



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichità

Corso di Laurea Magistrale in
Scienze per il Paesaggio

ACQUA, RISCHIO E PAESAGGIO
Il paradigma della città spugna applicato al torrente
Leogra

Relatore: Prof. Paolo Tarolli

Laureanda: Giulia Zancanaro

Matricola: 2160565

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

INDICE

INTRODUZIONE	6
PARTE I – CRISI CLIMATICA E VULNERABILITÀ URBANA NELL’ANTROPOCENE	9
CAPITOLO 1. ANTROPOCENE E TRASFORMAZIONI DEL PAESAGGIO CONTEMPORANEO	10
1.1 Origine e definizione del concetto di Antropocene	10
1.2 Antropocene e crisi ambientale globale.....	13
1.3 Urbanizzazione, artificializzazione e consumo di suolo	15
1.4 Il paesaggio come prodotto e indicatore dei processi antropici.....	17
1.5 Nuove responsabilità del progetto di paesaggio nell’Antropocene	19
CAPITOLO 2. ACQUA E SUOLO COME INFRASTRUTTURE ECOLOGICHE DEL PAESAGGIO	21
2.1 Il ciclo dell’acqua e la sua alterazione in ambito urbano	21
2.2 Il suolo come sistema vivo: funzioni fisiche, biologiche ed ecologiche	23
2.3 Impermeabilizzazione e perdita di servizi ecosistemici	24
2.4 Acqua, suolo e rischio idrogeologico	26
2.5 Dal controllo idraulico alla gestione integrata dei processi naturali.....	26
CAPITOLO 3. CAMBIAMENTO CLIMATICO E TRASFORMAZIONE DEI PATTERN DI PRECIPITAZIONE	28
3.1 Cambiamento climatico, intensificazione del ciclo idrologico	28
3.2 Nuovi pattern di precipitazione: eventi intensi, brevi e localizzati	30
3.3 Impermeabilizzazione urbana e aumento del rischio idraulico	32
3.4 Alternanza tra alluvioni improvvise, siccità e ondate di calore.....	34
3.5 Vulnerabilità e resilienza degli agglomerati urbani contemporanei	35
CAPITOLO 4. LA CRISI DEL MODELLO URBANO TRADIZIONALE DI GESTIONE DELLE ACQUE	38
4.1 Origine storica dei sistemi di drenaggio urbano	38
4.2 Infrastrutture grigie e separazione tra città e processi naturali	40
4.3 Effetti del drenaggio rapido sul ciclo idrologico	41
4.4 Inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali di fronte ai nuovi scenari climatici	43
4.5 La necessità di un cambio di paradigma nella gestione delle acque urbane.....	44
PARTE II - LA CITTÀ SPUGNA COME PARADIGMA PAESAGGISTICO	45
CAPITOLO 5. IL PARADIGMA DELLA CITTÀ SPUGNA	46
5.1 Origine e sviluppo del concetto di Sponge City	46
5.2 Principi fondamentali: infiltrazione, ritenzione, rallentamento e riuso	48
5.3 Laminazione delle piene e incremento dell’infiltrazione nel suolo.....	52

5.4 Contributo alla mitigazione delle ondate di calore e della siccità	54
5.5 Confronto con SUDS, LID e Nature - Based Solutions	56
5.6 Criticità, limiti e potenzialità del modello	60
CAPITOLO 6. LA CITTÀ SPUGNA COME PROGETTO DI PAESAGGIO.....	63
6.1 Dalla gestione tecnica dell'acqua al progetto paesaggistico ed ecologico	63
6.2 Infrastrutture blu-verdi e continuità ecologica	65
6.3 Spazi aperti urbani come dispositivi idrologici	67
6.4 Nuove estetiche del paesaggio funzionale.....	69
6.5 Il paesaggio come infrastruttura resiliente.....	71
CAPITOLO 7. CASI STUDIO DI CITTÀ SPUGNA E STRATEGIE DI GESTIONE INTEGRATA DELL'ACQUA	74
7.1 Criteri di selezione e metodologia di analisi dei casi studio.....	74
7.2 Esperienze di Sponge City in Cina	75
7.3 Strategie europee di adattamento idrico urbano	77
7.4 Approcci nordamericani alla gestione sostenibile delle acque	78
7.5 Confronto critico tra i casi studio	78
CAPITOLO 8. APPLICABILITÀ DEL MODELLO DELLA CITTÀ SPUGNA NEL CONTESTO ITALIANO.....	82
8.1 Specificità territoriali e climatiche del contesto italiano	82
8.2 Quadro normativo e strumenti di pianificazione	84
8.3 Criticità e ostacoli all'implementazione	85
8.4 Opportunità per il progetto di paesaggio	86
8.5 Verso un modello italiano di città spugna	88
PARTE III – DAL PARADIGMA AL PROGETTO: IL CASO DEL TORRENTE LEOGRA ..	91
CAPITOLO 9. SCENARI PROGETTUALI E PROSPETTIVE FUTURE	92
9.1 Obiettivi e principi guida della proposta progettuale	92
9.2 Strategie di intervento multiscalare	93
9.3 Linee guida paesaggistiche e dispositivi spugna	94
9.4 Benefici ambientali, sociali ed economici	95
9.5 Limiti del modello e sviluppi futuri.....	96
CAPITOLO 10. IL TORRENTE LEOGRA A SCHIO COME CASO STUDIO: ACQUA, SUOLO E PROGETTO DI PAESAGGIO	99
10.1 Inquadramento territoriale e ambientale del torrente Leogra a Schio	100
10.2 Evoluzione storica del rapporto tra il torrente e la città di Schio	101
10.3 Processi di artificializzazione e criticità attuali	102
10.4 Lettura paesaggistica del sistema acqua–suolo	104

10.5 Il torrente Leogra a Schio nell'Antropocene	106
10.6 Applicazione dei principi della città spugna al caso studio di Schio.....	107
10.7 Scenari progettuali e strategie di intervento	109
10.8 Valutazione degli effetti attesi	111
CAPITOLO 11. IL SISTEMA DELLA CITTÀ SPUGNA PER IL TORRENTE LEOGRA: DISPOSITIVI PROGETTUALI, PRESTAZIONI E PROSPETTIVE DI TRASFORMAZIONE.	
11.1 Dalla strategia territoriale al progetto operativo.....	115
11.2 Il corridoio fluviale rinaturalizzato come infrastruttura idrologica	116
11.2.1 <i>Recupero dello spazio del fiume</i>	117
11.2.2 <i>Aumento della capacità di laminazione naturale</i>	118
11.2.3 <i>Rinaturalizzazione delle sponde</i>	118
11.2.4 <i>Incremento della biodiversità ripariale</i>	119
11.3 La cintura verde e agricola come dispositivo di resilienza climatica	120
11.3.1 <i>Il ruolo strategico della cintura verde nel sistema della città spugna</i>	121
11.3.2 <i>Conservazione delle superfici permeabili e gestione delle acque meteoriche</i>	121
11.3.3 <i>Multifunzionalità ecologica e paesaggistica delle aree agricole</i>	122
11.3.4 <i>Mitigazione climatica e regolazione microclimatica</i>	123
11.3.5 <i>Contrasto al consumo di suolo e costruzione di un paesaggio resiliente</i>	123
11.4 La rete ecologica territoriale come infrastruttura di connessione e resilienza.....	124
11.4.1 <i>Il ruolo della rete ecologica nel progetto del torrente Leogra</i>	125
11.4.2 <i>Il torrente Leogra come corridoio ecologico principale</i>	126
11.4.3 <i>Biodiversità e ricostruzione degli habitat</i>	126
11.4.4 <i>Connessioni tra montagna, città e pianura</i>	127
11.4.5 <i>La rete ecologica come infrastruttura adattiva nell'Antropocene</i>	128
11.5 Spazi pubblici e dispositivi Sponge City	129
11.5.1 <i>Lo spazio pubblico come infrastruttura idrologica</i>	129
11.5.2 <i>Rain Gardens: infiltrazione e depurazione naturale</i>	130
11.5.3 <i>Bioswales e sistemi lineari di drenaggio sostenibile</i>	131
11.5.4 <i>Pavimentazioni permeabili e de-impermeabilizzazione urbana</i>	131
11.5.5 <i>Parchi allagabili e aree di laminazione multifunzionali</i>	132
11.5.6 <i>Raccolta e riuso delle acque meteoriche</i>	132
11.5.7 <i>Lo spazio pubblico come dispositivo di adattamento climatico</i>	133
11.6 Le aree produttive come componenti attive della città spugna.....	133
11.6.1 <i>Le aree produttive nel sistema territoriale del Leogra</i>	134
11.6.2 <i>Riduzione delle superfici impermeabili e recupero della permeabilità</i>	134
11.6.3 <i>Sistemi di drenaggio sostenibile per i comparti industriali</i>	135

11.6.4 Inverdimento delle aree produttive e mitigazione climatica.....	136
11.6.5 Verso un nuovo paesaggio produttivo resiliente	136
11.7 Valutazione delle prestazioni ecosistemiche del progetto	137
11.7.1 Valutare il progetto oltre la dimensione formale	138
11.7.2 Prestazioni idrologiche e riduzione del rischio idraulico	138
11.7.3 Prestazioni ecologiche e incremento della biodiversità	139
11.7.4 Prestazioni climatiche e mitigazione delle isole di calore.....	140
11.7.5 Prestazioni sociali e qualità dello spazio pubblico	140
11.7.6 Prestazioni economiche e valore territoriale	141
11.7.7 Una valutazione integrata delle prestazioni del sistema Leogra.....	141
11.8 Benefici attesi e prospettive future	142
11.8.1 Il progetto come strategia di adattamento territoriale	143
11.8.2 Benefici attesi per il sistema ambientale e idrologico	143
11.8.3 Benefici per la qualità urbana e il benessere collettivo	144
11.8.4 Una possibile strategia replicabile per il contesto italiano.....	145
11.8.5 Limiti della proposta e prospettive di approfondimento.....	145
11.8.6 Verso una nuova relazione tra città, acqua e paesaggio	146
CONCLUSIONI. LA CITTÀ SPUGNA COME PARADIGMA PAESAGGISTICO NELL'ANTROPOCENE.....	148
BIBLIOGRAFIA.....	151
INDICE DELLE FIGURE	152
INDICE DELLE TABELLE	154

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi decenni il rapporto tra società, ambiente e territorio è stato profondamente ridefinito da trasformazioni di scala globale che hanno modificato in modo strutturale il funzionamento dei sistemi ecologici e la configurazione dei paesaggi. L'intensificazione dei processi di urbanizzazione, la crescente artificializzazione del suolo e l'alterazione dei cicli biogeochimici hanno condotto una parte significativa della comunità scientifica a riconoscere l'ingresso in una nuova epoca geologica, definita Antropocene, in cui l'azione umana si configura come forza morfogenetica dominante capace di incidere sugli equilibri planetari.

In questo scenario, il cambiamento climatico rappresenta una delle manifestazioni più evidenti e critiche della pressione antropica sugli ecosistemi. L'aumento delle temperature medie, l'intensificazione del ciclo idrologico e la crescente frequenza di eventi meteorologici estremi stanno ridefinendo i pattern di precipitazione e amplificando le condizioni di rischio, in particolare nei contesti urbani. Le città, tradizionalmente progettate secondo un paradigma di controllo e separazione dei processi naturali, mostrano oggi una vulnerabilità strutturale rispetto a fenomeni quali alluvioni improvvise, siccità prolungate e ondate di calore.

In Italia, e in modo significativo nel territorio veneto, il dissesto idrogeologico costituisce una criticità diffusa e sistemica. La combinazione tra fragilità geomorfologica, consumo di suolo, impermeabilizzazione estesa e infrastrutture idrauliche concepite per un regime climatico ormai superato ha determinato un aumento dell'esposizione al rischio idraulico. I corsi d'acqua minori, spesso relegati a margine dei processi insediativi o costretti entro sezioni artificiali, diventano oggi luoghi emblematici della frattura tra dinamiche naturali e progetto urbano.

All'interno di questo quadro si inserisce la riflessione sul paradigma della "città spugna", sviluppato in ambito internazionale come risposta integrata alle criticità idrologiche e climatiche contemporanee. Tale approccio propone un'inversione concettuale rispetto al modello tradizionale di drenaggio rapido: l'acqua meteorica non viene più considerata un elemento da allontanare nel minor tempo possibile, bensì una risorsa da trattenere, infiltrare, rallentare e riutilizzare attraverso dispositivi diffusi e multifunzionali. Infrastrutture blu-verdi, superfici permeabili, sistemi di ritenzione e spazi aperti progettati come dispositivi idrologici concorrono a ricostruire una continuità ecologica tra suolo, acqua e tessuto urbano.

La città spugna non rappresenta soltanto un insieme di soluzioni tecniche, ma un vero e proprio cambio di paradigma paesaggistico. Essa implica il superamento della dicotomia tra infrastruttura e spazio pubblico, tra funzione ecologica ed estetica, tra sicurezza idraulica e qualità urbana. In questa

prospettiva, il paesaggio assume un ruolo centrale: non più semplice sfondo delle trasformazioni territoriali, ma infrastruttura viva capace di integrare processi naturali e pratiche progettuali. Il suolo, inteso come sistema biologicamente attivo e supporto dei servizi ecosistemici, torna a essere elemento strutturante del progetto; l'acqua diviene matrice generativa di nuove forme spaziali e relazionali.

Tuttavia, l'applicabilità del modello della città spugna nel contesto italiano richiede una riflessione critica. Le specificità morfologiche, climatiche e insediative del territorio nazionale, unite a un quadro normativo articolato e a una frammentazione amministrativa significativa, rendono necessaria una reinterpretazione del paradigma in chiave locale. In particolare, nelle aree caratterizzate da corsi d'acqua di dimensione intermedia o minore, il tema dell'integrazione tra pianificazione di bacino, strumenti urbanistici e progetto di paesaggio assume un'importanza strategica.

La presente ricerca si colloca in questo ambito di indagine, proponendo una lettura integrata del rapporto tra acqua, rischio e paesaggio e sperimentando l'applicazione dei principi della città spugna al caso del torrente Leogra. Il Leogra, corso d'acqua che attraversa un territorio fortemente antropizzato e produttivo dell'Alto Vicentino, costituisce un laboratorio significativo per analizzare le dinamiche di artificializzazione, le criticità idrauliche e le potenzialità di riattivazione ecologica. La sua evoluzione storica testimonia il progressivo passaggio da elemento strutturante del paesaggio a infrastruttura marginalizzata e rigidamente canalizzata, con conseguente perdita di permeabilità, continuità ecologica e capacità di laminazione naturale delle piene.

L'obiettivo della tesi è duplice. Da un lato, costruire un quadro teorico-metodologico che metta in relazione Antropocene, cambiamento climatico e trasformazioni del paesaggio urbano, evidenziando il ruolo del progetto nella gestione integrata dei processi idrologici. Dall'altro, tradurre tale quadro in una proposta operativa multiscalare applicata al sistema del torrente Leogra, individuando strategie e dispositivi in grado di incrementare la resilienza idraulica, migliorare la qualità ecologica e generare benefici ambientali, sociali ed economici.

La presente ricerca adotta un approccio interdisciplinare che integra contributi provenienti dall'ecologia del paesaggio, dall'urbanistica resiliente, dalla pianificazione ambientale e dagli studi sull'adattamento climatico. Il lavoro si articola in tre parti. La prima parte approfondisce il contesto teorico e ambientale, analizzando la crisi climatica nell'Antropocene e le sue ricadute sui sistemi urbani. La seconda parte indaga il paradigma della città spugna, mettendone in luce principi, strumenti, casi studio e criticità, con particolare attenzione alla sua interpretazione paesaggistica. La terza parte traduce tali riferimenti nel caso studio del Leogra, attraverso un'analisi territoriale, una lettura paesaggistica del sistema acqua-suolo e la definizione di scenari progettuali coerenti con i principi dell'invarianza idraulica e delle infrastrutture blu-verdi.

In conclusione, la tesi intende contribuire al dibattito sul ruolo del progetto di paesaggio nella transizione ecologica contemporanea, proponendo la città spugna non solo come modello tecnico di gestione delle acque, ma come paradigma culturale capace di ricomporre la frattura tra insediamento umano e dinamiche naturali. In un'epoca in cui il rischio non può più essere eliminato ma solo governato, il paesaggio si configura come dispositivo di adattamento, spazio di mediazione e infrastruttura resiliente per le città dell'Antropocene.

PARTE I – CRISI CLIMATICA E VULNERABILITÀ URBANA NELL'ANTROPOCENE

La prima parte della ricerca si colloca entro il quadro teorico e ambientale che definisce le condizioni di possibilità del progetto contemporaneo di paesaggio. L'ipotesi di fondo è che le trasformazioni territoriali in atto non possano essere comprese né affrontate senza riconoscere la natura sistemica della crisi climatica e la portata strutturale dei processi che caratterizzano l'Antropocene. L'azione antropica ha progressivamente alterato il funzionamento dei cicli ecologici fondamentali — in particolare quello idrologico — producendo effetti che si manifestano in modo evidente nei contesti urbani.

L'urbanizzazione diffusa, l'impermeabilizzazione del suolo, la canalizzazione dei corsi d'acqua e la frammentazione degli spazi aperti hanno modificato in maniera sostanziale le relazioni tra acqua, suolo e insediamento. Tali trasformazioni non sono soltanto espressione di dinamiche fisiche, ma riflettono un paradigma culturale fondato sulla separazione tra città e natura, tra infrastruttura tecnica e processo ecologico. In questo scenario, il paesaggio diviene lente interpretativa privilegiata: esso consente di leggere le tracce materiali delle scelte insediative, rendendo visibile la tensione tra sviluppo e sostenibilità.

La crescente frequenza di eventi meteorologici estremi, l'intensificazione delle precipitazioni brevi e intense e l'alternanza con periodi di siccità prolungata mettono in discussione la capacità adattiva delle città contemporanee. Il rischio idraulico e idrogeologico non può più essere considerato un fenomeno episodico, ma costituisce una condizione strutturale che richiede nuovi strumenti di interpretazione e intervento. In questa prospettiva, la prima parte della tesi costruisce il quadro concettuale necessario per comprendere le radici ambientali e territoriali della vulnerabilità urbana, ponendo le basi per un ripensamento del ruolo del progetto di paesaggio nella gestione integrata dei processi naturali.

CAPITOLO 1. ANTROPOCENE E TRASFORMAZIONI DEL PAESAGGIO CONTEMPORANEO

L'emergere del concetto di Antropocene ha profondamente trasformato il modo in cui vengono interpretate le dinamiche territoriali contemporanee. L'idea che l'azione umana abbia assunto una portata geologica implica il riconoscimento di una responsabilità sistemica nella modificazione dei cicli naturali, degli equilibri climatici e delle strutture morfologiche del pianeta. In tale prospettiva, il paesaggio non può più essere considerato un semplice scenario delle attività antropiche, ma diviene la manifestazione concreta delle interazioni tra sistemi ecologici e processi socioeconomici.

Questo capitolo intende costruire il quadro teorico entro cui collocare la ricerca, analizzando l'origine e l'evoluzione del concetto di Antropocene e mettendone in luce le implicazioni per il progetto di paesaggio. Attraverso l'esame dei fenomeni di urbanizzazione, artificializzazione e consumo di suolo, si evidenzierà come il paesaggio contemporaneo sia il risultato di processi accelerati che richiedono una nuova responsabilità progettuale, capace di integrare dimensione ecologica e trasformazione territoriale.

1.1 Origine e definizione del concetto di Antropocene

Negli ultimi decenni, la comunità scientifica ha progressivamente riconosciuto come l'azione umana abbia raggiunto una scala di influenza tale da modificare in maniera significativa il funzionamento dei sistemi naturali del pianeta. Da questa consapevolezza nasce il concetto di *Antropocene*¹, termine utilizzato per descrivere una condizione contemporanea in cui le attività umane rappresentano una forza determinante nei processi di trasformazione della Terra.

Il termine fu introdotto all'inizio degli anni Duemila dal chimico atmosferico Paul J. Crutzen e dal biologo Eugene Stoermer, i quali proposero di utilizzarlo per evidenziare il ruolo ormai centrale dell'uomo nei cambiamenti del sistema Terra. Pur avendo avuto ampia diffusione in ambito scientifico e culturale, è importante sottolineare che l'Antropocene non è stato formalmente riconosciuto come epoca geologica ufficiale dalla Commissione Internazionale di Stratigrafia, e rimane quindi una categoria concettuale e interpretativa più che una unità cronostratigrafica formalizzata.

¹ Antropocene: è un'epoca geologica proposta per descrivere la fase storica in cui le attività antropiche hanno raggiunto una scala tale da modificare in modo irreversibile i sistemi naturali della Terra, agendo come fattore dominante nei processi climatici, ecologici e geologici del pianeta.

In questa prospettiva, il concetto non indica una nuova epoca della scala geologica, ma piuttosto una fase storica caratterizzata dall'impatto crescente delle attività antropiche sui sistemi biogeochimici terrestri. Tale impatto non si limita più alla scala locale o regionale, ma interessa processi globali, influenzando la composizione dell'atmosfera, il funzionamento degli ecosistemi e la trasformazione della superficie terrestre.

La storia della Terra è tradizionalmente suddivisa in ere, periodi ed epoche sulla base delle trasformazioni osservabili negli strati geologici e nei processi naturali. L'attuale epoca geologica riconosciuta è l'Olocene, iniziato circa 11.700 anni fa al termine dell'ultima glaciazione e caratterizzato da condizioni climatiche relativamente stabili, che hanno favorito lo sviluppo delle civiltà umane e dei sistemi agricoli. Il termine fu introdotto nel XIX secolo da Charles Lyell e successivamente adottato nella classificazione geologica internazionale.

Già prima della diffusione del termine Antropocene, diversi studiosi avevano evidenziato il ruolo dell'uomo come agente di trasformazione ambientale. George Perkins Marsh, nel 1864, pubblicò *Man and Nature* (successivamente ristampato come *The Earth as Modified by Human Action*), (Marsh, 1965), sottolineando l'impatto delle attività umane sugli equilibri naturali. Nel 1873, Antonio Stoppani definì l'umanità come una “nuova forza tellurica che per potenza e universalità può essere paragonata alle maggiori forze della Terra” (citato da Clark, 1986), introducendo il concetto di “era antropozoica” per descrivere questa crescente influenza.

Un momento di svolta fondamentale in questo processo è rappresentato dalla rivoluzione industriale. L'introduzione di macchine alimentate da combustibili fossili ha determinato un aumento significativo dell'estrazione di risorse naturali e della produzione industriale, modificando profondamente i sistemi economici e territoriali. A partire dalla metà del XX secolo, tali trasformazioni hanno subito un'ulteriore accelerazione, fenomeno spesso definito *Great Acceleration*², caratterizzato da una crescita senza precedenti della popolazione mondiale, dei consumi energetici, della produzione industriale e dei processi di urbanizzazione.

Gli effetti di tali processi sono oggi osservabili attraverso numerosi indicatori ambientali (Figura 1): l'aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera, la diffusione globale di materiali antropici come plastica e cemento, l'alterazione dei cicli biogeochimici dell'azoto e del fosforo e la riduzione della biodiversità su scala globale (al., 2015). Questi fenomeni costituiscono

² Great Acceleration: rappresenta la fase storica caratterizzata da un rapido e simultaneo aumento dei principali indicatori socioeconomici e ambientali – tra cui popolazione, urbanizzazione, consumo di energia, emissioni di gas serra e sfruttamento delle risorse – che ha determinato un'accelerazione significativa delle trasformazioni antropiche del sistema Terra.

tracce materiali dell'impatto umano sui sistemi terrestri e contribuiscono a definire la portata sistemica delle trasformazioni in atto.

Sebbene il termine Antropocene non indichi una unità geologica ufficialmente riconosciuta, esso è ampiamente utilizzato nelle scienze ambientali, nelle scienze sociali e nelle discipline del progetto come strumento interpretativo per descrivere le trasformazioni contemporanee. In particolare, consente di leggere il paesaggio non più come semplice sfondo delle attività umane, ma come esito dinamico delle interazioni tra sistemi naturali e processi socioeconomici.

In questa prospettiva, il paesaggio contemporaneo può essere interpretato come un sistema complesso in cui infrastrutture, città, sistemi agricoli e reti energetiche contribuiscono a ridefinire continuamente la morfologia della superficie terrestre. L'azione antropica diventa così un fattore determinante nella configurazione dei territori, rendendo necessario ripensare criticamente il rapporto tra sviluppo umano e funzionamento degli ecosistemi (Maslin, 2015).

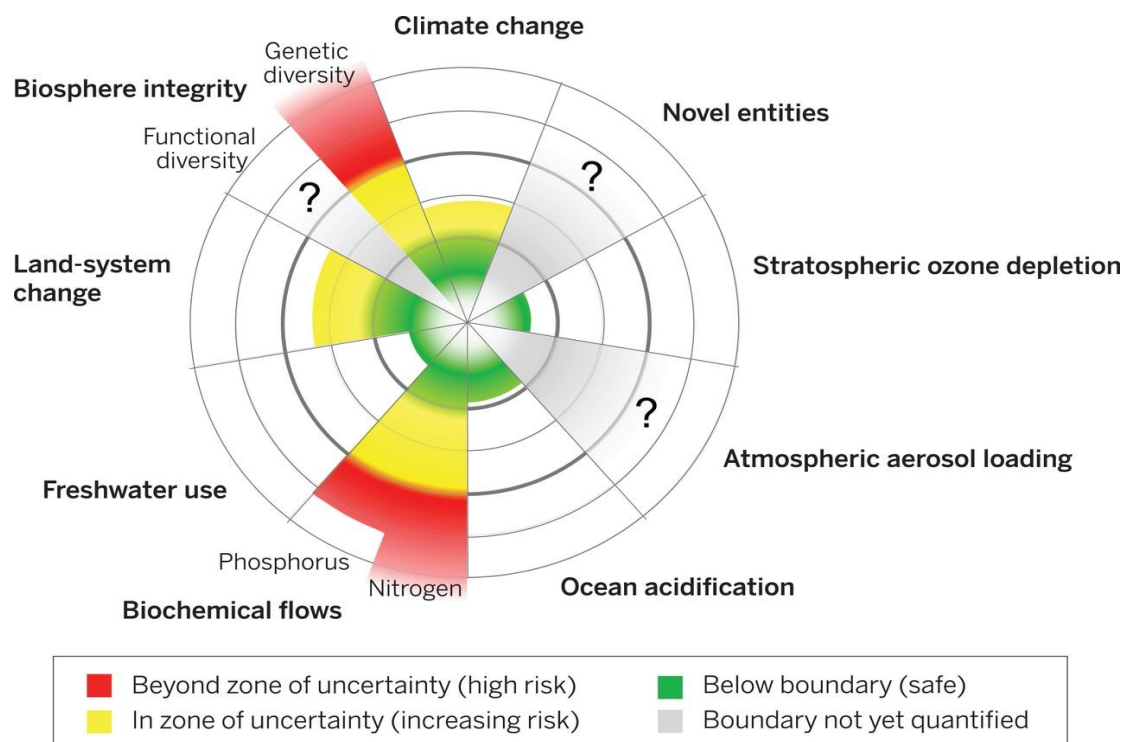


Figura 1 - stato attuale delle variabili di controllo per sette dei confini planetari: La zona verde rappresenta lo spazio operativo sicuro, La zona gialla rappresenta la zona di incertezza (rischio crescente) e La zona rossa è una zona ad alto rischio. Il confine planetario stesso si trova all'intersezione delle zone verde e gialla. Le variabili di controllo sono state normalizzate per la zona di incertezza; il centro della figura non rappresenta quindi valori pari a 0 per le variabili di controllo. La variabile di controllo mostrata per il cambiamento climatico è la concentrazione atmosferica di CO². I processi per i quali i confini a livello globale non possono ancora essere quantificati sono rappresentati da cunei grigi; si tratta del carico di aerosol atmosferico, di nuove entità e del ruolo funzionale dell'integrità della biosfera. Fonte: Rockström et al. (2009), aggiornato da Steffen et al. (2015).

1.2 Antropocene e crisi ambientale globale

Il riconoscimento dell'Antropocene è strettamente legato alla crescente consapevolezza della crisi ambientale globale che caratterizza l'epoca contemporanea. Le attività umane hanno infatti prodotto alterazioni profonde nei sistemi naturali, mettendo in discussione gli equilibri ecologici che hanno garantito per millenni condizioni favorevoli allo sviluppo delle società umane.

Uno degli aspetti più evidenti di questa crisi è rappresentato dal cambiamento climatico. A partire dalla rivoluzione industriale, l'utilizzo intensivo di combustibili fossili ha determinato un aumento significativo delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera, tra cui anidride carbonica, metano e protossido di azoto. Queste sostanze contribuiscono a trattenere il calore nell'atmosfera, generando un progressivo incremento delle temperature medie globali. (IPCC, 2021).

Le conseguenze di questo processo sono ormai ampiamente documentate dalla comunità scientifica. Lo scioglimento dei ghiacciai, l'innalzamento del livello dei mari (Figura 2), l'intensificazione degli eventi meteorologici estremi e l'alterazione dei regimi di precipitazione (Figura 3) rappresentano alcune delle manifestazioni più evidenti del cambiamento climatico. Tali fenomeni non hanno soltanto implicazioni ambientali, ma producono effetti significativi anche sui sistemi economici e sociali, aumentando la vulnerabilità delle popolazioni e dei territori. ((IPCC), 2021)

Parallelamente al cambiamento climatico, la pressione antropica sugli ecosistemi ha determinato una drastica riduzione della biodiversità. La distruzione degli habitat naturali, l'espansione delle aree agricole e urbane, l'inquinamento e lo sfruttamento intensivo delle risorse naturali hanno portato molti studiosi a parlare di una vera e propria *sesta estinzione di massa*³ (Kolbert, 2014). A differenza delle precedenti estinzioni avvenute nella storia della Terra, questa è direttamente collegata alle attività umane.

Un ulteriore elemento critico riguarda l'alterazione dei cicli biogeochimici. L'agricoltura intensiva e l'uso massiccio di fertilizzanti chimici hanno modificato profondamente il ciclo dell'azoto e del fosforo, mentre la costruzione di dighe e infrastrutture idrauliche ha alterato il ciclo dell'acqua su scala globale. Queste trasformazioni hanno effetti diretti sugli ecosistemi e contribuiscono ad amplificare fenomeni di degrado ambientale.

³ La sesta estinzione di massa: è l'evento in corso di drastica riduzione della biodiversità terrestre e marina, determinato in larga parte da fattori antropici quali la distruzione degli habitat, il cambiamento climatico, l'inquinamento, il sovrasfruttamento delle risorse naturali e l'introduzione di specie invasive, con tassi di estinzione molto superiori alla media geologica naturale.

Per interpretare la complessità di tali dinamiche, alcuni studiosi hanno sviluppato il concetto di *planetary boundaries*⁴, ovvero un insieme di soglie ecologiche che definiscono lo spazio operativo sicuro per l'umanità, il modello individua nove processi chiave: Cambiamento climatico, Perdita di biodiversità, Cambiamenti nell'uso del suolo, Alterazione dei cicli biogeochimici (azoto e fosforo), Acidificazione degli oceani, Uso globale dell'acqua dolce, Assottigliamento dello strato di ozono, Inquinamento chimico (nuove entità), Aerosol atmosferici. Secondo questa prospettiva, il superamento di tali limiti potrebbe compromettere la stabilità del sistema Terra e generare cambiamenti ambientali difficilmente reversibili. (al., 2009).

I due limiti planetari per i quali non siamo ancora stati in grado di determinare un livello limite sono l'inquinamento chimico e il carico di aerosol atmosferico. Stimiamo che l'umanità abbia già oltrepassato tre limiti planetari: per il cambiamento climatico, il tasso di perdita di biodiversità e i cambiamenti nel ciclo globale dell'azoto. Il concetto proposto di "limiti planetari" getta le basi per spostare il nostro approccio alla governance e alla gestione, allontanandosi dalle analisi essenzialmente settoriali dei limiti alla crescita volte a minimizzare le esternalità negative, verso la stima dello spazio sicuro per lo sviluppo umano.

In questo contesto, il concetto di Antropocene assume una valenza particolarmente significativa, poiché evidenzia come le attività umane siano diventate il principale fattore di trasformazione del pianeta. La crisi ambientale contemporanea non può quindi essere interpretata come una semplice sommatoria di problemi settoriali, ma come il risultato di un sistema di relazioni complesse tra società, economia ed ecosistemi.

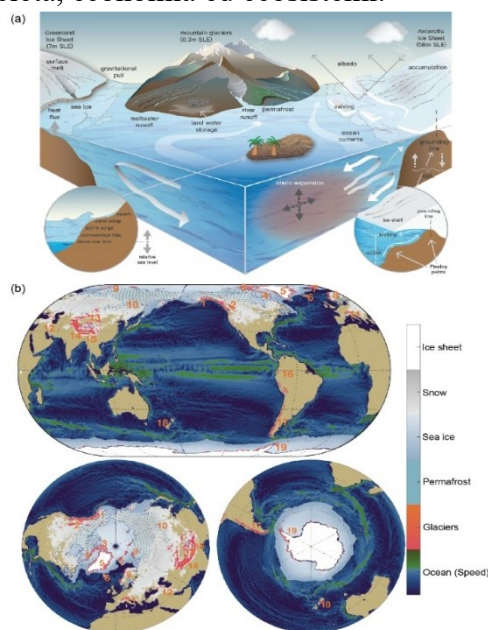


Figura 2 - componenti di oceano, criosfera e livello del mare valutati nel Cap. 9 dell'IPCC del 2021:(a) Schema dei processi. Le frecce bianche indicano la circolazione oceanica. I punti di ancoraggio indicano dove la linea di messa a terra è più stabile e dove la calotta glaciale rallenterà. (mCDW: acque profonde circumpolari modificate, GIA: aggiustamento isostatico glaciale). (b) Distribuzione geografica delle componenti di oceano e criosfera. Il ghiaccio marino ombreggiato per indicare la concentrazione media annuale. I colori verdi dell'oceano indicano una maggiore velocità della corrente superficiale. (i numeri indicano le regioni ghiacciate RGI Consortium, 2017).

⁴ Planetary Boundaries: rappresentano un quadro scientifico che identifica nove processi fondamentali del sistema Terra e stabilisce per ciascuno di essi dei limiti critici, il cui superamento può compromettere la stabilità e la resilienza del pianeta, mettendo a rischio le condizioni ambientali che hanno permesso lo sviluppo della civiltà umana.

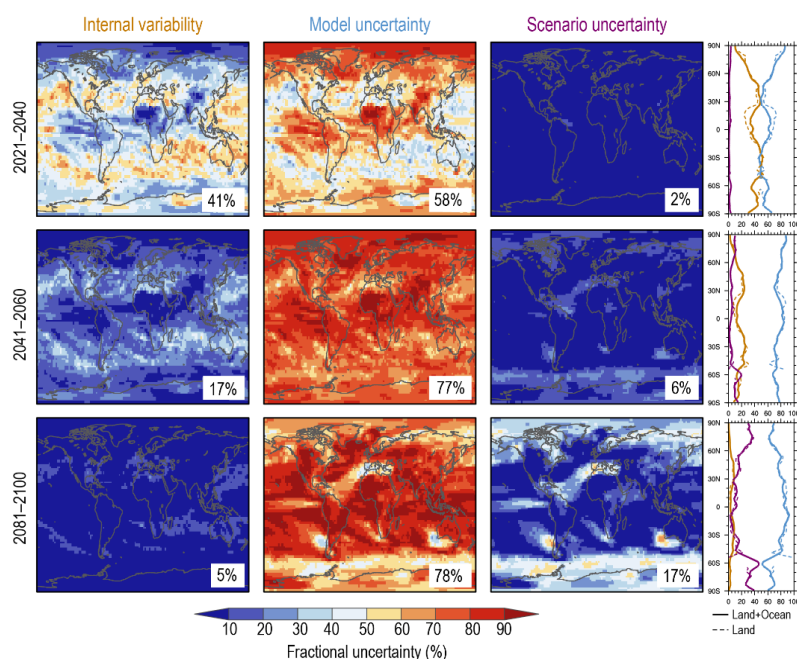


Figura 3 - distribuzione media geografica e zonale della percentuale delle variazioni medie delle precipitazioni valutati nel Cap. 8 dell'IPCC del 2021: variazioni delle precipitazioni su 20 anni nel periodo 2021–2040, 2041–2060 e 2081-2100 rispetto al periodo di base 1995-2014. Variabilità climatica interna (dipendono sia dalla regione che dall'orizzonte temporale, gioca un ruolo chiave nel breve termine soprattutto nelle regioni subtropicali) a sinistra. Incertezza della risposta del modello al centro (è il fattore più influente su tutti gli orizzonti temporali) e incertezza dello scenario (relativamente bassa negli orizzonti temporali a breve e medio termine, aumenta nel lungo termine soprattutto alle alte altitudini) a destra considerando quattro scenari di concentrazione

plausibili. I numeri percentuali indicano il valore medio globale ponderato per area per ciascuna mappa, i riquadri di destra mostrano le frazioni medie zonali sia sulla terraferma che sul mare (linee continue) e solo sulla terra ferma (linea tratteggiata).

1.3 Urbanizzazione, artificializzazione e consumo di suolo

Tra i processi che più contribuiscono a definire il paesaggio dell'Antropocene vi è l'espansione delle aree urbane. Nel corso degli ultimi due secoli, e in particolare a partire dalla seconda metà del Novecento, l'urbanizzazione ha assunto dimensioni senza precedenti, trasformando profondamente la struttura dei territori e modificando le relazioni tra sistemi naturali e insediamento umano.

Secondo le stime delle Nazioni Unite (United Nations, 2019), oltre il 55% della popolazione mondiale vive oggi in contesti urbani e questa percentuale è destinata ad aumentare fino a circa il 70% entro il 2050. Tale crescita demografica urbana comporta inevitabilmente una forte pressione sui territori, determinando l'espansione delle città e la trasformazione di vaste aree naturali e agricole in superfici costruite.

Uno degli effetti più evidenti di questo processo è l'artificializzazione del suolo. Con questo termine si indica la trasformazione di superfici naturali o agricole in aree impermeabili, come edifici, strade, parcheggi e infrastrutture. L'impermeabilizzazione riduce drasticamente la capacità del suolo di svolgere le proprie funzioni ecologiche, tra cui l'infiltrazione dell'acqua, la regolazione del microclima e il supporto alla biodiversità.

Il consumo di suolo rappresenta uno degli indicatori più significativi della pressione antropica sui territori. In molti paesi europei, tra cui l'Italia, la crescita urbana si è sviluppata spesso secondo

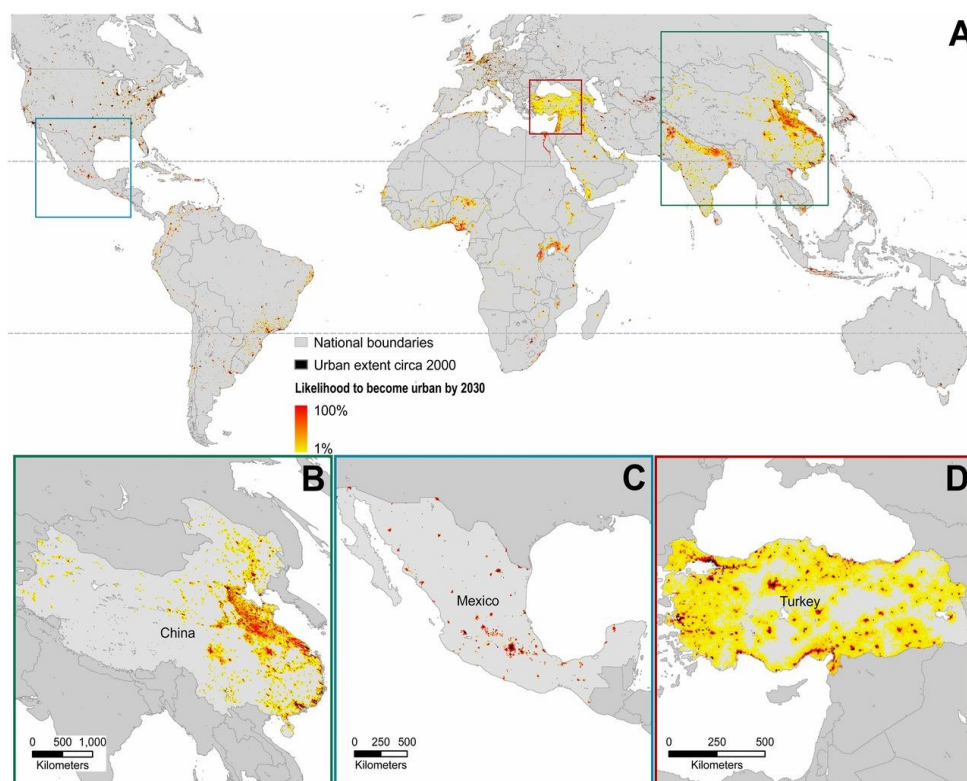
modelli di dispersione insediativa caratterizzati da bassa densità e forte frammentazione del territorio. Questo fenomeno, noto come *urban sprawl*⁵, comporta un aumento delle superfici impermeabili e una progressiva riduzione degli spazi agricoli e naturali. (al., 2012) Il cambiamento della copertura del suolo urbano minaccia la biodiversità e influisce sulla produttività degli ecosistemi attraverso la perdita di habitat, biomassa e stoccaggio del carbonio. Tuttavia, nonostante le proiezioni secondo cui la popolazione urbana mondiale aumenterà a quasi 5 miliardi entro il 2030, si sa ancora poco sulle future ubicazioni, entità e tassi di espansione urbana.

Sebbene la crescita della popolazione urbana sia un fenomeno globale, i risultati mostrano che la maggior parte dell'espansione urbana e il conseguente cambiamento della copertura del suolo saranno concentrati in poche regioni (Figura 4). A livello globale, oltre 5,87 milioni di km² di territorio hanno una probabilità positiva (>0%) di essere convertiti in aree urbane entro il 2030, e il 20% di questi (1,2 milioni di km²) ha alte probabilità (>75%) di espansione urbana (Tabella 1). Se tutte le aree con alta probabilità (>75%) subissero la conversione del territorio urbano, si registrerebbe un aumento del 185% dell'estensione urbana globale a partire dal 2000 circa.

Le conseguenze ambientali di tali trasformazioni sono molteplici. L'impermeabilizzazione del suolo altera il ciclo idrologico naturale, riducendo la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche e aumentando il deflusso superficiale. Questo fenomeno contribuisce ad amplificare il rischio di allagamenti e inondazioni nei contesti urbani, soprattutto in presenza di eventi meteorologici intensi.

Allo stesso tempo, la frammentazione degli habitat naturali compromette la continuità ecologica dei territori e riduce la capacità degli ecosistemi di fornire servizi fondamentali alla società, come la regolazione climatica, la purificazione dell'acqua e la conservazione della biodiversità. In questo scenario, la gestione del suolo e la pianificazione territoriale assumono un ruolo strategico nella costruzione di modelli di sviluppo più sostenibili. Ridurre il consumo di suolo e promuovere forme di urbanizzazione più compatte e integrate con i sistemi naturali rappresenta una delle principali sfide per le politiche territoriali contemporanee.

⁵ Urban Sprawl: è un processo di espansione urbana non pianificata o scarsamente controllata caratterizzato da bassa densità edilizia, forte dipendenza dall'automobile, consumo estensivo di suolo e frammentazione del territorio, con effetti rilevanti sulla sostenibilità ambientale e sull'efficienza dei sistemi urbani.



A Figura 4 - previsioni globali sulle probabilità di espansione urbana, 2030: vi è una variazione significativa nella qualità e nella probabilità di espansione urbana (A). Gran parte dell'espansione urbana prevista si verificherà probabilmente nella Cina Orientale (B). Alcune regioni hanno un'alta probabilità di espansione urbana in località specifiche (C), mentre altre presentano aree a bassa probabilità di crescita urbana (D). Le linee tratteggiate indicano i confini settentrionali e meridionali dei tropici

Regions defined in the model*	New urban land area with probability greater than zero (km ²) by probability quartile range (regional percentage)				2000 urban extent (km ²) (regional percentage)
	>0-25	>25-50	>50-75	>75-100	
Central America	22,600 (0.8)	6,100 (0.2)	6,125 (0.2)	41,025 (1.5)	13,500 (0.5)
China	1,349,650 (14.6)	38,600 (0.4)	27,175 (0.3)	219,700 (2.4)	80,525 (0.9)
Eastern Asia	10,825 (1.7)	5,675 (0.9)	5,800 (0.9)	29,800 (4.7)	28,075 (4.5)
Eastern Europe	12,850 (0.1)	3,750 (0.0)	32,400 (0.2)	3,975 (0.0)	70,275 (0.3)
India	546,000 (16.7)	18,600 (0.6)	8,600 (0.3)	107,275 (3.3)	30,400 (0.9)
Mid-Asia	5,950 (0.2)	2,025 (0.1)	2,175 (0.1)	24,225 (0.9)	16,500 (0.6)
Mid-Latitudinal Africa	531,125 (2.8)	33,025 (0.2)	23,875 (0.1)	180,125 (1.0)	19,675 (0.1)
Northern Africa	30,000 (0.4)	6,450 (0.1)	5,350 (0.1)	46,875 (0.6)	13,350 (0.2)
Northern America	175,775 (0.9)	21,075 (0.1)	5,875 (0.0)	118,175 (0.6)	130,500 (0.7)
Oceania	5,300 (0.1)	1,675 (0.0)	4,725 (0.1)	9,700 (0.1)	10,450 (0.1)
South America	264,175 (1.5)	33,600 (0.2)	16,150 (0.1)	134,050 (0.8)	80,025 (0.5)
Southern Africa	10,950 (0.4)	2,575 (0.1)	2,400 (0.1)	17,475 (0.7)	8,425 (0.3)
Southern Asia	70,900 (2.1)	10,725 (0.3)	17,175 (0.5)	72,400 (2.1)	16,250 (0.5)
Southeastern Asia	58,400 (1.3)	7,775 (0.2)	8,275 (0.2)	69,450 (1.5)	27,275 (0.6)
Western Asia	966,875 (21.4)	45,575 (1.0)	38,200 (0.8)	62,625 (1.4)	26,800 (0.6)
Western Europe	141,400 (3.8)	13,075 (0.3)	4,525 (0.1)	73,600 (2.0)	80,800 (2.2)
World	4,202,775 (3.2)	250,300 (0.2)	208,825 (0.2)	1,210,475 (0.9)	652,825 (0.5)

Tabella 1 - Previsioni di espansione urbana per intervallo di quartile di probabilità, 2030

1.4 Il paesaggio come prodotto e indicatore dei processi antropici

Nel contesto dell'Antropocene, il paesaggio assume un ruolo centrale come strumento interpretativo delle trasformazioni territoriali. Esso non rappresenta semplicemente l'aspetto visibile di un territorio, ma costituisce il risultato dinamico delle interazioni tra processi naturali e attività umane che si sono sviluppate nel tempo.

Il paesaggio può essere interpretato come una sorta di archivio materiale che conserva le tracce delle trasformazioni storiche, economiche e sociali che hanno modellato un determinato territorio. Le forme degli insediamenti, la struttura delle reti infrastrutturali, l'organizzazione dei sistemi agricoli e la presenza di elementi naturali come fiumi e foreste contribuiscono a definire la configurazione spaziale del paesaggio (Figura 5). (Antrop, 2005).

Nel corso della storia, le società umane hanno progressivamente modificato il territorio attraverso attività di trasformazione e sfruttamento delle risorse naturali. Nel contesto contemporaneo, tali trasformazioni hanno raggiunto una scala e un'intensità tali da rendere il paesaggio uno degli indicatori più evidenti della pressione antropica sugli ecosistemi.

L'analisi del paesaggio consente infatti di individuare le relazioni tra struttura ecologica e struttura insediativa, evidenziando le dinamiche di trasformazione e le condizioni di vulnerabilità dei territori. Elementi come l'impermeabilizzazione dei suoli, la canalizzazione dei corsi d'acqua o la frammentazione degli habitat naturali rappresentano manifestazioni concrete dei processi antropici che caratterizzano l'Antropocene.

Allo stesso tempo, il paesaggio può essere interpretato come un campo di sperimentazione per nuove strategie di progetto orientate alla sostenibilità. La pianificazione e la progettazione paesaggistica possono infatti contribuire a ricostruire relazioni più equilibrate tra sistemi naturali e insediamenti umani, promuovendo forme di gestione del territorio più attente alle dinamiche ecologiche (Waldheim, 2016).

Charles Waldheim ripercorre le radici del paesaggio come forma di urbanistica dalle sue origini nel Rinascimento fino al XX secolo. Nato dalla cultura architettonica progressista e dall'ambientalismo populista, il concetto è stato ulteriormente arricchito dall'invenzione ottocentesca dell'architettura del paesaggio come "nuova arte" incaricata di conciliare la progettazione della città industriale con le sue condizioni ecologiche e sociali.

Tra la fine del XX e l'inizio del XXI secolo, mentre la pianificazione urbana si spostava dal design alle scienze sociali e la progettazione urbana si orientava verso modelli neo-tradizionali di pianificazione urbana, l'urbanistica del paesaggio emerse per colmare un vuoto al centro del progetto urbano contemporaneo.

