

**Esplorare e  
misurare la  
desigillazione.  
Azioni per  
rigenerare il  
suolo**

**Autori:** Sara Favargiotti, Anna Codemo, Lorenzo Giovannini, Gianluca Maracchini, Alessandra Marzadri, Giacomo Sarti, Giulia Zantedeschi.

Questa brochure è esito della ricerca “Uso del suolo e desigillazione” finanziata dalla Camera di commercio, industria, artigianato, turismo e agricoltura (CCIATA) di Bolzano e sviluppata dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell’Università di Trento, 2025.

**Gruppo di ricerca:**

**DICAM-UniTrento**

Prof.ssa Sara Favargiotti (responsabile scientifico), Prof. Lorenzo Giovannini, Prof. Alessandra Marzadri, Prof. Gianluca Maracchini, Dr. Anna Codemo, Giacomo Sarti, Giulia Zantedeschi.

**Con il supporto e la collaborazione di:**

**Camera di commercio di Bolzano - Affari legali**

Alfred Aberer, Karin Pichler, Lisa Giacomozzi

**Stakeholder locali:**

**Provincia autonoma di Bolzano**

**Dipartimento Natura, paesaggio e sviluppo territoriale**

Carlotta Polo, Roberta Covi, Martin Primisser

**Reparto Gestione patrimoniale**

Virna Bussadori

**Comune di Bolzano**

**Dipartimento 5 - Pianificazione e sviluppo territoriale**

Paolo Bellenzier, Matthias Zingerle, Alessandra Montel

**Ordine degli Architetti, Urbanisti, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Bolzano**

Marco Molon, Stefano Adami, Richard Veneri

**Coordinamento editoriale:**

Sara Favargiotti

**Progetto grafico e impaginazione:**

Giulia Zantedeschi

**© Università di Trento e Camera di commercio di Bolzano. Tutti i diritti riservati.**

Tutti i contenuti del documento guida sono protetti da diritti d'autore. Qualsiasi pubblicazione, riproduzione, traduzione e altra modificazione o distribuzione, anche parziale, è consentita solo con l'indicazione della fonte (editore e titolo) e dietro espressa autorizzazione dell'editore.

Si precisa che, nonostante la cura prestata nella loro redazione ed elaborazione, tutte le informazioni sono fornite senza garanzia.

Si esclude ogni assunzione di responsabilità da parte dell'editore e degli autori.



**UNIVERSITÀ  
DI TRENTO**



CAMERA DI COMMERCIO, INDUSTRIA,  
ARTIGIANATO, TURISMO  
E AGRICOLTURA DI BOLZANO

# Indice

## I

Premessa e obiettivi dello studio

Metodologia

Strumenti di pianificazione

Temi e KPI

## II

Misurabilità della desigillazione

Aree di sperimentazione

Progettare con le Nature based Solution (NbS)

Co-benefits della desigillazione | Valutazione degli scenari

## III

Area di sperimentazione | Bolzano sud

ENVI-met | Variazione temperatura dell'aria

ENVI-met | Indice di comfort (PET)

SWMM

Sintesi | KPI

Vulnerabilità e rischio

Matrice di valutazione



## Esplorare e misurare la desigillazione. Azioni per rigenerare il suolo

La Strategia di adattamento climatico dell'UE (2021) e la legge europea sui cambiamenti climatici evidenziano la necessità di introdurre azioni di adattamento a livello europeo, nazionale, regionale e locale per una società resiliente. Il Piano Clima Alto Adige 2040 (Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici della Provincia Autonoma di Bolzano è in corso) ha avviato l'integrazione degli aspetti di adattamento nelle strategie e nella pianificazione provinciale e locale. In particolare, **azioni per un uso del suolo sostenibile e per la desigillazione costituiscono una soluzione fondamentale per l'attuazione della strategia nel settore degli insediamenti e aree urbane portando benefici in diversi ambiti**, come la gestione sostenibile delle acque e la mitigazione delle isole di calore, favorendo l'implementazione di soluzioni nature-based e approcci basati sugli ecosistemi.

In un contesto nazionale dove il consumo di suolo procede a un ritmo doppio rispetto alla media europea, diventa ancora più urgente adottare misure efficaci per contrastare il fenomeno. È fondamentale limitarne l'espansione, ma altrettanto essenziale è restituire quanta più superficie già costruita alla natura, specialmente nei contesti urbani, rimuovendo cemento e asfalto. Dal punto di vista tecnico, questa attività è definita come **desigillazione o deimpermeabilizzazione**, dove il processo di rinaturalizzazione di spazi urbani porta benefici ambientali, sociali ed economici.

Sulla base della richiesta della Camera di commercio, industria, artigianato, turismo e agricoltura (CCIATA) di Bolzano, il progetto ha sviluppato **un metodo per l'individuazione di azioni e per la definizione di misure** efficacemente implementabili e monitorabili che portino ad un miglioramento dell'uso del suolo in termini di benefici ambientali negli interventi di progettazione edilizia, attraverso soluzioni basate sulla natura e l'integrazione di aspetti innovativi negli strumenti di governo locale.

## Premessa e obiettivi dello studio

Le attività di ricerca scientifica coordinate dal gruppo di ricerca del DICAM – Università di Trento sono state svolte in coordinamento con la Camera di commercio di Bolzano al fine di perseguire obiettivi di interesse pubblico:

- **individuazione di azioni** volte al miglioramento dell'uso del suolo negli interventi di progettazione edilizia e urbana per l'adattamento e la mitigazione climatica con riferimento agli strumenti di programmazione e pianificazione e al contesto territoriale della Provincia di Bolzano;
- **raccolta di casi studio ed esperienze** nazionali ed internazionali di successo come apparato conoscitivo e scientifico di riferimento (best practices) anche attraverso eventuali sopralluoghi diretti;
- **partecipazione a momenti di comunicazione, sensibilizzazione e condivisione sociale** degli obiettivi e delle soluzioni ad un pubblico specializzato e non.

Gli **impatti** del progetto in riferimento alla Provincia di Bolzano e alla comunità scientifica sono stati:

- **individuazione di strumenti volti ad incentivare la transizione ecologica nel settore edilizio** in modo da concorrere agli obiettivi delle strategie di adattamento e mitigazione climatica con particolare attenzione alle tematiche di uso del suolo e de-sigillazione (impatto breve termine);
- **perseguimento di obiettivi di benessere della collettività e delle generazioni future** coerentemente agli obiettivi dell'agenda 2030, con contestuali ricadute positive per cittadini e popolazione afferente al mondo universitario (impatto lungo termine);
- **trasferimento di conoscenze ed esperienze innovative dalla ricerca alla pratica** (ricerca applicata, terza missione).



