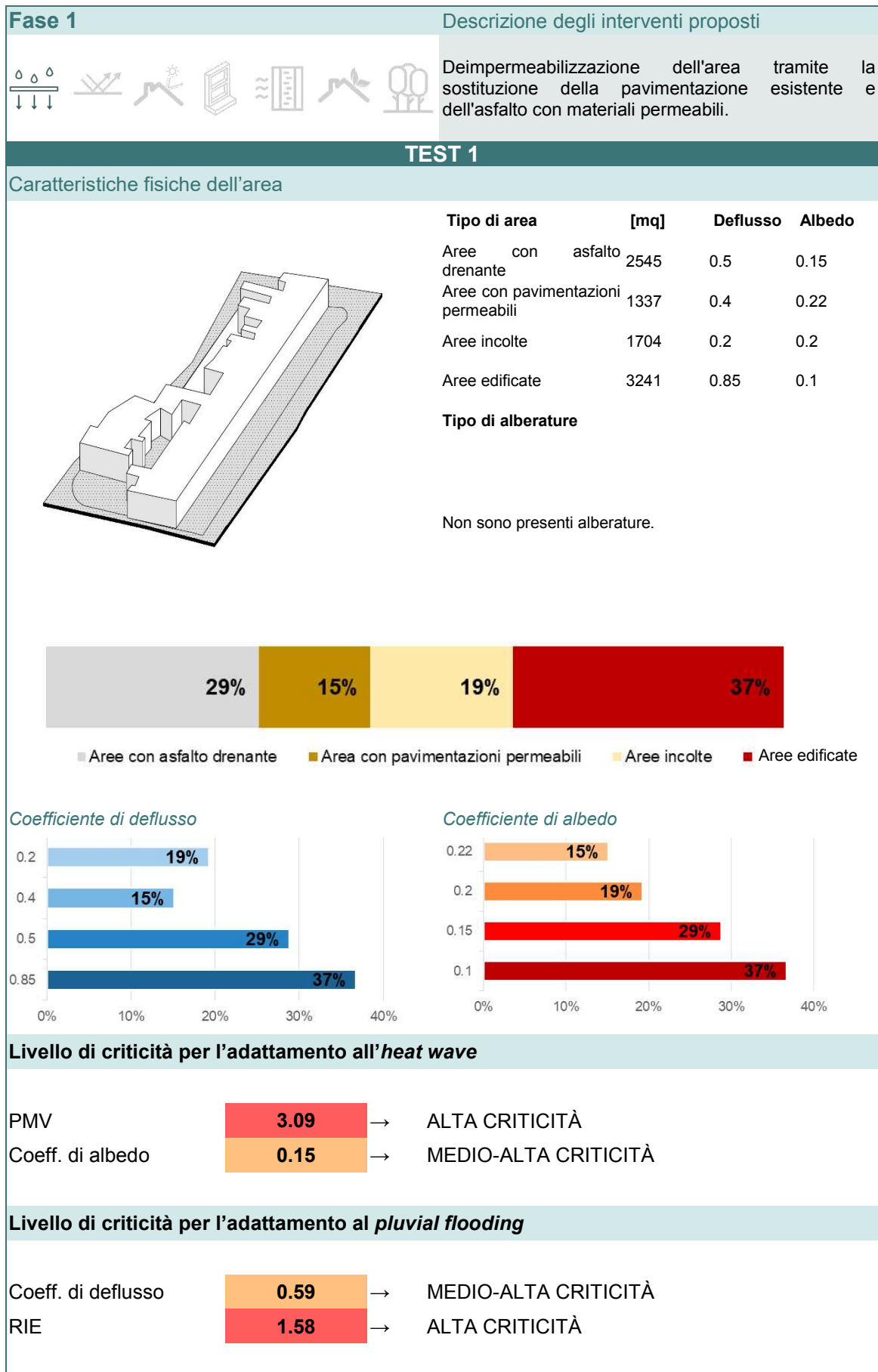


Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV	3.09	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.14	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso	0.75	→	ALTA CRITICITÀ
RIE	1.00	→	ALTA CRITICITÀ



Fase 2

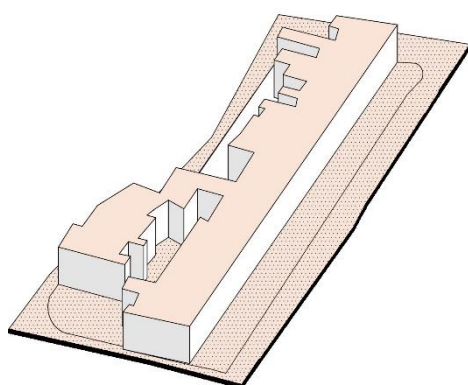
Descrizione degli interventi proposti



Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con *cool materials* permeabili e riqualificazione delle coperture con sistemi di *cool reflective roofs*.

TEST 2

Caratteristiche fisiche dell'area



Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	2545	0.5	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	1337	0.4	0.50
Aree incolte	1704	0.2	0.20
Aree edificate con cool reflective roofs	3241	0.70	0.50

Tipo di alberature

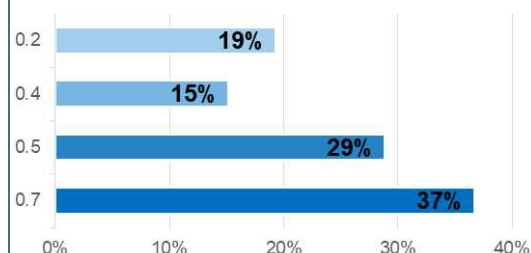
Non sono presenti alberature.



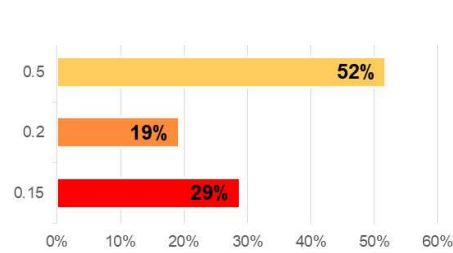
■ Aree con asfalto drenante (cool materials)
■ Aree incolte

■ Area con pavimentazioni permeabili (cool materials)
■ Aree edificate con cool reflective roofs

Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo



Livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave*

PMV	3.09	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.34	→	MEDIO-BASSA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al *pluvial flooding*

Coeff. di deflusso	0.50	→	MEDIA CRITICITÀ
RIE	1.58	→	ALTA CRITICITÀ

Fase 3

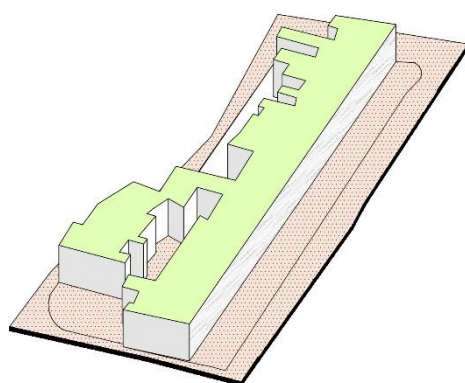
Descrizione degli interventi proposti



Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roofs*.

TEST 3

Caratteristiche fisiche dell'area



Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	2545	0.5	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	1337	0.40	0.50
Aree incolte	1704	0.20	0.20
Aree edificate con green roofs (sp: 8cm)	3241	0.70	0.20

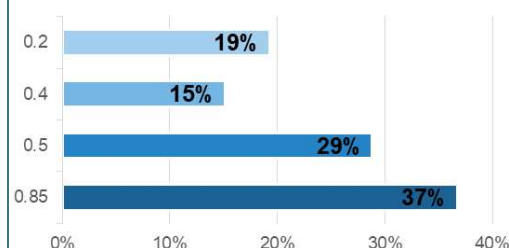
Tipo di alberature

Non sono presenti alberature.

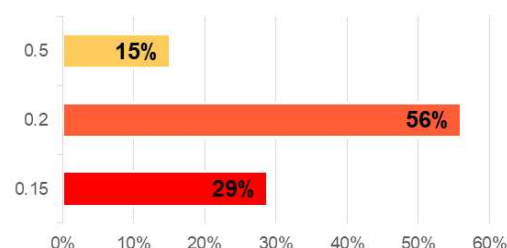


Aree con asfalto drenante (cool materials)
 Area con pavimentazioni permeabili (cool materials)
 Aree incolte
 Aree edificate con tetto verde (8 cm)

Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo

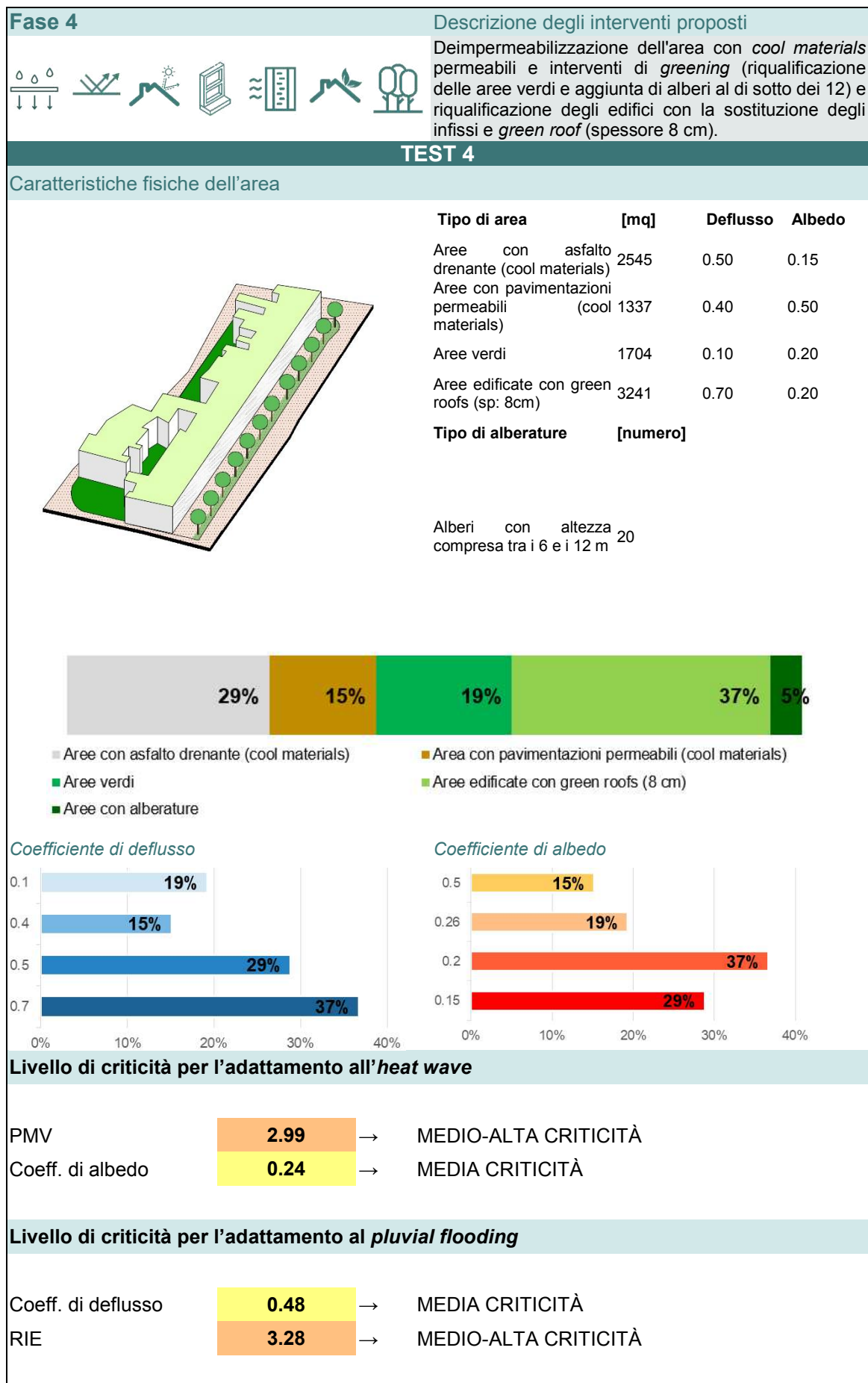


Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV	3.09	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.23	→	MEDIA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso	0.50	→	MEDIA CRITICITÀ
RIE	2.85	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ



Fase 5

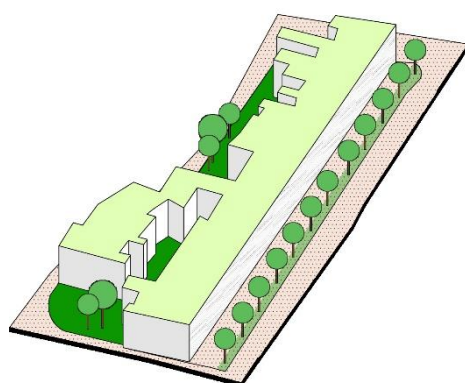


Descrizione degli interventi proposti

Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e interventi di *greening* (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi al di sotto dei 12) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roof* (spessore 8 cm).

