

Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia

approccio metodologico,
strategie progettuali
e indicatori.



Chiara Fuggiano
Elena Gambino



Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile
(Classe LM-4)

Tesi di Laurea
Sessione Luglio 2023

CANDIDATE : Fuggiano Chiara_S287621
Gambino Elena_287489

RELATRICE : Valentina Serra

CORRELATORE : Corrado Carbonaro

INDICE

01

I CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLE AREE URBANE

PAG. 13

1.1 Definizioni

PAG. 16

1.2 La fragilità delle aree urbane

PAG. 18

1.3 I sistemi urbani e la resilienza

1.3.1 Resilienza, tassonomia e definizioni

1.3.2 La resilienza dei sistemi urbani

1.3.3 Principi della resilienza dei sistemi urbani

1.3.4 Strategie di adattamento e approcci alla resilienza Green-City

1.3.5 Categorie d'intervento

1.4 Minacce, vulnerabilità e rischi dei sistemi urbani

ABSTRACT

PAG. 9

PREMESSA

PAG. 11

02

LE AZIONI EUROPEE

PAG. 33

2.1 Cosa ne pensa l'Europa

03

RESILIENZA URBANA E BUONE PRATICHE

PAG 40

3.1 Edilizia e cambiamenti climatici

PAG 42

3.2 Strategie di mitigazione e adattamento agli eventi estremi

04

SVILUPPO APPROCCI METODOLOGICI

PAG 49

4.1 Approcci metodologici: progetti europei
4.1.1 Urban Green Up
4.1.2 Caso studio urban green up: Valladolid
4.1.3 Nature4Cities
4.1.4 Caso studio Nature4Cities: Szeged

PAG 58

4.2 Approccio metodologico

05

EVENTI CLIMATICI IN ITALIA

PAG 61

5.1 Introduzione al tema

PAG. 63

5.2 Contesto Italiano
5.2.1 Analisi eventi climatici: Regione Alpina
5.2.2 Analisi eventi climatici: Regione Padana
5.2.3 Analisi eventi climatici: Regione Adriatica
5.2.4 Analisi eventi climatici: Regione Appenninica
5.2.5 Analisi eventi climatici: Regione Tirrenica.
5.2.6 Analisi eventi climatici: Regione mediterranea e isole

06

ABACO AZIONI

PAG 79

6.1 Introduzione al tema

PAG. 80

6.2 Scheda esemplificativa

PAG. 82

6.3 Abaco frane

PAG. 94

6.4 Abaco Inquinamento

PAG. 114

6.5 Abaco Alluvioni

PAG. 132

6.6 Abaco Forti venti

PAG. 138

6.7 Abaco Ondate di calore

PAG. 156

6.8 Abaco Siccità

PAG. 160

6.9 Abaco conclusioni

07

PROCEDIMENTI DI CALCOLO KPIs

PAG 162

7.1 Definizione

PAG. 164

7.2 KPIs individuati

PAG. 166

7.3 KPIs individuati

PAG. 167

Frane e dissesti

PAG. 168

Inquinamento

PAG. 175

Alluvioni

PAG. 179

Forti venti

PAG. 180

Ondate di calore

PAG. 184

Siccità

PAG. 187

7.4 Conclusioni

PAG. 188

7.5 Tabelle di
sintesi dei KPIs

08

CASI STUDIO KPIs

PAG 195

8.1 Introduzione

PAG. 196

8.2 Inquinamento:
città di Milano

PAG.220

8.3 Alluvioni: città
di Ravenna

PAG. 234

8.4 Forti venti: città
di Campobasso

PAG. 242

8.5 Ondate di
calore: città di
Roma

PAG. 258

8.6 Siccità: città di
Palermo

09

CONCLUSIONI

PAG 263

9.1 Sintesi
procedimenti

PAG 264

9.2 Matrice di
sintesi

PAG 266

9.3 Conclusioni

BIBLIOGRAFIA

PAG 267

La crisi climatica che ci vede protagonisti sta generando condizioni ed eventi metereologici estremi sempre più gravi, provocando ingenti danni ambientali, sociali ed economici.

Le aree urbane a causa della loro polarizzazione e concentrazione di popolazione come afferma il report 'Una demografia che cambia' (Nazioni Unite, 2020), oltre a subire gli effetti maggiori, saranno il luogo dove si decreterà la vittoria o la sconfitta ai cambiamenti climatici. Si dimostrano sempre più vulnerabili ad eventi come alluvioni, ondate di calore, forti venti e frane, i quali vengono aggravati dalla costante presenza di inquinamento atmosferico, provocando un ciclo di cause ed effetti dai risvolti sempre più disastrosi.

All'interno del contesto mondiale l'Italia è uno dei paesi che nonostante stia subendo le conseguenze maggiori dei cambiamenti climatici non è ancora provvisto di un piano Nazionale di adattamento al clima come affermato nel report 'Emergenza eventi climatici estremi' (Legambiente, 2022) Molte città della penisola italiana non sono attualmente in grado di fronteggiare questi fenomeni disastrosi, registrando un numero elevato di perdite in termini economici, di vite umane, di beni del patrimonio culturale e edifici come riportato da 'Focus su Le città e la sfida dei cambiamenti climatici' (ISPRA, 2014).

Basandosi su questi presupposti, questa tesi si rivolge ai progettisti che nei prossimi anni dovranno attuare soluzioni alla scala urbana, per limitare gli effetti degli eventi atmosferici eccezionali nelle città italiane.

L'obiettivo è di fornire un approccio metodologico facilmente perseguibile basato su strumenti operativi di facile lettura e replicabilità legati a degli indici di verifica chiamati KPIs. Questa tipologia di approccio è in evoluzione e subisce modificazioni e monitoraggi continui; pertanto, si prendendone a riferimento i primi risultati dei progetti europei che ne stanno facendo utilizzo adattandoli alle necessità specifiche del territorio italiano.

La prima fase prevede la consultazione di una guida agli eventi climatici estremi in Italia, in questo modo i progettisti potranno individuare in quale regione climatica è situata l'area o la città di riferimento, comprendendo a quali fenomeni è maggiormente soggetta e potendo così valutare una priorità di interventi da attuare. Una volta individuate le criticità nella seconda fase viene fornito un catalogo di azioni da intraprendere che spazia da soluzioni alla scala urbana fino a soluzioni alla scala architettonica, suddivise per evento climatico estremo, così che, i professionisti possano facilmente selezionare gli interventi necessari.

In seguito, nella terza fase, è illustrato il set (oppure matrice) dei key performance indicators (KPIs), necessari per effettuare valutazioni quantitative e previsionali sulle prestazioni delle azioni progettuali distinte tra mitigazione e adattamento. Lo scopo della matrice dei KPIs è di fornire un supporto ai progettisti nella scelta più efficace degli interventi da realizzare.

Al fine di validare l'efficacia della metodologia proposta, sono stati analizzati i casi studio di sei città italiane, appartenenti a regioni climatiche diverse. I risultati dell'applicazione del metodo vengono sistematizzati in una matrice prestazionale, basata sulle performance delle azioni progettuali intraprese. Si effettua poi una gerarchizzazione delle azioni in funzione della loro efficacia e di eventuali criticità.

ABSTRACT

ABSTRACT

The climate crisis we are facing is generating increasingly severe extreme weather conditions and events, causing massive environmental, social and economic damage.

Urban areas due to their polarization and population concentration as stated in the report 'Una demografia che cambia' (Nazioni Unite, 2020), in addition to suffering the greatest effects, will be the place where victory or defeat to climate change will be decreed. They prove increasingly vulnerable to events such as floods, heat waves, high winds and landslides, which are exacerbated by the constant presence of air pollution, causing a cycle of causes and effects with increasingly disastrous implications.

Within the global context, Italy is one of the countries that despite suffering the greatest consequences of climate change is not yet provided with a National Climate Adaptation Plan as stated in the report 'Emergenza eventi climatici estremi' (Legambiente, 2022). Many cities on the Italian peninsula are currently unable to cope with these disastrous phenomena, registering a high number of losses in terms of economy, human lives, cultural heritage assets and buildings as reported by 'Focus su Le città e la sfida dei cambiamenti climatici' (ISPRA, 2014).

Based on these assumptions, this thesis is aimed at planners who will need to implement solutions at the urban scale in the coming years to limit the effects of exceptional weather events in Italian cities.

The goal is to provide an easily actionable methodological approach based on easy-to-read and replicable operational tools linked to verification indices called KPIs. This type of approach is evolving and undergoes continuous modification and monitoring; therefore, the first results of European projects that are making use of it are taken as reference, adapting them to the specific needs of the Italian territory.

The first phase involves consulting a guide to extreme climate events in Italy, so planners will be able to identify in which climatic region the area or city of reference is located, understanding which phenomena it is most subject to and thus being able to assess a priority of interventions to be implemented. Once the critical issues are identified in the second phase, a catalog of actions is provided, ranging from solutions at the urban scale to solutions at the architectural scale, divided by extreme climate event, so that, professionals can easily select the necessary interventions.

Then, in the third step, the set (or matrix) of key performance indicators (KPIs), necessary to make quantitative and predictive assessments of the performance of design actions distinguished between mitigation and adaptation, is illustrated. The purpose of the KPIs matrix is to provide support to designers in making the most effective choice of interventions to be implemented.

In order to validate the effectiveness of the proposed methodology, case studies of six Italian cities, belonging to different climatic regions, were analyzed. The results of applying the method are systematized into a performance matrix, based on the performance of the design actions taken. A hierarchization of the actions is then carried out according to their effectiveness and possible criticalities.

Mosse dalle condizioni ambientali sempre più estreme di cui il nostro tempo è protagonista e sentendo la responsabilità futura di operare scelte consapevoli, si decide di dedicare l'epilogo di questo percorso di studi al delineamento di un approccio metodologico che concorra all'obiettivo della progettazione di città resilienti ai cambiamenti climatici.

Gli obiettivi principali di questa ricerca sono comprendere i fattori che influenzano la resilienza urbana, identificare strategie e soluzioni per migliorare la capacità delle città di affrontare i cambiamenti e le crisi e sviluppare metodologie e strumenti per valutare i benefici apportati in termini di accrescimento della resilienza delle città.

L'ambizione di questo documento di tesi è dunque quella di aiutare nella ricerca e nel progetto di città sostenibili, adattabili e inclusive, in grado di affrontare le sfide climatiche odierne e del prossimo futuro, offrendo una migliore qualità della vita per la popolazione. La progettazione urbana resiliente ai cambiamenti climatici richiede una pianificazione olistica, il coinvolgimento di diverse competenze e una visione a lungo termine che miri a rendere le aree urbane capaci di resistere e di prosperare in situazioni di crisi o di perturbazione e di recuperare rapidamente da shock e stress. Le città devono adottare politiche e strumenti di pianificazione che integrino la resilienza climatica in tutte le fasi dello sviluppo urbano, dalla pianificazione territoriale alla progettazione delle infrastrutture, dalla gestione delle risorse all'educazione ambientale.

L'utente finale è un progettista sensibile alle questioni ambientali che comprende la responsabilità dell'azione progettuale e la sviluppa nella maniera più lungimirante possibile.

Si indagano mediante un approccio metodologico delle azioni operative per affrontare gli impatti sempre più evidenti del cambiamento climatico sulle città, le infrastrutture, l'ambiente e il benessere delle comunità urbane.

Il filo conduttore è quello di offrire una metodologia per la valutazione d'impatto delle azioni rispetto agli eventi climatici estremi individuati. Ogni progettista potrà approcciarsi al caso studio d'interesse riproponendo le fasi e la struttura dell'approccio metodologico presentato, valutando l'incremento di performance delle azioni proposte all'interno del contesto oggetto di studio.

Lo scopo finale è dunque quello di sintetizzare in maniera efficace degli indicatori che permettano una valutazione a priori dell'apporto benefico fornito dall'impiego di una precisa azione progettuale all'interno del contesto preso a riferimento.

PREMESSA

CAPITOLO.1

I CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLE AREE URBANE

In questo capitolo vengono introdotti i cambiamenti climatici e il loro risvolto a livello urbano, argomentando effetti e soluzioni riscontrati.

1.1 Definizioni

Il **riscaldamento globale** e il conseguente **cambiamento climatico** sono termini che attualmente caratterizzano il vocabolario dell'intera comunità mondiale; infatti, rappresentano le **grandi sfide** da dover fronteggiare in quest'epoca.

Spesso i due **termini** vengono **erroneamente intercambiati**, seppur siano collegati è necessario definirne le **differenze**.

Per riscaldamento globale si intende un fenomeno di **riscaldamento graduale della superficie terrestre** evidenziato **dall'epoca preindustriale** (circa 1850) **ai giorni nostri**¹. Questo fenomeno, come è stato dimostrato dalla comunità scientifica, è **causato** dalle attività umane di produzione di **gas effetto serra**, incrementate notevolmente dalla Rivoluzione Industriale. Le molecole di GHG rappresentano un pericolo principalmente per la loro caratteristica di permanere anni in atmosfera, prendendo ad esempio quelle di **CO2**, hanno una vita che varia dai 5 ai 200 anni ed è il **gas effetto serra con maggiore impatto** proprio per la **crescita** delle sue **emissioni**. La concentrazione globale di CO2 è passata da 278 ppm nel 1750 a 417ppm nel 2022, un incremento di circa il 51%². Assieme all'anidride carbonica gli **altri gas effetto serra** sono il vapore acqueo (**H2O**), il metano (**CH4**), l'ozono (**O3**) e l'ossido di azoto (**NO2**) tutti presenti in natura ma portati ad alte concentrazioni a causa dell'azione dell'uomo. **A questi si sommano** altre sostanze chimiche prodotte dall'uomo che causano gli stessi effetti, tra i quali: **clorofluorocarburi, idrofluorocarburi e i composti bromurati**. Come evidenziato nel report del 2022 stilato da Global Carbon Project nonostante il livello di emissioni fosse diminuito del 5,2% nel 2020 a causa della pandemia, negli anni successivi la produzione di CO2 ha nuovamente pareggiato i livelli pre-pandemia e registrando anche un incremento rispetto al 2019. L'utilizzo di **combustibili fossili** è **una delle cause principali** di queste emissioni, in particolare **negli ultimi anni** è stato **registrato un incremento** di emissioni dovute al **carbone, superando** addirittura quelle dovute al **petrolio**³.

1.TRECCANI

2.Globally averaged surface atmospheric CO2 concentration. Data from: NOAA-ESRL Year 1980; the Scripps Institution of Oceanography before 1980

3. GLOBAL CARBON PROJECT



FIGURA 1: Giornate di siccità severa a San Paolo, Brasile Fonte: Countig the cost, Christian Aid

FIGURA 2: Aumento delle emissioni globali di CO₂
 Fonte: Global Carbon Project

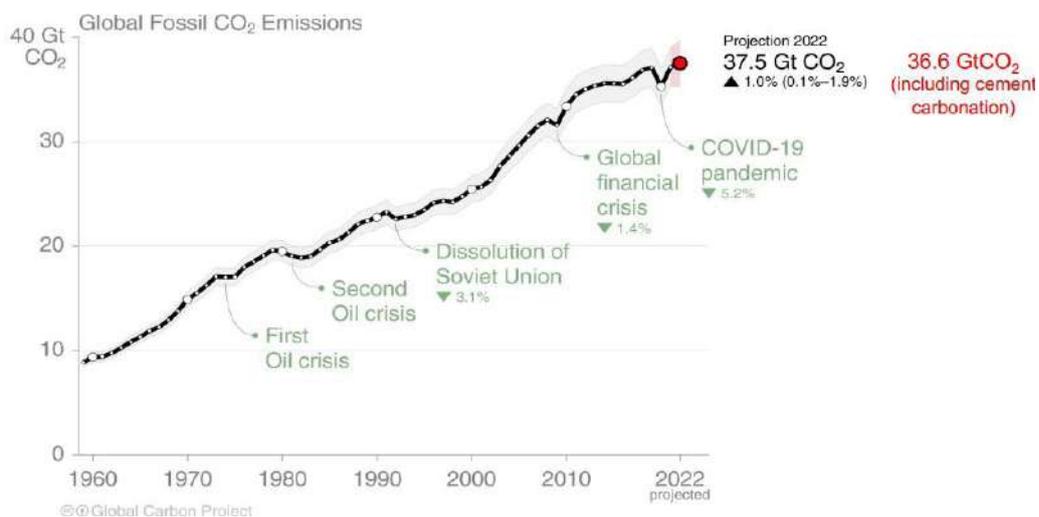
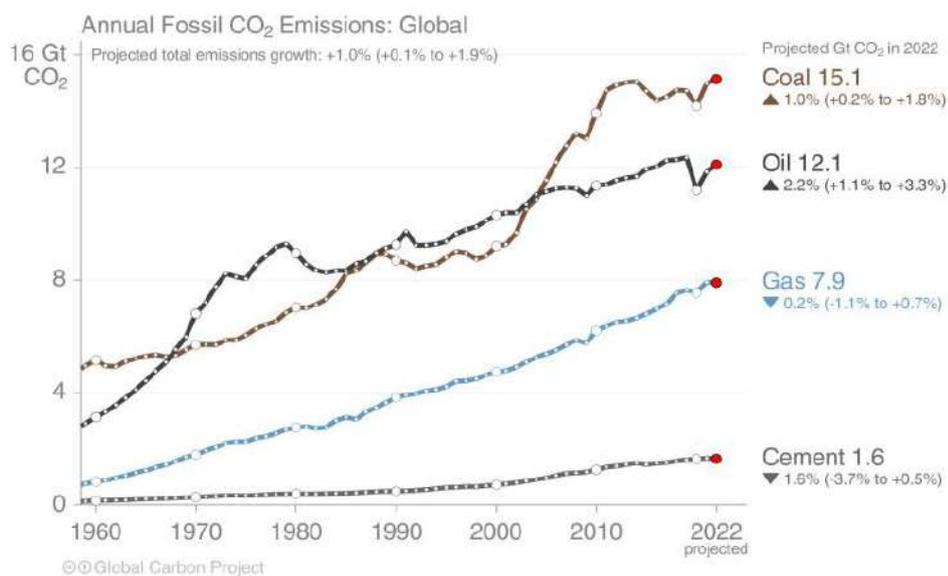


FIGURA 3: Emissioni globali di CO₂ provenienti da fonti fossili
 Fonte: Global Carbon Project



Per cambiamento climatico si intendono i **cambiamenti a lungo termine dei modelli meteorologici causati dall'alterazione della composizione dell'atmosfera globale** dovuta alle attività umane⁴, che si aggiunge alla variabilità climatica naturale già registrata nei secoli, ad esempio attraverso le variazioni del ciclo solare.

Questo cambiamento è **strettamente collegato al riscaldamento globale e alle emissioni di gas effetto serra**, la terra è infatti un sistema in cui tutto risulta essere connesso e dall'alterazione della temperatura ne deriva l'**inasprimento di alcune condizioni climatiche ed eventi** a carattere via via irreversibile.

Uno dei fenomeni visibilmente più evidenti è lo scioglimento dei ghiacci, da cui ne consegue l'innalzamento del livello del mare e il verificarsi sempre più frequente di **inondazioni** aumentando il rischio idrogeologico in molte zone costiere. In altre aree è la **siccità** a prevalere da cui deriva una scarsità di risorse idriche nei territori e incendi sempre più frequenti, alternati da **tempeste** catastrofiche e di carattere tropicale anche in aree in cui non si sono mai verificate. L'Europa ad esempio sta subendo una trasformazione evidente, diventando un continente sempre più arido, soggetto a siccità e **ondate di calore**, specialmente nell'**area del Mediterraneo** attualmente definito come l'**hotspot dei cambiamenti climatici**, in quanto gli effetti registrati risultano peggiori rispetto alla media globale. Nell'Europa settentrionale, invece, si verificano con sempre maggiore frequenza **fenomeni alluvionali** intensi.

Il susseguirsi di questi eventi sta portando alla **distruzione di interi ecosistemi e biodiversità** in tutto il mondo, oltre a rendere inagibili aree vissute dall'uomo, incrementando il numero di "rifugiati climatici".

Negli anni sono stati stilati numerosi **report per le Nazioni Unite** in cui il comitato scientifico ha **evidenziato che se l'innalzamento di temperatura** viene limitato a **non oltre 1,5°C** l'impatto dei cambiamenti climatici risulterebbe **ancora sostenibile**, mantenendo gli **ambienti vivibili**, purtroppo però **le attuali politiche porteranno ad un incremento di 2,8°C entro la fine del secolo**.

Per tale ragione il **tema del cambiamento climatico** sta assumendo un carattere **fondamentale**, da affrontare con nuove politiche globali mirate a **contrastare l'innalzamento delle temperature**, questo **coinvolgendo** tutti gli aspetti dell'**attività umana da cui derivano le emissioni**, come **trasporti, edilizia, attività di produzione e agricoltura** ossia tutto ciò che prevede la produzione e l'utilizzo di energia.

4. United nations framework convention on climate change, 1992

1.2 La fragilità delle aree urbane

5. Counting the cost
2022 a year of climate
breakdown, dicembre
2022, christian aid

Le **città**, più di altri ambienti, stanno **soffrendo** l'impatto dei **cambiamenti climatici** in quanto **sistemi fragili e poco adattati al cambiamento**. Negli anni purtroppo stanno incrementando le notizie di **eventi catastrofici** che **colpiscono principalmente le aree urbane** nel mondo.

Nel 2022 ci sono stati eventi che hanno colpito ogni angolo del mondo in maniera differente provocando **danni** superiori a 200 miliardi di dollari, migliaia di **vittime** e causando lo **sfollamento** di circa 40 milioni di persone⁵.

In Europa si sono verificati due grandi eventi di carattere opposto, a febbraio 2022 la tempesta Eunice ha colpito l'area settentrionale provocando numerosi danni ad edifici ed infrastrutture, oltre a causare 16 vittime accertate tra Belgio, Germania, Irlanda, Paesi Bassi e Regno Unito. La velocità del vento ha raggiunto una velocità record di 193 km/h. Il secondo evento è la siccità prolungata che ha colpito il continente durante tutto il periodo estivo, aumentando di oltre 2000 il numero di morti a causa del caldo eccessivo. Si sono verificate molte secche di fiumi come il Po italiano, il Reno tedesco e la Loira francese, oltre ad una perdita ingente di produzione agricola e il verificarsi di incendi della durata di più giorni anche vicini ai centri abitati. La produzione di energia da idroelettrico, inoltre, ha subito un forte rallentamento o addirittura l'interruzione e il calore eccessivo ha provocato danni a molteplici impianti in cui l'acqua risulta necessaria per il raffrescamento.

Oltre all'Europa anche il resto del mondo ha subito danni di eguale o peggiore portata, le inondazioni causate da piogge estreme verificate in Australia e parte del Sud Africa in aprile hanno portato allo sfollamento di numerose persone e provocato danni significativi alle città, private dei servizi necessari per la comunità e alle imprese e industrie locali. La stessa sorte hanno subito il Pakistan e la Cina tra giugno e agosto, durante la stagione dei monsoni. Anche in questo caso intere città e strade sono state distrutte e intere comunità sfollate, le vittime e i danni economici dovuti a questi disastri sono stati molto elevati.

Il Brasile e la Cina, invece, hanno subito danni a causa della siccità, entrambi i paesi fanno affidamento sulla produzione di energia da idroelettrico e in quei periodi la produzione è diminuita drasticamente. Molte città sono state messe in allerta rossa e la produzione agricola ha subito danni elevati, comportato un rischio per tutti i paesi che ne dipendono dato il loro ruolo di grandi esportatori di beni alimentari.

Tutti questi eventi hanno come **denominatore comune** la **gravità** con cui hanno colpito le **aree urbane**, queste infatti subiscono maggiormente l'impatto del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici e sono più suscettibili rispetto ad altri territori. Questo è motivato da diverse **ragioni**, prima di tutto la **conformazione** stessa delle città comporta una **presenza minima di suolo permeabile**, alimentando e peggiorando molteplici eventi climatici estremi. In presenza di eventi come quelli delle ondate di calore, nelle aree urbane si aggiunge la criticità delle **isole di calore** che si formano con estrema facilità a causa dell'**assenza di vegetazione** che contribuirebbe al raffrescamento e alla elevata presenza di asfalto ed edifici, che attirano calore. La **popolazione**, soprattutto le fasce in età avanzata, infatti, soffre particolarmente queste condizioni e l'**aumento di mortalità** nei soggetti anziani sta raggiungendo livelli molto più alti rispetto alla media generale del secolo scorso.

In caso di forti piogge l'assenza di terreno permeabile fa sì che l'acqua scaricata dalle precipitazioni si ritrovi a dover defluire nei sistemi fognari o nei letti fluviali quando presenti, provocando spesso inondazioni causate da **sistemi infrastrutturali non adeguati** e dall'erosione dei fiumi, che causano a loro volta danni agli

edifici e ai sistemi infrastrutturali e dei trasporti. Gli **edifici stessi risultano inadatti a fronteggiare eventi climatici di intensità crescente**, poiché non sono progettati tenendo conto delle condizioni climatiche che si stanno via via delineando e che come dimostrato dagli studiosi andranno a peggiorare. Le aree urbane risultano in questo senso più fragili proprio per la numerosa popolazione e la densità di abitazioni. Il **rischio di sfollamenti** aumenta vertiginosamente rispetto alle aree suburbane e rurali e il verificarsi di eventi estremi, come nei peggiori casi avvenuti nel 2022, ha coinvolto gli impianti di produzione energetica lasciando numerosi cittadini senza corrente o costringendo gli stati ad utilizzare fonti non rinnovabili.



FIGURA 4: Lorenzo Quinn, 2017, 'Support', Biennale di Venezia
FONTE: <https://it.depositphotos.com/stock-photos/lorenzo-quinn.html>

1.3 I sistemi urbani e la resilienza

1.3.1 Resilienza, tassonomia e definizioni

6. In metallurgia è la capacità dei metalli di superare una prova di rottura, in informatica è l'abilità di un sistema di adattarsi alle condizioni d'uso e di resistere all'usura al fine di garantire la disponibilità dei servizi erogati, in biologia rappresenta la capacità di una materia vivente di autoripararsi dopo un danno, in psicologia, invece, l'attitudine di un individuo a far fronte ad eventi traumatici, affrontando lo shock subito e dando prova di elasticità esistenziale.

L'abilità dei paesi, delle comunità e delle famiglie di gestire il cambiamento, mantenendo o trasformando le proprie abitudini di vita di fronte a shock o crisi -come terremoti, siccità o conflitti violenti- senza compromettere le loro prospettive a lungo termine (DFID,2011).