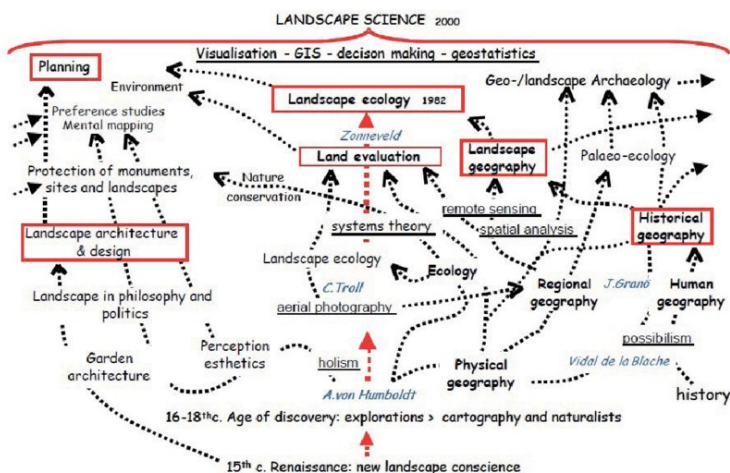


Figura 5 - Lo sviluppo delle scienze del paesaggio

1.5 Nuove responsabilità del progetto di paesaggio nell'Antropocene

Il riconoscimento dell'Antropocene implica una profonda ridefinizione del ruolo delle discipline del progetto nella gestione dei territori. In un contesto caratterizzato da crisi ambientali globali, cambiamenti climatici e crescente vulnerabilità dei sistemi urbani, il progetto di paesaggio assume una funzione strategica nella costruzione di nuovi modelli di adattamento e resilienza.

Tradizionalmente il progetto di paesaggio è stato associato principalmente alla dimensione estetica e compositiva degli spazi aperti. Tuttavia, negli ultimi decenni questa disciplina ha progressivamente ampliato il proprio campo di azione, assumendo un ruolo sempre più rilevante nella gestione delle infrastrutture ecologiche e dei processi ambientali.

Il paesaggio può infatti essere interpretato come una vera e propria infrastruttura ecologica capace di svolgere funzioni fondamentali per il funzionamento dei sistemi urbani. Tra queste funzioni vi sono la regolazione del ciclo dell'acqua, la mitigazione delle temperature urbane, la conservazione della biodiversità e la riduzione dei rischi naturali.

In questo quadro, il progettista del paesaggio è chiamato a operare come mediatore tra processi naturali e trasformazioni antropiche. La progettazione degli spazi aperti, delle infrastrutture verdi e dei sistemi fluviali può contribuire a ricostruire relazioni più equilibrate tra città e ambiente, favorendo la resilienza dei territori di fronte alle sfide poste dal cambiamento climatico.

Il paradigma della città spugna, che verrà approfondito nei capitoli successivi, rappresenta un esempio significativo di questo nuovo approccio. Attraverso l'integrazione di infrastrutture blu-verdi, sistemi di drenaggio sostenibile e spazi pubblici multifunzionali, la città spugna propone un modello di gestione delle acque urbane capace di coniugare sicurezza idraulica, qualità ecologica e valore paesaggistico.

In questa prospettiva, il progetto di paesaggio non si limita più a intervenire sulla dimensione formale dello spazio, ma diventa uno strumento strategico per affrontare le sfide ambientali dell'Antropocene e promuovere una transizione verso modelli di sviluppo più sostenibili.

CAPITOLO 2. ACQUA E SUOLO COME INFRASTRUTTURE ECOLOGICHE DEL PAESAGGIO

L'acqua e il suolo costituiscono le infrastrutture ecologiche primarie su cui si fonda l'equilibrio dei sistemi territoriali. Tuttavia, nei contesti urbani moderni, tali componenti sono state progressivamente ridotte a elementi tecnici o residuali, perdendo la loro centralità strutturale. L'impermeabilizzazione delle superfici, la canalizzazione dei corsi d'acqua e la frammentazione degli spazi aperti hanno alterato profondamente il ciclo idrologico e compromesso le funzioni ecosistemiche del suolo.

Il presente capitolo analizza il ruolo dell'acqua e del suolo come sistemi dinamici e interconnessi, mettendo in relazione le trasformazioni urbane con l'aumento del rischio idrogeologico. L'obiettivo è evidenziare come la gestione integrata dei processi naturali rappresenti una condizione imprescindibile per la costruzione di paesaggi resilienti e per il superamento di un approccio esclusivamente ingegneristico alla sicurezza idraulica.

2.1 Il ciclo dell'acqua e la sua alterazione in ambito urbano

Il ciclo dell'acqua rappresenta uno dei processi fondamentali che regolano il funzionamento degli ecosistemi terrestri. Attraverso una serie di passaggi dinamici – evaporazione, condensazione, precipitazione, infiltrazione e deflusso – l'acqua circola continuamente tra atmosfera, superficie terrestre e sottosuolo, garantendo il mantenimento degli equilibri ecologici e climatici del pianeta.

In condizioni naturali, una parte significativa dell'acqua piovana viene assorbita dal suolo e filtrata negli strati profondi, contribuendo alla ricarica delle falde acquifere. Un'altra parte evapora o viene intercettata dalla vegetazione, mentre solo una frazione relativamente ridotta defluisce superficialmente verso corsi d'acqua e bacini idrici. Questo equilibrio tra infiltrazione, evaporazione e deflusso consente agli ecosistemi di regolare in modo naturale la disponibilità idrica e di attenuare gli effetti delle precipitazioni intense.

Nei contesti urbani, tuttavia, questo equilibrio viene profondamente alterato. L'espansione delle superfici impermeabili – strade, edifici, parcheggi e infrastrutture – riduce drasticamente la capacità del suolo di assorbire l'acqua piovana. Di conseguenza, una percentuale molto maggiore delle precipitazioni si trasforma in deflusso superficiale, aumentando la velocità con cui l'acqua raggiunge i sistemi di drenaggio urbano e i corsi d'acqua. (Dunne, 1978)

L'impermeabilizzazione del suolo urbano rappresenta uno dei principali fattori di alterazione del ciclo idrologico nelle aree urbanizzate (al., 2015). La diffusione di superfici artificiali, quali strade asfaltate, parcheggi e coperture edilizie, riduce significativamente la capacità del suolo di assorbire l'acqua meteorica, limitando i processi di infiltrazione e favorendo, al contrario, un rapido ruscellamento superficiale. Tale condizione determina un incremento sia del volume sia della velocità del deflusso durante gli eventi di precipitazione, con la conseguente formazione di picchi di portata più elevati rispetto a quelli osservabili in contesti naturali. Queste modificazioni incidono in modo significativo sul regime idrologico dei bacini urbani e possono generare diversi effetti negativi. In particolare, l'aumento del deflusso superficiale può provocare sovraccarichi nei sistemi di drenaggio urbano, incrementando il rischio di allagamenti e fenomeni di inondazione. Parallelamente, la riduzione dell'infiltrazione compromette i processi di ricarica delle falde acquifere, con potenziali ripercussioni sulla disponibilità di risorse idriche nel lungo periodo. Inoltre, il rapido convogliamento delle acque meteoriche lungo le superfici urbane favorisce il trasporto di inquinanti accumulati sul suolo, contribuendo al deterioramento della qualità delle acque superficiali.

Negli ultimi decenni, numerosi studi hanno evidenziato come i modelli tradizionali di gestione delle acque meteoriche, basati sul rapido convogliamento attraverso reti fognarie e canali artificiali, risultino insufficienti a fronte delle crescenti sfide poste dall'urbanizzazione e dagli eventi meteorologici estremi. Tali approcci, accentuando la rapidità e il volume del deflusso superficiale, amplificano le alterazioni del ciclo idrologico urbano e i rischi associati. Per questo motivo, si sta progressivamente affermando un approccio integrato e sostenibile alla gestione delle acque, volto a ripristinare, almeno in parte, le funzioni naturali del ciclo idrologico e a mitigare gli impatti negativi sulle reti di drenaggio e sui corsi d'acqua urbani.

Le modificazioni del ciclo idrologico urbano producono inoltre significative conseguenze sui corsi d'acqua che attraversano o delimitano le aree urbanizzate. L'aumento del deflusso superficiale e la maggiore rapidità con cui le acque raggiungono i sistemi fluviali possono determinare erosione delle sponde, alterazioni morfologiche degli alvei e degrado degli ecosistemi acquatici. Diversi studi hanno evidenziato l'esistenza di *soglie critiche di urbanizzazione (Impervious Cover Model)*⁶ (Booth, 1997) oltre le quali i sistemi fluviali iniziano a mostrare segni evidenti di deterioramento; in particolare, quando la percentuale di superficie impermeabile all'interno di un bacino supera circa il 10%, si osservano cambiamenti significativi nelle caratteristiche idrologiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.

⁶ Impervious Cover Model: teoria secondo cui oltre determinate percentuali di superficie impermeabile si osserva un rapido degrado ecologico dei corsi d'acqua urbani.

Di fronte a queste trasformazioni, le città hanno progressivamente sviluppato sistemi di gestione delle acque basati su infrastrutture tecniche progettate per convogliare rapidamente le acque meteoriche lontano dagli insediamenti urbani (Novotny, 2010). Reti fognarie, canali artificiali e sistemi di drenaggio sotterranei sono stati realizzati con l'obiettivo di ridurre il rischio di allagamenti e migliorare le condizioni igienico-sanitarie degli ambienti urbani. Tuttavia, questo modello di gestione ha ulteriormente contribuito alla separazione tra città e processi naturali del ciclo dell'acqua, accentuando la dipendenza da infrastrutture grigie e riducendo il ruolo delle componenti ecologiche nella regolazione idrologica del territorio.

2.2 Il suolo come sistema vivo: funzioni fisiche, biologiche ed ecologiche

Il suolo rappresenta una delle componenti fondamentali degli ecosistemi terrestri. Spesso percepito semplicemente come supporto fisico per le attività umane o per la crescita della vegetazione, il suolo è in realtà un sistema complesso e dinamico, costituito da una combinazione di componenti minerali, sostanza organica, acqua, aria e organismi viventi.

Il suolo può essere definito come un sistema naturale organizzato in orizzonti, risultato di processi pedogenetici che si sviluppano nel tempo sotto l'influenza di clima, organismi, rilievo e attività antropiche (Weil, 2010).

Dal punto di vista ecologico, il suolo svolge numerose funzioni essenziali. Esso rappresenta innanzitutto un importante serbatoio di biodiversità: milioni di microrganismi, funghi, batteri e piccoli invertebrati vivono negli strati superficiali del terreno, contribuendo ai processi di decomposizione della materia organica e al riciclo dei nutrienti. Questa biodiversità sotterranea costituisce una componente chiave dei cosiddetti "*Soil Ecosystem Services*"⁷, fondamentali per la produttività agricola e per la stabilità degli ecosistemi (FAO, 2015). Questi organismi svolgono un ruolo fondamentale nel mantenimento della fertilità del suolo e nella regolazione dei cicli biogeochimici.

Un'altra funzione fondamentale del suolo riguarda la regolazione del ciclo dell'acqua. Grazie alla sua struttura porosa, il terreno è in grado di assorbire e trattenere l'acqua piovana, favorendo l'infiltrazione verso le falde acquifere e riducendo il deflusso superficiale. La capacità di infiltrazione e ritenzione idrica dipende fortemente dalla struttura del suolo, dalla tessitura e dal contenuto di sostanza organica, che influenzano la conducibilità idraulica e la capacità di campo. Questo processo

⁷ Soil Ecosystem Services: I servizi ecosistemici del suolo comprendono i processi e le funzioni svolte dal suolo che contribuiscono al mantenimento della vita e al benessere umano, tra cui la regolazione del ciclo dell'acqua, il supporto alla crescita delle piante, la filtrazione e depurazione degli inquinanti, lo stoccaggio del carbonio e la conservazione della biodiversità.

contribuisce a mitigare il rischio di alluvioni e a garantire una distribuzione più equilibrata delle risorse idriche nel tempo.

Il suolo svolge inoltre un ruolo importante nella regolazione del clima. Attraverso l'accumulo di sostanza organica, esso rappresenta uno dei principali serbatoi di carbonio del pianeta, contribuendo a ridurre la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera. La degradazione o la perdita di suolo può quindi avere effetti significativi sulle dinamiche del cambiamento climatico. I suoli globali contengono una quantità di carbonio superiore a quella presente nell'atmosfera e nella vegetazione combinata, rendendoli cruciali per le strategie di mitigazione del cambiamento climatico (Montanarella, 2016).

Nonostante queste funzioni fondamentali, il suolo è oggi una delle risorse naturali più minacciate dalle attività umane. Processi come compattazione, erosione, salinizzazione e contaminazione rappresentano forme diffuse di degradazione del suolo a scala globale. L'espansione urbana, l'agricoltura intensiva, la deforestazione e l'inquinamento stanno determinando una progressiva perdita di qualità e funzionalità dei suoli a livello globale. In particolare, nei contesti urbani il suolo viene spesso considerato come una superficie da occupare o da impermeabilizzare, perdendo la sua capacità di svolgere funzioni ecologiche essenziali.

La tutela e la valorizzazione del suolo rappresentano quindi una delle principali sfide per la pianificazione territoriale e per il progetto di paesaggio. In questa prospettiva, il concetto di “*soil quality*”⁸ assume un ruolo centrale, indicando la capacità di suolo di svolgere le proprie funzioni ecologiche in relazione agli usi antropici. Riconoscere il suolo come infrastruttura ecologica significa considerarlo non solo come supporto delle attività umane, ma come elemento attivo nella regolazione dei processi ambientali.

2.3 Impermeabilizzazione e perdita di servizi ecosistemici

Uno dei fenomeni più critici associati all'espansione urbana è rappresentato dall'*impermeabilizzazione del suolo*⁹. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente con questo termine si indica la copertura della superficie terrestre con materiali artificiali impermeabili, come asfalto, cemento e pavimentazioni, che impediscono al suolo di svolgere le sue funzioni naturali (EEA, 2016).

⁸ Soil Quality: La qualità del suolo indica la capacità di un suolo di svolgere le sue funzioni ecologiche fondamentali in modo sostenibile, tra cui il supporto alla crescita vegetale, la regolazione dei flussi idrici, la filtrazione e decomposizione delle sostanze inquinanti e il mantenimento della biodiversità del suolo.

⁹ Impermeabilizzazione del suolo: consiste nella copertura permanente o semi-permanente del terreno con materiali artificiali che alterano le sue proprietà fisiche e biologiche, compromettendo le funzioni ecologiche del suolo, tra cui l'infiltrazione dell'acqua, la ricarica delle falde, la regolazione del ciclo idrologico e il supporto alla biodiversità.

L'impermeabilizzazione comporta una perdita significativa dei cosiddetti *servizi ecosistemici*¹⁰, ovvero i benefici che gli ecosistemi forniscono alla società. I servizi ecosistemici possono essere distinti in servizi di regolazione, approvvigionamento, supporto e culturali, tutti compromessi dalla trasformazione del suolo naturale in superficie artificiale (MEA, 2005). Tra questi servizi vi sono la regolazione del ciclo dell'acqua, la filtrazione degli inquinanti, la regolazione del microclima urbano e il supporto alla biodiversità. In ambito urbano, la perdita di tali servizi comporta anche costi economici significativi legati alla gestione delle acque, al raffrescamento urbano e alla salute pubblica (Barton, 2013).

Quando il suolo viene coperto da superfici impermeabili, la sua capacità di assorbire l'acqua piovana si riduce drasticamente. In Italia, i dati recenti evidenziano un continuo aumento del consumo di suolo, con effetti diretti sull'incremento del rischio idraulico e sulla riduzione delle superfici permeabili disponibili (INSPRA, 2023). Di conseguenza, una percentuale maggiore delle precipitazioni si trasforma in deflusso superficiale, aumentando il rischio di allagamenti e sovraccaricando i sistemi di drenaggio urbano. Questo fenomeno è particolarmente critico nelle aree urbane densamente costruite, dove le superfici permeabili sono spesso molto limitate.

L'impermeabilizzazione influisce anche sulla qualità delle acque. Le superfici urbane possono accumulare numerosi inquinanti, tra cui oli, metalli pesanti e residui chimici. Durante gli eventi di pioggia, questi contaminanti vengono trasportati dal deflusso superficiale verso i corsi d'acqua e i sistemi fognari, contribuendo al degrado degli ecosistemi acquatici.

Oltre agli effetti idrologici, la perdita di suolo permeabile influisce anche sul microclima urbano. Le superfici artificiali tendono infatti ad assorbire e rilasciare grandi quantità di calore, contribuendo al fenomeno delle *isole di calore urbane*¹¹. La presenza di suolo naturale e vegetazione può invece contribuire a mitigare tali effetti attraverso processi di evaporazione e ombreggiamento.

Per queste ragioni, negli ultimi anni numerose politiche europee e internazionali hanno iniziato a promuovere strategie di limitazione del consumo di suolo e di recupero delle superfici permeabili all'interno delle città.

¹⁰ Servizi ecosistemici: rappresentano l'insieme delle funzioni e dei processi biologici, chimici e fisici degli ecosistemi che contribuiscono al benessere umano, fornendo risorse materiali, regolando i processi ambientali e offrendo benefici culturali e ricreativi.

¹¹ Isole di Calore Urbane: sono fenomeni microclimatici determinati dalla sostituzione delle superfici naturali con materiali artificiali ad alta capacità di accumulo termico, dalla ridotta presenza di vegetazione e dai flussi di calore generati dalle attività antropiche, che comportano un aumento delle temperature nelle aree urbane rispetto ai contesti non urbanizzati.

2.4 Acqua, suolo e rischio idrogeologico

L'interazione tra acqua e suolo svolge un ruolo fondamentale nella determinazione delle condizioni di stabilità e sicurezza dei territori. Il cambiamento climatico sta intensificando la frequenza e l'intensità degli eventi meteorologici estremi, aumentando la probabilità di alluvioni e frane soprattutto nelle aree urbanizzate (IPCC, 2021). Quando questo equilibrio viene alterato da processi di artificializzazione e impermeabilizzazione, il rischio idrogeologico tende ad aumentare in modo significativo.

Il rischio idrogeologico comprende una serie di fenomeni naturali, tra cui alluvioni, frane e fenomeni di erosione, che possono avere conseguenze rilevanti per la sicurezza delle popolazioni e delle infrastrutture. Il rischio è il risultato dell'interazione tra pericolosità, esposizione e vulnerabilità, e non dipende esclusivamente dai processi naturali ma anche dalle condizioni socioeconomiche (al., 2004). In molti casi, tali fenomeni sono amplificati dalle trasformazioni antropiche del territorio, come la costruzione di infrastrutture in aree esondabili o la canalizzazione dei corsi d'acqua.

La riduzione della capacità del suolo di assorbire l'acqua piovana può determinare un aumento significativo dei volumi di deflusso superficiale durante gli eventi di precipitazione intensa. Questo fenomeno contribuisce a generare piene improvvise nei corsi d'acqua urbani e periurbani, aumentando il rischio di inondazioni.

Nel contesto italiano, il rischio idrogeologico rappresenta una delle principali criticità territoriali. Secondo i dati nazionali, una quota rilevante della popolazione e delle infrastrutture è esposta a rischio di frane e alluvioni, con una tendenza in aumento negli ultimi anni (ISPRA, 2023). Studi idrologici hanno inoltre evidenziato come l'urbanizzazione modifichi significativamente le curve di piena dei bacini, aumentando la rapidità di risposta e i picchi di portata (al., 2013). La combinazione tra condizioni geomorfologiche complesse, elevata densità insediativa e consumo di suolo ha determinato una situazione di particolare vulnerabilità in molte aree del paese.

Affrontare queste problematiche richiede un approccio integrato che tenga conto delle relazioni tra dinamiche naturali e trasformazioni antropiche. In questa prospettiva, la gestione sostenibile del suolo e delle acque rappresenta uno strumento fondamentale per ridurre il rischio e aumentare la resilienza dei territori.

2.5 Dal controllo idraulico alla gestione integrata dei processi naturali

Per gran parte del XX secolo, la gestione delle acque urbane è stata basata su un paradigma tecnico-ingegneristico fondato sul controllo e sull'allontanamento rapido delle acque meteoriche. Questo

modello ha portato alla costruzione di estese reti fognarie, canali artificiali e infrastrutture idrauliche progettate per convogliare rapidamente l'acqua lontano dalle aree urbane. Questo approccio è definito “grey infrastructure approach”¹², ha privilegiato soluzioni centralizzate e rigide, spesso incapaci di adattarsi a condizioni di incertezza e variabilità climatica (Ahern, 2011).

Sebbene questo approccio abbia garantito per lungo tempo livelli adeguati di sicurezza idraulica, negli ultimi decenni sono emersi numerosi limiti. L'intensificazione degli eventi meteorologici estremi, l'espansione delle superfici impermeabili e il cambiamento climatico stanno infatti mettendo sotto pressione i sistemi di drenaggio tradizionali.

Di fronte a queste criticità, si sta progressivamente affermando un nuovo paradigma basato sulla gestione integrata dei processi naturali. Questo approccio mira a ripristinare, all'interno delle città, alcune delle funzioni ecologiche che caratterizzano i sistemi naturali, come l'infiltrazione, la ritenzione e la filtrazione dell'acqua. Sustainable Urban Drainage Systems¹³ (SUDS) rappresentano un insieme di pratiche progettuali volte a imitare i processi idrologici naturali, favorendo infiltrazione, evapotraspirazione e riuso delle acque (al., 2015).

Soluzioni come i sistemi di drenaggio urbano sostenibile (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*), le infrastrutture verdi e blu e le *Nature-Based Solutions*¹⁴ rappresentano esempi di questo nuovo approccio. Questi strumenti consentono di gestire le acque meteoriche attraverso dispositivi diffusi che integrano funzioni idrologiche, ecologiche e paesaggistiche. La commissione europea promuove le Nature-Based Solutions come strumenti capaci di integrare benefici ambientali, sociali ed economici nelle strategie urbane (Commission, 2015). Questo paradigma implica un passaggio da sistemi centralizzati a reti distribuite e multifunzionali, in cui il paesaggio stesso diventa infrastruttura (Novotny, 2010).

In questo contesto, il progetto di paesaggio assume un ruolo sempre più importante nella definizione di strategie di gestione dell'acqua che siano al tempo stesso efficaci dal punto di vista tecnico e capaci di migliorare la qualità degli spazi urbani.

¹² Grey Infrastructure Approach: L'approccio della grey infrastructure consiste nell'insieme di soluzioni ingegneristiche convenzionali progettate per controllare, convogliare e smaltire i flussi naturali — in particolare le acque meteoriche — attraverso sistemi rigidamente strutturati come reti fognarie, canali artificiali, arginature e impianti di drenaggio, privilegiando la gestione centralizzata e la rapida evacuazione delle acque.

¹³ Sustainable Urban Drainage System (SUDS): sono sistemi di gestione delle acque piovane che mirano a riprodurre il più possibile il comportamento idrologico naturale del suolo, riducendo il deflusso superficiale, migliorando la qualità delle acque e mitigando il rischio di allagamento attraverso soluzioni decentralizzate e integrate nel contesto urbano

¹⁴ Nature Based Solution: Le Nature-Based Solutions sono interventi ispirati e supportati dai processi naturali che mirano a risolvere problematiche ambientali e urbane — come il rischio idraulico, il cambiamento climatico e il degrado degli ecosistemi — attraverso la valorizzazione delle funzioni ecologiche di suolo, vegetazione e acqua, integrandole nei sistemi antropizzati.

CAPITOLO 3. CAMBIAMENTO CLIMATICO E TRASFORMAZIONE DEI PATTERN DI PRECIPITAZIONE

Il cambiamento climatico rappresenta una delle principali sfide ambientali del XXI secolo e costituisce uno dei fattori più rilevanti nella ridefinizione delle dinamiche idrologiche a scala globale. Negli ultimi decenni, l'aumento delle temperature medie del pianeta ha prodotto effetti significativi sul funzionamento del ciclo dell'acqua, modificando i regimi di precipitazione, l'intensità degli eventi meteorologici e la distribuzione stagionale delle piogge.

Le città risultano particolarmente esposte a queste trasformazioni. La combinazione tra cambiamento climatico e urbanizzazione intensiva amplifica infatti la vulnerabilità dei sistemi urbani, soprattutto nei contesti caratterizzati da elevati livelli di impermeabilizzazione del suolo e da infrastrutture idrauliche progettate secondo modelli ormai non più adeguati alle nuove condizioni climatiche.

In questo scenario, la comprensione dei nuovi pattern di precipitazione e dei loro effetti sui territori urbanizzati diventa fondamentale per orientare strategie di adattamento e modelli di pianificazione capaci di integrare i processi naturali all'interno del progetto urbano e paesaggistico.

Il presente capitolo analizza dunque le principali trasformazioni del ciclo idrologico legate al cambiamento climatico, soffermandosi in particolare sull'intensificazione delle precipitazioni estreme, sull'alternanza tra periodi di pioggia intensa e siccità prolungata e sulle conseguenze di tali fenomeni nei contesti urbani contemporanei.

3.1 Cambiamento climatico, intensificazione del ciclo idrologico

Il cambiamento climatico sta modificando in modo significativo il funzionamento del ciclo idrologico globale. L'aumento delle temperature atmosferiche determina infatti una maggiore capacità dell'aria di trattenere vapore acqueo, con conseguente incremento dell'evaporazione dagli oceani, dai suoli e dalle superfici vegetate. Questo processo contribuisce ad intensificare il ciclo dell'acqua, rendendo le precipitazioni più variabili e spesso più estreme.

Secondo numerosi studi scientifici, per ogni incremento di un grado Celsius della temperatura media globale, l'atmosfera è in grado di trattenere circa il 7% in più di vapore acqueo ((IPCC), 2021). Questo aumento della capacità di trasporto dell'umidità atmosferica favorisce la formazione di eventi

precipitativi più intensi, soprattutto in presenza di condizioni meteorologiche favorevoli alla condensazione.

Le conseguenze di tale processo si manifestano con particolare evidenza nella crescente frequenza di eventi meteorologici estremi osservata negli ultimi decenni. Episodi di precipitazioni intense, tempeste convettive e fenomeni temporaleschi violenti risultano sempre più comuni in molte regioni del pianeta, con effetti rilevanti sui sistemi idrologici e sugli insediamenti umani.

Parallelamente, l'intensificazione del ciclo idrologico comporta anche una maggiore irregolarità nella distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno (NASA) (figura 6, 7 e 8). Alcune regioni registrano un aumento delle piogge, mentre altre sperimentano una riduzione significativa delle risorse idriche disponibili, con conseguenze dirette sulla sicurezza idrica, sugli ecosistemi e sulle attività economiche.

Questi cambiamenti pongono nuove sfide alla pianificazione territoriale e alla gestione delle risorse idriche, rendendo necessario lo sviluppo di approcci adattivi capaci di rispondere a condizioni climatiche sempre più variabili e imprevedibili.

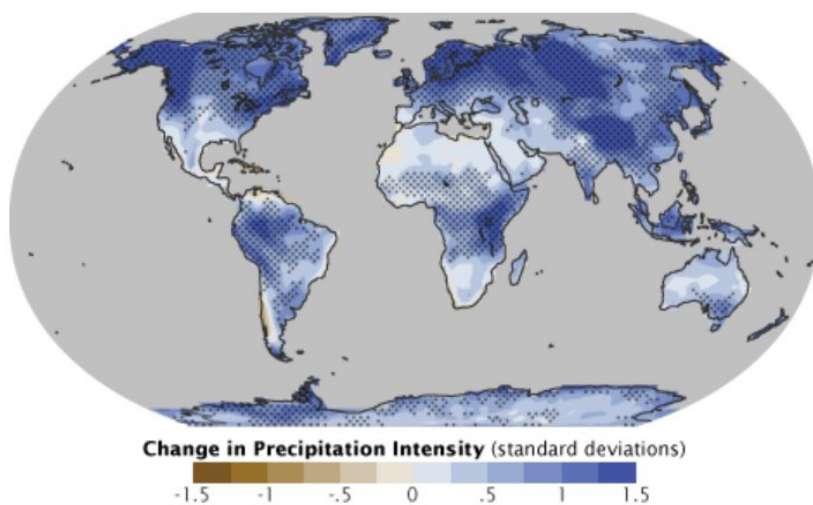


Figura 6 – Mappa adattata dal Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC: Uno degli effetti previsti dal cambiamento climatico sarà un aumento dell'intensità delle precipitazioni: una maggiore quantità di pioggia cadrà in un lasso di tempo più breve rispetto al passato. Il blu rappresenta le aree in cui i modelli climatici prevedono un aumento dell'intensità entro la fine del XXI secolo, il marrone rappresenta una diminuzione prevista.

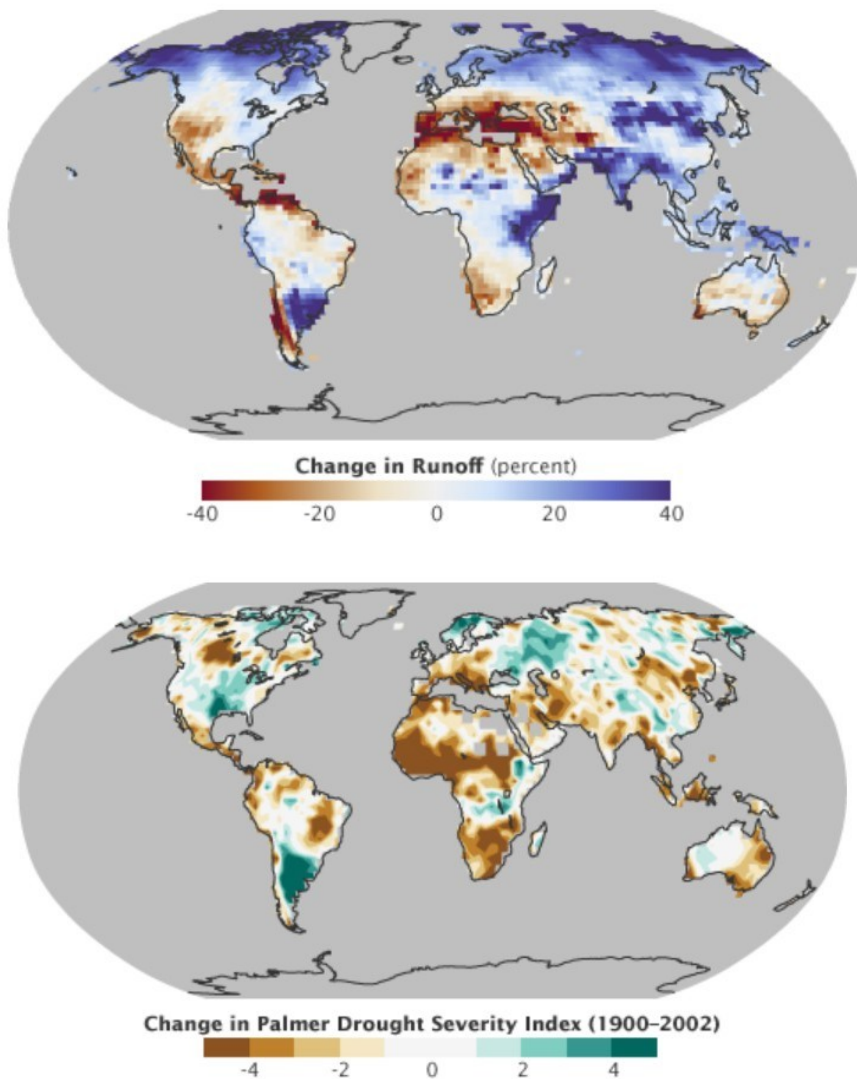


Figura 7 – Mappa realizzata da Robert Simmon, utilizzando i dati di Chris Milly, Laboratorio di Fluidodinamica Geofisica della NOAA: Le variazioni del deflusso nei fiumi e nei torrenti sono un'altra conseguenza prevista dei cambiamenti climatici entro la fine del XXI secolo. Questa mappa mostra gli aumenti previsti del deflusso in blu e le diminuzioni in marrone e rosso.

Figura 8 – Mappa adattata al Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC: Nel corso dell'ultimo secolo di sono verificati cambiamenti del ciclo dell'acqua a causa di una combinazione di variazioni naturali e interventi umani. Dal 1900 al 2002, la siccità si è aggravata nell'Africa subsahariana e meridionale, nel Brasile orientale e in Iran (in marrone). Nello stesso periodo, la Russia occidentale, il Sud America sudorientale, la Scandinavia e gli Stati Uniti meridionali hanno subito siccità meno gravi (in verde).

3.2 Nuovi pattern di precipitazione: eventi intensi, brevi e localizzati

Uno degli effetti più evidenti del cambiamento climatico riguarda la trasformazione dei pattern di precipitazione, ovvero delle modalità con cui le piogge si distribuiscono nello spazio e nel tempo. In molte regioni del mondo, e in particolare nelle aree temperate e mediterranee, si osserva una progressiva diminuzione delle precipitazioni moderate e una crescente incidenza di eventi piovosi brevi ma estremamente intensi (European Environment Agency (EEA)).

Queste precipitazioni intense, spesso associate a sistemi temporaleschi convettivi, si caratterizzano per una durata limitata e per una forte concentrazione spaziale. In poche ore può cadere una quantità di pioggia equivalente o superiore alla media mensile, generando fenomeni di ruscellamento superficiale molto rapidi e difficili da gestire.

Nel contesto europeo, tali dinamiche si inseriscono in un quadro climatico particolarmente critico. Secondo l'European Environment Agency, l'Europa rappresenta il continente che si sta riscaldando più rapidamente al mondo e risulta esposta a rischi climatici crescenti che minacciano la sicurezza energetica e alimentare, gli ecosistemi, le infrastrutture, le risorse idriche, la stabilità economica e la salute delle popolazioni. Eventi estremi quali ondate di calore, siccità prolungate, incendi boschivi e inondazioni — già osservati con crescente frequenza negli ultimi anni — sono destinati ad intensificarsi anche negli scenari più ottimistici di riscaldamento globale.

In questo quadro, la crescente irregolarità stagionale delle precipitazioni rappresenta uno degli aspetti più rilevanti. Periodi relativamente lunghi senza pioggia vengono infatti interrotti da episodi precipitativi violenti, che concentrano grandi quantità d'acqua in tempi molto brevi. La prima *Valutazione europea del rischio climatico (EUCRA)*, pubblicata dall'European Environment Agency, evidenzia come tali fenomeni costituiscano una priorità per le politiche di adattamento e per la gestione dei settori maggiormente sensibili al clima.

Questa nuova configurazione del regime pluviometrico produce effetti significativi sui sistemi urbani. Le infrastrutture di drenaggio tradizionali, progettate sulla base di dati climatici storici e di regimi pluviometrici più regolari, risultano spesso incapaci di gestire volumi d'acqua così elevati concentrati in intervalli temporali ridotti.

Di conseguenza, anche eventi di pioggia relativamente brevi possono provocare allagamenti diffusi, sovraccarico delle reti fognarie e fenomeni di esondazione nei corsi d'acqua urbani, con impatti rilevanti sulla sicurezza delle popolazioni e sulla funzionalità delle infrastrutture.

La crescente imprevedibilità degli eventi meteorologici rende quindi necessario ripensare i modelli di gestione delle acque urbane, introducendo strategie capaci di rallentare, trattenere e infiltrare l'acqua piovana all'interno del tessuto urbano.

A supporto di queste criticità, i programmi di pianificazione urbana promossi da *UN-Habitat*¹⁵ evidenziano come i sistemi urbani contemporanei risultino particolarmente vulnerabili agli eventi pluviometrici estremi, soprattutto nei contesti caratterizzati da elevata densità edilizia e da una diffusa impermeabilizzazione del suolo. In tali condizioni, anche precipitazioni di breve durata possono generare effetti sproporzionati, a causa della limitata capacità delle infrastrutture esistenti di assorbire e gestire rapidamente grandi volumi d'acqua (Tabella 2).

¹⁵ UN-Habitat: Programma delle Nazioni Unite per gli insediamenti umani, istituito nel 1978 con l'obiettivo di promuovere uno sviluppo urbano sostenibile e migliorare le condizioni di vita nelle città, in particolare nei contesti più vulnerabili.

Secondo UN-Habitat, la gestione delle acque meteoriche non può più essere affrontata esclusivamente attraverso sistemi di drenaggio tradizionali, ma richiede l'adozione di approcci integrati basati sulla combinazione di infrastrutture grigie e soluzioni nature-based. Tali strategie mirano a incrementare la capacità delle città di trattenere, infiltrare e rallentare il deflusso delle acque piovane, riducendo il rischio di allagamenti e migliorando al contempo la qualità ambientale urbana.

In questo quadro, emerge la necessità di un ripensamento complessivo del progetto urbano, in cui la gestione dell'acqua diventa parte integrante della struttura spaziale della città e non più un elemento puramente tecnico.

Criticità urbana	Effetti delle precipitazioni intense	Strategie UN-Habitat
Elevata impermeabilizzazione	Aumento del deflusso superficiale	Introduzione di superfici permeabili
Reti fognarie sottodimensionate	Sovraccarico e allagamenti	Sistemi di drenaggio sostenibile (SUDS)
Alta densità edilizia	Ridotta capacità di infiltrazione	Infrastrutture verdi (parchi, tetti verdi)
Mancanza di spazi aperti	Assenza di aree di accumulo temporaneo	Bacini di ritenzione e spazi multifunzionali
Pianificazione tradizionale	Gestione reattiva del rischio	Approccio integrato acqua - città

Tabella 2 – Impatti e strategie secondo UN-Habitat. Elaborazione propria su dati UN-Habitat

3.3 Impermeabilizzazione urbana e aumento del rischio idraulico

L'impermeabilizzazione del suolo rappresenta uno dei principali fattori che amplificano gli effetti delle precipitazioni intense nei contesti urbani. L'espansione delle superfici artificiali — strade asfaltate, parcheggi, edifici e infrastrutture — riduce drasticamente la capacità del terreno di assorbire l'acqua piovana, alterando in modo significativo il bilancio idrologico locale e determinando una perdita progressiva delle funzioni ecosistemiche del suolo, tra cui la regolazione dei flussi idrici, la filtrazione naturale degli inquinanti e la ricarica delle falde acquifere (Commission).

In condizioni naturali, una parte consistente delle precipitazioni viene intercettata dalla vegetazione, infiltrata nel suolo o trattenuta temporaneamente nelle depressioni del terreno. Nei contesti urbani, invece, la maggior parte dell'acqua piovana scorre rapidamente in superficie,

aumentando il volume e la velocità del deflusso superficiale con un incremento significativo del coefficiente di deflusso rispetto alle condizioni pre-urbanizzazione, che può passare da valori inferiori al 10% fino a oltre il 70-80% nelle aree altamente urbanizzate (Leopold).

Questo fenomeno determina un incremento significativo dei picchi di piena nei corsi d'acqua urbani e nei sistemi di drenaggio, aumentando il rischio di allagamenti e di esondazioni improvvise e riducendo i tempi di corrivazione, ovvero il tempo necessario affinché l'acqua meteorica raggiunga le sezioni di chiusura dei bacini urbani, con conseguente risposta idrologica più rapida e difficile da gestire. La combinazione tra elevati volumi di deflusso e tempi di risposta ridotti rende i sistemi urbani particolarmente vulnerabili anche a eventi di precipitazione di breve durata.

Inoltre, il deflusso rapido delle acque riduce la ricarica delle falde acquifere e contribuisce al deterioramento della qualità delle acque superficiali, poiché trascina con sé inquinanti presenti sulle superfici urbane quali idrocarburi, metalli pesanti, microplastiche e particolato derivante dal traffico veicolare e dalle attività industriali, con effetti significativi sugli ecosistemi acquatici e sulla qualità delle risorse idriche (OECD). Questo processo, noto come *urban runoff pollution*¹⁶, rappresenta una delle principali fonti diffuse di contaminazione nei bacini idrografici urbanizzati

L'impermeabilizzazione diffusa del suolo costituisce dunque uno degli elementi chiave nella comprensione della vulnerabilità idraulica delle città contemporanee. Nei contesti caratterizzati da elevata densità insediativa, anche eventi di precipitazione relativamente modesti possono generare situazioni di criticità, soprattutto quando le infrastrutture di drenaggio risultano sottodimensionate o obsolete in quanto progettate sulla base di dati climatici storici stazionari, che non tengono conto dell'attuale aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi. A ciò si aggiunge spesso una gestione frammentata delle acque meteoriche, che non considera l'intero bacino urbano come sistema integrato.

In questo contesto, la letteratura internazionale sottolinea come l'impermeabilizzazione non rappresenti soltanto un problema idraulico, ma anche un fattore critico per la resilienza urbana, in quanto contribuisce ad amplificare simultaneamente il rischio di alluvioni, la scarsità idrica e il degrado ambientale. La riduzione delle superfici permeabili limita infatti la capacità dei sistemi urbani di adattarsi alle variazioni climatiche, accentuando gli effetti delle ondate di calore e riducendo i servizi ecosistemici forniti dal suolo.

¹⁶ Urban Runoff Pollution: è una forma di inquinamento diffuso generata dal deflusso superficiale delle acque meteoriche in ambiente urbano, durante il quale l'acqua, non infiltrandosi nel suolo a causa dell'elevata impermeabilizzazione, mobilita e trasporta contaminanti accumulati sulle superfici artificiali, contribuendo al degrado qualitativo dei corpi idrici recettori.

Alla luce di queste dinamiche, diventa fondamentale integrare nei processi di pianificazione urbana strategie volte a ridurre l'impermeabilizzazione e a ripristinare, almeno in parte, le capacità naturali di infiltrazione e ritenzione del suolo attraverso l'introduzione di superfici permeabili, sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SUDS), infrastrutture verdi e blu e soluzioni basate sulla natura, capaci di rallentare, trattenere e infiltrare le acque meteoriche direttamente nel contesto urbano. Tali approcci consentono non solo di ridurre il rischio idraulico, ma anche di migliorare il microclima urbano, incrementare la biodiversità e contribuire alla qualità complessiva dello spazio pubblico.

3.4 Alternanza tra alluvioni improvvise, siccità e ondate di calore

Uno degli aspetti più critici delle trasformazioni climatiche contemporanee riguarda l'aumento della variabilità idrologica. In molte regioni del pianeta si osserva infatti un'alternanza sempre più marcata tra eventi di precipitazione intensa e periodi prolungati di siccità fenomeno riconducibile all'intensificazione del ciclo idrologico globale e alla crescente instabilità dei sistemi climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)).

Questa dinamica produce effetti particolarmente complessi nei contesti urbani. Durante gli episodi di pioggia intensa, l'elevato grado di impermeabilizzazione del suolo favorisce il rapido accumulo di acqua superficiale, aumentando il rischio di allagamenti e di piene improvvise spesso sotto forma di fenomeni *flash flood*¹⁷, caratterizzati da tempi di risposta molto rapidi e difficilmente prevedibili ((WMO)). Nei periodi di siccità, invece, la ridotta presenza di superfici permeabili e vegetate contribuisce ad accentuare i fenomeni di aridità urbana e di stress idrico con una diminuzione della disponibilità di risorse idriche sia superficiali che sotterranee ((EEA), 1990).

Le ondate di calore rappresentano un ulteriore elemento di criticità. Le città, caratterizzate da elevate concentrazioni di superfici artificiali e da una scarsa presenza di vegetazione, tendono infatti a registrare temperature significativamente più elevate rispetto alle aree rurali circostanti, dando origine al fenomeno noto come *Urban Heat Island*¹⁸ che può determinare differenze termiche anche superiori a 3-5°C tra aree urbane e periurbane.

¹⁷ Flash Flood: è un fenomeno idrologico estremo caratterizzato da tempi di risposta molto brevi tra l'evento meteorico e l'innalzamento dei livelli idrici, che si verifica tipicamente in bacini di piccole dimensioni o in contesti urbanizzati ad alta impermeabilizzazione, rendendo difficile la previsione e aumentando il rischio per persone e infrastrutture.

¹⁸ Urban Heat Island: è un fenomeno climatico locale determinato dalla sostituzione delle superfici naturali con materiali artificiali ad alta capacità termica e bassa riflettanza, dalla ridotta presenza di vegetazione e dalle emissioni antropiche di calore, che comporta un aumento delle temperature dell'aria e delle superfici negli ambienti urbani.

La combinazione tra temperature elevate, scarsità di acqua e impermeabilizzazione del suolo riduce la capacità dei sistemi urbani di mitigare gli effetti del cambiamento climatico amplificando i fenomeni di stress termico per la popolazione e aumentando la domanda energetica per il raffrescamento degli edifici. Allo stesso tempo, la carenza di infiltrazione limita la ricarica delle falde acquifere, aggravando ulteriormente i problemi di disponibilità idrica nei periodi di siccità e riducendo la resilienza complessiva dei sistemi idrici urbani.

La letteratura recente evidenzia come questi fenomeni non debbano essere considerati separatamente, ma come componenti interconnesse di un'unica dinamica di rischio climatico, in cui eventi estremi opposti – eccesso e carenza di acqua – si manifestano in sequenza o simultaneamente, mettendo sotto pressione le infrastrutture urbane e i sistemi socioeconomici. Questa condizione, spesso definita come *Climate Whiplash*¹⁹, rappresenta una delle principali sfide per la pianificazione urbana contemporanea.

Di fronte a queste sfide, diventa sempre più evidente la necessità di adottare approcci integrati alla gestione dell'acqua urbana, capaci di affrontare simultaneamente il rischio di alluvioni, la scarsità idrica e le condizioni di stress termico attraverso strategie adattive che combinino infrastrutture verdi e blu, sistemi di drenaggio sostenibile e soluzioni basate sulla natura, in grado di migliorare la capacità di assorbimento, ritenzione e raffrescamento degli spazi urbani.

3.5 Vulnerabilità e resilienza degli agglomerati urbani contemporanei

Il concetto di *vulnerabilità urbana*²⁰ rappresenta una chiave interpretativa fondamentale per comprendere gli effetti del cambiamento climatico sui sistemi territoriali contemporanei. La vulnerabilità non dipende esclusivamente dall'intensità degli eventi climatici, ma è il risultato dell'interazione tra fattori ambientali, caratteristiche fisiche del territorio e condizioni socioeconomiche delle popolazioni configurandosi come una proprietà sistemica che riflette il grado di esposizione, sensibilità e capacità di risposta di un determinato contesto urbano. Secondo la letteratura (IPCC) la vulnerabilità si articola in tre dimensioni: Esposizione ovvero la presenza di

¹⁹ Climate Whiplash: descrive una rapida alternanza tra condizioni climatiche estreme opposte, come periodi di precipitazioni intense seguiti da siccità prolungate o viceversa, determinata dall'aumento della variabilità climatica e dall'intensificazione del ciclo idrologico, con effetti amplificati sui sistemi naturali e urbani.

²⁰ Vulnerabilità urbana: è una condizione sistemica che descrive la propensione di un contesto urbano a subire danni in seguito a eventi avversi, risultante dall'interazione tra fattori fisico-ambientali, caratteristiche infrastrutturali e condizioni socioeconomiche, nonché dalla limitata capacità di adattamento e risposta del sistema.

persone, infrastrutture e beni in aree a rischio, Sensibilità ovvero il grado di impatto che un sistema subisce e la Capacità Adattiva ovvero l'abilità di reagire, adattarsi e recuperare.

Le città risultano particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici a causa della loro elevata densità insediativa, della complessità delle infrastrutture e della forte concentrazione di popolazione e attività economiche nonché della crescente interdipendenza tra sistemi critici, quali reti energetiche, idriche e di trasporto (Recovery, 2015).

In presenza di eventi meteorologici estremi, queste caratteristiche possono amplificare in modo significativo gli impatti, generando danni diffusi e interruzioni nei servizi essenziali con effetti a cascata che possono compromettere la funzionalità complessiva del sistema urbano (OECD, 1961).

In questo contesto assume grande rilevanza il concetto di *resilienza urbana*²¹, inteso come la capacità di un sistema territoriale di assorbire gli impatti di eventi perturbativi, adattarsi alle nuove condizioni e riorganizzarsi mantenendo le proprie funzioni fondamentali secondo la definizione originaria elaborata da Holling, C. S., che interpreta la resilienza come capacità di un sistema di persistere attraverso il cambiamento, le componenti principali della resilienza urbana sono: la Resistenza ovvero la capacità di sopportare l'impatto, l'Assorbimento ovvero la capacità di limitare i danni, l'Adattamento ovvero la capacità di modificarsi nel tempo e la Trasformazione ovvero la capacità di evolvere verso modelli più sostenibili.

In ambito urbano, la resilienza non si limita alla capacità di risposta agli eventi estremi, ma include anche la dimensione trasformativa, ovvero la possibilità di riorganizzare il sistema urbano in modo più sostenibile e adattivo nel lungo periodo.

La costruzione di città resilienti richiede un cambiamento profondo nei modelli di pianificazione e progettazione urbana. Non si tratta più soltanto di difendere gli insediamenti dalle dinamiche naturali, ma di sviluppare strategie capaci di integrare i processi ecologici all'interno della struttura urbana superando un approccio ingegneristico tradizionale basato sul controllo e favorendo soluzioni adattive e flessibili ((EEA), 1990).

Il paesaggio assume quindi un ruolo centrale come infrastruttura ecologica capace di mediare tra acqua, suolo e insediamento umano configurandosi come una vera e propria infrastruttura verde e blu, in grado di fornire servizi ecosistemici fondamentali per la regolazione idrologica e climatica (NbS, 2022). Attraverso dispositivi progettuali capaci di trattenere, infiltrare e rallentare l'acqua

²¹ Resilienza urbana: è la capacità di una città o di un sistema territoriale di affrontare shock e stress, adattarsi alle condizioni in evoluzione e riorganizzarsi in modo efficace, preservando le proprie funzioni, strutture e identità, e migliorando al contempo la propria capacità di risposta futura.

piovana, diventa possibile ridurre il rischio idraulico, migliorare il microclima urbano e rafforzare la capacità adattiva delle città di fronte agli scenari climatici futuri contribuendo al contempo alla qualità dello spazio pubblico, alla biodiversità urbana e al benessere delle popolazioni.