Depave, Portland

## DEPAVING

Nata dalla associazione Depave a Portland nel 2008, la procedura di depaving fa riferimento ad **azioni di rimozione di superfici impermeabili, per rinaturalizzare parti di città, ripristinando il terreno e lasciando spazio alla vegetazione**. In termini tecnici, si parla di desigillazione o deimpermeabilizzazione dei suoli attraverso un progetto di un nuovo spazio rinaturalizzato. I **benefici** dimostrati di questa azione concreta sono **ambientali**, per il contributo nella riduzione temperature, la gestione acque piovane e il supporto nell'aumento della biodiversità; **sociali**, con la restituzione di aree impermeabili a spazi aperti di relazione per le comunità viventi che, a loro volta, offrono luoghi di qualità per la cura delle persone e la salute mentale e fisica; ed **economici** con l'aumento del valore delle proprietà, la riduzione dei costi energetici e della vulnerabilità degli spazi a fenomeni climatici estremi e di grande portata.

# Metodologia

Il gruppo di ricerca universitario ha sviluppato:

## a) attività di ricerca scientifica sperimentale orientata:

- all'individuazione ed esplorazione di casi studio nazionali ed internazionali come apparato scientifico di riferimento al fine di portare esempi applicati di pratiche, processi e azioni di successo (best practices);
- all'individuazione di strumenti e dispositivi innovativi, originali e specifici per il contesto locale a sostegno dell'implementazione di misure volte ad incentivare un uso sostenibile del suolo e a favorire la desigillazione nel settore edilizio;
- alla partecipazione e conduzione scientifica di eventi di comunicazione sensibilizzazione e interazione pubblici delle tematiche affrontate organizzati dalla CCIATA;

## b) attività di comunicazione, divulgazione e condivisione:

- supporto scientifico per eventi e attività di divulgazione e sensibilizzazione pubblica e con professionisti del settore;
- eventuale partecipazione a convegni scientifici e pubblicazioni scientifiche per la divulgazione del metodo e dei risultati.



T.U.T. Dall'urbanistica concordata all'urbanistica condivisa. Dispositivi di orientamento. DICAM-UNITN per Comune di Trento, 2021-2022. **Definisce linee guida per integrare i temi di adattamento e mitigazione negli accordi urbanistici.**



R.E.C. Dentro la sfida del clima. DICAM-UNITN per Comune di Trento, 2024-2025. **Definisce linee guida per aggiornare il regolamento edilizio con tematiche di sostenibilità ambientale, adattamento e mitigazione climatica.**



ARV Climate Positive Circular Communities. DICAM-UNITN, 2022-2026. **Progetto europeo che definisce linee guida per comunità climaticamente positive e circolari a Trento.**

▶ PROGETTI  
DICAM-UNITN DI  
RIFERIMENTO

### **Pianificazione**

Studio di approfondimento su strumenti di pianificazione generale, regolamenti e normative nella Provincia Autonoma di Bolzano



### **Catalogo NbS**

Studio e raccolta selezionata di riferimenti progettuali (PROGETTI) e tipologie di soluzioni (STRUMENTI) di NbS per la promozione della desigillazione e dell'uso sostenibile del suolo



### **Misurabilità**

Ricerca di letteratura, scientifica e operativa, sulla misurabilità della desigillazione in risposta ai temi (acqua, microclima, biodiversità, inquinamento, qualità)



### **Aree di sperimentazione**

Individuazione di possibili aree di sperimentazione per la modellazione sperimentale e le elaborazioni di scenari di valutazione

### **Validazione/ Feedback**

Dialogo e confronto con esperti del settore e stakeholder locali

## Strumenti di pianificazione

Le amministrazioni pubbliche – in particolare quelle comunali e provinciali – dispongono di diversi strumenti per ridurre la desigillazione del territorio e promuovere l'utilizzo di Soluzioni Naturali (Nature-based Solutions, NbS). Si tratta di strumenti eterogenei, che spaziano dalla pianificazione strategica fino a indicazioni operative di supporto agli interventi.

Questi strumenti possono essere ricondotti a tre principali categorie:

- **Strumenti conoscitivi:** rappresentano la base di partenza, in quanto forniscono informazioni utili per individuare aree a rischio, zone prioritarie di intervento e la natura degli impatti presenti sul territorio;
- **Strategie e piani:** comprendono i documenti di indirizzo adottati dalla Provincia Autonoma di Bolzano, volti a definire una visione di lungo periodo e le priorità di sviluppo;
- **Regolamenti e linee guida tecniche:** includono norme e raccomandazioni, di carattere obbligatorio o suggerito, elaborate dalla Provincia per orientare e facilitare i processi di desigillazione.

Sono stati individuati gli strumenti più idonei per facilitare l'implementazione di NbS nel territorio provinciale.

Le azioni di adattamento e le strategie di desigillazione in Alto Adige ruotano attorno a tematiche chiave individuate dagli strumenti conoscitivi: il miglioramento del benessere microclimatico attraverso isole di raffrescamento e corridoi verdi; il risparmio e il riuso delle acque, attraverso sistemi di raccolta e di infiltrazione delle acque meteoriche; la regolazione dei cicli naturali, mediante pavimentazioni permeabili, spazi verdi preferibilmente multifunzionali; la tutela della biodiversità con particolare attenzione alle specie arboree e al ruolo degli alberi in ambito urbano e montano.

Queste priorità trovano il supporto in strumenti scientifici conoscitivi, come i rapporti climatici e il Piano Clima Alto Adige 2040, che stabiliscono una visione a lungo termine per la sostenibilità e la resilienza climatica. Il quadro normativo provinciale, supportato da numerosi documenti di linee guida tecniche, definisce limiti e criteri per favorire l'attuazione delle pratiche: il DPP 7 maggio 2020, n. 17 sulla gestione delle acque meteoriche (invarianza idraulica), sulla permeabilità (indice R.I.E.), la LP 10 luglio 2018, n.9 su territorio e paesaggio e il Regolamento per la tutela delle acque.

**STRUMENTI CONOSCITIVI**

Rischi climatici e adattamento, EURAC  
Rapporto sul clima Alto Adige, EURAC  
Piano delle zone di pericolo (PZP)  
Verdevale | Catasto Alberi



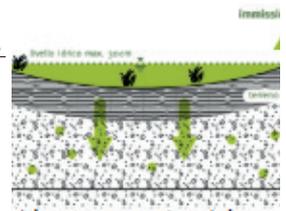
**STRATEGIE E PIANI**

Piano Clima Alto Adige 2040  
Spross Alto Adige  
Strategie / Piani del Verde  
Norme per gli spazi verdi urbani



**REGOLAMENTI E LINEE GUIDA TECNICHE**

DPP 7 maggio 2020, n. 17 | Gestione acque meteoriche  
DPP 7 maggio 2020, n. 17 | Permeabilità  
LP 10 luglio 2018, n.9 | Territorio e paesaggio  
DPP 21 Gennaio 2008, n.6 | Regolamento di esecuzione alla L.P. del 18 giugno 2002, n. 8 recante "Disposizioni sulle acque" in materia di tutela delle acque  
Tetti verdi, Provincia Autonoma BZ  
Piano degli alberi (comunale)  
Regolamento edilizio (comunale)  
Regolamento del verde (comunale)  
Linee guida acque meteoriche



**STRUMENTI ATTUATIVI**



Piano Clima Alto Adige 2040, Provincia di Bolzano | **Stabilisce gli obiettivi strategici per l'adattamento climatico nella provincia**



Rapporto sul clima Alto Adige, Eurac Research | **Definisce gli indirizzi tematici per l'adattamento e lo stato del clima**



DPP 7 maggio 2020, n. 17, Provincia di Bolzano | **Stabilisce i requisiti su suolo permeabile per garantire qualità della vita attraverso indici**



Strumenti di pianificazione del Comune di Bolzano | **Stabilisce valori minimi di suolo permeabile**



## Temi e KPI

Il progetto ha definito **cinque ambiti tematici fondamentali**, ciascuno associato a specifici KPI (Key Performance Indicators) che misurano l'efficacia della desigillazione dei suoli in termini prestazionali.