TEST 5

Caratteristiche fisiche dell'area

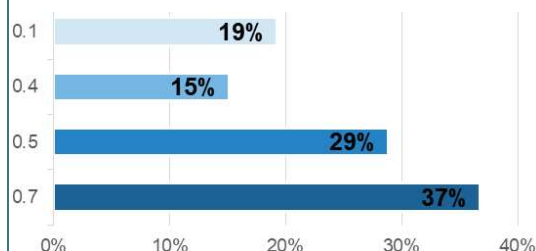


Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	2545	0.50	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	1337	0.40	0.50
Aree verdi	1704	0.10	0.20
Aree edificate con green roofs (sp: tra 8 e 10cm)	3241	0.70	0.20

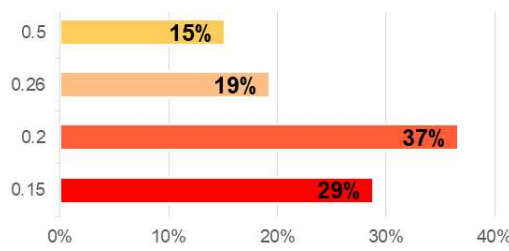


■ Aree con asfalto drenante (cool materials)
 ■ Area con pavimentazioni permeabili (cool materials)
 ■ Aree verdi
 ■ Aree edificate con green roofs (8 - 10 cm)
 ■ Aree con alberature

Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo



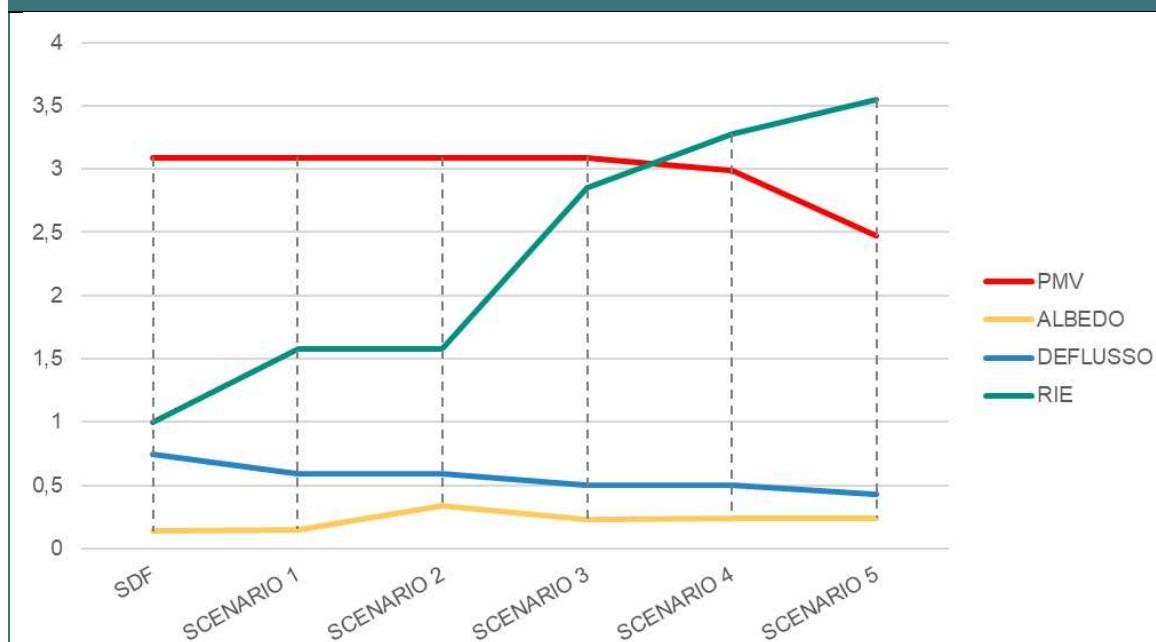
Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV 2.47 → MEDIO-ALTA CRITICITÀ
 Coeff. di albedo 0.24 → MEDIA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso 0.41 → MEDIA CRITICITÀ
 RIE 3.53 → MEDIO-ALTA CRITICITÀ

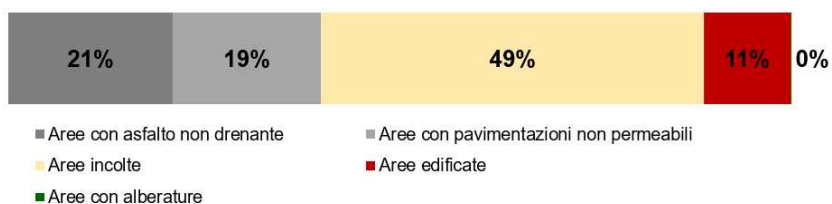
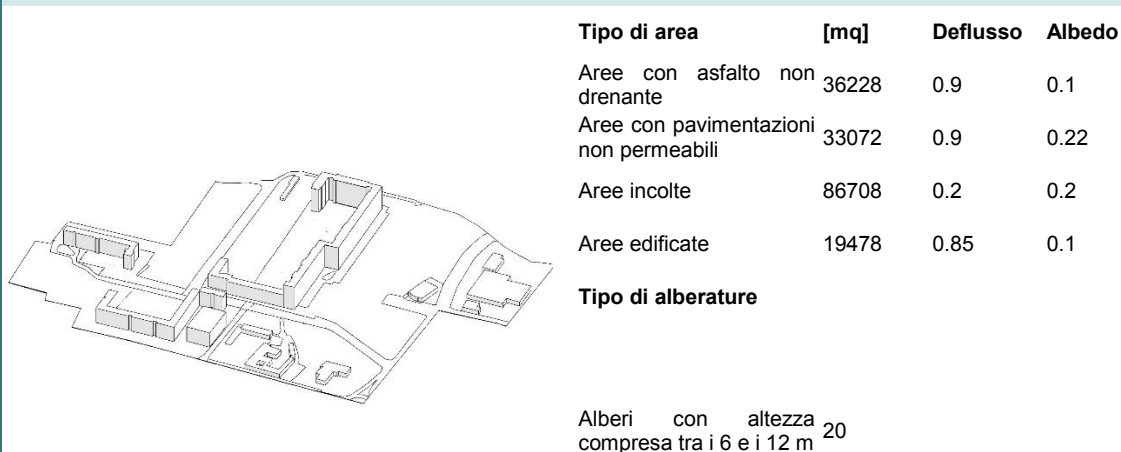
QUADRO DI SINTESI DI VALUTAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO



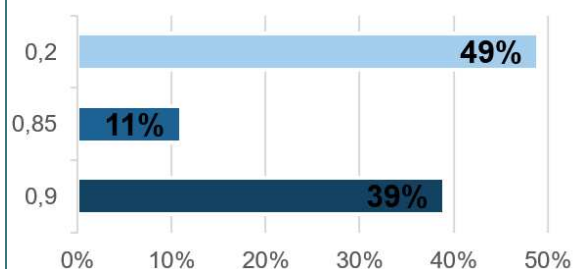
SEZIONE 2

STATO DI FATTO

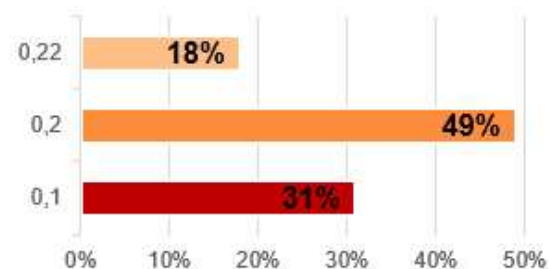
Caratteristiche fisiche dell'area



Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo



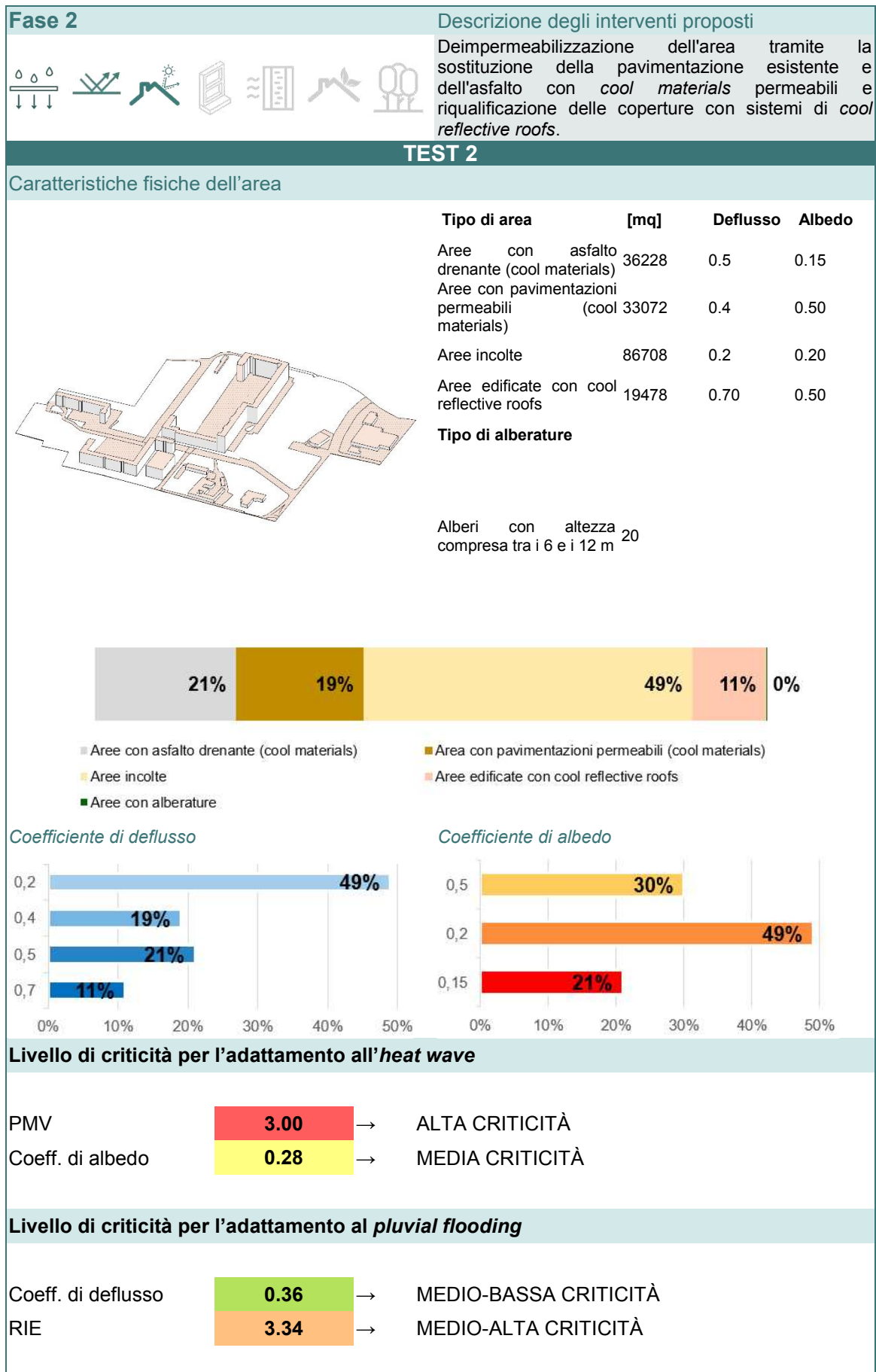
Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

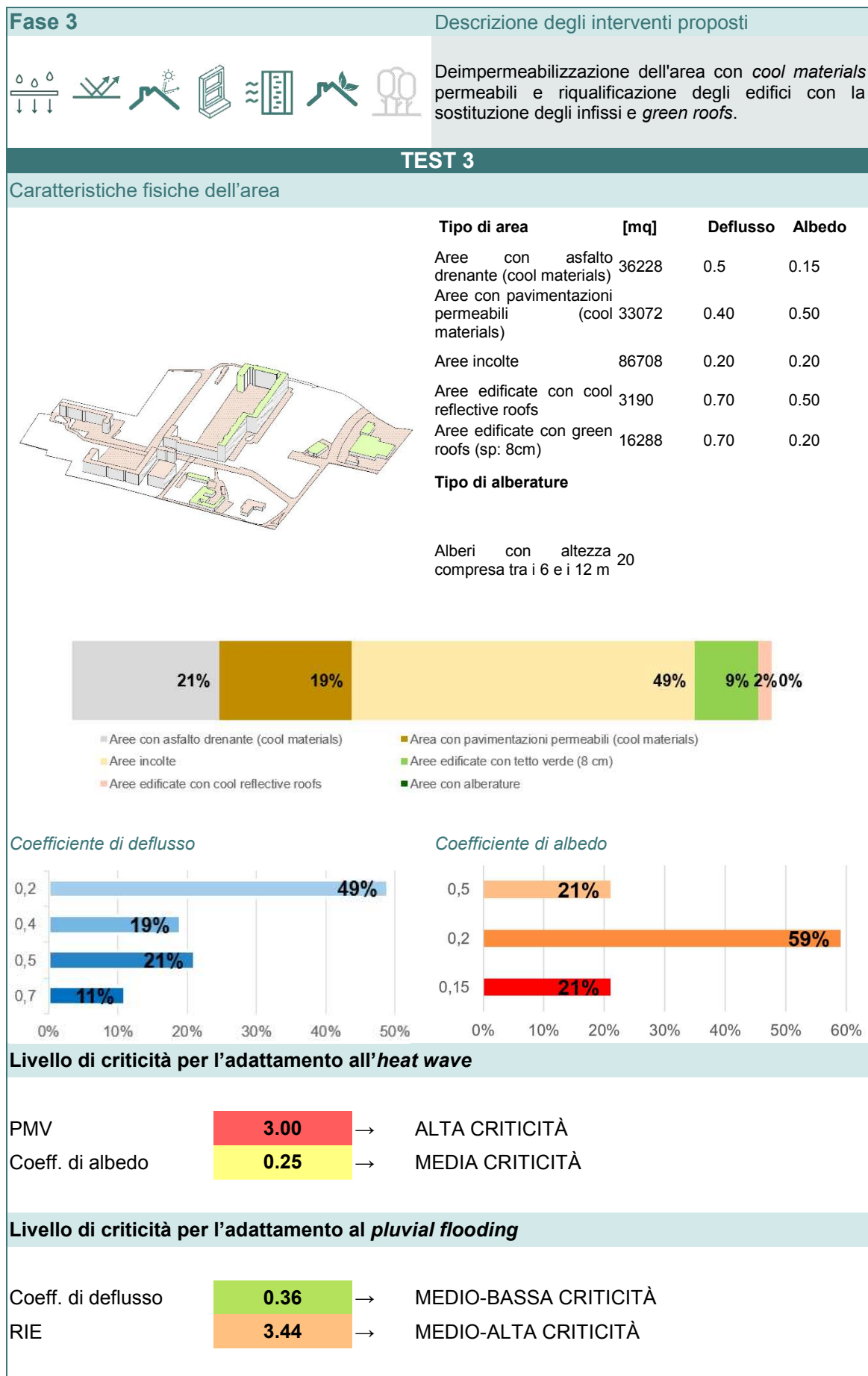
PMV	3.02	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.17	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ

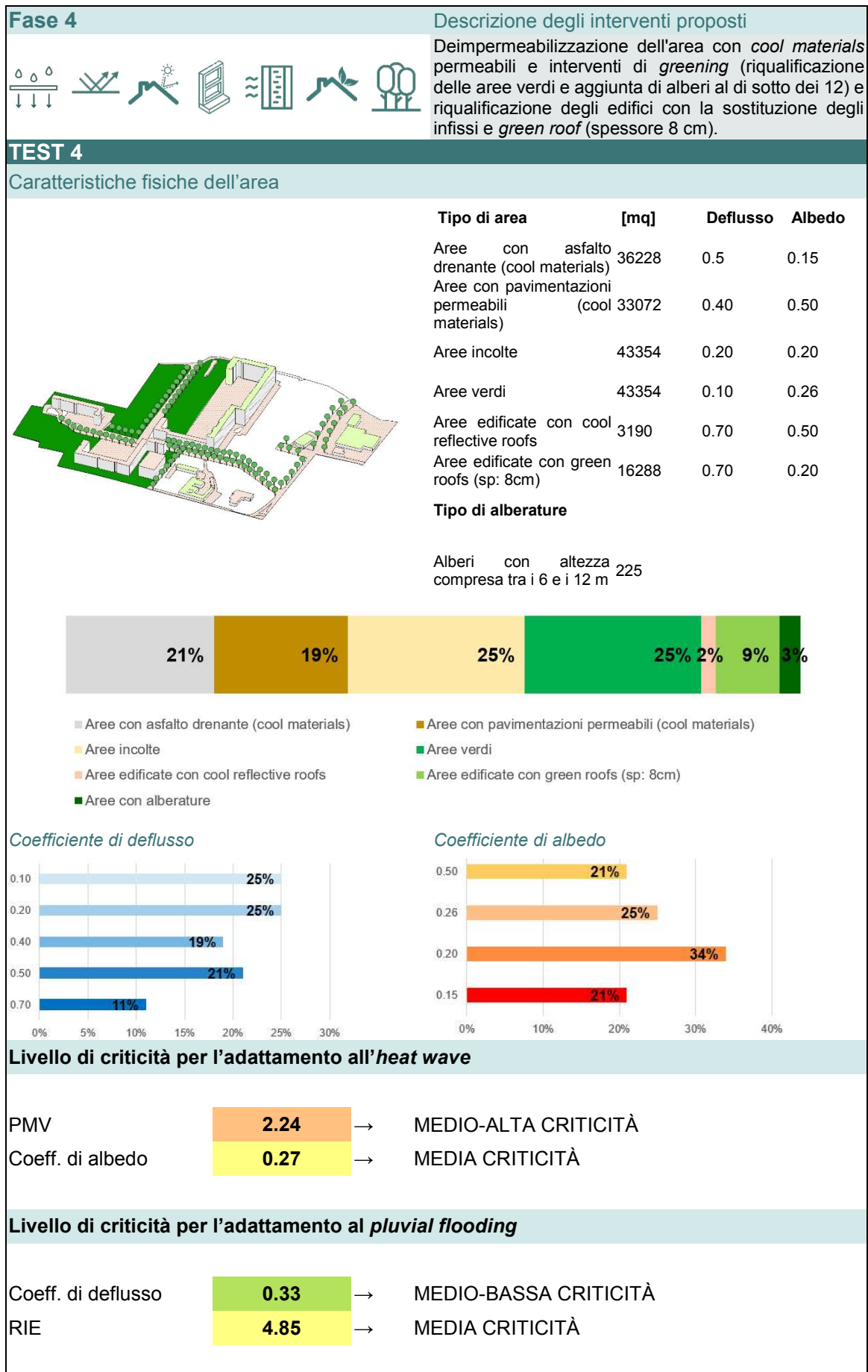
Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

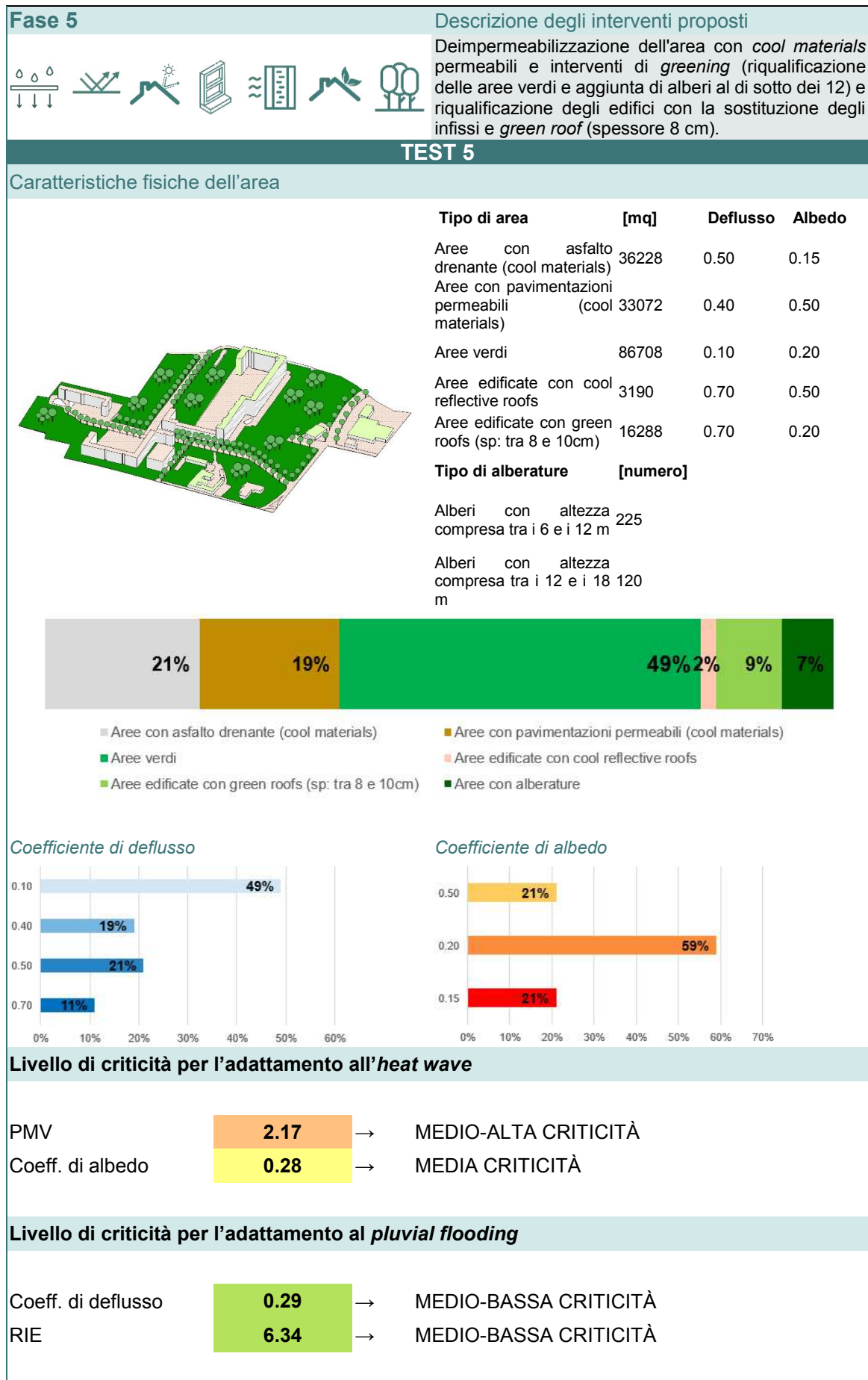
Coeff. di deflusso	0.55	→	ALTA CRITICITÀ
RIE	2.62	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ

Fase 1		Descrizione degli interventi proposti	
		Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con materiali permeabili.	
TEST 1			
Caratteristiche fisiche dell'area			
	Tipo di area	[mq]	Deflusso Albedo
	Aree con asfalto drenante	36228	0.5 0.15
	Aree con pavimentazioni permeabili	33072	0.4 0.22
	Aree incolte	86708	0.2 0.2
	Aree edificate	19478	0.85 0.1
Tipo di alberature			
Alberi con altezza compresa tra i 6 e i 12 m 20			
Aree con asfalto drenante Area con pavimentazioni permeabili Aree incolte Area edifici Aree con alberature			
Coefficiente di deflusso		Coefficiente di albedo	
Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave			
PMV	3.00	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.18	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ
Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding			
Coeff. di deflusso	0.37	→	MEDIO-BASSA CRITICITÀ
RIE	3.34	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ

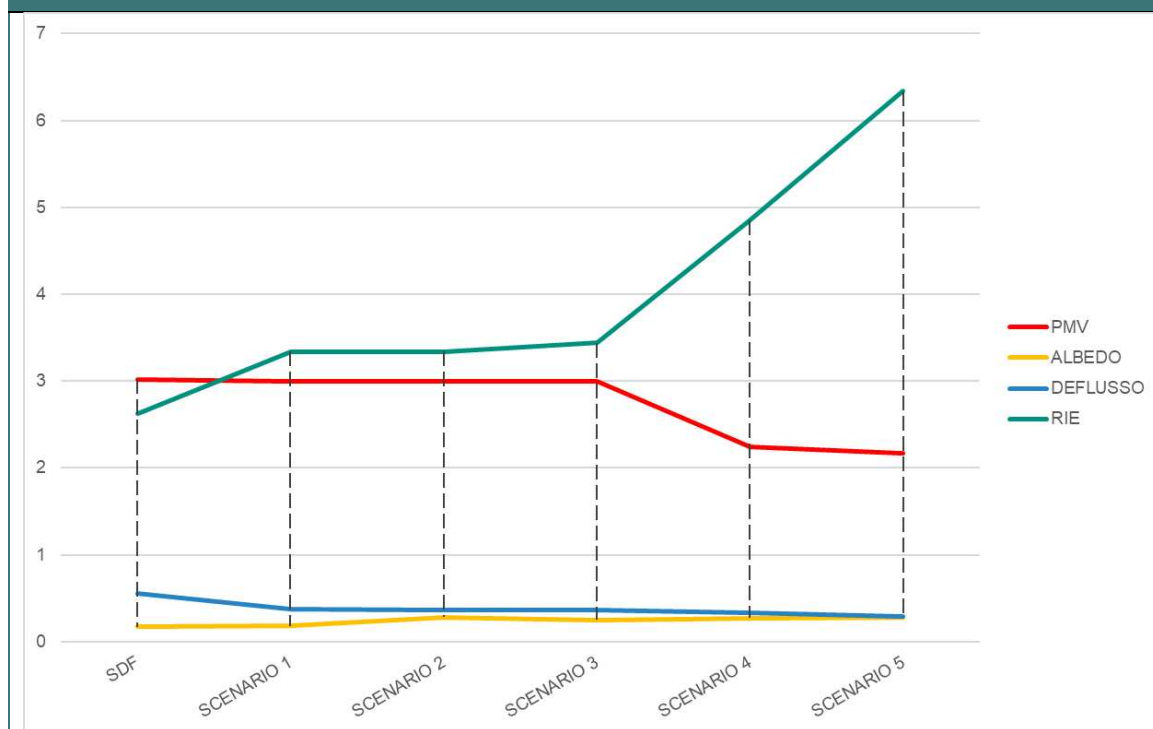








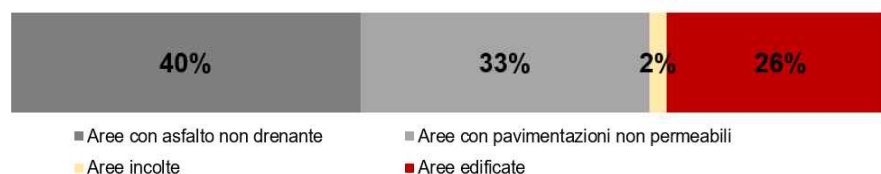
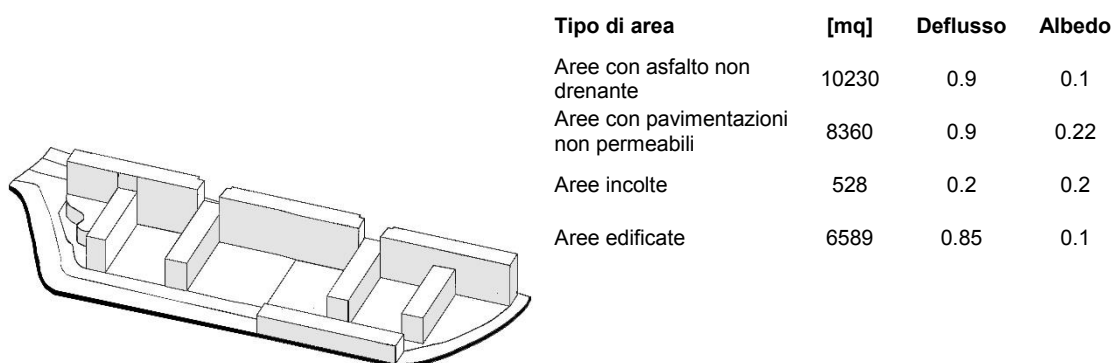
QUADRO DI SINTESI DI VALUTAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO



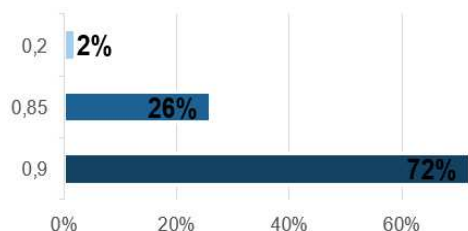
SEZIONE 3

STATO DI FATTO

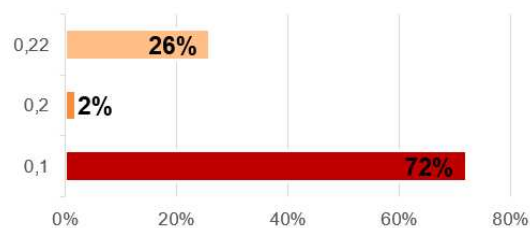
Caratteristiche fisiche dell'area



Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo

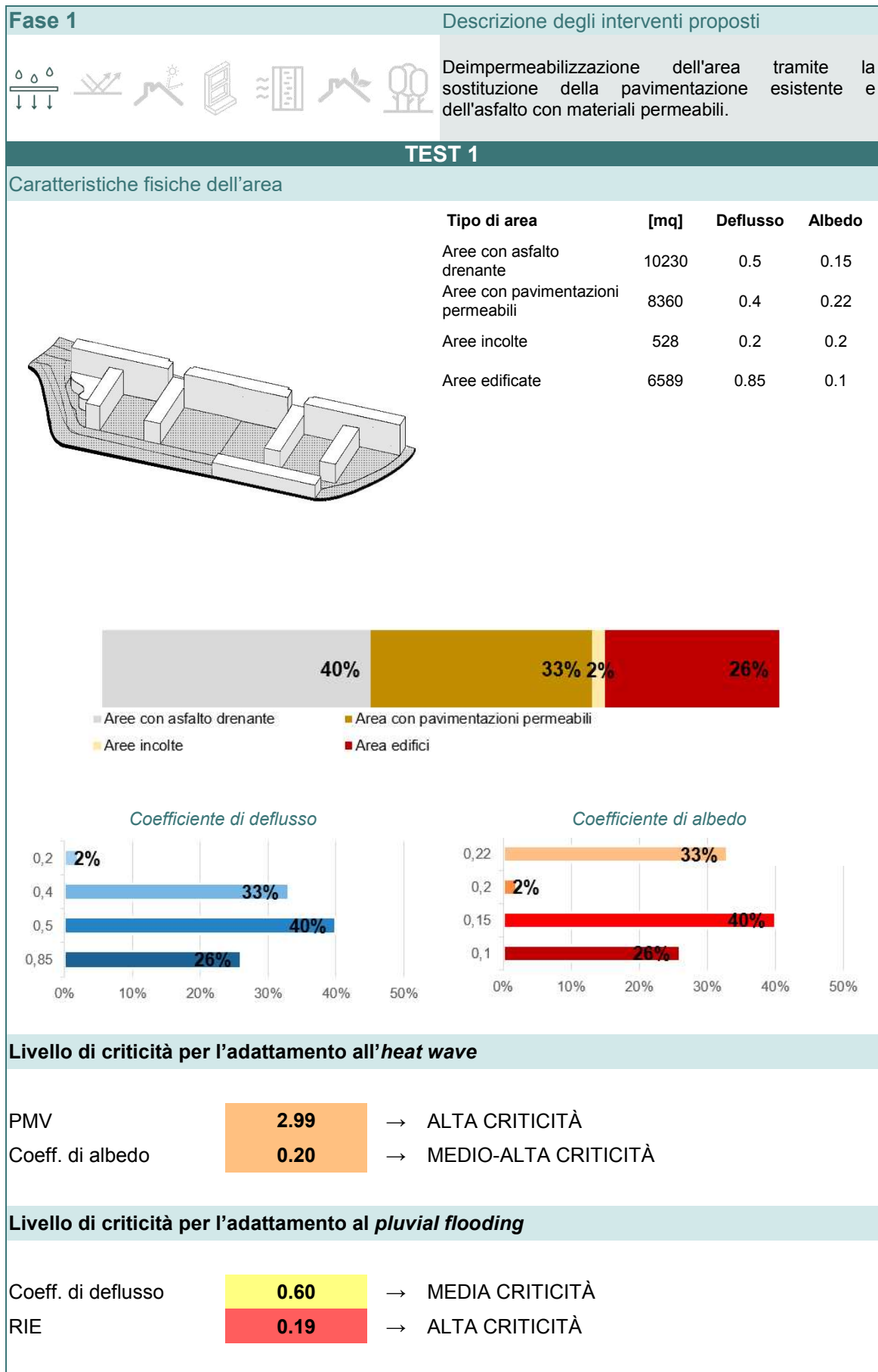


Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV	2.99	→	ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.17	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso	0.87	→	ALTA CRITICITÀ
RIE	0.11	→	MEDIO-ALTA CRITICITÀ



Fase 2

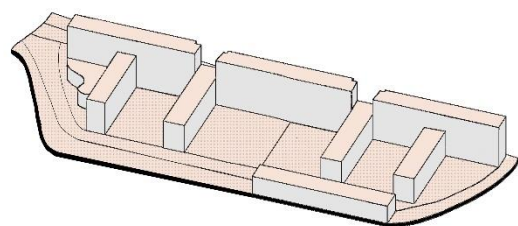
Descrizione degli interventi proposti



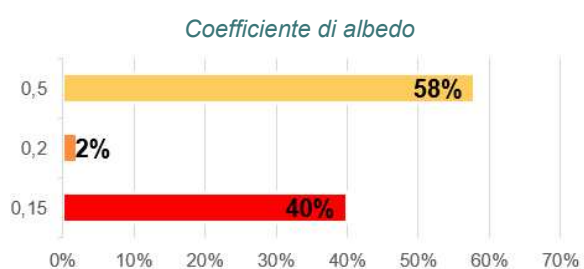
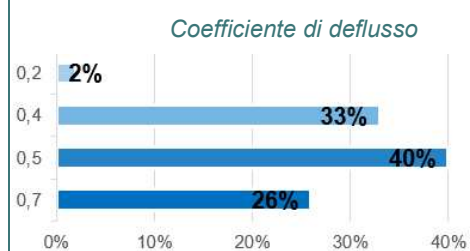
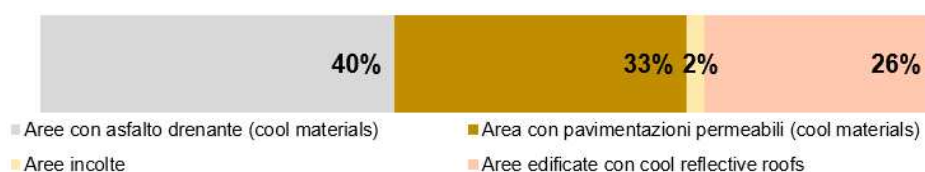
Deimpermeabilizzazione dell'area tramite la sostituzione della pavimentazione esistente e dell'asfalto con *cool materials* permeabili e riqualificazione delle coperture con sistemi di *cool reflective roofs*.

TEST 2

Caratteristiche fisiche dell'area



Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	10230	0.5	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	8360	0.4	0.50
Aree incolte	528	0.2	0.20
Aree edificate con cool reflective roofs	6589	0.70	0.50

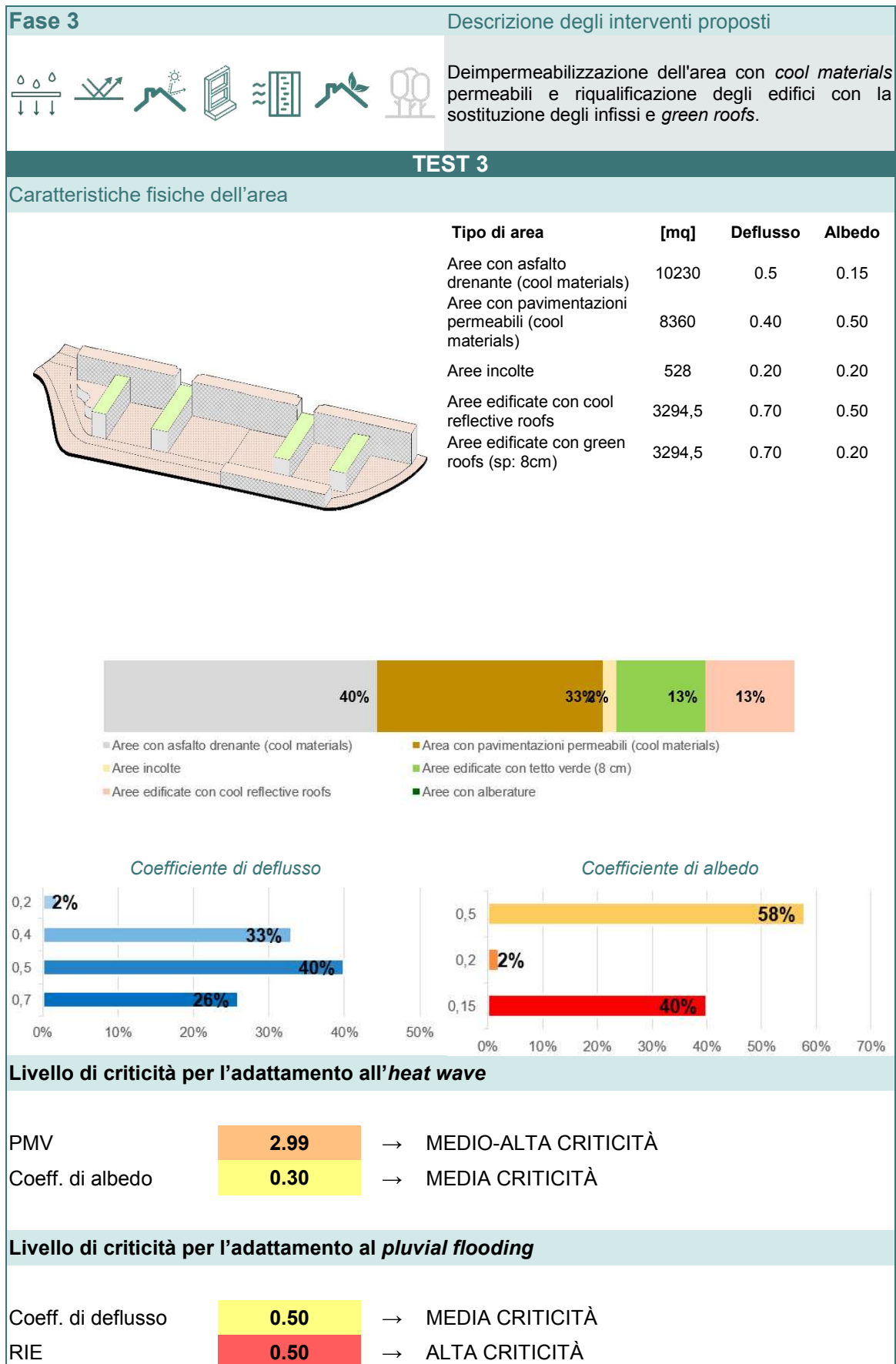


Livello di criticità per l'adattamento all'*heat wave*

PMV	2.99	→ MEDIO-ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.40	→ MEDIO-BASSA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al *pluvial flooding*

Coeff. di deflusso	0.50	→ MEDIA CRITICITÀ
RIE	0.19	→ ALTA CRITICITÀ



Fase 4

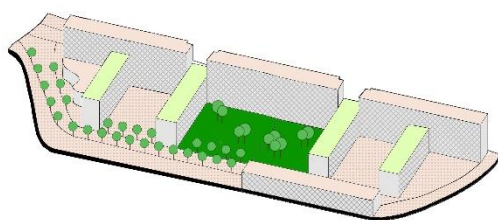


Descrizione degli interventi proposti

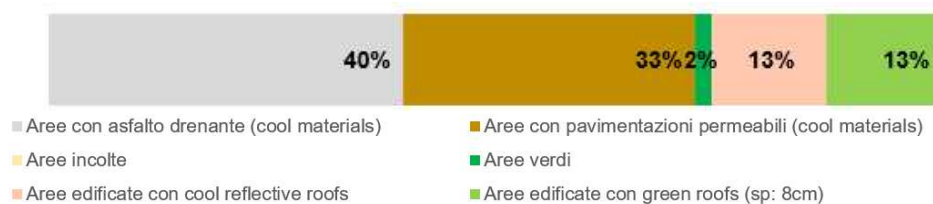
Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e interventi di *greening* (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi al di sotto dei 12) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roof* (spessore 8 cm).

TEST 4

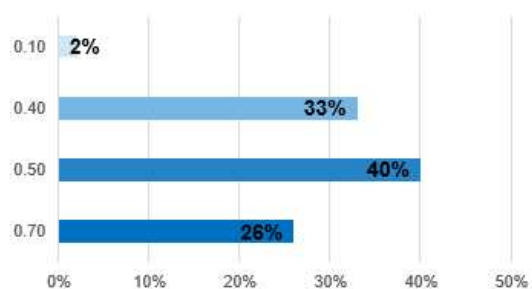
Caratteristiche fisiche dell'area



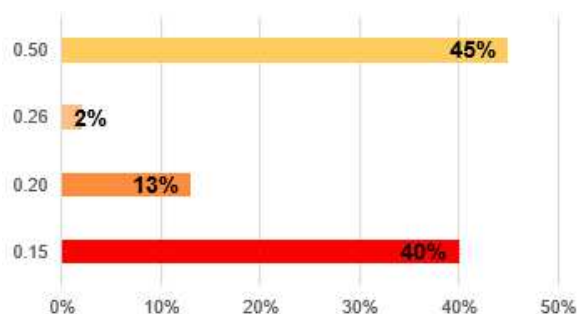
Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	10230	0.5	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	8360	0.40	0.50
Aree verdi	528	0.10	0.26
Aree edificate con cool reflective roofs	3294.5	0.70	0.50
Aree edificate con green roofs (sp: 8cm)	3294.5	0.70	0.20
Tipo di alberature	[numero]		
Alberi con altezza compresa tra i 6 e i 12 m	225		



Coefficiente di deflusso



Coefficiente di albedo



Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV	2.80	→ MEDIO-ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.3	→ MEDIO-BASSA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso	0.50	→ MEDIA CRITICITÀ
RIE	1.13	→ ALTA CRITICITÀ

Fase 5

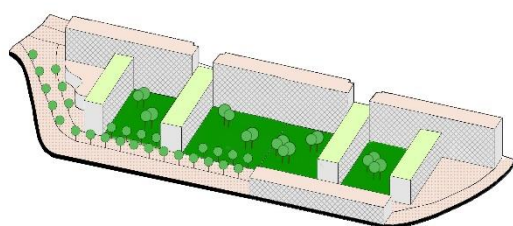


Descrizione degli interventi proposti

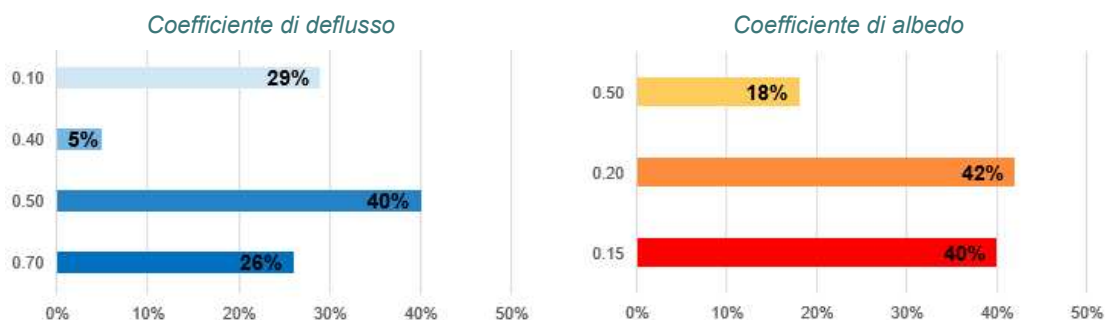
Deimpermeabilizzazione dell'area con *cool materials* permeabili e interventi di *greening* (riqualificazione delle aree verdi e aggiunta di alberi al di sotto dei 12) e riqualificazione degli edifici con la sostituzione degli infissi e *green roof* (spessore 8 cm).