CAPITOLO 4. LA CRISI DEL MODELLO URBANO TRADIZIONALE DI GESTIONE DELLE ACQUE

L'evoluzione delle città moderne è stata accompagnata da una progressiva trasformazione dei sistemi di gestione dell'acqua. Nel corso degli ultimi due secoli, la crescita urbana, l'industrializzazione e l'aumento della popolazione hanno reso necessario lo sviluppo di infrastrutture sempre più complesse per il controllo e lo smaltimento delle acque meteoriche e reflue.

I sistemi di drenaggio urbano si sono storicamente sviluppati secondo una logica prevalentemente ingegneristica, finalizzata a garantire il rapido allontanamento dell'acqua dalle aree abitate. Questo approccio ha contribuito in modo significativo al miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie nelle città moderne, riducendo il rischio di epidemie e migliorando la qualità della vita delle popolazioni urbane.

Tuttavia, il modello infrastrutturale tradizionale si fonda su una concezione dell'acqua come elemento potenzialmente pericoloso da eliminare rapidamente dallo spazio urbano. Tale impostazione ha progressivamente determinato una separazione sempre più marcata tra la città e i processi naturali del ciclo idrologico, producendo effetti rilevanti sull'equilibrio ecologico dei territori urbanizzati.

Alla luce delle trasformazioni climatiche e territoriali in atto, questo paradigma appare oggi sempre più inadeguato. L'intensificazione delle precipitazioni estreme, l'aumento delle superfici impermeabili e la crescente vulnerabilità delle città richiedono infatti una revisione profonda dei modelli di gestione delle acque urbane.

Questo capitolo analizza l'origine e l'evoluzione dei sistemi di drenaggio urbano tradizionali, mettendone in evidenza i limiti strutturali e le criticità emerse nel contesto delle trasformazioni climatiche contemporanee.

4.1 Origine storica dei sistemi di drenaggio urbano

I primi sistemi di drenaggio urbano risalgono alle grandi civiltà antiche, dove la gestione delle acque rappresentava già un elemento fondamentale per il funzionamento delle città. Esempi significativi si possono osservare nelle infrastrutture idrauliche dell'antica Mesopotamia, nelle città della valle dell'Indo e nelle opere di ingegneria romana, dove sistemi di canalizzazione e fognature

venivano utilizzati per smaltire le acque reflue e le acque piovane dimostrando una precoce consapevolezza del rapporto tra gestione dell'acqua, salute pubblica e organizzazione urbana.

Tra i casi più noti vi è la *Cloaca Maxima*²² dell'antica Roma, una delle più antiche infrastrutture fognarie della storia, progettata per drenare le acque stagnanti e migliorare le condizioni sanitarie della città. Questo tipo di infrastrutture rappresentava già un primo tentativo di controllo tecnico dei flussi idrici nei contesti urbani basato su un approccio prevalentemente ingegneristico e centralizzato, anticipando i principi della moderna Grey Infrastructure.

Nel corso della rivoluzione industriale, l'espansione delle città europee e nordamericane rese necessaria la realizzazione di sistemi di drenaggio sempre più complessi. L'aumento della densità abitativa e la diffusione di superfici pavimentate portarono alla costruzione di reti fognarie centralizzate progettate per convogliare rapidamente le acque meteoriche e reflue verso corsi d'acqua o impianti di trattamento in risposta anche alle gravi crisi igienico-sanitarie e alle epidemie urbane del XIX secolo, come il colera (OMS, 1948).

Questo modello infrastrutturale, sviluppato tra il XIX e il XX secolo, ha rappresentato per lungo tempo il paradigma dominante nella gestione delle acque urbane. Tuttavia, esso si fonda su un principio fondamentale: l'acqua deve essere rimossa il più velocemente possibile dallo spazio urbano attraverso sistemi di drenaggio rapido e canalizzazione, con una logica di separazione tra ambiente urbano e processi naturali (EPA, 1970).

Se da un lato questo approccio ha contribuito al miglioramento delle condizioni igieniche delle città moderne, dall'altro ha progressivamente alterato il funzionamento naturale del ciclo idrologico nei territori urbanizzati aumentando il deflusso superficiale, riducendo l'infiltrazione e contribuendo a fenomeni di rischio idraulico e di degrado ambientale.

Questi limiti hanno progressivamente portato, a partire dalla fine del XX secolo, allo sviluppo di approcci alternativi alla gestione delle acque urbane, tra cui i Sustainable Urban Drainage Systems e le Nature-Based Solutions, basati sull'integrazione dei processi naturali nel progetto urbano. (Figura 9)

²² Cloaca Maxima: è un sistema di drenaggio e canalizzazione sotterraneo costruito nell'antica Roma per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche e reflue, rappresentando uno dei primi esempi di infrastruttura urbana finalizzata al controllo tecnico dei flussi idrici e al miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie.



Figura 9 – evoluzione storica dei sistemi di drenaggio urbano: evoluzione storica dei sistemi di drenaggio urbano dalle prime opere di canalizzazione nelle civiltà antiche alla transizione verso soluzioni sostenibili e nature – based.

Fonte: immagine generata dall'autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026)

4.2 Infrastrutture grigie e separazione tra città e processi naturali

Il modello tradizionale di drenaggio urbano si basa prevalentemente su infrastrutture tecniche rigide, spesso definite *infrastrutture grigie*²³. Queste comprendono reti fognarie sotterranee, canali artificiali, sistemi di collettamento e impianti di trattamento progettati per convogliare e smaltire rapidamente le acque piovane secondo un approccio ingegneristico centralizzato orientato al controllo e alla rapida evacuazione dei flussi idrici (EPA, 1970).

Nel corso del XX secolo, la diffusione di questo approccio ha portato alla progressiva artificializzazione dei sistemi idrologici urbani. Corsi d'acqua naturali sono stati canalizzati o interrati, zone umide sono state bonificate e numerose superfici naturali sono state sostituite da pavimentazioni impermeabili determinando una profonda alterazione del ciclo idrologico urbano e una semplificazione dei processi ecologici. (Tabella 3)

Aspetto	Grey Infrastructure	Sistemi naturali - sostenibili
Obiettivo	Smaltire rapidamente l'acqua	Gestire e integrare l'acqua
Approccio	Centralizzato	Diffuso
Materiali	Artificiali (cemento, asfalto)	Naturali (suolo, vegetazione)
Processo	Convogliamento	Infiltrazione, ritenzione
Relazione con ambiente	Separazione	Integrazione
Resilienza	Limitata	Elevata

Tabella 3 - Grey Infrastructure VS Sistemi Naturali - Confronto tra infrastrutture grigie e sistemi naturali nella gestione delle acque urbane

²³ Infrastrutture Grigie: sono sistemi tecnici progettati per il controllo e la gestione dei flussi idrici attraverso opere artificiali rigide e centralizzate, basate su logiche di raccolta, convogliamento e smaltimento rapido delle acque meteoriche e reflue.

Questa trasformazione ha determinato una crescente separazione tra la città e i processi naturali del ciclo dell'acqua configurando un modello urbano in cui l'acqua è trattata come un elemento di disturbo da eliminare piuttosto che come una risorsa da integrare. Le superfici urbane impermeabili impediscono infatti l'infiltrazione delle acque nel suolo, mentre i sistemi di drenaggio sotterranei convogliano rapidamente l'acqua piovana verso i corpi idrici recettori aumentando la velocità e il volume del deflusso superficiale ((EEA), 1990).

Il risultato di questo processo è la perdita progressiva delle capacità naturali di regolazione idrologica del territorio. Suolo, vegetazione e zone umide svolgono infatti un ruolo fondamentale nell'assorbimento, nella ritenzione e nella filtrazione delle acque meteoriche fornendo servizi ecosistemici essenziali per la mitigazione del rischio idraulico e la qualità ambientale (Services).

La sostituzione di questi sistemi naturali con infrastrutture tecniche ha quindi ridotto la resilienza idrologica delle città, aumentando la vulnerabilità degli insediamenti urbani agli eventi meteorologici estremi in particolare in relazione all'incremento delle precipitazioni intense e dei fenomeni di Flash Flood associati al cambiamento climatico. I limiti strutturali di questo modello hanno portato, negli ultimi decenni, allo sviluppo di approcci alternativi basati sull'integrazione dei processi naturali nei sistemi urbani, come i Sustainable Urban Drainage Systems e le Nature-Based Solutions, che mirano a ristabilire un rapporto più equilibrato tra città e ciclo dell'acqua.

4.3 Effetti del drenaggio rapido sul ciclo idrologico

Uno degli effetti principali del modello tradizionale di drenaggio urbano è l'accelerazione del deflusso superficiale delle acque meteoriche. Nei contesti naturali, una parte significativa delle precipitazioni viene intercettata dalla vegetazione, infiltrata nel suolo o temporaneamente trattenuta nelle depressioni del terreno contribuendo a un equilibrio idrologico basato su processi di ritenzione, infiltrazione ed evapotraspirazione (FAO, 2015).

Al contrario, nei contesti urbanizzati caratterizzati da elevate percentuali di superfici impermeabili, l'acqua piovana scorre rapidamente verso i sistemi di drenaggio. Questo fenomeno provoca un aumento significativo del volume e della velocità del deflusso superficiale noto come incremento del *runoff urbano* (EPA, 1970). (Figura 10)

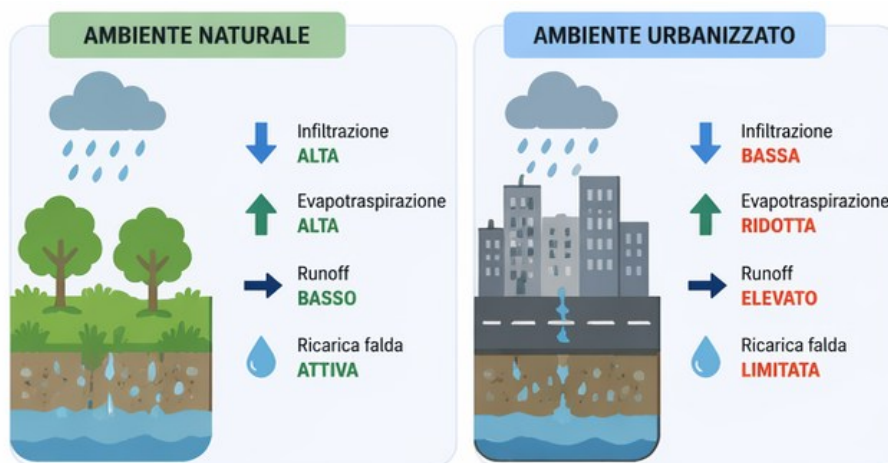


Figura 10 - Ciclo idrologico naturale VS ciclo idrologico urbanizzato: confronto tra ciclo idrologico naturale e ciclo idrologico urbanizzato, l'impermeabilizzazione del suolo riduce l'infiltrazione e aumenta il deflusso superficiale. Fonte: immagine generata dall'autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026).

L'accelerazione del deflusso comporta diversi effetti negativi sul ciclo idrologico. In primo luogo, aumenta il rischio di allagamenti urbani, poiché grandi quantità di acqua vengono convogliate in tempi molto brevi all'interno delle reti di drenaggio favorendo la generazione di eventi di Flash Flood nei contesti urbanizzati.

In secondo luogo, la riduzione dell'infiltrazione nel suolo limita la ricarica delle falde acquifere, contribuendo alla diminuzione delle risorse idriche disponibili nei periodi di siccità compromettendo uno dei principali Soil Ecosystem Services legati alla regolazione idrica.

Infine, il deflusso rapido delle acque piovane favorisce il trasporto di sostanze inquinanti presenti sulle superfici urbane, compromettendo la qualità delle acque superficiali fenomeno definito come *urban runoff pollution*, che include metalli pesanti, idrocarburi e nutrienti.

Questi effetti dimostrano come il modello di drenaggio tradizionale, pur essendo stato efficace in un contesto storico differente, non sia più in grado di garantire un equilibrio sostenibile tra città e ciclo dell'acqua soprattutto in relazione all'aumento della variabilità climatica e degli eventi estremi

(Figura 11).



Figura 11 - Effetti del drenaggio rapido sul ciclo idrologico: effetti del drenaggio rapido, aumento degli allagamenti, riduzione della ricarica delle falde e trasporto di sostanze inquinanti verso i corpi idrici.

Fonte: immagine generata dall'autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026).

4.4 Inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali di fronte ai nuovi scenari climatici

Le trasformazioni climatiche in atto stanno mettendo ulteriormente in crisi i sistemi di drenaggio urbano tradizionali. L'aumento della frequenza e dell'intensità delle precipitazioni estreme comporta infatti un carico idraulico sempre maggiore sulle infrastrutture esistenti in linea con le evidenze sul rafforzamento del ciclo idrologico globale.

Molte reti fognarie urbane sono state progettate sulla base di dati climatici storici che non riflettono più le condizioni attuali. Di conseguenza, durante gli eventi meteorologici intensi, queste infrastrutture possono facilmente raggiungere la saturazione, provocando fenomeni di rigurgito e allagamenti diffusi evidenziando i limiti di un approccio basato su condizioni stazionarie ormai superate.

La crescente impermeabilizzazione del suolo urbano contribuisce ulteriormente ad aggravare questa situazione. L'aumento delle superfici asfaltate e cementificate riduce la capacità di infiltrazione del territorio, aumentando la quantità di acqua che deve essere gestita dalle reti di drenaggio amplificando i picchi di piena e il rischio di sovraccarico delle infrastrutture.

In questo contesto, l'approccio basato esclusivamente sull'espansione delle infrastrutture grigie si rivela spesso economicamente insostenibile e tecnicamente limitato. L'ampliamento delle reti fognarie o la costruzione di nuove infrastrutture sotterranee comportano infatti costi elevati e tempi di realizzazione molto senza garantire una risposta efficace a scenari climatici sempre più incerti e variabili (OECD, 1961).

Diventa quindi necessario sviluppare strategie alternative capaci di integrare infrastrutture tecniche e processi naturali nella gestione delle acque urbane orientando la pianificazione verso modelli adattivi e multifunzionali (Figura 12).

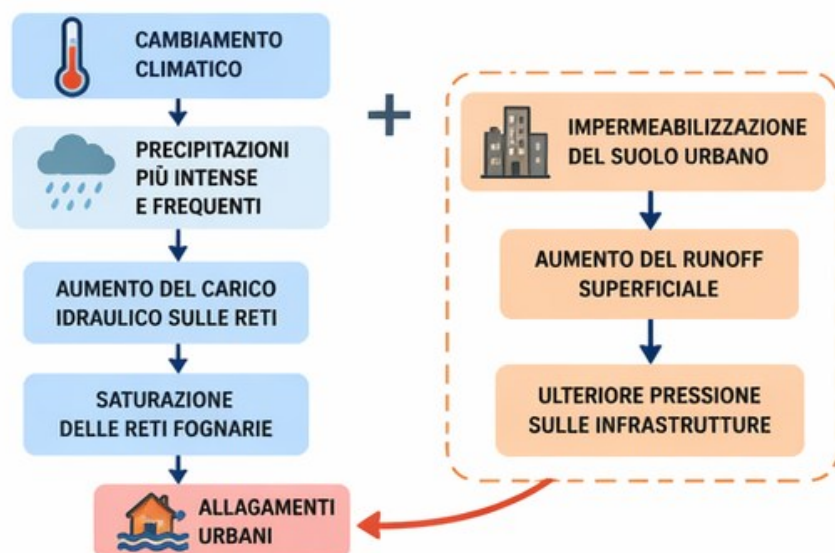


Figura 12 - inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali di fronte ai nuovi scenari climatici: inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali, i cambiamenti climatici e l'impermeabilizzazione urbana aumentano il rischio di allagamenti e il collasso dei sistemi di drenaggio. Fonte: immagine generata dall'autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026).

4.5 La necessità di un cambio di paradigma nella gestione delle acque urbane

Alla luce delle criticità emerse negli ultimi decenni, numerosi studiosi e istituzioni internazionali hanno sottolineato la necessità di un cambiamento radicale nel modo in cui le città affrontano la gestione delle acque meteoriche passando da un approccio di tipo reattivo a uno preventivo e adattivo.

Il nuovo paradigma si basa sull'idea che l'acqua piovana non debba essere considerata esclusivamente come un problema da eliminare, ma come una risorsa da gestire in modo sostenibile all'interno dello spazio urbano riconoscendone il ruolo nei processi ecologici e nella qualità ambientale delle città.

Questo approccio promuove strategie capaci di rallentare, trattenere, infiltrare e riutilizzare l'acqua piovana direttamente nel luogo in cui cade. In questo modo è possibile ridurre il carico sulle infrastrutture di drenaggio, migliorare la qualità delle acque e contribuire alla ricarica delle falde acquifere ristabilendo in parte il funzionamento naturale del ciclo idrologico urbano.

All'interno di questa prospettiva si collocano diversi approcci innovativi alla gestione delle acque urbane, tra cui i Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), le *Low Impact Development*²⁴ (LID) e le Nature-Based Solutions (NBS) che rappresentano strumenti chiave per l'adattamento climatico urbano.

Queste strategie rappresentano un tentativo di riconciliare la città con i processi naturali del ciclo idrologico, integrando infrastrutture tecniche, sistemi ecologici e progetto di paesaggio in una logica di infrastruttura ibrida verde-blu capace di fornire molteplici servizi ecosistemici.

Il passaggio da un modello basato sul controllo e sull'allontanamento dell'acqua a un approccio fondato sulla sua integrazione nello spazio urbano rappresenta dunque una delle principali sfide della pianificazione contemporanea nonché una condizione necessaria per la costruzione di città resilienti ai cambiamenti climatici (Figura 13).

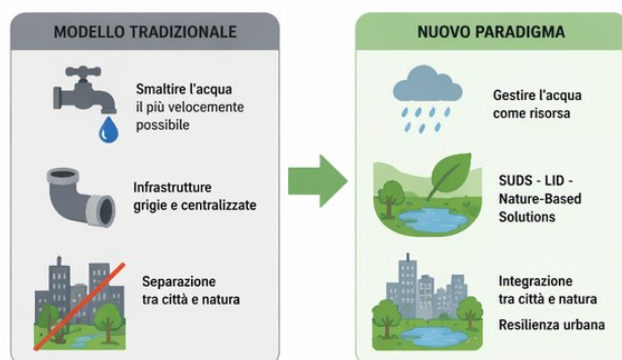


Figura 13 - cambio di paradigma nella gestione delle acque urbane: transizione dal modello tradizionale di drenaggio urbano a un approccio integrato, basato sulla gestione sostenibile e sull'integrazione dei processi naturali nello spazio urbano. Fonte: immagine generata dall'autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026).

²⁴ Low Impact Development: è un insieme di strategie progettuali e tecniche di gestione delle acque piovane che mirano a replicare il comportamento idrologico naturale pre-urbanizzazione, attraverso soluzioni decentralizzate basate su infiltrazione, ritenzione, evapotraspirazione e riutilizzo delle acque meteoriche.

PARTE II - LA CITTÀ SPUGNA COME PARADIGMA PAESAGGISTICO

A partire dalle criticità delineate nella prima parte, la seconda sezione della ricerca introduce e analizza il paradigma della città spugna come possibile risposta integrata alle sfide poste dal cambiamento climatico e dall'alterazione del ciclo idrologico. L'ipotesi centrale è che la gestione delle acque meteoriche non possa più essere affidata esclusivamente a infrastrutture tecniche centralizzate, ma debba essere ripensata attraverso un sistema diffuso di dispositivi capaci di restituire al suolo e agli spazi aperti un ruolo attivo nella regolazione idrica.

La città spugna propone un'inversione concettuale rispetto al modello tradizionale: l'acqua non è un elemento da espellere rapidamente dal tessuto urbano, bensì una risorsa da trattenerne, infiltrare, rallentare e riutilizzare. Tale impostazione implica una ridefinizione profonda del rapporto tra infrastruttura e paesaggio, tra funzione tecnica e qualità spaziale. Le infrastrutture blu-verdi, i sistemi di drenaggio urbano sostenibile e le Nature-Based Solutions diventano strumenti attraverso cui il paesaggio si configura come infrastruttura ecologica e dispositivo di resilienza.

Questa parte della tesi non si limita a descrivere il paradigma, ma ne propone una lettura critica e contestualizzata. Attraverso l'analisi di casi studio internazionali e il confronto con il quadro normativo e territoriale italiano, si intende valutare le condizioni di trasferibilità del modello. L'obiettivo è individuare principi e criteri adattabili al contesto nazionale, superando un'applicazione meramente imitativa e costruendo le premesse per una reinterpretazione coerente con le specificità morfologiche, climatiche e culturali del territorio italiano.

CAPITOLO 5. IL PARADIGMA DELLA CITTÀ SPUGNA

La città spugna si configura come una risposta innovativa alle criticità idrologiche e climatiche contemporanee. Fondata sui principi di infiltrazione, ritenzione, rallentamento e riuso delle acque meteoriche, essa propone un modello urbano capace di imitare il funzionamento dei sistemi naturali. L'approccio supera la tradizionale separazione tra infrastruttura tecnica e spazio pubblico, promuovendo soluzioni diffuse e multifunzionali.

Il capitolo ricostruisce l'origine e lo sviluppo del concetto, mettendolo in relazione con approcci affini quali SUDS, LID e Nature-Based Solutions. Attraverso un'analisi critica, verranno evidenziate potenzialità e limiti del modello, con l'obiettivo di valutarne la trasferibilità in contesti territoriali differenti.

5.1 Origine e sviluppo del concetto di Sponge City

Il concetto di Sponge City si configura come una delle più rilevanti innovazioni nel campo della pianificazione urbana contemporanea, emergendo nel contesto cinese dei primi anni 2010 in risposta a una crisi strutturale dei sistemi di gestione delle acque meteoriche. Tale crisi è strettamente connessa ai processi di urbanizzazione accelerata che hanno interessato il paese negli ultimi decenni, determinando una trasformazione profonda dei sistemi territoriali e ambientali.

A partire dagli anni '80, la Cina ha conosciuto uno dei più rapidi processi di crescita urbana della storia contemporanea. Secondo i dati della World Bank, il tasso di urbanizzazione è passato da meno del 20% nel 1980 a oltre il 60% nel 2020, con una conseguente espansione delle superfici costruite e una drastica riduzione delle aree permeabili a causa *dell'urbanizzazione*²⁵. Questo fenomeno ha prodotto una significativa alterazione del *ciclo idrologico urbano*²⁶, compromettendo i processi naturali di infiltrazione, ritenzione ed evapotraspirazione (Bank, 1944).

L'impermeabilizzazione diffusa del suolo ha determinato un aumento significativo del deflusso superficiale (*runoff*), con effetti diretti sull'incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi di

²⁵ Urbanizzazione: Processo di trasformazione territoriale e sociale che comporta la crescita delle aree urbane sia in termini di popolazione sia di estensione fisica. Tale fenomeno implica la conversione di suoli naturali o agricoli in superfici costruite, con conseguenze significative sul funzionamento degli ecosistemi, in particolare sul ciclo idrologico e sulla capacità del territorio di assorbire e regolare i flussi d'acqua.

²⁶ Ciclo Idrologico Urbano: insieme dei processi di circolazione dell'acqua. Insieme dei processi di circolazione dell'acqua all'interno di un sistema urbanizzato, comprendenti precipitazione, deflusso superficiale, infiltrazione, evaporazione ed evapotraspirazione. Rispetto al ciclo naturale, quello urbano risulta fortemente alterato dall'impermeabilizzazione del suolo e dalla presenza di infrastrutture, che riducono l'infiltrazione e aumentano la velocità e il volume del deflusso superficiale.

allagamento urbano. In numerose città cinesi, le infrastrutture di drenaggio esistenti, progettate secondo modelli tradizionali basati sul rapido smaltimento delle acque, si sono dimostrate incapaci di gestire i nuovi volumi idrici generati dalle precipitazioni intense.

Un evento emblematico in tal senso è rappresentato dall'alluvione di Pechino del 2012, che ha evidenziato in maniera drammatica la vulnerabilità dei sistemi urbani rispetto ai fenomeni meteorologici estremi chiamati *Urban Flooding*²⁷. Questo episodio ha contribuito a rafforzare la consapevolezza istituzionale della necessità di un cambiamento radicale nei modelli di gestione delle acque urbane. (Figura 14)



Figura 14 - Foto dell'alluvione di Pechino del 2012

In questo contesto, nel 2013 il governo cinese ha introdotto ufficialmente il concetto di *Sponge City* come strategia nazionale, sotto il coordinamento del Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China (MOHURD, 2008). L'obiettivo principale del programma è quello di trasformare le città in sistemi capaci di assorbire, trattenere e riutilizzare l'acqua piovana, riducendo al contempo il rischio di allagamenti e migliorando la qualità ambientale urbana.

Nel 2015 è stato avviato un programma pilota che ha coinvolto oltre 30 città, con l'obiettivo di testare su larga scala soluzioni basate su *infrastrutture blu-verdi*²⁸, la prima fase del 2015 includeva 16 città (Baicheng, Qian'an, Jinan, Hebi, Xixian New Area, Zhenjiang, Jiaying, Chizhou, **Wuhan**, Changde, Chongqing, Suining, Gui'an New Area, Nanning, Pingxiang, Xiamen) mentre la seconda fase nel 2016 includeva 14 città (Beijing, Tianjin, Dalian, Qingyang, Guyuan, Xining, Shanghai, Ningbo, Fuzhou, Shenzhen, Zhuhai, Yuxi, Sanya, Qingdao). Questo approccio si distingue per la sua natura sistemica, in quanto non si limita all'introduzione di singole tecnologie, ma propone una riorganizzazione complessiva del rapporto tra città e ciclo dell'acqua.

²⁷ Urban Flooding: Fenomeno di allagamento che si verifica in aree urbane quando il volume di acqua piovana supera la capacità dei sistemi di drenaggio. È spesso associato a precipitazioni intense e di breve durata e può essere aggravato dall'impermeabilizzazione del suolo, dalla ridotta infiltrazione e dall'insufficienza delle infrastrutture idrauliche.

²⁸ Infrastrutture blu – verdi: Insieme di sistemi naturali o semi-naturali che integrano elementi vegetali (verde) e idrici (blu) nella struttura urbana, con l'obiettivo di gestire in modo sostenibile le acque meteoriche, migliorare la qualità ambientale e aumentare la resilienza urbana. Queste infrastrutture includono parchi, zone umide, tetti verdi, giardini pluviali e corsi d'acqua rinaturalizzati.

Il modello della città spugna rappresenta dunque un cambiamento paradigmatico: l'acqua non è più considerata esclusivamente come un elemento di rischio, ma come una risorsa da integrare nei processi urbani. Tale prospettiva implica una revisione profonda del ruolo del paesaggio urbano, che viene reinterpretato come infrastruttura ecologica capace di svolgere funzioni idrologiche, climatiche e sociali.

In questa prospettiva, il paradigma della città spugna supera la tradizionale concezione ingegneristica della gestione delle acque urbane, proponendo un modello adattivo fondato sull'integrazione tra processi naturali e sistemi antropici. L'acqua non viene più considerata esclusivamente come un elemento da allontanare rapidamente, ma come una componente strutturale del paesaggio urbano, capace di contribuire alla resilienza ecologica e climatica delle città.

5.2 Principi fondamentali: infiltrazione, ritenzione, rallentamento e riuso

Il modello Sponge City si fonda su quattro principi fondamentali — infiltrazione, ritenzione, rallentamento del deflusso e riuso (Tabella 4) — che costituiscono una reinterpretazione dei processi naturali del ciclo idrologico all'interno del contesto urbano. Tali principi non rappresentano semplicemente strategie tecniche, ma configurano un approccio integrato alla gestione dell'acqua, basato sull'*imitazione dei sistemi naturali*²⁹.

Principio	Descrizione	Funzione idrologica	Dispositivi - Interventi
Infiltrazione	Assorbimento dell'acqua piovana nel suolo	Ricarica delle falde acquifere, riduzione del Runoff	Pavimenti permeabili, trincee drenanti
Ritenzione	Accumulo temporaneo dell'acqua durante eventi intensi	Riduzione dei picchi di piena	Bacini di ritenzione, rain gardens, zone umide
Rallentamento	Riduzione della velocità del deflusso superficiale	Controllo delle piene improvvise (flash flood)	Swales, parchi inondabili, sistemi vegetati

²⁹ Imitazione dei sistemi naturali (biomimesi): Approccio progettuale che si ispira ai processi, alle strutture e alle strategie della natura per risolvere problemi complessi. Nel contesto della gestione delle acque urbane, la biomimesi implica la riproduzione dei meccanismi naturali del ciclo idrologico, come infiltrazione e ritenzione, all'interno del progetto urbano.

Riuso	Recupero e utilizzo delle acque meteoriche	Riduzione del consumo idrico e gestione sostenibile	Cisterne, sistemi di raccolta, irrigazione urbana
-------	--	---	---

Tabella 4 - principi del modello Sponge City: principi fondamentali del modello Sponge City e relative funzioni nel ciclo idrologico urbano Fonte: elaborazione propria su dati Asian Development Bank e UN Environment Programme.

Il primo principio, l'infiltrazione, riguarda la capacità del suolo di assorbire l'acqua piovana, favorendo la ricarica delle *falde acquifere*³⁰. Nei sistemi naturali, questo processo è essenziale per il mantenimento dell'equilibrio idrologico. Tuttavia, nei contesti urbanizzati, l'impermeabilizzazione del suolo riduce drasticamente tale capacità. Le strategie Sponge City mirano quindi a ripristinare l'infiltrazione attraverso l'impiego di pavimentazioni permeabili, trincee drenanti e sistemi vegetati. Nei contesti urbanizzati, invece, l'estesa impermeabilizzazione del suolo causata da asfalto, cemento e superfici costruite riduce drasticamente la capacità infiltrativa del terreno, aumentando il ruscellamento superficiale e il rischio di allagamenti.

Le strategie proprie del modello Sponge City mirano quindi a ripristinare, almeno in parte, il comportamento naturale del ciclo idrico urbano attraverso interventi capaci di favorire la penetrazione dell'acqua nel sottosuolo. Tra le principali soluzioni adottate vi sono pavimentazioni permeabili, trincee drenanti, giardini pluviali, sistemi vegetati e altre infrastrutture verdi progettate per rallentare il deflusso superficiale e incrementare l'assorbimento delle precipitazioni. Oltre a ridurre la pressione sulle reti fognarie, tali interventi contribuiscono al miglioramento della qualità delle acque, alla mitigazione delle isole di calore urbane e all'aumento della resilienza climatica delle città.

Il secondo principio, la ritenzione, consiste nella capacità di trattenere temporaneamente l'acqua piovana durante eventi meteorologici intensi. Questo processo consente di ridurre i *picchi di piena*³¹ e di alleggerire il carico sulle reti di drenaggio. Nei processi naturali, il suolo, la vegetazione e le aree umide svolgono una funzione di accumulo temporaneo delle precipitazioni, contribuendo a regolare i flussi idrici e a limitare i picchi di piena. Nei contesti urbani fortemente impermeabilizzati, invece, l'acqua piovana tende a defluire rapidamente verso le reti fognarie, aumentando il rischio di allagamenti e insufficienza dei sistemi di smaltimento.

Le strategie Sponge City mirano quindi a reintrodurre capacità di ritenzione all'interno dell'ambiente urbano attraverso infrastrutture progettate per accumulare e trattenere l'acqua in modo

³⁰ Falda acquifera: Strato sotterraneo di terreno o roccia permeabile che contiene acqua, derivante principalmente dall'infiltrazione delle precipitazioni. Le falde rappresentano una riserva fondamentale di acqua dolce e svolgono un ruolo essenziale nel bilancio idrico dei territori.

³¹ Picco di piena: Valore massimo della portata di un corso d'acqua o di un sistema di drenaggio durante un evento di precipitazione. Il picco di piena rappresenta un indicatore critico del rischio idraulico, in quanto valori elevati possono causare esondazioni e allagamenti.

controllato. Questo processo consente non solo di ridurre i volumi di deflusso immediato, ma anche di distribuire nel tempo il rilascio delle acque meteoriche, alleggerendo il carico sulle reti di drenaggio durante gli eventi estremi.

Tra gli interventi più diffusi rientrano i bacini di ritenzione, progettati per immagazzinare temporaneamente grandi quantità d'acqua; giardini pluviali (*rain gardens*)³² aree vegetate depresse che raccolgono e trattengono il deflusso superficiale; e le zone umide urbane, che combinano funzioni idrauliche, ecologiche e paesaggistiche. A queste si aggiungono serbatoi sotterranei, parchi allagabili e infrastrutture verdi multifunzionali capaci di integrare gestione delle acque, biodiversità e fruizione pubblica.

Oltre alla mitigazione del rischio idraulico, la ritenzione contribuisce al miglioramento della qualità dell'acqua grazie ai processi naturali di sedimentazione e filtrazione, favorisce la conservazione della biodiversità urbana e incrementa la resilienza delle città rispetto agli eventi climatici estremi sempre più frequenti.

Il terzo principio riguarda il rallentamento del deflusso superficiale, ossia la capacità di ridurre la velocità con cui l'acqua piovana scorre attraverso l'ambiente urbano dopo un evento meteorico. Nei sistemi naturali, la presenza di vegetazione, superfici permeabili e morfologie irregolari favorisce un movimento lento e graduale dell'acqua, consentendo al terreno di assorbirne una parte e limitando l'accumulo improvviso dei flussi superficiali.

Nei contesti urbanizzati, invece, la prevalenza di superfici impermeabili e canalizzazioni artificiali accelera il deflusso, aumentando il rischio di sovraccarico delle reti fognarie e di allagamenti improvvisi.

La velocità del deflusso costituisce infatti un elemento determinante nella formazione dei fenomeni di *Flash Flood*³³, caratterizzati da rapide inondazioni dovute all'intensa concentrazione delle precipitazioni in tempi molto brevi. Quando l'acqua scorre troppo rapidamente, il sistema urbano perde la capacità di gestire efficacemente i volumi meteorici, con conseguenze rilevanti sia sul piano infrastrutturale sia sulla sicurezza urbana.

Le strategie *Sponge City* intervengono quindi con l'obiettivo di rallentare e distribuire nel tempo il movimento delle acque meteoriche, riproducendo dinamiche più vicine ai processi idrologici

³² Rain Garden: Area vegetata progettata per raccogliere, trattenere e infiltrare l'acqua piovana proveniente da superfici impermeabili. I rain gardens favoriscono la riduzione del deflusso superficiale, la filtrazione degli inquinanti e la ricarica delle falde acquifere.

³³ Flash Flood: Evento di piena improvvisa caratterizzato da un rapido aumento del livello dell'acqua in un breve intervallo di tempo, generalmente in seguito a precipitazioni intense e localizzate. Nei contesti urbani, è particolarmente pericoloso a causa dell'elevata impermeabilizzazione e della scarsa capacità di drenaggio.

naturali. Questo avviene attraverso l'integrazione di infrastrutture verdi e dispositivi naturali capaci di interrompere, deviare e attenuare il flusso superficiale. Tra le soluzioni più diffuse vi sono *bioswales*³⁴ e canali vegetati, fasce verdi drenanti, parchi urbani permeabili, tetti verdi e aree di laminazione, progettati per trattenere temporaneamente l'acqua e favorire un rilascio progressivo.

Il rallentamento del deflusso produce numerosi benefici sul piano ambientale e urbano. Riducendo la velocità dell'acqua, diminuisce l'erosione delle superfici, si limita il trasporto di inquinanti verso i corsi d'acqua e si migliora l'efficienza complessiva dei sistemi di drenaggio urbano. Inoltre, la distribuzione temporale dei flussi consente di attenuare i picchi di piena e di aumentare la resilienza delle città rispetto agli eventi climatici estremi, sempre più frequenti a causa dei cambiamenti climatici.

Infine, il quarto principio riguarda il riuso delle acque meteoriche, che consiste nel recupero e nella valorizzazione dell'acqua piovana per impieghi non potabili. Nei sistemi urbani tradizionali, le precipitazioni vengono generalmente convogliate verso le reti di drenaggio e allontanate rapidamente, senza un effettivo utilizzo della risorsa idrica. Nei contesti *Sponge City*, invece, l'acqua meteorica viene considerata una risorsa da integrare nel ciclo urbano, attraverso sistemi di raccolta, trattamento e redistribuzione.

Il principio del riuso introduce così una logica della *gestione circolare dell'acqua*³⁵, in cui il deflusso non viene più solo smaltito, ma trasformato in una riserva utile per diverse applicazioni urbane. Tra gli utilizzi più comuni vi sono l'irrigazione del verde pubblico, il lavaggio delle strade, l'alimentazione di sistemi di raffrescamento urbano e, in alcuni casi, l'impiego in processi industriali o tecnici non potabili.

Dal punto di vista tecnico, il riuso richiede l'integrazione di infrastrutture specifiche come serbatoi di accumulo, cisterne sotterranee e sistemi di filtrazione che permettono di migliorare la qualità dell'acqua raccolta, rimuovendo sedimenti e inquinanti. Spesso tali sistemi sono combinati con altre soluzioni *Sponge City*, come tetti verdi e bacini di ritenzione, che fungono da primo livello di raccolta e regolazione del deflusso.

Oltre ai benefici idraulici, il riuso delle acque meteoriche contribuisce in modo significativo alla riduzione della domanda di acqua potabile, alla diminuzione dello stress sulle reti idriche e al

³⁴ *Bioswales*: sono canali vegetati poco profondi progettati per raccogliere e convogliare le acque piovane, rallentandone il deflusso e favorendone l'infiltrazione nel suolo. Grazie alla vegetazione e al substrato filtrante, contribuiscono anche alla depurazione dell'acqua trattenendo sedimenti e inquinanti.

³⁵ *Gestione circolare dell'acqua*: Approccio alla gestione delle risorse idriche basato sul riutilizzo, riciclo e valorizzazione dell'acqua all'interno dello stesso sistema. Nel contesto urbano, include il recupero delle acque meteoriche e reflue per usi non potabili, riducendo il consumo di risorse idriche primarie.

miglioramento della resilienza urbana in periodi di siccità. In questo modo, l'acqua piovana viene reintegrata nel ciclo urbano come risorsa attiva, rafforzando la sostenibilità complessiva del sistema città.

Nel loro insieme, questi quattro principi configurano un modello di gestione delle acque che si basa sulla decentralizzazione dei sistemi, sull'integrazione dei processi naturali e sulla multifunzionalità degli spazi urbani. In questo senso, il modello Sponge City rappresenta una sintesi avanzata tra ingegneria idraulica, ecologia urbana e progettazione del paesaggio.

L'applicazione di tali principi implica una riorganizzazione del metabolismo urbano dell'acqua, nella quale infiltrazione, ritenzione e riuso diventano componenti integrate della struttura urbana. In questo modello, spazi pubblici, infrastrutture verdi e dispositivi idraulici non operano separatamente, ma costituiscono un sistema ecologico diffuso capace di adattarsi alle variazioni climatiche e ai nuovi pattern di precipitazione.

5.3 Laminazione delle piene e incremento dell'infiltrazione nel suolo

Uno degli obiettivi principali delle strategie Sponge City è la riduzione del rischio idraulico urbano attraverso strategie integrate di laminazione delle piene e incremento dell'infiltrazione nel suolo. Questi due processi rappresentano componenti fondamentali per il riequilibrio del ciclo idrologico nei contesti urbanizzati, fortemente alterato dall'impermeabilizzazione diffusa.

La *laminazione delle piene*³⁶ consiste nel trattenere temporaneamente i volumi d'acqua generati durante eventi di precipitazione intensa, con l'obiettivo di ridurre il picco di portata che raggiunge i sistemi di drenaggio e i corpi idrici recettori. Nei modelli tradizionali di gestione idraulica, tale funzione è affidata principalmente a infrastrutture tecniche centralizzate, come bacini artificiali o sistemi di contenimento. Tuttavia, nel paradigma della città spugna, la laminazione viene reinterpretata come un processo diffuso, integrato nel tessuto urbano.

Questo approccio consente di distribuire spazialmente e temporalmente i volumi idrici, riducendo la pressione sulle reti fognarie e migliorando la resilienza complessiva del sistema urbano (IWA, 1999). In questo senso, dispositivi come parchi inondabili, bacini di ritenzione e zone umide artificiali

³⁶ Laminazione delle piene: Processo di riduzione del picco di portata attraverso l'accumulo temporaneo delle acque di piena in appositi spazi o infrastrutture. Questo consente di distribuire nel tempo il deflusso, diminuendo il rischio di allagamenti.

assumono una duplice funzione: da un lato contribuiscono alla sicurezza idraulica, dall'altro svolgono un ruolo ecologico e paesaggistico.

I parchi inondabili rappresentano una soluzione progettuale particolarmente efficace nell'ambito delle strategie Sponge City, in quanto integrano la gestione delle acque meteoriche all'interno dello spazio pubblico. Si tratta di aree verdi progettate per funzionare in modo duale: in condizioni ordinarie svolgono funzioni ricreative, ecologiche e sociali, offrendo spazi per il tempo libero, la biodiversità urbana e il miglioramento del microclima.

Durante eventi meteorologici intensi, invece, questi parchi sono progettati per accogliere e trattenere temporaneamente grandi volumi di acqua piovana, trasformandosi in bacini di laminazione controllata. La loro conformazione morfologica, spesso caratterizzata da superfici depresse e suoli permeabili, consente l'accumulo delle acque di piena e il loro successivo rilascio graduale, riducendo il rischio di sovraccarico delle reti di drenaggio e di allagamenti nelle aree circostanti.

Questo approccio evidenzia il principio della *multifunzionalità urbana*³⁷ secondo cui lo spazio urbano non è destinato a un'unica funzione, ma può adattarsi dinamicamente a condizioni ambientali differenti. In questo modo, i parchi inondabili diventano elementi infrastrutturali oltre che paesaggistici, contribuendo simultaneamente alla sicurezza idraulica, alla qualità ambientale e alla vivibilità degli spazi urbani contemporanei.

Gli spazi urbani assumono così una funzione adattiva e dinamica, trasformandosi temporaneamente in dispositivi di regolazione idrologica durante gli eventi estremi. Questo approccio evidenzia il ruolo della multifunzionalità nella progettazione contemporanea, in cui sicurezza idraulica, qualità paesaggistica e uso sociale dello spazio convergono all'interno di un'unica infrastruttura ecologica.

Parallelamente, l'incremento dell'infiltrazione nel suolo costituisce un elemento chiave per il ripristino del bilancio idrico naturale. L'infiltrazione permette infatti all'acqua di penetrare nel terreno, contribuendo alla *ricarica delle falde acquifere*³⁸ e riducendo il volume di deflusso superficiale.

³⁷ Multifunzionalità urbana: Principio progettuale secondo cui uno spazio urbano è in grado di svolgere contemporaneamente più funzioni (ambientali, sociali, infrastrutturali). Nel caso delle Sponge Cities, uno spazio può essere sia area ricreativa sia dispositivo di gestione delle acque.

³⁸ Ricarica delle falde acquifere: Processo mediante il quale l'acqua piovana o superficiale penetra nel suolo e raggiunge gli strati profondi, contribuendo al reintegro delle riserve idriche sotterranee.

Secondo studi promossi dalla European Commission, l'aumento dell'infiltrazione rappresenta una delle strategie più efficaci per la riduzione del rischio di allagamento e per il miglioramento della qualità delle acque.

Nei contesti urbani, il ripristino di questo processo avviene attraverso l'adozione di soluzioni progettuali come pavimentazioni permeabili, trincee drenanti e sistemi vegetati. Questi dispositivi non solo favoriscono l'infiltrazione, ma contribuiscono anche alla filtrazione degli inquinanti, migliorando la qualità delle acque che raggiungono le falde e la *filtrazione naturale*³⁹.

Nel loro insieme, laminazione e infiltrazione rappresentano due strategie complementari: la prima agisce sulla gestione temporale dei flussi idrici, mentre la seconda interviene sul bilancio complessivo dell'acqua nel sistema urbano. La loro integrazione consente di trasformare il rischio idraulico in un'opportunità progettuale, favorendo la costruzione di città più resilienti e sostenibili.

5.4 Contributo alla mitigazione delle ondate di calore e della siccità

Oltre alla gestione delle acque meteoriche, il modello Sponge City svolge un ruolo significativo nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico nei contesti urbani, in particolare per quanto riguarda le ondate di calore e i periodi di siccità. Questo aspetto evidenzia la natura multifunzionale delle infrastrutture blu-verdi, che operano simultaneamente su diversi livelli del sistema urbano.

Le città contemporanee sono caratterizzate da un'elevata concentrazione di superfici artificiali e impermeabili, che contribuiscono all'aumento delle temperature locali attraverso il fenomeno delle Urban Heat Island. In tali condizioni, l'assenza di vegetazione e la ridotta presenza di acqua limitano i processi naturali di raffrescamento, aggravando gli effetti delle ondate di calore.

La progressiva riduzione delle superfici vegetate e dei corpi idrici urbani contribuisce infatti all'intensificazione del fenomeno delle Urban Heat Islands, aumentando le temperature nelle aree densamente urbanizzate. Le strategie Sponge City intervengono su queste dinamiche attraverso la reintroduzione di acqua, vegetazione e superfici permeabili, capaci di favorire processi di evapotraspirazione e raffrescamento microclimatico.

Il modello Sponge City interviene su queste dinamiche attraverso l'introduzione diffusa di elementi vegetati e superfici permeabili, che favoriscono processi di *evapotraspirazione*⁴⁰. Questo

³⁹ Filtrazione naturale: Processo attraverso il quale il suolo e la vegetazione trattengono e trasformano sostanze inquinanti presenti nell'acqua, migliorandone la qualità prima che raggiunga falde o corpi idrici.

⁴⁰ Evapotraspirazione: Processo combinato di evaporazione dell'acqua dalle superfici e traspirazione delle piante. Questo meccanismo contribuisce al raffrescamento dell'ambiente e alla regolazione del microclima.

processo, che combina l'evaporazione dell'acqua e la traspirazione delle piante, consente di sottrarre calore all'ambiente circostante, contribuendo alla riduzione delle temperature urbane.

Studi condotti dalla NASA evidenziano come la presenza di infrastrutture verdi possa ridurre le temperature urbane fino a 2–4°C, migliorando significativamente il comfort microclimatico (NASA).

Inoltre, la presenza di acqua nei sistemi Sponge City — sotto forma di bacini, zone umide o sistemi di accumulo — contribuisce ulteriormente alla regolazione termica, grazie alla *capacità termica dell'acqua di assorbire e rilasciare calore*⁴¹.

Un ulteriore contributo del modello riguarda la gestione della siccità urbana. La capacità di trattenere e immagazzinare l'acqua piovana consente infatti di creare riserve idriche utilizzabili nei periodi di scarsità. Questo aspetto è particolarmente rilevante in un contesto di crescente variabilità climatica, caratterizzato dall'alternanza tra eventi estremi di precipitazione e periodi prolungati di siccità.

Secondo UN Water, la gestione integrata delle risorse idriche urbane rappresenta una strategia fondamentale per affrontare le sfide legate alla scarsità d'acqua nel XXI secolo (UN-Water, 2003).

Il riutilizzo delle acque meteoriche per usi non potabili, come l'irrigazione delle aree verdi o il raffrescamento urbano, introduce inoltre una logica di gestione circolare delle risorse, riducendo la dipendenza dai *sistemi di approvvigionamento tradizionali*⁴².

Nel complesso, il contributo delle Sponge Cities alla mitigazione climatica evidenzia come la gestione dell'acqua possa essere integrata in strategie più ampie di adattamento urbano, rafforzando la resilienza dei sistemi territoriali e migliorando la qualità della vita nelle città.

⁴¹ Capacità termica dell'acqua: Proprietà fisica che descrive la quantità di calore necessaria per aumentare la temperatura dell'acqua. Grazie alla sua elevata capacità termica, l'acqua è in grado di assorbire e rilasciare calore lentamente, contribuendo alla regolazione climatica.

⁴² Sistemi di approvvigionamento tradizionali: modelli convenzionali di gestione delle risorse idriche basati prevalentemente sull'estrazione, distribuzione, utilizzo e successivo smaltimento dell'acqua attraverso infrastrutture centralizzate. Questo approccio lineare considera l'acqua principalmente come risorsa da convogliare e consumare, senza prevedere significativi processi di recupero, riutilizzo o reintegrazione nei cicli naturali. In contrapposizione a tali modelli, la gestione circolare dell'acqua promuove strategie di raccolta, riuso, infiltrazione e valorizzazione delle risorse idriche all'interno del sistema urbano, riducendo sprechi e impatti ambientali.

5.5 Confronto con SUDS, LID e Nature - Based Solutions

Il modello Sponge City si inserisce all'interno di un più ampio panorama di approcci internazionali alla gestione sostenibile delle acque urbane, sviluppatosi a partire dagli anni '90 in risposta alle criticità dei sistemi di drenaggio tradizionali. Tra questi, i più rilevanti sono i Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), il Low Impact Development (LID) e le Nature-Based Solutions (NBS), ciascuno caratterizzato da specifiche impostazioni teoriche e operative. (Tabella 5)

Approccio	Area di sviluppo	Scala di intervento	Obiettivo principale	Caratteristiche chiave
SUDS	Regno Unito	Locale	Ridurre il deflusso e migliorare la qualità dell'acqua	Soluzioni naturali, imitazione del ciclo idrologico
LID	Stati Uniti	Lotto	Minimizzare l'impatto urbano nel ciclo naturale	Interventi diffusi e decentralizzati
NBS	Unione Europea	Multiscalare	Affrontare sfide ambientali con processi naturali	Co-benefici ecologici, sociali ed economici
Sponge City	Cina	Urbana	Gestione integrata delle acque e resilienza climatica	Approccio sistemico, pianificazione su larga scala

Tabella 5 - Confronto tra modelli di gestione delle acque urbane: confronto tra approcci internazionali alla gestione sostenibile delle acque urbane. Fonte: elaborazione propria su dati European Commission, UN-Habitat

I sistemi SUDS, sviluppati principalmente nel Regno Unito, si basano sul principio di *imitazione dei processi naturali del ciclo idrologico urbano*⁴³. L'obiettivo è quello di gestire l'acqua piovana nel luogo in cui cade, attraverso dispositivi come bacini di ritenzione, canali vegetati (*swales*)⁴⁴ e superfici permeabili. Questo approccio mira a ridurre il deflusso superficiale, migliorare la qualità delle acque e aumentare la biodiversità urbana.