**Acqua.** La gestione sostenibile delle acque meteoriche è garantita attraverso l'impiego di pavimentazioni drenanti e l'adozione di sistemi per la filtrazione e il recupero dell'acqua piovana, riducendo il carico sulla rete fognaria e favorendo l'infiltrazione naturale nel suolo.

**Microclima.** Il miglioramento del microclima urbano avviene tramite la messa a dimora di alberature, l'incremento delle superfici vegetate e l'implementazione di tetti verdi, contribuendo alla riduzione dell'effetto isola di calore e all'aumento del comfort termoisolometrico negli spazi aperti.

**Biodiversità.** La diversificazione delle specie vegetali e la creazione di connessioni ecologiche (corridoi verdi) favoriscono la presenza e la mobilità della fauna, aumentando la resilienza ecologica del contesto urbano.

**Inquinamento.** L'utilizzo di NbS permette la mitigazione dell'inquinamento atmosferico avviene attraverso lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> e la cattura di polveri sottili (es. PM10), migliorando la qualità dell'aria e contribuendo alla decarbonizzazione urbana.

**Qualità.** Oltre agli aspetti ambientali, un progetto efficace garantisce elevati standard di qualità urbana, generando spazi pubblici inclusivi, accessibili, resilienti, responsivi e belli, in grado di offrire un luogo per la cura e il benessere della collettività.

## ACQUA

**Favorire la gestione sostenibile delle acque meteoriche** mediante l'uso di pavimentazioni drenanti e sistemi di filtrazione e recupero dell'acqua piovana.

## MICROCLIMA

**Migliorare il comfort urbano** attraverso soluzioni come la piantumazione di alberi, la creazione di aree verdi e l'installazione di tetti verdi, contribuendo alla **riduzione dell'isola di calore**.

## BIODIVERSITÀ

**Aumentare la varietà biologica** inserendo specie vegetali differenti e creando corridoi ecologici che favoriscono la connessione tra habitat naturali.

## INQUINAMENTO

**Migliorare la qualità dell'aria** con interventi che assorbono CO<sub>2</sub> e trattengono le polveri sottili (PM10).

## QUALITÀ

**Garantire la qualità dello spazio pubblico** attraverso la creazione di ambienti accessibili, e inclusivi, sicuri e resilienti, accoglienti e belli, responsivi e capaci di favorire il benessere collettivo.

## Misurabilità della desigillazione

La misurabilità delle azioni di desigillazione è stata approfondita attraverso la ricerca di letteratura, scientifica e operativa, in risposta ai temi/KPI (acqua, microclima, biodiversità, inquinamento, qualità). Si è giunti alla formulazione di una struttura basata su tre diversi gradi di approfondimento:

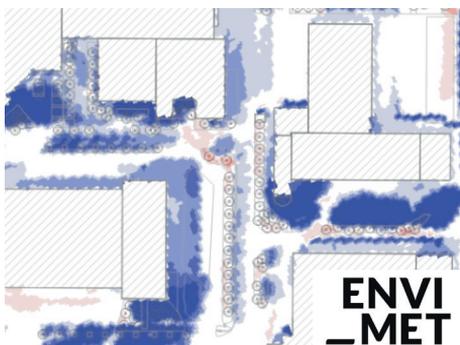
- **Valutazione preliminare:** pensata come prima indicazione dell'efficacia delle NbS in relazione ai temi individuati. Vengono fornite delle valutazioni qualitative dell'efficacia delle NbS rispetto ai temi individuati, basandosi su KPI e parametri fisico tecnici. Questi ultimi sono anche gli aspetti da tenere in considerazione nell'applicazione delle NbS in quanto sono gli aspetti fisico-tecnici di maggior rilievo. Questa prima fase è volutamente di facile comprensione per poter essere utilizzata anche da persone non esperte.
- **Software specifici:** attraverso la modellazione e successiva simulazione considerando i due principali aspetti, ossia il microclima mediante l'impiego di ENVI-met e la gestione sostenibile delle acque attraverso SWMM. Data la complessità nell'impiego di questi software tale fase è orientata verso un impiego professionale da parte di tecnici.
- **Prove ex-post:** quest'ultima fase ha una duplice valenza. La prima come studio di approfondimento sulle caratteristiche del sito di progetto, ricavando informazioni utili alla fattibilità dell'applicazione delle NbS in fase progettuale. Inoltre, possono essere monitorati i benefici a seguito degli interventi di applicazione di NbS. In entrambi i casi è necessario il supporto di tecnici qualificati e l'impiego di strumenti di monitoraggio, come sensori di temperatura e di contenuto d'acqua, stazioni meteorologiche, ecc.

Infine, la struttura del processo di valutazione non è intesa come lineare e consequenziale ma come un ciclo ermeneutico, dove ogni fase successiva di approfondimento dettaglia sempre di più la fattibilità tecnico/progettuale dell'intervento.

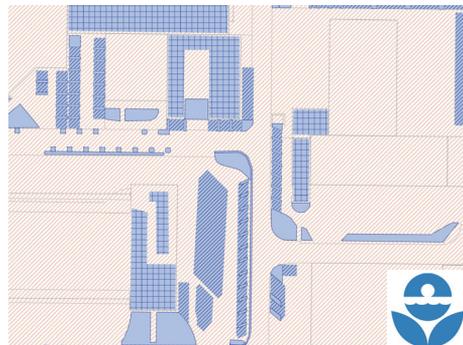
## VALUTAZIONE PRELIMINARE



## SOFTWARE SPECIFICI



ENVI\_MET: analisi microclimatiche



SWMM: analisi benefici tecniche NbS

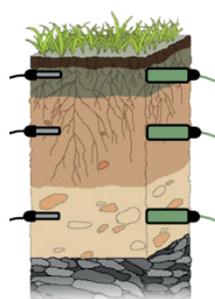
## PROVE EX POST



Test di infiltrazione



Test di infiltrazione



Sensori di temperatura e contenuto d'acqua



Stazioni meteorologiche

## Aree di sperimentazione

La selezione delle aree di sperimentazione per la valutazione degli effetti e dei benefici di dispositivi progettuali per la desigillazione è stata guidata dall'obiettivo di individuare **contesti diversificati e rappresentativi** all'interno della Provincia autonoma di Bolzano in cui **testare soluzioni replicabili e scalabili**. Le aree sono state classificate in tre macro-categorie legate alla scala di intervento: distretto, lotto, spazio aperto.

### Distretto

Comprende zone consolidate all'interno del tessuto urbano in cui la presenza di superfici impermeabili è particolarmente significativa:

- Aree terziarie (uffici, servizi pubblici, poli direzionali)
- Aree commerciali (centri commerciali, aree vendita)
- Aree residenziali (complessi abitativi con spazi comuni impermeabilizzati).