TEST 5

Caratteristiche fisiche dell'area



Tipo di area	[mq]	Deflusso	Albedo
Aree con asfalto drenante (cool materials)	10230	0.50	0.15
Aree con pavimentazioni permeabili (cool materials)	1360	0.40	0.50
Aree verdi	7528	0.10	0.20
Aree edificate con cool reflective roofs	3294.5	0.70	0.50
Aree edificate con green roofs (sp: tra 8 e 10cm)	3294.5	0.70	0.20
Tipo di alberature	[numero]		
Alberi con altezza compresa tra i 6 e i 12 m		225	
Alberi con altezza compresa tra i 12 e i 18 m		120	



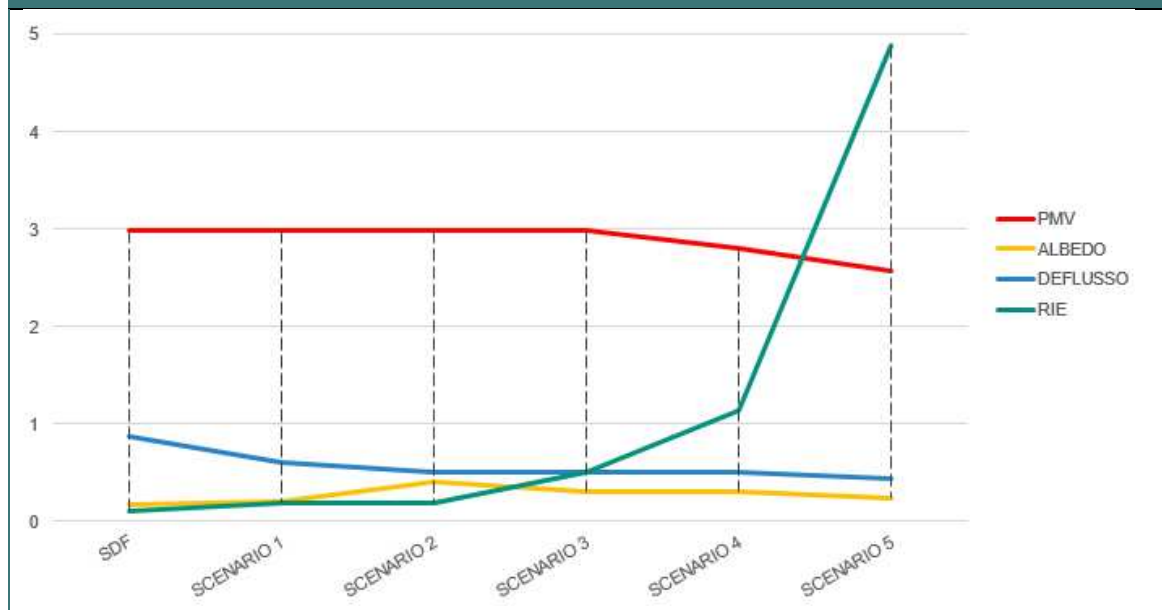
Livello di criticità per l'adattamento all'heat wave

PMV	2.57	→ MEDIO-ALTA CRITICITÀ
Coeff. di albedo	0.23	→ MEDIA CRITICITÀ

Livello di criticità per l'adattamento al pluvial flooding

Coeff. di deflusso	0.43	→ MEDIA CRITICITÀ
RIE	4.88	→ MEDIO-BASSA CRITICITÀ

QUADRO DI SINTESI DI VALUTAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO



5.3.5 Verifica dell'efficacia del PoC

Nell'ambito dello sviluppo del PoC una delle fasi fondamentali è la fase di verifica dell'efficacia del processo di PoC proposto. La convalida del PoC avviene in questo caso tramite l'utilizzo di una delle fasi successive di sviluppo del *proof of concept design*, ovvero il *pilot*.

Il *pilot* ha l'obiettivo di analizzare il funzionamento completo del prodotto in fase di *testing*. Esso non solo consente rientri ricorsivi per la rimodulazione del PoC ma anche l'evoluzione dei requisiti di sistema richiesti. Il *pilot* si rivela come un banco di prova fondamentale, permettendo l'applicazione concreta delle idee, il confronto con la realtà, e la costruzione di una base solida per decisioni strategiche.

Nell'ambito della sperimentazione condotta, il *pilot* è rappresentato dallo sviluppo per una delle aree *hotspot* identificate precedentemente a livello metaprogettuale di interventi di adattamento per il contrasto degli impatti climatici derivanti dai fenomeni pericolosi di *heat wave* e *pluvial flooding*.

Il PoC sarà considerato validato se il *pilot* così definito dimostrerà una diminuzione effettiva della classe di impatto integrato.

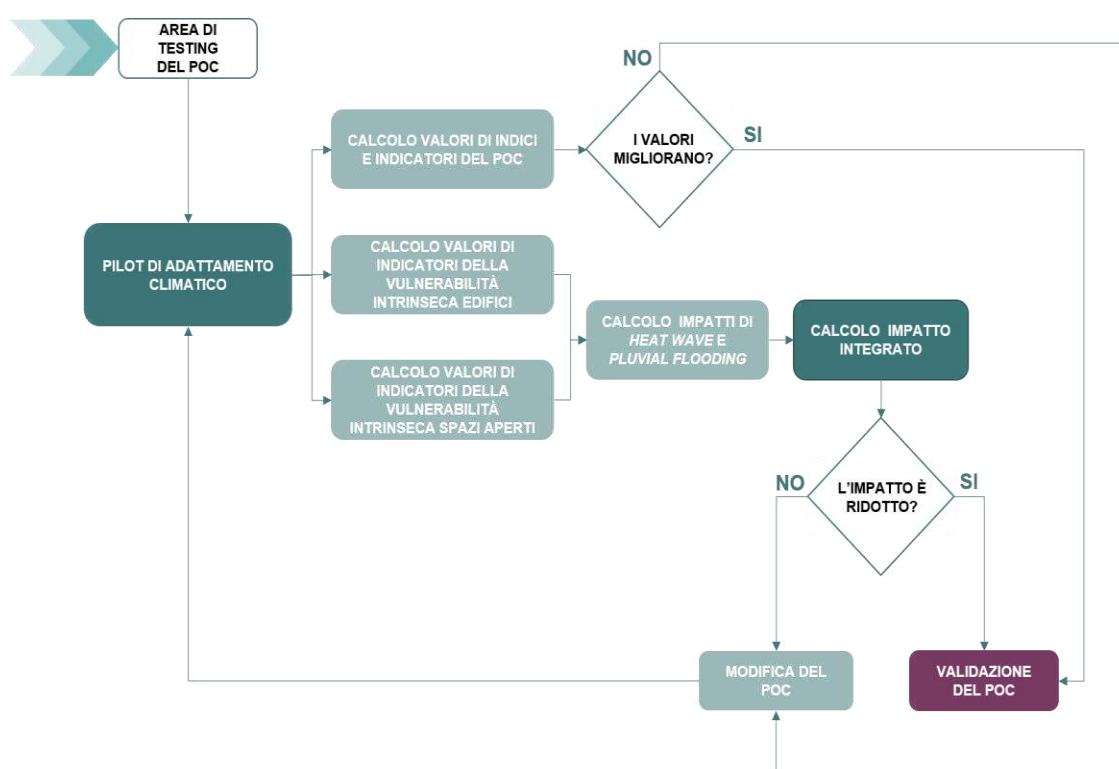


Figura 84 - Processo per la validazione del PoC.

In questo modo è possibile testare il PoC in una fase intermedia del suo sviluppo e preliminare alla sua realizzazione: l'obiettivo non è arrivare al prodotto finale, ma **testare un concept** al fine di **dimostrarne la fattibilità**, offrendo la possibilità di ri-orientare le decisioni nel suo ciclo di sviluppo attraverso un processo di miglioramento continuo.

Il *pilot* è stato sviluppato implementando lo scenario 5 della sezione 2 testata precedentemente con il processo di PoC. Lo scenario 5 ha mostrato rispetto al set di indici e indicatori scelti per valutare la capacità di adattamento a *heat wave* e *pluvial flooding* degli interventi *climate-proof* individuati il maggior livello di miglioramento.

Rispetto alle categorie di intervento di adattamento climatico individuate, è stata sviluppata una proposta metaprogettuale comprendente le seguenti categorie di intervento:



Figura 85 - Categorie di intervento utilizzate nello sviluppo del prototipo.

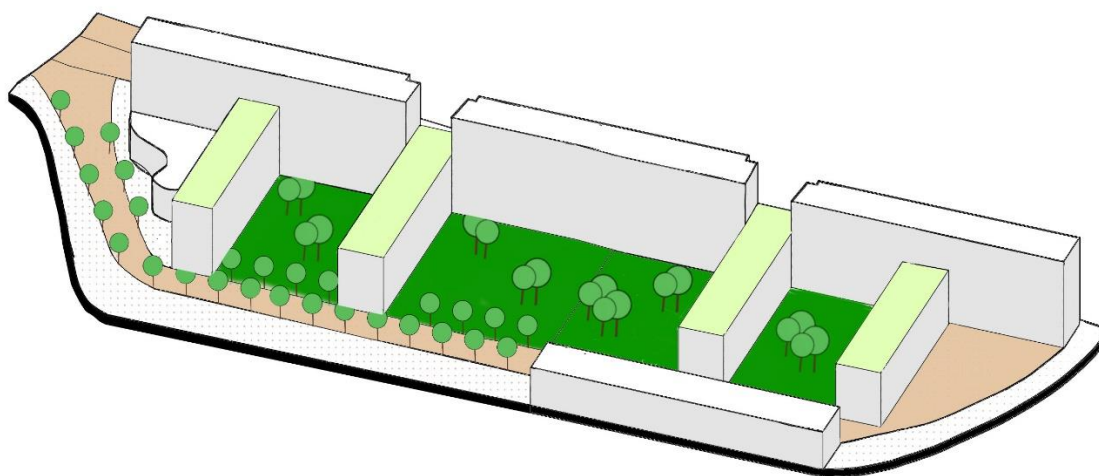


Figura 86 - Pilot per l'adattamento climatico agli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding*.

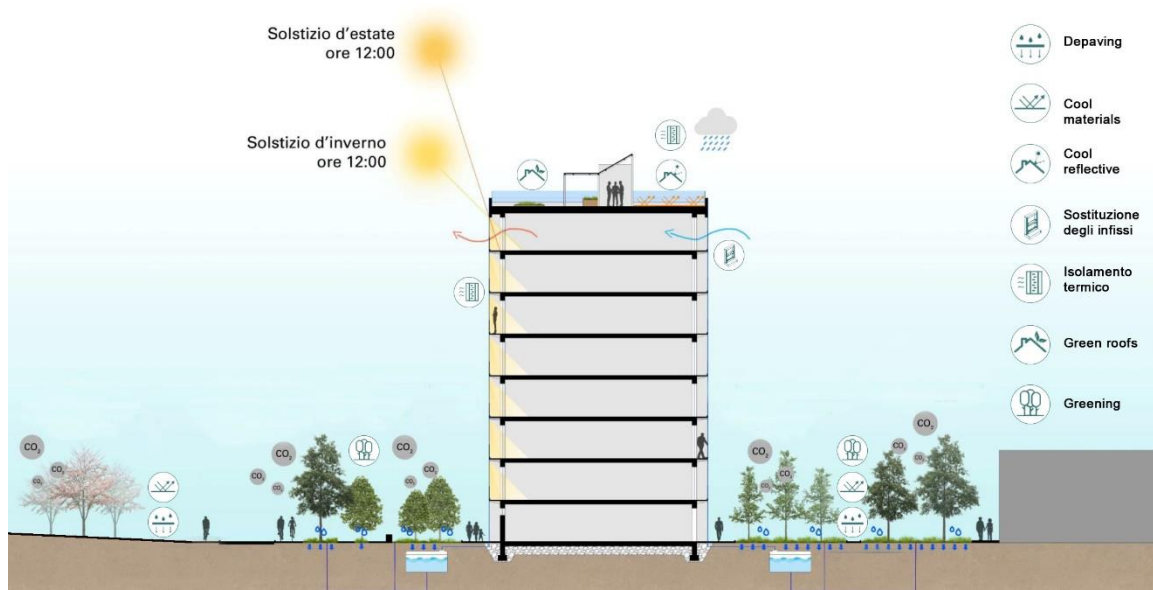


Figura 87 - Sezione metaprogettuale con indicazione delle categorie di intervento *climate-proof* utilizzate.

Il ricalcolo degli indici e degli indicatori utilizzati nel PoC per la valutazione del livello di criticità per l'adattamento ai fenomeni di *heat wave* e *pluvial flooding* mostra valori in linea con quelli ottenuti precedentemente:

Livello di criticità per l'adattamento all' <i>heat wave</i> ;	Albedo	0.23
	PMV - Predicted Mean Vote	2.57
Livello di criticità per l'adattamento al <i>pluvial flooding</i> .	Coefficiente di deflusso	0.43
	RIE - Indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio	4.88

Tabella 19 - Ricalco dei parametri individuati per la valutazione del livello di criticità per l'adattamento a *heat wave* e *pluvial flooding* nel PoC.

Al fine di verificare, l'effettiva validità del PoC sono stati ricalcolati i valori di impatto integrato per la sezione oggetto di sviluppo del *pilot*. Ciò è stato possibile tramite il riprocessamento degli indicatori utilizzati per il calcolo della vulnerabilità del sistema urbano nei modelli di valutazione degli impatti di *heat wave* e *pluvial flooding*.

Impatto	Classe
<i>Pluvial Flooding</i>	3
<i>Heat Wave_PRT</i>	1
<i>Heat Wave_PFD</i>	1
<i>Heat Wave_PFP</i>	1

Tabella 20 - Valori di impatto singoli allo stato di fatto.