Inoltre, i SUDS adottano una logica di gestione decentralizzata delle acque meteoriche, che contrasta con i sistemi tradizionali basati su reti fognarie centralizzate. L'acqua viene infatti trattata

⁴³ Imitazione dei processi naturali del ciclo idrologico urbano: approccio progettuale che mira a riprodurre all'interno dei contesti urbanizzati il comportamento naturale del ciclo dell'acqua, attraverso processi come infiltrazione, ritenzione, evaporazione, evapotraspirazione e filtrazione. L'obiettivo è ridurre il deflusso superficiale, migliorare la gestione delle acque meteoriche e ristabilire relazioni più equilibrate tra urbanizzazione e dinamiche idrologiche naturali.

⁴⁴ Swales (canali vegetati): canali superficiali vegetati progettati per raccogliere, rallentare, filtrare e convogliare le acque meteoriche attraverso processi naturali di infiltrazione e fitodepurazione. I swales contribuiscono alla riduzione del deflusso superficiale, al miglioramento della qualità delle acque e alla mitigazione del rischio di allagamento nei contesti urbani.

come una risorsa da controllare progressivamente lungo il suo percorso, attraverso una serie di fasi che includono raccolta, filtrazione, infiltrazione e rilascio controllato. Questa sequenza permette di attenuare i picchi di piena e di ridurre il carico sulle infrastrutture di drenaggio.

Un altro aspetto fondamentale dei SUDS è la loro integrazione con il paesaggio urbano. Molti di questi dispositivi sono progettati per avere anche una funzione estetica e ricreativa, trasformando aree tecniche in spazi verdi fruibili dalla comunità. In questo modo, la gestione delle acque diventa parte integrante della progettazione urbana sostenibile, contribuendo non solo alla sicurezza idraulica ma anche alla qualità dello spazio pubblico e al benessere ambientale.

Parallelamente, il concetto di LID, diffuso soprattutto negli Stati Uniti, propone un *modello decentralizzato*⁴⁵ di gestione delle acque, basato su interventi diffusi e di piccola scala. A differenza dei sistemi centralizzati tradizionali, il LID promuove soluzioni integrate nel tessuto urbano, come tetti verdi, giardini pluviali e sistemi di infiltrazione locale, con l'obiettivo di minimizzare l'impatto delle trasformazioni urbane sul ciclo idrologico naturale.

Questo approccio si fonda sull'idea di intervenire direttamente alla fonte del deflusso, riducendo la quantità di acqua piovana che entra nei sistemi di drenaggio convenzionali. Attraverso la diffusione di micro-interventi distribuiti sul territorio, il LID mira a mantenere il più possibile inalterati i processi idrologici naturali, favorendo infiltrazione, evaporazione e traspirazione direttamente nei luoghi di origine delle precipitazioni.

Dal punto di vista progettuale, il LID integra soluzioni di basso impatto ambientale all'interno di edifici, strade e spazi pubblici, trasformando ogni superficie urbana potenzialmente impermeabile in un elemento attivo del ciclo dell'acqua. In questo modo, anche interventi di piccola scala contribuiscono in modo cumulativo alla riduzione del ruscellamento superficiale, al miglioramento della qualità delle acque e all'aumento della resilienza urbana rispetto agli eventi meteorologici intensi.

Le Nature-Based Solutions rappresentano invece un approccio più ampio e trasversale, promosso a livello europeo dalla European Commission, che propone l'utilizzo dei processi naturali per affrontare una pluralità di sfide ambientali, tra cui la gestione delle acque, l'adattamento ai

⁴⁵ Modello decentralizzato: modello di gestione delle acque basato su una rete diffusa di interventi distribuiti nel territorio, piuttosto che su un'unica infrastruttura centralizzata. Questo approccio utilizza dispositivi locali e multifunzionali — come rain gardens, aree permeabili e sistemi di drenaggio sostenibile — per favorire infiltrazione, laminazione e trattamento delle acque meteoriche direttamente nei luoghi in cui si generano.

cambiamenti climatici e la tutela della biodiversità. Le NBS si distinguono per il loro carattere sistemico e per la capacità di generare *co-benefici*⁴⁶ ambientali, sociali ed economici.

Secondo la UN Environment Programme, le Nature-Based Solutions rappresentano uno degli strumenti più efficaci per affrontare simultaneamente crisi climatica, perdita di biodiversità e degrado degli ecosistemi (UNEP, 1972).

In questo senso, le NBS non si limitano a singole tecniche progettuali, ma costituiscono un paradigma di intervento che integra ecologia e pianificazione urbana. L'obiettivo è quello di lavorare con la natura, e non contro di essa, ripristinando o potenziando i processi ecosistemici naturali all'interno degli ambienti antropizzati. Ciò include, ad esempio, la riqualificazione di corsi d'acqua, la creazione di aree umide, la forestazione urbana e la realizzazione di infrastrutture verdi multifunzionali.

Un elemento distintivo delle NBS è la loro capacità di produrre benefici simultanei su più livelli. Oltre alla gestione delle acque meteoriche, esse contribuiscono alla riduzione delle isole di calore urbane, al miglioramento della qualità dell'aria, all'assorbimento del carbonio e al rafforzamento della resilienza sociale delle comunità. Questo approccio integrato consente di superare la logica settoriale delle infrastrutture tradizionali, favorendo invece soluzioni adattive e flessibili.

Inoltre, le Nature-Based Solutions promuovono una visione della città come ecosistema dinamico, in cui gli spazi verdi e blu diventano componenti fondamentali delle infrastrutture urbane. In questo quadro, la progettazione non si limita alla riduzione degli impatti ambientali, ma mira anche alla rigenerazione degli ecosistemi e al miglioramento complessivo della qualità della vita urbana.

Il modello Sponge City può essere interpretato come una sintesi avanzata di questi approcci, integrandone i principi all'interno di una strategia di pianificazione urbana su larga scala. A differenza dei modelli SUDS e LID, spesso applicati a scala locale o di quartiere, la Sponge City si configura come una politica pubblica nazionale, capace di coordinare interventi diffusi all'interno di una visione sistemica del territorio.

⁴⁶ Co – benefici: insieme dei benefici aggiuntivi e complementari generati da un intervento o da una strategia progettuale oltre all'obiettivo principale per cui essa viene realizzata. Nel contesto delle infrastrutture verdi e delle Nature-Based Solutions, i co-benefici possono includere miglioramento della qualità ambientale, riduzione delle temperature urbane, incremento della biodiversità, miglioramento della salute pubblica, aumento della qualità dello spazio pubblico, valorizzazione paesaggistica e crescita del valore economico e immobiliare delle aree interessate.

Studi promossi dalla Asian Development Bank evidenziano come l'approccio Sponge City rappresenti un'evoluzione dei modelli occidentali, adattata alle condizioni di rapida urbanizzazione dei contesti asiatici (ADB, 1966).

In questo senso, la Sponge City non si limita a replicare soluzioni esistenti, ma introduce un nuovo paradigma integrato, in cui infrastrutture verdi, gestione dell'acqua e pianificazione urbana convergono in un unico sistema progettuale.

A differenza di approcci prevalentemente orientati alla sola gestione tecnica del drenaggio urbano, il paradigma Sponge City introduce una visione sistemica e territoriale del rapporto tra città e acqua. Il paesaggio urbano viene reinterpretato come infrastruttura ecologica capace di integrare funzioni ambientali, climatiche e sociali all'interno di un unico sistema adattivo.

Nel complesso, i modelli SUDS, LID, Nature-Based Solutions e Sponge City condividono un obiettivo comune: ripristinare o imitare il ciclo idrologico naturale all'interno degli ambienti urbani. I SUDS si concentrano principalmente su una gestione sostenibile delle acque meteoriche a scala locale, attraverso dispositivi diffusi che riducono il deflusso e migliorano la qualità dell'acqua.

Il LID, invece, enfatizza interventi decentralizzati e di piccola scala direttamente integrati nelle superfici urbane, agendo alla fonte del problema per minimizzare l'impatto dell'impermeabilizzazione.

Le Nature-Based Solutions ampliano ulteriormente questa prospettiva, inserendo la gestione dell'acqua in un quadro più ampio di tutela degli ecosistemi, adattamento climatico e generazione di co-benefici ambientali e sociali.

Infine, la Sponge City rappresenta una sintesi evolutiva di questi approcci, applicata su scala urbana e territoriale, in cui la gestione idrica diventa parte integrante della pianificazione strategica della città e della sua resilienza complessiva. (Figura 15)

SUDS
Sustainable Urban Drainage Systems
Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile



Approccio alla gestione delle acque meteoriche che mira a riprodurre i processi idrologici naturali attraverso una serie di tecniche strutturali e non strutturali per il controllo del deflusso.

LID
Low Impact Development
Sviluppo a Basso Impatto Ambientale



Strategia progettuale che integra la gestione delle acque meteoriche nella pianificazione del territorio e nel progetto urbano, minimizzando l'impatto dello sviluppo del ciclo idrologico.

NBS
Nature - Based Solution
Soluzioni Basate sulla Natura



Approccio che utilizza processi e sistemi naturali per affrontare sfide ambientali e sociali, generando benefici multipli per le persone, la biodiversità e il clima.

SPONGE CITY
Città Spugna



Modello urbano che mira ad aumentare la capacità della città di assorbire, immagazzinare, infiltrare, purificare e riutilizzare l'acqua piovana, imitando il comportamento di una spugna.

Figura 15 – confronto tra modelli di gestione delle acque. SUDS (Sustainable Urban Drainage System), LID (Low Impact Development), NBS (Nature-Based Solution), Sponge City (Città Spugna). Fonte: elaborazione propria su letteratura SUDS, LID, NBS e Sponge City.

5.6 Criticità, limiti e potenzialità del modello

Nonostante i numerosi benefici associati al modello Sponge City, la sua implementazione presenta una serie di criticità e limiti che devono essere attentamente considerati nell'ambito della pianificazione urbana contemporanea. La valutazione di tali aspetti è fondamentale per comprendere le reali potenzialità del modello e per adattarlo a contesti territoriali differenti.

Una delle principali criticità riguarda l'integrazione delle strategie Sponge City in contesti urbani già fortemente consolidati. In molte città, la scarsità di suolo disponibile e l'elevata *densità insediativa*⁴⁷ limitano la possibilità di introdurre infrastrutture blu-verdi su larga scala. Questo problema è particolarmente rilevante nei centri storici e nelle aree ad alta densità, dove lo spazio urbano è fortemente vincolato.

Secondo UN-Habitat, la rigenerazione urbana rappresenta una condizione essenziale per l'integrazione delle infrastrutture verdi nei contesti consolidati.

Un ulteriore elemento critico riguarda i costi di realizzazione e manutenzione delle infrastrutture. A differenza delle infrastrutture grigie tradizionali, i sistemi basati sulla natura richiedono una gestione continua nel tempo, legata alla crescita della vegetazione e al *mantenimento delle condizioni ecologiche*⁴⁸.

⁴⁷ Densità insediativa: livello di concentrazione degli edifici, delle infrastrutture e della popolazione all'interno di un determinato territorio urbano o periurbano. La densità insediativa influenza il consumo di suolo, l'organizzazione degli spazi pubblici, la mobilità, la disponibilità di superfici permeabili e la capacità dei sistemi urbani di gestire fenomeni ambientali e climatici.

⁴⁸ Mantenimento delle condizioni ecologiche: insieme delle attività, dei processi e delle strategie finalizzate a preservare il funzionamento degli ecosistemi e delle loro componenti biologiche, fisiche e chimiche. In ambito urbano comprende

Tuttavia, tali costi devono essere valutati in relazione ai benefici a lungo termine, che includono la riduzione dei danni da allagamento, il miglioramento della qualità dell'aria e l'aumento del *valore immobiliare*⁴⁹.

Un'altra criticità riguarda la complessità della *governance urbana*⁵⁰ necessaria per implementare il modello. La Sponge City richiede infatti il coordinamento tra diversi livelli istituzionali e tra molteplici attori, tra cui amministrazioni pubbliche, progettisti, ingegneri e comunità locali. Questa complessità può rappresentare un ostacolo alla diffusione del modello, soprattutto in contesti caratterizzati da scarsa integrazione tra politiche urbane e ambientali.

Nonostante queste criticità, il modello presenta significative potenzialità. In primo luogo, esso contribuisce ad aumentare la resilienza urbana, migliorando la capacità delle città di adattarsi agli effetti del cambiamento climatico. In secondo luogo, promuove una gestione sostenibile delle risorse idriche, riducendo la dipendenza dalle infrastrutture tradizionali e favorendo il riutilizzo dell'acqua. Studi della World Bank evidenziano come gli investimenti in infrastrutture verdi possano generare benefici economici superiori ai costi nel lungo periodo.

Infine, il modello Sponge City introduce una nuova visione della città, in cui il paesaggio e i processi ecologici assumono un ruolo centrale nella progettazione urbana. Questo approccio consente di superare la tradizionale separazione tra città e natura, promuovendo un modello di sviluppo più equilibrato e sostenibile.

In questa prospettiva, il modello Sponge City può essere interpretato come una strategia di adattamento urbano capace di affrontare simultaneamente rischio idraulico, cambiamento climatico e degrado ecologico. La città viene concepita come un sistema resiliente in cui acqua, suolo, vegetazione e infrastrutture costruite interagiscono attraverso processi dinamici e integrati.

Tale approccio implica inoltre una revisione del rapporto tradizionale tra città e natura: i processi ecologici non vengono più considerati elementi residuali o separati dall'ambiente urbano, ma componenti strutturali della pianificazione e della progettazione contemporanea. Il paradigma della città spugna evidenzia dunque come la resilienza urbana contemporanea dipenda dalla capacità di

la tutela della biodiversità, la continuità ecologica, la qualità delle acque e dei suoli, la regolazione climatica e la conservazione delle funzioni ecosistemiche necessarie al benessere ambientale e umano.

⁴⁹ Valore immobiliare: valore economico attribuito a un immobile o a un'area urbana, determinato da fattori quali posizione, accessibilità, qualità architettonica, servizi disponibili e condizioni ambientali. La presenza di spazi verdi, infrastrutture ecologiche, qualità paesaggistica e sicurezza ambientale può contribuire significativamente all'aumento del valore immobiliare.

⁵⁰ Governance urbana: insieme dei soggetti istituzionali, delle organizzazioni, degli strumenti decisionali e dei processi attraverso cui viene pianificata, amministrata e gestita la città. La governance urbana implica il coordinamento tra enti pubblici, attori privati e comunità locali nella definizione delle politiche territoriali, ambientali, infrastrutturali e sociali.

reintegrare i processi naturali all'interno della struttura della città, trasformando acqua, suolo e paesaggio in infrastrutture ecologiche attive per l'adattamento climatico e la sostenibilità territoriale.

CAPITOLO 6. LA CITTÀ SPUGNA COME PROGETTO DI PAESAGGIO

Il paradigma della Sponge City non può essere interpretato esclusivamente come un insieme di tecniche per la gestione delle acque meteoriche, ma deve essere compreso come una trasformazione radicale del rapporto tra città, natura e progetto. In questo senso, la sua portata è eminentemente culturale oltre che operativa, poiché ridefinisce i presupposti stessi della pianificazione urbana contemporanea.

Nel modello tradizionale, la città moderna si è sviluppata secondo una logica di separazione e controllo dei processi naturali: l'acqua è stata incanalata, il suolo impermeabilizzato, gli ecosistemi frammentati. Questo approccio ha prodotto un sistema urbano altamente efficiente nel breve periodo, ma profondamente vulnerabile nel lungo termine, soprattutto alla luce delle dinamiche legate al cambiamento climatico.

La città spugna propone invece un cambio di paradigma: da un modello lineare e tecnocratico a un sistema circolare, adattivo e integrato. In questo nuovo quadro, il paesaggio assume un ruolo centrale, configurandosi come una vera e propria infrastruttura ecologica capace di mediare tra dinamiche naturali e insediamento umano.

Gli spazi aperti urbani diventano quindi dispositivi attivi, in grado di svolgere simultaneamente funzioni idrologiche, climatiche, ecologiche e sociali. Essi contribuiscono alla gestione delle acque, alla mitigazione dell'Urban Heat Island, al miglioramento della qualità dell'aria e alla costruzione di nuove forme di spazio pubblico.

Questo capitolo approfondisce dunque la dimensione paesaggistica della città spugna, analizzando il passaggio dal progetto tecnico a quello paesaggistico, il ruolo delle infrastrutture blu-verdi, la reinterpretazione degli spazi aperti e le implicazioni estetiche e professionali del nuovo paradigma.

6.1 Dalla gestione tecnica dell'acqua al progetto paesaggistico ed ecologico

Per lungo tempo la gestione delle acque in ambito urbano è stata affrontata attraverso un approccio prevalentemente tecnico-ingegneristico, fondato sul principio del rapido allontanamento delle acque meteoriche dai contesti urbanizzati. Lo sviluppo della città moderna ha infatti comportato una progressiva impermeabilizzazione del suolo mediante asfaltature, pavimentazioni e densificazione edilizia, riducendo drasticamente la capacità naturale del territorio di assorbire e trattenere l'acqua piovana. In questo modello, le reti fognarie e le infrastrutture idrauliche tradizionali sono state

progettate principalmente per convogliare rapidamente le acque verso corpi idrici esterni, separando progressivamente la città dai processi naturali del ciclo idrologico.

Tale approccio, fortemente influenzato dalla cultura igienista e dall'ingegneria moderna del XIX e XX secolo, ha prodotto città caratterizzate da elevati livelli di impermeabilità e da una crescente artificializzazione dei sistemi idrici urbani. Fiumi e torrenti sono stati canalizzati, tombinati o marginalizzati rispetto allo sviluppo urbano, mentre il suolo è stato progressivamente trasformato in superficie impermeabile incapace di svolgere le proprie funzioni ecologiche e idrologiche. L'acqua è stata così percepita principalmente come elemento da controllare e smaltire, piuttosto che come componente strutturante del paesaggio urbano.

Negli ultimi decenni, tuttavia, i limiti di questo modello sono emersi con crescente evidenza. L'aumento dell'urbanizzazione, il cambiamento climatico e la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi hanno determinato un progressivo sovraccarico delle infrastrutture idrauliche tradizionali, sempre meno capaci di gestire precipitazioni intense concentrate in brevi intervalli temporali. Gli eventi alluvionali urbani risultano oggi amplificati dalla presenza di vaste superfici impermeabili che accelerano il deflusso superficiale e riducono la capacità di infiltrazione del terreno.

Parallelamente, la crescente consapevolezza ambientale ha evidenziato come il modello infrastrutturale tradizionale abbia contribuito alla frammentazione ecologica dei territori urbani, alla perdita di biodiversità e al deterioramento della qualità ambientale. In questo contesto si è progressivamente sviluppato un nuovo approccio fondato sull'integrazione tra gestione delle acque, ecologia e progetto urbano. Il paradigma della città spugna si inserisce all'interno di questa trasformazione culturale e progettuale. A differenza delle infrastrutture grigie tradizionali, basate sul controllo e sull'espulsione rapida dell'acqua, il modello sponge city promuove strategie capaci di imitare i processi naturali del ciclo idrologico urbano attraverso infiltrazione, ritenzione, laminazione ed evapotraspirazione. L'obiettivo non è più eliminare rapidamente l'acqua dalla città, ma rallentarne il deflusso, trattenerla temporaneamente e reintegrarla nei processi ecologici urbani. (Figura 16)

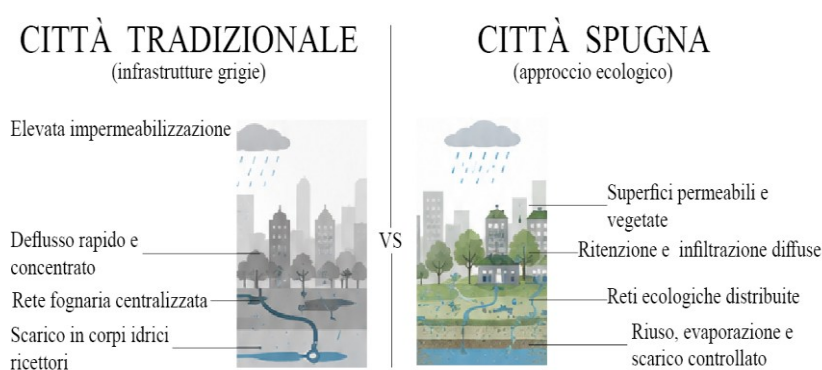


Figura 16 - Confronto tra modello urbano tradizionale basato su infrastrutture grigie e paradigma della città spugna: dal rapido smaltimento delle acque meteoriche attraverso reti centralizzate alla gestione diffusa mediante superfici permeabili, infrastrutture blu-verdi e processi naturali di infiltrazione, ritenzione ed evaporazione.

Questo cambiamento implica una profonda ridefinizione del ruolo dello spazio urbano e del progetto di paesaggio. Suolo, vegetazione, spazi aperti e sistemi idrici non vengono più considerati elementi separati, ma parti integrate di un'infrastruttura ecologica capace di svolgere simultaneamente funzioni ambientali, climatiche, sociali e idrologiche. (Tabella 6)

CONFRONTO TRA MODELLI		
ASPETTO	MODELLO TRADIZIONALE	MODELLO SPONGE CITY
Obiettivo principale	Allontanamento rapido dell'acqua	Gestione integrata del ciclo idrologico
Strategia	Convogliare e scaricare	Rallentare, Trattenere, Infiltrare, Evaporare
Infrastrutture	Grigie, centralizzate, rigide	Verdi/Blu, diffuse, adattive
Rapporto con la natura	Separazione e controllo	Integrazione/Imitazione dei processi naturali
Benefici	Funzione tecnica limitata	Benefici ambientali, sociali ed economici
Resilienza climatica	Bassa	Alta

Tabella 6 – Confronto tra modello urbano tradizionale e paradigma Sponge City: differenze negli obiettivi di gestione delle acque, nelle strategie infrastrutturali, nel rapporto con i processi naturali e nella capacità di resilienza climatica del sistema urbano

In tale prospettiva assumono particolare rilevanza approcci come il Water Sensitive Urban Design e le Nature-Based Solutions, che promuovono una gestione sostenibile delle acque attraverso l'utilizzo di processi naturali e infrastrutture verdi. Il progetto urbano contemporaneo tende così a superare la tradizionale separazione tra tecnica ed ecologia, riconoscendo nell'acqua un elemento strutturante della città e del paesaggio.

La città spugna rappresenta quindi il passaggio da una concezione meccanica e lineare della gestione idrica a una visione sistemica e adattiva del territorio urbano, nella quale il paesaggio assume un ruolo centrale nella costruzione della resilienza climatica e ambientale.

6.2 Infrastrutture blu-verdi e continuità ecologica

Nel contesto delle strategie di adattamento climatico e gestione sostenibile delle acque urbane, le infrastrutture blu-verdi assumono un ruolo centrale nella costruzione di città resilienti e capaci di integrare processi ecologici e dinamiche insediative. A differenza delle infrastrutture tradizionali, progettate prevalentemente per svolgere funzioni tecniche specialistiche, le reti blu-verdi operano come sistemi multifunzionali in grado di combinare gestione idrologica, continuità ecologica, qualità paesaggistica e fruizione pubblica.

Il concetto di Green Infrastructure si sviluppa a partire dall'idea che gli elementi naturali e semi-naturali del territorio possano essere concepiti come vere e proprie infrastrutture strategiche, al pari delle reti tecnologiche e dei sistemi di mobilità. Parchi, aree umide, corsi d'acqua, fasce vegetate, corridoi ecologici e superfici permeabili costituiscono infatti una rete territoriale capace di fornire numerosi servizi ecosistemici, tra cui regolazione climatica, gestione delle acque meteoriche, miglioramento della qualità dell'aria e incremento della biodiversità.

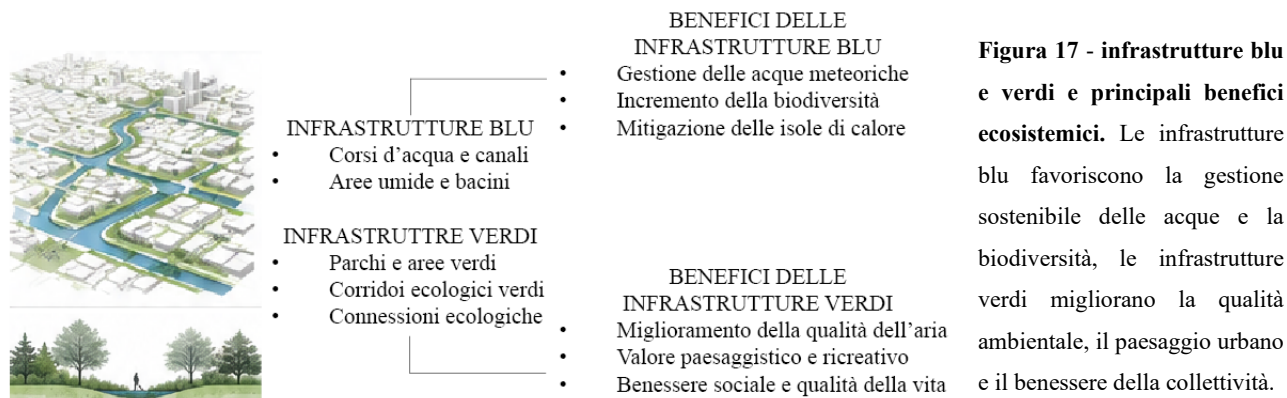
In questo quadro, il paradigma della città spugna interpreta l'acqua e la vegetazione come elementi integrati di un unico sistema ecologico urbano. Le infrastrutture blu-verdi non si limitano quindi a svolgere una funzione ornamentale o decorativa, ma diventano dispositivi performativi capaci di migliorare il funzionamento ambientale della città. L'integrazione tra sistemi vegetali e gestione idrologica consente infatti di rallentare il deflusso delle acque, incrementare l'infiltrazione nel suolo e ridurre il rischio di allagamenti urbani.

Uno degli aspetti fondamentali di queste reti riguarda il tema della continuità ecologica. La frammentazione prodotta dall'urbanizzazione e dalle infrastrutture artificiali rappresenta infatti una delle principali cause di perdita di biodiversità nei contesti urbani e periurbani. Le infrastrutture blu-verdi mirano a ristabilire connessioni ecologiche tra habitat frammentati attraverso la creazione di corridoi vegetati e sistemi ambientali continui.

I corridoi ecologici assumono in questo senso una funzione strategica, poiché consentono la mobilità delle specie animali e vegetali e favoriscono il mantenimento dei processi ecologici all'interno del territorio urbanizzato. Fiumi, canali, parchi lineari e fasce vegetate possono diventare elementi strutturanti di una rete ecologica urbana capace di riconnettere città e ambiente naturale.

Nel contesto della città spugna, tali sistemi assumono anche una funzione idrologica fondamentale. Le fasce verdi permeabili e le aree vegetate contribuiscono infatti alla laminazione delle acque meteoriche, alla riduzione del runoff superficiale e al miglioramento del microclima urbano attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione.

L'infrastruttura blu-verde si configura quindi come un sistema integrato nel quale funzioni ecologiche, idrauliche e sociali si sovrappongono. Un parco urbano, ad esempio, può contemporaneamente costituire spazio pubblico, bacino temporaneo di accumulo delle acque, fi e dispositivo climatico (Figura 17).



Questo approccio rappresenta un significativo cambiamento rispetto al modello urbano moderno, storicamente fondato sulla separazione tra infrastrutture tecniche e spazi naturali. La città contemporanea tende invece a concepire il paesaggio come infrastruttura primaria della resilienza urbana, attribuendo agli spazi aperti un ruolo attivo nella regolazione ambientale e climatica.

Dal punto di vista teorico, tali riflessioni si collegano ai contributi del Landscape Urbanism, che interpreta il paesaggio non come semplice elemento estetico ma come struttura organizzativa dei processi urbani contemporanei. Autori come James Corner e Charles Waldheim sottolineano infatti come il paesaggio possa costituire il principale supporto operativo per integrare ecologia, infrastruttura e urbanizzazione.

In questa prospettiva, le infrastrutture blu-verdi rappresentano non soltanto strumenti tecnici per la gestione sostenibile delle acque, ma componenti fondamentali di una nuova concezione ecologica e adattiva della città contemporanea.

6.3 Spazi aperti urbani come dispositivi idrologici

Nel paradigma della città spugna, gli spazi aperti urbani assumono un ruolo profondamente diverso rispetto alla tradizione urbanistica moderna. Se in passato piazze, parchi e aree verdi erano concepiti prevalentemente come luoghi ricreativi o decorativi, oggi essi vengono reinterpretati come dispositivi ecologici e idrologici capaci di contribuire attivamente alla gestione delle acque meteoriche e all'adattamento climatico della città.

Questo cambiamento deriva dalla crescente necessità di affrontare gli effetti combinati dell'impermeabilizzazione urbana e degli eventi meteorologici estremi. Le superfici asfaltate e cementificate riducono infatti la capacità del suolo di assorbire l'acqua piovana, determinando un aumento del deflusso superficiale e del rischio di allagamenti urbani. In tale contesto, gli spazi aperti possono essere progettati per rallentare, trattenere, infiltrare e filtrare le acque meteoriche attraverso processi naturali, contribuendo alla ricostruzione di un ciclo idrologico urbano più equilibrato.

Tra le principali strategie adottate all'interno delle *Sponge Cities* assumono particolare importanza i *rain gardens*, aree vegetate depresse progettate per raccogliere e infiltrare le acque provenienti dalle superfici impermeabili circostanti. Questi sistemi permettono di ridurre il carico sulle reti fognarie e favoriscono al tempo stesso processi di filtrazione naturale e miglioramento della qualità delle acque.

Analoga funzione è svolta dai *bioswales*, canali vegetati che rallentano il deflusso superficiale attraverso vegetazione, substrati permeabili e processi di infiltrazione. Oltre a svolgere una funzione idraulica, tali dispositivi contribuiscono alla qualità paesaggistica dello spazio urbano e alla creazione di *microhabitat* ecologici.

Le *wetlands urbane*⁵¹ rappresentano invece sistemi più complessi, capaci di integrare gestione idraulica, biodiversità e depurazione naturale delle acque. Attraverso processi biologici e vegetazionali, queste aree umide artificiali o rinaturalizzate consentono di migliorare la qualità delle acque meteoriche e di incrementare la resilienza ecologica dei contesti urbanizzati.

Particolarmente significative risultano inoltre le piazze allagabili e i parchi di laminazione, che introducono una nuova concezione dello spazio pubblico urbano. In questi casi, gli spazi aperti vengono progettati per accogliere temporaneamente l'acqua durante eventi meteorologici intensi, svolgendo simultaneamente funzioni sociali e idrologiche. Un esempio emblematico è rappresentato dalle *Water Squares* di Rotterdam, nelle quali lo spazio pubblico si trasforma temporaneamente in bacino di accumulo durante le precipitazioni intense, restituendo visibilità e centralità all'acqua nel paesaggio urbano.

Anche le pavimentazioni permeabili assumono un ruolo importante all'interno di questo approccio. Attraverso materiali drenanti e superfici filtranti, esse consentono di ridurre il runoff superficiale e favorire l'infiltrazione diffusa delle acque meteoriche. Tali soluzioni possono essere

⁵¹ *Wetlands Urbane*: aree umide artificiali o rinaturalizzate inserite nel contesto urbano, progettate per trattenere, filtrare e depurare naturalmente le acque meteoriche, contribuendo alla biodiversità, alla mitigazione del rischio idraulico e al miglioramento della qualità ecologica e paesaggistica della città.

applicate a parcheggi, percorsi pedonali, piazze e spazi pubblici, contribuendo alla costruzione di una città maggiormente permeabile e adattiva.

Nel complesso, questi dispositivi evidenziano un cambiamento culturale significativo nel rapporto tra città e acqua. L'acqua non viene più nascosta all'interno di infrastrutture tecniche invisibili, ma diventa elemento leggibile e integrato nello spazio pubblico contemporaneo. Lo spazio urbano assume così una dimensione dinamica e temporale, capace di adattarsi alle variazioni climatiche e ai processi naturali (Figura 18).



Figura 18 - Principali dispositivi della città spugna per la gestione sostenibile delle acque meteoriche. Rain gardens, bioswales, wetlands urbane, piazze allagabili, parchi di laminazione e pavimentazioni permeabili favoriscono la ritenzione, l'infiltrazione e il rallentamento del deflusso, contribuendo alla riduzione del rischio idraulico e all'incremento della resilienza urbana.

Gli spazi aperti contemporanei non svolgono quindi esclusivamente una funzione estetica o ricreativa, ma diventano infrastrutture ecologiche multifunzionali in grado di combinare gestione delle acque, mitigazione climatica, biodiversità e qualità urbana. In questa prospettiva, il progetto di paesaggio assume un ruolo fondamentale nella costruzione di città resilienti e adattive, capaci di convivere con l'incertezza climatica e con le trasformazioni ambientali dell'Antropocene.

6.4 Nuove estetiche del paesaggio funzionale

L'evoluzione delle strategie ecologiche e idrologiche nel progetto urbano contemporaneo ha determinato una profonda trasformazione anche dal punto di vista estetico e culturale. Nel paradigma moderno, infrastrutture tecniche e spazio urbano erano generalmente concepiti come elementi separati: le reti idrauliche venivano nascoste nel sottosuolo, mentre il paesaggio urbano assumeva prevalentemente una funzione rappresentativa o ornamentale. L'estetica della città moderna era infatti fondata sull'idea di controllo, ordine e stabilità, spesso attraverso la rimozione o la marginalizzazione dei processi naturali.

Il paradigma della città spugna introduce invece una diversa concezione del rapporto tra ecologia, infrastruttura e forma urbana. I processi naturali — infiltrazione, accumulo dell'acqua, crescita spontanea della vegetazione, variazioni stagionali — non vengono più eliminati o nascosti, ma

integrati all'interno del progetto e resi visibili nello spazio pubblico. Il paesaggio contemporaneo assume così una dimensione dinamica, adattiva e processuale.

In questo contesto emerge il concetto di paesaggio performativo, secondo cui gli spazi aperti non devono limitarsi a soddisfare esigenze estetiche o compositive, ma devono essere in grado di svolgere funzioni ambientali, ecologiche e climatiche. Il valore del paesaggio non risiede più esclusivamente nella forma finale, ma nella capacità di attivare processi e relazioni ecologiche all'interno del territorio urbano (Figura 19).

PARADIGMA MODERNO

(acqua nascosta)

- Infrastrutture invisibili
- Separazione tra tecnica ed estetica
- Controllo e ordine
- Paesaggio come sfondo statico



VS

ESTETICA ECOLOGICA

(processi visibili)

- Processi naturali visibili
- Integrazione tra funzione ecologica ed estetica
- Paesaggio performativo e dinamico



Figura 19 - Confronto tra il paradigma moderno della gestione delle acque, e l'estetica ecologica. Il paesaggio diventa un'infrastruttura dinamica e performativa capace di coniugare resilienza e qualità dello spazio urbano.

Questa trasformazione si collega alle riflessioni teoriche sviluppate nell'ambito del Landscape Urbanism, approccio che interpreta il paesaggio come infrastruttura primaria della città contemporanea. Secondo James Corner, il paesaggio non deve essere concepito come elemento statico e decorativo, ma come sistema aperto, dinamico e in continua evoluzione, capace di integrare temporalità, ecologia e trasformazione urbana. Analogamente, Charles Waldheim individua nel paesaggio il principale supporto operativo per affrontare la complessità ambientale e infrastrutturale della città contemporanea.

Anche le riflessioni di Gilles Clément contribuiscono a ridefinire il rapporto tra natura e progetto. Attraverso il concetto di “terzo paesaggio”, Clément valorizza gli spazi residuali, spontanei e non completamente controllati, riconoscendo nella biodiversità e nei processi naturali una componente fondamentale del paesaggio contemporaneo. Questa visione supera l'idea tradizionale di natura come elemento rigidamente ordinato, introducendo un'estetica fondata sull'evoluzione, sulla spontaneità e sull'adattamento.

Nel contesto della città spugna, tali principi trovano concreta applicazione nei progetti sviluppati da Kongjian Yu e dallo studio Turenscape. Attraverso il concetto di sponge landscape, Yu propone un approccio progettuale capace di integrare infrastrutture ecologiche, gestione delle acque e paesaggio urbano. L'acqua non viene trattata come problema da nascondere, ma come elemento strutturante della forma urbana e dell'esperienza dello spazio pubblico (Tabella 7).

RIFERIMENTI TEORICI E CULTURALI		
LANDSCAPE URBANISM	GILLES CLÈMENT	KONGJIAN YU - TURENSCAPE
James Corner – paesaggio come sistema dinamico e infrastruttura primaria della città	Terzo paesaggio – valorizzazione degli spazi spontanei e della biodiversità.	Sponge Landscape – integrazione tra gestione delle acque, infrastrutture ecologiche e paesaggio.
Charles Waldheim – il paesaggio come supporto operativo per integrare ecologia, infrastruttura e urbanizzazione	Natura come processo di evoluzione non come ordine statico	Acqua come elemento strutturante della forma urbana.

Tabella 7 - Principali riferimenti teorici e culturali alla base del paradigma della città spugna. Il Landscape Urbanism, il pensiero di Gilles Clément e l'approccio di Kongjian Yu convergono nella concezione del paesaggio come infrastruttura ecologica dinamica, capace di integrare processi naturali, gestione delle acque e trasformazioni urbane in una prospettiva di resilienza ambientale e adattamento climatico.

Il progetto contemporaneo tende così a superare la tradizionale opposizione tra tecnica ed estetica. Le infrastrutture ecologiche non vengono più mascherate, ma diventano parte integrante dell'identità visiva e spaziale della città. Canali vegetati, aree umide, rain gardens e parchi allagabili producono nuove forme di paesaggio nelle quali funzione ecologica e qualità estetica coincidono.

In questa prospettiva, il paesaggio non rappresenta più uno sfondo passivo dell'urbanizzazione, ma una struttura attiva capace di organizzare processi ambientali, climatici e sociali. L'estetica della città contemporanea si fonda quindi sempre più sulla leggibilità dei processi naturali e sulla capacità degli spazi urbani di adattarsi alle trasformazioni climatiche e ambientali. La città spugna contribuisce così alla costruzione di una nuova cultura del progetto urbano, nella quale resilienza, ecologia e paesaggio diventano elementi inseparabili della forma della città.

6.5 Il paesaggio come infrastruttura resiliente

Nel contesto della crisi climatica e ambientale contemporanea, il paesaggio assume un ruolo sempre più centrale nella costruzione della resilienza urbana e territoriale. Le città contemporanee devono infatti confrontarsi con problematiche complesse legate all'aumento delle temperature, agli eventi meteorologici estremi, alla perdita di biodiversità e alla crescente vulnerabilità dei sistemi urbani. In questo scenario, il paesaggio non può più essere considerato un semplice elemento decorativo o residuale, ma diventa una vera e propria infrastruttura resiliente capace di integrare funzioni ecologiche, climatiche, sociali e idrologiche.

A differenza delle infrastrutture tradizionali, progettate per svolgere funzioni specialistiche e spesso rigide, il paesaggio possiede caratteristiche adattive e dinamiche che gli consentono di rispondere in maniera flessibile alle trasformazioni ambientali. Vegetazione, suolo permeabile, sistemi fluviali e reti ecologiche costituiscono componenti fondamentali di un'infrastruttura territoriale capace di assorbire shock climatici e ridurre la vulnerabilità urbana.

Nel paradigma della città spugna, il paesaggio svolge un ruolo essenziale nella gestione delle acque meteoriche. Attraverso superfici permeabili, aree vegetate e sistemi naturali di infiltrazione, esso contribuisce a rallentare il deflusso superficiale, favorire la laminazione delle piene e ridurre il rischio di allagamenti. Allo stesso tempo, la presenza diffusa di vegetazione migliora il microclima urbano attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione, contribuendo alla mitigazione delle isole di calore urbane.

Le infrastrutture paesaggistiche producono inoltre importanti benefici ecologici e sociali. La continuità ecologica tra spazi verdi e sistemi idrici favorisce la biodiversità urbana e il mantenimento degli ecosistemi, mentre la qualità degli spazi aperti contribuisce al benessere fisico e psicologico della popolazione. Parchi, corridoi verdi e sistemi fluviali diventano così dispositivi multifunzionali capaci di integrare sicurezza ambientale, qualità urbana e inclusione sociale.

La resilienza del paesaggio deriva anche dalla sua capacità di evolvere nel tempo. A differenza delle infrastrutture rigide, che spesso richiedono elevati costi di manutenzione e risultano vulnerabili agli eventi estremi, i sistemi ecologici possono adattarsi progressivamente alle trasformazioni climatiche attraverso processi naturali di rigenerazione e trasformazione. Questa dimensione processuale rappresenta uno degli aspetti più innovativi del progetto di paesaggio contemporaneo (Figura 20).

PAESAGGIO COME INFRASTRUTTURA RESILIENTE

(funzioni del paesaggio resiliente)



Figura 20 - Il paesaggio resiliente come infrastruttura ecologica integrata.

Rappresentazione delle relazioni tra acqua, suolo, vegetazione, infrastrutture blu-verdi e spazio pubblico nella costruzione della resilienza urbana e territoriale. Fonte: elaborazione propria da Waldheim (2016), Ahern (2011) e Yu (2014).

In tale prospettiva, il paesaggio assume una funzione strategica nella pianificazione urbana e territoriale. Le reti blu-verdi non devono essere considerate elementi accessori della città, ma strutture portanti capaci di organizzare le relazioni tra ambiente naturale, urbanizzazione e infrastrutture. La resilienza urbana dipende infatti sempre più dalla capacità di costruire continuità ecologiche e sistemi adattivi in grado di integrare acqua, vegetazione, suolo e spazio pubblico.

Il paradigma della città spugna evidenzia quindi come il paesaggio possa diventare il principale supporto operativo per affrontare le sfide dell'Antropocene. Attraverso un approccio integrato e multilivello, il progetto di paesaggio contribuisce alla costruzione di città più adattive, sostenibili e capaci di convivere con l'incertezza climatica.

CAPITOLO 7. CASI STUDIO DI CITTÀ SPUGNA E STRATEGIE DI GESTIONE INTEGRATA DELL'ACQUA

L'analisi dei casi studio costituisce un passaggio cruciale per comprendere come i principi teorici e metodologici del paradigma della Sponge City vengano effettivamente tradotti in pratiche progettuali e politiche urbane. Se nei capitoli precedenti sono stati delineati i fondamenti concettuali legati alla gestione sostenibile delle acque e al ruolo del paesaggio, in questa sezione l'attenzione si sposta sulla dimensione operativa, dove tali principi vengono messi alla prova in contesti reali, caratterizzati da condizioni climatiche, morfologiche e socioeconomiche differenti.

Le città contemporanee si trovano oggi ad affrontare una crescente complessità idrologica, determinata dalla convergenza di fattori quali il cambiamento climatico, l'impermeabilizzazione dei suoli e l'aumento della pressione antropica. In questo scenario, la gestione dell'acqua urbana non può più essere affrontata attraverso soluzioni standardizzate, ma richiede approcci flessibili e adattivi, capaci di rispondere alle specificità locali. I casi studio rappresentano dunque un laboratorio privilegiato per osservare come tali strategie vengano declinate in pratica, evidenziando sia le potenzialità che i limiti dei diversi modelli.

Il confronto tra esperienze sviluppate in Cina, Europa e Nord America consente di costruire un quadro interpretativo articolato, utile non solo per comprendere le dinamiche in atto, ma anche per individuare elementi trasferibili ad altri contesti, tra cui quello italiano. In particolare, l'analisi comparativa permette di mettere in luce come il paradigma della città spugna non costituisca un modello univoco, ma piuttosto una famiglia di approcci che si adattano e si trasformano in relazione alle condizioni locali

7.1 Criteri di selezione e metodologia di analisi dei casi studio

La costruzione del corpus dei casi studio rappresenta una fase metodologica fondamentale, in quanto determina la qualità e la rilevanza dell'analisi comparativa. La selezione non si limita a individuare esempi emblematici, ma si configura come un processo critico volto a rappresentare la varietà degli approcci esistenti nella gestione sostenibile delle acque urbane.

I casi sono stati scelti tenendo conto di una pluralità di fattori, tra cui la loro rilevanza rispetto al paradigma Sponge City, la disponibilità di documentazione scientifica e tecnica, nonché la loro capacità di rappresentare contesti geografici e climatici differenti. Questa scelta consente di evitare

una lettura parziale del fenomeno, offrendo invece una visione più ampia e articolata delle strategie adottate a livello globale.

Dal punto di vista metodologico, l'analisi si fonda su un approccio comparativo che permette di mettere in relazione i diversi casi attraverso parametri comuni, pur mantenendo attenzione alle specificità di ciascun contesto. Questo metodo consente di superare una semplice descrizione delle esperienze, favorendo una lettura critica orientata all'individuazione di pattern ricorrenti e differenze significative. In questo senso, il confronto non è finalizzato a stabilire una gerarchia tra modelli, ma piuttosto a comprendere le condizioni che ne determinano l'efficacia. Come evidenziato da UN-Habitat, la trasferibilità delle buone pratiche urbane dipende dalla capacità di adattarle ai contesti locali, piuttosto che dalla loro semplice replicazione. L'analisi assume quindi una dimensione interpretativa, in cui i casi studio vengono letti come espressione di specifiche culture progettuali e sistemi di governance, contribuendo alla costruzione di un quadro teorico-operativo più ampio. (Tabella 8)

Parametro	Descrizione	Obiettivo dell'analisi
Contesto climatico	Tipo di clima e regime delle precipitazioni	Valutare l'adattabilità delle soluzioni
Scala di intervento	Quartiere, città, area metropolitana	Comprendere l'efficacia a diverse scale
Tipologia di intervento	Tecniche utilizzate (green, grey, ibride)	Analizzare le strategie progettuali
Integrazione paesaggistica	Relazione tra infrastrutture e spazio urbano	Valutare la qualità progettuale
Governance	Modelli istituzionali e politiche	Analizzare il ruolo delle istituzioni
Impatti	Effetti ambientali e sociali	Misurare l'efficacia complessiva

Tabella 8 - criteri di analisi dei casi studio: parametri utilizzati per l'analisi comparativa dei casi studio

7.2 Esperienze di Sponge City in Cina

La Cina rappresenta il contesto di origine del paradigma della città spugna, sviluppato come risposta alle criticità emergenti nei sistemi urbani contemporanei, in particolare in relazione al rischio di allagamenti e alla gestione inefficiente delle acque meteoriche. A partire dal 2013, il governo cinese ha promosso un programma nazionale volto a trasformare le città in sistemi capaci di assorbire, trattenere e riutilizzare l'acqua piovana.

Le esperienze sviluppate in città come Wuhan, Shenzhen e Shanghai (Figura 21) evidenziano un approccio fortemente sistemico e centralizzato, caratterizzato da interventi su larga scala e da una significativa integrazione tra politiche pubbliche e progettazione urbana. In questi contesti, il paradigma Sponge City viene tradotto in una rete articolata di infrastrutture blu-verdi, che includono parchi inondabili, sistemi di drenaggio vegetato e dispositivi per il riutilizzo delle acque.



Figura 21 - Esperienze di Sponge City nelle città di Wuhan, Shenzhen e Shanghai.

Uno degli aspetti più rilevanti del modello cinese è la sua capacità di operare a livello urbano complessivo, superando la frammentazione tipica di altri approcci. Questo consente di ottenere risultati significativi in termini di riduzione del rischio idraulico e miglioramento della qualità ambientale. Secondo l'Asian Development Bank, tali interventi hanno dimostrato una notevole efficacia nella gestione degli eventi meteorologici estremi.

Tuttavia, questa impostazione presenta anche alcune criticità. La scala degli interventi richiede infatti ingenti investimenti economici e una forte capacità di coordinamento istituzionale. Inoltre, l'integrazione di tali strategie nei tessuti urbani esistenti può risultare complessa, soprattutto in contesti ad alta densità. Nonostante questi limiti, il modello cinese rappresenta un esempio significativo di come il paradigma della città spugna possa essere implementato in modo sistemico, offrendo spunti importanti per altri contesti. (Tabella 9)

Città	Approccio	Interventi principali	Obiettivi	Risultati
Wuhan	Sponge city	Parchi inondabili, bacini di laminazione, drenaggio vegetato	Riduzione del rischio di allagamenti	Diminuzione di picchi di piena
Shenzhen	Sponge city	Infrastrutture verdi diffuse, pavimentazioni permeabili	Gestione acque meteoriche	Miglioramento infiltrazione
Shanghai	Sponge city	Riqualificazione corsi d'acqua, sistemi di raccolta	Controllo runoff urbano	Riduzione carico reti fognarie

Tabella 9 - Casi studio in Cina (Sponge City): principali esperienze di applicazione del paradigma Sponge City in contesto cinese

7.3 Strategie europee di adattamento idrico urbano

Nel contesto europeo, la gestione sostenibile delle acque urbane si sviluppa attraverso un approccio fortemente integrato con il progetto di paesaggio e le politiche ambientali. Le strategie adottate si inseriscono all'interno di un quadro normativo complesso, caratterizzato da una crescente attenzione ai temi della sostenibilità e dell'adattamento climatico.

Città come Copenhagen, Rotterdam e Berlino (Figura 22) rappresentano esempi emblematici di questo approccio. In questi contesti, la gestione delle acque viene integrata nella progettazione dello spazio pubblico, dando origine a soluzioni innovative che combinano funzioni idrauliche e sociali. Le cosiddette “water squares” di Rotterdam, ad esempio, rappresentano una reinterpretazione dello spazio urbano, capace di adattarsi alle variazioni climatiche e di rispondere alle esigenze della comunità.