### Lotto

In questa categoria rientrano spazi specifici, spesso monofunzionali, potenzialmente idonei a interventi mirati di deimpermeabilizzazione:

- Aree ricreative (parchi giochi, aree sportive) con annessi ampie superfici destinate a parcheggio
- Cantine (edifici produttivi legati al settore vitivinicolo)
- Impianti di risalita (aree tecniche e di servizio) con annessi ampie superfici destinate a parcheggio
- Aree di sosta A22 (parcheggi autostradali e zone di pertinenza)
- Aree per la produzione di energia (termovalorizzatore, centrale di teleriscaldamento).

### Spazio aperto

Include spazi pubblici di uso collettivo in cui l'intervento di desigillazione può migliorare la qualità urbana, la funzionalità e il comfort ambientale:

- Piazze (spazi aperti pavimentati, spesso sottoutilizzati)
- Parcheggi (pubblici o privati, di quartiere).

Sulla base di una più ampia selezione di aree e in concertazione con gli stakeholders, sono state individuate **tre aree di sperimentazione** con il fine di elaborare scenari di modellazione sperimentali ed a elevato potenziale di replicabilità.



**DISTRETTO**



**LOTTO**



**SPAZIO APERTO**

Ambiti proposti per la sperimentazione, nella scala di distretto, lotto e spazio aperto



**AREE TERZIARIE**



**AREE RICREATIVE**



**PIAZZE**



**AREE COMMERCIALI**



**CANTINE**



**PARCHEGGI**



**AREE RESIDENZIALI**



**IMPIANTI DI RISALITA'**



**AREE DI SOSTA A22**



**AREE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA**

Are di sperimentazione elaborate



Area terziaria/  
industriale/  
produttiva  
Bolzano sud - Fiera



**DISTRETTO**



Area residenziale  
Bolzano



**DISTRETTO**



Area ricreative  
Bressanone



**LOTTO**

## Progettare con le Nature based Solutions (NbS)

Le **pavimentazioni drenanti** consentono l'infiltrazione diretta delle acque meteoriche al suolo a differenza delle pavimentazioni impermeabili. In aggiunta le pavimentazioni inerbite consentono il miglioramento della depurazione delle acque piovane e contribuiscono al microclima locale.

Nell'area di sperimentazione si propone l'utilizzo di grigliati in calcestruzzo inerbiti in prossimità degli stalli auto.



Le **fasce filtranti** sono aree inerbite con una moderata pendenza progettate per trattenere le acque meteoriche.

Nell'area di sperimentazione sono state predisposte ad alternanza con i posti auto e predisposte di alberatura.

La messa a dimora di **alberi** e arbusti in ambiente urbano genera ombreggiamento migliorando il microclima locale, inoltre sono efficaci nel miglioramento della qualità dell'aria e favoriscono la biodiversità. Nella progettazione dell'area di sperimentazione sono stati ipotizzati nelle fasce drenanti tra gli stalli auto e in aree inerbite in prossimità degli ingressi degli edifici e per aree di riparo nei periodi estivi.



I **tetti verdi** oltre a garantire benefici all'interno degli edifici, garantiscono una riduzione del deflusso di acque meteoriche e la mitigazione dell'effetto isola di calore.

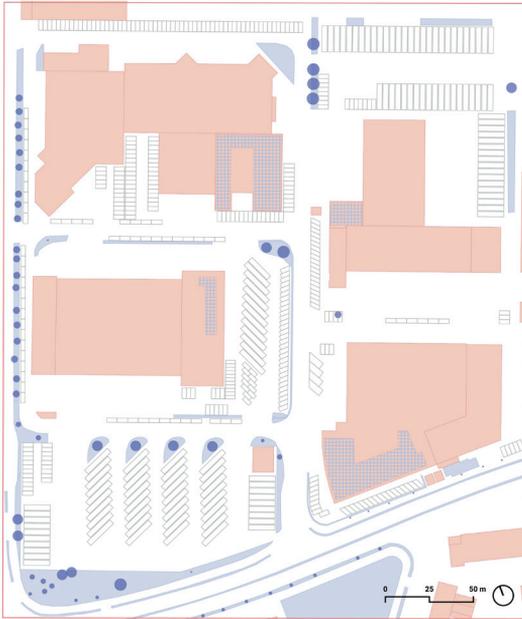
Nello stato di fatto di progetto erano già presenti alcuni tetti verdi, tuttavia sono stati implementati su altri tetti piani anche mantenendo la presenza di pannelli solari.



Le **pareti verdi** migliorano il microclima, la qualità dell'aria e la biodiversità. Nel progetto sono state adottate due tipologie di pareti verdi, la prima che ricopre le pareti cieche prevede una vegetazione compatta sostenuta da pannelli che contengono terreno su un telaio. La seconda soluzione, per pareti con aperture prevede piantumazioni di rampicanti radicate dal basso sostenute da elementi a cavo.



## Proposta di progetto con l'utilizzo delle NbS per l'area di sperimentazione di Bolzano sud



### ► Area di sperimentazione Bolzano Sud - Stato di fatto

Area totale: 105.000m<sup>2</sup>  
Area edificata: 47.800m<sup>2</sup>  
Area verde: 7.000m<sup>2</sup>  
Coperture con tetti verdi: 2.8000m<sup>2</sup>



### ► Area di sperimentazione Bolzano Sud - Visione complessiva di progetto

- **Pavimentazioni drenanti** in sostituzione degli stalli auto
- **Alberature** e fasce verdi tra gli stalli auto
- **Messa a dimora di alberi** in aree verdi esistenti e di progetto
- **Fasce drenanti**
- **Tetti verdi** su coperture piane
- **Facciate verdi**: dense su superfici cieche, rade in presenza di aperture

## Co-benefits della desigillazione | Valutazione degli scenari

Valutare gli effetti della desigillazione è fondamentale per comprendere l'impatto che le diverse strategie possono generare nell'ambiente circostante e per individuare la soluzione più adatta in base alle caratteristiche del contesto e agli obiettivi specifici.

In questo studio, l'attenzione è rivolta in particolare ai benefici microclimatici e alla riduzione del deflusso delle acque, analizzati attraverso simulazioni con modelli computazionali:

**ENVI-met per gli aspetti di climatologia urbana e SWMM per la componente idrologica.**

Gli scenari considerati applicano una singola soluzione strategica per volta, così da valutarne l'impatto isolato su microclima e gestione idrica; lo scenario finale combina invece tutte le soluzioni precedenti, offrendo una visione integrata dei benefici. Poiché tali strumenti richiedono competenze specialistiche, i risultati vengono tradotti anche in termini di **R.I.E. (indice di Riduzione Impatto Edilizio)**, più vicino agli strumenti utilizzati nella pratica urbanistica. Il calcolo viene effettuato sia per lo stato di fatto, sia per i singoli scenari, prendendo come riferimento la normativa vigente dove il valore minimo di R.I.E. da ottenere deve essere pari a 1,5 per le aree classificate come produttive o legate alla viabilità (zone B ed E), mentre deve essere pari a 4 per le zone residenziali e assimilabili, e alle aree con destinazione pubblica (zone A, C, D, F).