PRT= calcolato rispetto alla popolazione totale residente, PDF= calcolato rispetto alle fasce deboli, PFP= calcolato rispetto alla fuel poverty

Impatto integrato	Classe
<i>PRT</i>	2
<i>PFD</i>	2
<i>PFP</i>	2

Tabella 21 - Valori di impatto integrato allo stato di fatto.

PRT= calcolato rispetto alla popolazione totale residente, PDF= calcolato rispetto alle fasce deboli, PFP= calcolato rispetto alla fuel poverty

Classe			Classe		
Indicatori vulnerabilità rispetto a heat wave	Sfasamento	3	Indicatori vulnerabilità rispetto a pluvial flooding	Rapporto di copertura	5
	Attenuazione	5		Percentuale di edificio sul marciapiede	1
	Volume	5		Attività piani terra	5
	Soleggiamento involucro	3		Tipologia di copertura	2
	Sky View Factor	4		Superficie spazi aperti	2
	Albedo	3		Permeabilità dei suoli	3
	Soleggiamento spazi aperti	2		Capacità di smaltimento del sistema fognario	3
	Normalized Difference Vegetation Index	5		Grado di manutenzione del sistema fognario	0

Figura 88 - Ricalcolo degli indicatori di vulnerabilità a heat wave e pluvial flooding ex post gli interventi di adattamento climatico.

Il ricalcolo dell'impatto integrato in seguito agli interventi di adattamento climatico proposti e testati precedentemente ha mostrato un abbassamento del valore in tutti e tre i casi: rispetto alla popolazione residente, alle fasce deboli e alla *fuel poverty*.

Impatto	Classe
<i>Pluvial Flooding</i>	4
<i>Heat Wave_PRT</i>	4
<i>Heat Wave_PFD</i>	4
<i>Heat Wave_PFP</i>	2

Tabella 22 - Ricalcolo dei valori di impatto singoli ex post gli interventi di adattamento climatico.

PRT= calcolato rispetto alla popolazione totale residente, PDF= calcolato rispetto alle fasce deboli, PFP= calcolato rispetto alla fuel poverty

Impatto integrato	Classe
<i>PRT</i>	5
<i>PFD</i>	5
<i>PFP</i>	4

Tabella 23 - Ricalcolo dei valori di impatto integrato ex post gli interventi di adattamento climatico.

PRT= calcolato rispetto alla popolazione totale residente, PDF= calcolato rispetto alle fasce deboli, PFP= calcolato rispetto alla fuel poverty

L'abbassamento della classe di impatto integrato per il pilot dimostra la validità del PoC in quanto conferma l'efficacia degli interventi di adattamento climatico sperimentati e testati precedentemente. La validazione del PoC dimostra inoltre che le scelte degli interventi *climate-proof* ipotizzate sono coerenti nell'individuazione degli indirizzi per il progetto di adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia. Il processo di PoC sperimentato si può, quindi, costituire come un valido strumento di supporto alle decisioni dal punto di vista progettuale che può essere implementato ad accogliere anche aspetti di tipo normativo e di *governance* al fine di essere recepito dai decisori sia pubblici che professionali che imprenditoriali.

Nell'ambito dell'applicazione sperimentale condotta, il workflow processuale delineato costituisce un valido strumento di supporto alle decisioni da impiegare nelle fasi preliminari del processo progettuale, rivolto sia agli attori decisionali del settore pubblico, privato e imprenditoriale, sia al pubblico meno specializzato e finalizzato a formulare strategie e interventi di adattamento climatico negli insediamenti urbani in condizioni multirischio, fornendo un sostegno agli stakeholder nella transizione dalle fasi di analisi dei rischi a quelle di progettazione alla scala urbana ed edilizia.

5.3.6 Relazione tra i sistemi tecnici per l'adattamento climatico degli spazi *outdoor* e gli indicatori di impatto all'*heat wave* e al *pluvial flooding*

Negli ultimi anni, si è assistito alla crescente consapevolezza delle sfide affrontate dalle aree urbane e suburbane a livello globale determinate dall'aggravamento dei fattori di vulnerabilità ed esposizione climatica causati dalla pressione antropica, dalle diffuse condizioni di *sprawl* edilizio e infrastrutturale e dall'incremento dell'urbanizzazione. Questa consapevolezza ha contribuito a definire un quadro condiviso a livello nazionale e internazionale relativo alle principali strategie progettuali e sistemi e soluzioni tecniche per l'adattamento climatico alla scala urbana ed edilizia (EEA, 2020). Nel contesto del nuovo regime climatico, è diventato sempre più evidente che questi approcci devono essere integrati nei processi di rigenerazione urbana e retrofit edilizio al fine di mitigare gli impatti dei rischi climatici (D'Ambrosio, Leone, 2016). Questa evoluzione concettuale ha rilevanti implicazioni per la progettazione e lo sviluppo sostenibile negli insediamenti urbani e metropolitani, richiedendo un approccio olistico e collaborativo per affrontare le sfide emergenti legate al cambiamento climatico.

Nell'ambito dello sviluppo del workflow processuale di supporto alle decisioni per il progetto di adattamento climatico degli spazi urbani, l'elaborazione di specifici indirizzi per la progettazione alla scala urbana ed edilizia in risposta agli impatti dei cambiamenti climatici ha richiesto l'individuazione della risposta prestazionale delle varie alternative tecniche al fine di mitigare la vulnerabilità del sistema edifici-spazi aperti di fronte alle diverse condizioni di stress climatico identificate. Questo processo necessita una comprensione approfondita delle caratteristiche del contesto urbano e climatico, nonché la valutazione critica delle soluzioni tecniche esistenti. In questo modo, il workflow processuale individuato contribuisce a facilitare il processo progettuale e decisionale, a incrementare la resilienza degli insediamenti urbani rispetto alle sfide climatiche attuali.

L'applicazione sperimentale condotta nella fase di testing del PoC si è concentrata sull'identificazione, sia per gli edifici che per gli spazi aperti, di un insieme di sistemi tecnici per l'adattamento climatico degli spazi outdoor. Questo insieme rappresenta la combinazione di una o più soluzioni tecniche appartenenti a diverse categorie di intervento, mirate a offrire i massimi benefici in termini di riduzione della vulnerabilità climatica intrinseca, sia in modo isolato che integrato, e quindi degli impatti derivanti dai fenomeni di heat wave e pluvial flooding.

Nella fase di verifica dell'efficacia del PoC, l'attenzione è stata focalizzata su un intervento mirato alla riduzione della vulnerabilità agli impatti climatici degli spazi outdoor. I sistemi tecnici introdotti, come pavimentazioni permeabili, cool materials o superfici verdi, sono stati implementati principalmente nelle aree esterne associate agli edifici residenziali. Per ogni alternativa proposta negli scenari di intervento delineati, è stato valutato l'impatto specifico che le diverse categorie di intervento per l'adattamento climatico sperimentate hanno sulla modifica sia degli indici e degli indicatori individuati per valutare il livello di criticità ai fenomeni di heat wave e pluvial flooding (vedi Tabella 27 - Incidenza dei sistemi tecnici per l'adattamento climatico e gli indicatori e gli indici individuati per la valutazione del livello di criticità a heat wave e pluvial flooding nel PoC, sia delle caratteristiche fisiche incluse nel calcolo della vulnerabilità intrinseca del sistema edifici-spazi aperti (vedi Tabella 28 e Tabella 29).

In quest'ottica, l'associazione di ogni categoria di intervento ad uno o più indicatori ha consentito il loro ricalcolo, valutando il contributo in termini di riduzione della vulnerabilità climatica. Questo processo è stato condotto attraverso l'utilizzo di appositi processi di modellazione e simulazioni, condotti tramite l'utilizzo di strumenti IT (cfr. par. 5.3.2), mirati a descrivere in modo preciso e dettagliato l'impatto degli scenari di intervento progettuali proposti.

TEST 1

	SDF	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
			Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF
PMV	3,09	3,09	0,00	3,09	0,00	3,09	0	2,99	-0,1	2,47	-0,62
Albedo	0,17	0,15	0,01	0,34	0,20	0,23	0,09	0,24	0,1	0,24	0,1
Coeff. Deflusso	0,55	0,59	-0,16	0,5	-0,25	0,5	-0,25	0,48	-0,27	0,41	-0,34
Indice RIE	2,62	1,58	0,58	1,58	0,58	2,85	1,85	3,28	2,28	3,53	2,53

TEST 1

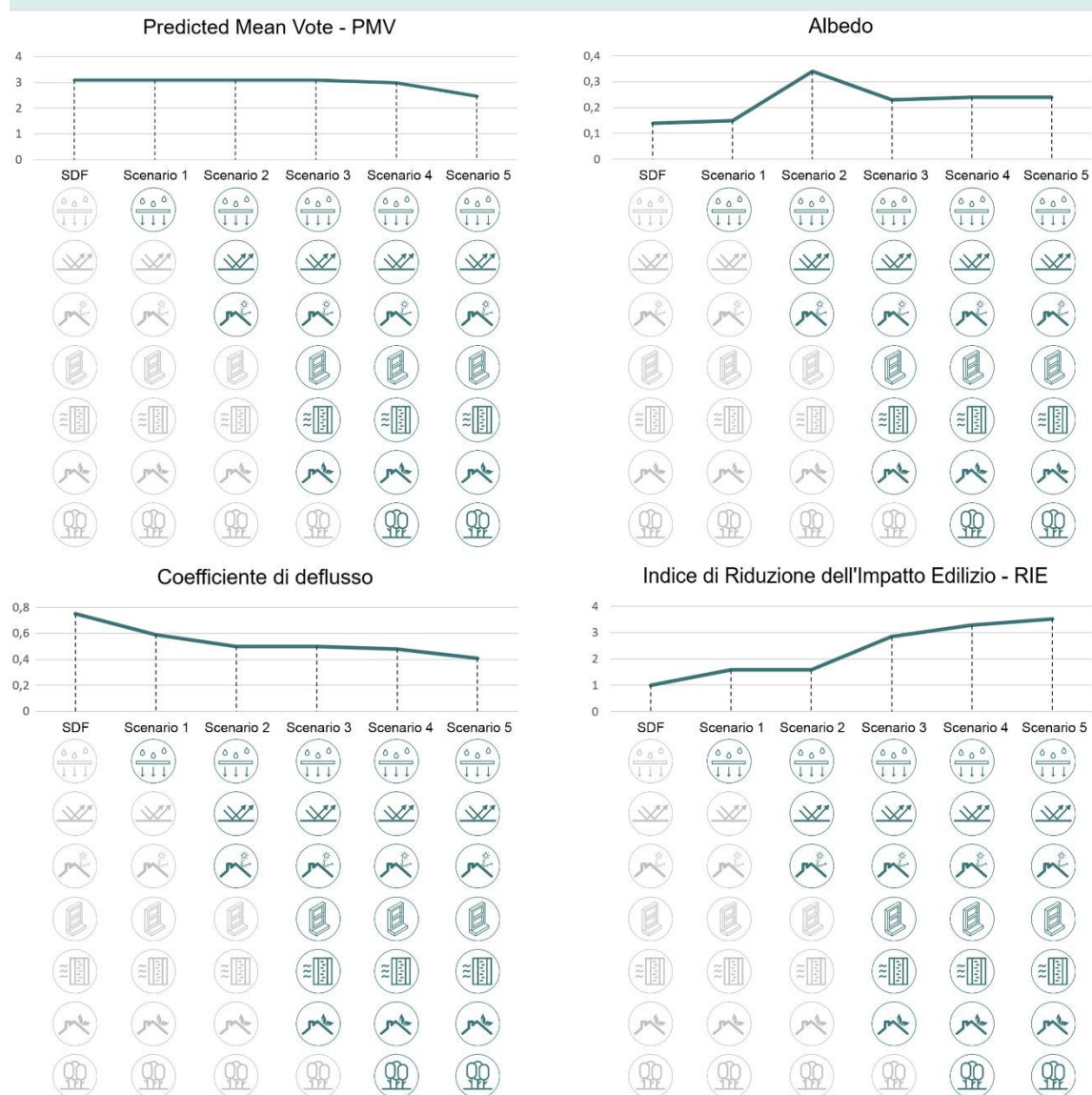


Tabella 24 - Quadro sinottico dei valori degli indici e degli indicatori del PoC relativo al testing effettuato nella sezione 1.