Il termine **resilienza** trova le sue origini nella lingua latina *resil ens* -> participio presente del verbo *resil re* -> prefisso *re* (indietro) e verbo *sal re* (saltare). Basandosi sul significato degli elementi che lo compongono, lo si associa all'azione di 'saltare indietro', **rimbalzare, ritornare in fretta.**

Nel tempo l'aggettivo *resiliens* abbandona il concetto associato alla capacità di rimbalzare di un oggetto, trovando nuova connotazione nel concetto associato alla elasticità dei corpi e le loro capacità -come quella di assorbire l'energia di un urto contraendosi o di riassumere la forma originaria una volta sottoposto a una deformazione-.

Entra così nel linguaggio annoverandosi **tra i vocaboli tecnico-scientifici** di uso corrente, specie nei campi della fisica e dell'ingegneria, con riferimento all'**abilità di un materiale di ritornare in una condizione di equilibrio precedente dopo essere stato sottoposto ad uno sforzo** (Acierno, 2015).

Partendo da questa definizione, negli anni il termine *resilienza* viene adattato a molteplici campi disciplinari con diverse estensioni⁶ ma nel '73 Crawford Stanley Holling introduce il **concetto di resilienza nell'ambito dell'ecologia**, definendola come: **"la quantità di anomalie che un ecosistema può tollerare senza cambiare i processi di autorganizzazione e le sue strutture di base"**.

Appare subito evidente come la principale **differenza tra le due visioni** risieda nell'**unicità o meno dello stato di equilibrio**. Nell'ambito ingegneristico basato su concetti come la stabilità, l'efficienza e il tempo di ritorno, infatti, lo stato di equilibrio viene considerato unico; mentre nell'ambito ecologico basato su concetti come cambiamento, adattabilità, variabilità e persistenza, esiste la possibilità di una **pluralità degli stati di equilibrio** che si dirama in **due strade principali: assorbire le perturbazioni entro una certa soglia** -con il **mantenimento inalterato** delle caratteristiche e della struttura propri del **sistema-**, **oppure mutare in un differente sistema una volta raggiunta la soglia limite** -non per forza migliore del precedente-.

Secondo questa visione la *resilienza ecologica* si compone di un modello a **struttura ciclica**, dove **ad ogni fase omega** -una **distruzione o crisi del sistema** scatenata da fattori sia interni che esterni- **ne segue rapidamente una alpha, di ripresa e riorganizzazione.**

1.3.2 La resilienza dei sistemi urbani

Guardando alla **natura dinamica dei sistemi urbani** e alla città come organismo in **perenne trasformazione e ri-organizzazione** -capace di rispondere ad eventi naturali, economici e sociali trovando nuovi stati di equilibrio- appare evidente come esistano una **serie di rischi** inevitabili che siano **da accettare e richiedano preparazione e abilità nel leggere le trasformazioni senza sopprimerli ma adattandosi ad esse.**

La **pianificazione urbana** e territoriale si pone proprio questo **scopo: immaginare scenari futuri per le città in cambiamento e offrire preparazione, un passaggio agevole e resiliente dalle condizioni omega alle nuove fasi alpha.**

Le **comunità urbane** a causa di fattori di **vulnerabilità** legati a **densità abitativa e servizi**, sono le realtà **più sensibili agli shock** e ai cambiamenti. **Rappresentano anche le realtà più adatte a pianificazioni di incrementi di resilienza**, poiché delle realtà più ridotte non riuscirebbero a mettere a sistema così tante componenti, rischiando di dar vita ad una progettazione mirata priva di visione globale a scala urbana.

Ma **quali parametri e processi univoci definiscono realmente la resilienza di un sistema urbano?**

Negli **ultimi anni** si è delineato un filone di **ricerca** che **lega la resilienza urbana alla gestione dei rischi territoriali: il disastro, l'emergenza o l'evento** che 'danno il la' al cambiamento. Delineando di fatto una nuova definizione di resilienza: il concetto della **Disaster Resilience**⁷.

Emerge con forza la **necessità di introdurre** incrementi di **processi** legati alla **Disaster Resilience non solo nella pianificazione emergenziale ma anche in quella ordinaria**⁸.

7. L'abilità dei paesi, delle comunità e delle famiglie di gestire il cambiamento, mantenendo o trasformando le proprie abitudini di vita di fronte a shock o crisi -come terremoti, siccità o conflitti violenti- senza compromettere le loro prospettive a lungo termine (DFID,2011).

8. A livello nazionale il concetto di resilienza urbana viene associato a quello di gestione dei rischi all'interno dell'istituzione del Dipartimento Casa Italia (decreto legge n.8/2017) e viene interpretata come: 'La capacità della Comunità di resistere alle minacce o agli eventi negativi, non solo perché la struttura fisica che li ospita è in grado di resistere alle calamità naturali, ma anche perché i quartieri urbani non sono in stato di degrado fisico e sociale. e i borghi e le frazioni non sono spopolati e privi di quelle opportunità economiche che consentono alla popolazione di restare'.



FIGURA: wordcloud parole chiave
Fonte: < <https://www.wordclouds.com/>>

1.3.3 Principi di resilienza dei sistemi urbani

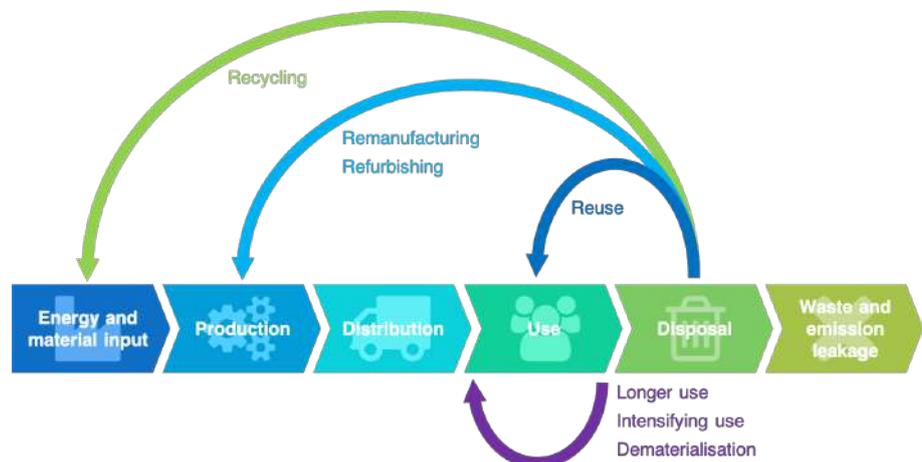
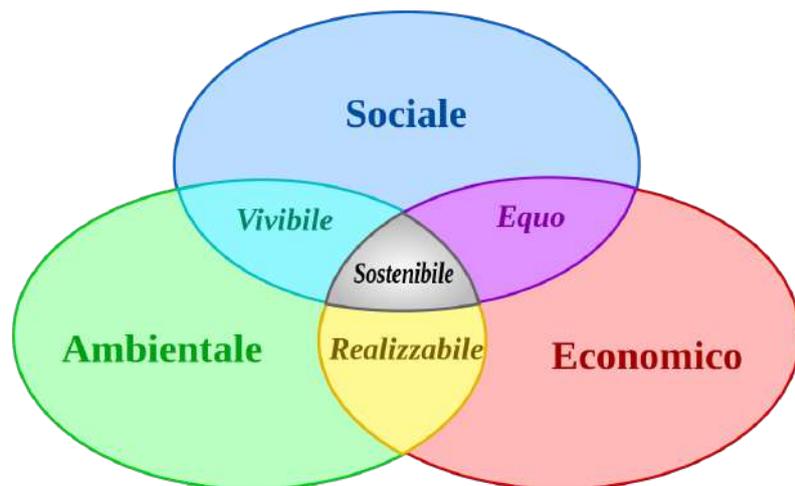
9. La 'Green economy' viene definita dall'UNEP come una economia verde a basse emissioni di carbonio, socialmente inclusiva, capace di sfruttare in modo efficiente le risorse e attenta alla prevenzione di perdita di biodiversità. Il ruolo della Green economy è quello di migliorare i processi di produzione e le pratiche di consumo nell'ottica di una riduzione del consumo di risorse, delle emissioni generate e della produzione di rifiuti. Si basa su un approccio macroeconomico che pone al centro investimenti in attività a crescita sostenibile, occupazione e sviluppo delle competenze.

FIGURA 1: Schematizzazione tre pilastri della Green Economy
Fonte: < https://it.wikipedia.org/wiki/Economia_verde>

10. La 'Circular economy' viene definita dal parlamento europeo come un modello di produzione e consumo che mira ad estendere il ciclo di vita delle risorse e dei prodotti riducendo al minimo la produzione di rifiuti -basandosi su principi come quello delle 3 R (Ridurre, Riutilizzare e Riciclare) -. Reintroducendo all'interno del ciclo economico i materiali di cui è composto un prodotto una volta terminata la sua funzione, genera ulteriore valore.
FIGURA 2: Schema circular economy
Fonte: < https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_economy>

I concetti legati alla **resilienza** e all'**adattamento** vengono **introdotti** sul **piano teorico** già tra gli anni '80 e '90 ma **trovano spazio** a livello internazionale **solo nell'ultimo decennio**, in **relazione** alla diffusione e attuazione dei **modelli di economia green⁹ e circular¹⁰** e alla relazione strategica che l'innescò di questi processi prevede. **Due dei principi fondanti di questi modelli sono: capacità di adattamento in relazione ai mutamenti climatici e adattamento al sopraggiungere di una progressiva indisponibilità di risorse limitate e non rinnovabili.**

Il primo principio è strettamente legato ai sistemi urbani e alla riduzione della **loro vulnerabilità agli eventi atmosferici estremi**, implicando la necessità di un progressivo adattamento degli edifici, delle città e dei suoi spazi aperti. Grazie all'impiego di sistemi bioclimatici, energetici e socioeconomici sempre più performanti e adattivi si auspica un incremento del comfort e della sicurezza anche in situazioni limite che mirino a sistemi assumibili come pienamente resilienti.



1.3.4 Strategie di adattamento e approcci alla resilienza delle Green City

Secondo il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, **nel 2050 più del 70% della popolazione risiederà stabilmente in centri urbani, città o metropoli. Rendendoli di fatto luoghi dove la necessità di resilienza ai cambiamenti climatici e agli effetti della progressiva scarsità di risorse sono non solo necessari ma essenziali.** Il **Green City Approach**¹¹ si basa sui principi della qualità ambientale, circolarità delle risorse e **dualità tra adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici.** Già dagli ultimi simposi internazionali -come quello di Ecomondo, Rimini 2017- risulta evidente come sia diventata **urgente l'attuazione di tali approcci** supportati dagli indirizzi e dagli strumenti della Green Economy.

Caratterizzanti l'integrazione tra **Green Economy, Green City e Adaptive and Resilient Design**, si delineano **3 approcci**

- **Self-reliant approach** – secondo questo approccio **l'architettura e gli ambienti costruiti devono diventare sistemi autopoietici**¹² -potendo essere rappresentati come una rete di processi di **creazione, trasformazione e distruzione di componenti che interagendo, rafforzano e rigenerano all'infinito l'apparato-**, assicurando un'ininterrotta esistenza delle componenti attraverso auto-rigenerazione sequenziale e funzionale: le componenti sono aggregate e scisse ma con una intensità in armonia con la conservazione dell'unità e dell'identità del sistema.

Questo approccio è caratterizzato da uno sviluppo ad alto grado di sostenibilità, efficienza energetica ed ecologica che grazie all'elevato livello di scambio tra le sue funzioni (diversificazione autopoietica) espone meno l'ambiente costruito che lo applica agli andamenti dei mercati e ai climatic change global trend, permettendo di evitarli o anticiparli e attenuarli.

I principi base di questo approccio sono **riflessività, inclusività e auto-organizzazione.**

- **Error-friendliness approach** – secondo questo approccio la **tolleranza verso gli errori produce una progressiva robustezza e adattività del sistema.** Come per la teoria dell'evoluzione della specie, l'eliminazione degli errori e dei fallimenti non è auspicabile, in quanto elemento indispensabile per l'evoluzione all'inclinazione, alla flessibilità mutazionale e pertanto al superamento dei fallimenti. Analogamente alla teoria dell'evoluzione della specie: Il superamento del fallimento non viene attribuito al singolo individuo, ma diventa quella che chiamiamo 'coscienza di specie' entrando a far parte del patrimonio genetico dell'intera specie.

Trasponendo questa analogia al built Environment, ovvero l'ambiente costruito, emerge come per resilienza si intenda la **capacità del sistema di fronteggiare gli errori, adattarsi ai mal funzionamenti e infine superare i fallimenti.**

I principi base di questo approccio sono **robustezza adattività e flessibilità.**

- **Dynamic-responsive approach** – secondo quest'ultimo approccio il **sistema architettonico e quello ambientale** devono essere **messi in condizione di rispondere alle interazioni esterne grazie alla predisposizione data dalla cultura tecnologica del progetto.** Si basa sull'attitudine dei caratteri tecnologici del sistema di riorganizzarsi dinamicamente. In natura i sistemi adattivo-resilienti si contraddistinguono per: **riconfigurarsi -al sopraggiungere di uno sconvolgimento-** in tempo reale; **isolare la porzione interessata dal problema evitando un effetto a cascata sulle altre;** diminuire o aumentare l'entità e la scala delle loro operazioni ogni qual volta vi sia necessità.

I principi base di questo approccio sono **integrazione, reattività e connettività.**

Questi tre approcci non rappresentano uno un'alternativa all'altro ma sono piuttosto da attuarsi in modo sinergico ad ogni indirizzo d'intervento in tema di resilienza e adattamento -favorendo l'inclinazione più verso uno o l'altro a seconda degli interventi e della loro natura-.

11. Il Green City Approach è un approccio integrato multisettoriale adottato fin dal 2010 dalla commissione europea per conferire un riconoscimento basato su indicatori che hanno aiutato a delineare le policy e le misure per le green city: l'European Green capital Award.

12. Coniato nel 1980 dai biologi Francisco Varela e Humberto Maturana 'autopoesi' significa "αὐτό" (se stesso) e "ποίησις" (creazione). Un sistema autopoietico pertanto è in grado di ridefinirsi continuamente sostenendosi e riproducendosi al suo interno.

1.3.5 Approccio metodologico e categorie d'intervento

Uno degli **interrogativi** che sorge - legato al **Green City Approach** - è quello che riguarda la **difficile formulazione di indirizzi strategici valutabili**. Sulla base di quali indicatori o dati certi -e misurabili- è possibile affermare un effettivo incremento di capacità di adattamento prima e resilienza poi dell'ambiente costruito?

F. Tucci et al. riportano all'interno dello scritto 'Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green' **tre categorie di classificazione di indirizzi di intervento -scaturite dal White paper della Commissione Europea Towards a European framework for action-**:

Azioni grigie 'gray' - azioni appartenenti ad una categoria di intervento che opera **sull'ambiente costruito** -per questo definita anche 'strutturale'-. Queste operazioni vengono definite di **deep renovation**, investono infrastrutture ed edifici e sono la tipologia di azioni **più legate al Self-reliant approach**.

Azioni verdi 'green' - azioni appartenenti alla **categoria infrastrutturale** che opera per **arrestare degrado ecosistemico e perdita di biodiversità** incrementandone la resilienza. Questa categoria prevede interventi 'biofisici' a volte più praticabili e meno dispendiosi economicamente di quelli grigi, **investe soprattutto le aree permeabili dell'ambiente costruito promuovendo irrobustimenti nature-based**. Le azioni che ricadono nella categoria 'green' sono la tipologia di azioni **più legate all' Error-friendliness approach**.

Azioni 'soft' - azioni che operano a **livello sovra-strutturale** e che si occupano di **delineare, divulgare e definire le politiche** e le procedure di intervento sull'ambiente costruito. Aiutano nel prevenire vulnerabilità non solo di interventi grigi e verdi ma dell'intero sistema per cause connesse alla scarsità di risorse o ai cambiamenti climatici. Per questa tipologia di azioni l'approccio **più affine è quello Dynamic-responsive**.

1.4 Minacce, Vulnerabilità e Rischi dei sistemi urbani

Per le città -e più in generale per l'**ambiente costruito**- le **vulnerabilità e i rischi associati alle minacce climatiche** sono molteplici e molto differenti tra loro.

13. Ciscar et al., 2011; EEA, 2018b; IPCC, 2018

Alcuni tra i rischi e le vulnerabilità più probabili che si verifichino possono riguardare:

- Innalzamento del livello del mare e **tempeste** (con piene annesse)
- **Alluvioni**, eventi di precipitazioni estreme ed esondazioni fluviali
- Aridità e **siccità**
- Variabilità e **ondate di calore** estremo
- Dissesto idrogeologico e **Frane**
- **Inquinamento atmosferico**
- Combinazione di differenti minacce



Innalzamento del livello del mare e tempeste (con piene annesse)
Dato il ruolo storico, commerciale e l'importanza che i fiumi hanno sempre rappresentato per la maggior parte degli agglomerati urbani e per le città europee, molte città e regioni costiere si trovano oggi a fronteggiare un crescente rischio di inondazioni fluviali e incrementi delle mareggiate -in particolare lungo le coste nord-occidentali europee dell'Italia del Nord e della Romania-. Oltre ad una crescente incidenza e frequenza di questi eventi, molte aree dell'Europa occidentale vedono aumentare la probabilità di inondazioni dovuta alla scarsa efficienza del drenaggio urbano.

Alcuni effetti che possono causare le inondazioni costiere sono: l'estensione degli estuari urbani o dei delta dei fiumi, l'erosione accelerata delle coste, la perdita di terreni e di vite umane, nonché l'isolamento di vasti territori a livello di trasporto e comunicazione. Secondo alcune recenti valutazioni (Vermeer e Rahmstorf, 2009; EEA, 2012) tra poco meno di 80 anni (2100) si registreranno valori tra 0,97 e 1,56 metri al di sopra del livello medio annuo del mare rispetto al 1990. Per quanto concerne le **tempeste**, invece, **si prevede una diminuzione nell'incidenza ma un aumento dell'intensità**: ponendo in situazione di difficoltà legate ai cambiamenti climatici molte città nord Europee e dell'Italia del Nord -più soggette-.

Tra gli hotspot si registrano anche aree costiere rurali, isole e isole minori poco al di sopra del livello del mare dove non si verificherebbero solo scenari di distruzione fisica del territorio ma anche alte esposizioni di popolazioni, infrastrutture e attività economiche: difficoltà di approvvigionamento di beni di prima necessità -acqua e beni alimentari-, danni ai mezzi di sussistenza, incertezza delle condizioni abitative, nonché perturbazioni dal punto di vista psicologico e sociale.

Senza sufficiente attenzione da parte di governi nazionali e locali, politiche di adattamento e strategie di gestione, entro il 2080 il numero di individui colpiti su suolo Europeo potrebbe aggirarsi tra le 775.000 e i 5.5 milioni di persone¹³.

Gli **emergenti rischi scaturiti da** fattori come: **rapido tasso di urbanizzazione, l'innalzamento del livello dei mari, perdita di risorse naturali e crescita di settori economici e commerciali** -con annesse **infrastrutture**-; **combinandosi con la cattiva gestione del rischio da parte dello Stato** e il suo **trasferimento all'onere dei diretti interessati, esacerba delle situazioni di disparità**.

14. Finanziato dalla Commissione Europea

Alluvioni, eventi di precipitazioni estreme ed esondazioni fluviali. Gli eventi di precipitazioni intense a **livello urbano si verificano sostanzialmente per due aspetti**: una **capacità insufficiente delle condotte idriche e un sistema di drenaggio inefficace** che convoglia l'acqua verso strade e percorsi inadeguati e poco resistenti favorendo l'allagamento delle zone più basse.

Tipica delle aree fortemente urbanizzate è la presenza di un alto tasso di superfici impermeabilizzate -che impediscono l'infiltrazione in terra delle precipitazioni- e la preponderanza di suoli saturi o impervi.

Oltre alla crescente irruenza dei fenomeni di precipitazione estrema, anche lo scioglimento di ghiacciai e nevi ad alta quota dovuto alle alte temperature può causare fenomeni di alluvione -l'anticipato scioglimento delle masse nevose nell'arco dell'anno può, infatti, generare piene di fiumi e corsi d'acqua-.

Tipicamente i fenomeni di piena -al di sopra degli argini naturali- si verificano quando si assiste al riversamento di più di 200 mm di pioggia nell'arco di sei ore o di 50 mm nell'arco di un'ora per le aree edificate -producendo alluvioni locali-.

Le proiezioni del progetto ClimWatAdapt¹⁴ sui fenomeni alluvionali mostrano come nel 2050 un singolo evento di grande entità verificandosi ogni 100 anni potrebbe causare alluvioni per oltre l'80% della superficie territoriale di Regno Unito, Francia occidentale, Belgio, Paesi Bassi, Germania occidentale, Finlandia, Portogallo e Spagna.

A fronte di queste considerazioni, è evidente come le aree urbane con elevata impermeabilizzazione del suolo ed eventi di precipitazioni intense in aumento, risultino quelle maggiormente esposte al rischio di inondazioni.

Chiari elementi di vulnerabilità risultano: numero di persone esposte -specialmente in insediamenti informali-; **infrastrutture** di gestione del drenaggio urbano sovraccariche, **poco mantenute e obsolete**; **situazioni economiche sfavorevoli e marginalizzazione della popolazione** interessata; **insufficiente coinvolgimento da parte dei governi**; ma anche e soprattutto proporzione di persone in età avanzata presenti, tipologia di alloggi, basso reddito e quantità e qualità dei servizi essenziali. La compresenza delle situazioni precedentemente citate e le **crescenti situazioni di disparità -dovute al trasferimento del rischio dallo Stato ai soggetti a rischio-** ed erosione delle attività produttive crea degli spazi cosiddetti 'trappola' a rischio di povertà alto.



FIGURA: centro di Lugo allagato, 2023
Fonte: <<https://www.wired.it/article/emilia-romagna-alluvione-pnrr-fondi-dissesto-idrogeologico/>>

Aridità e siccità

Tra i periodi di siccità e quelli invece di scarsità d'acqua -e i fenomeni che le causano- esistono alcune differenze:

la **scarsità d'acqua** è generata da uno **scompenso tra domanda d'acqua e risorse disponibili** -creando quindi squilibri idrici-, mentre la **siccità** è legata ad una **riduzione temporanea della disponibilità d'acqua**.

I **fenomeni di scarsità d'acqua** emergono **maggiormente in aree interessate da scarsità di precipitazioni o elevata densità di popolazione**. Gli eventi di **siccità**, invece, si distinguono in **metereologica, idrologica ed agricola**: rispettivamente **generati da scarsità di precipitazioni, bassa portata fluviale o ridotto contenuto di umidità del terreno**. La **causa** principalmente responsabile dei **periodi di siccità** resta comunque legata alla **compresenza di assenza di precipitazioni, alte temperature ed elevati tassi di evaporazione**¹⁵.

Per verificare il rapporto tra quanti prelievi vengono effettuati in totale e la disponibilità idrica, ci si avvale del WEI o anche detto Indicatore di stress idrico. Questo indicatore permette di individuare quali territori presentano una elevata domanda idrica rispetto alle risorse disponibili e in quale misura la domanda mette sotto pressione -stress- le risorse d'acqua disponibili.

Il fenomeno dello stress idrico scaturisce però da numerosi fattori: alcuni ambientali, legati alla posizione e alla geografia dei territori o alla **distribuzione della risorsa idrica** che - nonostante in Europa sia ampiamente disponibile- spesso è affetta da una **inadeguata distribuzione temporale e spaziale, creando così zone soggette a siccità periodica**; altri non ambientali, tra i quali si annoverano l'inefficienza dei sistemi (si stima una perdita compresa tra 10% e il 25% causata da perdite nelle reti di approvvigionamento pubblico tra i paesi europei)¹⁶, le politiche di tariffazione e la gestione dei settori che utilizzano grandi quantità di acqua (energetico, agricolo e idrico pubblico). Nei prossimi decenni si assisterà ad una diminuzione delle risorse idriche dovute non solo a squilibri tra domanda e offerta ma anche per la crescente incombenza di periodi di siccità.

15. Nelle zone iberiche e balcaniche sono diventati più frequenti e persistenti gli episodi di siccità.

16. EEA, ; 2010; Coyle, 2016



FIGURA: Effetti della siccità, 2021
 Fonte: <<http://www.weeklymagazine.it/2021/04/11/clima-aumenta-la-siccita/>>

17. Eurostat (2021). Tendenze passate e future dell'invecchiamento della popolazione nell'UE-27. consultato ad ottobre 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index>.

Variabilità e **ondate di calore** estremo

Nel corso degli **ultimi 50 anni**, l'Europa ha assistito ad un **aumento di 0.3 °C di temperatura ogni decennio**. I **futuri scenari** inerenti ai cambiamenti climatici indicano come le **sempre più frequenti ondate di calore** a cui assistiamo, siano destinate non solo a comparire più frequentemente ma ad **inasprirsi**: diventando di **grande portata, prolungandosi ed espandendosi a vaste regioni altamente popolate**. Gli impatti più drammatici che portano con se questi fenomeni -periodi prolungati di temperature insolitamente elevate rispetto al clima tipico del contesto di riferimento- sono incendi, insicurezza alimentare, aumento di prezzi con annesse disparità di approvvigionamento e l'**aumento del tasso di mortalità**. Quest'ultimo dato va guardato con moderata preoccupazione in relazione al numero di persone in **età avanzata -over 65-** che **ad oggi rappresentano oltre il 20%** della popolazione europea, ma che **nel 2060 raggiungeranno circa il 30 %** -seguite dagli **over 80** che secondo le **previsioni nel 2100 passeranno da circa il 5.8% attuale a circa il 15 %**¹⁷ Altri **fattori di rischio** che determinano la sensibilità sociale a questi fenomeni sono da ricercarsi nel **basso reddito**, nelle **caratteristiche socio-economiche locali** o nella **vulnerabilità del sistema sanitario**; nonché in fattori dipendenti dalla **qualità costruttiva e fisico-tecnica degli edifici** che ospitano le popolazioni colpite e alla **loro capacità di risposta e adattamento** a situazioni climatiche limite come quelle riguardanti le ondate di calore.

Argomenti cardine nonché focus del presente documento.

FIGURA: Ondate di calore
Fonte: <https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/clima/2016/05/12/clima-ondate-di-calore-anomale-in-africa-saranno-la-norma_1ca665ee-33fd-404f-8b12-2fff41cdb511.html>



Dissesto idrogeologico e frane

Il dissesto idrogeologico è la somma di tutti quei **fenomeni** legati alla **compromissione delle condizioni del suolo** che provocano danni a territori, centri urbani e manufatti -come l'erosione del suolo a causa delle acque superficiali-: valanghe, frane e alluvioni rappresentano le dirette conseguenze.