Va sottolineato che non sempre esiste una correlazione diretta tra dispositivo NbS, misurabilità della desigillazione e contributo al R.I.E.. Infatti, lo stesso valore di R.I.E. può corrispondere a soluzioni differenti e produrre effetti diversi sul microclima o la gestione delle acque perché determinante è il progetto dello spazio aperto e costruito.

Di seguito vengono schematizzati le procedure metodologiche adottate con i tre strumenti.

## ENVI-MET

### GEOMETRIA

Dimensioni e materiali di superfici ed edifici  
Dimensioni e caratteristiche di superfici verdi  
Dimensioni e caratteristiche alberi

### INPUT CLIMA

Temperatura dell'aria, radiazione solare, vento e umidità relativa di contorno per ogni area, generate tramite il modello WRT (Weather Research and Forecasting)

### DATI GENERATI

Microclima e indice di comfort PET per una giornata molto calda (luglio 2024) nell'arco di 24 ore.

### SCENARI

Stato di fatto e scenari alternativi con depavimentazione nelle tre aree

### RISULTATI

Mappe di parametri microclimatici e indice di PET

Mappe con risoluzione di 2m e valori medi di temperatura dell'aria e PET alle ore 16:00 per ogni scenario, ad altezza uomo (1.8).

Mappe con differenza di temperatura dell'aria e PET tra lo stato di fatto e ogni scenario.

DATI INPUT

SIMULAZIONE

VISUALIZZAZIONE

## SWMM

### GEOMETRIA

Dimensioni del bacino, percentuali di sup. permeabile, impermeabile e coefficiente di deflusso.

### INPUT PRECIPITAZIONI

Intensità, durata e frequenza

### RISULTATI

Volume di deflusso, infiltrazione e contributo degli interventi.

Idrogramma (portata / tempo)

Valutazione delle perdite idrologiche e della capacità di ritenzione/immagazzinamento delle diverse tecniche di drenaggio urbano sostenibile

DATI INPUT

SIMULAZIONE

VISUALIZZAZIONE

## R.I.E.

### SUPERFICI ESTERNE

Tipologia dei materiali di finitura, eventuale recupero e gestione delle acque meteoriche

### ALBERI E VERDE PENSILE

Indicazione delle specie arboree

### COEFF. DI DEFLUSSO $\psi$ E SUPERFICI EQUIVALENTI ALBERATURE

Efficacia delle superfici e alberature nel ridurre il deflusso

### FORMULA R.I.E.

Applicazione formula

### CONFRONTO RISULTATI

Tra stato di fatto ed il singolo scenario di progetto

### VERIFICA REQUISITI MINIMI

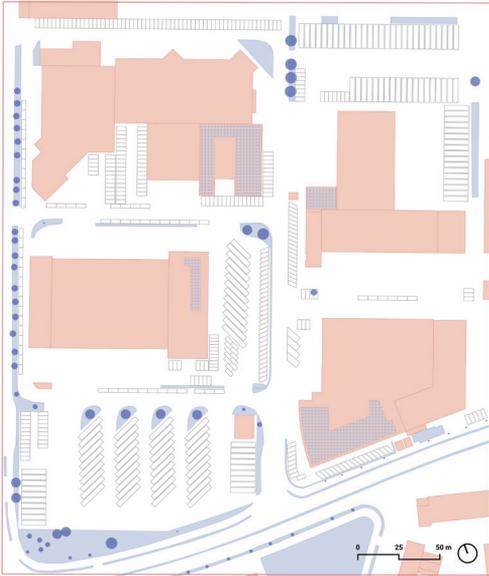
In base alla tipologia di area urbana considerata

DATI INPUT

SIMULAZIONE

CONFRONTO

# Area di sperimentazione | Bolzano sud

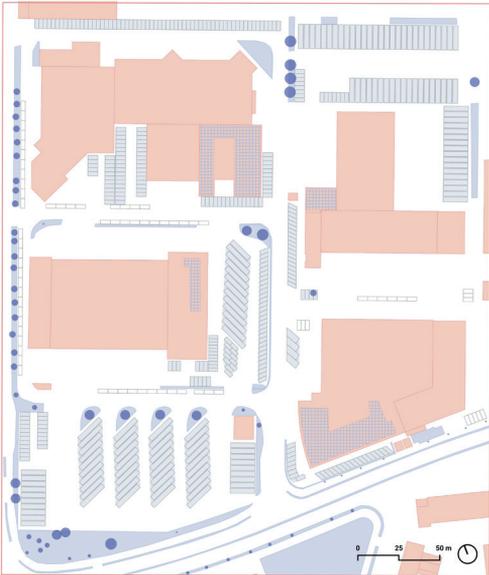


## Stato di fatto

- ▶ Area: 105.000m<sup>2</sup>
- ▶ R.I.E.:0.84

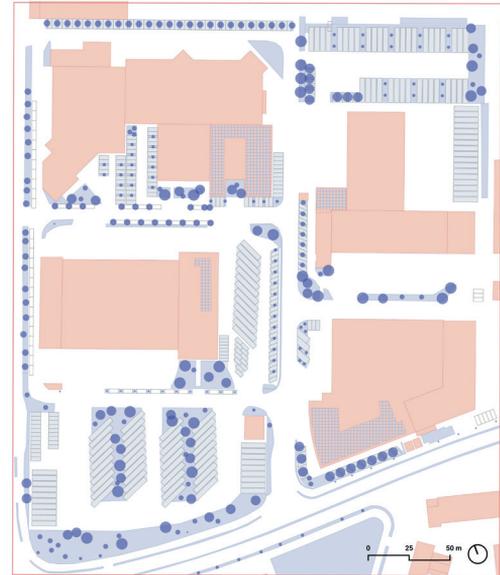
## Legenda

- Edifici
- Coperture con tetti verdi
- Superficie a verde
- Pavimentazioni drenanti
- Alberature
- Facciata verde compatta
- Facciata verde rada



## Scenario S1 | R.I.E.: 1.15

Sostituzione delle superfici asfaltate con pavimentazioni drenanti negli stalli auto



## Scenario S2 | R.I.E.: 1.77

Incremento delle aree verdi e messa a dimora di alberi per ombreggiamento

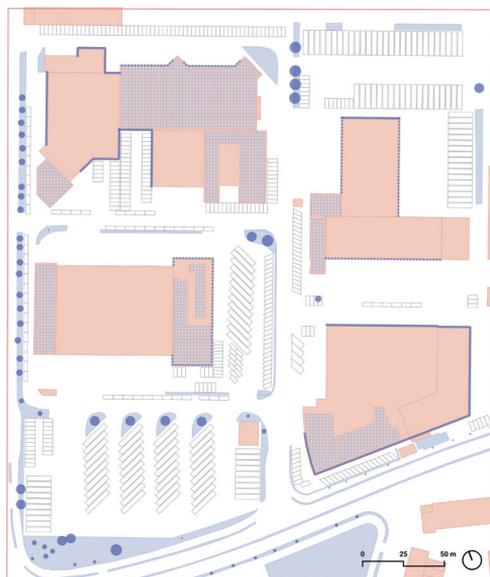
Per ogni area di sperimentazione sono stati predisposti diversi scenari di intervento organizzati per tipologie di intervento e riuniti in una visione complessiva.