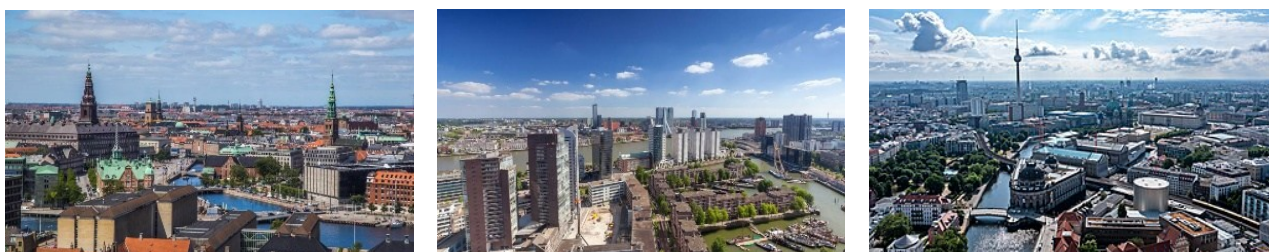


Figura 22 - Esperienze di Sponge City nelle città di Copenhagen, Rotterdam e Berlino

La European Commission promuove attivamente le Nature-Based Solutions come strumenti fondamentali per l'adattamento delle città ai cambiamenti climatici. Rispetto al modello cinese, l'approccio europeo si caratterizza per una maggiore attenzione alla qualità dello spazio urbano e alla dimensione partecipativa. Gli interventi tendono a essere più diffusi e meno centralizzati, favorendo una maggiore integrazione con il tessuto urbano esistente. Tuttavia, la complessità normativa e la necessità di coinvolgere una pluralità di attori possono rallentare i processi di implementazione, rendendo difficile la realizzazione di interventi su larga scala. (Tabella 10).

Città	Approccio	Interventi principali	Obiettivi	Risultati
Copenhagen	NBS	Spazi pubblici multifunzionali, drenaggio urbano sostenibile.	Adattamento climatico	Integrazione paesaggistica
Rotterdam	Water Squares	Piazze allagabili, bacini urbani temporanei	Gestione eventi estremi	Multifunzionalità urbana
Berlino	SUDS	Infiltrazione diffusa, sistemi decentralizzati	Riduzione runoff	Approccio locale e diffuso

Tabella 10 - Casi studio Europei: strategie europee di adattamento idrico urbano basate su Nature-Based Solutions.

7.4 Approcci nordamericani alla gestione sostenibile delle acque

Nel contesto nordamericano, la gestione delle acque urbane si sviluppa principalmente attraverso il paradigma del Low Impact Development, che promuove interventi diffusi e decentralizzati finalizzati a ridurre l'impatto delle trasformazioni urbane sul ciclo idrologico.

Città come Portland, Philadelphia e New York (Figura 23) hanno adottato strategie basate sull'integrazione di elementi naturali nel tessuto urbano, attraverso dispositivi come rain gardens, bioswales e tetti verdi. Questi interventi, pur essendo spesso di piccola scala, contribuiscono in modo significativo alla riduzione del deflusso superficiale e al miglioramento della qualità delle acque.



Figura 23 - Esperienze di Sponge City nelle città di Portland, Philadelphia e New York

Secondo l'United States Environmental Protection Agency, tali strategie rappresentano un approccio efficace e sostenibile alla gestione delle acque meteoriche.

Uno degli aspetti distintivi del modello nordamericano è la sua flessibilità, che consente di adattare gli interventi alle specificità locali. Tuttavia, l'assenza di una visione sistemica può limitarne l'efficacia complessiva, soprattutto in contesti urbani complessi. (Tabella 11).

Città	Approccio	Interventi principali	Obiettivi	Risultati
Portland	LID	Rain gardens, bioswales	Riduzione runoff	Interventi diffusi
Philadelphia	Green Infrastructure	Tetti verdi, sistemi vegetati	Miglioramento qualità urbana	Piano urbano integrato
New York	LID / GI	Infrastrutture urbane	Resilienza climatica	Approccio incrementale

Tabella 11 - Casi studio Nordamericani: approcci nordamericani alla gestione sostenibile delle acque urbane

7.5 Confronto critico tra i casi studio

Il confronto tra i diversi contesti analizzati evidenzia come la gestione sostenibile delle acque urbane possa essere affrontata attraverso approcci differenti, ciascuno caratterizzato da specifici punti di forza, criticità e modalità operative. Le esperienze internazionali dimostrano infatti che il paradigma della città spugna non si traduce in un modello univoco e rigidamente definito, ma in un

insieme di strategie adattabili alle condizioni ambientali, climatiche, politiche e culturali dei diversi territori.

Il modello cinese rappresenta probabilmente l'esempio più esteso e strutturato di applicazione del paradigma Sponge City su scala nazionale. Attraverso una forte regia istituzionale centralizzata e ingenti investimenti pubblici, la Cina ha promosso programmi sperimentali capaci di coinvolgere interi sistemi urbani, integrando gestione delle acque, infrastrutture verdi e pianificazione territoriale. Questo approccio consente di operare su larga scala e di implementare rapidamente interventi infrastrutturali diffusi, favorendo una trasformazione sistemica del rapporto tra urbanizzazione e ciclo idrologico. Tuttavia, la forte centralizzazione decisionale e la rapidità degli interventi possono talvolta ridurre l'attenzione verso le specificità locali e verso le dimensioni sociali e partecipative del progetto urbano.

L'approccio europeo si distingue invece per una maggiore attenzione alla qualità dello spazio pubblico, alla dimensione paesaggistica e all'integrazione tra ecologia urbana e benessere collettivo. Le esperienze sviluppate in paesi come Paesi Bassi, Danimarca e Germania mostrano come la gestione sostenibile delle acque possa diventare occasione per ripensare lo spazio urbano contemporaneo in chiave multifunzionale. In questo contesto, infrastrutture blu-verdi, parchi allagabili e sistemi di drenaggio sostenibile vengono concepiti non soltanto come dispositivi tecnici, ma come elementi capaci di migliorare la qualità paesaggistica, la vivibilità urbana e la resilienza climatica delle città. L'approccio europeo risulta inoltre caratterizzato da una maggiore integrazione tra pianificazione urbana, progetto di paesaggio e partecipazione pubblica, riconoscendo il ruolo centrale delle comunità locali nei processi di adattamento climatico.

Il modello nordamericano, infine, si caratterizza per un approccio maggiormente flessibile e incrementale, basato su interventi diffusi e decentralizzati. Le strategie sviluppate negli Stati Uniti e in Canada privilegiano spesso sistemi di gestione delle acque distribuiti nel tessuto urbano, come rain gardens, bioswales, tetti verdi e pavimentazioni permeabili. Questo approccio consente una maggiore adattabilità ai differenti contesti urbani e favorisce processi di sperimentazione progressiva, nei quali piccoli interventi locali possono contribuire gradualmente alla costruzione di sistemi urbani più resilienti. Allo stesso tempo, la forte frammentazione amministrativa e la dipendenza da iniziative locali possono limitare la capacità di attuare trasformazioni sistemiche su scala territoriale.

Come sottolineato dall'UN Environment Programme, l'efficacia delle strategie di adattamento urbano dipende dalla capacità di combinare approcci differenti in funzione delle specificità ambientali, sociali e territoriali dei diversi contesti. Non esiste infatti un modello universale

applicabile indistintamente a tutte le città, ma una pluralità di strumenti e metodologie che devono essere reinterpretati criticamente in relazione alle caratteristiche locali.

Questo aspetto assume particolare rilevanza nel contesto italiano, caratterizzato da elevata complessità morfologica, forte stratificazione storica e frammentazione amministrativa. Le città italiane presentano spesso tessuti urbani consolidati, elevata densità insediativa e limitata disponibilità di spazi aperti trasformabili, condizioni che rendono difficile l'applicazione di modelli standardizzati di Sponge City sviluppati in altri contesti internazionali. Per questo motivo, il paradigma sponge deve essere reinterpretato attraverso strategie maggiormente adattive, diffuse e integrate, capaci di intervenire contemporaneamente sulle infrastrutture ecologiche, sullo spazio pubblico e sulla gestione delle acque urbane.

L'analisi comparativa dei casi studio dimostra quindi come la città spugna non rappresenti una soluzione tecnica predefinita, ma piuttosto un campo aperto di sperimentazione progettuale, ecologica e politica. La sua efficacia dipende dalla capacità di integrare discipline differenti — urbanistica, ecologia, ingegneria idraulica, architettura del paesaggio e governance territoriale — all'interno di una visione sistemica della resilienza urbana. In questa prospettiva, il paradigma sponge assume un valore che va oltre la semplice gestione delle acque meteoriche: esso propone una nuova concezione del rapporto tra città e natura, nella quale il paesaggio diventa infrastruttura adattiva capace di connettere sicurezza ambientale, qualità urbana e trasformazione ecologica del territorio contemporaneo (Tabella 12).

Aspetto	Cina (Sponge City)	Europa (Nature-Based Solutions)	Nord America (LID/SUDS)
Scala di intervento	Urbana e metropolitana	Urbana e territoriale	Quartiere e lotto
Governance	Centralizzata e nazionale	Integrata e multilivello	Decentralizzata
Obiettivo principale	Gestione delle acque meteoriche e riduzione del rischio idraulico	Adattamento climatico e rigenerazione ecologica	Riduzione del runoff e controllo delle acque piovane
Strumenti prevalenti	Zone umide, parchi allagabili, corridoi blu-verdi	Infrastrutture verdi, rinaturalizzazione, NBS	Rain gardens, bioswales, permeable pavements

Punti di forza	Visione sistemica e coordinamento istituzionale	Multifunzionalità ecologica e sociale	Flessibilità applicativa e diffusione locale
Criticità	Costi elevati e forte dipendenza dalla governance pubblica	Tempi lunghi di implementazione e coordinamento complesso	Frammentazione degli interventi e limitata integrazione territoriale
Possibili applicazioni nel contesto italiano	Gestione integrata dei bacini urbani	Rigenerazione ecologica e adattamento climatico	Interventi diffusi a scala locale

Tabella 12 - Confronto tra i principali approcci internazionali alla resilienza idrologica urbana

CAPITOLO 8. APPLICABILITÀ DEL MODELLO DELLA CITTÀ SPUGNA NEL CONTESTO ITALIANO

L'applicazione del paradigma della città spugna nel contesto italiano richiede una riflessione critica sulle specificità territoriali, climatiche, insediative e normative che caratterizzano il territorio nazionale. Sebbene il modello della Sponge City sia nato in Cina come risposta alle crescenti problematiche legate all'urbanizzazione intensiva e agli eventi alluvionali, il suo trasferimento in altri contesti geografici non può avvenire attraverso una semplice trasposizione tecnica di soluzioni progettuali.

Il territorio italiano presenta infatti condizioni profondamente differenti rispetto ai grandi sistemi urbani asiatici: una forte stratificazione storica degli insediamenti, una complessa articolazione morfologica, una rete diffusa di corsi d'acqua minori, una significativa frammentazione amministrativa e una vulnerabilità idrogeologica particolarmente elevata. In questo scenario, il paradigma della città spugna non può essere interpretato esclusivamente come un modello di drenaggio urbano sostenibile, ma deve essere reinterpretato come un approccio paesaggistico integrato capace di mettere in relazione acqua, suolo, infrastrutture ecologiche e progetto urbano.

L'obiettivo di questo capitolo è quindi analizzare criticamente le potenzialità e i limiti dell'applicazione del modello nel contesto italiano, evidenziando le criticità operative, le opportunità progettuali e la necessità di sviluppare una declinazione mediterranea della città spugna, fondata sulla centralità del paesaggio come infrastruttura resiliente.

8.1 Specificità territoriali e climatiche del contesto italiano

Il territorio italiano presenta caratteristiche geomorfologiche, climatiche e insediative che rendono particolarmente complessa la gestione delle acque e del rischio idrogeologico. La forte articolazione morfologica del paese, caratterizzata dalla presenza diffusa di rilievi montuosi e collinari, determina bacini idrografici generalmente di dimensioni ridotte e con tempi di risposta molto rapidi agli eventi meteorologici intensi. In molte aree, soprattutto nei contesti alpini e prealpini, i corsi d'acqua assumono un comportamento torrentizio, con variazioni improvvise di portata e fenomeni di piena rapida particolarmente difficili da gestire.

A tali caratteristiche naturali si sovrappone una struttura insediativa storicamente frammentata e fortemente antropizzata. Le città italiane si sono sviluppate attraverso processi stratificati e spesso privi di una pianificazione integrata delle dinamiche idrologiche, determinando nel tempo una

progressiva occupazione delle aree di pertinenza fluviale e una crescente impermeabilizzazione dei suoli. In particolare, la seconda metà del Novecento è stata caratterizzata da fenomeni di dispersione urbana e urban sprawl che hanno prodotto una significativa frammentazione ecologica del territorio.

Nel contesto italiano, il cambiamento climatico amplifica ulteriormente queste condizioni di vulnerabilità. L'area mediterranea è infatti considerata uno degli hotspot climatici più sensibili agli effetti del riscaldamento globale. L'aumento delle temperature medie, la *tropicalizzazione del clima*⁵² e la crescente frequenza di eventi meteorologici estremi stanno modificando in maniera significativa i pattern di precipitazione. Sempre più frequentemente si registrano eventi brevi ma estremamente intensi, caratterizzati da elevati volumi di pioggia concentrati in intervalli temporali ridotti. Questi fenomeni risultano particolarmente critici nei contesti urbanizzati, dove la presenza di superfici impermeabili accelera il deflusso superficiale e aumenta il rischio di allagamenti improvvisi.

Parallelamente, si osserva una crescente alternanza tra eventi di precipitazione intensa e lunghi periodi di siccità. Tale variabilità climatica produce effetti rilevanti sia sulla disponibilità delle risorse idriche sia sul funzionamento degli ecosistemi urbani e agricoli. In questo scenario, la gestione dell'acqua non può più essere limitata alla sola evacuazione delle precipitazioni meteoriche, ma deve includere strategie di ritenzione, infiltrazione e riutilizzo della risorsa idrica.

Il territorio veneto rappresenta un caso emblematico di queste dinamiche. La pianura veneta è caratterizzata da un'elevata urbanizzazione diffusa, da una forte presenza di infrastrutture produttive e da una rete idrografica profondamente artificializzata. L'espansione insediativa degli ultimi decenni ha determinato una significativa riduzione delle superfici permeabili e una progressiva separazione tra città e sistemi idrici naturali. In particolare, i corsi d'acqua minori e i torrenti pedemontani, come il Leogra, mostrano oggi condizioni di elevata vulnerabilità legata alla canalizzazione degli alvei, alla riduzione delle aree di esondazione naturale e alla pressione antropica diffusa.

In questo contesto, il paradigma della città spugna assume una rilevanza strategica non solo come strumento di mitigazione del rischio idraulico, ma come opportunità per ricostruire relazioni più equilibrate tra sistemi insediativi, suolo e dinamiche naturali dell'acqua.

⁵² Tropicalizzazione del Clima: processo di trasformazione climatica caratterizzato dall'aumento delle temperature medie e dalla crescente frequenza di eventi meteorologici intensi e improvvisi, simili a quelli tipici delle regioni tropicali.

8.2 Quadro normativo e strumenti di pianificazione

L'implementazione di strategie riconducibili al paradigma della città spugna nel contesto italiano si confronta con un quadro normativo complesso e multilivello, articolato tra direttive europee, normative nazionali, pianificazione di bacino e strumenti urbanistici locali. Questa articolazione rappresenta al tempo stesso una potenziale opportunità e una significativa criticità operativa.

A livello europeo, uno dei principali riferimenti è rappresentato dalla *Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE*⁵³, che introduce una visione integrata della gestione delle risorse idriche fondata sul bacino idrografico come unità territoriale di riferimento. La direttiva promuove il raggiungimento del “buono stato ecologico” dei corpi idrici e sottolinea la necessità di integrare tutela ambientale e pianificazione territoriale.

A questa si affianca la *Direttiva Alluvioni 2007/60/CE*⁵⁴, che mira alla riduzione del rischio alluvionale attraverso strumenti di prevenzione, protezione e pianificazione. La direttiva ha portato in Italia all'elaborazione dei *Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)*⁵⁵, strumenti che individuano le aree a maggiore pericolosità idraulica e definiscono strategie di mitigazione del rischio.

Negli ultimi anni, le politiche europee legate al *Green Deal*⁵⁶ e alla Strategia Europea di Adattamento Climatico hanno inoltre promosso un crescente interesse verso le Nature-Based Solutions e le infrastrutture verdi come strumenti per incrementare la resilienza urbana e climatica.

Nel contesto italiano, il tema della gestione delle acque e del rischio idrogeologico è disciplinato da un insieme articolato di strumenti normativi e pianificatori. Tra questi assumono particolare importanza i *Piani di Assetto Idrogeologico (PAI)*⁵⁷, elaborati dalle Autorità di Bacino, che

⁵³ Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE: normativa dell'Unione Europea che istituisce un quadro comune per la protezione delle acque superficiali e sotterranee, con l'obiettivo di raggiungere il “buono stato ecologico” dei corpi idrici attraverso una gestione integrata dei bacini idrografici.

⁵⁴ Direttiva Alluvioni 2007/60/CE: direttiva europea finalizzata alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, che promuove strategie di prevenzione, protezione e adattamento per ridurre gli impatti negativi sulla popolazione, sull'ambiente e sulle attività economiche.

⁵⁵ Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA): strumenti di pianificazione previsti dalla Direttiva Alluvioni, finalizzati all'individuazione delle aree a rischio idraulico e alla definizione di misure di prevenzione, mitigazione e gestione delle alluvioni a scala di bacino idrografico.

⁵⁶ Green Deal: strategia dell'Unione Europea presentata nel 2019 con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, promuovendo la transizione ecologica attraverso politiche integrate su energia, mobilità, economia circolare, tutela della biodiversità e adattamento ai cambiamenti climatici. Nel contesto urbano, il Green Deal sostiene modelli di sviluppo sostenibile basati su resilienza ambientale, infrastrutture verdi e riduzione delle emissioni.

⁵⁷ Piani di Assetto Idrogeologico (PAI): strumenti di pianificazione territoriale elaborati dalle Autorità di Bacino per individuare e regolamentare le aree soggette a rischio idraulico e geomorfologico, definendo vincoli e strategie di tutela del territorio e della sicurezza insediativa.

definiscono le aree soggette a rischio idraulico e geomorfologico e regolano le trasformazioni territoriali compatibili con le condizioni di sicurezza.

Parallelamente, numerose regioni italiane hanno introdotto normative legate al principio di *invarianza idraulica*⁵⁸, secondo cui le nuove urbanizzazioni non devono determinare un aumento del deflusso superficiale rispetto alle condizioni precedenti all'intervento. Questo principio rappresenta uno degli elementi più vicini al paradigma della città spugna all'interno del quadro normativo nazionale.

Tuttavia, nonostante la crescente diffusione di strumenti orientati alla sostenibilità idrologica, persistono numerose criticità. Una delle principali riguarda la forte frammentazione amministrativa e istituzionale che caratterizza la gestione del territorio italiano. Competenze relative ad acqua, pianificazione urbana, difesa del suolo e infrastrutture sono spesso distribuite tra enti differenti — regioni, comuni, consorzi di bonifica, autorità di bacino — con conseguenti difficoltà di coordinamento e integrazione progettuale.

A ciò si aggiunge una persistente impostazione settoriale della pianificazione, nella quale gli aspetti idraulici vengono frequentemente affrontati come problemi tecnici separati dal progetto urbano e paesaggistico. In molti casi, le strategie di mitigazione del rischio continuano a privilegiare opere rigide e centralizzate piuttosto che approcci integrati basati sui processi ecologici.

In questo scenario, l'introduzione del paradigma della città spugna richiede non solo nuove soluzioni progettuali, ma anche una trasformazione culturale e amministrativa capace di superare la separazione tra pianificazione idraulica, urbanistica e progetto di paesaggio.

8.3 Criticità e ostacoli all'implementazione

Nonostante le potenzialità del paradigma della città spugna, la sua applicazione nel contesto italiano incontra numerosi ostacoli di natura economica, culturale, amministrativa e spaziale.

Uno dei principali limiti riguarda la struttura consolidata delle città italiane. Molti centri urbani sono caratterizzati da tessuti storici ad alta densità edilizia, ridotta disponibilità di spazi aperti e infrastrutture sotterranee spesso obsolete. In questi contesti, l'inserimento di dispositivi di

⁵⁸ Invarianza Idraulica: principio secondo cui le trasformazioni urbanistiche non devono determinare un aumento del deflusso meteorico rispetto alle condizioni precedenti all'intervento, mantenendo invariato l'equilibrio idrologico del territorio.

infiltrazione, aree di laminazione o infrastrutture blu-verdi risulta particolarmente complesso sia dal punto di vista tecnico sia da quello economico.

Un'ulteriore criticità è rappresentata dalla frammentazione delle competenze amministrative. La gestione delle acque coinvolge infatti una molteplicità di soggetti istituzionali, spesso privi di strumenti efficaci di coordinamento. Questa frammentazione rallenta i processi decisionali e rende difficile la costruzione di strategie integrate alla scala territoriale e di bacino.

Dal punto di vista culturale, permane inoltre una forte predominanza dell'approccio ingegneristico tradizionale. La gestione del rischio idraulico continua frequentemente a essere affrontata attraverso opere di canalizzazione, arginatura e drenaggio rapido, mentre gli approcci basati sulla rinaturalizzazione e sull'integrazione ecologica vengono talvolta percepiti come meno efficaci o meno controllabili.

Anche gli aspetti economici rappresentano un elemento rilevante. Sebbene le Nature-Based Solutions garantiscano benefici multipli nel medio-lungo periodo, la loro realizzazione richiede investimenti iniziali significativi e programmi di manutenzione costante. Nei piccoli comuni, spesso caratterizzati da limitate risorse economiche e tecniche, ciò costituisce un ostacolo rilevante all'implementazione diffusa di tali strategie.

Infine, occorre riconoscere che il paradigma della città spugna non rappresenta una soluzione definitiva o universalmente applicabile. Gli eventi meteorologici estremi associati al cambiamento climatico stanno raggiungendo intensità tali da superare, in alcuni casi, la capacità di assorbimento e laminazione dei sistemi naturali e delle infrastrutture verdi. Per questo motivo, le strategie sponge devono essere integrate all'interno di sistemi multilivello che combinino infrastrutture ecologiche, opere di sicurezza idraulica e pianificazione territoriale.

In questa prospettiva, il concetto di resilienza assume un ruolo centrale. L'obiettivo non è eliminare completamente il rischio — condizione ormai impossibile nell'Antropocene — ma aumentare la capacità adattiva dei territori e ridurre la vulnerabilità dei sistemi urbani attraverso soluzioni flessibili, diffuse e integrate.

8.4 Opportunità per il progetto di paesaggio

Nonostante le numerose criticità che caratterizzano il contesto italiano, il paradigma della città spugna offre importanti opportunità per ripensare il rapporto tra infrastrutture, ambiente e spazio pubblico attraverso il progetto di paesaggio. In questa prospettiva, il paesaggio non viene più

considerato come semplice elemento decorativo o residuale della città contemporanea, ma come una vera e propria infrastruttura ecologica capace di integrare funzioni ambientali, sociali e idrologiche.

Uno degli aspetti più significativi del modello sponge riguarda la possibilità di trasformare gli spazi aperti urbani in dispositivi multifunzionali in grado di svolgere contemporaneamente funzioni ecologiche, ricreative e di gestione delle acque meteoriche. Parchi urbani, piazze, corridoi fluviali, aree agricole periurbane e spazi residuali possono diventare elementi attivi nella regolazione del ciclo dell'acqua, contribuendo alla laminazione delle piene, all'infiltrazione delle acque e alla mitigazione delle isole di calore urbane.

In questo scenario, il progetto di paesaggio assume un ruolo strategico nella costruzione di reti blu-verdi integrate capaci di riconnettere gli ecosistemi frammentati e incrementare la resilienza urbana. Le infrastrutture blu-verdi non rappresentano soltanto sistemi tecnici di gestione delle acque, ma configurano nuovi spazi pubblici adattivi, capaci di evolvere nel tempo in relazione alle dinamiche climatiche e ambientali. La multifunzionalità diviene quindi uno dei principi fondamentali del progetto contemporaneo: lo stesso spazio può svolgere funzioni ecologiche, idrauliche, sociali e paesaggistiche.

Nel contesto italiano, caratterizzato da una forte presenza di aree urbanizzate marginali, spazi residuali e corridoi infrastrutturali, il paradigma della città spugna può inoltre costituire un'importante opportunità di rigenerazione territoriale. Molti ambiti degradati o sottoutilizzati — aree industriali dismesse, margini fluviali artificializzati, parcheggi impermeabilizzati, spazi interclusi — possono essere reinterpretati come infrastrutture ecologiche diffuse capaci di migliorare contemporaneamente la qualità ambientale e la vivibilità urbana.

Particolarmente rilevante è il ruolo dei sistemi fluviali urbani e periurbani. Per lungo tempo, molti corsi d'acqua italiani sono stati progressivamente canalizzati, artificializzati o marginalizzati rispetto allo sviluppo urbano. Il paradigma della città spugna propone invece una riattivazione ecologica del rapporto tra città e acqua, attraverso processi di rinaturalizzazione degli alvei, ampliamento delle fasce perfluviali e recupero delle aree di esondazione naturale. In questa prospettiva, i fiumi e i torrenti tornano a essere elementi strutturanti del paesaggio urbano e non semplici infrastrutture tecniche di smaltimento idraulico.

Un ulteriore elemento di interesse riguarda i benefici climatici ed ecosistemici associati alle infrastrutture verdi. L'aumento delle superfici permeabili e vegetate contribuisce infatti alla riduzione delle temperature urbane attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione, migliorando il comfort microclimatico e contrastando il fenomeno delle isole di calore urbane. Parallelamente, la

presenza di vegetazione e suolo permeabile favorisce la biodiversità urbana e migliora la qualità dell'aria e delle acque.

Da un punto di vista sociale, la città spugna offre inoltre l'opportunità di ridefinire il rapporto tra cittadini e spazio pubblico. Gli spazi progettati secondo logiche adattive e multifunzionali possono diventare luoghi di relazione, educazione ambientale e consapevolezza ecologica. L'acqua, anziché essere nascosta all'interno di reti tecniche invisibili, torna a essere un elemento leggibile e integrato nell'esperienza quotidiana della città.

In questo senso, il progetto di paesaggio assume una funzione culturale oltre che tecnica. Come sottolinea James Corner, il paesaggio contemporaneo non deve essere interpretato come forma statica, ma come processo dinamico capace di integrare temporalità, ecologia e trasformazione urbana. Analogamente, Charles Waldheim individua nel Landscape urbanism un approccio in grado di superare la tradizionale separazione tra urbanistica e processi ecologici, attribuendo al paesaggio il ruolo di infrastruttura primaria della città contemporanea.

Nel contesto dell'Antropocene, queste riflessioni assumono una rilevanza ancora maggiore. Il progetto di paesaggio non si limita più alla composizione estetica dello spazio, ma diviene strumento operativo per affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico, dalla crisi ecologica e dalla crescente vulnerabilità urbana. La città spugna rappresenta quindi non soltanto un modello tecnico di gestione delle acque, ma un paradigma culturale capace di ridefinire il rapporto tra ambiente, infrastruttura e progetto urbano.

8.5 Verso un modello italiano di città spugna

L'analisi delle specificità territoriali, climatiche e normative del contesto italiano evidenzia come il paradigma della città spugna non possa essere trasferito in maniera diretta dai modelli sviluppati in Cina o in altri contesti internazionali. Le profonde differenze morfologiche, insediative e culturali richiedono infatti una reinterpretazione critica del modello, capace di adattarne i principi alle caratteristiche del paesaggio mediterraneo e della città europea storica.

Le esperienze cinesi di Sponge City si sviluppano prevalentemente all'interno di sistemi urbani di grande scala, caratterizzati da forte espansione contemporanea, ampia disponibilità di spazi trasformabili e governance centralizzate capaci di attuare interventi estesi e coordinati. Al contrario, il territorio italiano è caratterizzato da una struttura urbana policentrica, da tessuti storici consolidati

e da una frammentazione amministrativa che rende più complessa l'attuazione di strategie sistemiche di ampia scala.

Per questo motivo, il modello italiano di città spugna non può basarsi esclusivamente su grandi interventi infrastrutturali, ma deve svilupparsi attraverso una rete diffusa di dispositivi integrati e adattivi capaci di operare a differenti scale territoriali. In questa prospettiva, la resilienza urbana non deriva da un'unica grande infrastruttura di controllo, ma dalla sommatoria di molteplici interventi distribuiti nel territorio: superfici permeabili, parchi allagabili, corridoi ecologici, sistemi di drenaggio sostenibile, rinaturalizzazione dei corsi d'acqua e recupero delle aree agricole periurbane.

Nel contesto mediterraneo assume inoltre particolare importanza il tema della variabilità climatica. La crescente alternanza tra eventi estremi di precipitazione e lunghi periodi di siccità rende necessario un approccio integrato che non si limiti alla sola gestione delle piene, ma che includa anche strategie di accumulo, riuso e conservazione della risorsa idrica. In questo senso, il paradigma sponge può essere reinterpretato non soltanto come modello di drenaggio urbano sostenibile, ma come sistema territoriale di adattamento climatico fondato sulla capacità del paesaggio di trattenere, rallentare e redistribuire l'acqua nel tempo.

All'interno di questa prospettiva, il paesaggio assume un ruolo centrale. Il modello italiano di città spugna deve necessariamente fondarsi sulla valorizzazione delle infrastrutture ecologiche esistenti — sistemi fluviali, reti agricole, spazi aperti periurbani, aree umide residuali — integrandole all'interno dei processi di pianificazione urbana e territoriale. Il paesaggio diviene così infrastruttura resiliente, capace di connettere dimensione ecologica, sicurezza idraulica e qualità dello spazio abitato.

Particolarmente significativa appare la possibilità di sviluppare una “città spugna diffusa”, fondata non su interventi isolati ma su reti territoriali integrate. In un paese caratterizzato da urbanizzazione dispersa e frammentazione insediativa come l'Italia, la resilienza climatica dipende infatti dalla capacità di costruire continuità ecologiche e idrologiche tra città, aree agricole e sistemi naturali. Ciò implica il superamento della tradizionale separazione tra urbanistica, infrastruttura e paesaggio, promuovendo una visione sistemica del territorio.

In questo quadro, il progetto di paesaggio può assumere un ruolo di mediazione tra esigenze ecologiche, dinamiche insediative e trasformazioni climatiche. Come sottolinea Gilles Clément, il paesaggio contemporaneo deve essere interpretato come sistema vivente in continua evoluzione, capace di accogliere l'incertezza e la trasformazione piuttosto che opporsi rigidamente ai processi naturali. Analogamente, Kongjian Yu propone un approccio ecologico e adattivo al progetto urbano

fondato sul principio della “sponge landscape”, in cui il territorio viene concepito come organismo capace di assorbire e metabolizzare le dinamiche dell’acqua.

In questa prospettiva, la città spugna non rappresenta semplicemente un insieme di tecnologie per la gestione delle acque meteoriche, ma un nuovo paradigma culturale del progetto urbano e territoriale. L’obiettivo non è eliminare completamente il rischio idraulico attraverso il controllo totale dei processi naturali — obiettivo ormai irrealistico nell’Antropocene — ma costruire paesaggi adattivi capaci di convivere con l’incertezza climatica e di incrementare la resilienza ecologica dei territori.

Il contesto italiano, proprio in virtù della sua fragilità geomorfologica e della sua complessità paesaggistica, può diventare un laboratorio privilegiato per la sperimentazione di una reinterpretazione mediterranea della città spugna. In tale scenario, il paesaggio non costituisce un elemento accessorio della pianificazione, ma diviene la struttura portante attraverso cui integrare acqua, suolo, ecologia e progetto urbano all’interno di una nuova cultura dell’adattamento climatico.

PARTE III – DAL PARADIGMA AL PROGETTO: IL CASO DEL TORRENTE LEOGRA

La terza parte della ricerca costituisce una verifica applicativa dei temi affrontati nelle sezioni precedenti. Le problematiche legate al cambiamento climatico, all'impermeabilizzazione del suolo, alla vulnerabilità degli insediamenti urbani e ai principi della città spugna vengono qui reinterpretate attraverso il caso studio del torrente Leogra, nell'Alto Vicentino. Il passaggio dalla dimensione teorica a quella progettuale rappresenta quindi un momento centrale del lavoro, nel quale tali concetti vengono confrontati con le condizioni territoriali locali, le criticità ambientali esistenti e i vincoli di pianificazione.

Il torrente Leogra costituisce un caso emblematico di trasformazione del rapporto tra corso d'acqua e insediamento. La progressiva industrializzazione e urbanizzazione del territorio ha determinato interventi di regimentazione e artificializzazione che hanno ridotto la naturalità dell'alveo e la capacità di autoregolazione del sistema idraulico. Allo stesso tempo, la presenza di spazi residuali, aree produttive dismesse e ambiti agricoli periurbani offre opportunità per una riattivazione ecologica e paesaggistica del sistema fluviale.

In questa prospettiva, il torrente non viene considerato esclusivamente come elemento idraulico, ma come una infrastruttura paesaggistica multifunzionale capace di connettere spazi urbani, aree agricole, sistemi ecologici e possibili dispositivi di gestione delle acque meteoriche. Il corridoio fluviale assume pertanto il ruolo di struttura portante per la costruzione di relazioni ecologiche e territoriali a scala locale.

Questa parte sviluppa una lettura integrata del sistema acqua-suolo-insediamento, finalizzata all'individuazione delle principali vulnerabilità territoriali e delle potenzialità di trasformazione. L'analisi non si basa su modellazioni idrologiche o idrauliche quantitative, ma su una lettura paesaggistica del territorio che considera le superfici impermeabilizzate, gli spazi aperti, le aree di margine e le opportunità di connessione ecologica presenti lungo il corso del Leogra. Gli scenari progettuali proposti delineano una strategia multiscalare che potrebbe contribuire ad aumentare la resilienza territoriale rispetto agli eventi meteorici estremi, favorire un miglioramento qualitativo delle condizioni ecologiche e supportare la generazione di benefici sociali ed economici. In tal modo, il paradigma della città spugna viene reinterpretato come possibile strumento di rigenerazione territoriale e come riferimento metodologico applicabile anche ad altri contesti caratterizzati da problematiche analoghe. La proposta intende offrire un contributo alla riflessione sul ruolo della gestione paesaggistica delle acque nei processi di adattamento climatico contemporanei.

CAPITOLO 9. SCENARI PROGETTUALI E PROSPETTIVE FUTURE

Dopo aver definito il quadro teorico, metodologico e critico relativo al paradigma della città spugna, la ricerca si orienta verso una dimensione maggiormente operativa e progettuale. La costruzione di scenari progettuali rappresenta il momento di sintesi tra i temi affrontati nelle sezioni precedenti – cambiamento climatico, impermeabilizzazione del suolo, vulnerabilità urbana e Nature-Based Solutions – e la loro possibile applicazione a contesti territoriali specifici. Gli scenari proposti non costituiscono modelli prescrittivi, ma strumenti interpretativi attraverso cui esplorare strategie di adattamento climatico e rigenerazione paesaggistica.

Nel contesto contemporaneo, caratterizzato da crescente vulnerabilità idraulica, impermeabilizzazione diffusa e crisi ecologica urbana, il progetto di paesaggio assume un ruolo strategico nella definizione di modelli urbani resilienti. Gli scenari progettuali non devono essere interpretati come soluzioni rigide o definitive, ma come sistemi adattivi capaci di evolvere nel tempo in relazione alle trasformazioni climatiche, ecologiche e sociali.

L'obiettivo principale consiste nella costruzione di un'infrastruttura paesaggistica integrata capace di connettere gestione delle acque, continuità ecologica, qualità dello spazio pubblico e resilienza ambientale. In questa prospettiva, il paradigma della città spugna diventa uno strumento operativo per ridefinire il rapporto tra città e processi naturali, promuovendo una nuova cultura dell'acqua e del paesaggio urbano.

9.1 Obiettivi e principi guida della proposta progettuale

La proposta progettuale si fonda sull'idea che il paesaggio possa costituire la principale infrastruttura resiliente della città contemporanea. L'obiettivo non consiste esclusivamente nella riduzione del rischio idraulico, ma nella costruzione di un sistema territoriale multifunzionale capace di integrare funzioni ecologiche, climatiche, sociali e paesaggistiche.

Uno dei principali obiettivi riguarda il possibile ripristino della permeabilità urbana attraverso la riduzione delle superfici impermeabili e il miglioramento delle capacità di infiltrazione del suolo. La progressiva artificializzazione del territorio ha infatti compromesso il funzionamento naturale del ciclo idrologico urbano, aumentando il deflusso superficiale e la vulnerabilità agli eventi meteorologici estremi. Il progetto propone strategie volte a favorire relazioni più equilibrate tra acqua, suolo e urbanizzazione.

Un secondo obiettivo riguarda il rafforzamento della continuità ecologica e delle infrastrutture blu-verdi. Attraverso la connessione tra sistemi fluviali, spazi aperti, aree vegetate e corridoi ecologici, il progetto potrebbe contribuire all'incremento della biodiversità urbana e al miglioramento delle condizioni ambientali del territorio. Le reti ecologiche assumono in questo senso una funzione fondamentale non solo dal punto di vista naturalistico, ma anche come dispositivi climatici e paesaggistici.

La proposta progettuale si fonda inoltre sul principio della multifunzionalità dello spazio urbano. Parchi, piazze, percorsi verdi e sistemi idrici vengono concepiti come dispositivi capaci di svolgere simultaneamente funzioni ricreative, ecologiche, idrologiche e climatiche. Lo spazio pubblico non rappresenta quindi soltanto luogo di socialità, ma anche infrastruttura adattiva per la gestione delle acque meteoriche e la mitigazione climatica.

Particolare attenzione viene rivolta al tema dell'adattamento climatico. Gli scenari progettuali sono orientati a individuare strategie che potrebbero contribuire alla riduzione della vulnerabilità urbana rispetto agli effetti del cambiamento climatico attraverso strategie basate sulla natura, incremento delle superfici vegetate e sistemi diffusi di drenaggio sostenibile. La presenza di vegetazione e acqua contribuisce alla mitigazione delle isole di calore urbane, al miglioramento del microclima e alla costruzione di ambienti urbani maggiormente resilienti.

Dal punto di vista metodologico, il progetto assume un approccio multiscalare e processuale. Le strategie non vengono applicate esclusivamente alla scala del singolo spazio pubblico, ma si articolano tra scala territoriale, urbana e locale, riconoscendo l'interdipendenza tra dinamiche ecologiche, idrologiche e insediative. Il progetto viene inoltre interpretato come sistema aperto e adattivo, capace di evolvere nel tempo piuttosto che come configurazione rigida e definitiva.

9.2 Strategie di intervento multiscalare

L'efficacia del paradigma della città spugna dipende dalla capacità di costruire strategie integrate capaci di operare simultaneamente a differenti scale territoriali. Il progetto non può infatti limitarsi a interventi puntuali o isolati, ma deve configurarsi come rete sistemica di dispositivi ecologici e infrastrutturali in grado di connettere spazio urbano, sistemi ambientali e gestione delle acque.

Alla scala territoriale, le strategie progettuali riguardano principalmente il rafforzamento delle infrastrutture ecologiche e dei sistemi idrografici. Fiumi, canali, aree agricole periurbane e spazi naturali residuali vengono reinterpretati come elementi strutturanti della resilienza territoriale. La

rinaturalizzazione dei corsi d'acqua, l'ampliamento delle fasce perifluviali e il recupero delle aree di esondazione naturale potrebbero contribuire ad aumentare la capacità del territorio di assorbire e rallentare le acque meteoriche.

Alla scala urbana, il progetto si concentra sulla costruzione di reti blu-verdi integrate capaci di connettere spazi aperti, parchi urbani, corridoi ecologici e sistemi di drenaggio sostenibile. Le infrastrutture verdi assumono una funzione strategica nella regolazione climatica e nella gestione diffusa delle acque meteoriche, contribuendo contemporaneamente alla qualità paesaggistica e alla fruibilità dello spazio pubblico.

Particolare importanza assumono gli interventi diffusi di de-impermeabilizzazione urbana. La sostituzione di superfici asfaltate con materiali drenanti e permeabili potrebbe favorire un incremento della capacità di infiltrazione del suolo e una riduzione del runoff superficiale. Tali strategie possono essere applicate a parcheggi, percorsi pedonali, piazze e aree residuali, contribuendo alla costruzione di una città maggiormente adattiva.

Alla scala locale, il progetto introduce dispositivi sponge capaci di gestire le acque direttamente nei luoghi in cui esse si generano. Rain gardens, bioswales, wetlands urbane e sistemi di raccolta delle acque meteoriche sono concepiti per favorire il rallentamento del deflusso, la filtrazione degli inquinanti e i processi naturali di infiltrazione.

Le piazze allagabili e i parchi di laminazione rappresentano esempi particolarmente significativi di questa logica progettuale. In tali spazi, le funzioni sociali e ricreative si integrano con la gestione temporanea delle acque durante eventi meteorologici estremi, trasformando lo spazio pubblico in infrastruttura adattiva multifunzionale.

L'approccio multiscalare consente quindi di superare la tradizionale separazione tra pianificazione territoriale, infrastrutture tecniche e progetto di paesaggio, promuovendo una visione integrata della resilienza urbana.

9.3 Linee guida paesaggistiche e dispositivi spugna

Le linee guida progettuali derivano dalla necessità di costruire paesaggi urbani capaci di integrare processi ecologici, gestione idrologica e qualità spaziale. Il progetto di paesaggio assume quindi una funzione operativa fondamentale nella costruzione della città resiliente contemporanea.

Uno dei principi guida principali riguarda la massimizzazione della permeabilità urbana attraverso l'utilizzo di superfici drenanti, pavimentazioni permeabili e suoli vegetati. Il mantenimento della capacità filtrante del suolo rappresenta infatti un elemento che potrebbe contribuire alla mitigazione dei fenomeni di allagamento e ristabilire il funzionamento del ciclo idrologico naturale.

Un secondo principio riguarda la valorizzazione della vegetazione come infrastruttura climatica ed ecologica. Alberature urbane, fasce vegetate e sistemi verdi lineari possono contribuire alla biodiversità urbana e favorire la mitigazione delle temperature locali attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione.

Tra i principali dispositivi sponge utilizzati assumono particolare importanza:

- rain gardens;
- bioswales;
- wetlands urbane;
- bacini di laminazione;
- pavimentazioni drenanti;
- tetti verdi;
- parchi allagabili;
- sistemi di raccolta e riuso delle acque meteoriche.

Tali dispositivi non vengono concepiti come elementi tecnici isolati, ma come componenti integrate del paesaggio urbano. La gestione dell'acqua diventa quindi parte dell'esperienza dello spazio pubblico e contribuisce alla costruzione di nuove estetiche ecologiche del paesaggio contemporaneo.

Le linee guida progettuali promuovono inoltre il principio della naturalità controllata, attraverso l'integrazione di processi spontanei e progettazione antropica. Il paesaggio urbano viene interpretato come sistema dinamico capace di evolvere nel tempo in relazione alle trasformazioni climatiche e ambientali.

9.4 Benefici ambientali, sociali ed economici

L'applicazione del paradigma della città spugna produce benefici che coinvolgono simultaneamente dimensioni ambientali, sociali ed economiche. La multifunzionalità delle infrastrutture blu-verdi consente infatti di affrontare differenti problematiche urbane attraverso un approccio integrato.

Dal punto di vista ambientale, le strategie sponge potrebbero contribuire alla riduzione del rischio idraulico attraverso l'incremento della capacità di infiltrazione e laminazione delle acque meteoriche. La presenza diffusa di vegetazione può contribuire al miglioramento della qualità dell'aria, può favorire l'incremento della biodiversità urbana e potrebbe contribuire alla mitigazione delle isole di calore.

I benefici climatici risultano particolarmente rilevanti nel contesto del cambiamento climatico contemporaneo. Processi di evapotraspirazione e ombreggiamento possono favorire un miglioramento del comfort microclimatico e ridurre gli effetti delle ondate di calore nei contesti urbanizzati.

Dal punto di vista sociale, gli spazi pubblici progettati secondo logiche sponge possono favorire inclusione, accessibilità e qualità urbana. Parchi, percorsi verdi e sistemi idrici urbani diventano luoghi di relazione e benessere collettivo, contribuendo al rafforzamento del rapporto tra cittadini e ambiente.

Anche i benefici economici assumono una rilevanza significativa. La riduzione dei danni causati dagli eventi alluvionali, il miglioramento della qualità ambientale e l'incremento dell'attrattività urbana potrebbero contribuire a una diminuzione dei costi di gestione territoriale e un possibile incremento del valore immobiliare delle aree interessate.

In questa prospettiva, la città spugna non rappresenta soltanto una strategia ambientale, ma un modello integrato di rigenerazione urbana e territoriale.

9.5 Limiti del modello e sviluppi futuri

Nonostante le potenzialità offerte dal paradigma della città spugna, la sua applicazione presenta ancora numerose criticità e limiti operativi. Uno dei principali ostacoli riguarda la difficoltà di integrare approcci ecologici e infrastrutturali all'interno di sistemi amministrativi spesso frammentati e caratterizzati da competenze settoriali separate.

Nel contesto italiano, la presenza di tessuti urbani storici consolidati e di elevata densità insediativa limita frequentemente la possibilità di realizzare interventi estesi di de-impermeabilizzazione o rinaturalizzazione. Ciò richiede strategie maggiormente adattive e diffuse, capaci di operare attraverso piccoli interventi integrati piuttosto che mediante grandi trasformazioni infrastrutturali.

Ulteriori criticità riguardano la manutenzione e la gestione nel lungo periodo delle infrastrutture verdi e dei dispositivi sponge. A differenza delle infrastrutture tradizionali, tali sistemi richiedono monitoraggio continuo, manutenzione ecologica e capacità di adattamento nel tempo.

Dal punto di vista culturale, risulta inoltre necessario superare una concezione ancora fortemente tecnicista della gestione delle acque urbane. La costruzione di città resilienti richiede infatti approcci interdisciplinari capaci di integrare urbanistica, ecologia, paesaggio e gestione ambientale.

Le prospettive future del paradigma sponge appaiono comunque particolarmente rilevanti nel contesto dell'Antropocene e della crisi climatica contemporanea. Lo sviluppo di infrastrutture blu-verdi, Nature-Based Solutions e sistemi di drenaggio sostenibile rappresenta una delle principali direzioni attraverso cui il progetto urbano contemporaneo può affrontare le sfide ambientali future.

In questa prospettiva, il paesaggio assume un ruolo sempre più centrale come infrastruttura resiliente e dispositivo adattivo capace di integrare acqua, ecologia e spazio urbano all'interno di una nuova cultura del progetto contemporaneo (Tabella 13).

Strategia progettuale	Obiettivo principale	Benefici ambientali	Benefici paesaggistici e sociali
Rain gardens	Infiltrazione delle acque meteoriche	Riduzione del deflusso superficiale e miglioramento della qualità delle acque	Incremento della biodiversità e qualità dello spazio pubblico
Fasce vegetate ripariali	Protezione dei corsi d'acqua	Riduzione dell'erosione e filtrazione degli inquinanti	Rafforzamento della continuità ecologica
Pavimentazioni permeabili	Riduzione dell'impermeabilizzazione	Aumento dell'infiltrazione e ricarica della falda	Migliore integrazione degli spazi urbani
Bacini di laminazione naturale	Mitigazione delle piene	Riduzione dei picchi di portata	Creazione di habitat e spazi multifunzionali
Zone umide e aree di espansione controllata	Gestione delle acque in eccesso	Incremento dei servizi ecosistemici	Valorizzazione paesaggistica del territorio

Corridoi ecologici blu-verdi	Connessione ecologica e resilienza	Miglioramento della biodiversità e della qualità ambientale	Rafforzamento dell'identità territoriale e della fruibilità
------------------------------	------------------------------------	---	---

Tabella 13 - Relazione tra strategie progettuali e benefici attesi

Nel caso del torrente Leogra, affrontato nella prossima parte ovvero la applicativa della ricerca, tali strategie vengono interpretate come scenari progettuali di carattere qualitativo e territoriale. Le ipotesi formulate non derivano da simulazioni idrologiche o verifiche quantitative delle prestazioni attese, ma da una lettura integrata delle relazioni tra acqua, suolo e insediamento, finalizzata all'individuazione di possibili traiettorie di adattamento e rigenerazione paesaggistica.

CAPITOLO 10. IL TORRENTE LEOGRA A SCHIO COME CASO STUDIO: ACQUA, SUOLO E PROGETTO DI PAESAGGIO

Il torrente Leogra rappresenta una delle principali strutture ambientali e territoriali della città di Schio. La sua presenza ha storicamente condizionato lo sviluppo economico, produttivo e urbano del territorio, contribuendo alla costruzione dell'identità industriale dell'Alto Vicentino. Nel corso dei secoli il rapporto tra città e corso d'acqua si è però progressivamente modificato: da elemento generatore del paesaggio e risorsa ecologica fondamentale, il torrente è stato trasformato in infrastruttura tecnica sottoposta a processi di artificializzazione, canalizzazione e marginalizzazione urbana.

La crescita industriale del Novecento e la successiva espansione urbana hanno profondamente alterato il funzionamento naturale del sistema acqua-suolo. L'impermeabilizzazione diffusa delle superfici, la riduzione delle aree perfluviali naturali e la frammentazione ecologica hanno contribuito ad aumentare la vulnerabilità idraulica e climatica del territorio urbano di Schio. Parallelamente, il Leogra ha progressivamente perso il proprio ruolo di spazio pubblico e infrastruttura paesaggistica, diventando spesso elemento residuale all'interno della struttura urbana contemporanea.