In Europa, ma specialmente in Italia, il dissesto idrogeologico è un problema particolarmente intenso e preoccupante, statisticamente gli eventi franosi sono le **calamità naturali che seconde solo ai terremoti provocano il maggior numero di vittime e danni** a centri abitati, infrastrutture e beni storico culturali. L'**innesco** di questi fenomeni calamitosi è da ricercarsi in **diverse cause: conformazione ambientale, modificazioni antropiche dei luoghi, innalzamento delle temperature dovute al cambiamento climatico e al disboscamento.**

- Conformazione ambientale, caratteristiche geologiche e geomorfologiche

Le cause scatenanti potrebbero essere intrinseche delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche, tessiturali/strutturali e di permeabilità. Potrebbero inoltre essere geomorfologiche dipendenti da sollevamenti tettonici, dall'azione erosiva dei torrenti situati al piede dei versanti, dai moti ondosi alla base della falesia.

L'arco alpino presenta ripidi versanti naturalmente propensi all'instabilità -soprattutto nei settori occidentali- ed è interessata dalle precipitazioni in frequenza e maniere differente a seconda delle diverse conformazioni, provocando sul lungo periodo una risposta e una propensione a sviluppare instabilità diversa dei suoli.

- Modificazioni antropiche

Il consumo di suolo, la cementificazione del terreno, gli scavi e le pratiche colturali dei pendii hanno raggiunto livelli mai registrati, stressando il paesaggio naturale esistente a volte sostituendosi completamente.

Tra i fattori ricorrenti alla base dei fenomeni franosi troviamo gli scavi: sia per la realizzazione di strade di montagna che per scavi al piede di pendii.

- Innalzamento temperature_Distribuzione della criosfera

I territori di alta quota sono gli scenari dove si possono apprezzare in maniera più evidente i cambiamenti derivati dal surriscaldamento globale.

Tra i fenomeni maggiormente osservabili si annoverano quelli legati alla criosfera¹⁸: la diminuzione delle masse glaciali, la riduzione della copertura nevosa, la degradazione del permafrost; nonché lo spostamento degli ecosistemi verso quote più elevate e l'aumento dell'instabilità dei suoli. Oltre a questo, si aggiungono le difficili condizioni degli estremi dettati dal cambiamento climatico: che con intense precipitazioni distribuite in modo sbilanciato in termini spazio-temporali, in brevissimi intervalli di tempo rendono instabili le condizioni del terreno.

- Disboscamento

18. La criosfera è la porzione di superficie terrestre dove si riscontra la presenza di acqua allo stato solido: Permafrost -definito come terreno rimasto per almeno 2 anni al di sotto degli 0 °C-, ghiacciai e neve. Il ghiaccio presente negli accumuli di detrito e nelle fratture delle rocce, funge da collante per interi versanti montuosi che negli ultimi trent'anni con l'aumento delle temperature stanno subendo crolli e cedimenti proprio a causa dello scioglimento della criosfera che li teneva insieme.



FIGURA: Frana in area montana, 2018
Fonte: <<https://www.reteclima.it/dissesto-idrogeologico-in-italia-i-dati-di-ispra-descrivono-un-rischio-molto-alto/>>

Inquinamento atmosferico

Come afferma l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2020) le emissioni di sostanze inquinanti sono diminuite sensibilmente negli ultimi anni, tuttavia persistono **concentrazioni elevate di agenti inquinanti dannosi che influiscono sulla qualità dell'aria e sulla salute della popolazione**. Le fasce più a rischio sono quelle residenti nelle aree urbane, particolarmente inclini al superamento dei limiti e delle concentrazioni consigliate dall'OMS, **si stima che il 90% della popolazione che abita nelle città è sottoposta a concentrazioni di inquinanti oltre i livelli consigliati sicuri per la salute**.

I **danni** provocati dall'inquinamento atmosferico sono **maggiormente concentrati in aree densamente urbanizzate** ma sono apprezzabili in tutto l'emisfero, infatti, l'estrema mobilità e trasportabilità degli agenti inquinanti da parte di un fluido come l'aria li rende determinanti nella pessima qualità dell'aria non solo in aree localizzate.

Le **origini dell'inquinamento atmosferico** sono imputabili ad alcune principali fonti come

- **combustione di fonti fossili per la produzione energetica, per i trasporti e l'industria**
- **emissioni derivanti da processi dell'industria chimica e mineraria**
- **rifiuti**
- **agricoltura**
- **emissioni naturali** come eruzioni vulcaniche e VOC provenienti da specie vegetali

Le **comunità più a rischio** come afferma l'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) sono **quelle svantaggiate su tre lati povertà, scarsa qualità ambientale e salute a rischio**. Le comunità più povere sono anche quelle maggiormente esposte ad inquinamento e malattie.



FIGURA: Inquinamento atmosferico in area industriale, 2020
Fonte: <https://energit.it/come-difendersi-dallinquinamento-atmosferico/>

Combinazione di differenti minacce

Le vulnerabilità e i rischi esposti precedentemente, soprattutto in un contesto urbano, **combinandosi possono dar vita a complesse forme di impatto incrociato**: ad esempio l'aumento delle temperature con fenomeni di ondate di calore, accostandosi a periodi di siccità o scarsità d'acqua legati a variazioni dei modelli di precipitazione, **possono innescare stenti socio-economici** legati a difficoltà di approvvigionamento idrico e energetico, mantenimento dei trasporti, fallimento di servizi e minore produttività o l'aumento dei ricoveri ospedalieri. Possono altresì avere **effetti su salute e benessere sociale**: causando disordini, impatti psicologici, ridotta produttività dei lavoratori dovuta al caldo estremo; e sulla salute e il benessere ambientale: inquinamento delle risorse idriche dovuto a scarsa portata e calore elevato, aumento di malattie, suscettibilità degli ecosistemi agricoli -con perdita di controllo su clima locale, qualità dell'acqua, parassiti, crescente presenza di organismi invasivi, malattie, inondazioni o incendi-.

Nello scenario di surriscaldamento elevato, si stima¹⁹ che il danno economico scaturito dalle ricadute della perdita di benessere, rappresenterebbero l'1.9% del PIL all'anno entro la fine del secolo. L'economia e la qualità della vita possono essere seriamente compromesse dai cambiamenti climatici in atto: con ricadute su popolazione e salute, infrastrutture e attività.

La carente esperienza storica e collettiva nell'ambito di queste nuove minacce, la scarsità di prevenzione e previsione e la progettazione hazard-specific di molte infrastrutture, rappresentano dei rischi chiave per l'ambiente urbanizzato. È necessario impiegare misure di adattamento e resilienza per evitare l'aumento dell'indice di mortalità o l'aumento della diffusione di malattie e rischi connessi al presentarsi incessante di nuove minacce.

Rischi legati alla gestione e all'approvvigionamento idrico

Secondo l'EEA nella previsione d'innalzamento delle acque di un metro, molte Nazioni europee risultano ad alto rischio di considerevoli danni al sopraggiungere di un'inondazione. Inoltre, un quinto delle città con popolazioni superiori ai 100.000 abitanti può considerarsi in categoria vulnerabile: possibile allagamento di oltre il 40% dell'estensione del territorio.

Si prevede che entro il 2080 in Europa tra le 250000 e le 400000 persone in più l'anno, saranno danneggiate da inondazioni ad opera di fiumi -che si verificheranno soprattutto in aree urbane con alta densità-. A questo scenario si aggiungeranno anche le tempeste che assieme alle inondazioni rappresentano gli eventi estremi, più dannosi e evidenti del cambiamento climatico in aree ad alta densità urbana.

Rischi legati all'andamento della siccità

Secondo l'EEA nei prossimi anni è previsto una crescita dello stress idrico nelle aree costiere e nelle città europee occidentali.

Riducendo l'umidità del suolo la siccità colpisce **agricoltura, equilibri ecosistemici, crescita vegetale e flussi dei corsi d'acqua**; e riducendo il quantitativo disponibile di acqua implica **perdite economiche, ambientali, sociali e disagi per approvvigionamento pubblico e produzione energetica.**

L'entità degli eventi di siccità viene misurata secondo un indice di umidità del suolo detto DSI²⁰, emerge come le zone territoriali più a rischio siano quelle che già presentano climi caldi-secchi, favorendo la diffusione di questi fenomeni.

Questa condizione di aridità del terreno concorre inoltre all'aumentare del rischio di incendi boschivi: lunghi periodi con temperature elevate, scarse precipitazioni e ventilazione favoriscono infatti l'**innesco** e la durata di **incendi** - soprattutto in foreste e aree boschive a ridosso delle città poiché possono più agevolmente distruggere edifici, aumentare l'inquinamento atmosferico e interrompere forniture-.

19. Stimando il danno secondo 6 categorie di impatto: domanda di energia residenziale, alluvioni costiere, inondazioni interne, produttività del lavoro, agricoltura e mortalità legata al calore.

20. Drought Severity Index

Sono stati sviluppati diversi indici di varia complessità per valutare la siccità in base sia all'offerta che alla domanda di acqua utilizzando criteri ambientali multipli. L'indice più comune utilizzato per definire e monitorare la siccità è il Palmer Drought Severity Index (PDSI), che tenta di misurare la durata e l'intensità della siccità a lungo termine e spazialmente estesa, sulla base di precipitazioni, temperatura e dati disponibili sul contenuto idrico. PDSI varia da valori superiori a 4,0, che sono considerati estremamente umidi, a valori inferiori a -4,0, che sono considerati siccità estrema.

Rischi legati all'aumento di **isole di calore**

La conclamata tendenza generale all'innalzamento delle

Rischi legati all'inquinamento atmosferico

I rischi legati alle prolungate esposizioni e o alle alte concentrazioni sono gravi, rappresentano una delle maggiori cause d'**indebolimento dell'apparato respiratorio e di morte prematura**. Secondo l'EEA l'esposizione ad elevate concentrazioni di particolato, soprattutto quello sottile come i PM 2.5, ridurrebbe di oltre 8 mesi l'aspettativa di vita all'interno dell'Unione europea, sarebbe responsabile di oltre 400.000 morti premature e contribuirebbe al 13% dei decessi del continente.

La popolazione è continuamente esposta a rischi come inquinamento acustico, atmosferico, idrico e chimico che combinandosi agiscono in sinergia provocando danni amplificati alla salute, specialmente in aree urbane con limitato accesso a spazi verdi e blu.

Rischi legati all'approvvigionamento energetico

I rischi sopra citati, possono dare vita e aumentare le possibilità che si inneschino degli impatti combinati se si rendono responsabili dell'innescare di criticità legate all'approvvigionamento energetico: interruzione di servizi, aumento della richiesta e dei fabbisogni o una ridotta produttività.

Per l'attuazione di un Green City Approach si devono tenere in considerazione 3 questioni:

1. Molti centri urbani utilizzano l'energia in modo intensivo, senza attuare politiche climatiche o misure di mitigazione
2. In alcune città si sta cercando di adattarsi e progredire verso una transizione energetica da fonti fossili a fonti rinnovabili
3. Sono ancora in uso molti sistemi energetici centralizzati e non adattivi²², potenzialmente responsabili di una moltiplicazione degli impatti

Rischi legati a questioni abitative innescate o inasprite dalla scarsità di risorse

In molte parti del mondo si stanno svolgendo studi sugli impatti del cambiamento climatico in atto in merito alle condizioni abitative, l'attenzione insufficiente da parte dei governi locali e la crescente vulnerabilità della popolazione soprattutto se in condizioni economiche svantaggiate. Secondo l'agenzia europea dell'ambiente la maggior parte della popolazione europea vivrebbe in aree urbane a densità abitativa troppo alta per garantire condizioni di vita salubri destinate inoltre a peggiorare nel prossimo futuro.

Per pensare di attuare un incremento di capacità di adattamento da Green City Approach occorre considerare che:

- Soluzioni abitative con inappropriata localizzazione e realizzate con tecniche e materiali di scarsa qualità sono più vulnerabili a eventi estremi
- Aggiornare le normative da costruzione è fondamentale per permettere l'evoluzione delle opzioni di adattamento
- Alcune città sottoposte a studi campione hanno mostrato alte potenzialità di adattamento del patrimonio abitativo, soprattutto se città in rapida crescita o in ricostruzione post-disastro -hanno maggiore opportunità di accrescere la resilienza-
- Città con infrastrutture e patrimonio abitativo di alto valore senza misure di adattamento sono a rischio di perdite economiche dovute a eventi estremi

A fronte di queste considerazioni gli impatti da eventi estremi sull'ambiente costruito dimostrano un livello di rischio molto basso se analizzate al tempo presente e medio se considerato il breve periodo (prossimi 10-20 anni) o il lungo periodo (2080 - 2100). Se associato all'incremento della resilienza, si riscontra un potenziale di riduzione del rischio medio nel presente e nel breve periodo e molto alto nel lungo periodo²³.

22. Un sistema di approvvigionamento energetico centralizzato prevede che un intero sistema faccia affidamento e sia dipendente da un'unica fonte energetica (ad esempio un'unica centrale elettrica); in un sistema di approvvigionamento energetico adattivo o decentralizzato invece, le comunità di consumatori non hanno bisogno di fare affidamento su un'unica griglia per la fornitura ma hanno diverse opzioni e griglie da cui attingere. Questo sistema favorisce il senso di comunità tra gli attori energetici costruendo l'affidabilità e permette di arginare le difficoltà di approvvigionamento energetico nel caso che una griglia vada giù.

23. Come riportato nel paragrafo 1.3 'Approccio metodologico e categorie di intervento' F. Tucci et al. riportano all'interno dello scritto 'Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green', vengono individuate tre categorie di classificazione di indirizzi di intervento -scaturite dal White paper della Commissione Europea Towards a European framework for action-: azioni grey legate all'ambiente costruito, azioni green legate alla categoria infrastrutturale e azioni soft procedure di intervento legate all'ambiente costruito

CAPITOLLO.2

LE AZIONI EUROPEE

In questo capitolo si offre una visione ad ampio respiro introducendo progetti, legislazioni, normative e piani riscontrabili a livello europeo attualmente.

2.1 Cosa ne pensa l'Europa

Per quanto concerne i **progetti per l'incremento della resilienza -sia a livello urbano che a livello ambientale legato ai cambiamenti climatici-**, l'Europa si dimostra ancora una volta coinvolta e intenzionata ad essere una figura leader nella lotta al surriscaldamento globale e le sue conseguenze e lo fa con piani strategici e strumenti finanziari.

Green deal

Il Green deal¹ è un **piano sistemico** presentato alla **commissione europea** l'11 dicembre **2019** e delinea la crescita europea dei prossimi decenni attraverso la transizione ecologica.

È descritto come il **mezzo** che trasformerà l'Unione Europea in una **società resiliente ai cambiamenti climatici, giusta e prospera, caratterizzata da una economia moderna, in crescita ma senza alcuna emissione di gas serra -perché sganciata dalla dipendenza dell'utilizzo delle risorse naturali-**. Prevede e definisce iniziative strategiche sia di tipo legislativo che non che l'UE si impegna a protrapere.

I **principali obiettivi** di questo piano di azioni sono quelli di:
- Trasformare l'UE in un **continente climaticamente neutro**² entro il **2050**

- Raggiungimento del **Decoupling** ovvero **disaccoppiare** la **crescita economica dalla dipendenza delle risorse naturali** e le emissioni di carbonio

Tra le prime iniziative troviamo la Normativa Europea sul Clima che permette alla commissione di inserire nel diritto UE l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050 -e quello della riduzione di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990- trasformandolo da un obiettivo politico in uno giuridicamente vincolante.

Secondo la proposta di legge i progressi andranno verificati ogni 5 anni in concomitanza con il bilancio globale previsto dall'accordo di Parigi.

Secondo le linee guida del Green Deal, la Commissione Europea ha lanciato **alcune strategie** caratterizzate da un approccio olistico dove **per raggiungere lo scopo finale della decarbonizzazione** bisogna intervenire in alcuni **settori strategici come energia, trasporti, clima, ambiente, industria, agricoltura e finanza sostenibile**. Tra le strategie proposte si annoverano

- La **nuova strategia industriale**: sostenere l'industria nel suo ruolo di motore del cambiamento aggiornando pubblicazioni e strategie industriali pubblicate tra il 2020 e il 2021 e mirando a rafforzare resilienza e competitività con l'obiettivo di rendere l'industria europea un esempio virtuoso della **digitalizzazione**, della **trasformazione verde** e diventare **forza trainante del passaggio alla neutralità climatica**

- Il **piano d'azione per l'economia circolare**: il decoupling è obiettivo fondamentale e per agevolarlo la Commissione ha emanato 30 punti d'azione che investono argomenti quali **circularità di processi produttivi, progettazione di prodotti sostenibili e opportunità al consumatore di effettuare scelte informate**

- La **strategia per la biodiversità 2030**: prevede l'**aumento delle superfici tutelate terrestri e marine europee**, il **ripristino di ecosistemi** degradati,

la riduzione dell'uso di pesticidi e molti stati membri hanno ribadito la volontà e la necessità di integrare gli obiettivi anche ai settori agricoli, della pesca e della silvicoltura

- La **strategia dal produttore al consumatore**: oltre ad **approvvigionamento e sicurezza alimentare**, mira a garantire alimenti nutrienti, presenti in sufficiente quantità e a prezzi accessibili, nonché prodotti in maniera sostenibile e promuovendo consumi alimentari e regimi alimentari più sostenibili.

1. Patto verde

2. emissioni di co2 pari a 0

Per finanziare queste strategie, la Commissione prevede di utilizzare gli strumenti finanziari europei -come **InvestEU**- che permettono di mobilitare **sia fondi pubblici che privati** per una quota prevista di **mille miliardi di euro** di investimenti. Per aiutare il raggiungimento di tale cifra **l'Unione punta** a creare un **ambiente finanziario favorevole** agli investimenti in questa direzione introducendo degli **incentivi per riorientare e sbloccare gli investimenti pubblici e privati**.

Per favorire una transizione giusta, inoltre, l'UE ha introdotto un meccanismo di **aiuti finanziari e assistenza tecnica per sostenere economicamente i paesi che sono maggiormente dipendenti da industrie ad alta densità di carbonio e da combustibili fossili** e che pertanto necessitano di un maggiore sforzo per adeguarsi: il meccanismo prevede la mobilitazione di **65-75 miliardi di euro** per il lasso di tempo compreso **tra 2021 e 2027** a favore di:

- **Efficienza energetica di alloggi** e lotta alla povertà energetica
- Agevolazioni su persone e comunità con **opportunità di lavoro nell'economia verde**, nel trasporto pubblico sostenibile, in infrastrutture ecologiche e connettività digitale
- **Incentivi alle aziende** verso transizione ecologica e **basse emissioni di Co2** con sostegno finanziario e investimenti per ricerca e innovazione

Con un budget di 17,5 miliardi il fondo per la transizione giusta è pilastro fondante del meccanismo sostenendo investimenti PMI e nuove imprese, ricerca e innovazione, tecnologie energetiche pulite e riduzione delle emissioni e assistenza nella ricerca di un impiego ai lavoratori.

All'interno del green deal emerge inoltre come lo **sviluppo** dei PED sia **fondamentale** per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Questi **Positive Energy District**, infatti, sono dei veri e propri modi nuovi di pensare e progettare le città dove l'efficienza energetica degli edifici, l'avanzata progettazione dell'involucro edilizio, l'adeguata generazione di energia rinnovabile e il suo accumulo permette di raggiungere un bilancio energetico positivo aiutando nel principale obiettivo di decarbonizzazione.

Il Green Deal si è poi ritrovato ad essere investito dal **piano di ripresa economica post-Covid Next Generation EU** dove rientra il **recovery fund da 723,8 miliardi** con **vincolo** che almeno il **37%** (duecentocinquanta miliardi) vengano **destinati ad azioni per la mitigazione del cambiamento climatico**.

Next Generation Eu

Questo strumento europeo **nato in seguito alla pandemia di Covid-19** è un **mezzo di ripresa e rilancio delle economie dei paesi membri che hanno subito perdite durante la crisi sanitaria**. Nato il 21 luglio **2020** è pensato per incentivare azioni di ripresa economica tramite investimenti per un totale di **806,9 miliardi di euro** inseriti in bilancio 2021-2027 e destinati a tutti i paesi membri.

È **destinato a** finanziamenti su quattro priorità

- **Transizione ecologica**: raggiungimento della neutralità climatica
- **Transizione digitale**: investimenti nella formazione digitale dei cittadini e aumento della copertura internet
- **Stabilità macroeconomica**: investimenti dedicati ai giovani, creazione di opportunità lavorative e di formazione
- **Equità**: promuovere uguaglianza e inclusività di minoranze

Al suo interno lo strumento Next Generation EU riunisce diversi finanziamenti, il 90% dei fondi stanziati ovvero 750 miliardi di euro, finanzia il Piano per la Ripresa e la Resilienza con obiettivo di mitigare l'impatto sociale ed economico provocato dalla pandemia; Il programma prevede poi due strumenti di sostegno agli Stati membri: il REACT-EU strumento a breve termine della durata di un anno 2020-2021 che aiuti nella fase iniziale di rilancio dell'economia degli stati e il RRF che ha invece una durata di sei anni 2021-2026.

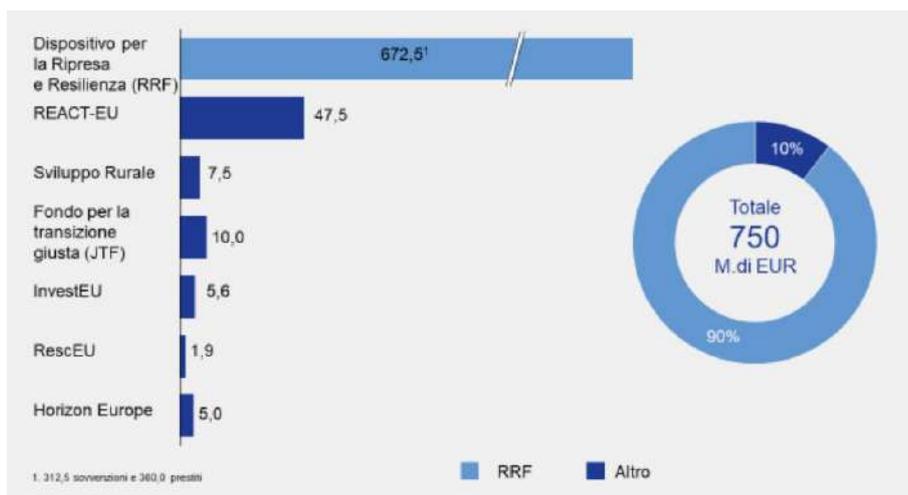


FIGURA 1: dispositivi e risorse disponibili, miliardi di euro, Piano Nazionale di ripresa e resilienza, 2021
 Fonte: <<https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>>

Next Generation Italia_ Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
L'Italia sarà il soggetto più finanziato dallo strumento del Next Generation Eu ricevendo potenzialmente **191,5 miliardi** in fondi da destinare nelle missioni sopracitate.

Dalle prime battute del piano emerge come le **problematiche ambientali e sociali italiane** siano **al centro del rinnovamento** auspicato grazie ai fondi europei, con **particolare** accento sulla **vulnerabilità ai cambiamenti climatici**, l'occupazione femminile e giovanile e alla digitalizzazione.

Si riporta il dato secondo il quale nelle stime dell'istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra) nel **2017** circa il **12,6% della popolazione italiana viveva in aree ad alta pericolosità** (soggette ad alluvioni, frane e mareggiate) e come i territori del mezzogiorno italiano siano più che mai vulnerabili a siccità e ondate di calore.

Le missioni di cui si compone, i sei grandi temi sui quali il PNRR si dovrà focalizzare, si rifanno a quelli presenti nel Next Generation EU

- Innovazione e digitalizzazione: 25% dei fondi prevista per il settore digitale
- Transizione ecologica. 37% dei fondi previsti per rivoluzione verde
- Coesione territoriale -mobilità sostenibile e infrastrutture dedicate- e sociale 40% dei fondi dedicati al mezzogiorno
- Politiche dedicate a istruzione e ricerca
- Crescita sostenibile e Inclusività
- Salute e resilienza economi



FIGURA 2: allocazione delle risorse RRF a Missioni, Piano Nazionale di ripresa e resilienza, 2021
 Fonte: <<https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>>

Il territorio italiano è particolarmente esposto ai cambiamenti climatici e alle sostanze chimiche antropiche inquinanti emesse in atmosfera -si stima che il 3,3% della popolazione italiana viva in aree dove i limiti europei di inquinamento sono superati-. Nel 2017, 31 aree in 11 regioni hanno superato i valori limite giornalieri di PM10, motivo per il quale la Commissione europea ha intrapreso contro l'Italia tre diverse procedure di infrazione per inquinamento atmosferico in merito al particolato di azoto.

L'Europa ha effettuato una analisi sulle città con maggiori incidenze di morte causate da polveri sottili e biossido di azoto e tra le prime 30 posizioni della classifica figurano 19 città italiane. Ha evidenziato poi come soprattutto nella Pianura Padana l'inquinamento di suolo ed acque sia elevato e come sia una delle zone più critiche per quanto concerne ossidi di azoto e ammoniaca in atmosfera dovute a emissioni antropiche -tra cui spiccano quelle agricole-.

L'Italia ha avviato la transizione ecologica anche tramite politiche di sostegno all'efficientamento energetico e allo sviluppo delle fonti rinnovabili -anche legato all'obiettivo della decarbonizzazione delle industrie-, superando i target 2020 di addirittura 1,2 punti percentuali (18,2 rispetto ai 17 attesi) e investendo sia in soluzioni centralizzate che decentralizzate (offshore) nonché nel passaggio all'idrogeno come fonte energetica in linea con la Strategia europea.

La Missione 2_Rivoluzione Verde e Transizione ecologica

Per quanto concerne la **missione numero 2** -quella più attinente e affine ai temi trattati all'interno del presente documento- il **PNRR delinea le principali evidenze scientifiche in merito agli ormai innegabili cambiamenti climatici e alle conseguenze in termini di catastrofi e eventi eccezionali**, sottolineando la necessità di raggiungere in tempi celeri la neutralità climatica -'Net-Zero'- per mitigarne gli effetti. Descrive gli ambiziosi obiettivi che prevedono una progressiva e duratura decarbonizzazione, nonché l'ausilio dei principi dell'economia circolare per preservare biodiversità, sistema alimentare e ambiente restando sotto il tetto dei 600GtCO₂ di tetto globale per le emissioni cumulate.

Le opportunità derivanti da questi fondi sono uniche per l'Italia che si ritrova a:

- Tutelare il suo patrimonio ambientale e culturale -tratto distintivo della sua identità- preservandone biodiversità, storia e sviluppo economico futuro
- Considerare la sua elevata esposizione ai rischi -dovuti al surriscaldamento globale e ai conseguenti cambiamenti climatici- data dalla configurazione geografica e dalle pregresse condizioni ecologiche non prive di abusi
- Essere in una posizione avvantaggiata rispetto ad altri paesi poiché pur non possedendo molte risorse tradizionali come gas e petrolio, è caratterizzata da abbondanza di risorse naturali e può trarre maggiori benefici e più rapidamente rispetto ad altri paesi da questa transizione

La missione si divide in 4 settori

- C1. Agricoltura sostenibile ed Economia Circolare
- C2. Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile
- C3. Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici
- C4. Tutela del territorio e della risorsa idrica

All'interno della Mission si parla inoltre dello sviluppo sostenibile dei territori rurali e montani e lo sfruttamento equilibrato delle loro risorse, instaurando delle relazioni di scambio con comunità urbane e metropolitane si favorirà la nascita di comunità locali, verdi attraverso finanziamenti e piano di sviluppo economico, energetico, ambientale e sociale.