Nella **Strategia 1**, a partire dalla configurazione attuale, si propone un intervento di sostituzione di pavimentazione asfaltata con **pavimentazioni drenanti** localizzata con i posti auto esistenti. Nel caso specifico si propone l'utilizzo di grigliati in calcestruzzo inerbiti.

La **Strategia 2** si propone, in continuità con la prima, propone un intervento sulle superfici verdi ampliando quelle esistenti e interponendo **fasce filtranti con alberature** tra gli stalli auto. All'interno di questa strategia si inseriscono le alberature per la creazione di aree ombreggiate in prossimità degli ingressi degli edifici e per portare ombra ai posti auto.

La **Strategia 3** propone di ampliare le superfici di **tetti verdi** mentendo i **pannelli fotovoltaici** in copertura e introduce la soluzione delle **facciate verdi**. Le facciate verdi si propongono per le facciate principalmente cieche.

Infine la **Strategia 4** rappresenta la **combinazione** delle tre strategie precedenti come scenario complessivo.



**Scenario S3** | R.I.E.: 0.96  
Implementazione delle superfici coperte con tetti verdi e inserimento di facciate vegetate



**Scenario S4** | R.I.E.: 1.89  
Combinazione degli scenari precedenti

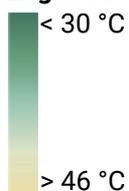
# Area di sperimentazione | Bolzano sud | ENVI-met Variazione temperatura dell'aria



## Stato di fatto

- ▶ Temperatura dell'aria ( $^\circ\text{C}$ )  
h. 1,8m  
H:16:00

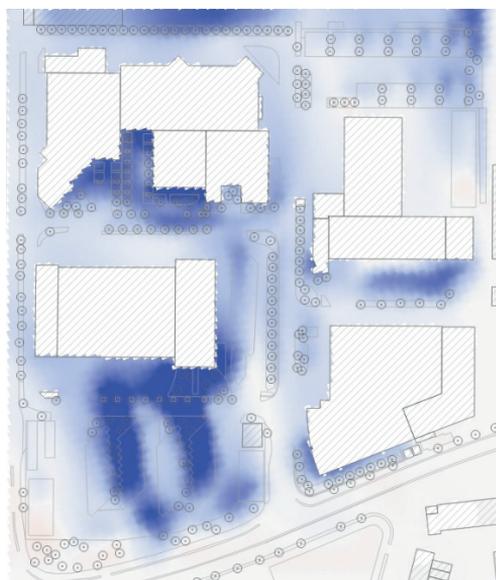
## Legenda



- ▶ R.I.E.: 0.84
- ▶ Temperatura media dell'area: 42.2°C



**Scenario S1** | R.I.E.: 1.15  
Temperatura media dell'area: 41.9°C



**Scenario S2** | R.I.E.: 1.77  
Temperatura media dell'area: 41.3°C

Gli scenari di desigillazione possono contribuire alla riduzione della temperatura dell'aria, **riducendo l'effetto isola di calore** e contribuendo al **miglioramento del comfort microclimatico**. Le strategie di NbS adottate hanno effetti diversi in termini di riduzione della temperatura dell'aria. (S1) prevede l'utilizzo di superfici drenanti, che contribuiscono a ridurre la temperatura dell'aria in media di 0.3°C. (S2) prevede la messa a dimora di alberi (di 10 anni) di dimensioni varie e contribuisce al miglioramento della temperatura dell'aria di 0.9°C. Gli effetti locali della messa a dimora di alberi possono contribuire a riduzioni della temperatura nell'ora più calda fino a 2.5°C. Tale effetto dipende dalla quantità di alberi, dalla loro disposizione, dalla specie e dall'età dell'albero. (S3), con tetti e facciate verde, riduce in media la temperatura dell'aria di 0.2°C. Lo scenario che prevede la combinazione delle precedenti soluzioni comporta un raffreddamento di 1.0°C di temperatura dell'aria in media. Si noti che la simulazione microclimatica riportata è riferita ad una giornata estremamente calda e all'ora più calda della giornata.

### Legenda



Differenza  
Temperatura  
dell'aria (°C)

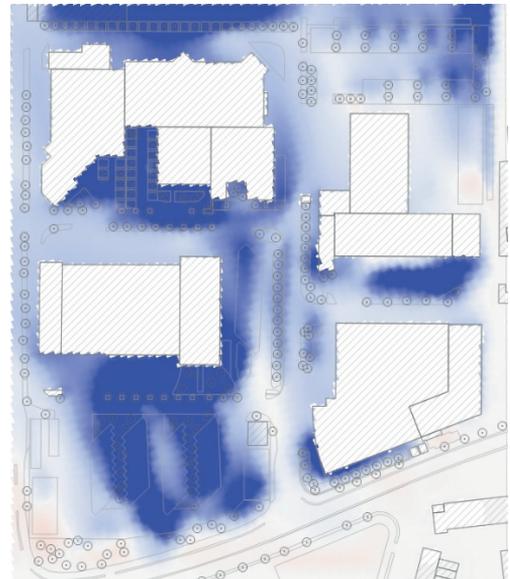
h. 1,8m

H:16:00

La differenza è  
calcolata come i valori  
della temperatura  
dell'aria dello stato di  
fatto meno quelli dello  
scenario



**Scenario S3** | R.I.E.: 0.96  
Temperatura media dell'area: 42.0°C



**Scenario S4** | R.I.E.: 1.89  
Temperatura media dell'area: 41.2°C

## Area di sperimentazione | Bolzano sud | ENVI-met Indice di comfort (PET)



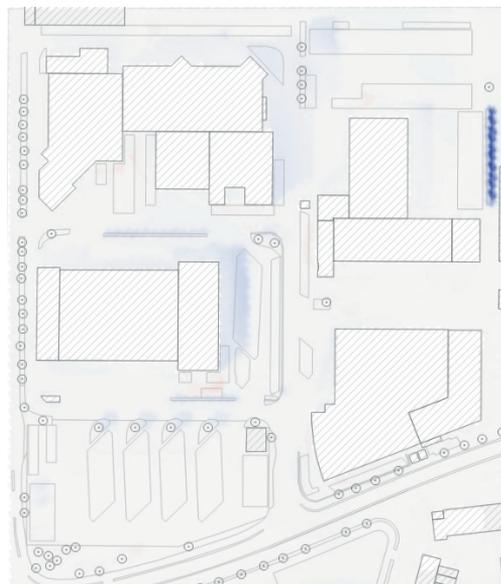
### Stato di fatto

- ▶ PET (°C)  
h. 1,8m  
H:16:00

### Legenda



- ▶ R.I.E.: 0.84
- ▶ Temperatura media percepita: 54.3°C



**Scenario S1** | R.I.E.: 1.15  
Temperatura media percepita: 54.2°C



**Scenario S2** | R.I.E.: 1.77  
Temperatura media percepita: 52.6°C

### Legenda



Differenza PET (°C)