Il caso studio assume quindi particolare rilevanza poiché consente di applicare i principi della città spugna a un contesto reale caratterizzato da criticità ambientali, idrauliche e paesaggistiche tipiche delle città contemporanee. Il progetto proposto non si limita alla gestione tecnica delle acque meteoriche, ma esplora la possibilità di costruire una infrastruttura ecologica e paesaggistica orientata all'integrazione tra adattamento climatico, rigenerazione territoriale e qualità urbana.

L'obiettivo della ricerca consiste nel reinterpretare il torrente Leogra come struttura territoriale strategica, capace di ricostruire relazioni tra acqua, suolo, vegetazione e spazio pubblico. Attraverso l'introduzione di dispositivi sponge, Nature-Based Solutions e infrastrutture blu-verdi, il progetto propone una nuova modalità di integrazione tra processi naturali e sistema urbano, ponendo il paesaggio al centro delle strategie di resilienza climatica.

Dal punto di vista metodologico, il caso studio non si basa su modellazioni idrologiche o idrauliche quantitative del torrente Leogra. L'analisi è stata sviluppata attraverso una lettura integrata del sistema acqua-suolo-insediamento, finalizzata all'individuazione delle principali criticità territoriali, delle superfici impermeabilizzate, degli spazi aperti disponibili e delle potenzialità di connessione ecologica presenti lungo il corridoio fluviale. Le strategie proposte assumono pertanto carattere qualitativo e progettuale e sono orientate alla costruzione di scenari di adattamento climatico coerenti con il paradigma della città spugna.

10.1 Inquadramento territoriale e ambientale del torrente Leogra a Schio

Il torrente Leogra attraversa il territorio di Schio configurandosi come asse ambientale, ecologico e paesaggistico fondamentale per la struttura urbana e territoriale della città. Inserito nel sistema vallivo dell'Alto Vicentino, il corso d'acqua connette ambiti montani, aree agricole e tessuti urbanizzati, svolgendo un ruolo strategico nella costruzione della rete ecologica locale (Figura 24).

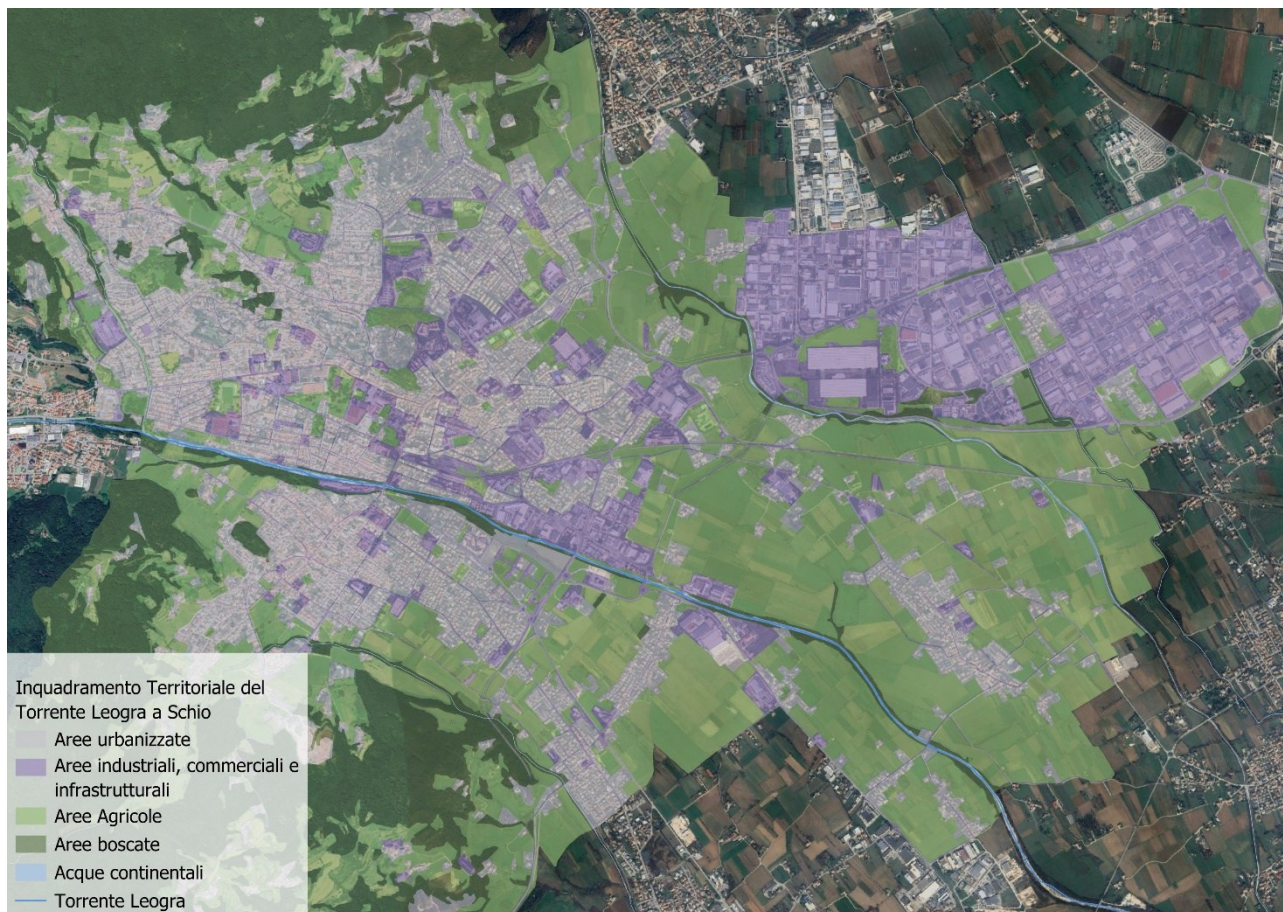


Figura 24 - Inquadramento Territoriale del Torrente Leogra a Schio: il Torrente Leogra attraversa il territorio di Schio in direzione nord-est / sud-ovest, connettendo il sistema pedemontano con la pianura veneta e presentando forti pressioni insediative lungo il suo percorso. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

La morfologia del territorio evidenzia una forte relazione tra sistema idrografico e sviluppo urbano. Storicamente gli insediamenti si sono sviluppati in prossimità del torrente sfruttando la presenza dell'acqua per attività agricole e manifatturiere. Questa relazione ha progressivamente determinato la costruzione di un paesaggio urbano fortemente caratterizzato dalla presenza dell'industria e delle infrastrutture produttive.

Dal punto di vista ambientale, il tratto urbano del Leogra attraversa contesti estremamente eterogenei: aree residenziali consolidate, sistemi industriali, infrastrutture viarie, spazi residuali e frammenti di vegetazione perifluviale. Tale condizione rende il torrente una vera e propria

infrastruttura territoriale complessa, all'interno della quale convivono dinamiche ecologiche e pressioni antropiche.

Uno degli aspetti più rilevanti riguarda la progressiva impermeabilizzazione del suolo urbano. L'espansione edilizia e infrastrutturale ha ridotto drasticamente la capacità di infiltrazione naturale del territorio, alterando il ciclo idrologico e aumentando la velocità di deflusso delle acque meteoriche. Questa condizione può contribuire ad amplificare i fenomeni di vulnerabilità idraulica durante eventi meteorologici particolarmente intensi.

Nonostante le trasformazioni subite, il Leogra conserva ancora importanti potenzialità ecologiche e paesaggistiche. In alcuni tratti sono presenti fasce vegetate, spazi aperti residuali e aree permeabili che potrebbero costituire la base per future strategie di rigenerazione ecologica, connessione paesaggistica e adattamento climatico.

Il torrente rappresenta quindi non soltanto un elemento naturale, ma una vera infrastruttura paesaggistica capace di connettere differenti sistemi urbani e ambientali. In questa prospettiva il corridoio fluviale assume una funzione multifunzionale che supera la sola dimensione idraulica.

Esso può infatti essere interpretato come elemento di connessione tra spazi urbani, aree agricole, sistemi ecologici e possibili dispositivi di gestione delle acque meteoriche, contribuendo alla costruzione di una rete territoriale integrata capace di supportare processi di adattamento climatico e valorizzazione paesaggistica. La sua riqualificazione assume pertanto un ruolo strategico nella costruzione di nuovi modelli di resilienza urbana per la città di Schio.

10.2 Evoluzione storica del rapporto tra il torrente e la città di Schio

Il rapporto tra il torrente Leogra e la città di Schio si sviluppa storicamente attraverso una relazione di stretta interdipendenza tra acqua, produzione e insediamento urbano. Fin dalle epoche preindustriali, il corso d'acqua ha rappresentato una risorsa fondamentale per il territorio, contribuendo allo sviluppo delle attività agricole e manifatturiere.

Durante il periodo preindustriale, il Leogra costituiva un elemento strutturante del paesaggio vallivo. L'acqua veniva utilizzata per irrigazione, attività artigianali e funzionamento di mulini e opifici. Gli insediamenti si sviluppavano generalmente mantenendo una relazione diretta con il sistema fluviale e adattandosi alle dinamiche naturali del territorio.

Con l'avvento della rivoluzione industriale, il rapporto tra città e torrente cambia radicalmente. Schio si trasforma progressivamente in uno dei principali poli industriali del Veneto, e il Leogra assume un ruolo centrale nello sviluppo produttivo della città. Le industrie tessili e manifatturiere si localizzano lungo il corso d'acqua sfruttando l'energia idraulica e la disponibilità della risorsa idrica.

Questo processo determina profonde trasformazioni del paesaggio fluviale. Il torrente viene progressivamente regimentato e canalizzato per rispondere alle esigenze produttive e infrastrutturali della città industriale. Le fasce perifluviali vengono progressivamente occupate da edifici, infrastrutture e superfici impermeabili, determinando una progressiva riduzione degli spazi naturali associati al sistema fluviale.

Nel secondo dopoguerra, l'espansione urbana accelera ulteriormente tali processi. La crescita residenziale e infrastrutturale determina una crescente artificializzazione del territorio e una progressiva marginalizzazione del torrente all'interno del tessuto urbano contemporaneo. In molti tratti il Leogra perde il proprio ruolo di spazio pubblico e componente identitaria del paesaggio urbano.

L'evoluzione storica del rapporto tra Schio e il Leogra riflette quindi un cambiamento culturale più ampio nel rapporto tra città e acqua. Il paradigma moderno tende, infatti, a considerare il corso d'acqua principalmente come infrastruttura tecnica da controllare attraverso opere ingegneristiche, riducendo progressivamente la capacità del territorio di convivere con le dinamiche naturali del sistema idrologico.

Oggi, alla luce delle sfide climatiche contemporanee, emerge l'opportunità di ricostruire una nuova relazione tra città e torrente, fondata su principi di resilienza ecologica e adattamento ambientale.

10.3 Processi di artificializzazione e criticità attuali

Il tratto urbano del torrente Leogra a Schio evidenzia numerose criticità derivanti dai processi di industrializzazione e urbanizzazione che hanno interessato il territorio nel corso del Novecento. La progressiva artificializzazione del sistema acqua-suolo ha contribuito a modificare il funzionamento ecologico e idrologico del torrente, favorendo condizioni di maggiore vulnerabilità ambientale nel contesto urbano. (Figura 25).

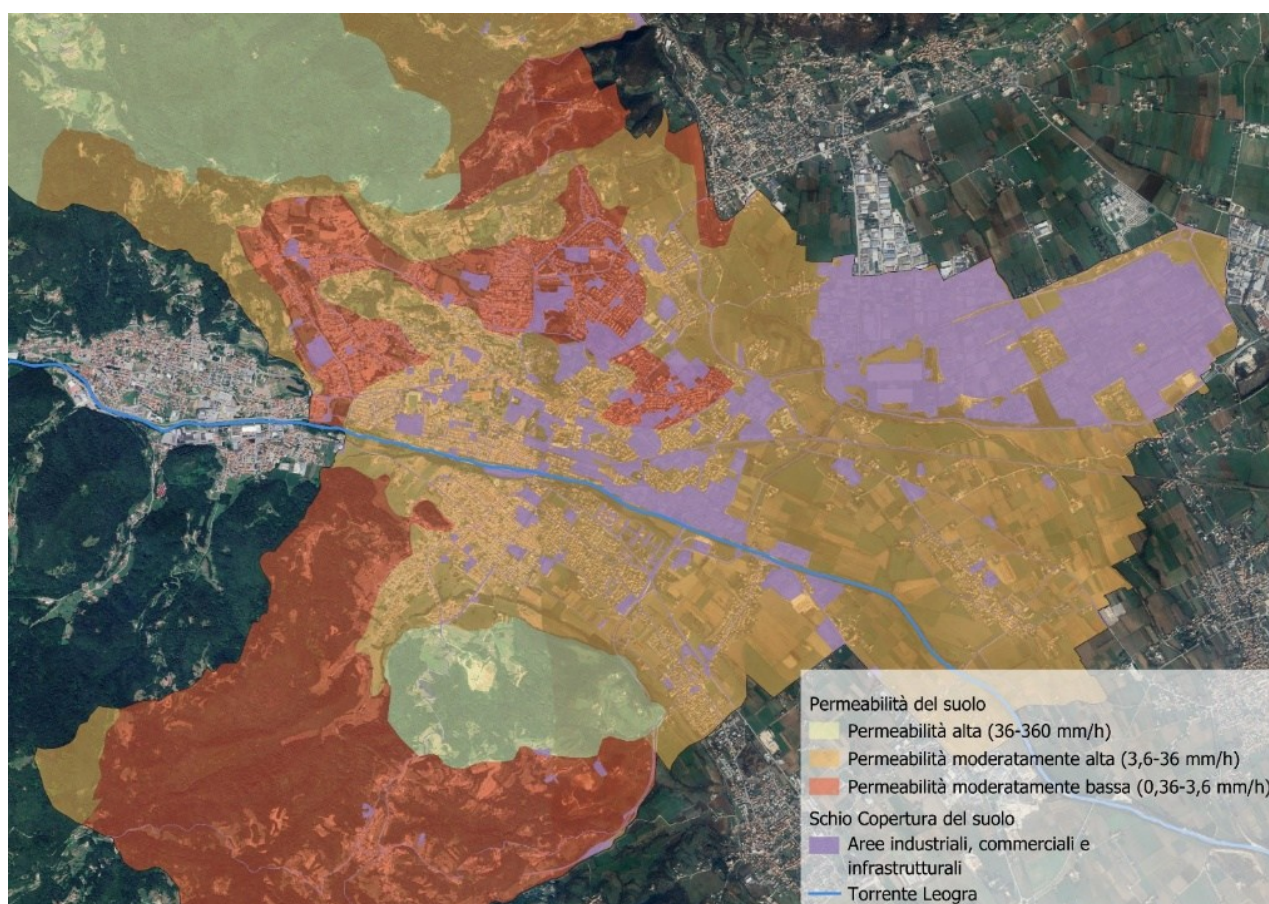


Figura 25 - Criticità idrauliche ed ecologiche: analisi della permeabilità delle aree. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

Una delle problematiche principali riguarda la forte impermeabilizzazione delle superfici urbane. La sostituzione del suolo naturale con asfalto, cemento e superfici costruite ha progressivamente ridotto la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche, determinando un aumento significativo del deflusso superficiale. Durante eventi piovosi particolarmente intensi, la crescente impermeabilizzazione del territorio può determinare maggiori pressioni sui sistemi di drenaggio urbano.

Parallelamente, il torrente ha subito profonde trasformazioni morfologiche. Canalizzazioni, arginature artificiali e rettificazioni dell'alveo hanno limitato la naturale dinamica fluviale e ridotto la capacità del sistema di adattarsi alle variazioni idrologiche. La presenza di opere rigide di contenimento ha inoltre compromesso il rapporto tra alveo e aree periferuali.

Dal punto di vista ecologico, il sistema del Leogra risulta oggi fortemente frammentato. Le infrastrutture viarie, le aree produttive e l'urbanizzazione diffusa interrompono la continuità ecologica del corridoio fluviale, limitando la biodiversità e riducendo la resilienza ambientale del territorio.

Particolarmente significativa è la perdita di relazione tra il torrente e lo spazio pubblico urbano. In molti tratti il Leogra risulta fisicamente e percettivamente separato dalla città, configurandosi come spazio marginale o residuale. Tale condizione contribuisce alla riduzione della qualità paesaggistica e alla perdita di identità ambientale del sistema fluviale.

Le criticità risultano ulteriormente aggravate dagli effetti del cambiamento climatico. L'aumento della frequenza di precipitazioni intense e fenomeni meteorologici estremi amplifica infatti il rischio idraulico e mette in evidenza i limiti delle infrastrutture tradizionali di gestione delle acque.

In questo contesto, emerge l'opportunità di sviluppare strategie integrate capaci di superare un approccio esclusivamente tecnico alla gestione idraulica, promuovendo una reinterpretazione ecologica e paesaggistica del sistema fluviale urbano.

10.4 Lettura paesaggistica del sistema acqua–suolo

L'interpretazione paesaggistica del torrente Leogra consente di leggere il sistema acqua–suolo come infrastruttura ecologica e territoriale fondamentale per la città di Schio. Il paesaggio fluviale non viene considerato esclusivamente come elemento naturale o tecnico, ma come sistema dinamico risultante dall'interazione continua tra processi ecologici e trasformazioni antropiche.

La presente analisi non assume carattere idrologico quantitativo, ma si fonda su una lettura paesaggistica del sistema acqua–suolo–insediamento. L'obiettivo è individuare relazioni spaziali, criticità territoriali e potenzialità di trasformazione utili alla costruzione di scenari progettuali coerenti con il paradigma della città spugna.

La lettura del territorio evidenzia una forte frammentazione spaziale ed ecologica. Accanto a tratti fortemente artificializzati persistono tuttavia spazi aperti residuali, fasce vegetate e sistemi permeabili che conservano importanti potenzialità di riattivazione ambientale.

Il rapporto tra acqua e suolo assume un ruolo centrale nell'interpretazione progettuale. L'impermeabilizzazione diffusa del territorio ha alterato profondamente il ciclo idrologico urbano, riducendo la capacità del suolo di assorbire e trattenere le acque meteoriche. Questa condizione produce una crescente disconnessione tra processi naturali e funzionamento urbano (Figura 26).



Figura 26 - Lettura paesaggistica Acqua - Suolo: il Leogra rappresenta un'infrastruttura ecologica potenziale della città, con spazi aperti strategici da riconnettere e riqualificare per migliorare la continuità ambientale. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

Dal punto di vista paesaggistico, il torrente rappresenta ancora oggi una struttura lineare capace di connettere differenti sistemi urbani e ambientali. Le fasce perifluviali potrebbero costituire il supporto per la costruzione di infrastrutture blu-verdi in grado di integrare gestione delle acque, biodiversità e spazio pubblico.

La vegetazione ripariale assume in questo senso un ruolo strategico non soltanto ecologico, ma anche climatico e percettivo. Alberature, sistemi vegetali e superfici permeabili possono contribuire alla mitigazione delle isole di calore urbane e favorire il miglioramento delle condizioni microclimatiche locali e alla qualità dello spazio aperto.

La lettura paesaggistica suggerisce nel sistema acqua-suolo un possibile supporto operativo per la costruzione di nuove strategie di resilienza urbana. Il progetto del paesaggio diventa strumento capace

di ricostruire relazioni ecologiche e sociali tra città e torrente, superando la separazione prodotta dai processi di urbanizzazione contemporanea.

10.5 Il torrente Leogra a Schio nell'Antropocene

Il caso del torrente Leogra a Schio rappresenta una manifestazione significativa delle trasformazioni territoriali associate all'Antropocene, epoca caratterizzata dalla crescente influenza delle attività umane sui processi ecologici e climatici del pianeta.

L'industrializzazione, l'urbanizzazione diffusa e l'artificializzazione del suolo hanno modificato profondamente il funzionamento del sistema fluviale, alterando equilibri idrologici costruiti nel lungo periodo. Il torrente diventa così espressione delle contraddizioni della città contemporanea: infrastruttura ambientale fondamentale ma allo stesso tempo spazio vulnerabile e marginalizzato (Figura 27).

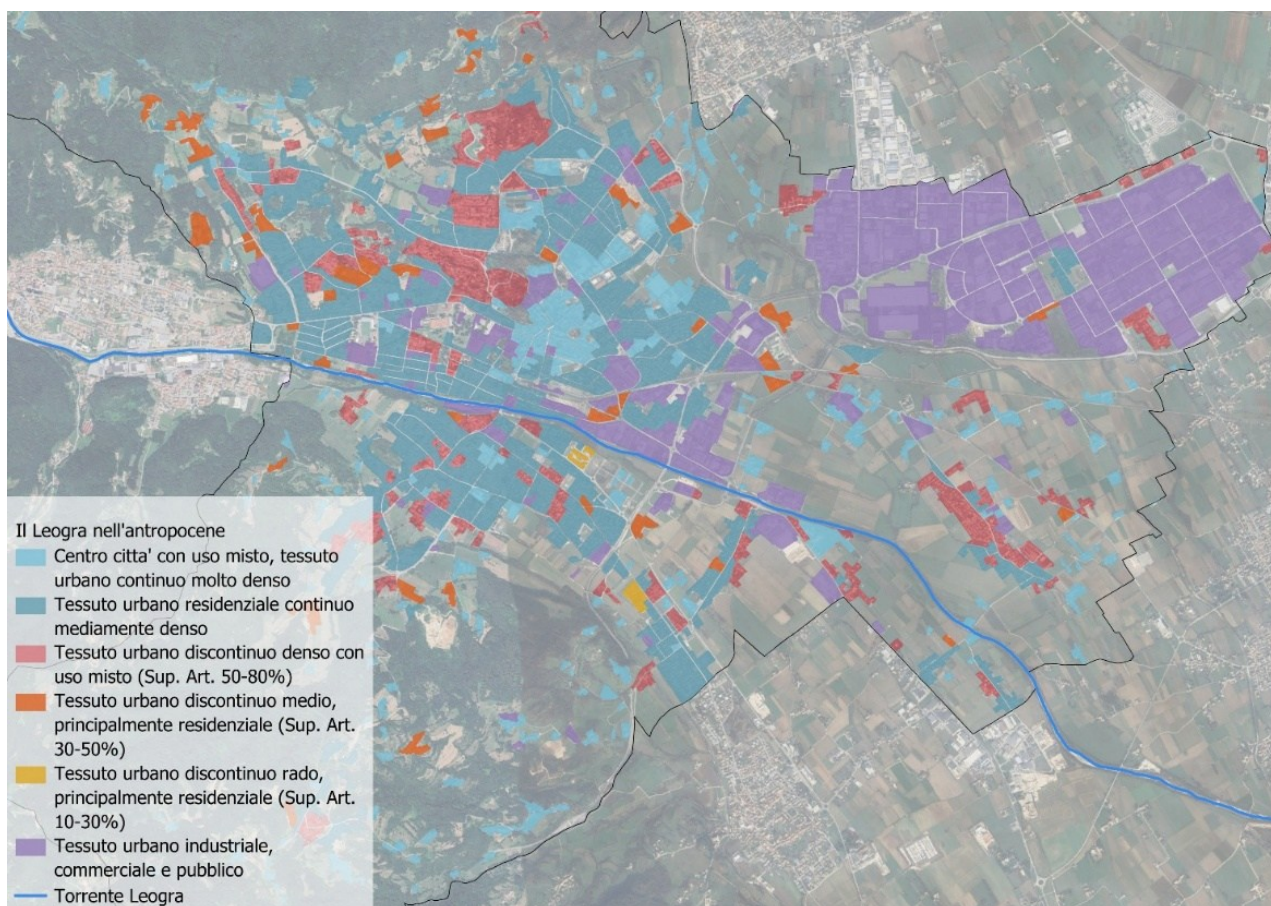


Figura 27- Il Leogra nell'Antropocene: l'urbanizzazione diffusa e il cambiamento climatico aumentano il rischio idraulico e la vulnerabilità del territorio, accentuando le criticità già esistenti. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

Nel contesto dell'Antropocene, il cambiamento climatico amplifica ulteriormente tali criticità. Eventi meteorologici estremi, aumento delle temperature e crescente pressione sulle infrastrutture urbane richiedono infatti nuove strategie di adattamento territoriale.

Il paradigma della città spugna propone in questo senso una possibile risposta progettuale, fondata sulla capacità del territorio di assorbire, trattenere e metabolizzare le acque meteoriche attraverso sistemi naturali e infrastrutture ecologiche.

Il Leogra viene quindi reinterpretato come potenziale infrastruttura paesaggistica e adattiva, in grado di favorire l'integrazione tra gestione delle acque, resilienza climatica e rigenerazione territoriale. L'acqua non rappresenta più soltanto un elemento da controllare attraverso opere tecniche, ma una componente generativa del progetto urbano contemporaneo.

Attraverso il recupero della permeabilità del suolo, la rinaturalizzazione delle fasce perifluviali e la costruzione di infrastrutture blu-verdi, il progetto propone strategie volte a favorire relazioni più equilibrate tra urbanizzazione e processi naturali, contribuendo potenzialmente alla costruzione di un modello territoriale più resiliente e sostenibile.

10.6 Applicazione dei principi della città spugna al caso studio di Schio

L'applicazione dei principi della città spugna al tratto urbano del torrente Leogra a Schio rappresenta il momento di sintesi tra le riflessioni teoriche sviluppate nei capitoli precedenti e la dimensione operativa del progetto di paesaggio. L'obiettivo non consiste esclusivamente nella riduzione del rischio idraulico, ma nella costruzione di un sistema territoriale resiliente capace di integrare gestione sostenibile delle acque, rigenerazione ecologica e qualità dello spazio urbano.

Le strategie descritte non derivano da simulazioni idrologiche o verifiche quantitative delle prestazioni attese, ma da una lettura integrata delle relazioni tra acqua, suolo, vegetazione e insediamento urbano. Le proposte assumono pertanto carattere qualitativo e strategico e sono finalizzate a individuare possibili scenari di adattamento climatico e rigenerazione paesaggistica.

L'area di progetto si concentra principalmente sul tratto urbano e periurbano del Leogra attraversante Schio, caratterizzato dalla presenza di aree industriali, spazi residuali, superfici impermeabili e fasce perifluviali frammentate. Questo contesto evidenzia criticità tipiche dei paesaggi urbanizzati contemporanei: elevata artificializzazione del suolo, perdita di continuità ecologica e progressiva separazione tra città e sistema fluviale.

Il progetto propone una reinterpretazione del torrente come infrastruttura paesaggistica ed ecologica primaria capace di strutturare nuove relazioni tra acqua, suolo, vegetazione e spazio pubblico. Il paradigma sponge viene applicato attraverso strategie diffuse e multiscalarì che intendono favorire un progressivo riavvicinamento ai processi naturali del ciclo idrologico urbano.

Uno dei principali obiettivi riguarda il recupero della permeabilità del territorio urbano. L'elevata presenza di superfici asfaltate e impermeabili contribuisce infatti all'aumento del deflusso superficiale e alla pressione sul sistema di drenaggio urbano durante eventi meteorologici intensi. Per questo motivo, il progetto introduce una rete diffusa di superfici drenanti e dispositivi naturali di infiltrazione progettati per favorire il rallentamento e la temporanea ritenzione delle acque meteoriche direttamente all'interno del tessuto urbano.

Particolare attenzione viene dedicata alla riqualificazione delle fasce perìfluviali del Leogra. Le aree prossime al torrente vengono reinterpretate come spazi strategici per la laminazione naturale delle acque e la costruzione di continuità ecologiche. Attraverso interventi di rinaturalizzazione e incremento della vegetazione ripariale, il sistema fluviale potrebbe recuperare parte delle proprie funzioni ambientali originarie.

Il progetto introduce inoltre una rete integrata di infrastrutture blu-verdi capace di connettere il torrente con spazi pubblici, aree verdi urbane e sistemi ecologici periferici. Questa rete assume simultaneamente funzioni idrologiche, climatiche e paesaggistiche, contribuendo potenzialmente alla costruzione di un ambiente urbano più resiliente e adattivo.

Alla scala locale vengono applicati specifici dispositivi sponge come rain gardens, bioswales, pavimentazioni drenanti, bacini di laminazione e wetlands urbane. Tali elementi sono concepiti per richiamare e favorire alcuni processi naturali del ciclo idrologico, favorendo infiltrazione, filtrazione ed evapotraspirazione.

Le aree verdi urbane assumono un ruolo centrale all'interno del progetto. Parchi e spazi aperti vengono reinterpretati come sistemi multifunzionali capaci di integrare biodiversità, gestione delle acque e fruizione sociale. Lo spazio pubblico viene interpretato non soltanto come elemento ricreativo, ma come componente attiva della resilienza ambientale urbana.

Un ruolo importante è svolto anche dalla mobilità lenta. La realizzazione di percorsi ciclopèdonali lungo il torrente consente di ricostruire la continuità spaziale del sistema fluviale e di favorire una nuova relazione tra abitanti e paesaggio dell'acqua.

L'approccio adottato si fonda su una visione sistemica nella quale acqua, vegetazione, suolo e urbanizzazione vengono considerati componenti interdipendenti di un unico ecosistema territoriale. In questo senso, il paradigma della città spugna diventa non soltanto modello tecnico di gestione idraulica, ma strumento di rigenerazione ecologica e culturale della città contemporanea.

10.7 Scenari progettuali e strategie di intervento

Gli scenari progettuali elaborati per il torrente Leogra a Schio si basano sulla costruzione di un sistema territoriale adattivo capace di affrontare le criticità ambientali e climatiche contemporanee attraverso strategie integrate di paesaggio e infrastruttura ecologica.

Più che definire un progetto rigido e definitivo, la ricerca propone un insieme di strategie flessibili e progressive finalizzate alla ricostruzione delle relazioni tra acqua, spazio urbano ed ecologia. L'approccio adottato si sviluppa attraverso differenti scale di intervento, dal territorio al dettaglio dello spazio pubblico (Figura 28).

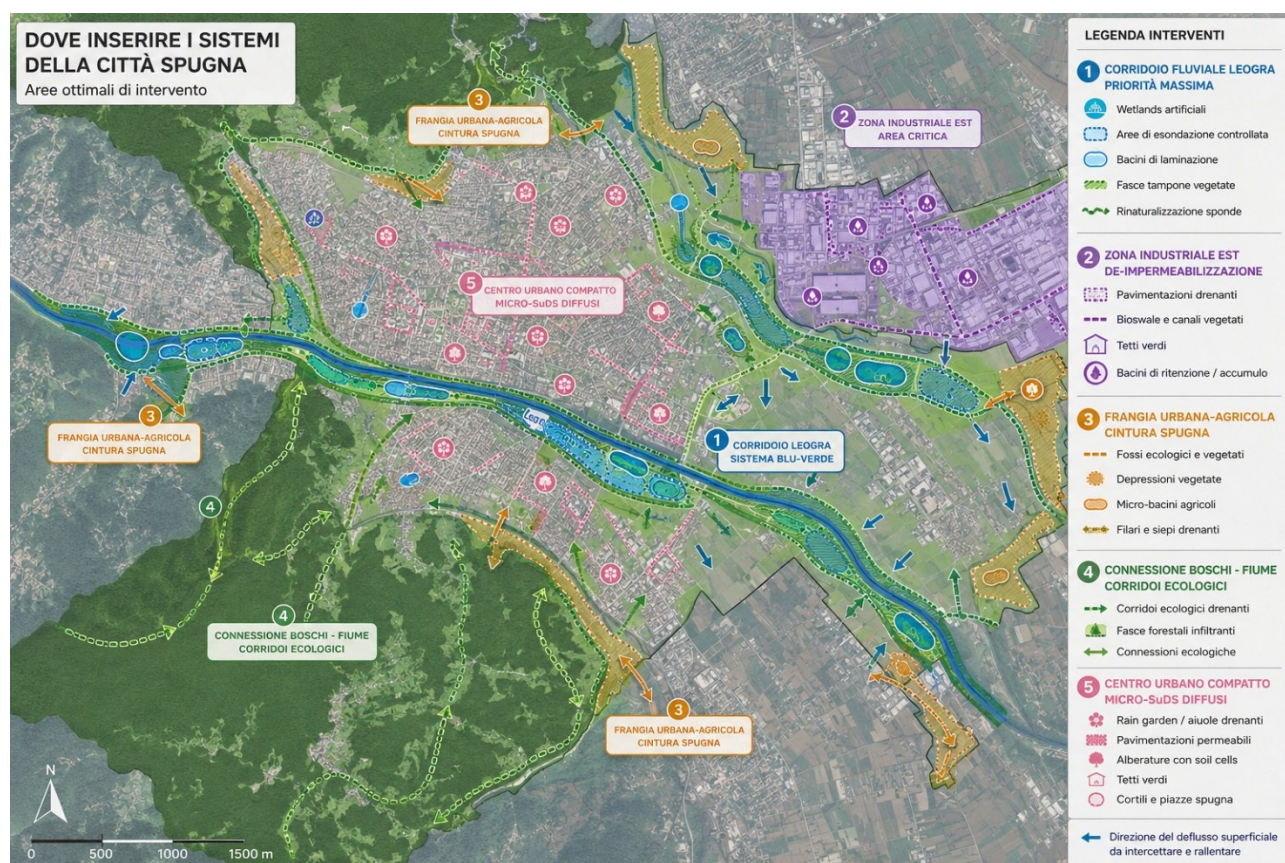


Figura 28 - Strategie progettuali: interventi localizzati e soluzioni progettuali, le strategie progettuali agiscono a diverse scale, combinando dispositivi naturali e soluzioni basate sulla natura per rigenerare il sistema Leogra. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

Alla scala territoriale, il progetto esplora la possibilità di costruire una infrastruttura blu-verde continua lungo il corso del Leogra. Le fasce perifluviali vengono reinterpretate come corridoi ecologici capaci di connettere aree naturali, spazi aperti urbani e sistemi agricoli periurbani. L'obiettivo è favorire la ricostruzione della continuità ecologica del sistema fluviale e contribuire all'aumento della capacità del territorio di assorbire e trattenere le acque meteoriche.

Particolare rilevanza assume la rinaturalizzazione delle aree marginali e residuali presenti lungo il torrente. Spazi oggi inutilizzati o degradati vengono reinterpretati come potenziali superfici permeabili e sistemi vegetati capaci di contribuire alla biodiversità e alla mitigazione climatica.

Alla scala urbana, il progetto propone strategie diffuse di de-impermeabilizzazione del tessuto costruito. Piazze, parcheggi, marciapiedi e superfici asfaltate vengono progressivamente trasformati attraverso l'introduzione di materiali drenanti e sistemi vegetali integrati. Questa strategia potrebbe favorire una distribuzione più diffusa della gestione delle acque meteoriche all'interno dell'intero sistema urbano, riducendo la pressione sulle infrastrutture fognarie tradizionali.

Il progetto introduce inoltre sistemi di drenaggio urbano sostenibile integrati nello spazio pubblico. Rain gardens e bioswales vengono collocati lungo percorsi pedonali, assi viari e aree verdi urbane, contribuendo potenzialmente alla gestione delle acque e alla qualità paesaggistica della città.

Le aree verdi urbane vengono reinterpretate come dispositivi idrologici adattivi. Parchi e spazi aperti vengono concepiti come aree potenzialmente in grado di accogliere temporaneamente l'acqua durante eventi meteorologici intensi, trasformandosi in infrastrutture resilienti capaci di integrare sicurezza ambientale e uso pubblico.

Dal punto di vista ecologico, le strategie progettuali prevedono il rafforzamento della vegetazione ripariale lungo il torrente e la creazione di nuove connessioni ecologiche tra gli spazi verdi urbani. La presenza della vegetazione potrebbe contribuire alla filtrazione naturale delle acque, alla stabilizzazione delle sponde e alla mitigazione delle isole di calore urbane.

Un elemento centrale del progetto riguarda inoltre la costruzione di nuovi percorsi ciclopeditoni lungo il Leogra. La mobilità lenta diventa strumento di riconnessione tra città e torrente, favorendo potenzialmente una maggiore accessibilità e una nuova percezione del paesaggio fluviale.

Dal punto di vista metodologico, gli scenari progettuali si fondano su principi di gradualità e adattabilità. Gli interventi possono essere realizzati progressivamente attraverso azioni diffuse e coordinate, senza la necessità di grandi opere infrastrutturali centralizzate.

Il progetto assume quindi il carattere di processo aperto e dinamico, nel quale il paesaggio diventa infrastruttura resiliente capace di evolversi nel tempo in relazione alle trasformazioni climatiche, ecologiche e sociali del territorio urbano contemporaneo.

Gli scenari descritti assumono carattere strategico e qualitativo e non costituiscono un progetto esecutivo. Le ipotesi di intervento derivano da una lettura paesaggistica del sistema acqua–suolo–insediamento e sono finalizzate all'individuazione di possibili traiettorie di trasformazione territoriale coerenti con i principi della città spugna.

10.8 Valutazione degli effetti attesi

L'applicazione dei principi della città spugna al torrente Leogra a Schio consente di delineare una serie di possibili effetti positivi che coinvolgono simultaneamente dimensioni ambientali, idrologiche, climatiche, paesaggistiche e sociali. La valutazione degli effetti attesi non riguarda esclusivamente l'efficienza tecnica delle strategie adottate, ma considera il progetto come processo integrato di rigenerazione territoriale.

La valutazione proposta ha carattere qualitativo e non deriva da simulazioni idrologiche, modellazioni quantitative o verifiche prestazionali di dettaglio. Gli effetti descritti rappresentano pertanto ipotesi progettuali coerenti con la letteratura scientifica e con i principi della città spugna, ma richiederebbero ulteriori approfondimenti tecnici per una loro quantificazione puntuale.

Dal punto di vista idrologico, uno dei principali effetti attesi riguarda la riduzione del deflusso superficiale e del sovraccarico delle reti di drenaggio urbano. L'introduzione di superfici permeabili, rain gardens, bioswales e sistemi di laminazione consente infatti di rallentare il flusso delle acque meteoriche e favorire processi naturali di infiltrazione e ritenzione.

Il recupero della permeabilità diffusa del territorio contribuisce inoltre a ridurre la vulnerabilità idraulica della città rispetto agli eventi meteorologici estremi, sempre più frequenti nel contesto del cambiamento climatico.

Dal punto di vista ecologico, la rinaturalizzazione delle fasce perfluviali e il rafforzamento delle infrastrutture blu-verdi consentono di ricostruire la continuità ambientale del sistema fluviale urbano. Ciò favorisce l'incremento della biodiversità e il miglioramento della qualità ecologica complessiva del territorio.

La presenza diffusa della vegetazione produce effetti significativi anche sul piano climatico. Alberature, superfici vegetate e sistemi d'acqua contribuiscono infatti alla mitigazione delle isole di calore urbane attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione. Questo aspetto assume particolare rilevanza in relazione all'aumento delle temperature urbane causato dal cambiamento climatico.

Dal punto di vista paesaggistico, il progetto consente di restituire centralità al torrente Leogra all'interno della struttura urbana di Schio. Il corso d'acqua viene reinterpretato non più come spazio marginale o infrastruttura tecnica, ma come elemento identitario e struttura ordinatrice del paesaggio urbano contemporaneo.

Gli effetti attesi coinvolgono anche la dimensione sociale e culturale dello spazio urbano. La realizzazione di nuovi percorsi ciclopedonali, parchi lineari e spazi pubblici verdi favorisce infatti una maggiore accessibilità e fruibilità del sistema fluviale, contribuendo al miglioramento della qualità della vita urbana.

Dal punto di vista economico, le strategie basate su infrastrutture blu-verdi e Nature-Based Solutions possono contribuire alla riduzione dei costi legati alla gestione delle emergenze idrauliche e alla manutenzione delle infrastrutture tradizionali. Parallelamente, il miglioramento della qualità ambientale e paesaggistica può aumentare l'attrattività territoriale e il valore degli spazi urbani.

È tuttavia importante sottolineare che gli effetti attesi non devono essere interpretati come risultati immediati o esclusivamente quantitativi. Il paradigma della città spugna si fonda infatti su processi adattivi e di lungo periodo che richiedono continuità gestionale, monitoraggio e capacità evolutiva.

In questa prospettiva, il caso studio del torrente Leogra suggerisce come il progetto di paesaggio possa assumere un ruolo strategico nell'affrontare le sfide ambientali contemporanee. L'integrazione tra ecologia urbana, gestione delle acque e spazio pubblico consente infatti di costruire modelli territoriali maggiormente resilienti, sostenibili e capaci di ristabilire relazioni più equilibrate tra attività antropiche e processi naturali (Figura 29).

I risultati e gli effetti attesi descritti nel presente capitolo devono essere interpretati come scenari qualitativi e non come previsioni quantitative. La ricerca non comprende modellazioni idrologiche o idrauliche di dettaglio, né valutazioni prestazionali delle singole soluzioni progettuali. Futuri sviluppi potrebbero includere analisi GIS delle superfici impermeabili, simulazioni del comportamento idrologico del bacino e verifiche di compatibilità con gli strumenti urbanistici e di pianificazione di bacino. In questa prospettiva, il progetto rappresenta un quadro strategico di riferimento per possibili approfondimenti successivi.

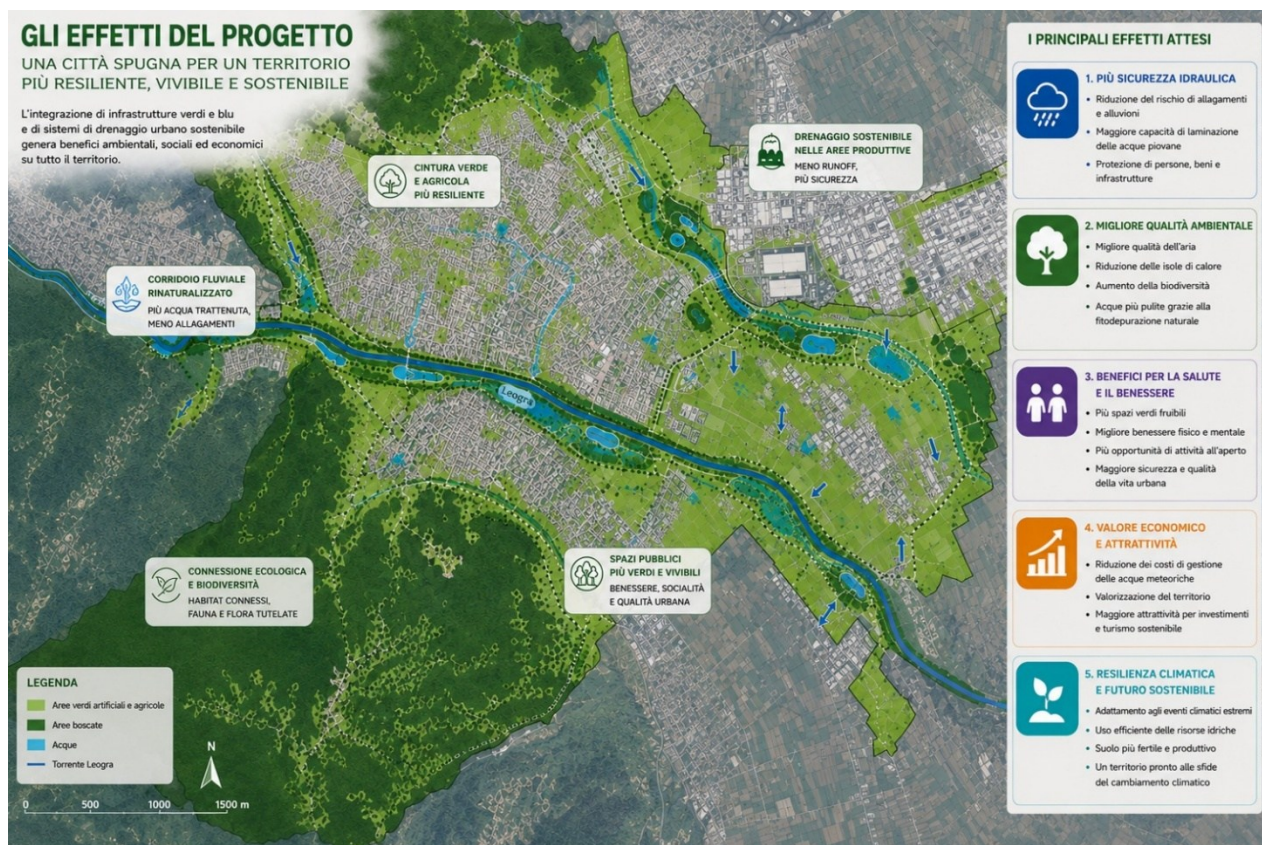


Figura 29 - Valutazione ipotetica degli effetti: benefici ambientali, climatici e sociali, l'applicazione dei principi Sponge City potrebbe generare molteplici benefici ambientali, sociali ed economici, aumentando la resilienza del paesaggio e del territorio di Schio.
Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.

CAPITOLO 11. IL SISTEMA DELLA CITTÀ SPUGNA PER IL TORRENTE LEOGRA: DISPOSITIVI PROGETTUALI, PRESTAZIONI E PROSPETTIVE DI TRASFORMAZIONE.

Il capitolo precedente ha definito il quadro interpretativo e progettuale del torrente Leogra, evidenziando le criticità derivanti dai processi di artificializzazione del territorio e individuando possibili strategie di adattamento fondate sui principi della città spugna. Attraverso l'analisi del sistema acqua-suolo e la costruzione di scenari progettuali multiscalarì, il Leogra è stato reinterpretato come infrastruttura ecologica e paesaggistica capace di contribuire alla resilienza climatica della città di Schio.

Tuttavia, affinché tali strategie possano tradursi in un reale processo di trasformazione territoriale, risulta necessario approfondire il funzionamento dei dispositivi progettuali che compongono il sistema della città spugna e comprendere in che modo essi possano operare all'interno del contesto urbano e periurbano. La resilienza climatica non dipende infatti da singoli interventi puntuali, ma dalla capacità di costruire una rete integrata di spazi, infrastrutture ecologiche e sistemi naturali in grado di interagire tra loro e di adattarsi alle trasformazioni future del territorio.

In questa prospettiva, il progetto per il torrente Leogra viene interpretato come un sistema territoriale complesso nel quale acqua, suolo, vegetazione e spazio pubblico costituiscono componenti interdipendenti di un'unica infrastruttura resiliente. Il corridoio fluviale, le aree agricole periurbane, la rete ecologica, gli spazi pubblici e i dispositivi di drenaggio sostenibile non vengono considerati come elementi autonomi, ma come parti di una strategia complessiva finalizzata alla ricostruzione del ciclo idrologico urbano e al rafforzamento delle capacità adattive del territorio.

L'approccio adottato si fonda sul superamento della tradizionale separazione tra infrastrutture tecniche e processi naturali. L'acqua non viene più percepita come elemento da allontanare rapidamente attraverso reti artificiali, ma come risorsa capace di generare qualità ambientale, biodiversità e nuove forme di spazio pubblico. Analogamente, il suolo viene riconosciuto come infrastruttura ecologica fondamentale, la cui capacità di infiltrazione e regolazione idrologica rappresenta una risorsa strategica per affrontare gli effetti del cambiamento climatico.

Il presente capitolo approfondisce quindi le principali componenti del progetto, analizzando il ruolo del corridoio fluviale rinaturalizzato, della cintura verde agricola, della rete ecologica territoriale e dei dispositivi Sponge City applicati allo spazio urbano. L'obiettivo è dimostrare come la costruzione di un sistema integrato di infrastrutture blu-verdi possa contribuire non soltanto alla

riduzione del rischio idraulico, ma anche al miglioramento della qualità paesaggistica, della biodiversità e del benessere collettivo.

Attraverso questa lettura, il caso del torrente Leogra assume valore esemplare per il contesto italiano, mostrando come il progetto di paesaggio possa diventare strumento operativo per affrontare le sfide dell'Antropocene e promuovere modelli di sviluppo urbano maggiormente resilienti, sostenibili e capaci di ristabilire relazioni equilibrate tra città e processi naturali.

11.1 Dalla strategia territoriale al progetto operativo

Le strategie progettuali illustrate nel capitolo precedente definiscono una visione complessiva di trasformazione del sistema territoriale del torrente Leogra. Tuttavia, affinché tale visione possa tradursi in un reale processo di adattamento climatico e rigenerazione paesaggistica, risulta necessario approfondire il funzionamento dei dispositivi progettuali che compongono il sistema della città spugna.

Il progetto non viene concepito come un insieme di opere isolate, ma come una rete integrata di interventi capaci di agire simultaneamente sulle dinamiche idrologiche, ecologiche e sociali del territorio. L'acqua diventa il principale elemento ordinatore del progetto e il torrente Leogra assume il ruolo di infrastruttura territoriale capace di organizzare una nuova relazione tra città, suolo e paesaggio.

La costruzione di questa infrastruttura resiliente si basa sul superamento dell'approccio tradizionale alla gestione delle acque meteoriche, fondato sul rapido allontanamento dei deflussi attraverso reti artificiali. Al contrario, il progetto mira a trattenere, rallentare, infiltrare e riutilizzare l'acqua direttamente nei luoghi in cui essa viene generata.

In questa prospettiva, il territorio urbano viene reinterpretato come un sistema capace di assorbire le precipitazioni e di restituirle gradualmente all'ambiente attraverso processi naturali di infiltrazione, evapotraspirazione e accumulo temporaneo. Tale approccio consente di ridurre la pressione sulle infrastrutture tradizionali e di incrementare la capacità adattiva dell'intero sistema urbano.

L'organizzazione spaziale del progetto si sviluppa attraverso cinque componenti principali: il corridoio fluviale rinaturalizzato, la cintura verde agricola, la rete ecologica territoriale, gli spazi pubblici multifunzionali e il sistema di drenaggio sostenibile delle aree produttive. Questi elementi, pur svolgendo funzioni differenti, operano in maniera coordinata contribuendo alla costruzione di

un'unica infrastruttura blu-verde capace di aumentare la resilienza complessiva del territorio di Schio (Tabella 14).