PROGETTI HORIZON

L'Unione Europea si è dimostrata ulteriormente sensibile alla questione indicando **bandi e programmi di ricerca** dedicati di diversa natura, tra i quali sicuramente spiccano i Progetti Horizon

Horizon Europe Programma principale in merito a **ricerca, innovazione e transizione** gestito direttamente dalla Commissione europea -successore di Horizon 2020 attivo dal 2014 al 2020-, presenta una **durata di sette anni 2021-2027** e una dotazione finanziaria di **95,5 miliardi di euro**, si concentra **unicamente su applicazioni civili** e lo fa tramite open-call aperte a qualsiasi soggetto giuridico. Il programma, come già quello precedente, si articola in diversi temi di ricerca tutti ricollegati a tre pilastri principali.

I cambiamenti riportati nel passaggio tra Horizon 2020 attivo dal 2014 al 2020 e Horizon Europe attivo dal 2021 al 2027, si possono osservare principalmente nei temi di ricerca legati agli ultimi 2 pilastri: dove per la prima volta compare la voce che riguarda le Mission di ricerca e innovazione finalizzate all'aumento dell'efficacia dei finanziamenti destinati ai cinque grandi obiettivi del nostro tempo

- Cancro
- Adattamento al cambiamento climatico, e alla trasformazione della società
- Salubrità di oceani, mari, acque costiere e interne
- Città climaticamente neutre e intelligenti
- Salubrità di cibi e terreni

Per aiutare a perseguire questi 5 grandi obiettivi, si inserisce a supporto tecnico delle politiche dell'Unione il Joint Research Centre o JRC, con lo scopo di fornire sostegno -basato sull'evidenza scientifica- durante il processo politico in modo totalmente indipendente da interessi nazionali di natura commerciale o privata.

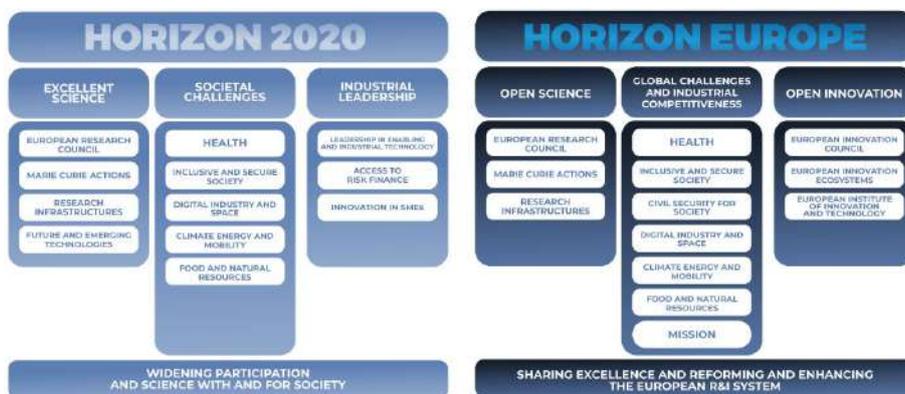


FIGURA 3: analogie e differenze programmi Horizon 2020 e Horizon Europe, 2021
Fonte: <<https://www.horizon-eu.eu/>>

Le **principali linee guida** che figurano all'interno dei bandi del programma riguardanti **mitigazione climatica e adattamento delle città ai cambiamenti climatici** trattano **argomenti e risultati previsti rivolti a**

- **Ambiente costruito** -in particolare **edilizia sociale** di grandi dimensioni in condizioni svantaggiate che necessita **riqualificazione, aree industriali dismesse o siti urbani disfunzionali- a prova di clima**, resiliente, rigenerato dal punto di vista ambientale, sociale ed economico tramite interventi di rinaturalizzazione e rinverdimento
- **Avanzamento di qualità della vita**, coesione sociale e vivibilità attraverso spazi urbani pubblici sicuri, condivisi, ri-naturalizzati e che offrano biodiversità, mitigazione al cambiamento climatico e resilienza soprattutto per persone con basso status socioeconomico
- **Aumento degli spazi verdi** di nuova costruzione o ristabiliti che rappresentino almeno il 25% del totale dell'area prevista per la rigenerazione
- **Piani per la rigenerazione urbana** basati su soluzioni ecologiche che favoriscano la mitigazione climatica -coerenti con quelli regionali in atto- e l'abbattimento dell'inquinamento di suolo, acqua e aria
- **Incremento dell'appagamento dei cittadini** di una percentuale di almeno il 20% rispetto alla base di inizio di progetto riguardo rinaturalizzazione dello spazio urbano e aumento della qualità della

vita

- **Pianificazione urbana integrata** e multidisciplinare per facilitare processi decisionali e adozione di approcci e strategie per l'aumento della biodiversità

- **Modelli e strumenti basati su dati che consentano l'identificazione e l'attribuzione di priorità a soluzioni pensate sulla base di luoghi e analisi di scenari che siano in grado di valutare fattibilità ed efficacia anche in termini di costi e loro impatto**

- Crescita della consapevolezza sulle condizioni climatiche e le vulnerabilità del sistema urbano costruito legate ad eventi estremi e all'urgenza di progettare soluzioni a inquinamento nullo che aiutino nella mitigazione e nell'adattamento

- **Sistemi di monitoraggio e indicatori prestazionali che aiutino nella valutazione dell'impatto e dei benefici delle soluzioni adottate in merito alla mitigazione dei cambiamenti climatici.**

Nell'ottica di salute, sicurezza, digitalizzazione e energia e cambiamento climatico rientrano a pieno i Positive Energy District, che anche in questo caso vengono incentivati e ritenuti un'ottima soluzione per gli obiettivi europei di decarbonizzazione. L'ambito delle Smart Cities era infatti già stato definito come assoluta priorità dai progetti Horizon 2020 che sono stati poi presi in carico dai progetti Horizon Europe.

'100 resilient cities'

L'attenzione al tema è condivisa anche a **livello internazionale**, con progetti come quello delle '100 resilient cities' proposto dalla **Rockefeller Foundation** attenta alla crescita della resilienza urbana e del suo adattamento alle conseguenze dei cambiamenti climatici. In occasione del suo centenario avvenuto a maggio del **2013**, la Fondazione ha stanziato **100 milioni di dollari** -incrementabili con **100 miliardi aggiuntivi in finanziamenti e servizi**-, **a sussidio di 100 città selezionate a livello globale nei prossimi anni per ricevere supporto tecnico e risorse per lo sviluppo e l'attuazione dei piani per la resilienza urbana.**

Già 400 città in 6 diversi continenti hanno presentato domanda per accedere ai fondi e verranno sottoposte ad una giuria che le selezionerà sulla base di dimostrazione nell'impegno verso la costruzione di resilienza urbana; coinvolgimento di stakeholder e leadership cittadina; dimostrazione della bontà e dell'efficacia del piano nel costruire un impatto positivo verso i residenti più poveri e più colpiti.

Le **città selezionate** avranno **accesso ad una rete di dati condivisa con le altre 100 per rendere accessibili conoscenze e buone pratiche di resilienza** favorendo connessioni e collaborazioni come i paternariati; sostegno nell'assunzione e formazioni di nuove figure competenti come quelle degli Chief Resilience Officer (CRO) che coordinerà le azioni per la resilienza e diventerà responsabile per esse nella città di riferimento; Supporto nella creazione di un piano di resilienza pensato su misura per la specifica città; una innovativa piattaforma che fornisca strumenti e risorse incentrati su quattro categorie principali: finanza, tecnologia, infrastrutture e territorio, resilienza comunitaria e sociale.

La fondazione ha deciso di dedicare questi **fondi a 100 città secondo due criteri principali:**

- In prima battuta **il futuro è sempre più urbano**, infatti secondo le previsioni, nel 2050 il 75% della popolazione mondiale vivrà in aree urbane

- Tenendo conto della crescita della popolazione, lo sfruttamento delle risorse urbane, delle infrastrutture e delle catene alimentari sarà portata al limite della capacità e a causa dell'urbanizzazione e della globalizzazione **ciò che accade in città si ripercuote ovunque.**

CAPITOLLO.3

RESILIENZA URBANA E BUONE PRATICHE

In questo capitolo si offre un quadro introduttivo della responsabilità del settore edile in merito alle condizioni climatiche odierne, i trend globali sull'argomento, si definiscono le differenti accezioni di resilienza e adattamento e si introduce lo stato dell'arte sulla progettazione della resilienza urbana declinata in funzione di eventi climatici estremi

3.1 Edilizia e cambiamenti climatici

Il **settore degli edifici e delle costruzioni** ha un enorme impatto sul clima ed è **tra i maggiori responsabili del cambiamento climatico**: responsabile del **38% delle emissioni globali di CO2** legate all'energia, (GlobalABC, 2020), ha raggiunto nel 2019 il livello più alto di emissioni di CO2 mai registrate per questo settore.

Con il suo impatto causa un aumento dei danni a beni e persone **contribuendo allo sviluppo di eventi meteorologici estremi** -in particolare nelle zone costiere, dove vive la maggior parte della popolazione mondiale- **tra cui l'innalzamento del livello del mare, le ondate di calore, la siccità e i cicloni** con grande vulnerabilità dell'ambiente costruito urbano.

Recenti ricerche prevedono che entro il 2050, 1,6 miliardi di abitanti risiedenti in aree urbane saranno regolarmente esposti a temperature elevate ai limiti dell'estremo e oltre 800 milioni di persone -che vivono in più di 570 città- saranno vulnerabili all'innalzamento del livello del mare e alle inondazioni costiere (C40, 2018).

Quando sottoposti a condizioni climatiche estreme gli edifici diventano oggetto di vulnerabilità piuttosto che fornire rifugio, con conseguenti perdite di vite umane e incredibili danni economici. Gli insediamenti informali a basso reddito affrontano il rischio più elevato a causa del cambiamento climatico e negli ultimi due decenni, quasi il 90% delle morti causate da eventi meteorologici di tempeste estreme hanno avuto luogo nei paesi a basso reddito -nonostante abbiano subito solo un quarto del totale degli eventi temporaleschi registrati (UNISDR, 2015)-.

Sia la mitigazione che l'adattamento devono essere perseguiti attivamente per affrontare e rispondere alle minacce climatiche attuali e future. Rendere il settore edilizio più sostenibile e l'ambiente urbano più sicuro per il prossimo futuro deve essere un elemento centrale nella costruzione della resilienza.

Il concetto di **“adattamento”** è definito dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) come **processo di adattamento alla corrente o al clima e ai suoi relativi effetti futuri.**

Relativo all'adattamento è il concetto di **“capacità di adattamento”** che descrive l'**abilità** di organismi, esseri umani, istituzioni o sistemi **di adattarsi a possibili danni, approfittare di opportunità emergenti e rispondere agli impatti subiti.**

Il termine **“resilienza”** invece è utilizzato in un'ampia gamma di discipline e può avere diverse definizioni e accezioni a seconda dell'inquadramento disciplinare.

Anche nel settore dell'edilizia e alla scala dell'edificio, il termine resilienza ha molteplici significati, ma nel presente documento si decide di adottare come definizione quella riportata dal report **UNEP1** che prevede che per resilienza degli edifici si intenda la **capacità di un edificio di soddisfare le esigenze degli occupanti e di fornire sicurezza, utilizzo costante e confortevole in risposta alle mutevoli condizioni esterne.**

Secondo quanto emerge dal rapporto **'Architecture of the future'**, a cura di PlanRadar2 : dei **12 paesi** che hanno **contribuito** alla stilatura del **rapporto** -con oggetto **priorità, ambizioni e strategie in campo architettonico-**, hanno delineato **7 principali trend globali**

1. **Sostenibilità** - delle emissioni globali di carbonio, quasi 2/5 sono attribuite a sviluppo, uso e demolizione degli edifici

2. **Riduzione delle emissioni** - mirare a politiche di edifici net zero -a emissioni zero-, dove i materiali utilizzati, la costruzione, l'utilizzo e l'eventuale smantellamento non producano emissioni -nel caso lo facciano, vengano compensate da crediti carbonio o carbon offset-.

3. **Vivibilità e progettazione incentrata sull'uomo** - concetto emerso già da tempo, conferma la crescente consapevolezza che gli edifici vadano progettati a misura d'uomo con una qualità dello spazio adatta a renderli non solo luoghi in cui lavorare o passare

il tempo, ma in cui risiedere e migliorare qualità di vita, salute e benessere.

4. **Edifici come prosecuzione dell'ambiente** - per molto tempo gli edifici sono stati costruiti senza tenere conto delle condizioni ambientali circostanti con progetti simili e materiali indifferentemente scelti. Emerge come l'importanza del luogo e i principi bioclimatici siano ora tema sensibile della progettazione nei paesi europei.

5. **Resilienza alle condizioni meteorologiche estreme** - La resilienza architettonica ai cambiamenti climatici e alle situazioni estreme che ne conseguono, è una necessità pragmaticamente avvertita da cinque paesi su 12, ovvero in Italia, Regno Unito, Germania, Francia e Stati Uniti 3

6. **Riutilizzo e riqualificazione degli edifici** - invertendo il trend della costruzione dal nuovo, molti paesi si sono rivelati sensibili al riutilizzo di architetture esistenti e ormai in disuso, mostrandosi preoccupati per la sostenibilità degli stessi e per quella dell'architettura del futuro

7. **Crescente attenzione allo sviluppo urbano locale** - legato al tema della progettazione a misura d'uomo, molti paesi si sono rivelati sensibili alla riduzione della dipendenza dalle auto e alla riduzione dei tempi di spostamento, favorendo uno sviluppo urbano locale

A livello di **materiali**, invece, è risultato evidente come molti paesi pensino che i biomateriali rinnovabili rappresentino il futuro dell'architettura nei prossimi decenni. Oltre 8 paesi dei 12 consultati ritengono che il legno e la canapa saranno sempre più utilizzati nelle costruzioni come anche materiali quali paglia, fibre e funghi.

7 paesi su 12 annoverano l'economia circolare, il riutilizzo e il riciclo dei materiali per l'edilizia tra gli argomenti centrali, dove mattoni e cemento -che da solo rappresenta il 7% delle emissioni globali per il processo di produzione da nuovo- sono destinati ad avere un ruolo chiave. In Italia gli esperti prevedono un utilizzo crescente di materiali alternativi come grafene, nylon rigenerato e materiali compositi, vernici fotocatalitiche ecologiche e calcestruzzo addizionato con fibra di carbonio, altri paesi più tradizionalisti invece riconoscono solamente il legno e il legno lamellare come materiali 'nuovi' utilizzati nel prossimo futuro.

Quale settore inquina di più?

Quota emissioni globali di gas serra

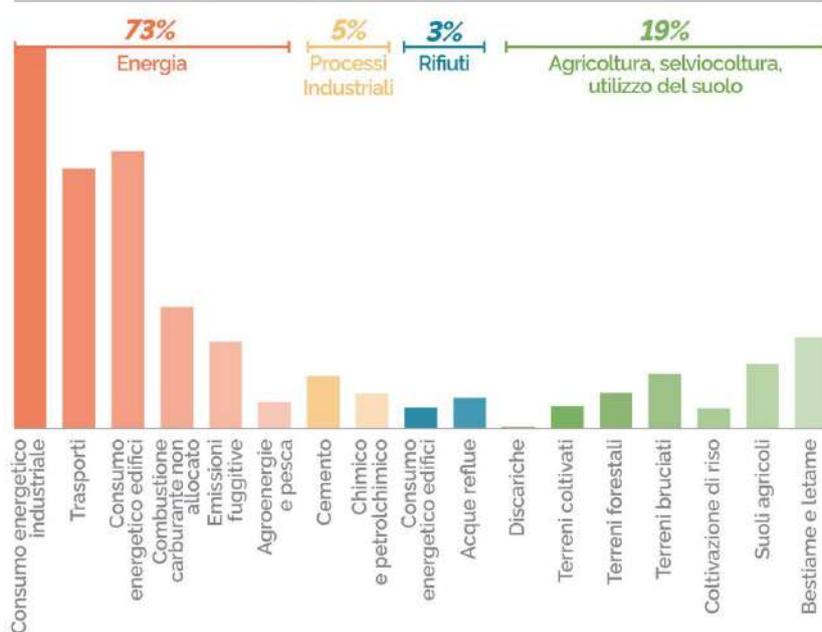


FIGURA 1: Speciale COP26, ISPI, Climate Watch e WRI, 2021
 Fonte: <<https://www.ispionline.it/publicazione/fact-checking-i-cambiamenti-climatici-10-grafici-32170>>

3.2 Strategie di mitigazione e adattamento agli eventi estremi

FRANE E DISSESTI

Questo particolare e drammatico evento è legato ai cambiamenti climatici poiché causano e acquisiscono l'**instabilità dei suoli**. Richiedono un'**adeguata pianificazione, monitoraggio e adozione di misure di prevenzione e mitigazione** per garantire la sicurezza delle persone e la protezione delle infrastrutture.

In 15 anni compresi tra il 2007 e il 2021, solo in Italia 148 persone hanno perso la vita per eventi franosi come riporta il Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (Polaris, CNR).

Una **serie di buone pratiche progettuali** che le aree urbane possono mettere in atto per proteggersi da fenomeni di frane, smottamenti e dissesti sono

- **Pianificazione territoriale e valutazione del rischio**, analisi delle caratteristiche geologiche, idrologiche e topografiche del territorio, nonché la considerazione dei fattori di vulnerabilità delle aree urbane. Questo tipo di valutazioni aiutano a identificare le aree a maggior rischio e a pianificare interventi mirati, rendendo zone a rischio di frane inedificabili o sottoponendole a restrizioni specifiche. Inoltre, è importante promuovere pratiche di gestione del suolo che riducano l'erosione, come la conservazione delle foreste e la stabilizzazione dei pendii

- **Opere di ingegneria naturalistica**, includere l'uso di barriere e pareti di sostegno, la costruzione di terrazze e opere di stabilizzazione del terreno, e l'uso di materiali resistenti alle frane nella progettazione delle infrastrutture.

- **Sistemi di drenaggio e gestione delle acque piovane**, la pianificazione urbana deve includere la progettazione di sistemi di drenaggio adeguati per prevenire l'accumulo di acqua nelle zone a rischio di frane e indirizzarla in modo sicuro verso corsi d'acqua o serbatoi di detenzione.

- **Sistemi di monitoraggio e allerta**, le città possono implementare sistemi di monitoraggio e allerta precoce per rilevare le condizioni che possono portare alle frane come piogge intense, condizioni del suolo e movimenti del terreno. I sistemi di allerta tempestiva consentono di avvisare la popolazione e le autorità locali in modo da prendere le necessarie misure di evacuazione e protezione.



FIGURA 2: vista della frazione di Brienz e della parete di roccia che lo sovrasta (Gian Ehrenzeller/Keystone via AP), 2023
Fonte: <<https://www.ilpost.it/2023/05/10/brienz-svizzera-evacuato-frana/>>

INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Tra le diverse tipologie di inquinamento e di inquinanti, quelli che contribuiscono al **peggioramento delle condizioni delle aree urbane** e ne innalzano il rischio sono sicuramente gli **agenti inquinanti atmosferici**.

L'UE con il suo pacchetto 'Pronti per il 55%' presentato alla Commissione Europea a Luglio 2021, mira alla riduzione delle emissioni del 55% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030, in vista dell'obiettivo di decarbonizzazione e neutralità climatica del 2050. Il Consiglio ha istituito un 'Fondo sociale per il clima' che fornisce supporto economico agli Stati e ai piani rivolti all'efficientamento energetico e alla ristrutturazione degli edifici, al risparmio di emissioni per riscaldamento e raffrescamento e per le iniziative di diffusione di mobilità sostenibile e mezzi a bassa emissioni.

Una **serie di buone pratiche progettuali** che le aree urbane possono mettere in atto per mitigare e affrontare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sono

- **Pianificazione urbana resiliente**, implementazione con buone pratiche di resilienza verso i cambiamenti climatici, in particolare all'inquinamento atmosferico, che tenga conto delle specificità e delle sfide di ciascuna città. La valutazione del rischio e della vulnerabilità per isolare in maniera più efficace settori, infrastrutture e comunità più a rischio per pianificare interventi mirati.
- **Monitoraggio della qualità dell'aria**, installazione di reti di monitoraggio della qualità dell'aria all'interno delle città per accedere in tempo reale ai dati sull'inquinamento locale e adottare misure appropriate per affrontare i picchi e le concentrazioni ad elevato pericolo,
- **Promozione dell'energia pulita** come quella fotovoltaica o eolica attraverso incentivi finanziari e politiche di efficienza energetica negli edifici e la transizione verso fonti di energia rinnovabile
- **Incentivazione e miglioramento del trasporto pubblico**, Investire in sistemi di trasporto pubblico efficienti ed ecologici a basse emissioni per ridurre il numero di veicoli privati sulle strade o incoraggiare l'uso di biciclette, veicoli elettrici e car sharing.



FIGURA 3: Smog in Lombardia, Vista della città di Milano, 2023
Fonte: https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/22_gennaio_19/smog-lombardia-perche-l-inquinamento-calamo-non-rispetteremo-mai-limite-dell-oms-8f7e9b92-78fd-11ec-8a8d-61f2621d8537.shtml/

ALLUVIONI E INONDAZIONI

Esistono diversi tipi di alluvioni per natura, impatto e intensità. Nel periodo di tempo compreso tra il 1995 e il 2015 con 2,3 miliardi di persone colpite e rappresentando il 47% di tutti i disastri e i danni legati al maltempo, le alluvioni sono sicuramente l'**evento estremo che più ha colpito e sta colpendo il nostro sistema**.

Rappresenta un rischio per persone e edifici soprattutto se situati in aree urbane particolarmente vulnerabili come quelle costiere o in pianure alluvionali. I **danni** che causa possono essere **diretti e** dovuti in primo luogo all'inondazione, ma anche **indiretti** causati da cambiamenti di flusso di acque sotterranee o a cambiamenti e dissesti dei suoli. I fattori che contribuiscono maggiormente alla serietà dei danni sono la durata dell'evento, la concentrazione dei sedimenti e la velocità e contaminazione del flusso della massa d'acqua - questi dati sono raramente inclusi nei modelli di valutazione di danni e perdite legati a questi eventi che spesso valutano solo la profondità raggiunta-.

Sintetizzando i danni che alluvioni e inondazioni rappresentano per l'ambiente costruito si annoverano:

- Cedimento strutturale dovute a forze di pressione
- Cedimento di componenti dell'edificio con conseguente potenziale crollo
- Danni da impatto causati da detriti
- Fenomeni di infiltrazione di piogge e umidità all'interno dell'edificio con danni all'edificio stesso o al suo contenuto
- Contaminazione dell'edificio ad opera di acque reflue, fango e terra
- Scalzamento della fondazione
- Danni o attacchi alla durabilità dei materiali ad opera di venti costieri carichi di sale
- Perdite e danni della proprietà ad opera di erosioni costiere

Le **tre maggiori strategie per fronteggiare eventi alluvionali** o di inondazione si possono riassumere in **tecnologia di prevenzione, tecnologia di esclusione dell'acqua e tecnologia di ingresso dell'acqua**.

L'evitamento o esclusione è solitamente preferito ed è ottenuto attraverso elementi paesaggistici, di drenaggio e di ritenzione, strutture autoportanti o barriere per impedire all'acqua di raggiungere l'edificio, nonché con le tecnologie di sopraelevazione delle strutture.

Le strategie di esclusione dell'acqua, note anche come resistenza e impermeabilizzazione a secco, sono progettate per mantenere l'acqua fuori dagli edifici. Si fa spesso ricorso a misure temporanee e le comunità usano comunemente sacchi di sabbia e pannelli antiallagamento fatti in casa per escludere l'acqua durante un'emergenza.

Le strategie di ingresso dell'acqua note come impermeabilizzazione, resilienza alle inondazioni o accettazione dell'acqua, prevedono metodi e tecnologie progettati per limitare i danni una volta che l'acqua, aggirato l'involucro dell'edificio entra nello spazio occupato. L'ingresso dell'acqua è visto come l'ultima risorsa rispetto alla gestione del rischio e gli approcci all'ingresso dell'acqua possono essere suddivisi in evitamento, resistenza, resilienza e velocità di rioccupazione

Le principali azioni distruttive e forze che un'alluvione esercita sui componenti edilizi sono:

- Idrostatica (pressione laterale e risalita capillare)
- Idrodinamica (velocità, onde, turbolenza)
- Erosione (perlustrare in cerca di attacchi sotto edifici, tessuto edilizio)
- Galleggiabilità (sollevamento dell'edificio)
- Detriti (oggetti nell'acqua che entrano in collisione con l'edificio)
- Azioni non fisiche (chimiche, nucleari, biologiche)

La progettazione resiliente alle inondazioni cerca di ridurre al minimo l'impatto di queste azioni su persone e proprietà in caso di alluvione utilizzando i principi citati in precedenza di prevenzione, esclusione dell'acqua e resilienza.

FORTI VENTI E TEMPESTE

Tra il 1995 e il 2015 mareggiate, cicloni e uragani hanno causato la morte di 242.000 persone. Le **tempeste** sono l'**evento meteorologico estremo** che ha **causato il maggior numero di decessi** nonché il secondo evento più frequente dopo le inondazioni con 2018 eventi registrati durante questi 20 anni presi in esame.

Una **serie di buone pratiche progettuali** che le aree urbane possono mettere in atto per mitigare e affrontare gli effetti causati da forti venti e tempeste sono

- **Adozione di normative resilienti**, impiegare norme **edilizie** che richiedono la costruzione di edifici robusti e resistenti agli eventi atmosferici estremi. Questo può includere l'uso di materiali resistenti al vento, progettazione di fondamenta solide, sistemi di ancoraggio adeguati e protezione di finestre e aperture.

- **Rete di verde urbano**, la presenza di un'ampia rete di spazi verdi, parchi e alberi in una città può aiutare a ridurre l'effetto del vento e a proteggere gli edifici. Gli alberi e la vegetazione possono agire come barriere naturali contro i venti forti, riducendone la velocità e la pressione sugli edifici.

- **Protezione delle coste e delle zone costiere**, le città costiere possono implementare misure di protezione delle coste, come dune sabbiose, barriere e frangivento per ridurre l'erosione costiera e mitigare l'impatto delle tempeste.