h. 1,8m

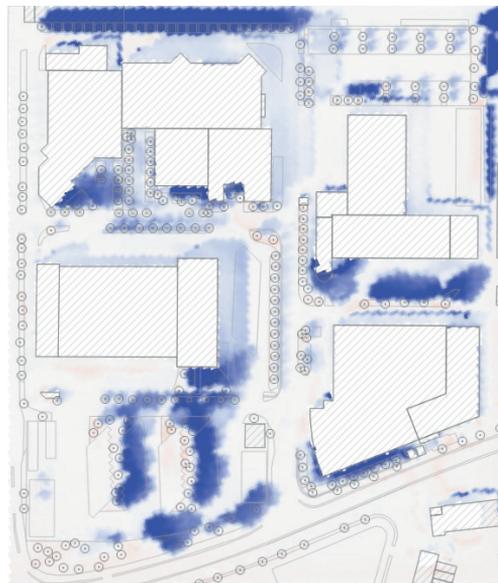
H:16:00

La differenza è calcolata come i valori di PET dello stato di fatto meno quelli dello scenario



**Scenario S3** | R.I.E.: 0.96

Temperatura media percepita: 54.2°C



**Scenario S4** | R.I.E.: 1.89

Temperatura media percepita: 52.5°C

Gli scenari di desigillazione dovrebbero prevedere una combinazione di diverse soluzioni, includendo soluzioni naturali a suolo, alberi, e soluzioni sugli involucri edilizi. Ciò ha un forte **impatto sul carico termico locale**, come dimostra lo studio sul microclima locale. Negli scenari, (S1) utilizza solo superfici drenanti, che hanno un minimo effetto migliorando albedo e evapotraspirazione e riducendo la temperatura percepita di 0.1°C. (S2) con messa a dimora di alberi (di 10 anni) di dimensioni varie, la temperatura percepita è in media 1.7°C inferiore rispetto allo stato di fatto. Questo effetto di raffrescamento in alcuni punti raggiunge 10°C, compensando l'effetto delle pavimentazioni asfaltate. (S3), con tetti e facciate verde, riduce in media la temperatura percepita di 0.1°C, con effetti di raffrescamento locali e poco percepiti ad altezza uomo. Lo scenario che prevede la combinazione delle precedenti soluzioni comporta un miglioramento di 1.8°C di temperatura percepita in media. Anche in questo caso, gli effetti locali possono raggiungere fino a 10°C. In ogni scenario, nonostante i miglioramenti, l'intera area rimane comunque in condizioni di forte stress termico. Si noti però che la simulazione microclimatica riportata è riferita ad una giornata estremamente calda e all'ora più calda della giornata.

# Area di sperimentazione | Bolzano sud | SWMM



## Stato di fatto

- ▶ Area totale: 105.000m<sup>2</sup>  
Area edificata: 45%
- ▶ Aree permeabili: 7%  
Area impermeabile totale: 93%  
LID Area tetti verdi: 3%
- ▶ R.I.E.: 0.84



## Scenario S4

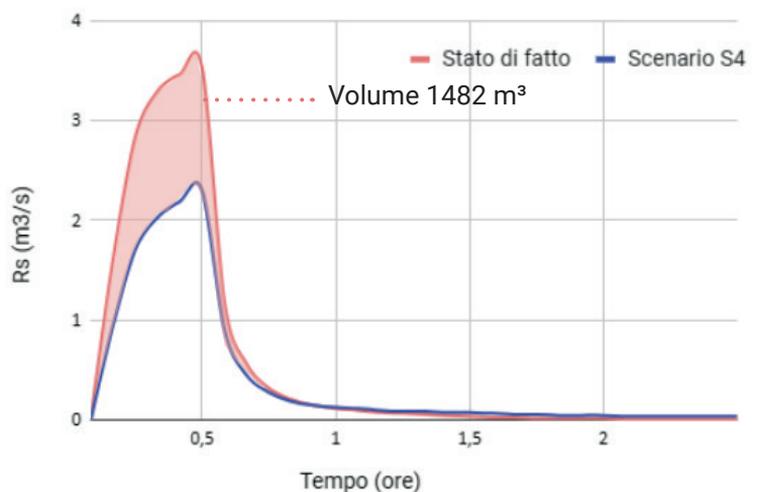
- ▶ Aree permeabili: 11%  
Area impermeabile totale: 89%  
LID Area tetti verdi: 8%  
LID Pavimentazioni drenanti: 11%
- ▶ R.I.E.: 1.89

## Legenda

- Superficie impermeabile
- Superficie verde
- Pavimentazione drenante
- Coperture con tetti verdi

Attraverso il software SWMM (Storm Water Management Model, US-Environmental Protection Agency) è possibile analizzare la risposta idrologica di un'area urbana sollecitata da eventi meteorici. Attraverso un modello afflussi-deflussi il software permette di quantificare la parte di precipitazione che contribuisce al deflusso superficiale e le perdite per infiltrazione. Al fine di **ridurre il deflusso superficiale e migliorare la capacità di gestire la precipitazione in loco**, nell'area di sperimentazione sono state implementate delle soluzioni di drenaggio urbano sostenibile (LID, Low Impact Development) quali: tetti verdi, trincee drenanti, pavimentazioni drenanti e aiuole vegetate. Il confronto tra lo stato di fatto e lo scenario che prevede l'implementazione di soluzioni basate sulla natura ha mostrato come, per un evento meteorico caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni e una durata di 30 minuti (intensità di precipitazione pari a 40.731 mm/hr), tetti verdi, trincee drenanti, pavimentazioni drenanti e aiuole vegetate siano in grado di ridurre il picco di portata di circa il 23% e di laminare temporaneamente un volume d'acqua pari a 1482m<sup>3</sup>, **riducendo e ritardando il suo smaltimento nella rete di drenaggio**.

Idrogramma delle  
simulazioni a  
confronto



## Sintesi | KPI

Le simulazioni sviluppate attraverso gli scenari di desigillazione mostrano effetti positivi sul microclima locale, in particolare grazie all'impiego di coperture vegetate, pavimentazioni permeabili e alberature. Tali soluzioni determinano una **riduzione delle temperature superficiali, mitigano l'effetto isola di calore urbana** e migliorano il comfort microclimatico negli spazi aperti. Inoltre emerge la necessità di approfondire in fase di progetto la **relazione tra materiali superficiali e albedo**, al fine di ottimizzare l'efficacia degli interventi. I risultati confermano l'importanza di un **approccio progettuale integrato**, orientato alla resilienza climatica e alla rigenerazione sostenibile dello spazio urbano.





46°

-2°

-0,75°

## Vulnerabilità e rischio

L'analisi di vulnerabilità e rischio applicata al microclima e agli eventi idro-climatici permette di quantificare gli impatti potenziali di ondate di calore, siccità e alluvioni sulla società e sull'economia, integrando tre elementi fondamentali: **pericolo climatico, esposizione e vulnerabilità**.