Criticità	Effetti sul territorio	Strategia Sponge City
Impermeabilizzazione del suolo	Aumento del deflusso superficiale	Pavimentazioni drenanti
Frammentazione ecologica	Riduzione biodiversità	Corridoi ecologici
Rischio idraulico	Allagamenti urbani	Bacini di laminazione
Isole di calore	Aumento temperature urbane	Forestazione urbana
Marginalizzazione del torrente	Perdita identità paesaggistica	Parco fluviale

Tabella 14 - Criticità territoriali del sistema Leogra e strategie progettuali Sponge City. La tabella mette in relazione le principali problematiche ambientali e paesaggistiche individuate nel caso studio con le strategie progettuali adottate per incrementare la resilienza del territorio attraverso i principi della città spugna.

11.2 Il corridoio fluviale rinaturalizzato come infrastruttura idrologica

Il corridoio fluviale del torrente Leogra costituisce l'elemento strutturante del sistema della città spugna e rappresenta l'asse principale attraverso cui si articolano le strategie di adattamento idrologico e ambientale del territorio. La sua progressiva artificializzazione, avvenuta nel corso del Novecento, ha ridotto in modo significativo la continuità ecologica e la capacità del corso d'acqua di rispondere in maniera dinamica agli eventi di piena, aumentando al contempo la vulnerabilità del contesto urbano.

In questa prospettiva, il progetto assume come obiettivo prioritario il recupero del corridoio fluviale come infrastruttura idrologica attiva, capace di integrare funzioni di sicurezza, regolazione ambientale e qualità paesaggistica. La rinaturalizzazione del torrente non viene intesa come un semplice intervento di ripristino morfologico, ma come un processo di riconfigurazione spaziale e funzionale in grado di restituire al sistema fluviale la sua dimensione dinamica e adattiva.

Il corridoio fluviale diventa così un dispositivo multifunzionale all'interno della rete blu-verde, in cui il recupero dello spazio del fiume, la laminazione naturale delle piene, la rinaturalizzazione delle sponde e il rafforzamento della biodiversità concorrono alla costruzione di un sistema territoriale più resiliente. In questa logica, l'acqua non è più un elemento da contenere esclusivamente attraverso infrastrutture rigide, ma una componente progettuale centrale nella definizione del paesaggio urbano contemporaneo.

A partire da queste premesse, il sottocapitolo approfondisce le principali strategie di trasformazione del corridoio fluviale, evidenziandone il ruolo nel riequilibrio idrologico, ecologico e paesaggistico del territorio del Leogra.

11.2.1 Recupero dello spazio del fiume

Uno dei principi fondamentali alla base del progetto di città spugna per il torrente Leogra riguarda il recupero dello spazio fluviale come componente attiva del sistema territoriale. Nel corso degli ultimi decenni, i processi di urbanizzazione, industrializzazione e infrastrutturazione hanno progressivamente ridotto la disponibilità di superfici naturali lungo il corso d'acqua, limitandone la capacità di adattamento alle variazioni idrologiche e aumentando la vulnerabilità del territorio rispetto agli eventi meteorici estremi.

La progressiva artificializzazione delle sponde e delle aree perifluviali ha infatti determinato una significativa contrazione dello spazio disponibile per l'espansione naturale delle acque durante gli eventi di piena. Tale processo ha comportato una crescente dipendenza da opere di contenimento rigide e da infrastrutture idrauliche tradizionali, spesso incapaci di rispondere efficacemente agli scenari climatici contemporanei caratterizzati da precipitazioni sempre più intense e concentrate nel tempo.

In questo contesto, il progetto propone un'inversione di paradigma che non mira esclusivamente a difendere la città dall'acqua, ma a ricostruire condizioni di coesistenza tra processi naturali e sistema urbano. Restituire spazio al torrente significa riconoscere il ruolo dinamico dell'acqua nella costruzione del paesaggio e consentire al sistema fluviale di riattivare parte delle proprie funzioni ecologiche e idrologiche.

La riconfigurazione delle fasce perifluviali assume quindi una duplice funzione. Da un lato permette di aumentare la capacità di laminazione naturale delle piene, dall'altro contribuisce alla costruzione di nuovi spazi pubblici verdi e di corridoi ecologici capaci di migliorare la qualità complessiva del paesaggio urbano. Le aree prossime al corso d'acqua vengono reinterpretate non come superfici residuali o semplici zone di rispetto idraulico, ma come elementi strutturanti della rete blu-verde urbana.

L'ampliamento delle superfici disponibili lungo il torrente consente inoltre di favorire processi naturali di infiltrazione e ritenzione delle acque meteoriche. Durante gli eventi estremi, queste aree possono temporaneamente accogliere volumi d'acqua eccedenti senza compromettere la sicurezza delle aree urbanizzate, contribuendo alla riduzione dei picchi di piena e alla diminuzione del rischio idraulico.

Attraverso questa strategia il corridoio fluviale viene reinterpretato come spazio dinamico e adattivo, capace di modificarsi nel tempo in relazione alle variazioni stagionali e agli eventi meteorologici, superando la visione statica che ha caratterizzato gran parte della pianificazione idraulica del Novecento.

11.2.2 Aumento della capacità di laminazione naturale

La laminazione naturale delle piene costituisce uno degli obiettivi centrali del progetto. Nel modello tradizionale di gestione delle acque urbane, il drenaggio rapido delle precipitazioni tende a convogliare grandi quantità di acqua verso il reticolo idrografico in tempi molto ridotti, aumentando il rischio di esondazioni e sovraccaricando le infrastrutture di smaltimento.

Il paradigma della città spugna propone invece un approccio differente, fondato sulla capacità del territorio di trattenere temporaneamente l'acqua e di restituirla gradualmente al sistema ambientale. Nel caso del torrente Leogra, tale principio viene applicato attraverso la creazione di una rete diffusa di aree permeabili, depressioni vegetate, bacini di accumulo temporaneo e superfici capaci di favorire l'infiltrazione.

La laminazione naturale non deve essere interpretata esclusivamente come una misura di sicurezza idraulica. Essa rappresenta infatti un processo fondamentale per il riequilibrio del ciclo idrologico urbano, consentendo di ridurre la velocità dei deflussi superficiali e di incrementare il tempo di permanenza dell'acqua all'interno del territorio.

Le aree di laminazione previste dal progetto sono integrate nel paesaggio e progettate come spazi multifunzionali. In condizioni ordinarie esse possono essere utilizzate come parchi, prati o aree ricreative, mentre durante eventi meteorologici intensi assumono temporaneamente una funzione idraulica, contribuendo alla gestione delle portate eccedenti.

Questa multifunzionalità rappresenta uno degli aspetti più innovativi del progetto, poiché consente di trasformare un'esigenza tecnica in un'opportunità di qualificazione paesaggistica e di miglioramento dello spazio pubblico.

11.2.3 Rinaturalizzazione delle sponde

La rinaturalizzazione delle sponde rappresenta una delle strategie principali per il recupero delle funzionalità ecologiche del torrente Leogra. Le trasformazioni subite dal corso d'acqua nel corso del Novecento hanno progressivamente sostituito le configurazioni naturali con opere artificiali di contenimento, riducendo la complessità ambientale del sistema fluviale.

L'approccio progettuale propone il progressivo recupero delle caratteristiche ecologiche delle fasce ripariali attraverso l'inserimento di vegetazione autoctona e la ricostruzione di habitat capaci di favorire la biodiversità locale. La vegetazione ripariale svolge infatti numerose funzioni ambientali, contribuendo alla stabilizzazione delle sponde, alla filtrazione degli inquinanti e alla regolazione termica delle acque.

La presenza di alberature e arbusteti lungo il corso del torrente favorisce inoltre la creazione di condizioni microclimatiche più favorevoli, riducendo gli effetti delle ondate di calore e migliorando il comfort ambientale degli spazi pubblici adiacenti.

Dal punto di vista paesaggistico, la rinaturalizzazione consente di ricostruire una relazione visiva e percettiva tra città e torrente. Il sistema vegetale diventa elemento identitario del paesaggio fluviale e contribuisce a rafforzare il carattere ecologico del corridoio blu-verde.

L'obiettivo non consiste nel ripristino di condizioni naturali originarie ormai non più recuperabili integralmente, ma nella costruzione di un nuovo equilibrio tra processi naturali e presenza antropica, capace di garantire resilienza e qualità ambientale nel lungo periodo.

11.2.4 Incremento della biodiversità ripariale

Il rafforzamento della biodiversità costituisce una componente essenziale della strategia di rinaturalizzazione del corridoio fluviale. Gli ecosistemi ripariali rappresentano infatti alcuni degli ambienti più ricchi e dinamici all'interno dei paesaggi urbanizzati, svolgendo un ruolo fondamentale nella conservazione delle specie e nel mantenimento delle reti ecologiche.

Nel contesto del torrente Leogra, la frammentazione degli habitat e la pressione esercitata dall'urbanizzazione hanno progressivamente ridotto la capacità del sistema fluviale di ospitare comunità biologiche diversificate. La costruzione di una rete continua di habitat lungo il corso d'acqua rappresenta quindi un obiettivo prioritario del progetto.

L'incremento della biodiversità viene perseguito attraverso la diversificazione della vegetazione, la creazione di aree umide temporanee, il recupero delle fasce ecotonali e la connessione tra gli spazi verdi esistenti. Questi interventi favoriscono la presenza di differenti specie vegetali e animali, aumentando la complessità ecologica del sistema.

Particolare attenzione viene dedicata agli insetti impollinatori, all'avifauna e alla piccola fauna terrestre, la cui presenza contribuisce alla funzionalità complessiva degli ecosistemi urbani. Le fasce vegetate lungo il torrente assumono quindi il ruolo di corridoi ecologici capaci di facilitare gli spostamenti delle specie e di rafforzare le connessioni tra gli habitat presenti sul territorio.

La biodiversità non viene considerata esclusivamente come valore naturalistico, ma come componente fondamentale della resilienza territoriale. Ecosistemi più complessi e diversificati risultano infatti maggiormente capaci di adattarsi alle trasformazioni climatiche e di mantenere nel tempo le proprie funzioni ecologiche.

Attraverso il recupero delle dinamiche ecologiche e idrologiche del sistema fluviale, il corridoio del Leogra può tornare a svolgere un ruolo centrale nella costruzione di un paesaggio urbano resiliente, capace di integrare adattamento climatico, qualità ambientale e benessere collettivo.

11.3 La cintura verde e agricola come dispositivo di resilienza climatica

All'interno della strategia progettuale elaborata per il torrente Leogra, la cintura verde e agricola si configura come un elemento strutturale nella costruzione della resilienza territoriale e del sistema della città spugna. Se il corridoio fluviale costituisce l'asse portante della rete blu-verde, gli spazi agricoli e periurbani rappresentano invece una matrice diffusa che consente al territorio di espandere e articolare le proprie capacità di regolazione ecologica e idrologica.

In un contesto segnato da urbanizzazione diffusa e progressivo consumo di suolo, il ruolo delle aree agricole non può più essere interpretato esclusivamente in termini produttivi. Esse assumono infatti una funzione multifunzionale, contribuendo in modo significativo alla gestione delle acque meteoriche, alla riduzione del rischio idraulico, alla mitigazione climatica e al mantenimento della biodiversità. Allo stesso tempo, tali spazi svolgono un ruolo essenziale nella costruzione della qualità paesaggistica e nella definizione dell'identità territoriale.

Nel caso di Schio, la presenza di superfici agricole ai margini del tessuto urbanizzato rappresenta una risorsa strategica per l'attivazione di un sistema adattivo capace di integrare città e ambiente fluviale. La cintura verde si configura così come una vera e propria infrastruttura ecologica di transizione, in grado di assorbire le pressioni dell'espansione insediativa e di contribuire al funzionamento complessivo della città spugna.

A partire da queste premesse, il sottocapitolo approfondisce il ruolo strategico della cintura verde e agricola, evidenziandone le principali funzioni ambientali, idrologiche e paesaggistiche all'interno di una visione integrata di adattamento climatico e rigenerazione territoriale.

11.3.1 Il ruolo strategico della cintura verde nel sistema della città spugna

All'interno della strategia progettuale elaborata per il torrente Leogra, la cintura verde e agricola assume un ruolo fondamentale nella costruzione della resilienza territoriale. Se il corridoio fluviale rappresenta l'asse principale della rete blu-verde, gli spazi aperti agricoli e periurbani costituiscono il sistema diffuso attraverso il quale il territorio può recuperare parte della propria capacità di regolazione ecologica e idrologica.

Nel contesto contemporaneo, caratterizzato da processi di urbanizzazione diffusa e crescente consumo di suolo, le aree agricole non possono più essere considerate esclusivamente come spazi produttivi. Esse svolgono infatti una pluralità di funzioni ambientali che risultano essenziali per l'equilibrio del territorio urbano. Tra queste assumono particolare rilevanza la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche, il supporto alla biodiversità, la mitigazione climatica e la conservazione del paesaggio.

Nel caso di Schio, la presenza di aree agricole ai margini del tessuto urbanizzato rappresenta una risorsa strategica per la costruzione di un sistema territoriale adattivo. Questi spazi costituiscono infatti una sorta di "zona cuscinetto" tra l'ambiente urbano e il sistema naturale del torrente, contribuendo ad assorbire parte delle pressioni generate dall'espansione insediativa.

La proposta progettuale riconosce quindi la necessità di preservare e valorizzare tali superfici come componenti attive della città spugna. La cintura verde non viene concepita come semplice limite dell'urbanizzazione, ma come infrastruttura ecologica capace di contribuire direttamente alla gestione sostenibile delle acque e all'adattamento climatico.

In questa prospettiva, il progetto supera la tradizionale separazione tra città e campagna, promuovendo una visione integrata nella quale gli spazi agricoli partecipano alla costruzione della resilienza urbana e alla rigenerazione del paesaggio contemporaneo.

11.3.2 Conservazione delle superfici permeabili e gestione delle acque meteoriche

Uno dei principali contributi della cintura verde al funzionamento della città spugna riguarda la conservazione delle superfici permeabili. Come evidenziato nelle analisi sviluppate nel capitolo precedente, la progressiva impermeabilizzazione del territorio urbano ha alterato profondamente il ciclo idrologico naturale, aumentando il volume e la velocità dei deflussi superficiali.

Le superfici agricole e naturali ancora presenti nel territorio di Schio rappresentano oggi alcuni dei principali spazi in grado di garantire l'infiltrazione delle acque meteoriche e la ricarica delle falde. La

loro conservazione assume pertanto un'importanza strategica non soltanto dal punto di vista ambientale, ma anche sotto il profilo della sicurezza idraulica.

Nel progetto, la cintura verde viene interpretata come un sistema diffuso di assorbimento e rallentamento delle acque meteoriche. Durante gli eventi piovosi, i suoli permeabili consentono infatti di trattenere una quota significativa delle precipitazioni, riducendo il volume d'acqua che raggiunge rapidamente il torrente e la rete di drenaggio urbana.

Questo processo contribuisce a ristabilire parte delle dinamiche naturali del ciclo dell'acqua, contrastando gli effetti prodotti dall'urbanizzazione e riducendo la pressione esercitata sulle infrastrutture tecniche. L'infiltrazione diffusa rappresenta inoltre una strategia particolarmente efficace per affrontare gli eventi meteorici estremi associati al cambiamento climatico, poiché distribuisce la gestione delle acque sull'intero territorio anziché concentrarla in pochi punti.

La capacità del suolo di assorbire e trattenere l'acqua costituisce quindi una vera e propria infrastruttura naturale, il cui valore risulta spesso sottovalutato nei processi di pianificazione urbana tradizionale.

11.3.3 Multifunzionalità ecologica e paesaggistica delle aree agricole

Un aspetto centrale della proposta progettuale riguarda il riconoscimento della multifunzionalità delle aree agricole periurbane. Oltre alla loro funzione produttiva, questi spazi possono infatti contribuire alla costruzione di un sistema territoriale più resiliente attraverso una serie di servizi ecosistemici fondamentali.

Dal punto di vista ecologico, le aree agricole possono costituire habitat complementari a quelli presenti lungo il corridoio fluviale. La presenza di prati permanenti, filari alberati, siepi campestri, fossati vegetati e piccoli nuclei boschivi favorisce la biodiversità e rafforza le connessioni tra i diversi ecosistemi presenti sul territorio.

Questi elementi contribuiscono alla formazione di una matrice ecologica diffusa capace di supportare gli spostamenti della fauna e la diffusione della flora autoctona. In un contesto fortemente urbanizzato come quello di Schio, tali connessioni assumono un'importanza fondamentale per il mantenimento della funzionalità degli ecosistemi.

Dal punto di vista paesaggistico, la cintura verde svolge inoltre un ruolo essenziale nella conservazione dell'identità territoriale. Le aree agricole rappresentano infatti una componente storica del paesaggio vicentino e contribuiscono alla definizione delle relazioni visive tra la città, il torrente e il sistema pedemontano.

La loro valorizzazione permette di preservare il carattere aperto del territorio e di contrastare i processi di omogeneizzazione paesaggistica spesso associati all'espansione urbana contemporanea. In questo senso, il progetto interpreta il paesaggio agricolo non come uno spazio in attesa di trasformazione, ma come una risorsa attiva nella costruzione della qualità ambientale e urbana.

11.3.4 Mitigazione climatica e regolazione microclimatica

La cintura verde svolge un ruolo particolarmente rilevante anche nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico. L'incremento delle temperature medie, la crescente frequenza delle ondate di calore e l'intensificazione degli eventi estremi rendono infatti necessario sviluppare strategie territoriali capaci di migliorare il comportamento climatico degli ambienti urbani.

Le superfici vegetate contribuiscono alla regolazione termica attraverso processi di ombreggiamento, evapotraspirazione e riduzione dell'accumulo di calore. A differenza delle superfici asfaltate o cementificate, i suoli agricoli e le coperture vegetali sono in grado di limitare significativamente il surriscaldamento estivo, migliorando il comfort ambientale e riducendo la formazione delle isole di calore urbane.

Nel caso del torrente Leogra, la continuità tra il corridoio fluviale e la cintura verde agricola consente di costruire un sistema integrato di raffrescamento naturale che interessa l'intero territorio urbano. La presenza diffusa della vegetazione favorisce infatti la circolazione dell'aria e contribuisce alla creazione di microclimi più favorevoli.

Questo effetto assume particolare importanza nelle aree densamente urbanizzate e produttive, dove la presenza di ampie superfici impermeabili tende ad accentuare il fenomeno del surriscaldamento urbano. La cintura verde diventa quindi una vera e propria infrastruttura climatica capace di migliorare le condizioni ambientali e di aumentare la capacità adattiva della città.

11.3.5 Contrasto al consumo di suolo e costruzione di un paesaggio resiliente

La conservazione e il rafforzamento della cintura verde rappresentano infine una strategia fondamentale per contrastare il consumo di suolo e promuovere modelli di sviluppo territoriale più sostenibili. Nel contesto dell'Antropocene, l'espansione urbana incontrollata costituisce una delle principali cause della perdita di servizi ecosistemici e della crescente vulnerabilità ambientale delle città.

La tutela delle aree agricole e naturali presenti lungo il torrente Leogra consente di preservare funzioni ambientali difficilmente sostituibili attraverso infrastrutture artificiali. Ogni superficie

permeabile mantenuta rappresenta infatti una risorsa strategica per la gestione delle acque, la biodiversità, il clima urbano e la qualità paesaggistica.

In questa prospettiva, il progetto non si limita a proporre interventi puntuali di riqualificazione, ma promuove una visione territoriale più ampia fondata sul riconoscimento del valore ecologico del suolo e del paesaggio aperto. La cintura verde viene interpretata come una componente strutturale della città spugna, capace di garantire continuità tra ambiente urbano e sistema naturale e di contribuire alla costruzione di un territorio più resiliente.

Attraverso la valorizzazione delle aree agricole e degli spazi aperti, il progetto del torrente Leogra dimostra come la resilienza climatica possa essere costruita non soltanto attraverso nuove infrastrutture, ma anche attraverso la tutela e il potenziamento delle risorse territoriali già esistenti. La cintura verde diventa così un elemento essenziale nella costruzione di un nuovo rapporto tra città, natura e paesaggio, fondato su principi di adattamento, sostenibilità e integrazione ecologica.

11.4 La rete ecologica territoriale come infrastruttura di connessione e resilienza

Nel contesto delle trasformazioni ambientali contemporanee, la costruzione di reti ecologiche rappresenta una delle strategie più efficaci per contrastare la frammentazione degli ecosistemi e aumentare la resilienza dei territori urbanizzati. L'espansione urbana, lo sviluppo infrastrutturale e i processi di artificializzazione del suolo hanno infatti progressivamente compromesso la continuità ambientale, riducendo la capacità degli ecosistemi di svolgere le proprie funzioni ecologiche.

Nel caso del torrente Leogra, il corridoio fluviale costituisce un elemento strategico per la ricostruzione di connessioni tra ambiti naturali, agricoli e urbani. Il progetto interpreta quindi la rete ecologica non soltanto come strumento di tutela della biodiversità, ma come una vera e propria infrastruttura territoriale capace di integrare funzioni ambientali, climatiche e paesaggistiche.

Attraverso il rafforzamento delle connessioni ecologiche, il sistema del Leogra può contribuire alla costruzione di un territorio maggiormente resiliente e capace di adattarsi alle sfide poste dal cambiamento climatico (Tabella 15).

Elemento	Ruolo ecologico	Scala
Torrente Leogra	Corridoio principale	Territoriale
Fasce ripariali	Habitat lineari	Locale
Aree agricole	Zone tampone	Territoriale
Parchi urbani	Nodi ecologici	Urbana
Aree umide	Stepping stones	Locale

Tabella 15 – Struttura della rete ecologica territoriale del torrente Leogra. Individuazione dei principali elementi che compongono la rete ecologica proposta, evidenziandone il ruolo ambientale e la scala di intervento all'interno del sistema territoriale.

11.4.1 Il ruolo della rete ecologica nel progetto del torrente Leogra

Uno degli obiettivi principali del progetto di città spugna per il torrente Leogra consiste nella ricostruzione della continuità ecologica del territorio urbano e periurbano di Schio. Le trasformazioni indotte dall'urbanizzazione, dalla diffusione delle infrastrutture e dall'espansione delle aree produttive hanno infatti determinato una progressiva frammentazione degli ecosistemi, compromettendo la capacità del territorio di mantenere relazioni funzionali tra le diverse componenti ambientali.

Nel contesto contemporaneo, caratterizzato dagli effetti del cambiamento climatico e dalla crescente pressione antropica sui sistemi naturali, la costruzione di reti ecologiche rappresenta una delle strategie più efficaci per aumentare la resilienza territoriale. La rete ecologica non viene intesa esclusivamente come sistema di tutela della biodiversità, ma come infrastruttura territoriale capace di integrare funzioni ambientali, idrologiche, paesaggistiche e sociali.

Nel caso del torrente Leogra, il corridoio fluviale costituisce la principale struttura portante della rete ecologica locale. Grazie alla sua continuità spaziale, il corso d'acqua attraversa differenti contesti ambientali e urbani, connettendo il sistema montano delle Piccole Dolomiti con le aree agricole della pianura vicentina e con il tessuto urbanizzato della città di Schio.

Questa posizione strategica consente al torrente di assumere il ruolo di asse ordinatore di un sistema ecologico più ampio, all'interno del quale trovano connessione spazi naturali, aree verdi urbane, superfici agricole e infrastrutture blu-verdi. Il progetto interpreta quindi il Leogra come elemento generatore di una rete capace di superare la frammentazione esistente e di ristabilire relazioni ecologiche oggi compromesse.

L'approccio adottato si fonda sulla consapevolezza che la resilienza di un territorio non dipende esclusivamente dalla qualità dei singoli ecosistemi, ma soprattutto dalla capacità di questi ultimi di interagire tra loro attraverso connessioni funzionali e continuità spaziali. In questo senso, la rete ecologica rappresenta una componente fondamentale del sistema città spugna, poiché favorisce simultaneamente la gestione delle acque, la biodiversità e l'adattamento climatico.

11.4.2 Il torrente Leogra come corridoio ecologico principale

I corsi d'acqua rappresentano naturalmente uno dei principali elementi di connessione ecologica all'interno dei territori antropizzati. Le fasce ripariali, la presenza dell'acqua e la continuità lineare del sistema fluviale favoriscono infatti la diffusione delle specie vegetali e animali, contribuendo alla costruzione di habitat complessi e diversificati.

Nel territorio di Schio, il Leogra conserva ancora oggi la potenzialità di svolgere questa funzione nonostante i processi di artificializzazione che ne hanno modificato profondamente la struttura. Le fasce vegetate residue presenti lungo il torrente costituiscono infatti nuclei ecologici che possono essere rafforzati e riconnessi attraverso interventi mirati di rinaturalizzazione.

La proposta progettuale prevede il consolidamento del corridoio fluviale attraverso l'ampliamento delle aree vegetate, il recupero delle sponde naturali e la creazione di nuove connessioni con gli spazi aperti circostanti. La continuità ecologica viene perseguita mediante la riduzione delle interruzioni presenti lungo il percorso del torrente e la valorizzazione delle aree residuali attualmente sottoutilizzate.

Particolare attenzione viene dedicata ai punti di discontinuità generati dalle infrastrutture viarie e dagli insediamenti produttivi. In questi ambiti, il progetto mira a ricostruire collegamenti ecologici attraverso l'introduzione di fasce vegetate, percorsi verdi e sistemi di connessione capaci di ridurre gli effetti della frammentazione territoriale.

Il torrente assume quindi una funzione che va oltre la semplice gestione delle acque, configurandosi come una vera e propria infrastruttura ecologica territoriale capace di organizzare le relazioni tra differenti ecosistemi e di supportare i processi di adattamento ambientale.

11.4.3 Biodiversità e ricostruzione degli habitat

La biodiversità rappresenta una componente fondamentale della resilienza ecologica. Ecosistemi più complessi e diversificati risultano infatti maggiormente capaci di adattarsi ai cambiamenti ambientali, di assorbire perturbazioni esterne e di mantenere nel tempo le proprie funzioni ecologiche.

Nel contesto del torrente Leogra, la progressiva riduzione degli habitat naturali e la frammentazione degli spazi aperti hanno determinato una significativa perdita di biodiversità. Il progetto propone quindi una serie di interventi finalizzati alla ricostruzione di habitat diversificati e alla creazione di condizioni favorevoli per la presenza della fauna e della flora autoctone.

La rinaturalizzazione delle fasce ripariali consente innanzitutto di incrementare la diversità vegetazionale lungo il corso d'acqua. Alberature, arbusteti, prati umidi e vegetazione erbacea contribuiscono alla formazione di differenti nicchie ecologiche capaci di ospitare numerose specie animali e vegetali.

Particolare rilevanza assume la creazione di aree umide temporanee e zone a elevata naturalità lungo il corridoio fluviale. Questi ambienti svolgono un ruolo fondamentale per anfibi, insetti impollinatori, piccoli mammiferi e avifauna, contribuendo alla ricostruzione delle reti ecologiche locali.

Le superfici agricole inserite nella cintura verde possono inoltre integrare il sistema ecologico attraverso l'introduzione di elementi lineari quali siepi, filari alberati e fossati vegetati. Queste strutture aumentano la permeabilità ecologica del territorio e facilitano gli spostamenti delle specie tra habitat differenti.

L'incremento della biodiversità genera benefici che vanno oltre la semplice conservazione naturalistica. Ecosistemi più ricchi e complessi contribuiscono infatti al miglioramento della qualità delle acque, alla regolazione climatica, all'impollinazione e al mantenimento dei servizi ecosistemici essenziali per il funzionamento del territorio.

11.4.4 Connessioni tra montagna, città e pianura

Uno degli aspetti più interessanti del sistema Leogra riguarda la sua capacità di mettere in relazione contesti territoriali molto differenti tra loro. Il torrente nasce infatti nel sistema montano delle Piccole Dolomiti, attraversa il territorio urbanizzato di Schio e prosegue verso la pianura veneta, configurandosi come un elemento di connessione tra paesaggi diversi ma strettamente interdipendenti.

Questa continuità geografica assume un'importanza strategica nella costruzione della rete ecologica territoriale. I processi ecologici non si arrestano infatti ai confini amministrativi o alle aree urbanizzate, ma si sviluppano attraverso relazioni che coinvolgono l'intero sistema territoriale.

Il progetto riconosce quindi la necessità di operare a una scala più ampia rispetto al solo ambito urbano. La riqualificazione del tratto cittadino del Leogra viene interpretata come parte di una

strategia territoriale capace di rafforzare le connessioni tra ambiente montano, spazi agricoli e tessuto urbano.

La continuità ecologica lungo l'asse fluviale favorisce la mobilità delle specie e contribuisce alla diffusione di processi naturali fondamentali per il funzionamento degli ecosistemi. Allo stesso tempo, essa permette di costruire una nuova percezione del territorio, nella quale il torrente diventa elemento di collegamento tra differenti paesaggi e comunità.

Questa visione integrata supera la tradizionale separazione tra città e natura, promuovendo un modello territoriale nel quale gli ecosistemi vengono riconosciuti come infrastrutture essenziali per il benessere collettivo e la resilienza urbana.

11.4.5 La rete ecologica come infrastruttura adattiva nell'Antropocene

Nel contesto dell'Antropocene, caratterizzato da trasformazioni climatiche e ambientali senza precedenti, le reti ecologiche assumono un ruolo sempre più importante nella costruzione di strategie di adattamento territoriale. La crescente frequenza di eventi estremi, l'aumento delle temperature e la perdita di biodiversità richiedono infatti approcci progettuali capaci di integrare dimensioni ecologiche, sociali e infrastrutturali.

La rete ecologica del torrente Leogra viene quindi interpretata come un'infrastruttura adattiva, capace di evolversi nel tempo e di rispondere alle trasformazioni future del territorio. A differenza delle infrastrutture tradizionali, caratterizzate da configurazioni rigide e statiche, i sistemi ecologici possiedono una capacità intrinseca di adattamento che consente loro di modificarsi in relazione ai cambiamenti ambientali.

Attraverso il rafforzamento delle connessioni ecologiche, l'incremento della biodiversità e la valorizzazione delle infrastrutture blu-verdi, il progetto costruisce una struttura territoriale in grado di supportare la resilienza complessiva della città di Schio. La rete ecologica diventa così non soltanto uno strumento di tutela ambientale, ma una componente fondamentale della strategia di adattamento climatico.

In questa prospettiva, il torrente Leogra assume un nuovo significato all'interno del paesaggio contemporaneo. Da infrastruttura tecnica marginalizzata, esso si trasforma in elemento generatore di una rete ecologica capace di riconnettere acqua, suolo, vegetazione e spazio urbano, contribuendo alla costruzione di una città più resiliente, sostenibile e capace di convivere con i processi naturali che la attraversano.

11.5 Spazi pubblici e dispositivi Sponge City

Uno degli aspetti più innovativi del paradigma della città spugna riguarda la trasformazione dello spazio pubblico in infrastruttura ecologica e idrologica attiva. In opposizione ai modelli tradizionali di gestione delle acque meteoriche, fondati sul rapido allontanamento dei deflussi attraverso reti artificiali, l'approccio Sponge City promuove l'integrazione dei processi naturali all'interno del tessuto urbano.

Nel progetto del torrente Leogra, gli spazi pubblici assumono un ruolo centrale nella costruzione della resilienza urbana. Parchi, percorsi, piazze e aree verdi vengono reinterpretati come dispositivi capaci di raccogliere, infiltrare, trattenere e riutilizzare l'acqua piovana, contribuendo contemporaneamente al miglioramento della qualità ambientale e paesaggistica della città. Attraverso l'impiego di Nature-Based Solutions e sistemi di drenaggio sostenibile, il progetto propone una nuova relazione tra acqua e spazio urbano, nella quale le infrastrutture ecologiche diventano parte integrante dell'esperienza quotidiana degli abitanti (Tabella 16).

Dispositivo	Funzione idrologica	Funzione ecologica	Funzione sociale
Rain Garden	Infiltrazione	Habitat vegetali	Valore estetico
Bioswale	Filtrazione	Connessione ecologica	Arredo urbano
Wetland urbana	Laminazione	Biodiversità	Educazione ambientale
Pavimentazioni drenanti	Riduzione runoff	Permeabilità	Fruizione pubblica
Parco allagabile	Accumulo temporaneo	Habitat naturali	Spazio ricreativo

Tabella 16 - Dispositivi Sponge City applicati al progetto del torrente Leogra. Classificazione dei principali dispositivi progettuali introdotti nel sistema Leogra e delle relative funzioni idrologiche, ecologiche e sociali all'interno della strategia di adattamento climatico.

11.5.1 Lo spazio pubblico come infrastruttura idrologica

Tradizionalmente gli spazi pubblici urbani sono stati progettati principalmente per rispondere a esigenze di mobilità, rappresentazione e aggregazione sociale. Piazze, strade, parcheggi e aree verdi sono stati spesso concepiti come elementi indipendenti dai processi ecologici e idrologici che caratterizzano il territorio. Nel contesto del cambiamento climatico e dell'intensificazione degli eventi meteorologici estremi, questa impostazione mostra tuttavia evidenti limiti, poiché contribuisce ad aumentare l'impermeabilizzazione del suolo e la vulnerabilità delle città rispetto ai fenomeni di allagamento.

Il paradigma della città spugna propone una profonda reinterpretazione dello spazio pubblico urbano. Le superfici aperte non vengono più considerate semplicemente come luoghi di attraversamento o permanenza, ma come componenti attive del ciclo dell'acqua. Lo spazio pubblico assume così una funzione ecologica e idrologica, contribuendo alla raccolta, infiltrazione, ritenzione e filtrazione delle acque meteoriche.

Nel progetto del torrente Leogra, gli spazi pubblici vengono integrati all'interno della rete blu-verde territoriale e assumono il ruolo di dispositivi diffusi di adattamento climatico. Attraverso la combinazione di superfici permeabili, vegetazione, sistemi di drenaggio sostenibile e aree di accumulo temporaneo, il tessuto urbano diventa parte integrante del sistema di gestione delle acque.

Questa trasformazione produce benefici che vanno oltre la semplice riduzione del rischio idraulico. Gli interventi contribuiscono infatti al miglioramento del microclima urbano, all'incremento della biodiversità, alla qualità paesaggistica e alla vivibilità degli spazi collettivi. Lo spazio pubblico diventa quindi un'infrastruttura multifunzionale capace di integrare prestazioni ambientali e funzioni sociali.

11.5.2 Rain Gardens: infiltrazione e depurazione naturale

Tra i principali dispositivi previsti dal progetto assumono particolare rilevanza i rain gardens, ovvero aree vegetate progettate per raccogliere e infiltrare le acque meteoriche provenienti dalle superfici impermeabili circostanti.

I rain gardens rappresentano una delle soluzioni più diffuse nell'ambito delle strategie Sponge City e delle Nature-Based Solutions poiché consentono di imitare i processi naturali di infiltrazione del suolo. Attraverso una combinazione di terreno drenante, vegetazione e sistemi di accumulo superficiale, questi dispositivi trattengono temporaneamente l'acqua piovana favorendone il progressivo assorbimento nel sottosuolo.

Nel caso del torrente Leogra, i rain gardens vengono collocati in prossimità di percorsi ciclopeditoni, parcheggi, spazi pubblici e aree di connessione con il corridoio fluviale. La loro distribuzione diffusa permette di intercettare una parte significativa delle precipitazioni prima che queste raggiungano la rete di drenaggio urbana.

Oltre alla funzione idrologica, i rain gardens svolgono importanti funzioni ecologiche. Le specie vegetali utilizzate favoriscono infatti la filtrazione degli inquinanti presenti nel deflusso urbano e contribuiscono alla creazione di microhabitat per insetti impollinatori e piccola fauna.

Dal punto di vista paesaggistico, questi dispositivi introducono nuove forme di vegetazione nello spazio pubblico, contribuendo alla costruzione di ambienti urbani più naturali e capaci di esprimere la presenza dell'acqua come elemento progettuale.

11.5.3 Bioswales e sistemi lineari di drenaggio sostenibile

Accanto ai rain gardens, il progetto prevede l'introduzione di bioswales, ovvero canali vegetati poco profondi progettati per raccogliere, rallentare e filtrare le acque meteoriche provenienti dalle superfici urbane.

A differenza delle tradizionali canalizzazioni in calcestruzzo, i bioswales sfruttano processi naturali di infiltrazione e *fitodepurazione*⁵⁹. L'acqua viene convogliata attraverso depressioni vegetate nelle quali la presenza del terreno permeabile e delle radici delle piante favorisce la riduzione della velocità del flusso e la rimozione di parte degli inquinanti.

Nel sistema progettuale del Leogra, questi elementi vengono utilizzati lungo gli assi viari, nelle aree di connessione tra quartieri e nelle fasce di transizione tra spazi urbanizzati e corridoio fluviale. Il loro impiego consente di distribuire la gestione delle acque sull'intero territorio urbano, riducendo la dipendenza dalle infrastrutture centralizzate.

I bioswales assumono inoltre una funzione paesaggistica significativa. La loro presenza contribuisce a definire nuovi margini verdi, incrementa la continuità ecologica e migliora la percezione complessiva dello spazio urbano.

11.5.4 Pavimentazioni permeabili e de-impermeabilizzazione urbana

Uno degli interventi fondamentali previsti dal progetto riguarda la progressiva sostituzione delle superfici impermeabili con materiali drenanti e permeabili. L'eccessiva impermeabilizzazione rappresenta infatti una delle principali cause dell'alterazione del ciclo idrologico urbano e dell'aumento del rischio di allagamento.

Le pavimentazioni permeabili consentono alle acque meteoriche di infiltrarsi direttamente nel terreno attraverso sistemi di giunti aperti, materiali porosi o strutture drenanti. In questo modo viene ridotta la quantità di acqua convogliata nelle reti fognarie e aumentata la capacità del territorio di assorbire le precipitazioni.

⁵⁹ Fitodepurazione: Tecnica naturale di trattamento delle acque che sfrutta la capacità depurativa di piante, substrati e microrganismi presenti negli ecosistemi umidi.

Nel progetto del Leogra, tali soluzioni trovano applicazione in parcheggi, percorsi pedonali, piazze e spazi pubblici di nuova realizzazione. La loro diffusione contribuisce a costruire una rete di superfici permeabili capace di operare come sistema integrato di gestione delle acque.

La de-impermeabilizzazione produce inoltre benefici climatici significativi. Le superfici drenanti tendono infatti ad accumulare meno calore rispetto ai materiali tradizionali, contribuendo alla mitigazione delle isole di calore urbane e al miglioramento del comfort ambientale.

11.5.5 Parchi allagabili e aree di laminazione multifunzionali

Tra le strategie più innovative previste dal progetto vi è la realizzazione di spazi aperti capaci di assumere temporaneamente funzioni idrauliche durante gli eventi meteorologici intensi.

I cosiddetti parchi allagabili rappresentano una delle principali applicazioni del paradigma Sponge City. Questi spazi vengono progettati per svolgere una duplice funzione: in condizioni ordinarie operano come aree ricreative e spazi pubblici destinati alla collettività; durante eventi estremi diventano invece bacini temporanei di accumulo e laminazione delle acque.

Lungo il torrente Leogra, la presenza di superfici aperte e aree marginali offre importanti opportunità per l'implementazione di questa strategia. Le aree di laminazione possono essere integrate all'interno del sistema dei parchi fluviali, contribuendo contemporaneamente alla sicurezza idraulica e alla qualità paesaggistica.

Questa multifunzionalità consente di superare la tradizionale separazione tra infrastrutture tecniche e spazio pubblico, dimostrando come le esigenze di adattamento climatico possano generare nuove opportunità di qualificazione urbana.

11.5.6 Raccolta e riuso delle acque meteoriche

Un ulteriore elemento del sistema Sponge City riguarda la raccolta e il riutilizzo delle acque meteoriche. In un contesto caratterizzato dall'alternanza tra eventi estremi e periodi di siccità, la capacità di trattenere e riutilizzare l'acqua rappresenta una strategia fondamentale per la resilienza urbana.

Il progetto prevede l'integrazione di sistemi di accumulo in grado di raccogliere le acque provenienti da coperture edilizie, spazi pubblici e superfici pavimentate. L'acqua immagazzinata può essere successivamente utilizzata per l'irrigazione delle aree verdi, la manutenzione del paesaggio urbano e altre funzioni non potabili.

Questa strategia contribuisce a ridurre il consumo di risorse idriche e a promuovere una gestione più efficiente dell'acqua all'interno del sistema urbano. Il riuso delle precipitazioni consente inoltre di trasformare un potenziale problema idraulico in una risorsa ambientale.

11.5.7 Lo spazio pubblico come dispositivo di adattamento climatico

L'insieme dei dispositivi descritti dimostra come gli spazi pubblici possano assumere un ruolo centrale nelle strategie di adattamento climatico. Rain gardens, bioswales, pavimentazioni permeabili, parchi allagabili e sistemi di raccolta delle acque non rappresentano interventi isolati, ma componenti di una rete integrata capace di aumentare la resilienza complessiva del territorio.

Nel caso del torrente Leogra, la trasformazione dello spazio pubblico consente di costruire una nuova relazione tra città e acqua. L'acqua non viene più nascosta o rapidamente allontanata, ma resa visibile e integrata all'interno del paesaggio urbano come elemento generatore di qualità ambientale.

Attraverso questa prospettiva, il progetto dimostra come il paradigma della città spugna possa contribuire alla costruzione di una città più adattiva, sostenibile e capace di affrontare le sfide dell'Antropocene attraverso l'integrazione tra infrastrutture ecologiche, processi naturali e progetto di paesaggio.

11.6 Le aree produttive come componenti attive della città spugna

La città di Schio è storicamente caratterizzata da una forte vocazione industriale che ha profondamente influenzato l'organizzazione del territorio e il rapporto con il torrente Leogra. Le aree produttive rappresentano ancora oggi una componente significativa del paesaggio urbano e costituiscono uno dei principali fattori responsabili dell'impermeabilizzazione del suolo e dell'alterazione del ciclo idrologico.

Per questo motivo, una strategia di adattamento climatico realmente efficace non può limitarsi agli spazi verdi e alle aree naturali, ma deve coinvolgere anche i comparti produttivi. Il paradigma della città spugna offre l'opportunità di reinterpretare questi ambiti come elementi attivi della gestione sostenibile delle acque e della resilienza urbana. Attraverso interventi di de-impermeabilizzazione, inverdimento e integrazione di sistemi di drenaggio sostenibile, le aree industriali possono contribuire alla costruzione di un nuovo equilibrio tra sviluppo economico, qualità ambientale e adattamento climatico.

11.6.1 Le aree produttive nel sistema territoriale del Leogra

La presenza di aree produttive costituisce uno degli elementi più caratterizzanti del paesaggio urbano di Schio. Lo sviluppo industriale che ha interessato il territorio a partire dall'Ottocento ha infatti contribuito alla costruzione dell'identità economica e sociale della città, generando una stretta relazione tra attività manifatturiera, infrastrutture e sistema idrografico.

Storicamente il torrente Leogra ha rappresentato una risorsa fondamentale per il funzionamento delle attività produttive locali. La disponibilità di acqua e di energia idraulica ha favorito la localizzazione di opifici, manifatture e successivamente di complessi industriali lungo il corso d'acqua, contribuendo alla progressiva trasformazione del paesaggio fluviale.

Nel corso del Novecento, l'espansione delle aree produttive ha comportato un significativo incremento delle superfici impermeabili e una crescente artificializzazione del territorio. Capannoni, piazzali, parcheggi e infrastrutture logistiche hanno progressivamente sostituito suoli agricoli e aree naturali, alterando il funzionamento del ciclo idrologico e riducendo la capacità del territorio di assorbire le precipitazioni.

Nel contesto attuale, le aree industriali rappresentano uno dei principali fattori di vulnerabilità idraulica e climatica. L'elevata impermeabilizzazione determina infatti una rapida produzione di deflusso superficiale durante gli eventi meteorologici intensi, contribuendo al sovraccarico delle reti di drenaggio e all'aumento delle portate che raggiungono il torrente.

Per queste ragioni, il progetto di città spugna considera le aree produttive non come elementi separati dal sistema ecologico del territorio, ma come componenti attive della strategia di adattamento climatico. Il loro coinvolgimento risulta essenziale per costruire un modello di gestione sostenibile delle acque capace di operare alla scala dell'intero bacino urbano.

11.6.2 Riduzione delle superfici impermeabili e recupero della permeabilità

Uno dei principali obiettivi progettuali riguarda la progressiva riduzione dell'impermeabilizzazione presente nelle aree industriali e produttive. Pur riconoscendo la necessità di garantire la funzionalità delle attività economiche esistenti, il progetto individua numerose opportunità per incrementare la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche senza compromettere l'efficienza degli spazi produttivi.

Particolare attenzione viene dedicata ai grandi piazzali asfaltati, alle aree di sosta e agli spazi di servizio che caratterizzano gran parte dei comparti industriali. Queste superfici rappresentano infatti

una quota significativa del suolo impermeabilizzato e costituiscono una delle principali fonti di deflusso durante gli eventi di pioggia.

La sostituzione progressiva delle pavimentazioni tradizionali con materiali drenanti consente di migliorare sensibilmente il comportamento idrologico del territorio. Attraverso l'utilizzo di pavimentazioni permeabili, grigliati erbosi e superfici filtranti, parte delle precipitazioni può essere trattenuta e infiltrata direttamente nel sottosuolo.

L'incremento della permeabilità diffusa contribuisce a ridurre il volume delle acque convogliate verso il torrente e la rete fognaria, migliorando la capacità complessiva del sistema urbano di rispondere agli eventi meteorologici estremi. Allo stesso tempo, queste soluzioni favoriscono una maggiore integrazione tra spazi produttivi e infrastrutture ecologiche, contribuendo alla costruzione di un paesaggio industriale più sostenibile.

11.6.3 Sistemi di drenaggio sostenibile per i comparti industriali

Accanto alla de-impermeabilizzazione, il progetto prevede l'introduzione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile specificamente adattati alle caratteristiche delle aree produttive.

L'obiettivo consiste nel trattenere e gestire le acque meteoriche direttamente all'interno dei comparti industriali, limitando il rapido trasferimento dei deflussi verso il sistema fluviale. A questo scopo vengono introdotti dispositivi quali bioswales, rain gardens, bacini vegetati di accumulo e fasce filtranti in grado di raccogliere, rallentare e depurare le acque provenienti dalle superfici impermeabili.

La presenza di questi sistemi consente di ricostruire parzialmente il ciclo naturale dell'acqua all'interno di contesti fortemente artificializzati. Le precipitazioni vengono temporaneamente trattenute, filtrate attraverso il suolo e successivamente restituite all'ambiente mediante processi di infiltrazione ed evapotraspirazione.

Particolare rilevanza assume la possibilità di integrare tali dispositivi lungo i margini dei comparti produttivi e nelle aree di transizione verso il torrente. Questi spazi possono infatti svolgere simultaneamente funzioni idrologiche, ecologiche e paesaggistiche, contribuendo alla costruzione di una rete continua di infrastrutture blu-verdi.

L'approccio proposto supera quindi il modello tradizionale basato esclusivamente sulla raccolta e sul rapido smaltimento delle acque, promuovendo una gestione più sostenibile e resiliente delle risorse idriche.

11.6.4 Inverdimento delle aree produttive e mitigazione climatica

Le aree industriali rappresentano spesso alcuni dei contesti maggiormente esposti agli effetti delle isole di calore urbane. L'ampia presenza di superfici asfaltate, coperture impermeabili e materiali ad elevata capacità di accumulo termico contribuisce infatti all'aumento delle temperature superficiali e alla riduzione della qualità ambientale.

Il progetto propone quindi una strategia di inverdimento diffuso finalizzata a incrementare la presenza della vegetazione all'interno dei comparti produttivi. Filari alberati, fasce vegetate, tetti verdi e sistemi di ombreggiamento naturale diventano componenti essenziali della trasformazione del paesaggio industriale.

La vegetazione svolge un ruolo fondamentale nella regolazione microclimatica, contribuendo alla riduzione delle temperature attraverso processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione. Parallelamente, essa favorisce l'assorbimento degli inquinanti atmosferici, migliora la qualità dell'aria e incrementa la biodiversità locale.

Dal punto di vista paesaggistico, l'introduzione di elementi vegetali consente inoltre di mitigare l'impatto visivo delle grandi strutture produttive e di rafforzare le connessioni ecologiche con il sistema del torrente Leogra. Le aree industriali cessano così di rappresentare elementi di discontinuità ambientale e diventano parte integrante della rete ecologica territoriale.

11.6.5 Verso un nuovo paesaggio produttivo resiliente

L'integrazione delle aree produttive all'interno del sistema della città spugna rappresenta uno degli aspetti più innovativi della proposta progettuale. Essa dimostra come la resilienza climatica non possa essere perseguita esclusivamente attraverso la realizzazione di nuovi parchi o infrastrutture verdi, ma richieda il coinvolgimento attivo di tutte le componenti che costituiscono il territorio urbano.

Nel caso di Schio, il rapporto storico tra industria e torrente offre l'opportunità di costruire un nuovo modello di convivenza tra attività produttive e processi naturali. Le aree industriali possono infatti trasformarsi da elementi di pressione ambientale a componenti attive della gestione sostenibile delle acque e dell'adattamento climatico.

Attraverso il recupero della permeabilità, l'introduzione di sistemi di drenaggio sostenibile e l'incremento della vegetazione, il paesaggio produttivo assume nuove funzioni ecologiche e ambientali. Questa trasformazione contribuisce non soltanto alla riduzione del rischio idraulico, ma anche al miglioramento della qualità complessiva del territorio.