- **Sistemi di allerta e di gestione delle emergenze**, le città devono sviluppare sistemi di allerta tempestivi ed efficienti per informare i residenti su imminenti eventi atmosferici estremi, consentendo loro di prendere le precauzioni necessarie. Inoltre, è essenziale avere piani di gestione delle emergenze ben strutturati che coinvolgano le autorità locali, i servizi di emergenza e la comunità per rispondere rapidamente agli eventi e mitigarne gli impatti.



FIGURA 4: Tempesta Eunice causa due morti nel Nord dell'Olanda, 2022
RIPRODUZIONE
RISERVATA ©
Copyright ANSA/EPA
Fonte: <<https://www.ansa.it/europa/notizie/rubriche/>>

ONDATE DI CALORE

Tra il 1995 e il 2015 le catastrofi meteorologiche hanno causato il 27% dei decessi. Gran parte di questi è dovuta alle ondate di calore delle quali -a causa del cambiamento climatico- **si prevede un incremento dell'intensità e della durata delle giornate calde e un aumento dell'umidità atmosferica senza precedenti.** Questo fenomeno si sta rivelando estremamente preoccupante poiché è destinato ad oltrepassare i livelli di tolleranza degli organismi sia animali che umani, causando gravi danni e perdite di vite.

Questo problema è particolarmente evidente nei grandi agglomerati urbani dove superfici impermeabili, limitati spazi verdi permeabili e edifici sono i principali responsabili del contributo all'effetto 'isola di calore' (UHI4).

Alcune ricerche dimostrano come l'effetto dell'isola di calore urbana possa far aumentare dai 2 ai 4 °C la temperatura all'interno delle aree urbane rispetto alle periferie e fino a 15 C° in più rispetto a parchi e zone rurali.

La cattiva progettazione urbana, i materiali ad alta massa termica e le superfici a basso coefficiente di albedo e bassa permeabilità sono solo alcune delle cause di questo incremento di temperatura a livello dei centri densamente edificati. Da ricercarsi tra le cause anche la cattiva progettazione a livello bioclimatico: senza attingere a tecniche di progettazione passiva, senza prestare attenzione a materiali e al corretto dimensionamento dei sistemi meccanici, risentono negativamente degli incrementi di temperatura, amplificandone gli effetti e aumentando il rischio di patologie legate al calore degli occupanti.

Una **serie di buone pratiche progettuali** che le aree urbane possono mettere in atto per mitigare e affrontare gli effetti causati dalle ondate di calore sono

- **Pianificazione del verde urbano**, aumentare la presenza di spazi verdi nelle città può contribuire a mitigare gli effetti delle ondate di calore. Gli alberi, e le aree verdi forniscono ombra, riducono la temperatura dell'ambiente, aumentano la ventilazione e assorbono il calore.

- **Sistemi di raffreddamento urbano**, l'installazione di sistemi di raffreddamento urbano può contribuire a ridurre la temperatura ambientale nelle aree urbane durante le ondate di calore. Questi sistemi includono l'uso di pavimentazioni riflettenti, la creazione di fontane e corsi d'acqua, l'installazione di tetti verdi e la promozione di sistemi di irrigazione degli spazi verdi.

- **Riduzione dell'effetto isola di calore urbano**, l'effetto isola di calore si verifica quando le aree urbane si riscaldano più rapidamente e raggiungono temperature più elevate rispetto alle zone circostanti. Le città possono adottare misure per ridurre l'effetto isola di calore, come la riduzione dell'uso di materiali ad alta capacità di assorbimento del calore, la promozione di infrastrutture verdi e la gestione delle acque piovane per il raffreddamento.



FIGURA 5: Ondata di calore eccezionale in Francia, Parigi, Trocadéro, Luglio 2019
Fonte: <<https://cittaclima.it/2019/07/05/le-ondate-di-calore-in-europa-saranno-sempre-piu->

SICCITA' e ALTE TEMPERATURE

Periodi di siccità sono diffusi e si verificano in tutto il mondo con maggiore incidenza nel continente africano e indiano.

La siccità può provocare il restringimento o l'innescò di movimenti verticali dei suoli detti anche subsidenza, causando danni ai materiali da costruzione -accorciandone la vita nominale o addirittura il ritiro o la fessurazione a causa della scarsa umidità- o nei casi più gravi a interi edifici e infrastrutture.

Eventi di forte siccità sono da considerarsi **pericolosi soprattutto se seguiti da periodi di temperature intense** poiché la compresenza di questi **due eventi limite**, accresce il rischio di incendi sia in aree urbane che limitrofe.

Una **serie di buone pratiche progettuali** che le aree urbane possono mettere in atto per mitigare e affrontare gli effetti causati da lla siccità sono

- **Raccolta e gestione delle acque piovane**, le città possono promuovere la raccolta e la gestione delle acque piovane come una fonte alternativa di approvvigionamento idrico durante la siccità. Questo può includere la costruzione di sistemi di raccolta delle acque piovane, l'uso di serbatoi per lo stoccaggio delle acque piovane e la promozione di pratiche di infiltrazione delle acque piovane per ricaricare le falde acquifere.

- **Pianificazione del paesaggio urbano**, la pianificazione urbana può integrare strategie di progettazione del paesaggio che riducono la dipendenza dall'acqua, come la scelta di piante resistenti alla siccità, l'uso di tecniche di irrigazione a basso consumo e la progettazione di spazi verdi che richiedono meno acqua per la manutenzione.

- **Efficienza idrica negli edifici**, le città possono promuovere l'efficienza idrica negli edifici attraverso politiche e norme che richiedono l'installazione di apparecchiature a basso consumo idrico, l'uso di sistemi di riciclaggio dell'acqua, la gestione delle perdite idriche e la sensibilizzazione sul risparmio idrico tra i residenti e le imprese.



FIGURA 6: Embalse de Entrepeñas, Bacino di riserva in Spagna in secca, 2022
Fonte: <<https://www.europarl.europa.eu/news/it/press->

CAPITOLLO.4

SVILUPPO APPROCCI METODOLOGICI

In questa sezione è stato sviluppato un vero e proprio abaco di consultazione. I progettisti troveranno delle schede di azioni suddivise per problematica ambientale, all'interno del quale troveranno tutte le informazioni utili per poter ponderare le scelte strategiche.

4.1 Approcci metodologici: progetti europei

La **progettazione urbana** e degli edifici, come visto in precedenza, devia sempre più verso soluzioni che tengano conto dei cambiamenti climatici e del riscaldamento globale, secondo principi di **mitigazione e adattamento**.

In Europa questo processo graduale sta trovando esito in diversi progetti il cui obiettivo è la definizione di un **metodo standard** da poter applicare ovunque e che agevoli i progettisti nelle loro scelte. Attualmente molte call europee stanno cercando di sviluppare dei veri e propri approcci metodologici che definiscano in maniera chiara i passaggi da seguire per lo sviluppo di progetti architettonici e urbani con l'obiettivo di rispettare i propositi UE per il 2030 e anni futuri

In particolare è necessario definire delle **linee guida** utili a guidare il processo decisionale, tenendo conto delle condizioni al contorno, (come le politiche, la disponibilità economica e aspetti sociali) di ogni caso studio ed individuando delle strategie adatte ad ogni condizione climatica estrema che insiste su essi.

Per **standardizzare** queste soluzioni e rendere più automatica la scelta vengono individuate delle strategie d'intervento adattabili a diversi contesti e utili alla figura professionale di riferimento per poter effettuare delle scelte. Inoltre, al fine di **valutare** preventivamente gli impatti delle diverse soluzioni progettuali vengono individuati dei **KPIs (Key performance Indicators)**. I KPIs genericamente vengono definiti come indicatori di performance utili a valutare e monitorare l'andamento di un'attività o progetto. Ovviamente la definizione del metodo da applicare e i rispettivi KPIs variano in funzione degli obiettivi preposti nei differenti progetti. Tra i progetti **Horizon e Interreg** si riscontrano molti esempi e applicazioni che esplorano diverse tematiche inerenti alla lotta al cambiamento climatico, affrontando uno o più punti dell'agenda 2030.

Di seguito analizzeremo alcuni progetti significativi e propedeutici per la definizione dell'approccio metodologico che verrà affrontato in questa tesi. Molti progetti risultano assimilabili per metodologia per tale ragione ne verranno analizzati due esemplificativi. Per ogni progetto esaminato verranno approfonditi i casi studio delle città in cui sono stati messi in atto, utile a definire lo stato dell'arte delle applicazioni.

4.1.1 Urban Green Up

Tra i modelli attualmente in fase di studio il progetto Urban Green Up dal 2017 si pone l'obiettivo di sviluppare un approccio metodologico replicabile per l'utilizzo di **Nature-Based Solution (NBS)** cioè interventi che prevedano l'uso di elementi naturali. Lo scopo del progetto è di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, con un focus inerente al miglioramento della qualità dell'aria e della gestione delle acque piovane.

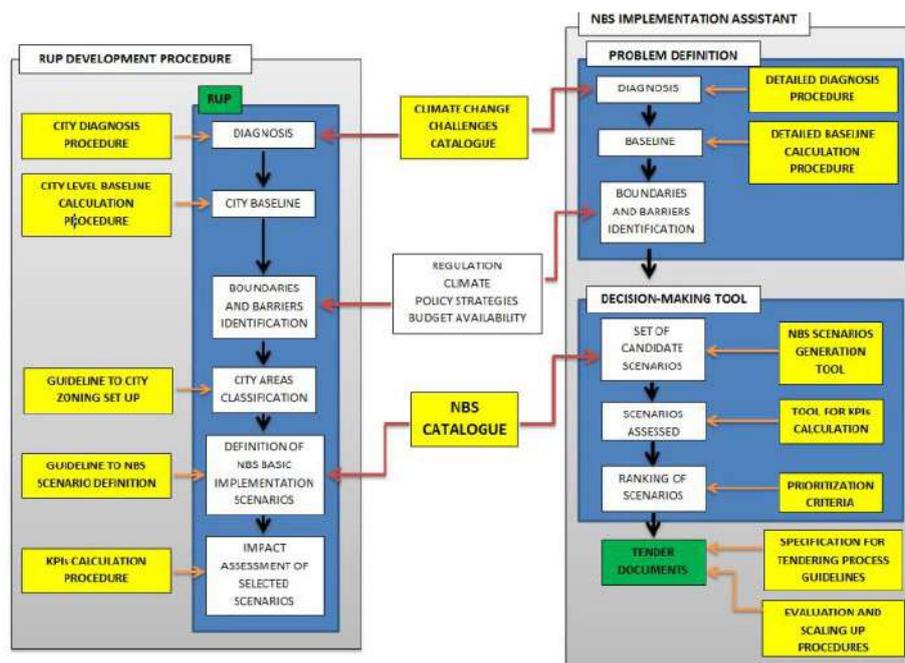
Lo studio ha sviluppato **due differenti metodi** di approccio finalizzati:

1. Supportare lo sviluppo di **Renaturing Urban Plans (RUP)** – Pianificazione urbana e del territorio
2. Assistenza per lo sviluppo efficace di **NBS – Catalogo NBS** da presentare per gare d'appalto

Questo progetto è attualmente in via di sviluppo e viene progressivamente articolato tramite **report periodici** che avranno il compito di stabilire linee guida per la pubblica amministrazione, che li utilizzerà per la pianificazione urbana attraverso l'utilizzo di NBS, tenendo sempre in considerazione gli aspetti socioeconomici che caratterizzano le città. Per tale ragione è stato utilizzato un approccio di co-creazione, che coinvolge negli aspetti decisionali, in collaborazione alle entità pubbliche, anche cittadini, imprese locali, stakeholders, università e settore commerciale.

Inoltre, in funzione del raggiungimento dell'accettazione sociale da parte dei cittadini e lavoratori sono stati presi in considerazione

FIGURA 1: Schema metodologico fasi Urban Green Up
 Fonte: Urban Green Up, D5.1: Technical KPIs Definition, Giugno 2019



anche aspetti economici, valutando la fattibilità degli interventi in base al costo di realizzazione e mantenimento. Nello schema 1 sono stati rappresentati gli step di entrambe le metodologie, i riquadri bianchi definiscono le fasi da perseguire, i gialli sono i moduli e i verdi definiscono gli output della metodologia. I riquadri blu raggruppano i blocchi con la stessa finalità. Nello specifico la procedura di sviluppo dei RUP consiste in sei passaggi:

1. Nella parte di **Diagnosi** vengono individuati i problemi presenti nella città e le conseguenti finalità del piano, tramite l'ausilio di un catalogo che identifica le sfide del cambiamento climatico
2. Calcolo dei **modelli previsionali** della città
3. Identificazione dei **confini e delle barriere**, in riferimento all'individuazione del budget a disposizione e delle strategie politiche in atto.
4. Individuazione delle **aree di intervento** attraverso un metodo di zonizzazione stabilito attraverso linee guida specifiche, che forniscono una gamma di GIS open source in grado di fornire esempi di ottimizzazione della suddivisione in aree.
5. Definizione di uno **scenario di utilizzo** delle strategie NBS stabilito da linee guida specifiche che permettono di identificare opportunità e problematiche dal punto di vista sociale, economico e ambientale delle città analizzate.
6. **Valutazione** dell'incidenza delle strategie adottate attraverso la procedura di calcolo dei KPIs assegnati.

La procedura di assistenza per lo sviluppo efficace di NBS prevede sette passaggi, suddivisi in una prima parte inerente alla definizione del problema e una seconda di definizione delle strategie da adottare:

1. **Diagnosi** dettagliata dove vengono individuati i problemi presenti nell'area di intervento e le conseguenti necessità.
2. Calcolo di **modelli previsionali** specifici.
3. Identificazione dei **confini e delle barriere** di tipo tecnico, sociale ed economico
4. **Definizione** dell'insieme degli **scenari** candidati dell'implementazione di NBS attraverso uno strumento di individuazione di scenari NBS
5. **Calcolo dei KPIs** per ogni scenario individuato
6. Utilizzo di alcuni **criteri di priorità** per stabilire una graduatoria degli scenari, in supporto alla fase decisionale

1. I moduli inerenti alla definizione delle sfide del cambiamento climatico e il catalogo NBS sono stati concepiti come dei veri e propri database consultabili. Questi costituiscono le basi fondamentali su cui si fondano entrambe le metodologie. I moduli successivi definiscono infatti le linee guida di azione per lo sviluppo dei piani e applicazione delle strategie.

7. Consegna dei **documenti di gara** con specifiche dettagliate e criteri di valutazione

Per ognuna delle azioni sopra descritte sono stati sviluppati dei **moduli standardizzati** da poter consultare¹, questi sono dei veri e propri manuali suddivisi per argomento e fase di analisi o azione. Di seguito verranno brevemente descritte le guide e alcune procedure delle metodologie.

CATALOGO NBS

Lo scopo di questo strumento è di fornire un catalogo di Nature Based Solutions adattabili a diversi scenari di città, valutandone fattibilità (ambientale, economica, sociale ed estetico) e i miglioramenti che può apportare per contrastare o mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Queste soluzioni una volta definite aiuteranno le amministrazioni a sviluppare un Piano di Rinaturalizzazione (RUP) delle città. Per ogni NBS inserita nel catalogo vengono associate delle scale di valutazione rispetto ad ogni sfida climatica selezionata nel progetto.

Successivamente ad ogni strategia vengono associati i rispettivi KPI utili nella fase decisionale, di monitoraggio e manutenzione.

CATALOGO DELLE SFIDE CLIMATICHE

A differenza del catalogo precedente questo strumento non fornisce una semplice schedatura, al contrario l'utente, cioè le amministrazioni, dovranno fare delle scelte qualitative e quantitative per definire le priorità delle sfide da affrontare. Questo processo avviene tramite la parametrizzazione delle sfide climatiche individuate da letteratura, queste vengono inserite all'interno di un database. L'utente avrà così la possibilità di accedere al database dove dovrà selezionare un massimo di 10 sfide principali a cui si possono associare delle sotto-sfide e per ciascuna di esse dovrà associare un punteggio in base all'importanza e l'incidenza.

GUIDA PER L'IDENTIFICAZIONE DI BARRIERE, CONFINI E ANALISI (PRE)

L'utilizzo di questa guida è utile a mettere a sistema le NBS preselezionate e le sfide climatiche individuate nei cataloghi precedenti. Attraverso questo processo viene eseguita un'analisi specifica della città in cui si individuano tutti i limiti e ostacoli in cui può incorrere l'applicazione delle NBS oltre alle eventuali opportunità che invece posso garantire.

Le barriere e i limiti individuati sono divisi in 5 categorie e sono:

1. **Barriere politiche**
2. **Barriere tecniche**
3. **Barriere legali e organizzative**
4. **Barriere sociali e culturali**
5. **Barriere finanziarie**

Tra le **barriere politiche** viene data molta importanza a come spesso vengano individuate azioni a breve termine non tenendo in considerazione gli obiettivi a lungo termine, scollegando la scelta delle azioni ai piani per le città.

Le **barriere tecniche** invece sono suddivise in due importanti sottocategorie, la prima riguarda le sfide infrastrutturali e la seconda si riferisce alla localizzazione e inserimento degli interventi nello spazio urbano.

Le **barriere legali** invece si riferiscono a tutti quegli ambiti legati alla conformità con la legislatura, questioni di proprietà e manutenzione che viaggiano di pari passo alle barriere organizzative, riferite principalmente alla struttura dipartimentale e istituzionale e tutto quello che ne comporta.

Le **barriere sociali** e culturali sono state invece suddivise in 4 categorie che si riferiscono alla poca conoscenza degli argomenti e la paura dell'ignoto e la volontà d'inclusione e crescita sociale.

Le barriere economiche, invece, si riferiscono alla percezione e

valutazione dei servizi ecologici e le differenze tra pubblico e privato.

Successivamente a questa fase viene fatta una **diagnosi** attraverso una procedura di calcolo in cui si determina lo stato attuale della città o distretto e l'impatto che l'attuazione di un RUP o di una singola NBS ha rispetto allo stato iniziale. Le **due fasi** del processo si possono suddividere come segue:

1. **Fase di diagnosi** dettagliata della città o distretto in riferimento alle sfide al cambiamento climatico individuate in precedenza attraverso i KPI di valutazione .

2. Definizione delle **linee guida** attraverso i KPIs sviluppati. Attraverso la diagnosi dello stato attuale è possibile individuare le rispettive NBS in grado di mitigare e risolvere i problemi o di elaborare specifiche RUP da applicare. Attraverso questa procedura è anche possibile confrontare diverse linee guida, **valutarne l'impatto** e indirizzare meglio le scelte.

Questa procedura risulta molto utile nel momento che ogni città presenta caratteristiche diverse e una soluzione che può risultare in un luogo per motivi sociali, politici o finanziari può risultare inadatta in un'altra. Per definire in maniera efficace i punti di forza e debolezza di ogni città e selezionare delle strategie ad hoc, viene utilizzata l'analisi **SWOT**. Attraverso questo metodo facile e veloce verranno individuate in definitiva le procedure da applicare.

Dopo queste prime fasi di analisi e scelte strategiche segue la seconda parte di pianificazione per l'applicazione dei risultati ottenuti. In primo luogo, avviene la fase di **zonizzazione** che segue i risultati ottenuti attraverso la diagnosi delle città e distretti effettuata in precedenza per definire le zone d'intervento. Il processo di zonizzazione può seguire iter differenti quali

- **Mappatura** dei luoghi che subiranno maggiormente gli effetti del cambiamento climatico, basandosi sui rischi maggiore attesi precedentemente individuati.

- Utilizzo di un numero limitato di **strati informativi GIS** per **ogni categoria** d'intervento, da sovrapporre alla mappa della città

- Utilizzo di **più strati informativi GIS** per una **singola categoria** d'intervento, da sovrapporre alla mappa della città, individuando le aree a rischio per un singolo evento climatico estremo

- Utilizzo della procedura precedente per ogni evento climatico estremo individuato, queste saranno sovrapposte creando una **visualizzazione multiuso** visibile attraverso lo strumento GIS

- Suddivisione della città in più **categorie di rischio**

In seguito, è necessario utilizzare lo strumento di valutazione degli scenari NBS che verrà impiegato per calcolare i KPI delle strategie. Attraverso l'ausilio di **matrici** appositamente strutturate l'utente utilizzerà i dati di input precedentemente raccolti che verranno raccolti in dati di output che valutano l'efficienza delle strategie. La **matrice** a doppia entrata **valuta la NBS** selezionata prendendo a riferimento le **sfide e sotto sfide** individuate a cui l'utente darà una valutazione in base al peso e l'importanza che hanno. Infine, alle strategie viene dato un punteggio da 0 cioè la strategia non apporta miglioramenti a 7 cioè la strategia è molto efficace rispetto ai problemi individuati e questi saranno i valori di output attraverso il quale scegliere le soluzioni con maggiore efficacia.

Vi è poi la **matrice dei confini** e barriere utilizzata per valutare l'impatto delle problematiche contro il quale deve confrontarsi la scelta delle strategie da adottare.

Successivamente il metodo sviluppato da Urban Green Up , supporta attraverso linee guida specifiche tutto ciò che è compreso negli aspetti legali, come le gare d'appalto. Vengono fornite dei parametri, specifiche e documenti utili alla fase di attuazione legislativa, tenendo conto delle peculiarità di ogni area urbana. In simultanea viene affrontato anche l'aspetto sociale, che mira al coinvolgimento delle diverse personalità del progetto con un approccio transdisciplinare. Inoltre, si cerca di creare un coinvolgimento dei cittadini anche in un'ottica di conoscenza e apprezzamento delle opere, attraverso l'utilizzo di pratiche delle scienze sociali. I membri della comunità saranno perciò interessati alla co-progettazione e co-sviluppo attraverso incontri e attività mirate.

La fase finale della metodologia sviluppata nel progetto prevede una **fase di monitoraggio** delle soluzioni adottate esaminando anche il processo di manutenzione, al fine di avere una valutazione dell'efficacia delle strategie e la loro possibile replicabilità. Sono stati definiti dei criteri appositi per verificare l'idoneità alla replica e sono:

1. Valutazione dei punti di forza e debolezza a livello organizzativo e le richieste per le NBS .
2. Valutazione delle sfide che una città deve affrontare .
3. Valutazione delle possibilità economiche a disposizione di ogni città

In questo modo e sulla base dei progetti già attivati nei primi gruppi di città che hanno aderito al progetto, ogni amministrazione riesce a definire quali sono le strategie più adatte da applicare.

Per concludere il progetto Urban Green Up ha sviluppato una metodologia in tre fasi:

1. **Fase di analisi e diagnosi**
2. **Fase di progettazione e attuazione**
3. **Fase di replica urbana**

Allo stato attuale del progetto il catalogo NBS e il catalogo delle sfide climatiche sono stati definiti e pubblicati, la guida alla definizione di barriere e confini è stata invece proposta ma non ufficializzata. Tutte le fasi successive sono ancora in fase di redazione e le prime tre città partecipanti sono in fase di attuazione e/o monitoraggio delle strategie in modo da fornire dati utili alla definizione dei

4.1.2 Caso studio Urban Green Up: Valladolid

La città di Valladolid presenta un clima mediterraneo continentale, le estati risultano essere molto calde e secche, propensione che negli anni è andata ad aggravarsi, con **ondate di calore** molto intense e temperature elevate. Inoltre, a seguito di **eventi alluvionali** intensi la presenza dei due fiumi Pisuerga ed Esguera provoca danni ed allagamenti nelle aree limitrofe della città. Per queste ragioni la città ha preso parte al progetto Urban Green Up con l'obiettivo di creare un sistema che riconnetta le aree verdi per migliorare le problematiche legate alla scarsa qualità dell'aria, isole di calore e problemi legati ad inondazioni del fiume Esgueva.

Le azioni inserite all'interno della città si sviluppano in un **corridoio verde** che attraversa il centro storico urbano, fra questi alcuni interventi sono già stati realizzati e in fase di monitoraggio dell'efficienza. In totale il progetto prevede 42 interventi di cui 33 tecniche suddivise in 3 categorie: rinaturalizzazione urbana, gestione sostenibile delle acque e infrastrutture verdi singole. Le restanti 9 azioni sono di tipo sociale atte ad incentivare la partecipazione collettiva e incrementare la consapevolezza degli effetti del cambiamento climatico.

In particolare, è stata posta attenzione all'impossibilità in alcuni casi di agire direttamente sul suolo, per tale ragione molti interventi prevedono la realizzazione di pareti e coperture verdi, sia su veri e propri edifici che su tettoie o arredi urbani. In questo modo hanno dimostrato la possibilità di aumentare la superficie verde anche senza terreno a disposizione.

Tra gli interventi ancora da realizzare si evidenzia la piantumazione di numerosi alberi e la creazione di una foresta urbana per la gestione delle isole di calore urbano e riduzione dell'inquinamento. Per quanto concerne la gestione delle acque verranno sostituite alcune pavimentazioni con tipologie permeabili affiancate da sistemi di drenaggio sostenibili. Questi interventi comportano un maggiore impatto a livello di efficienza e di occupazione della città, per questo secondo motivo non risultano ancora avviati.

Dai **report di monitoraggio** vengono infatti evidenziate le problematiche nell'ottenimento di approvazione e realizzazione sottolineando tutte le "sfide e barriere" derivanti da difficoltà

amministrative, legali, sociali ed economiche. In contrapposizione attraverso i risultati ottenuti a livello ambientale, economico e sociale stanno cercando di evidenziare come i benefici ottenuti superino di gran lunga le difficoltà di realizzazione, cercando di eliminare gli stigmi e pregiudizi verso questo tipo d'interventi.

Tutte le considerazioni derivanti dal progetto di Valladolid e le altre città coinvolte nel progetto per la realizzazione di Nature Based Solution trovano esito nello sviluppo della metodologia per la rinaturalizzazione dei piani urbani di Urban Green Up, come evidenziato in precedenza.

La metodologia sviluppata si può sintetizzare in 18 azioni organizzate in 3 fasi e 7 passi strategici. In questi ultimi attraverso i progetti messi in atto si evidenzia l'importanza del coinvolgimento sociale.

FIGURA 2: Sistema di verde verticale a Valladolid
Fonte: <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/valladolid.kl#lg=1&slide=8>



FIGURA 2: Copertura verde per mercato Valladolid
Fonte: <https://www.urbangreenup.eu/cities/front-runners/valladolid.kl#lg=1&slide=6>



4.1.3 Nature4Cities

Tra i progetti Horizon 2020 si evidenzia anche Nature 4 Cities avviato nel 2016, che come il progetto Urban Green Up si occupa di fornire una metodologia da perseguire per l'utilizzo di Nature Based Solution in ambito urbano al fine di mitigare e adattare gli effetti derivanti dai cambiamenti climatici.

Nello specifico l'obiettivo posto dal progetto è di rendere **Carbon Neutral** le città attraverso **azioni NBS** stabilite e dettare una metodologia di approccio che possa adattarsi ai soggetti attivamente coinvolti, come le amministrazioni, i ricercatori e i cittadini, per diverse scale d'intervento da quella dell'edificio, al quartiere fino alla scala urbana.