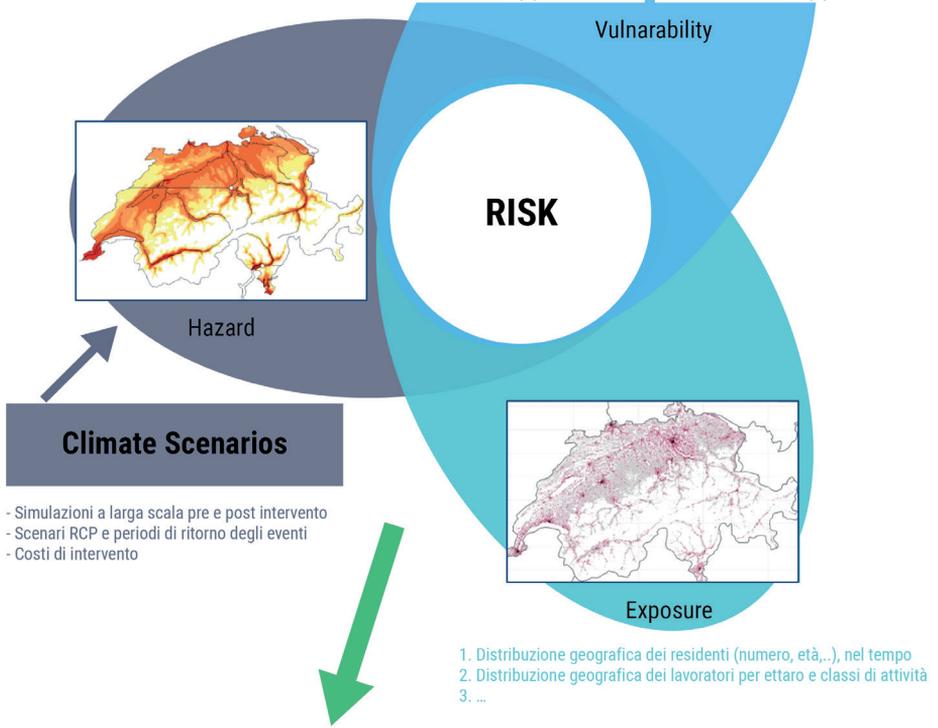
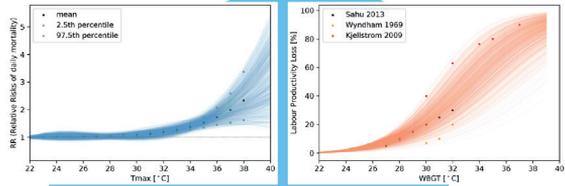
Il pericolo viene ricostruito a partire da scenari climatici e idrologici ad alta risoluzione: temperature estreme, indici di stress termico, precipitazioni intense o deficit idrici (ad es. portate fluviali ridotte). L'esposizione è rappresentata da popolazione, infrastrutture, attività economiche e settori sensibili (sanità, lavoro, agricoltura, energia, trasporti).

La vulnerabilità viene espressa tramite funzioni di impatto che collegano l'intensità dell'evento ai danni attesi: mortalità e riduzione della produttività per il caldo; perdite agricole, interruzioni idriche ed energetiche, danni a infrastrutture e navigazione fluviale per la siccità o le alluvioni.

Combinando queste tre componenti è possibile stimare indicatori di rischio sia in condizioni attuali che future, distinguendo tra diversi scenari di riscaldamento globale. Attraverso simulazioni probabilistiche, le incertezze legate a modelli climatici e dati socio-economici vengono esplicitamente considerate.

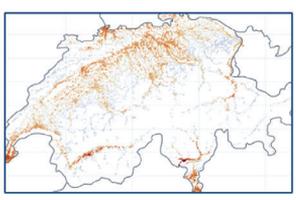
Il risultato è una **mappatura spazialmente dettagliata degli impatti**, capace di evidenziare aree e settori più vulnerabili: quartieri urbani sensibili al calore, aree agricole esposte a stress idrico, territori a rischio di esondazione o subsidenza. Questa conoscenza fornisce la base per valutare i costi dell'inazione e pianificare misure di adattamento, dalla gestione delle risorse idriche alla protezione civile, fino alla progettazione urbana e infrastrutturale resiliente.

1. Associazione tra mortalità e indicatori di pericolosità (hazard)
2. Produttività lavorativa, WBGT dentro e fuori gli edifici [simulazioni energetiche]
3. ...



- Simulazioni a larga scala pre e post intervento
- Scenari RCP e periodi di ritorno degli eventi
- Costi di intervento

1. Distribuzione geografica dei residenti (numero, età,...), nel tempo
2. Distribuzione geografica dei lavoratori per ettaro e classi di attività
3. ...



**Impact**  
Pre e post intervento:  $\Delta I$

- 1
 
$$I_{\text{Mortality}} = \sum_{\text{cells}} \sum_{T} N_{\text{deaths, cell}} AF(T) N_{\text{days, cell}}(T)$$
- 2
 
$$I_{\text{Labour Productivity}} = \sum_{\text{cells}} \sum_{\text{dayshours}} \sum E_{\text{cell}} \text{Loss}(\text{WBGT}_{\text{hour}})$$
- 3...

IPCC risk framework

## Sintesi | Matrice di valutazione

Lo studio presenta una **matrice di valutazione** come strumento di sintesi per la misurabilità delle azioni di desigillazione dei suoli. La matrice mette in relazione ai dispositivi progettuali NbS testati nelle aree di sperimentazione con i cinque ambiti tematici e relativi KPI. Per ciascun dispositivo si offre una valutazione bassa, media o alta dell'efficacia rispetto ai KPI, fondata sulla letteratura scientifica, operativa e progettuale raccolta e integrata con i risultati ottenuti dalle simulazioni nelle aree di sperimentazione. La matrice vuole essere uno **strumento di orientamento progettuale** a partire dal primo approccio al progetto.

	ACQUA		MICROCLIMA	
	Riduzione deflusso superficiale	Ritenzione idrica	Diminuzione temperature	Aumento comfort microclimatico
Pavimentazioni permeabili	● ● ●	● ● ●	●	○
Giardini della pioggia	● ● ●	● ●	● ● ●	○
Recupero delle acque meteoriche	● ● ●	● ● ●	○	○
Sistemi di infiltrazione sotterranei	● ●	● ● ●	●	○
Sistemi di filtrazione superficiali	●	●	● ●	○
Giardini tascabili	● ●	● ● ●	○	○
Messa a dimora di alberi e arbusti	● ● ●	○	●	● ●
Tetti verdi	● ●	● ●	●	○
Pareti verdi	●	●	● ●	● ●
Pergole verdi	●	●	● ● ●	○
Orti urbani	●	● ● ●	● ● ●	○
Corridoi ecologici	● ●	● ●	○	○

### Legenda

-  Efficacia alta
-  Efficacia media
-  Efficacia bassa
-  Dato convalidato dalle simulazioni della ricerca
-  Nessun dato

BIODIVERSITÀ		INQUINAMENTO		QUALITÀ	
Varietà di specie vegetali	Varietà di specie fauna urbana	Qualità dell'aria	Stoccaggio CO2	Qualità progettuale	Benessere
					
					
					
					
					
					
					
					
					
					
					
					