In tale prospettiva, il progetto del torrente Leogra propone una visione integrata nella quale sviluppo economico, tutela ambientale e resilienza climatica non vengono considerati obiettivi contrapposti, ma componenti complementari di una strategia territoriale orientata alla sostenibilità e alla costruzione di un nuovo rapporto tra città, acqua e paesaggio.

11.7 Valutazione delle prestazioni ecosistemiche del progetto

La crescente diffusione delle Nature-Based Solutions e delle infrastrutture blu-verdi ha evidenziato la necessità di valutare i progetti non soltanto dal punto di vista formale e funzionale, ma anche in relazione ai benefici ambientali, sociali ed economici che essi sono in grado di generare.

In questo contesto, il concetto di servizi ecosistemici assume un ruolo centrale, poiché consente di interpretare il paesaggio come infrastruttura capace di fornire prestazioni fondamentali per il benessere delle comunità e il funzionamento dei sistemi urbani.

Nel caso del torrente Leogra, la valutazione delle prestazioni ecosistemiche permette di analizzare gli effetti attesi delle strategie progettuali proposte, evidenziandone il contributo alla riduzione del rischio idraulico, all'incremento della biodiversità, alla mitigazione climatica e al miglioramento della qualità urbana.

L'obiettivo di questa analisi non consiste esclusivamente nella verifica delle prestazioni ambientali del progetto, ma nella dimostrazione del ruolo che il paesaggio può assumere come infrastruttura resiliente all'interno della città contemporanea (Tabella 17).

Categoria	Beneficio
Regolazione idrologica	Riduzione del deflusso superficiale
Regolazione climatica	Mitigazione isole di calore
Supporto ecologico	Incremento biodiversità
Servizi culturali	Fruizione e qualità del paesaggio
Servizi sociali	Benessere collettivo
Servizi economici	Riduzione costi da eventi estremi

Tabella 17 - Servizi ecosistemici e benefici ambientali generati dal progetto. Sintesi dei principali servizi ecosistemici attesi dall'applicazione delle strategie di città spugna lungo il torrente Leogra, con riferimento agli effetti idrologici, ecologici, climatici e sociali.

11.7.1 Valutare il progetto oltre la dimensione formale

Nel progetto contemporaneo di paesaggio la valutazione degli interventi non può limitarsi esclusivamente agli aspetti compositivi, estetici o funzionali. La crescente complessità delle sfide ambientali impone infatti la necessità di analizzare la capacità dei progetti di generare benefici misurabili per il territorio e per le comunità che lo abitano. In questo contesto assume particolare rilevanza il concetto di servizi ecosistemici, intesi come l'insieme dei benefici che gli ecosistemi forniscono alla società attraverso il proprio funzionamento naturale.

L'approccio della città spugna si fonda proprio sulla valorizzazione dei processi ecosistemici come strumenti di adattamento climatico e gestione sostenibile delle risorse. Le infrastrutture blu-verdi, le aree umide, le superfici permeabili e la vegetazione urbana non svolgono soltanto una funzione ambientale, ma producono una serie di effetti positivi che interessano simultaneamente il ciclo dell'acqua, il clima urbano, la biodiversità e il benessere collettivo.

Nel caso del torrente Leogra, la valutazione delle prestazioni ecosistemiche consente di comprendere in che modo le strategie progettuali proposte possano contribuire alla costruzione di un territorio più resiliente. Pur non essendo supportata da simulazioni idrauliche o modelli quantitativi specifici, l'analisi si basa sulla letteratura scientifica relativa alle Nature-Based Solutions e ai sistemi Sponge City, permettendo di individuare gli effetti attesi derivanti dall'implementazione delle diverse componenti progettuali.

L'obiettivo non consiste quindi nella definizione di valori numerici assoluti, ma nella valutazione qualitativa delle prestazioni che il sistema è in grado di offrire rispetto alle principali criticità ambientali e climatiche individuate nel territorio di Schio.

11.7.2 Prestazioni idrologiche e riduzione del rischio idraulico

Uno dei principali risultati attesi dall'applicazione del paradigma della città spugna riguarda il miglioramento del comportamento idrologico del territorio urbano. Le trasformazioni che hanno interessato il sistema del Leogra nel corso del Novecento hanno infatti determinato una significativa alterazione del ciclo naturale dell'acqua, caratterizzata da una crescente impermeabilizzazione delle superfici e da una progressiva accelerazione dei deflussi superficiali.

L'introduzione di dispositivi sponge e infrastrutture blu-verdi contribuisce a contrastare tali fenomeni attraverso il recupero delle capacità di infiltrazione, ritenzione e laminazione delle acque meteoriche. Rain gardens, bioswales, aree umide, superfici drenanti e parchi allagabili permettono

infatti di distribuire la gestione dell'acqua all'interno dell'intero sistema urbano, riducendo la quantità di precipitazioni che raggiunge rapidamente il torrente e le reti fognarie.

La presenza di superfici permeabili consente di rallentare il deflusso e favorire il reintegro delle riserve idriche sotterranee, mentre le aree di accumulo temporaneo contribuiscono alla riduzione dei picchi di piena durante gli eventi meteorologici intensi. Questo effetto assume particolare rilevanza in un contesto climatico caratterizzato dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle precipitazioni estreme.

Il sistema proposto non elimina completamente il rischio idraulico, ma contribuisce ad aumentare significativamente la capacità adattiva del territorio. La gestione diffusa delle acque riduce infatti la dipendenza dalle sole infrastrutture grigie e costruisce un sistema più flessibile e resiliente rispetto alle incertezze climatiche future.

Dal punto di vista idrologico, il progetto consente quindi di avvicinare il comportamento del territorio urbanizzato a quello di un sistema naturale, ricostruendo parte delle funzioni ecologiche compromesse dai processi di urbanizzazione.

11.7.3 Prestazioni ecologiche e incremento della biodiversità

Oltre ai benefici idrologici, il progetto genera importanti effetti positivi sul piano ecologico. La rinaturalizzazione delle fasce perifluviali, il rafforzamento della vegetazione ripariale e la costruzione della rete ecologica territoriale contribuiscono infatti alla ricostruzione di habitat e connessioni ambientali oggi fortemente frammentati.

Il corridoio del torrente Leogra assume in questo senso un ruolo fondamentale come asse di connessione tra differenti ecosistemi. La continuità delle fasce vegetate favorisce gli spostamenti delle specie animali e vegetali e contribuisce alla formazione di habitat diversificati in grado di ospitare differenti componenti della biodiversità locale.

La presenza di aree umide, prati naturali, arbusteti e alberature incrementa la complessità ecologica del paesaggio e favorisce l'insediamento di numerose specie di insetti impollinatori, uccelli, anfibi e piccoli mammiferi. Tali elementi svolgono inoltre un ruolo essenziale nel mantenimento degli equilibri ecosistemici e nella fornitura di servizi ambientali.

Particolarmente rilevante risulta il contributo della vegetazione alla depurazione naturale delle acque. I processi di fitodepurazione e filtrazione biologica consentono infatti di migliorare la qualità delle acque superficiali e di ridurre la presenza di sostanze inquinanti provenienti dal dilavamento urbano.

La biodiversità diventa così non soltanto un indicatore della qualità ambientale del territorio, ma una componente essenziale della sua resilienza. Ecosistemi più ricchi e complessi risultano infatti maggiormente capaci di adattarsi ai cambiamenti climatici e di mantenere nel tempo le proprie funzioni ecologiche.

11.7.4 Prestazioni climatiche e mitigazione delle isole di calore

Tra gli effetti più significativi del progetto rientrano i benefici legati alla regolazione climatica e alla mitigazione delle temperature urbane. L'aumento delle temperature medie e la crescente frequenza delle ondate di calore rappresentano infatti una delle principali sfide che le città contemporanee sono chiamate ad affrontare.

Nel territorio di Schio, la presenza diffusa di superfici asfaltate e impermeabili contribuisce alla formazione di isole di calore urbane, fenomeno che determina un aumento delle temperature rispetto alle aree naturali circostanti. Questa condizione produce effetti negativi sia sul comfort ambientale sia sulla salute della popolazione.

Le strategie progettuali proposte agiscono su questo problema attraverso l'incremento della vegetazione e delle superfici permeabili. Alberature, fasce verdi, aree umide e corridoi ecologici contribuiscono infatti alla riduzione delle temperature mediante processi di ombreggiamento ed evapotraspirazione.

La presenza dell'acqua assume a sua volta un ruolo fondamentale nella regolazione del microclima urbano. I sistemi di ritenzione e infiltrazione contribuiscono a mantenere livelli più elevati di umidità ambientale e a ridurre gli effetti delle condizioni climatiche estreme.

Le prestazioni climatiche del progetto si manifestano quindi attraverso una maggiore capacità del territorio di assorbire gli impatti delle ondate di calore, migliorando il comfort ambientale degli spazi pubblici e aumentando la vivibilità complessiva della città.

11.7.5 Prestazioni sociali e qualità dello spazio pubblico

Le infrastrutture blu-verdi producono benefici che vanno oltre la dimensione ambientale e interessano direttamente la qualità della vita urbana. Il progetto del torrente Leogra contribuisce infatti alla costruzione di nuovi spazi pubblici capaci di integrare funzioni ecologiche, ricreative e culturali.

La realizzazione di percorsi ciclopeditoni, parchi lineari e spazi verdi accessibili favorisce una maggiore fruizione del sistema fluviale e contribuisce a ristabilire il rapporto tra cittadini e paesaggio

dell'acqua. Il torrente, storicamente marginalizzato dalle trasformazioni urbane, tornerebbe così a svolgere un ruolo centrale nella vita collettiva della città.

La presenza di ambienti naturali all'interno del contesto urbano produce inoltre effetti positivi sul benessere psicofisico della popolazione. Numerosi studi evidenziano infatti come il contatto con la natura contribuisca alla riduzione dello stress, al miglioramento della salute mentale e all'incremento della qualità della vita.

Le infrastrutture verdi diventano quindi luoghi di incontro, socializzazione e partecipazione, rafforzando il senso di appartenenza e l'identità collettiva legata al territorio. Il progetto assume in questo senso una dimensione culturale che va oltre la semplice risposta alle problematiche ambientali.

11.7.6 Prestazioni economiche e valore territoriale

L'approccio basato sulle Nature-Based Solutions presenta importanti vantaggi anche dal punto di vista economico. Sebbene la realizzazione delle infrastrutture blu-verdi richieda investimenti iniziali, i benefici generati nel lungo periodo possono contribuire a ridurre significativamente i costi associati alla gestione dei rischi ambientali.

La diminuzione del rischio di allagamenti e dei danni causati dagli eventi meteorologici estremi comporta infatti una riduzione delle spese legate alle emergenze e agli interventi di ripristino delle infrastrutture. Parallelamente, il miglioramento della qualità ambientale può contribuire ad aumentare l'attrattività del territorio e il valore degli spazi urbani.

La presenza di parchi, percorsi verdi e paesaggi fluviali riqualificati rappresenta inoltre un fattore di valorizzazione per le attività economiche locali e per il sistema turistico e culturale della città. La qualità del paesaggio diventa così una risorsa strategica capace di generare nuove opportunità di sviluppo sostenibile.

In questa prospettiva, gli investimenti nelle infrastrutture ecologiche non devono essere interpretati come semplici costi ambientali, ma come strumenti capaci di produrre benefici economici, sociali e territoriali nel medio e lungo periodo.

11.7.7 Una valutazione integrata delle prestazioni del sistema Leogra

L'analisi delle prestazioni ecosistemiche evidenzia come il progetto del torrente Leogra sia in grado di operare simultaneamente su differenti dimensioni della resilienza territoriale. I benefici idrologici, ecologici, climatici, sociali ed economici non agiscono infatti in maniera indipendente, ma si rafforzano reciprocamente attraverso le interazioni tra le diverse componenti del sistema.

La capacità di trattenere l'acqua migliora la biodiversità; l'incremento della vegetazione contribuisce alla regolazione climatica; la qualità ambientale favorisce la fruizione sociale e la valorizzazione economica del territorio. Questa interdipendenza rappresenta uno degli aspetti più significativi del paradigma della città spugna e delle infrastrutture blu-verdi.

Nel caso del torrente Leogra, il progetto dimostra come il paesaggio possa essere interpretato come infrastruttura performativa capace di fornire servizi ecosistemici essenziali per il funzionamento della città contemporanea. La resilienza non viene perseguita attraverso singole opere tecniche, ma mediante la costruzione di un sistema territoriale integrato che utilizza i processi naturali come strumenti di adattamento climatico.

La valutazione delle prestazioni ecosistemiche conferma quindi la validità dell'approccio adottato e rafforza l'idea che il progetto di paesaggio possa assumere un ruolo strategico nell'affrontare le sfide ambientali dell'Antropocene, contribuendo alla costruzione di città più sostenibili, adattive e capaci di convivere con i processi naturali che le attraversano (Tabella 18).

Obiettivo	Prestazione attesa
Riduzione rischio idraulico	Alta
Incremento biodiversità	Alta
Mitigazione climatica	Media-Alta
Qualità paesaggistica	Alta
Fruibilità pubblica	Alta
Adattamento climatico	Alta

Tabella 18 - Valutazione qualitativa delle prestazioni del progetto. Analisi qualitativa delle prestazioni attese delle strategie progettuali in relazione agli obiettivi di resilienza climatica, riduzione del rischio idraulico, incremento della biodiversità e miglioramento della qualità urbana.

11.8 Benefici attesi e prospettive future

L'applicazione dei principi della città spugna al sistema del torrente Leogra consente di immaginare nuove modalità di integrazione tra processi naturali e sviluppo urbano, offrendo una risposta concreta alle sfide poste dal cambiamento climatico e dall'Antropocene. Le strategie progettuali sviluppate nei capitoli precedenti non devono essere interpretate come interventi isolati, ma come componenti di una visione complessiva orientata alla costruzione di un territorio più resiliente, sostenibile e capace di adattarsi alle trasformazioni future.

La riflessione sui benefici attesi e sulle prospettive di sviluppo del progetto rappresenta quindi un passaggio fondamentale per comprendere il potenziale del modello proposto e la sua possibile applicazione in altri contesti territoriali. Attraverso questa analisi emerge il valore del progetto di paesaggio come strumento operativo per la rigenerazione ecologica delle città e per la costruzione di nuove relazioni tra acqua, suolo, ambiente e comunità locali.

11.8.1 Il progetto come strategia di adattamento territoriale

L'applicazione dei principi della città spugna al torrente Leogra consente di delineare una strategia di adattamento territoriale capace di rispondere alle principali criticità ambientali e climatiche che caratterizzano il contesto urbano contemporaneo. Il progetto non si limita infatti alla risoluzione di problematiche idrauliche puntuali, ma propone una trasformazione più ampia del rapporto tra città, acqua e paesaggio.

L'insieme delle strategie illustrate nei capitoli precedenti evidenzia come la resilienza urbana possa essere perseguita attraverso il rafforzamento dei processi naturali piuttosto che mediante il solo potenziamento delle infrastrutture tecniche tradizionali. Il recupero della permeabilità del suolo, la rinaturalizzazione del corridoio fluviale, la costruzione della rete ecologica e l'introduzione di dispositivi Sponge City contribuiscono infatti alla formazione di un sistema territoriale più adattivo e capace di assorbire le perturbazioni generate dal cambiamento climatico.

Nel caso del torrente Leogra, il progetto assume il valore di una strategia territoriale integrata nella quale gestione delle acque, qualità ambientale, biodiversità e spazio pubblico vengono considerati elementi complementari di un unico processo di trasformazione. Questa visione supera l'approccio settoriale che ha caratterizzato gran parte delle politiche urbane del Novecento e promuove una maggiore integrazione tra pianificazione territoriale, progettazione paesaggistica e gestione ecologica.

Il progetto dimostra inoltre come la resilienza non possa essere interpretata esclusivamente come capacità di resistere agli eventi estremi, ma debba essere intesa come attitudine del territorio a trasformarsi e adattarsi nel tempo mantenendo la propria funzionalità ecologica e sociale.

11.8.2 Benefici attesi per il sistema ambientale e idrologico

Tra i principali risultati attesi emerge il miglioramento complessivo delle condizioni ambientali del sistema fluviale e del territorio urbano di Schio. Le strategie di rinaturalizzazione e di gestione sostenibile delle acque consentono infatti di ricostruire parte delle funzioni ecologiche compromesse dai processi di urbanizzazione e artificializzazione.

L'incremento delle superfici permeabili e la diffusione dei dispositivi di infiltrazione contribuiscono a ristabilire una relazione più equilibrata tra precipitazioni, suolo e sistema idrografico. Questo processo favorisce la riduzione dei deflussi superficiali, l'aumento della ricarica delle falde e una maggiore capacità del territorio di trattenere l'acqua durante gli eventi meteorologici intensi.

Parallelamente, la riqualificazione delle fasce perfluviali determina un miglioramento della qualità ecologica del torrente e delle sue aree di pertinenza. La vegetazione ripariale, le aree umide e gli habitat naturali previsti dal progetto contribuiscono alla ricostruzione della biodiversità e al rafforzamento delle connessioni ecologiche lungo l'asse fluviale.

Dal punto di vista idrologico, il sistema della città spugna consente di distribuire la gestione delle acque all'interno dell'intero territorio urbano, riducendo la pressione sulle reti di drenaggio tradizionali e aumentando la sicurezza complessiva rispetto agli eventi estremi.

Questi benefici assumono particolare rilevanza in relazione agli scenari climatici futuri, che prevedono un incremento della frequenza di precipitazioni intense alternate a periodi sempre più prolungati di siccità.

11.8.3 Benefici per la qualità urbana e il benessere collettivo

Oltre agli aspetti ambientali, il progetto genera importanti ricadute sulla qualità dello spazio urbano e sulla vita quotidiana degli abitanti. La costruzione di nuovi percorsi ciclopedonali, parchi lineari e spazi verdi accessibili favorisce infatti una maggiore fruizione del torrente e contribuisce a rafforzare il rapporto tra comunità e paesaggio.

Il Leogra viene reinterpretato come elemento centrale della struttura urbana, capace di collegare differenti quartieri e di offrire nuove opportunità di incontro, svago e mobilità sostenibile. Questo processo consente di restituire visibilità e significato a un'infrastruttura naturale che nel corso del tempo era stata progressivamente marginalizzata dalle trasformazioni urbane.

La presenza diffusa di vegetazione e spazi aperti contribuisce inoltre al miglioramento del comfort ambientale e alla mitigazione delle condizioni climatiche più critiche. L'ombreggiamento prodotto dalle alberature e i processi di evapotraspirazione generati dalla vegetazione favoriscono infatti la riduzione delle temperature urbane durante i mesi estivi.

Particolarmente importante risulta il contributo del progetto alla salute e al benessere psicofisico della popolazione. Numerose ricerche evidenziano come la vicinanza ad ambienti naturali e la

disponibilità di spazi verdi accessibili abbiano effetti positivi sulla qualità della vita, sulla salute mentale e sulla coesione sociale.

Il progetto assume quindi una dimensione che va oltre la semplice riqualificazione ambientale, contribuendo alla costruzione di una città più inclusiva, vivibile e capace di rispondere alle esigenze delle comunità contemporanee.

11.8.4 Una possibile strategia replicabile per il contesto italiano

Uno degli aspetti più significativi del caso studio riguarda la possibilità di trasferire e adattare le strategie sperimentate sul torrente Leogra ad altri contesti urbani italiani. Molte delle criticità riscontrate a Schio risultano infatti comuni a numerose città medie e piccole del Paese, caratterizzate dalla presenza di corsi d'acqua urbanizzati, elevati livelli di impermeabilizzazione e crescente esposizione agli effetti del cambiamento climatico.

L'esperienza sviluppata attraverso il progetto dimostra come il paradigma della città spugna possa essere reinterpretato in relazione alle specificità territoriali italiane, superando una semplice applicazione dei modelli internazionali. La presenza di sistemi fluviali storici, paesaggi agricoli periurbani e patrimoni culturali diffusi offre infatti opportunità progettuali che possono arricchire ulteriormente il concetto di Sponge City.

Nel contesto italiano, il progetto di paesaggio può assumere un ruolo particolarmente rilevante grazie alla sua capacità di integrare aspetti ambientali, storici e culturali all'interno di una visione unitaria del territorio. La città spugna non viene quindi interpretata soltanto come modello tecnico di gestione delle acque, ma come strumento di rigenerazione urbana e territoriale.

Il caso del Leogra evidenzia come l'adattamento climatico possa diventare occasione per migliorare la qualità del paesaggio e rafforzare l'identità dei luoghi, trasformando una problematica ambientale in una opportunità di progetto.

11.8.5 Limiti della proposta e prospettive di approfondimento

Pur evidenziando numerosi aspetti positivi, il progetto presenta inevitabilmente alcuni limiti che devono essere considerati all'interno di una prospettiva critica. La ricerca si concentra principalmente sulla definizione di strategie e scenari progettuali e non comprende simulazioni idrauliche dettagliate, valutazioni quantitative delle prestazioni o analisi economiche approfondite.

L'effettiva implementazione delle soluzioni proposte richiederebbe pertanto ulteriori studi specialistici relativi agli aspetti idrologici, geologici, ecologici e gestionali. Particolare importanza

assumerebbero le analisi relative alla capacità di infiltrazione dei suoli, alla modellazione delle piene e alla definizione delle modalità di manutenzione delle infrastrutture blu-verdi.

Ulteriori sviluppi potrebbero inoltre riguardare la costruzione di strumenti di monitoraggio in grado di valutare nel tempo l'efficacia delle strategie adottate e la loro capacità di adattarsi ai cambiamenti futuri.

Un ulteriore ambito di approfondimento riguarda il coinvolgimento delle comunità locali nei processi di trasformazione territoriale. La costruzione di una città resiliente richiede infatti non soltanto interventi fisici sul territorio, ma anche la partecipazione attiva dei cittadini e delle istituzioni nella gestione e nella cura degli spazi urbani.

In questa prospettiva, il progetto del torrente Leogra può essere interpretato come una base di partenza per future sperimentazioni e approfondimenti capaci di integrare ricerca scientifica, pianificazione e progetto di paesaggio.

11.8.6 Verso una nuova relazione tra città, acqua e paesaggio

L'insieme delle strategie sviluppate nel caso studio del torrente Leogra evidenzia come le sfide poste dall'Antropocene richiedano una profonda revisione del rapporto tra città e processi naturali. Il cambiamento climatico, la crescente artificializzazione del suolo e l'aumento della vulnerabilità urbana rendono infatti sempre più evidente la necessità di superare modelli di sviluppo fondati sulla separazione tra infrastrutture umane ed ecosistemi.

Il paradigma della città spugna offre una possibile risposta a questa condizione, proponendo una visione nella quale acqua, suolo e vegetazione diventano componenti attive del progetto urbano. Attraverso la valorizzazione dei processi naturali e la costruzione di infrastrutture ecologiche, il territorio acquisisce una maggiore capacità di adattamento e resilienza.

Nel caso di Schio, il torrente Leogra viene reinterpretato come elemento strutturante di una nuova geografia urbana fondata sulla continuità ecologica, sulla gestione sostenibile delle acque e sulla qualità del paesaggio. Da infrastruttura marginalizzata e percepita prevalentemente come criticità, il corso d'acqua torna ad assumere un ruolo centrale nella costruzione dell'identità territoriale e delle strategie di sviluppo futuro.

La proposta progettuale dimostra quindi come il paesaggio possa diventare uno strumento operativo per affrontare le trasformazioni climatiche contemporanee, contribuendo alla costruzione di città più sostenibili, inclusive e capaci di convivere con i processi naturali che le attraversano. In questo senso, il caso del torrente Leogra non rappresenta soltanto un progetto locale, ma un esempio

delle potenzialità che il progetto di paesaggio può esprimere nell'elaborazione di nuovi modelli di adattamento per la città del XXI secolo (Tabella 19).

Orizzonte temporale	Benefici principali
Breve periodo (1-5 anni)	Miglioramento qualità dello spazio pubblico
Medio periodo (5-15 anni)	Riduzione del rischio idraulico
Lungo periodo (15-30 anni)	Incremento resilienza climatica e biodiversità

Tabella 19 - Benefici attesi del progetto nel breve, medio e lungo periodo. Schema temporale degli effetti previsti dall'attuazione delle strategie progettuali lungo il torrente Leogra, con riferimento alle diverse fasi di implementazione e maturazione del sistema ecologico.

In questa prospettiva, il torrente Leogra potrebbe diventare un laboratorio progettuale attraverso il quale sperimentare nuove forme di integrazione tra infrastrutture ecologiche, gestione delle acque e trasformazione urbana, e potrebbe offrire indicazioni utili per l'evoluzione delle città italiane nel contesto della crisi climatica contemporanea.

CONCLUSIONI. LA CITTÀ SPUGNA COME PARADIGMA PAESAGGISTICO NELL'ANTROPOCENE

La presente ricerca ha affrontato il tema della gestione delle acque urbane nell'Antropocene assumendo il paesaggio come chiave interpretativa e progettuale. L'analisi sviluppata nella prima parte ha evidenziato come il cambiamento climatico, l'intensificazione degli eventi meteorologici estremi e i processi di urbanizzazione abbiano profondamente modificato il rapporto tra acqua, suolo e insediamenti. La crescente impermeabilizzazione delle superfici e la progressiva artificializzazione dei territori hanno ridotto la capacità di regolazione dei sistemi ambientali, contribuendo ad accrescere la vulnerabilità delle città e dei paesaggi contemporanei. In questo contesto, il rischio idraulico non può più essere considerato un evento eccezionale, ma una condizione strutturale con cui il progetto deve necessariamente confrontarsi.

La riflessione teorica ha evidenziato i limiti del modello tradizionale di gestione delle acque, fondato su una logica di controllo, separazione e allontanamento dei processi naturali. Le infrastrutture idrauliche convenzionali, pur avendo garantito nel tempo importanti livelli di sicurezza, mostrano oggi difficoltà nel rispondere a scenari caratterizzati da crescente incertezza e variabilità climatica. Di fronte a tali trasformazioni emerge la necessità di un cambio di paradigma, capace di riconoscere il ruolo attivo dell'acqua, del suolo e degli spazi aperti nella costruzione della resilienza territoriale.

In questa prospettiva, la città spugna è stata interpretata non semplicemente come un insieme di dispositivi tecnici per la gestione delle acque meteoriche, ma come un paradigma paesaggistico attraverso cui ripensare il rapporto tra acqua, rischio e territorio. Il suo contributo principale consiste nel superamento della tradizionale contrapposizione tra natura e città, proponendo una visione integrata nella quale i processi ecologici diventano parte integrante della struttura urbana. L'acqua non viene più considerata esclusivamente come un elemento da contenere o allontanare, ma come una componente generativa del progetto, capace di orientare nuove forme di organizzazione dello spazio e nuove modalità di adattamento ai cambiamenti climatici.

La città spugna introduce infatti una concezione multifunzionale del paesaggio, nella quale gli spazi aperti assumono il ruolo di infrastrutture ambientali capaci di svolgere simultaneamente funzioni ecologiche, idrauliche, sociali e percettive. In tale prospettiva, il progetto di paesaggio non rappresenta un elemento accessorio rispetto alle strategie di mitigazione del rischio, ma diviene uno strumento centrale per governare le relazioni tra processi naturali e trasformazioni antropiche. La resilienza non è quindi il risultato della sola efficienza tecnica delle opere, ma deriva dalla capacità

del territorio di assorbire, adattare e riorganizzare le proprie dinamiche in risposta alle perturbazioni ambientali.

La terza parte della ricerca ha costituito una verifica applicativa di tali presupposti attraverso il caso studio del torrente Leogra, nell'Alto Vicentino. Il passaggio dalla dimensione teorica a quella progettuale ha permesso di confrontare i principi della città spugna con le specifiche condizioni territoriali del contesto analizzato. Lo studio ha evidenziato come le criticità idrauliche attuali siano strettamente connesse ai processi storici di industrializzazione, urbanizzazione e artificializzazione che hanno progressivamente alterato il rapporto tra il corso d'acqua e il territorio circostante, riducendo la naturalità dell'alveo e la capacità di autoregolazione del sistema fluviale.

Parallelamente, l'analisi paesaggistica ha individuato la presenza di risorse e potenzialità spesso trascurate: spazi aperti residuali, aree produttive dismesse, ambiti agricoli periurbani e sistemi ecologici frammentati che possono essere reinterpretati come elementi strategici per la costruzione di una rete territoriale resiliente. In questo quadro, il torrente Leogra è stato considerato non soltanto come un'infrastruttura idraulica, ma come una vera e propria infrastruttura paesaggistica multifunzionale, capace di connettere sistemi ecologici, spazi urbani, aree agricole e dispositivi di gestione delle acque.

Gli scenari progettuali elaborati dimostrano come il paradigma della città spugna possa tradursi in strategie territoriali concrete orientate alla rigenerazione ambientale e paesaggistica. La proposta non si limita all'introduzione di misure per la laminazione o l'infiltrazione delle acque meteoriche, ma mira a ricostruire relazioni ecologiche e funzionali tra gli elementi del territorio, rafforzando la continuità del corridoio fluviale e migliorando la qualità complessiva dello spazio. Il progetto evidenzia quindi come la gestione dell'acqua possa diventare occasione per produrre benefici multipli, contribuendo contemporaneamente alla riduzione della vulnerabilità idraulica, al miglioramento delle condizioni ecologiche e alla valorizzazione del paesaggio.

La ricerca ha inoltre messo in luce alcune criticità legate all'attuazione di questo approccio, tra cui la complessità normativa, la frammentazione delle competenze amministrative, la necessità di coordinamento tra diversi livelli di pianificazione e la richiesta di competenze interdisciplinari. Tali aspetti confermano che la città spugna non può essere interpretata come un modello universale o standardizzabile, ma deve essere declinata in funzione delle specificità morfologiche, ambientali, culturali e socioeconomiche dei diversi contesti territoriali.

La principale conclusione della tesi è che il paesaggio possa assumere un ruolo strategico nella costruzione di territori adattivi nell'Antropocene. In un'epoca caratterizzata da condizioni di crescente incertezza, il rischio non può essere completamente eliminato, ma deve essere governato

attraverso forme di progettazione capaci di integrare processi naturali e trasformazioni insediative. In questo senso, la città spugna rappresenta un cambiamento di prospettiva: non un semplice insieme di soluzioni tecniche per la gestione delle acque, ma un paradigma paesaggistico che riconosce nell'acqua un elemento strutturante del territorio e nel paesaggio un'infrastruttura viva, capace di generare resilienza, qualità ambientale e nuove opportunità di sviluppo.

In conclusione, ripensare il rapporto tra acqua, rischio e territorio attraverso il paradigma della città spugna significa attribuire al progetto di paesaggio un ruolo centrale nelle strategie di adattamento climatico contemporanee. Il caso del torrente Leogra dimostra come tale approccio possa trovare applicazione concreta anche nei contesti italiani, offrendo strumenti per reinterpretare le fragilità territoriali come opportunità di rigenerazione. La città spugna si configura pertanto come una possibile visione per il futuro dei territori contemporanei: una visione nella quale la resilienza non deriva dalla contrapposizione ai processi naturali, ma dalla capacità di convivere con essi, trasformandoli in risorsa progettuale e fattore di qualità paesaggistica.

La prospettiva futura della ricerca risiede nell'approfondimento di strumenti operativi, modelli di governance e metodologie di valutazione che consentano di rendere sistemica l'integrazione tra gestione delle acque e progetto di paesaggio. Ciò potrebbe contribuire alla definizione di un modello italiano di città spugna, capace di valorizzare le specificità territoriali e culturali del Paese e di rispondere in modo efficace alle sfide poste dal cambiamento climatico.

BIBLIOGRAFIA

- (EEA) European Environment Agency** Climate change impacts in Europe [Libro]. - 1990.
- (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change** Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Libro]. - 2021.
- (WMO) World Meteorological Organization** [Libro].
- ADB asian development bank** Un'Asia e Pacifico liberi dalla povertà [Libro]. - Manila, Filippine : [s.n.], 1966.
- Ahern** From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape and Urban Planning, 100(4), 341–343. [Libro]. - 2011.
- al. Fletcher et** [Libro]. - 2015.
- al. Fletcher et** Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters. [Libro]. - 2015.
- al. Montanari et.** [Libro]. - 2013.
- al. Rockstrom et** Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity [Libro]. - 2009.
- al. Seto et** Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools [Libro]. - 2012.
- al. Steffen et** Confini planetari: guidare lo sviluppo umano su un pianeta in cambiamento [Libro]. - 2015.
- al. Wisner et** [Libro]. - 2004.
- Antrop M.** Why Landscapes of the Past Are Important for the Future. Landscape and Urban Planning, [Libro]. - 2005.
- Bank World** [Libro]. - stati uniti : [s.n.], 1944.
- Barton Gòmez-Baggethun &** [Libro]. - 2013.
- Booth D.B. and Jackson, C.R.** Urbanization of Aquatic Systems: Degradation Thresholds, Stormwater Detention, and the Limits of Mitigation. [Libro]. - 1997.
- Citato da Clark WC** Sustainable Development of the Biosphere cap. 1. [Libro]. - Cambridge: Cambridge University Press : [s.n.], 1986.
- Commission European** Soil Sealing Guidelines [Libro].
- Commission European** Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities. [Libro]. - 2015.
- Dunne T. and Leopold, L.B.** Water in Environmental Planning. [Libro]. - 1978.
- EEA** Urban adaptation to climate change in Europe. [Libro]. - 2016.
- EPA Envairomental Protection Agency** Riduzione del deflusso e miglioramento della qualità dell'acqua [Libro]. - Washington, D.C. : [s.n.], 1970.
- European Environment Agency (EEA)** Climate change impacts in Europe [Libro].
- FAO** The State of Food and Agriculture [Libro]. - 2015.
- INSPIRA** Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Rapporto 2023. [Libro]. - 2023.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)** AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Libro].
- IPCC** Cambiamenti climatici 2021: le basi della scienza fisica, cap. 2 [Libro]. - 2021.
- IPCC** Cambiamenti climatici 2021: le basi della scienza fisica, cap. 8 – 9 [Libro]. - 2021.
- IPCC** Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. [Libro]. - 2021.
- ISPRA** [Libro]. - 2023.
- IWA international water association** “Un mondo in cui l'acqua sia gestita in modo saggio, sostenibile ed equo” [Libro]. - Londra : [s.n.], 1999.
- Kolbert Elizabeth** La sesta estinzione. Una storia innaturale [Libro]. - 2014.
- Leopold Luna B.** Hydrology for Urban Land Planning [Libro].

Marsh GP The Earth as Modified by Human Action, [Libro]. - Cambridge, MA: Belknap Press, Harvard University Press : [s.n.], 1965.

Maslin Lewis & Defining the Anthropocene [Libro]. - 2015.

MEA Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC: Island Press. [Libro]. - 2005.

MOHURD mistery of housing and urban-rural development of china [Libro]. - Pechino : [s.n.], 2008.

Montanarella Pennock & McKenzie World's soils are under threat [Libro]. - 2016.

NASA Global Climate Change (Water Cycle) [Libro].

NbS Solutions, Nature-Based Pianificazione urbana, gestione delle acque, agricoltura sostenibile, protezione costiera. [Libro]. - 2022.

Novotny Ahern & Brown [Libro]. - 2010.

Novotny Ahern & Brown water centric sustainable communities: planning, retrofitting, and building the next urban enviroment. [Libro]. - 2010.

OECD [Libro]. - parigi : [s.n.], 1961.

OECD Water Governance Studies [Libro].

OMS World Health Organization igiene, acqua potabile, gestione rifiuti, malattie trasmesse dall'acqua [Libro]. - nazioni unite : [s.n.], 1948.

Recovery Global Facility for Disaster Reduction and Urban Resilience Program [Libro]. - 2015.

Services Soil Ecosystem filtraggio dell'acqua, sequestro del carbonio, controllo dell'erosione e del clima [Libro].

Stoermer Paul J. Crutzen e Eugene F. "The 'Anthropocene'", in: Global Change Newsletter, n. 41 [Libro]. - 2000.

UNEP united nations enviroment programme [Libro]. - Nairobi : [s.n.], 1972.

United Nations World Urbanization Prospects 2018: Highlights. New York. [Libro]. - 2019.

UN-Water Coordinamento delle attività ONU su acqua e servizi igienico-sanitari [Libro]. - svizzera : [s.n.], 2003.

Waldheim Charles Landscape as Urbanism: a general theory, [Libro]. - 2016.

Weil Brandy & The Nature and Properties of Soils [Libro]. - 2010.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - stato attuale delle variabili di controllo per sette dei confini planetari: La zona verde rappresenta lo spazio operativo sicuro, La zona gialla rappresenta la zona di incertezza (rischio crescente) e La zona rossa è una zona ad alto rischio. Il confine planetario stesso si trova all'intersezione delle zone verde e gialla. Le variabili di controllo sono state normalizzate per la zona di incertezza; il centro della figura non rappresenta quindi valori pari a 0 per le variabili di controllo. La variabile di controllo mostrata per il cambiamento climatico è la concentrazione atmosferica di CO². I processi per i quali i confini a livello globale non possono ancora essere quantificati sono rappresentati da cunei grigi; si tratta del carico di aerosol atmosferico, di nuove entità e del ruolo funzionale dell'integrità della biosfera. Fonte: Rockström et al. (2009), aggiornato da Steffen et al. (2015). 12

Figura 2 - componenti di oceano, criosfera e livello del mare valutati nel Cap. 9 dell'IPCC del 2021:(a) Schema dei processi. Le frecce bianche indicano la circolazione oceanica. I punti di ancoraggio indicano dove la linea di messa a terra è più stabile e dove la calotta glaciale rallenterà. (mCDW: acque profonde circumpolari modificate, GIA: aggiustamento isostatico glaciale). (b) Distribuzione geografica delle componenti di oceano e criosfera. Il ghiaccio marino ombreggiato per indicare la concentrazione media annuale. I colori verdi dell'oceano indicano una maggiore velocità della corrente superficiale. (i numeri indicano le regioni ghiacciate RGI Consortium, 2017). 14

Figura 3 - distribuzione media geografica e zonale della percentuale delle variazioni medie delle precipitazioni valutati nel Cap. 8 dell'IPCC del 2021: variazioni delle precipitazioni su 20

anni nel periodo 2021–2040, 2041–2060 e 2081–2100 rispetto al periodo di base 1995–2014. Variabilità climatica interna (dipendono sia dalla regione che dall’orizzonte temporale, gioca un ruolo chiave nel breve termine soprattutto nelle regioni subtropicali) a sinistra. Incertezza della risposta del modello al centro (è il fattore più influente su tutti gli orizzonti temporali) e incertezza dello scenario (relativamente bassa negli orizzonti temporali a breve e medio termine, aumenta nel lungo termine soprattutto alle alte altitudini) a destra considerando quattro scenari di concentrazione plausibili. I numeri percentuali indicano il valore medio globale ponderato per area per ciascuna mappa, i riquadri di destra mostrano le frazioni medie zonali sia sulla terraferma che sul mare (linee continue) e solo sulla terra ferma (linea tratteggiata). 15

Figura 4 - previsioni globali sulle probabilità di espansione urbana, 2030: vi è una variazione significativa nella qualità e nella probabilità di espansione urbana (A). Gran parte dell’espansione urbana prevista si verificherà probabilmente nella Cina Orientale (B). Alcune regioni hanno un’alta probabilità di espansione urbana in località specifiche (C), mentre altre presentano aree a bassa probabilità di crescita urbana (D). Le linee tratteggiate indicano i confini settentrionali e meridionali dei tropici 17

Figura 5 - Lo sviluppo delle scienze del paesaggio 19

Figura 6 – Mappa adattata dal Quarto Rapporto di Valutazione dell’IPCC: Uno degli effetti previsti dal cambiamento climatico sarà un aumento dell’intensità delle precipitazioni: una maggiore quantità di pioggia cadrà in un lasso di tempo più breve rispetto al passato. Il blu rappresenta le aree in cui i modelli climatici prevedono un aumento dell’intensità entro la fine del XXI secolo, il marrone rappresenta una diminuzione prevista. 29

Figura 7 – Mappa realizzata da Robert Simmon, utilizzando i dati di Chris Milly, Laboratorio di Fluidodinamica Geofisica della NOAA: Le variazioni del deflusso nei fiumi e nei torrenti sono un’altra conseguenza prevista dei cambiamenti climatici entro la fine del XXI secolo, Questa mappa mostra gli aumenti previsti del deflusso in blu e le diminuzioni in marrone e rosso. 30

Figura 8 – Mappa adattata al Quarto Rapporto di Valutazione dell’IPCC: Nel corso dell’ultimo secolo di sono verificati cambiamenti del ciclo dell’acqua a causa di una combinazione di variazioni naturali e interventi umani. Dal 1900 al 2002, la siccità si è aggravata nell’Africa subsahariana e meridionale, nel Brasile orientale e in Iran (in marrone). Nello stesso periodo, la Russia occidentale, il Sud America sudorientale, la Scandinavia e gli Stati Uniti meridionali hanno subito siccità meno gravi (in verde). 30

Figura 9 – evoluzione storica dei sistemi di drenaggio urbano: evoluzione storica dei sistemi di drenaggio urbano dalle prime opere di canalizzazione nelle civiltà antiche alla transizione verso soluzioni sostenibili e nature – based. 40

Figura 10 - Ciclo idrologico naturale VS ciclo idrologico urbanizzato: confronto tra ciclo idrologico naturale e ciclo idrologico urbanizzato, l’impermeabilizzazione del suolo riduce l’infiltrazione e aumenta il deflusso superficiale. Fonte: immagine generata dall’autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026). 42

Figura 11 - Effetti del drenaggio rapido sul ciclo idrologico: effetti del drenaggio rapido, aumento degli allagamenti, riduzione della ricarica delle falde e trasporto di sostanze inquinanti verso i corpi idrici. 42

Figura 12 - inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali di fronte ai nuovi scenari climatici: inadeguatezza delle infrastrutture tradizionali, i cambiamenti climatici e l’impermeabilizzazione urbana aumentano il rischio di allagamenti e il collasso dei sistemi di drenaggio. Fonte: immagine generata dall’autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026). 43

Figura 13 - cambio di paradigma nella gestione delle acque urbane: transizione dal modello tradizionale di drenaggio urbano a un approccio integrato, basato sulla gestione sostenibile e sull’integrazione dei processi naturali nello spazio urbano. Fonte: immagine generata dall’autrice mediante prompt testuale con ChatGPT (modello DALL-E, OpenAI, 2026). 44

Figura 14 - Foto dell’alluvione di Pechino del 2012 47

Figura 15 – confronto tra modelli di gestione delle acque. SUDS (Sustainable Urban Drainage System), LID (Low Impact Development), NBS (Nature-Based Solution), Sponge City (Città Spugna). Fonte: elaborazione propria su letteratura SUDS, LID, NBS e Sponge City.	60
Figura 16 - Confronto tra modello urbano tradizionale basato su infrastrutture grigie e paradigma della città spugna: dal rapido smaltimento delle acque meteoriche attraverso reti centralizzate alla gestione diffusa mediante superfici permeabili, infrastrutture blu-verdi e processi naturali di infiltrazione, ritenzione ed evaporazione.	64
Figura 17 - infrastrutture blu e verdi e principali benefici ecosistemici. Le infrastrutture blu favoriscono la gestione sostenibile delle acque e la biodiversità, le infrastrutture verdi migliorano la qualità ambientale, il paesaggio urbano e il benessere della collettività.	67
Figura 18 - Principali dispositivi della città spugna per la gestione sostenibile delle acque meteoriche. Rain gardens, bioswales, wetlands urbane, piazze allagabili, parchi di laminazione e pavimentazioni permeabili favoriscono la ritenzione, l'infiltrazione e il rallentamento del deflusso, contribuendo alla riduzione del rischio idraulico e all'incremento della resilienza urbana.	69
Figura 19 - Confronto tra il paradigma moderno della gestione delle acque, e l'estetica ecologica. Il paesaggio diventa un'infrastruttura dinamica e performativa capace di coniugare resilienza e qualità dello spazio urbano.	70
Figura 20 - Il paesaggio resiliente come infrastruttura ecologica integrata. Rappresentazione delle relazioni tra acqua, suolo, vegetazione, infrastrutture blu-verdi e spazio pubblico nella costruzione della resilienza urbana e territoriale. Fonte: elaborazione propria da Waldheim (2016), Ahern (2011) e Yu (2014).	72
Figura 21 - Esperienze di Sponge City nelle città di Wuhan, Shenzhen e Shanghai.	76
Figura 22 - Esperienze di Sponge City nelle città di Copenhagen, Rotterdam e Berlino	77
Figura 23 - Esperienze di Sponge City nelle città di Portland, Philadelphia e New York	78
Figura 24 - Inquadramento Territoriale del Torrente Leogra a Schio: il Torrente Leogra attraversa il territorio di Schio in direzione nord-est / sud-ovest, connettendo il sistema pedemontano con la pianura veneta e presentando forti pressioni insediative lungo il suo percorso. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	100
Figura 25 - Criticità idrauliche ed ecologiche: analisi della permeabilità delle aree. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	103
Figura 26 - Lettura paesaggistica Acqua - Suolo: il Leogra rappresenta un'infrastruttura ecologica potenziale della città, con spazi aperti strategici da riconnettere e riqualificare per migliorare la continuità ambientale. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	105
Figura 27- Il Leogra nell'Antropocene: l'urbanizzazione diffusa e il cambiamento climatico aumentano il rischio idraulico e la vulnerabilità del territorio, accentuando le criticità già esistenti. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	106
Figura 28 - Strategie progettuali: interventi localizzati e soluzioni progettuali, le strategie progettuali agiscono a diverse scale, combinando dispositivi naturali e soluzioni basate sulla natura per rigenerare il sistema Leogra. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	109
Figura 29 - Valutazione ipotetica degli effetti: benefici ambientali, climatici e sociali, l'applicazione dei principi Sponge City potrebbe generare molteplici benefici ambientali, sociali ed economici, aumentando la resilienza del paesaggio e del territorio di Schio. Fonte: Elaborazione propria su dati CTR Veneto.	113

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Previsioni di espansione urbana per intervallo di quartile di probabilità, 2030	17
Tabella 2 – Impatti e strategie secondo UN-Habitat. Elaborazione propria su dati UN-Habitat.	32

Tabella 3 - Grey Infrastructure VS Sistemi Naturali - Confronto tra infrastrutture grigie e sistemi naturali nella gestione delle acque urbane	40
Tabella 4 - principi del modello Sponge City: principi fondamentali del modello Sponge City e relative funzioni nel ciclo idrologico urbano Fonte: elaborazione propria su dati Asian Development Bank e UN Enviroment Programme.	49
Tabella 5 - Confronto tra modelli di gestione delle acque urbane: confronto tra approcci internazionali alla gestione sostenibile delle acque urbane. Fonte: elaborazione propria su dati European Commission, UN-Habitat	56
Tabella 6 – Confronto tra modello urbano tradizionale e paradigma Sponge City: differenze negli obiettivi di gestione delle acque, nelle strategie infrastrutturali, nel rapporto con i processi naturali e nella capacità di resilienza climatica del sistema urbano.....	65
Tabella 7 - Principali riferimenti teorici e culturali alla base del paradigma della città spugna. Il Landscape Urbanism, il pensiero di Gilles Clément e l’approccio di Kongjian Yu convergono nella concezione del paesaggio come infrastruttura ecologica dinamica, capace di integrare processi naturali, gestione delle acque e trasformazioni urbane in una prospettiva di resilienza ambientale e adattamento climatico.....	71
Tabella 8 - criteri di analisi dei casi studio: parametri utilizzati per l'analisi comparativa dei casi studio.....	75
Tabella 9 - Casi studio in Cina (Sponge City): principali esperienze di applicazione del paradigma Sponge City in contesto cinese	76
Tabella 10 - Casi studio Europei: strategie europee di adattamento idrico urbano basate su Nature-Based Solutions.....	77
Tabella 11 - Casi studio Nordamericani: approcci nordamericani alla gestione sostenibile delle acque urbane	78
Tabella 12 - Confronto tra i principali approcci internazionali alla resilienza idrologica urbana	81
Tabella 13 - Relazione tra strategie progettuali e benefici attesi	98
Tabella 14 - Criticità territoriali del sistema Leogra e strategie progettuali Sponge City. La tabella mette in relazione le principali problematiche ambientali e paesaggistiche individuate nel caso studio con le strategie progettuali adottate per incrementare la resilienza del territorio attraverso i principi della città spugna.	116
Tabella 15 – Struttura della rete ecologica territoriale del torrente Leogra. Individuazione dei principali elementi che compongono la rete ecologica proposta, evidenziandone il ruolo ambientale e la scala di intervento all'interno del sistema territoriale.....	125
Tabella 16 - Dispositivi Sponge City applicati al progetto del torrente Leogra. Classificazione dei principali dispositivi progettuali introdotti nel sistema Leogra e delle relative funzioni idrologiche, ecologiche e sociali all'interno della strategia di adattamento climatico.	129
Tabella 17 - Servizi ecosistemici e benefici ambientali generati dal progetto. Sintesi dei principali servizi ecosistemici attesi dall'applicazione delle strategie di città spugna lungo il torrente Leogra, con riferimento agli effetti idrologici, ecologici, climatici e sociali.....	137
Tabella 18 - Valutazione qualitativa delle prestazioni del progetto. Analisi qualitativa delle prestazioni attese delle strategie progettuali in relazione agli obiettivi di resilienza climatica, riduzione del rischio idraulico, incremento della biodiversità e miglioramento della qualità urbana.	142
Tabella 19 - Benefici attesi del progetto nel breve, medio e lungo periodo. Schema temporale degli effetti previsti dall'attuazione delle strategie progettuali lungo il torrente Leogra, con riferimento alle diverse fasi di implementazione e maturazione del sistema ecologico.	147