Il risultato finale di questo progetto saranno delle **piattaforme di consultazione** che aiuteranno e guideranno gli utenti nella fase decisionale e di conoscenza delle NBS fornendo anche delle valutazioni basate su **indicatori** specifici che ne calcolano la **performance**. Inoltre, verrà fornito un supporto anche nell'analisi dei costi d'investimento e di gestione, valutando gli scenari economico-sociali della città specifica e promuovendo la partecipazione di tutti gli utenti coinvolti.

Nello specifico gli strumenti utilizzabili saranno:

1. **NBS Explorer**
2. **Geocluster4NBS**
3. **SUA TOOL -Urban Performance Assessment**
4. **Environmental Assessment Tool**
5. **NBenefit\$ - Monetary assessment of NBS**
6. **QOL scale - Quality of life assessment of NBS**
7. **Implementation Models Database**
8. **Step-by-step guide on Engagement strategies and tools**
9. **Implementation Models Handbook**
10. **Pre-selection tool**
11. **Citizen's Say**

Ognuna di queste risorse dovrà poi essere inserita all'interno di un'unica piattaforma di consultazione in modo da facilitare l'utilizzo e tutte le fasi di attuazione delle azioni. Attualmente sono stati realizzati e resi utilizzabili NBS Explorer, Geocluster4NBS, Step-by-step guide on Engagement strategies and tools, Implementation Models Handbook, ma sono già stati sviluppati dei report che descrivono la struttura di tutte le parti che comporranno la piattaforma.

In generale sono state individuate **5 tematiche cardine** cioè clima, ambiente, risorse, sociale e economica, suddivise in 11 categorie d'intervento ulteriormente suddivise in 24 sottocategorie.

NBS EXPLORER

Per guidare la scelta delle azioni Nature Based è stata dapprima fornita una documentazione teorica che aiuti a comprendere il concetto di NBS agli utenti che si vogliono avvicinare a questo tipo di progettazione. In seguito, è stato stilato un catalogo di **57 soluzioni** basandosi su progetti già realizzati e applicazioni esistenti, queste sono state poi catalogate in funzione della tipologia d'intervento e dove si collocherà (edificio, suolo...). A questo punto è stata creata l'applicazione NBS Explorer attraverso il quale gli utenti in maniera intuitiva, sceglieranno il tipo di problematica da affrontare e successivamente gli verranno proposte delle soluzioni con annessi collegamenti e connessioni ad altre azioni utili.

GEOCLUSTER4NBS

In questa sezione di consultazione è possibile accedere un database di progetti già realizzati nelle prime città aderenti. Attraverso una mappatura e il catalogo di NBS utilizzate è possibile verificare e confrontare le condizioni del proprio sito di progetto con quelli realizzati in modo da guidare più facilmente la strategia di azione. Inoltre, vi è la funzione di **replicabilità** che permette proprio di verificare se un progetto già realizzato può essere selezionato in egual modo in un'altra città.

SUA TOOL -Urban Performance Assessment

L'applicazione, non ancora realizzata, avrà lo scopo di definire i **metodi di valutazione** delle performance delle azioni fornendo degli appositi KPIs. Questo procedimento verrà composto da più fasi, la prima prevede l'inserimento dei dati di progetto inerenti alle dimensioni dell'area d'intervento, condizioni climatiche e tipologia di NBS selezionate, in seguito sulla base delle 9 problematiche ambientali individuate, verrà forniti i KPIs corrispondenti da calcolare.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT TOOL

Questo strumento di **valutazione ambientale** permette di valutare l'impatto delle NBS, sulla base dei benefici apportati e dello spazio occupato, inoltre basandosi sul concetto di Life Cycle Assessment viene fornita una valutazione degli impatti sia negativi che positivi nell'intero ciclo di vita. In questo modo la scelta viene anche guidata secondo una proiezione degli **scenari futuri**, in questo modo gli NBS selezionati saranno adattabili anche in caso di scenari peggiorativi. In maniera simile verranno sviluppati NBenefit\$ - Monetary assessment of NBS che si occupa della **valutazione economica** e QOL scale - Quality of life assessment of NBS che **valuterà i benefici alla vita e all'ambiente**.

IMPLEMENTATION MODELS DATABASE

Sulla base dei risultati ottenuti dai progetti già realizzati è stato sviluppato il database per il **modello di implementazione**, unendo questi dati a quelli di governance, modelli di gestione e finanziari è possibile avere un'ulteriore valutazione che possa guidare la pianificazione e progettazione di NBS. Attualmente sono presenti **56 schede**, ma l'obiettivo è di ampliare il database con tutte le esperienze realizzate in modo da avere un quadro il più completo possibile rispetto agli aspetti economico e finanziari.

STEP-BY-STEP GUIDE ON ENGAGEMENT STRATEGIES AND TOOLS

Questa tipologia di guida è totalmente innovativa rispetto ad altri progetti. Questa è mirata ai progettisti e le amministrazioni in modo che possano comprendere i cittadini nelle fasi decisionali e renderli parte attiva del progetto. Questa tecnica aiuta a far comprendere gli intenti del progetto ai cittadini e ad ascoltare quali possono essere le loro richieste in merito.

IMPLEMENTATION MODELS HANDBOOK

Versione cartacea e consultabile del Implementation Models Database, pensata per gli organismi amministrativi e progettisti per guidarli verso il coinvolgimento dei cittadini.

PRE-SELECTION TOOL

È una **griglia di analisi** che mette a paragone i modelli di business, finanziari e di governance ammissibili per ogni azione in modo da guidare la selezione. In questo modo verranno selezionate le NBS più adatte al contesto economico e sociale del luogo di riferimento.

CITIZEN'S SAY

È uno **strumento partecipativo** di supporto, attraverso questa piattaforma viene resa più immediata la comunicazione e interazione fra le parti nella progettazione e pianificazione. In questo modo è più facile raccogliere dati e pareri dei cittadini per progettisti e le amministrazioni.

4.1.4 Caso studio Nature4Cities: Szeged

È una delle città principali e più grandi per dimensione dell'Ungheria, e terza per numero di popolazione, ed è una delle città pioniere su cui si stanno analizzando e monitorando gli effetti delle NBS a livello ambientale, sociale ed economico, al fine di sviluppare l'applicazione di Nature4Cities.

La scelta della città è stata dettata anche dalla poca conoscenza nel territorio di soluzioni basate sulla natura per contrastare gli effetti del cambiamento climatico.

Uno degli obiettivi è infatti il **coinvolgimento dei cittadini** e la volontà di far conoscere questi interventi privandoli di ogni stigma e pregiudizio.

Le sfide climatiche affrontate sono principalmente legate alle **alluvioni, isole di calore urbano e inquinamento**, inoltre a causa della presenza di due fiumi che attraversano la città risultano sempre più frequenti i fenomeni di allagamenti dovuti da esondazioni a seguito di alluvioni intense.

La prospettiva futura è che questi eventi risultino sempre più frequenti e di più grave intensità, per tale ragione la volontà di inserire un maggiore quantitativo di verde in città aiuterà a prevenire e contrastare tali fenomeni e soprattutto favorire la biodiversità.

Tra gli interventi realizzati vi è un giardino per uccelli all'interno di una scuola elementare, che mira a diminuire gli effetti di inquinamento dell'aria e acustico dovuto al traffico limitrofo ed incentivare la permeanza di alcune specie di uccelli al suo interno. Il giardino è composto da un recinto di 3 metri composto da piante arbustive differenti e la realizzazione di un giardino con piante mediterranee, oltre alla rinaturalizzazione del suolo.

Un altro intervento attuato prevede la ristrutturazione di uno spazio pubblico urbano, il cui obiettivo principale è ridurre gli effetti dell'isola di calore urbano in un'area ad alta frequentazione per la presenza di negozi. Il progetto ha previsto la piantumazione di alberi e altri tipi di vegetazione, liberando alcuni spazi dalla presenza di auto. Gli effetti sono stati subito visibili in quanto l'area ha iniziato ad essere maggiormente frequentata, generando l'approvazione dei cittadini.



FIGURA 3: Città di Szeged
Fonte: <https://www.thewalkingparrot.com/post/what-to-visit-in-szeged>

4.2 Approccio metodologico

Per la definizione dell'approccio metodologico sviluppato in questa tesi sono state utilizzate come riferimento le due procedure descritte nel progetto Urban Green Up e Nature4Cities.

Nello specifico è stato impostato uno **schema metodologico** utile a fornire delle linee guida di azione e scelta delle strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Attualmente nel territorio italiano non esistono delle vere e proprie linee guida alla progettazione urbanistica nei termini di sostenibilità e adattamento, per tale ragione questo strumento si ipotizza possa essere utilizzato come **strumento di supporto ai progettisti e pianificatori** cercando di semplificarne il più possibile l'uso ma fornendo tutte le informazioni necessarie che guidino le scelte.

Per tali ragioni lo schema metodologico presenta delle variazioni nella definizione delle fasi rispetto ai progetti precedenti, che saranno sviluppate come segue:

1. **Diagnosi** dove vengono individuati i problemi e conseguenti necessità delle città, sulla base della frequenza con cui si verificano i peggiori eventi climatici.
2. Guida alla **zonizzazione** del territorio utile all'individuazione dell'area di intervento.
3. Gerarchizzazione dei **peggiori eventi climatici presenti**
4. Definizione delle **azioni di intervento** utili sulla base della gerarchizzazione dei peggiori eventi climatici.
5. Valutazione dell'incidenza delle strategie adottate attraverso la procedura di **calcolo dei KPIs assegnati**.

Ognuna di queste parti verrà guidata dalla volontà di risolvere i 6 eventi climatici estremi individuati in precedenza, l'obiettivo è infatti di porre attenzione ai problemi per poter orientare le proprie scelte.



GUIDA AI PEGGIORI EVENTI CLIMATICI NELLE REGIONI CLIMATICHE ITALIANE

Sulla base delle analisi svolte nei capitoli precedenti sono stati individuati 6 fenomeni climatici estremi che attualmente colpiscono le città. Lo scopo di questa sezione sarà di fornire un quadro completo del territorio italiano analizzando le differenze insite nel clima del territorio. In questo modo i progettisti avranno un'idea chiara delle problematiche principali che la città di progetto deve affrontare, potendo anche creare una sorta di gerarchia di azioni necessarie.

CATALOGO AZIONI PROGETTUALI BASATO SUI PEGGIORI EVENTI CLIMATICI

La struttura dell'abaco è stata sviluppata suddividendo le azioni in base all'evento climatico che contrastano. Per ogni evento climatico estremo sono state create perciò delle schede di azioni utili a contrastare o mediarne gli effetti. Ogni scheda avrà una descrizione del tipo di intervento, una valutazione dei benefici, costi e criticità, nonché degli esempi di applicazioni esistenti.

METODO DI CALCOLO KPIs

In seguito all'individuazione delle problematiche e conseguenti azioni da poter intraprendere vengono fornite delle schede in cui sono esplicitati i calcoli di alcuni KPIs utili a fornire una valutazione delle performance attese dalle azioni. In questo modo il progettista sarà in grado di ponderare le proprie scelte in base alle necessità.

CASI STUDIO APPLICATIVI

Dopo aver esplicitato la teoria dei calcoli dei KPIs sono state realizzate delle schede esemplificative in cui vengono applicati i calcoli su alcune città prese come caso studio di riferimento. In questo modo si fornisce una sorta di passaggio guidato che aiuti il progettista a comprendere come mettere insieme le sezioni precedenti.

Alla fine di questa sezione è stata sviluppata una matrice di consultazione in grado di fornire in maniera immediata attraverso dei punteggi, una valutazione delle performance attese dalle azioni per ogni evento climatico estremo.

CAPITOLO.5

EVENTI CLIMATICI IN ITALIA

Attraverso questo capitolo viene definita la differenza fra la divisione in zone climatiche e regioni climatiche del territorio italiano. In seguito verrà utilizzata la divisione in regioni climatiche per creare una guida che aiuti a comprendere l'impatto degli eventi climatici estremi nelle diverse aree in modo che i progettisti possano comprendere quali sono gli eventi più urgenti da contrastare.

5.1 Introduzione

Il territorio italiano è suddiviso in relazione alle caratteristiche climatiche principalmente in 2 modi:

Le **6 Zone climatiche**: A, B, C, D, E, F comparse per la prima volta nel Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (ai fini del contenimento dei consumi di energia);

Le **6 Regioni climatiche**: che ne caratterizzano invece gli aspetti climatici legati a temperatura, escursione termica annua, piovosità e regime annuo delle precipitazioni e frequenza dei venti.

Secondo la suddivisione in **Zone climatiche** non è influente il luogo geografico in cui si trova un determinato comune, piuttosto la classificazione è realizzata mediante la **misurazione dei gradi giorno [GG]**.

Come riportato al punto z) dell'Art. 1 (Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412)

Ai fini dell'applicazione del presente regolamento si intende:

z) per «gradi-giorno» di una località, la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado-giorno (GG).

Art. 2. Individuazione della zona climatica e dei gradi-giorno

1. Il territorio nazionale è suddiviso nelle seguenti sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dalla ubicazione geografica:

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;

Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;

Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;

Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;

Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;

Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

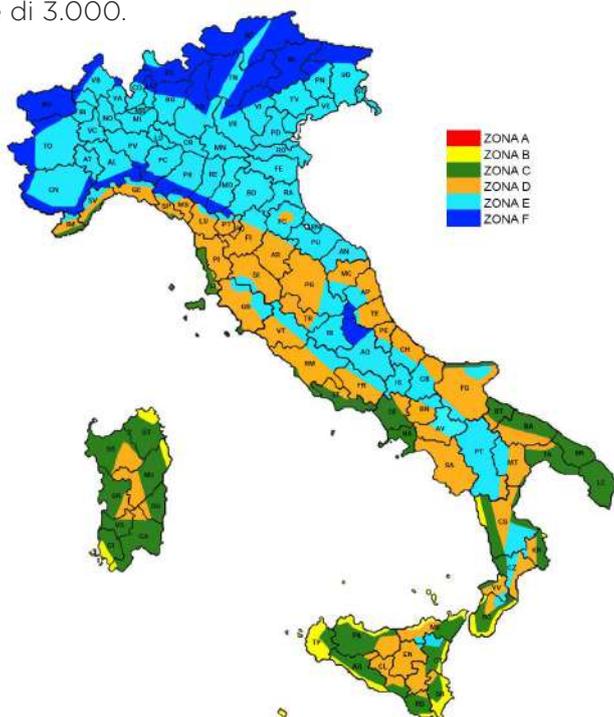


FIGURA 1: Zone climatiche in Italia
Fonte: <https://luceegasitalia.it/2020/01/22/le-zone-climatiche-italiane-e-i-periodi-di-accensione-degli-impianti-di-riscaldamento/>

Secondo la suddivisione in **Regioni climatiche**, invece, l'ubicazione geografica è fattore fondamentale dati i diversi contrasti fra regioni settentrionali e meridionali e fra aree interne e litoranee che conferiscono una considerevole **variabilità al clima** dell'intero territorio italiano.

In questo caso il territorio è suddiviso nelle seguenti 6 regioni climatiche:

Regione Alpina: inverni rigidi e lunghi; estati fresche e brevi. Abbondanti precipitazioni in particolare nevose nella stagione invernale e sopra i 3000 m di altitudine anche nella stagione estiva.

Regione Padana: clima continentale -reso possibile dalla barriera alpina che scherma le correnti fredde settentrionali, ma che non fa altrettanto con gli afflussi provenienti dalla valle del Rodano o con le masse d'aria gelida dell'Europa orientale e dalla Russia-. Inverni freddi e lunghi; estati calde e afose. Precipitazioni che non superano i 900 mm all'anno, frequenti nebbie in inverno e temporali in estate spesso con fenomeni di grandine.

Regione Appenninica: clima continentale con inverni freddi e lunghi; estati abbastanza calde. Precipitazioni comprese tra gli 800 e i 2500 mm annui e abbondanti sul versante tirrenico investito da aria umida proveniente da occidente.

Regione Ligure-Tirrenica: clima temperato dovuta al riparo che forniscono i monti dalle correnti fredde del Nord e dalla vicinanza e influenza del mare. Inverni miti; estati calde e ventilate. Precipitazioni scarse.

Regione Adriatica: Inverni freddi; estati calde e ventilate. Precipitazioni abbondanti durante tutte le stagioni. La profondità del mare Adriatico -inferiore a quella del mar Tirreno- mitiga in misura minore rispetto alla situazione della zona ligure-tirrenica, registrando temperature inferiori.

Regione Mediterranea e delle isole: clima piuttosto eterogeneo, alterna regioni con clima subtropicale (alte temperature e scarse precipitazioni) inverni miti; estati lunghe e calde; precipitazioni scarse in inverno e estati aride; a zone interne dove si registrano nella stagione invernale basse temperature e nevicate.



FIGURA 2: Regioni climatiche in Italia
Fonte: <https://www.gmpe.it/node/169>

5.2 Contesto italiano

L'Italia e più in generale il **Mediterraneo** sono il centro dei cambiamenti climatici, ossia il luogo in cui gli **eventi** risultano **anticipati ed estremizzati**. Infatti, nel Paese si registra un maggiore aumento della temperatura e una diminuzione delle precipitazioni piovose che innescano conseguenze preoccupanti alterando le temperature dei mari (risultano essere di 3-4°C superiori rispetto alla media storica, in corrispondenza delle coste italiane), i venti, le precipitazioni e la concentrazione di fulmini che si abbattano sul territorio. Inoltre, lo scontrarsi di masse di aria calda e fredda sta generando con sempre maggiore frequenza un fenomeno definito medicane (da mediterranean an hurricane), in cui si sviluppano enormi nubi che muovendosi circolarmente generano temporali, piogge torrenziali e venti forti, che si scaricano sulla terra più fredda che incontrano.

Le coste italiane devono anche, affrontare il problema dell'innalzamento del Mediterraneo, che risulta essere aumentato di circa 1,4mm/anno nell'ultimo secolo.

E' stato registrato un **drastico aumento di temperatura** anche nelle aree urbane italiane, il 2022 è stato infatti il nono anno consecutivo in cui le temperature sono risultate aumentate in maniera anomala rispetto ai dati di norma.

Attraverso i dati osservati da **Città Clima** di Legambiente è stata realizzata una mappa del rischio, la quale riporta che dal 2010 ad oggi si sono verificati **1.732 eventi climatici** impattanti nel territorio.



FIGURA 3: Mappatura eventi climatici estremi in Italia

Fonte: Earthstar
Geographics di Esri,
Osservatorio Nazionale
CittàClima, Legambiente,
data di consultazione
07 luglio 2023 <
<https://cittaclima.it/mappa/?page=MAPPA>>

Questa mappatura viene periodicamente aggiornata e risulta uno strumento fondamentale per stilare delle previsioni sui possibili eventi futuri e per comprendere quali cause antropiche, insediative e edilizie possono aver generato o favorito questi eventi estremi. Nella seguente mappatura gli eventi vengono suddivisi secondo le seguenti categorie:

- Allagamenti
- Frane
- Esondazioni
- Danni alle infrastrutture
- Danni al patrimonio storico
- Danni provocati da trombe d'aria
- Mareggiate
- Grandinate
- Siccità
- Temperature estreme

Inoltre, è da puntualizzare come questi fenomeni abbiano causato danni alle città causando l'evacuazione di 20mila persone fra il 2017 e il 2021 oltre ai danni in termini di vite umane o feriti che contano 279 vittime dal 2010 al 2022.

Analizzando gli eventi che hanno caratterizzato il 2022 sappiamo che la **siccità** è l'episodio che ha **maggiormente impattato** il territorio a causa della sua lunga durata. Da questo fenomeno ne è conseguita la risalita dell'acqua marina verso le aree del Delta del Po provocando danni e rischi consistenti agli ecosistemi.

Città	Numero totale eventi dal 2010	Allagamenti da piogge intense	Danni alle infrastrutture da piogge intense	Danni da trombe d'aria - Raffiche di vento	Esondazioni fluviali	Danni da siccità prolungata - Temperature estreme	Frane da piogge intense	Danni al patrimonio storico da piogge intense	Danni da grandinate	Mareggiate
Roma	66	39	14	7	2	1			1	2
Bari	42	20	3	17					1	1
Agrigento	32	15	7	8	1		1			
Milano	30	5	3	1	20	1				
Genova	25	7	5	6	3		4			
Ancona	22	10	2	8			1		1	
Napoli	21	5	9	3			1	1		2
Palermo	21	11	5	2		2				1
Torre Annunziata (NA)	14	5	1	8						
Torino	12	1	4	2	2	2			1	
Catania	12	5	3	3	1					
Lamezia Terme (CZ)	12	7		3	1		1			
Potenza	11	4	4	3						
Firenze	11	4	3	2		1			1	
Modena	11	5	2	1	2				1	
Bologna	10	3	4	1		1			1	
Reggio Calabria	8	4	4							

TABELLA 1:
Peggiori eventi climatici in Italia dal 2010 al 2022
Fonte: Rapporto cittàclima 2022

Inoltre, i terreni a causa della siccità non sono stati in grado di assorbire le acque piovane come consueto, per tale ragione gli eventi alluvionali sono stati più drammatici e fuori controllo in alcune aree del territorio italiano.

Le **elevate temperature** hanno causato anche uno degli eventi più tragici dell'anno, avvenuto il 3 luglio, cioè il distacco di una porzione di calotta del ghiacciaio della Marmolada, provocando 11 vittime.

Per quanto concerne gli **eventi alluvionali** questi hanno causato in numerosi territori fenomeni come frane, smottamenti, colate di fango o detriti che hanno invaso strade, abitazioni ed edifici commerciali rendendoli inagibili per diverso tempo.

Tra gli episodi più significativi vi sono però le esondazioni di fiumi, come avvenuto nelle Marche tra il 15 e 16 settembre in cui è straripato il fiume Misa, bloccando ogni tipo di attività, rendendo inagibili i piani terreni o interrati e provocando diverse vittime, assieme ai danni ad edifici ed infrastrutture. Episodi simili si sono verificati in diversi luoghi del territorio italiano, tra cui spiccano Roma, Bari e Trapani.

Tra le **trombe d'aria** che hanno causato maggiori danni nel 2022 si segnala quella avvenuta nella provincia di Massa-Carrara, in cui la velocità del vento ha superato i 100 km/h

Anche nel territorio italiano gli eventi più estremi si verificano nelle aree urbane, questo è dovuto all'**eccessivo consumo di suolo** che dal 2021 è diventato sempre più preponderante, arrivando a consumare 2 m2 al secondo e circa 70 km2 l'anno.

Data l'impossibilità di un approccio basato sulla suddivisione in Zone climatiche -poiché legato a caratteristiche diverse da quelle riconducibili ai rischi e alle potenzialità di questi territori basati sul cambiamento climatico-, si procederà ad una **analisi dei peggiori eventi climatici rispettando la suddivisione in regioni climatiche.**



FIGURA 4:
Alluvione Marche
2022
Fonte: La Stampa
< [https://www.
lastampa.it/](https://www.lastampa.it/)>

5.3 Analisi eventi climatici:

Regione alpina

FRANE

La zona alpina è particolarmente soggetta alle frane a causa della sua morfologia e delle caratteristiche geologiche della regione che è contraddistinta dalla presenza di molte zone classificate da indici di franosità tra il medio e l'alto. Le frane in questa regione climatica possono essere **scatenate da una combinazione di fattori**, tra cui forti piogge, fusione delle nevi, terremoti e instabilità dei pendii.

La combinazione di fattori come la pendenza ripida, la presenza di rocce friabili e la variazione delle condizioni meteorologiche può scatenare frane di diverse dimensioni e gravità.

Nel 2022 sul Catasto delle frane di alta quota delle Alpi si registrano 71 tra gli eventi nella regione Alpina.

Circa il 73% dei comuni montani del Trentino-Alto Adige è a rischio frane, specialmente quelli interessati dal passaggio di torrenti che potrebbero innescare colate detritiche come quella accusata in Val di Fassa nell'agosto del 2022, invadendo con tonnellate di fango le strade e costringendo all'evacuazione di abitanti e turisti

INQUINAMENTO

Secondo quanto riportato dall'ottava relazione sullo stato delle Alpi riguardo la Qualità dell'aria nelle alpi (alpconv, 2021), le tendenze osservate nel **lasso di tempo tra il 2009 e il 2018** non sono diverse da quelle osservate nel resto dei paesi europei. Il report si concentra sugli inquinanti oggetto di obiettivi europei, dove assiste ad una **tendenza decrescente** in termini di inquinanti fatta eccezione per l'ozono di cui non si riesce a delineare un trend. I pochi superamenti persistenti delle concentrazioni soglia UE e l'andamento favorevole promuovono un incoraggiamento.

ALLUVIONI

Il territorio montano rispetto alle altre aree italiane è meno soggetto a fenomeni alluvionali estremi con conseguenti allagamenti, ma non ne è del tutto privo. Per monitorare gli effetti delle alluvioni e prevenire fenomeni disastrosi è stato insediato il **Piano di Gestione del rischio alluvioni a cura delle Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi**. In generale viene posta attenzione al consumo di suolo che deve essere limitato, infatti anche i terreni naturali stanno presentando problematiche legate alla siccità, che rovina i terreni e ne limita la capacità assorbente.

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare condizioni favorevoli per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi. Gli eventi di vento estremo all'interno della regione alpina sono **rari ma estremamente violenti**, sono favoriti dalla conformazione morfologica e dall'instabilità meteorologica. È il caso della tempesta Vaia nell'Ottobre del 2018 che con le sue raffiche di vento classificate di grado 12 sulla scala Beaufort (velocità tra i 100 e i 200 km/h) ha distrutto in poche ore ettari di foreste di conifere alpine, migliaia di alberi e provocato 8 vittime.

ONDATE DI CALORE

Rispetto alle città situate in pianura le aree urbane delle alpi presentano un incremento di temperature maggiore. Infatti, le aree montane vengono generalmente prese come riferimento per la **valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici**, verificati attraverso il **livello dei ghiacciai** e il loro scioglimento anticipato o gelate tardive; infatti, negli ultimi decenni risulta sempre più evidente l'incremento di aree verdi in tutte le stagioni a discapito della presenza di neve e ghiaccio. Attraverso questo fenomeno si verificano una serie di eventi come l'innalzamento dei mari e la riduzione delle risorse idriche di fonte montana, il mutamento del clima verso uno di tipo mite e l'incremento di temperature nei laghi di montagna. Attualmente risultano essersi verificate diverse giornate con ondate di calore (astrogeoe) e nel corso degli anni diventano sempre più frequenti e seppur presenti in versione ridotta, i danni che possono apportare all'ambiente montano inevitabilmente inaccarebbe anche le aree a valle.