TEST 2

	SDF	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
			Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF
PMV	3,02	3	-0,02	3	-0,02	3	-0,02	2,24	-0,78	2,17	-0,85
Albedo	0,17	0,18	0,01	0,28	0,11	0,25	0,08	0,27	0,1	0,28	0,11
Coeff. Deflusso	0,56	0,37	-0,19	0,36	-0,20	0,36	-0,2	0,33	-0,23	0,29	-0,27
Indice RIE	2,62	3,34	0,72	3,34	0,72	3,44	0,82	4,85	2,23	6,34	3,72

TEST 2

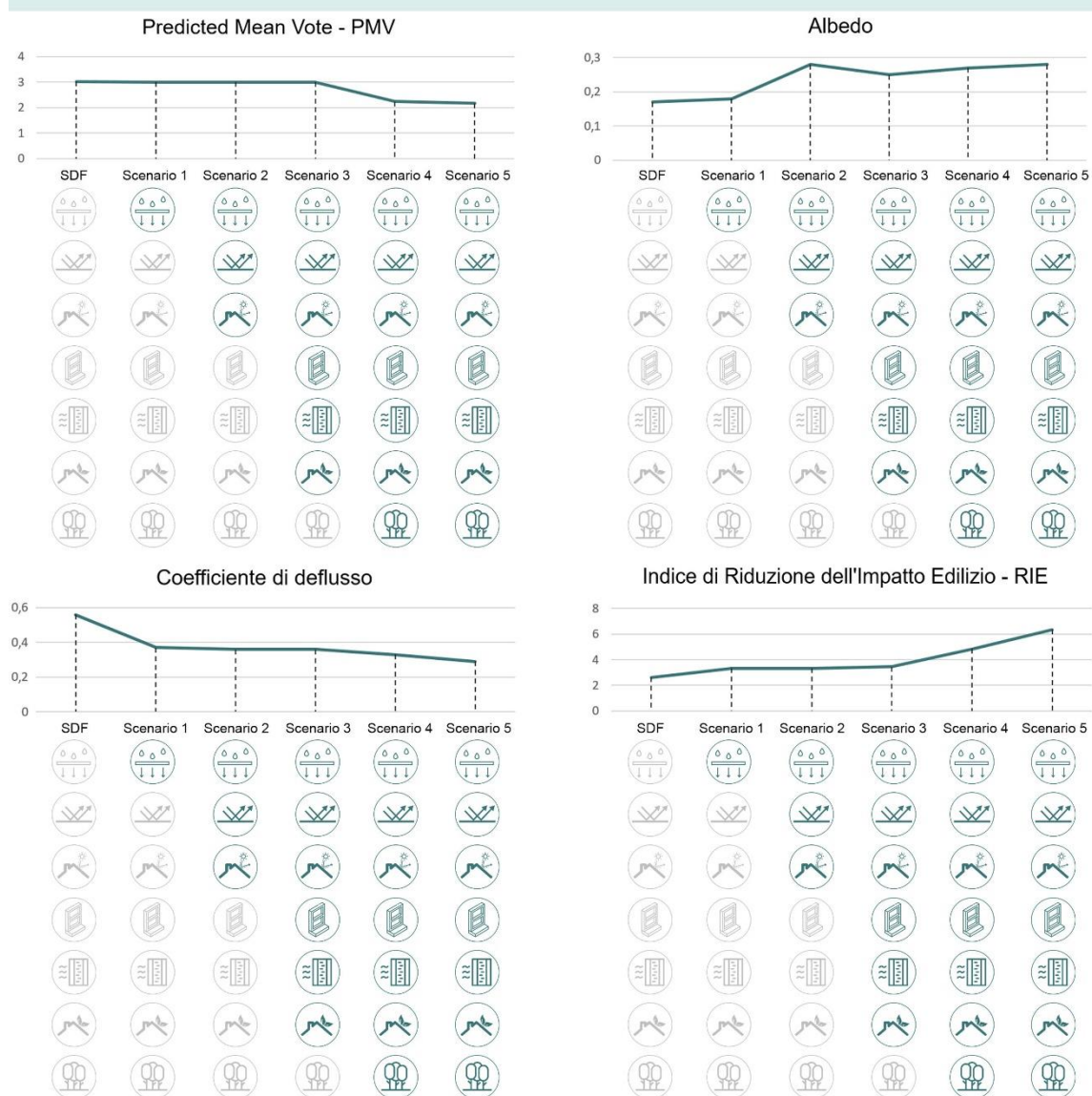


Tabella 25 - Quadro sinottico dei valori degli indici e degli indicatori del PoC relativo al testing effettuato nella sezione 2.

TEST 3

	SDF	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
			Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF		Δ SDF
PMV	2,99	2,99	0,00	2,99	0,00	2,99	0	2,8	-0,19	2,57	-0,42
Albedo	0,17	0,2	0,03	0,4	0,23	0,3	0,13	0,3	0,13	0,23	0,06
Coeff. Deflusso	0,87	0,6	-0,27	0,5	-0,37	0,5	-0,37	0,5	-0,37	0,43	-0,44
Indice RIE	0,11	0,19	0,08	0,19	0,08	0,5	0,39	1,13	1,02	4,88	4,77

TEST 3

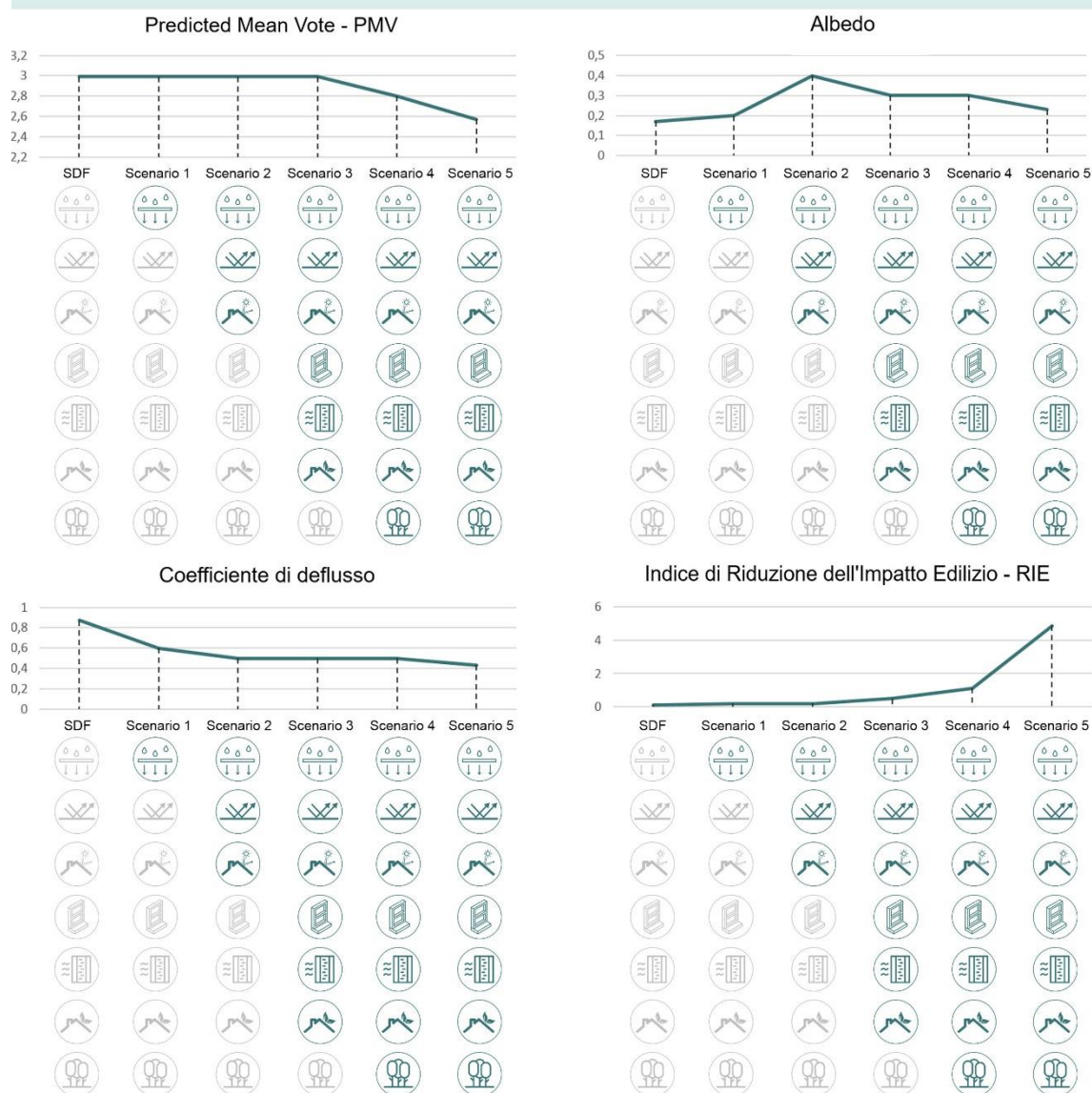


Tabella 26 - Quadro sinottico dei valori degli indici e degli indicatori del PoC relativo al testing effettuato nella sezione 3.

	ALBEDO	PMV	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	INDICE RIE
DEPAVING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL MATERIALS	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL REFLECTIVE ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
ISOLAMENTO TERMICO	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREEN ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREENING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
● ● ● = ALTO; ● ● = MEDIO, ● = BASSO				

Tabella 27 - Incidenza dei sistemi tecnici per l'adattamento climatico e gli indicatori e gli indici individuati per la valutazione del livello di criticità a heat wave e pluvial flooding nel PoC.

	SFASAMENTO	ATTENUAZIONE	VOLUME	SOLEGGIAMENTO INVOLUCRO	ALBEDO	SKY VIEW FACTOR	SOLEGGIAMENTO SPAZI APERTI	NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX
DEPAVING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL MATERIALS	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL REFLECTIVE ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
ISOLAMENTO TERMICO	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREEN ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREENING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
● ● ● = ALTO; ● ● = MEDIO, ● = BASSO								

Tabella 28 - Incidenza dei sistemi tecnici per l'adattamento climatico e gli indicatori e gli indici individuati per la valutazione della vulnerabilità intrinseca all'heat wave degli insediamenti urbani.

	RAPPORTO DI COPERTURA	PERCENTUALE DI EDIFICIO SUL MARCIAPIEDE	ATTIVITÀ AI PIANI TERRA	TIPOLOGIA DI COPERTURA	SUPERFICIE SPAZI APERTI	PERMEABILITÀ DEI SUOLI	CAPACITÀ DI SMALTIMENTO DEL SISTEMA FOGNARIO	GRADO DI MANUTENZIONE DEL SISTEMA FOGNARIO
DEPAVING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL MATERIALS	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
COOL REFLECTIVE ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
ISOLAMENTO TERMICO	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREEN ROOF	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
GREENING	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
● ● ● = ALTO; ● ● = MEDIO, ● = BASSO								

Tabella 29 - Incidenza dei sistemi tecnici per l'adattamento climatico e gli indicatori e gli indici individuati per la valutazione della vulnerabilità intrinseca al pluvial flooding degli insediamenti urbani.

L'analisi dell'incidenza dei sistemi tecnici per l'adattamento climatico sul set di indici e di indicatori utilizzati ha fornito un quadro completo delle loro performance in relazione ai parametri chiave definiti per la valutazione delle vulnerabilità intrinseca del sistema edifici-spazi aperti ai fenomeni di heat wave e pluvial flooding.

Ciò ha permesso di valutare non solo l'efficacia di ciascuna soluzione singolarmente, ma anche il valore aggiunto derivante dalla loro combinazione sinergica. L'integrazione di pavimentazioni permeabili, interventi di greening e cool materials ha dimostrato di potenziare reciprocamente i benefici adattivi, contribuendo a creare un ambiente resiliente alle variazioni climatiche.

La comprensione delle dinamiche di interazione tra le soluzioni proposte per l'adattamento climatico e i fattori di vulnerabilità climatica del contesto specifico di intervento alla scala urbana ed edilizia contribuisce a garantire l'individuazione di azioni progettuali alla scala locale che garantiscano una risposta integrata e resiliente agli impatti dei rischi climatici.

Riferimenti bibliografici

- Aprèda, C. (2017). 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*, (p.58-71). Napoli: Clean.
- Aprèda, C., D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2019). A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environmental Science & Policy*, 93, 11-26.
- Bassolino, E. (2020a). Albedo. In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente., R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design* (p. 199-202). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Bassolino, E. (2020b). Riduzione Impatto Edilizio (RIE). In Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M., Valente., R. (Eds.), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale/Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design* (p. 183-186). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Bassolino, E. (2022). *Climate-adaptive design e tecnologie digitali: modelli, strumenti e pratiche*. Napoli: Clean.
- Bassolino, E., D'Ambrosio, V., & Sgobbo, A. (2021). Data Exchange Processes for the Definition of Climate-Proof Design Strategies for the Adaptation to Heatwaves in the Urban Open Spaces of Dense Italian Cities. *Sustainability*, 13(10), 5694.
- Bologna, R., Alberti, F., Hasanaj, G. & Arnetoli, M.V. (2021). 1. Le parti e il tutto: approccio sistemico e tassonomie urbane in chiave climate-proof/ The Elements and the Whole: Climate-Proof Systematic Approach and Urban Taxonomies. In Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.) (2021). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation* (p. 27-34). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Comune di Napoli (2017). *La struttura demografica della popolazione residente nella città di Napoli al 31 dicembre 2016*. Disponibile in: <https://www.comune.napoli.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/34362> [10 ottobre 2023]
- D'Ambrosio, V. & Di Martino, F. (2017). Vulnerabilità e impatti climatici nei tessuti urbani: processi sperimentali. 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*, (p.84-105). Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2016). *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge*. Napoli: Clean.

- D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.) (2017). *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*. Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V. (2016). Innovazione e sperimentazione nei processi di conoscenza dell'ambiente costruito / Innovation and experimentation in the knowledge processes of the built environment. In D'Ambrosio, V. & Leone, M. F. (Eds.), *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza/ Environmental Design for Climate Change adaptation 1. Innovative model for the production of knowledge* (p. 50-57). Napoli: Clean.
- D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2016). The Metropolis research. Experimental models and decision-making processes for the adaptive environmental design in climate change. *UPLanD-Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 1(1), 187-187.
- D'Ambrosio, V., & Leone, M. F. (2015). Climate change risks and environmental design for resilient urban regeneration. Napoli Est pilot case. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 130-140.
- D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2023). A GIS-based framework to assess heatwave vulnerability and impact scenarios in urban systems. *Scientific Reports*, 13(1), 13073.
- D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Tersigni, E. (2023). Towards Climate Resilience of the Built Environment: A GIS-Based Framework for the Assessment of Climate-Proof Design Solutions for Buildings. *Buildings*, 13(7), 1658.
- EEA – European Environment Agency (2020). *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. EEA Report No 12/2020. Disponibile in: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe> [16 agosto 2023].
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal Comfort – Analysis and Application in Environmental Engineering*. McGraw-Hill Book Company: New York, USA.
- Filagrossi Ambrosino, C. & Leone, M.F. (2017). Catalogo di alternative tecniche per l'adattamento ai cambiamenti climatici / Catalogue of technical alternatives for climate change adaptation. 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* (p. 72-82). Napoli: Clean.
- Goldenberg, G. (2023). Proof of concept. *Nursery World*, 2023(3), 22-23.
- ISO (2005). *ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.
- Leone, M. F., & Zuccaro, G. (2021). Climate-resilient urban transformation pathways as a multi-disciplinary challenge: the case of Naples. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 159-164.
- Losasso, M., Giugni, M., D'Ambrosio, V., Rigillo, M., De Paola, F., Di Martino, F., Pugliese, F., Dell'Acqua, F. & Gerundo, C. (2021). 1. Progettazione multiscalare per la resilienza dei Distretti urbani. Eco-distretti e soluzioni climate-proof per l'area occidentale di Napoli. Il caso applicativo di Soccavo/Multi-

- scale Design for the Resilience of Urban Districts. Eco-Districts and Climate-proof Solutions for the Western Area of Naples. The Application Case of Soccavo. In Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E., Tucci, F. (Eds.) (2021). *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico/ From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation* (p. 78-121). Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Sansò, C. & Visconti, F. (2017). Impianto urbano e valori tipo-morfologici nel progetto di adattamento agli impatti del cambiamento climatico. 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*, (p.58-71). Napoli: Clean.
- Spano D., Mereu V., Bacciu V., Barbato G., Buonocore M., Casartelli V., Ellena M., Lamesso E., Ledda A., Marras S., Mercogliano P., Monteleone L., Mysiak J., Padulano R., Rafa M., Ruiu M.G.G., Serra V., Villani V., 2021. *Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in sei città italiane*. DOI:10.25424/cmcc/analisi_del_rischio_20
- Tersigni, E., D'Ambrosio, V., & Di Martino, F. (2021). Innovative Processes for Climate Risk Reduction of the Built Heritage. In *New Metropolitan Perspectives: Knowledge Dynamics and Innovation-driven Policies Towards Urban and Regional Transition Volume 2* (pp. 1980-1989). Springer International Publishing.
- Tersigni, E., Gifuni, S., & Miraglia, V. (2021). Un processo GIS-Based per il riconoscimento dei tipi edilizi ricorrenti nei contesti urbani finalizzato all'analisi di categorie d'intervento climate proof per la mitigazione climatica. In *Gis Day 2020. Il GIS per il governo e la gestione del territorio* (pp. 73-102). Aracne.
- Verde, S., & Bassolino, E. (2020). Processi di data analysis e data exchange tra strumenti GIS-based e tool di design parametrico per la definizione del comportamento microclimatico degli spazi aperti. *URBANISTICA INFORMAZIONI*, 289, 11-15.
- Verde, S., Bassolino, E., & Gagliardi, U. (2021). Applicazione di processi di data analysis e data exchange tra strumenti GIS-Based e parametric design tools per la generazione di carte di resilienza climatica del sistema degli spazi aperti urbani. In *Gis Day 2020. Il GIS per il Governo e la Gestione del Territorio* (pp. 15-40). Aracne.
- Westberg, J. (2014). *Proof-of-concept i produktutvecklingsprocessen*.