SICCITÀ

Dagli ultimi bollettini ANSA, come per la pianura padana anche le Alpi stanno subendo nel corso degli anni gravi problemi legati alla siccità. Lo scorso inverno è **caduta il 53% di neve in meno** rispetto alle medie annuali degli anni precedenti e le Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi hanno segnalato come un terzo dei bacini presenti si trovi in uno stato di severità idrica media.

5.4 Analisi eventi climatici:

Regione padana

FRANE

Secondo le stime ISPRA e i cinque indicatori di rischio -per eventi franosi e alluvioni- basati su popolazione e famiglie a rischio, imprese, edifici e beni culturali risulta risiedente in aree a **pericolosità elevata e molto elevata il 2,2% della popolazione**. Le regioni con più popolazione a rischio: Emilia, Toscana, Campania, Veneto, Lombardia e Liguria.

L'ultimo evento a maggio 2023 dove intense precipitazioni che in alcuni comuni hanno superato i 450 millimetri, hanno innescato frane di grandi dimensioni nella zona tra Fontanelice e Casola Valsenio in Emilia Romagna che investendo un'abitazione hanno provocato una vittima.

INQUINAMENTO

I centri urbani densamente abitati risultano i più affetti dalle problematiche riguardanti la qualità dell'aria, specialmente per quanto concerne la Pianura Padana, caratterizzata da un'alta presenza industriale, un settore agricolo sviluppato e un traffico veicolare intenso soprattutto in prossimità di grandi città come Torino e Milano.

La sua posizione chiusa tra l'arco Alpino e quello Appenninico e la sua stabilità atmosferica favoriscono il ristagno dell'aria carica di sostanze inquinanti che non vengono disperse.

L'ultimo rapporto annuale di **Legambiente 'Mal'aria' 2023**, che analizza lo stato di inquinamento atmosferico dei capoluoghi di provincia tramite i dati forniti dalle centraline di monitoraggio, evidenzia come la cronica emergenza dello smog nelle nostre città non solo non si stia risolvendo ma i pochi progressi registrati siano insufficienti e l'inquinamento decresca troppo lentamente.

Secondo il report 29 città tra le 95 di cui si disponeva dei dati hanno **superato i giorni di sfioramento** permessi per quanto riguarda il PM10 senza però sfiorare il limite annuale previsto. Prima tra tutte Torino con 98 giorni di superamento del limite di 50 Qg/m³ giornalieri, seguita da Milano con 84, Asti 79, Modena 75, Padova e Venezia 70.

Se però si confrontano i dati attuali con i limiti che entreranno in vigore al 2030 con la direttiva futura sulla qualità dell'aria 72 città su 95 non risulterebbero a norma superando il limite annuale ammissibile di 20 Qg/m³ contro la attuale concentrazione di 40 Qg/m³

ALLUVIONI

I fenomeni alluvionali benché sporadici, si presentano con maggiore intensità, infatti i territori della Pianura Padana e in particolare l'Emilia-Romagna sono stati protagonisti di numerosi eventi estremi negli ultimi anni. Spesso questi fenomeni causano **allagamenti dovuti da esondazioni** di fiumi e terreni eccessivamente impermeabilizzati. La problematica dell'**eccessivo consumo di suolo** che colpisce soprattutto la Lombardia, Il Veneto e L'Emilia-Romagna è la causa principale del deflusso superficiale e di allagamenti, la mancanza di terreni permeabili, associata a fenomeni alluvionali intensi, provoca numerosi danni in termini di beni immobili e materiali, economici e di vite umane. Spesso le città si ritrovano a non saper fronteggiare questi fenomeni, tra gli ultimi esempi vi è l'alluvione che lo scorso maggio 2023 ha colpito la Pianura Padana, che seppur prevista ha causato danni alle città e infrastrutture di collegamento. Attualmente le aree urbane coinvolte stanno ancora cercando di rimediare ai danni subiti e ricostruire, ovviamente questi interventi richiederanno un numeroso dispendio di soldi e non vi è comunque in programma alcun intervento di prevenzione e resilienza. Inoltre, dato che il territorio è attraversato dal fiume Po e dai suoi affluenti, spesso avvengono esondazioni, dovute anche da una cattiva gestione dei percorsi fluviali che negli anni sono stati coperti e chiusi senza un criterio di gestione dei bacini.

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare **condizioni favorevoli** per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi.

Tra gli ultimi eventi particolarmente intensi si annovera quello di Marzo 2023 che ha interessato per diversi giorni il territorio Piemontese interessandolo con cadute di essenze arboree, danni a coperture, ponteggi e interruzioni di corrente.

ONDATE DI CALORE

I fenomeni legati alle ondate di calore risultano sempre più frequenti, con una durata e un'intensità sempre maggiore, in particolare in Pianura padana l'assenza di precipitazioni e l'aumento delle temperature rende le aree urbane l'hotspot di isole di calore che permangono per tutto il periodo estivo. Inoltre, negli ultimi 15 anni sono stati registrati i 10 anni più caldi rispetto alle medie di temperatura degli anni tra il 1971 e il 2000. Tra i danni causati dalle ondate di calore in Pianura padana si evidenzia la perdita di coltivazioni e di produzione ittica, causati proprio dalle temperature eccessive. Nelle città principali sono stati registrati **picchi di temperature** che superano i 40°C anche per **diversi giorni consecutivi** in un report prodotto da Legambiente e E-Geos è stata presa in analisi la città di Milano che nel 2015 ha registrato tre episodi di ondate di calore della durata di 4-5 giorni consecutivi in cui la temperatura massima diurna ha superato i 35°C e la temperatura massima notturna i 25°C. Questi fenomeni a lungo andare causano problematiche a livello di salute umana; infatti, è stato dimostrato un aumento di mortalità nei mesi di luglio e agosto, soprattutto nella fascia di popolazione che supera i 65 anni di età, per tale ragione il Ministero della Salute ha attivato un sistema nazionale di prevenzione degli effetti sulla salute delle ondate di calore e si impegna giornalmente a emanare bollettini consultabili dai cittadini per verificare le condizioni della propria città.

SICCITÀ

La pianura padana è l'area in Italia che maggiormente subisce la **pressione e gli effetti della siccità** in particolare negli ultimi anni la risorsa idrica risulta sempre più impoverita con una drastica diminuzione della portata del fiume Po e di tutti i suoi affluenti. Questo fenomeno ha comportato perdite a livello di produzione agricola e danni alle coltivazioni, oltre ad una notevole riduzione di produzione energetica derivante da sistemi idroelettrici delle centrali posizionate lungo il fiume Po, queste ultime sono infatti state spente per lunghi periodi a causa dell'assenza di acqua che potesse alimentare le turbine.

Questo fenomeno risulta particolarmente incidente su quest'area a causa della drastica riduzione delle precipitazioni medie in tutto il territorio padano che permane per lunghi periodi di tempo, spesso in concomitanza a fenomeni come ondate di calore. Tra le problematiche più gravi evidenziate nel 2022 e nuovamente ad inizio 2023 vi è la **risalita di un cuneo salino** nell'area del Delta del Po e conseguente intrusione dell'acqua marina che nel lungo tempo e in caso di risalita eccessiva può comportare la perdita di biodiversità e danni irreversibili all'habitat oltre a rendere incoltivabili le zone interessate, ben più grave è anche la minaccia alla fonte idropotabile che rifornisce le province di Ferrara e Rovigo.

5.5 Analisi eventi climatici:

Regione adriatica

FRANE

Tra le regioni più a rischio e con **indici di franosità più elevati**, si annoverano tutte le regioni dell'Italia centro-orientale, tra le più significative le Marche, con il 100% del territorio classificato come a rischio dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca. Tra gli eventi più recenti registrati a Giugno 2023 una frana di vaste dimensioni si è distaccata nei pressi di Amandola fortunatamente senza mietere vittime e arrecando soltanto disagio alla circolazione veicolare secondo sulla SS210 investita dal crollo del versante sud.

INQUINAMENTO

Anche per la zona Adriatica l'inquinamento atmosferico rappresenta una sfida continua. L'ultimo rapporto annuale di Legambiente 'Mal'aria' 2023, che analizza lo stato di inquinamento atmosferico dei capoluoghi di provincia tramite i dati forniti dalle centraline di monitoraggio, evidenzia come la cronica emergenza dello smog nelle nostre città non solo non si stia risolvendo ma i pochi progressi registrati siano insufficienti e **l'inquinamento decresca troppo lentamente**. Secondo il report 29 città tra le 95 di cui si disponeva dei dati hanno superato i giorni di sfioramento permessi per quanto riguarda il PM10 senza però sfiorare il limite annuale previsto. Prima tra tutte Torino con 98 giorni di superamento del limite di 50 Qg/m³ giornalieri, seguita da Milano con 84, Asti 79, Modena 75, Padova e Venezia 70.

Le città adriatiche sono fortemente urbanizzate, presentano uno sviluppato settore industriale e alti livelli di traffico veicolare. Presentano **elevati livelli di inquinamento** anche dovuti al trasporto marittimo, oltre al fatto che il litorale adriatico è tra i più inquinati d'Italia (Openpolis, 2019).

ALLUVIONI

Come riportato da Ispra Ambiente la zona costiera dell'adriatico risulta particolarmente soggetta a fenomeni alluvionali intensi e allagamenti. Nel maggio del 2023 la costa romagnola ha subito ingenti danni causati da giornate di alluvioni intense. Il **fenomeno delle piogge tropicali** viene spesso causato dall'eccessivo surriscaldamento delle città e dei mari.

Inoltre la costa adriatica risulta densamente costruita e la presenza di suolo impermeabile e la cattiva gestione dei corpi fluviali spesso coperti fa sì che molte aree risultino a rischio idraulico medio-alto.

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare condizioni favorevoli per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi. La regione adriatica come testimoniano i numerosi parchi eolici presenti sulle coste e off-shore è tra le regioni **maggiormente soggette e con maggiore costanza dei venti**. L'impatto degli eventi di forti perturbazioni tuttavia sono rari e le uniche attività che risentono di questi ultimi sono le attività navali, marittime e turistiche.

ONDATE DI CALORE

I fenomeni legati alle ondate di calore risultano sempre più frequenti, con una durata e un'intensità sempre maggiore, nelle aree costiere questo fenomeno ha un duplice impatto significativo. Ad essere colpite maggiormente infatti non sono solo le aree urbane densamente costruite ma anche il **mare subisce un surriscaldamento eccessivo**. Da questo fenomeno ne deriva una perdita in termini di biodiversità e il verificarsi di fenomeni estremi come eventi alluvionali di tipo tropicale.

SICCITÀ

Come per la pianura padana anche la costa adriatica settentrionale subisce la pressione e gli effetti della siccità in particolare negli ultimi anni la risorsa idrica risulta sempre più impoverita con una drastica diminuzione della portata del fiume Po e di tutti i suoi affluenti. Questo fenomeno ha comportato perdite a livello di produzione agricola e danni alle coltivazioni e spesso i comuni e le città hanno dovuto redigere regolamente **decreti per la gestione dell'acqua**. Inoltre, il mar Adriatico risale sempre di più verso la foce del fiume Po a causa dei lunghi periodi di secca, rischiando di causare danni irreversibili alla biodiversità e alla risorsa idrica potabile.

5.6 Analisi eventi climatici:

Regione appenninica

FRANE

Come la zona alpina anche la zona appenninica presenta **vaste zone a pericolosità elevata**, sia per conformazione morfologica che per estensione che investe 1350 km e ben quindici regioni. Il maltempo che ha interessato la penisola italiana a Maggio 2023 ha provocato oltre 500 frane solo sull'appennino, isolando diversi comuni e cambiando profondamente la morfologia della zona.

INQUINAMENTO

Come per il resto della Penisola Italiana, anche per la regione appenninica l'inquinamento atmosferico rappresenta una continua sfida. Nel Marzo 2021 si è registrato un andamento peggiore sugli appennini che nelle maggiori città appenniniche, questo perché il particolato risalendo gli appennini a causa di **sbalzi di temperatura e perturbazioni** ha fatto registrare dati record alle stazioni di monitoraggio in quota.

ALLUVIONI

Il territorio montano rispetto alle altre aree italiane è meno soggetto a fenomeni alluvionali estremi con conseguenti allagamenti, ma non ne è del tutto privo. Infatti, a causa della siccità sempre più frequente ed intensa i **terreni vegetali e permeabili risultano sempre più alterati** e non in grado di assorbire completamente l'acqua piovana provocando anche in queste aree danni ambientali, economici e sociali. (ARPAE)

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare condizioni favorevoli per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi. La posizione centrale investita da numerosi venti provenienti sia dalle coste che dalle alpi, rende la regione appenninica molto **soggetta alle perturbazioni**, nonché le diverse altitudini e morfologie presenti lungo la catena possono favorire l'insorgenza di **venti intensi**. Si registrano ogni anno diverse giornate di allerta, ultime quelle di marzo 2023 dove l'Appennino centro-orientale ha registrato allerte gialle e arancioni. Nonostante gli intensi fenomeni non si sono registrati danni gravi a persone, edifici o infrastrutture nel recente periodo.

ONDATE DI CALORE

Rispetto alle città situate in pianura le aree urbane dell'appennino presentano un incremento di temperature maggiore. Infatti, le aree montane vengono generalmente prese come riferimento per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici, verificati attraverso il livello dei ghiacciai e il loro scioglimento anticipato o gelate tardive; infatti, negli ultimi decenni risulta sempre più evidente l'**incremento di aree verdi** in tutte le stagioni a **discapito della presenza di neve** e ghiaccio. Attraverso questo fenomeno si verificano una serie di eventi come l'innalzamento dei mari e la riduzione delle risorse idriche di fonte montana, il mutamento del clima verso uno di tipo mite e l'incremento di temperature nei laghi di montagna. Attualmente non risultano essersi verificate ondate di calore intense come nelle aree urbane di pianura, il numero massimo registrato è di 2 eventi ad estate però le previsioni future prevedono l'arrivo di notti tropicali un incremento fino ad 8 ondate di calore all'anno.

SICCITÀ

Negli ultimi anni a livello nazionale si stanno registrando delle riduzioni significative delle precipitazioni fatta eccezione per alcune regioni del sud Italia. Fra questi anche l'Appennino risulta gravemente colpito dalla mancanza di piogge infatti viene classificato come **molto secco e addirittura estremamente secco nei primi mesi estivi** secondo i report del 2022 dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale. Secondo il report pubblicato ad aprile del 2023 la precipitazione nell'appennino della regione Lazio ha subito una riduzione del 38% e del 33% nella regione Umbria e in generale su tutto l'Appennino la precipitazione è risultata inferiore del 13% rispetto alla media tra il 1991 e il 2020. Al momento della verifica è stata confermata perciò la tendenza di riduzione delle portate nelle risorse idriche che prosegue negli anni, per tale ragione già nel 2022 erano stati deliberati degli stati di emergenza. In previsione dell'estate 2023 è stato previsto uno scenario di emergenza idrica medio, promuovendo preventivamente un uso responsabile delle risorse idriche.

5.7 Analisi eventi climatici:

Regione tirrenica

FRANE

Gli **eventi franosi** e le zone a pericolosità elevata nella regione tirrenica si concentrano maggiormente nella **regione ligure e toscana sulle coste**. Tra i più recenti eventi della regione ligure si menziona monte Gazzo con l'isolamento della frazione di Gneo a causa di una frana che ha colpito la strada nell'aprile 2023 e nella regione toscana nel Maggio 2023 a seguito di abbondanti e prolungati rovesci nell'alto Mugello si sono registrate diverse frane che hanno provocato l'isolamento di strade e centri abitati.

INQUINAMENTO

Anche per la zona Tirrenica l'inquinamento atmosferico rappresenta una sfida continua. I densi insediamenti urbani ubicati lungo la costa Tirrenica come Genova, Roma e Napoli sono fortemente urbanizzati, presentano uno sviluppato settore industriale e alti livelli di traffico veicolare. Il traffico marittimo lungo il Mar Tirreno, che coinvolge navi da crociera, traghetti e navi cargo, può causare **l'inquinamento dell'aria e delle acque** a causa delle emissioni dei motori delle navi

ALLUVIONI

Come riportato da Ispra Ambiente la zona costiera del Tirreno risulta particolarmente soggetta a fenomeni alluvionali intensi e allagamenti. Soprattutto la costa ligure ha subito ingenti danni causati da giornate di alluvioni intense nel corso degli anni (CittàClima). Il fenomeno delle **piogge tropicali** viene spesso causato dall'eccessivo surriscaldamento delle città e dei mari. Inoltre la costa tirrenica risulta **densamente costruita** e la presenza di suolo impermeabile rende sempre più difficile la gestione e l'assorbimento di acque piovane.

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare condizioni favorevoli per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi. I forti venti nella regione tirrenica possono avere diversi effetti, tra cui un **aumento del moto ondoso e condizioni meteorologiche avverse**. Possono influenzare la navigazione marittima, le attività costiere e il clima locale.

ONDATE DI CALORE

I fenomeni legati alle ondate di calore risultano sempre più frequenti, con una durata e un'intensità sempre maggiore, nelle aree costiere questo fenomeno ha un duplice impatto significativo. Ad essere colpite maggiormente infatti non sono solo le aree urbane densamente costruite ma anche il mare subisce un surriscaldamento eccessivo.

Dai dati riportati da Cnr il **Mar Tirreno** ha raggiunto temperature che si aggirano **verso i 30°C** causando danni alla biodiversità marina.

Inoltre, città principali come Roma e Firenze hanno registrato negli ultimi anni temperature medie estive sempre più elevate, con **lunghi periodi di ondate di calore e notti tropicali**.

SICCITÀ

Negli ultimi anni a livello nazionale si stanno registrando delle riduzioni significative delle precipitazioni fatta eccezione per alcune regioni del sud Italia. Fra questi anche la costa Tirrenica subisce fortemente gli effetti del fenomeno. In particolare si stanno registrando sempre più **problematiche** legate a **bacini idrici e fiumi in secca** nel territorio toscano e laziale e nei periodi estivi sono state necessarie anche misure di limitazione delle risorse idriche per poter fronteggiare il problema. Nell'estate 2022 a Roma è stato necessario attingere alle risorse del lago per compensare alla crisi, aggravandone però delle condizioni già critiche, registrando un livello del lago ai minimi storici, di -164 cm. Il CNR aveva in realtà imposto un limite di abbassamento di 150 cm, dopodiché il lago rischia un collasso con ripercussioni catastrofiche per l'ecosistema. L'abbassamento eccessivo impedisce al lago di auto-depurarsi e soprattutto con la sua riduzione non è più possibile il fenomeno di denitrificazione del carico di azoto, in questo modo avverrebbe l'eutrofizzazione e trasformazione del lago in palude.(CittàClima)

Inoltre, la produzione da idroelettrico nelle aree della Liguria ha visto una riduzione dell'80%.

5.8 Analisi eventi climatici:

Regione mediterranea e isole

FRANE

La regione del Sud e delle isole risulta soggetta al pericolo di frane e dissesti solamente in precise regioni e con **indici di media o bassa pericolosità**. Nel Maggio 2023 si sono verificate due frane nel Messinese a causa di maltempo imperversante che hanno isolato alcuni comuni. Con un fattore di rischio alto, la città metropolitana di Messina annovera 3.266,08 km² di territorio classificato a rischio e 650.000 abitanti interessati. (Idrogeo, consultato luglio 2023)

INQUINAMENTO

Come per il resto della Penisola Italiana, anche per la regione del sud e delle isole l'inquinamento atmosferico rappresenta una continua sfida. Nonostante **non si registrino dati preoccupanti** come quelli della Pianura Padana, i grandi centri urbanizzati, lo sviluppo industriale, il traffico veicolare sviluppato e quello marittimo, sono comunque fonte di inquinamento atmosferico ed emissioni climalteranti.

ALLUVIONI

Spesso nelle aree del sud Italia si verificano eventi alluvionali estremi che hanno colpito e provocato numerosi danni anche in termini di vite umane, soprattutto nelle isole e alcune aree di Calabria e Puglia.

Questo fenomeno viene causato dal fenomeno sempre crescente delle **piogge tropicali e torrenziali**, che associato all'eccessivo consumo di suolo e abusivismo edilizio particolarmente presente in queste aree, provoca danni irreparabili.

FORTI VENTI

La conformazione geografica italiana con una lunga costa che si estende per oltre 7.500 chilometri e la presenza di catene montuose, contribuisce a creare condizioni favorevoli per lo sviluppo di eventi meteorologici intensi. Tra gli eventi di estrema ventosità che hanno interessato le regioni del sud e delle isole si registra a Febbraio 2023 una allerta rossa dell'isola siciliana, dove **forti bufere di vento** hanno costretto alla chiusura dell'aeroporto di Catania e all'evacuazione di alcune famiglie nei territori più a rischio.

ONDATE DI CALORE

Le ondate di calore sono molto impattanti nelle aree del sud-Italia e nelle isole infatti risultano in crescita sia per periodi di tempo che per gradi giorno raggiunti. Soltanto nel 2022 ad agosto si è registrata la **temperatura più elevata a livello europeo**, a Siracusa sono stati raggiunti 48,8°C. Inoltre, in molte città della Calabria ad esempio sono stati registrati 28 giorni consecutivi di ondate di calore estreme, infatti si registrano sia rispetto al giorno che alla notte, degli aumenti sostanziali dei valori medi di temperatura registrati dal 1970 ad oggi. (CittàClima)

In generale le regioni del sud sono quelle che in estate subiscono maggiormente la pressione delle ondate di calore.

SICCITÀ

Dai dati riportati nel report CittàClima anche il sud Italia risulta aver subito ingenti danno provocati dalla **siccità prolungata** principalmente nei periodi estivi e sommata alle perdite di acqua potabile dei sistemi idrici del territorio ha provocato delle vere e proprie crisi idriche. A queste sono conseguiti provvedimenti per la riduzione degli sprechi di uso domestico, bisogna considerare però che nel sud-Italia vi sono il maggior quantitativo di perdite di acqua potabile dovuto ai sistemi di distribuzione.

CAPITOLLO.6

ABACO AZIONI

In questa sezione è stato sviluppato un vero e proprio abaco di consultazione.

I progettisti troveranno delle schede di azioni suddivise per problematica ambientale, all'interno del quale troveranno tutte le informazioni utili per poter ponderare le scelte strategiche.

6.1 Introduzione

Lo **strumento operativo dell'abaco** o del catalogo di azioni, è il secondo strumento che viene fornito: si compone di una sequenza di 'schede' suddivise per strategia, per ogni evento climatico estremo individuato.

Viene fornito in **forma descrittiva** un inquadramento delle principali caratteristiche relative ad ogni azione, due casi studio significativi dell'impiego dell'azione prediligendo quelli in ambito Italiano ed europeo ed un riassunto delle caratteristiche principali in forma puntuale, di facile fruizione dal progettista nelle fasi di consultazione. Oltre alla parte descrittiva dove si riportano informazioni generali riguardo l'azione stessa o il suo impiego, informazioni riguardo la manutenzione delle condizioni di efficienza, dati ed esempi sull'efficienza e criticità legate all'impiego o alla realizzazione, ad ogni azione e di conseguenza ad ogni scheda, si associa uno schema illustrativo a scopo dimostrativo che raffigura in maniera stilizzata l'applicazione dell'azione all'interno del disegno dell'ambito urbano.

Le azioni possono essere riferite a due scale di progetto principali:

SCALA URBANA

Le schede riferite alle azioni a scala urbana, si presentano come applicabili su larga scala e prevedono il coinvolgimento di diverse e più o meno ampie aree urbane

SCALA ARCHITETTONICA

Le schede riferite alle azioni a scala architettonica, si presentano sotto forma più puntuale ma non limitano le possibilità di applicazione anche a livello urbano diffuso

Le schede sono suddivise in sei sezioni, frutto dell'individuazione di sei eventi climatici estremi:

FRANE
INQUINAMENTO
ALLUVIONI
FORTI VENTI
ONDATE DI CALORE
SICCITÀ

Ogni sezione è contraddistinta graficamente da una tonalità differente e dal codice dell'azione: riportato sottoforma della prima lettera dell'evento climatico estremo analizzato e da una codifica numerica consecutiva

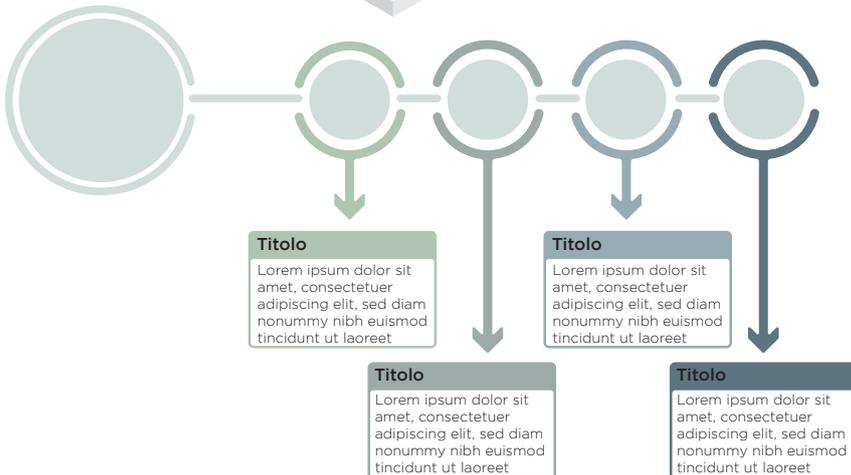
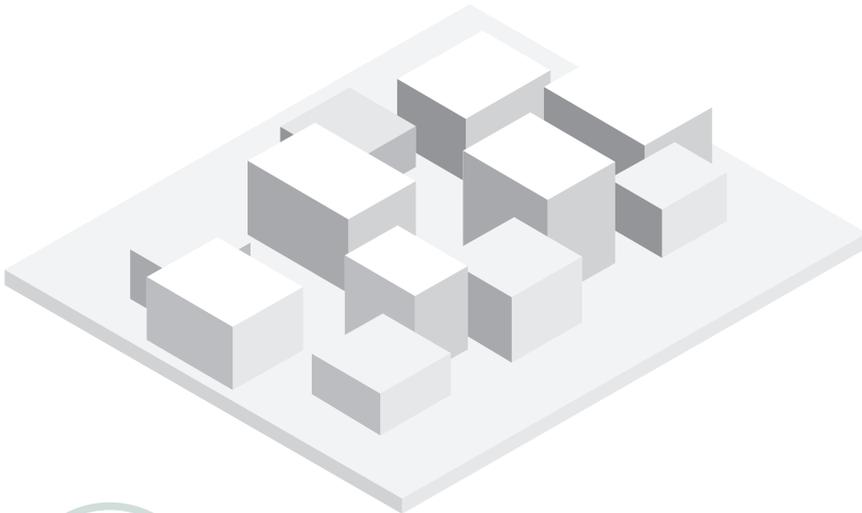
F.NN
I.NN
A.NN
V.NN
C.NN
S.NN

Lo schema illustrativo a scopo dimostrativo introdotto per ogni scheda, verrà riportato nelle sezioni seguenti della tesi e simboleggerà l'azione stessa per agevolare l'associazione e rendere più fruibile la guida.