Sitografia

CLARITY, <https://clarity-h2020.eu/>. Nell'ambito della reportistica è proposto il catalogo "Adaptation Measures Technical Cards", annex III D 3.3.

Climate resilient cities and infrastructure (RESIN), <https://cca-p6.devel5cph.eionet.europa.eu/en/metadat>

[a/projects/climate-resilient-cities-and-infrastructure#:~:text=Climate%20resilient%20cities%20and%20infrastructure%20RESIN%20is%20a,critical%20infrastructure%20to%20extreme%20weather%20and%20climate%20change](https://projects.climate-resilient-cities-and-infrastructure#:~:text=Climate%20resilient%20cities%20and%20infrastructure%20RESIN%20is%20a,critical%20infrastructure%20to%20extreme%20weather%20and%20climate%20change).

CLIMATE-ADAPT, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

ClimateApp, <https://www.climateapp.nl/>

Comune di Bologna (2015). *Regolamento Urbanistico Edilizio. Complementi: Schede tecniche di dettaglio* 2015, <https://sit.comune.bologna.it/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/6c31f8aa-1fdd-4218-a908-c4e437ded0b0/SchedeTecnicheDettaglio2015.pdf>

Gestione delle acque meteoriche. Il coefficiente di deflusso, <https://www.harpogroup.it/sites/default/files/harpogroup.it/pag-static/allegato/seic-vpe-acque-meteoriche.pdf>

Kahil, D. (2021), *Envisioning To Delivery – POC, Prototypes, Pilots and MVP*, <https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

Malsam, W. (2023), *What Is Proof of Concept (POC)? Examples for Business, Software & More*,

<https://www.projectmanager.com/blog/proof-of-concept-definition>

Phases of a Proof of Concept (POC) (2022), <https://www.infinitiaresearch.com/en/sin-categoria-en/phases-of-a-proof-of-concept-poc/>.

Proof of Concept vs Prototype vs MVP vs Pilot, <https://www.cprime.com/resources/blog/pro-of-of-concept-vs-prototype-vs-mvp-vs-pilot-plan-to-realize-your-idea/><https://danikahil.com/2021/01/envisioning-to-delivery-poc-prototypes.html>

Urban Adaptation Tools (UAT), <https://crudlaburba.wixsite.com/tools/maps>.

Il sito si basa sul lavoro di ricerca svolto dagli studenti del Département Génie Urbain della Université Gustave Eiffel (Angela Ruggiero, Nicolas Bernard e Danna Lopez; coord. Margot Pellegrino).

URBAN GREEN-BLUE GRIDS for resilient cities, <https://www.urbangreenbluegrids.com/design-tool/>

Conclusioni

La condizione di policrisi ha evidenziato la vulnerabilità delle città agli impatti delle crisi, soprattutto quando queste si manifestano inaspettatamente. Durante la pandemia, i *lockdown* hanno portato a una riduzione del traffico e a un miglioramento della qualità dell'aria, spingendo verso una riflessione sulle possibilità di modificare gli stili di vita, riducendo gli spostamenti e le emissioni climalteranti nel lungo termine. Contestualmente, la diffusione del virus ha sottolineato come il degrado degli ecosistemi influisca sulla salute, soprattutto nelle fasce di popolazione più vulnerabili. Nel periodo post-pandemia, c'è un aumento della consapevolezza del legame tra attività umane e impatti ambientali.

Le sfide complesse legate al cambiamento climatico e al degrado ambientale richiedono una trasformazione profonda della società. Le sfide complesse legate al cambiamento climatico e al degrado ambientale richiedono una trasformazione profonda della società. Con l'avvento del nuovo regime climatico caratterizzato dall'aumento dei rischi complessi, i modelli insediativi e abitativi concepiti come risposta alle crisi fino all'inizio del XXI secolo si trovano in una fase critica di adattamento ai nuovi impatti. Questi schemi risultano, infatti, ora inadeguati di fronte agli impatti della crisi climatica contemporanea e ciò mette in evidenza la necessità di strategie urbane e abitative innovative e resilienti. Questa riflessione impone anche una revisione dei fondamenti su cui si basano tali modelli, con l'obiettivo di sviluppare approcci più sostenibili e adattabili.

Sono necessari cambiamenti nelle tecnologie, infrastrutture, culture e stili di vita, con adeguamenti nei quadri di governance e istituzionali. Ciò richiede una riconsiderazione dei modelli abitativi e del ruolo della tecnologia nel supportare tali modelli, specialmente con l'introduzione di sistemi di adattamento agli impatti negativi delle crisi in atto alla scala urbana ed edilizia.

In questo quadro, nell'epoca dell'Antropocene l'innalzamento delle temperature globali ha determinato un aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi climatici estremi, come heat wave, heavy rains, flooding, ecc. Questi scenari climatici impongono con urgenza azioni di adattamento e mitigazione climatica per adeguare le città agli attuali e limitare quelli futuri.

L'attuale stato della ricerca sugli impatti del cambiamento climatico e sulle modalità di adattamento dei contesti urbani e degli edifici ha sperimentato negli ultimi anni progressi significativi. Questa evoluzione ha delineato percorsi chiari per una complessiva riorganizzazione delle città, con l'obiettivo di avviare un processo di transizione mirato a raggiungere la neutralità climatica e ad adattarsi all'incremento degli impatti climatici.

La complessità dei fenomeni climatici, interagendo con altri fattori di rischio – climatici, ambientali e antropici – richiede un approccio altrettanto complesso, che sia in grado di considerare la complessità costitutive dei sistemi urbani al fine di definire gli appropriati interventi di adattamento per il contrasto degli impatti climatici negli insediamenti urbani. A questo scopo, sono necessari modelli di conoscenza finalizzati da un lato, alla comprensione dei fattori di identità e riconoscibilità dei luoghi, dell'interpretazione dei loro caratteri ambientali, culturali e funzionali e dall'altro,

affrontare le criticità emerse da queste analisi in modo misurabile, consentendo una valutazione dell'efficacia delle azioni di pianificazione e di progetto, verificandone gli impatti attraverso la costruzione di set di indici e indicatori adeguati.

L'efficacia dei progetti di adattamento per il contrasto degli impatti climatici è, infatti, strettamente correlata alla loro capacità di anticipare gli scenari futuri dall'osservazione e dalla conoscenza dei rischi. Identificare i parametri chiave di esposizione, vulnerabilità e hazard richiede l'integrazione di molteplici fonti informative in strumenti appositamente progettati per supportare i processi decisionali, con un approccio sistemi e multiscalare mirato a considerare le diverse sfaccettature del progetto nell'ambito dei cambiamenti climatici per l'ambiente costruito. Ciò implica la conoscenza di una vasta gamma di dati e informazioni e l'utilizzo di strumenti avanzati, come *Key Enabling Technologies*, per la loro comprensione al fine di sviluppare progetti e soluzioni che non solo mitigano gli impatti climatici ma contribuiscano anche alla realizzazione di ambienti urbani resilienti e sostenibili.

Risultati della ricerca

In linea con quanto espresso precedentemente, il principale prodotto della ricerca è l'elaborazione del workflow processuale di supporto decisionale al progetto di adattamento negli insediamenti urbani, nelle sue due fasi di sviluppo: il *workflow* operativo per la valutazione dell'impatto integrato derivante da *heat wave* e *pluvial flooding* e l'individuazione degli *hotspot* urbani; il *proof of concept* per la valutazione della capacità di adattamento degli interventi *climate-proof* per il contrasto dell'impatto integrato di *heat wave* e *pluvial flooding*. Il workflow processuale si configura come uno strumento innovativo per la conoscenza degli impatti derivanti da scenari multirischio alla scala locale orientato al supporto del progetto di adattamento climatico negli insediamenti urbani.

Il processo proposto e delineato si distingue per alcune caratteristiche chiave. In primo luogo, adotta un approccio di multi-risk analysis a livello locale per una valutazione degli impatti che tenga conto dei fattori di vulnerabilità e di esposizione intrinseca del sistema edifici-spazi aperti. La replicabilità e l'implementabilità del workflow operativo per la valutazione dell'impatto integrato sono dimostrate dalla flessibilità dell'approccio metodologico adottato che consente l'utilizzo di modelli di impatto singolo preesistenti, adattandoli a una singola unità spaziale di riferimento. Inoltre, il processo include lo sviluppo di uno strumento preliminare per la valutazione della capacità di adattamento degli interventi *climate-proof* per il contrasto dell'impatto integrato, ottenuto attraverso l'applicazione della metodologia del PoC.

Nel lavoro di ricerca, l'apporto disciplinare della Progettazione Tecnologica e Ambientale ha fornito le metodologie, i processi e gli strumenti necessari per affrontare le complesse interazioni esistenti tra la progettazione alla scala urbana ed edilizia, l'ambiente e il contrasto degli impatti derivanti da scenari di multirischio climatico. Questo contributo si manifesta nel controllo di tipo processuale, implementato attraverso l'utilizzo di tecnologie abilitanti per le attività *di simulation, modelling, data management e data analysis*.

Limiti e prospettive di ricerca

Il *workflow* processuale di supporto decisionale al progetto di adattamento negli insediamenti urbani, principale esito della ricerca, ha ricadute teoriche e operative sul processo progettuale. L'approccio metodologico proposto che si è configurato con l'integrazione della valutazione dell'impatto integrato e dell'efficacia degli interventi di adattamento climatico rappresenta un punto di partenza efficace per lo sviluppo di strumenti di supporto decisionale al progetto che tenga conto dei crescenti fattori di complessità che caratterizzano realtà urbane e contesti differenti.

Nell'ambito del *workflow* processuale è possibile identificare alcuni assi di sviluppo:

- Integrazione nella valutazione degli effetti *compounding* e *cascading* nella valutazione dell'impatto integrato;
- Integrazione delle componenti immateriali nell'individuazione degli hotspot urbani;
- Integrazione degli aspetti di fattibilità dal punto vista vincolistico ed economico delle proposte progettuali sviluppate nel PoC per l'applicazione delle soluzioni proposte in contesti reali.

Nell'ambito dei processi sviluppati infatti l'integrazione degli impatti di heat wave e pluvial flooding non tiene conto dei possibili ulteriori effetti di interazione tra i due fenomeni che potrebbero determinare un'amplificazione degli impatti stessi, facendo riferimento a una valutazione mirata a individuare interventi e soluzioni di adattamento climatico in grado di fornire una risposta multirischio agli impatti integrati. Inoltre, l'individuazione degli hotspot urbani è stata effettuata nell'ambito del lavoro di ricerca utilizzando esclusivamente un approccio quantitativo basato sulle caratteristiche di vulnerabilità ed esposizione agli impatti climatici di heat wave e pluvial flooding, non tenendo conto delle caratteristiche immateriali che contribuiscono ad incrementarne la criticità e che non sono misurabili ma qualitativamente descrivibili.

Per quanto riguarda il PoC, nell'individuazione delle categorie di intervento proposte per il progetto di adattamento climatico è da ricercare un possibile limite di trasferibilità delle azioni proposte dovuto alla loro natura hazard-specific. Un successivo sviluppo, pertanto, potrebbe riguardare l'implementazione delle categorie di intervento di adattamento testate e del set di indici e di indicatori utilizzati per la valutazione dell'efficacia in termini di riduzione degli impatti climatici. Per attuare un aumento del grado di dettaglio della valutazione della fattibilità degli interventi proposti, il PoC inoltre potrebbe ulteriormente essere sviluppato per includere indicatori e/o indici in grado di "misurare" da un lato, la fattibilità vincolistica (in base, ad esempio, alle disposizioni sovraordinate di Piani Regolatori Generali o Regolamenti Edilizi) e dall'altro, quella economica attraverso anche l'utilizzo di approcci metodologici multicriterio.

Ulteriori sperimentazioni del *workflow* processuale proposto nel lavoro di ricerca potrebbero essere condotte implementando la relazione tra l'individuazione degli hotspot urbani rispetto agli impatti integrati (sulla base dei fattori di vulnerabilità ed esposizione sia di carattere materiale che immateriale) e il testing delle categorie di intervento climate-proof attraverso l'approccio metodologico del PoC ai fini di un controllo sistemico degli interventi di adattamento per gli insediamenti urbani negli scenari di multirischio climatico.