La consultazione del catalogo di azioni viene esplicitata in seguito grazie all'ausilio di una guida grafica.

CODICE AZIONE

TITOLO RAPPRESENTATIVO E DESCRITTIVO AZIONE



STRATEGIA se l'azione è più legata all'ambiente urbano o a quello architettonico

METODOLOGIA ADATTA A se l'azione è più votata alla mitigazione o all'adattamento

AMBITO Regione climatica per la quale l'azione è maggiormente indicata sia per problematiche riscontrabili sia per criticità dell'azione stessa

MANUTENZIONE stima dei livelli di tempo, energia e frequenza richiesti per mantenere l'azione nel pieno regime

EFFICIENZA stima dell'apporto dell'azione nella gestione dell'evento climatico estremo

CRITICITÀ principali problematiche legate all'impiego dell'azione

COSTI stima qualitativa dei costi di realizzazione, messa in opera e gestione basata su letteratura

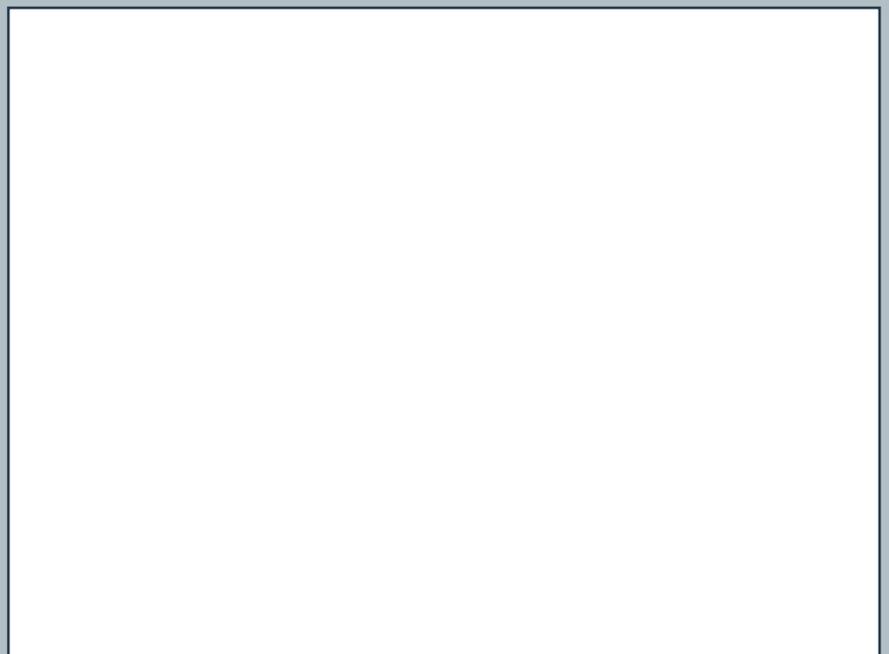
LOCALIZZAZIONE Principali luoghi d'impiego dell'azione a livello di spazio urbano o architettonico

In questa prima area della scheda, si riporta per ogni azione uno schema illustrativo a scopo dimostrativo e una cernita di informazioni puntuali ricavate dalle informazioni del paragrafo principale e da un'analisi critica condotta su dati di letteratura.

In questa sezione si riportano schemi esplicativi di approfondimento riferiti all'azione e alla descrizione fornita nel paragrafo principale.

In questa sezione si forniscono dati puntuali introduttivi, fotografici e in seguito testuali discorsivi riguardanti applicazioni effettivamente realizzate dell'azione analizzata.

Si riportano la motivazione legata alla selezione del caso studio e si riportano dati e riscontri riguardo modalità d'uso, efficienza, monitoraggi, costi e informazioni che si ritengono importanti al fine della corretta lettura.

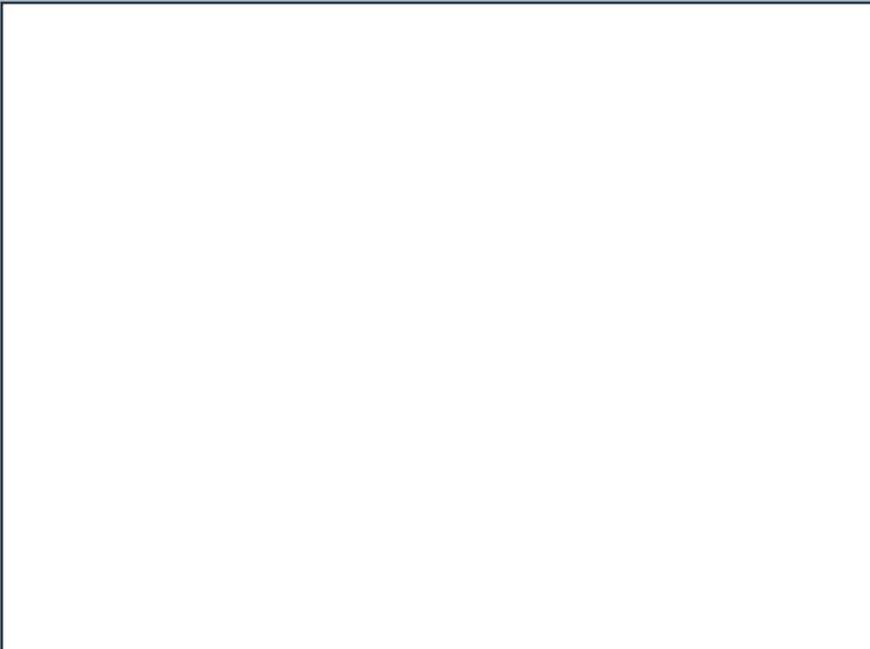


DESCRIZIONE In questa prima parte si descrive sinteticamente l'azione, si riportano linee guida di massima e si fornisce una visione d'insieme di quello che prevede l'azione. Si possono trovare dati di approfondimento, informazioni legate alle fasi di messa in opera o ancora dati statistici e massime su contestualizzazione ed impieghi.

MANUTENZIONE Questa sezione riguarda le pratiche di mantenimento dell'azione, si possono ritrovare informazioni su condizioni postume alla messa in opera per garantire perfette condizioni sia di utilizzo che di integrità. Si riportano informazioni specifiche sul mantenimento ordinario o se non se ne riscontrano si rende noto

EFFICIENZA Questo slot è dedicato invece alla descrizione sintetica dei principali tratti positivi legati all'azione. Si possono fornire descrizioni, dati, caratteristiche e peculiarità che possono guidare il progettista nella scelta dell'azione che risulta più indicata alle sue necessità.

CRITICITÀ In quest'ultima sezione si possono apprezzare descrizioni e rielaborazioni critiche sull'azione stessa, sull'ubicazione, sul consumo di suolo o su tratti che possono trasformarsi in deterrenti, da parte dello stesso progettista per l'impiego dell'azione stessa.



In questa sezione si forniscono dati puntuali introduttivi, fotografici e in seguito testuali discorsivi riguardanti applicazioni effettivamente realizzate dell'azione analizzata. Si riportano la motivazione legata alla selezione del caso studio e si riportano dati e riscontri riguardo modalità d'uso, efficienza, monitoraggi, costi e informazioni che si ritengono importanti al fine della corretta lettura.

ABACCO FRANE

ABACO FRANE

In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione degli eventi franosi e di dissesto

Questa sezione legata all'evento climatico estremo degli eventi franosi si è deciso che verrà analizzata solamente dal punto di vista qualitativo e descrittivo per lacunosità in merito a dati operativi.

AZIONI FRANE

F.01 _ PAVIMENTAZIONI DRENANTI

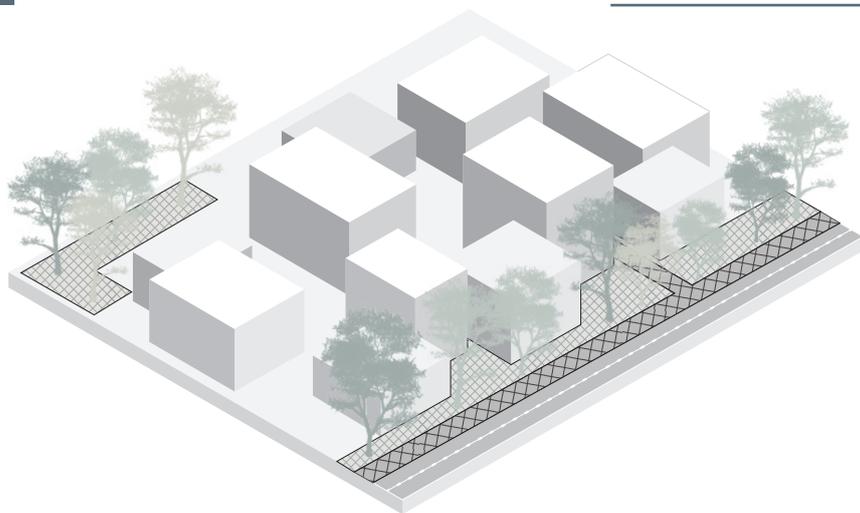
F.02 _ RIMBOSCHIMENTO E RIPRISTINO AREE VERDI

F.03 _ PRATI ARMATI E PIANTE INGEGNERE

F.04 _ BARRIERE E MURI DI CONTENIMENTO

F.05 _ STABILIZZAZIONE PENDII CON OPERE DI SOSTEGNO

PAVIMENTAZIONI DRENANTI



STRATEGIA spazio esterno areale
METODOLOGIA ADATTA A
adattamento

AMBITO Regione climatica
padana, tirrenica, adriatica,
mediterranea

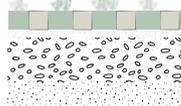
MANUTENZIONE Alta

EFFICIENZA

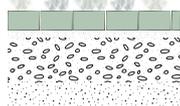
CRITICITÀ grandi superfici, costi
elevati, alto grado manutenzione

COSTI

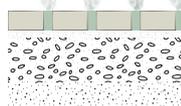
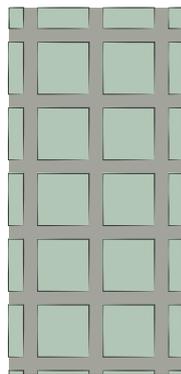
LOCALIZZAZIONE Spazi pubblici,
piazze, strade pedonali, ciclabili e
parcheggi



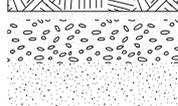
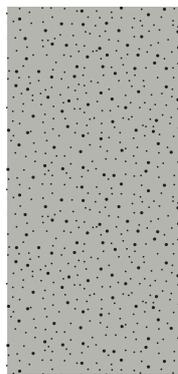
sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; grigliato in cls inerbito % di verde > 40%



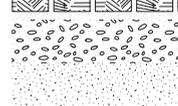
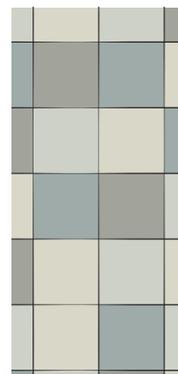
sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; grigliato plastico inerbito % di verde > 90%



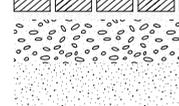
sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; cubetti o masselli con fughe larghe % di verde < 35%



sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; monostrato calcestruzzo drenante posato a freddo 15 cm



sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; massetto poroso con fughe in sabbia



sottosuolo; 25-30 cm strato portante in ghiaia; 3-5 cm pietrisco; cubetti o massetto poroso con fughe strette in sabbia

Tipologia intervento: calcestruzzo drenante

Luogo: Parco Eolico Monte mesa, Rivoli Veronese - Italia

Anno: 2014

La pista ciclabile larga 2,5 m e lunga 2,5 km all'interno del Parco Eolico Monte Mesa è realizzata in un'area a tutela ambientale con uno speciale calcestruzzo drenante per applicazioni stradali non bituminoso, con posa a freddo -niente fumi, risparmio energetico e ridotte emissioni- e ad elevata permeabilità. La scelta è ricaduta sulla pavimentazione drenante in calcestruzzo per agevolare e aumentare la dispersione delle acque meteoriche (capace di drenare 40 l/mq/s) e per garantire performance strutturali idonee.



DESCRIZIONE

Le pavimentazioni drenanti contribuiscono al corretto deflusso e gestione delle acque piovane senza impermeabilizzare superfici estese e provocare pressione sulle aree permeabili. Sono particolarmente consigliabili nei conglomerati urbani a rischio allagamenti e conseguenti frane e smottamenti in cui risulta necessario il mantenimento di strade pedonali o ciclabili. Esistono differenti tipologie di pavimentazioni drenanti, diversificate in base ai materiali utilizzati:

1. Calcestruzzo poroso
2. Asfalto poroso
3. Pavimentazione autobloccante in calcestruzzo permeabile
4. Pavimentazioni autobloccanti o griglie a base polimerica

Le stratigrafie di queste pavimentazioni prevede l'inserimento di uno strato poroso o permeabile

superiore che permette il deflusso dell'acqua nello strato drenante, tipicamente costituito da rocce e pietre che fungono da filtro e permettono lo scorrimento dell'acqua. Nelle aree a maggior rischio di allagamenti da alluvioni viene inserita una membrana in tessuto nello strato inferiore, il cui spessore varia in base al carico di acqua a cui è sottoposta l'area. Nelle aree a maggiore rischio la membrana viene infatti inserita in uno strato profondo per riuscire a mitigare il flusso aggiuntivo e incrementare il tempo di dissipazione.

MANUTENZIONE

Il livello di manutenzione deve essere sempre piuttosto alto, infatti lo strato superficiale va pulito regolarmente per permettere il regolare flusso dell'acqua al suo interno.

EFFICIENZA

La capacità di assorbimento di una pavimentazione drenante

può arrivare a garantire il 95% di acqua piovana assorbita, tralasciando solo il 5% come acqua superficiale. In questo modo non si impermeabilizzano porzioni importanti di terreno ma si permette il normale assorbimento delle acque evitando un sovraccarico sulle porzioni permeabili e la loro potenziale saturazione e innesco di movimenti cinematici come colamenti lenti rapidi o detritici. La portata tipica di una pavimentazione drenante può variare tra i 2 e i 7 l/s/ha (litri/secondo/ettaro).

CRITICITÀ

I costi elevati e il grado di manutenzione costante da mantenere rendono questa soluzione poco adatta a contesti con budget e risorse ridotti. Inoltre, per riscontrare l'effettiva efficacia dell'assorbimento delle acque è preferibile l'inserimento in aree ampie e continue.



Tipologia intervento: massello permeabile

Luogo: valle di Ledro, Trentino Alto Adige - Italia

Anno: 2017

Nell' eco-resort Ledro Mountain Chalet costruito nel rispetto dell'ambiente montano, viene utilizzato per strade e camminamenti un pavimento in elementi modulari 50x50 cm con coefficiente di permeabilità medio annuo del 60-70% attraverso pavimento e strati sottostanti come terrenodi posa e sottofondo.

RIMBOSCHIMENTO e RIPRISTINO AREE VERDI



STRATEGIA vegetale

METODOLOGIA ADATTA A

mitigazione

AMBITO Regione climatica alpina/
adriatica/appenninica/mediterranea

MANUTENZIONE bassa

EFFICIENZA

CRITICITÀ grandi superfici, distanze
cautelative

COSTI

LOCALIZZAZIONE spazio esterno,
pendii nudi e aree disboscate

MONTAGNA

Gimnosperme

Cupressus sempervirens o Cipresso comune,
Juniperus communis o Ginepro comune,
Larix decidua o Larice [resistenza al taglio =
66.14 Mpa (Bischetti et al., 2005)] comune/
europeo

Angiosperme

Acer platanoides o Acero platanoides/acero
riccio, Acer pseudoplatanus o Acero fico/
acero di
monte, Carpinus betulus o Carpino bianco/
comune, Castanea sativa o Castagno,
Cornus mas o Corniolo, Cornus sanguinea
o Sanguinella, Fagus sylvatica o Faggio
[resistenza al taglio = 57.47 Mpa (Bischetti
et al., 2005)], Fraxinus excelsior o Frassino
maggiore/comune [resistenza al taglio =
36.86 Mpa (Bischetti et al., 2005)], Fraxinus

ornus o Ornello/orno/frassino da manna,
Sorbus aucuparia o Sorbo degli uccellatori

COLLINA

Angiosperme

Acer campestre o Acero campestre,
Arbutus unedo o Corbezzolo, Castanea
sativa o Castagno, Cornus mas o Corniolo,
Cornus sanguinea o Sanguinella, Crataegus
oxyacantha o Biancospino europeo/
selvatico, Fraxinus ornus o Ornello/orno/
frassino da manna, Laurus nobilis o Alloro,
Myrtus communis o Mirto, Prunus avium o
Ciliegio dolce

COSTA e AMBIENTI MARINI

Gimnosperme

Pinus halepensis o Pino d'Aleppo, Pinus
pinaster o Pino marittimo

Angiosperme

Arbutus unedo o Corbezzolo, Cercis
siliquastrum o
Albero di Giuda/silivaastro, Crataegus
oxyacantha o Biancospino europeo/
selvatico, Fraxinus angustifolia o Frassino,
Melia azedarach o Albero dei rosari, Myrtus
communis o Mirto, Quercus ilex o Leccio,
Spartium junceum o Ginestra odorosa,
Viburnum tinus o Lentaggine

FIUMI

Angiosperme

Alnus cordata o Ontano napoletano/ontano
cordato, Populus alba o Pioppo bianco,
Populus canescens o pioppo grigio, Populus
nigra o Pioppo nero, Pterocarya fraxinifolia o
Pterocarya/noce del
Caucaso, Salix alba o Salice bianco



Larix decidua
Prima grandezza
h > 35m
Resistenza al taglio
66.14 MPa



Fagus sylvatica
Prima grandezza
h > 30 m
Resistenza al taglio
57.47 MPa



Fraxinus excelsior
Seconda grandezza
h < 30 m
Resistenza al taglio
36.86 MPa MPa

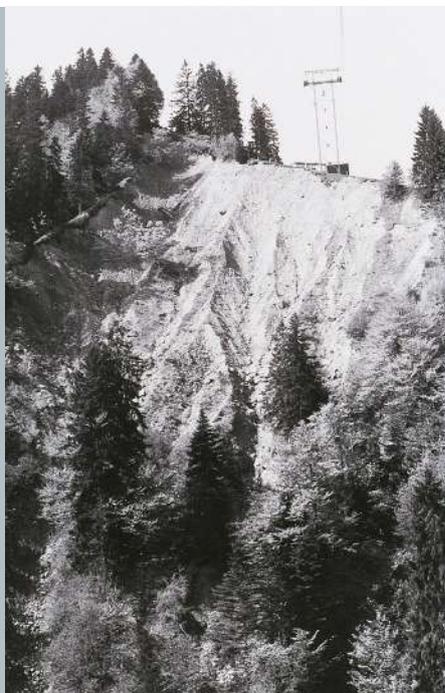


Tipologia movimento: Scorrimento

Luogo: valle di Engelberg,
Dallenwil-Wirzweli

Anno: 1978 - 2005

Si osserva come la piantumazione
di nuove fasce arboree e vegetali
in concomitanza con la simbiosi
micorizza tra radici e funghi,
permetta di compattare le particelle
di terreno sciolto aggregandole
e rendendole più stabili nei pressi
dell'impianto radicale, mitigando il
ritorno di movimenti del declivio.



DESCRIZIONE Questa azione di mitigazione dell'evento franoso consiste nell'utilizzo dell'ingegneria naturalistica: mediante la piantumazione di filari e sistemi di alberi a protezione dei centri urbani nei pressi di pendii.

La piantumazione di questo muro vegetale permette di rallentare o fermare il movimento di declivi e pendenze grazie agli apparati radicali in grado di mantenere il terreno stabile nel tempo.

Gli esemplari arborei vanno scelti sulla base della resistenza e capacità di adattamento al clima, sull'ampiezza e ramificazione dei loro impianti radicali - maggiore è ampio e ramificato, maggiore sarà

la tenuta dei dilavamenti- e sulla resistenza a malattie del suolo per non creare buchi all'interno della barriera.

Secondo una guida fornita da ISPRA per la scelta delle specie maggiormente adatte a impedire il dissesto si annoverano quelle riportate in seguito suddivise per praticità negli ambienti per il quale risultano più adatte*

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o abbattimento degli esemplari vecchi o ammalati e controllo dei livelli di umidità

EFFICIENZA Questa soluzione dell'ingegneria naturalistica oltre ad essere efficace nell'aumento della resistenza alle sollecitazioni di taglio dei terreni, riesce a apportare mitigazioni senza intaccare o antropizzare il paesaggio montano con metodologie di contenimento più tecniche.

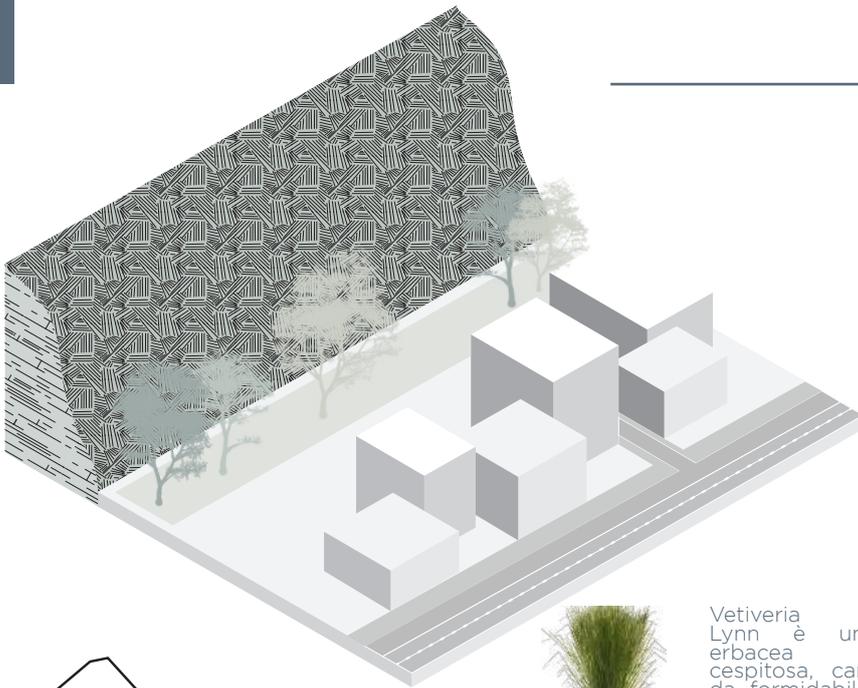
CRITICITÀ È una azione che necessita di grandi superfici e scelta di appropriate specie, un costante monitoraggio e nel caso di fallimento nella tenuta del movimento franoso può aumentare il carico della massa in scivolamento



Tipologia movimento: Scorrimento
Luogo: vallata della Dischma, Davos - Cantone Grigioni, Svizzera
Anno: 1927 - 2000

Si osserva come la piantumazione di nuove fasce arboree e vegetali abbiano dato vita al bosco di protezione che sovrasta il conglomerato urbano posizionato a valle. Se il rischio è il prodotto tra il danno e la probabilità che si verifichi, l'addizione dei boschi di protezione influisce sul parametro che governa la probabilità permettendone un abbassamento

PRATI ARMATI e PIANTE INGEGNERE



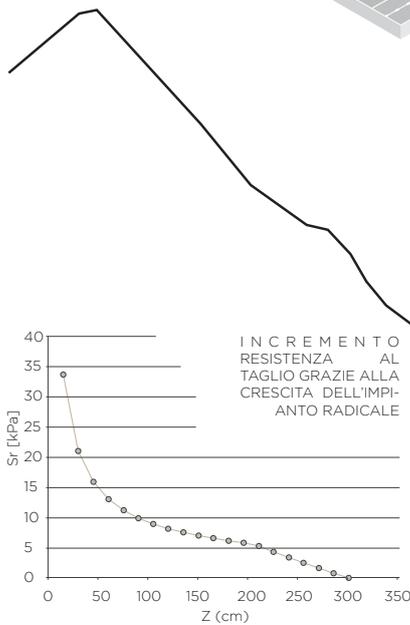
STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A
 mitigazione
AMBITO Regione climatica alpina/
 adriatica/appenninica/mediterranea
MANUTENZIONE bassa
EFFICIENZA
CRITICITÀ grandi superfici, distanze
 cautelative
COSTI
LOCALIZZAZIONE spazio esterno,
 aree a prato, pendii nudi e aree
 degradate



Vetiveria zizanioides è una pianta erbacea perenne cespitosa, caratterizzata da formidabile impianto radicale capace di estendersi fino a 5 m. A seguito di prove di resistenza a trazione dell'impianto radicale effettuate presso l'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli studi di Milano, con un valore di sforzo medio a rottura che si attesta sui 206 MPa (kg/mm²) il vetiver ha prestazioni tre volte più efficienti di specie arbustive tradizionali (valore medio 31.81 MPa)



La tecnologia a Prati Armati è costituita da 30 tipi di sementi non comprendenti Vetiver, caratterizzate dalla presenza di Specie auotone, graminacee e sementi in grado di resistere a temperature comprese tra -45 °C e +60 °C. A seguito di prove di resistenza a trazione dell'impianto radicale effettuate presso l'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli studi di Milano, con un valore di sforzo medio a rottura che si attesta sugli 83.16 MPa (kg/mm²)



Lunghezza dell'impianto radicale fino a 5 m

Tipologia intervento: Difesa spondale
Luogo: Fiume Noncello - Pordenone, Italia
Anno: 2002

Questa tecnica di ingegneria naturalistica può essere utilizzata anche per il ripristino della sponda di fiumi erosi. Un esempio è l'intervento realizzato sul fiume Noncello caratterizzato da morbide stagionali e interessato da innalzamento del livello di acqua con esondazioni, in modo particolare un ritiro rapido delle acque aveva provocato una frana sull'ansa che aveva richiesto l'intervento del genio Civile.



DESCRIZIONE Questa azione di mitigazione dell'evento franoso consiste nell'utilizzo dell'ingegneria naturalistica: mediante la piantumazione di piante erbacee perenni con impianti radicali a rapida e omogenea crescita, si promuove un consolidamento di qualsiasi tipo di terreno. La piantumazione di questa tecnologia a prato armato permette di rallentare o fermare il movimento di declivi e pendenze grazie agli apparati radicali in grado di raggiungere strati rocciosi resistenti in profondità e mantenere il terreno stabile nel tempo. Gli esemplari erbacei e arbustivi vengono piantumati con tecniche di idrosemina tecnica con l'utilizzo di idroseminatrici o elicotteri e vanno scelti sulla base della resistenza e capacità di adattamento al clima,

sull'ampiezza e ramificazione dei loro impianti radicali -maggiore è ampio e ramificato, maggiore sarà la tenuta dei dilavamenti- e sulla resistenza a malattie del suolo per non creare zone nude e suscettibili.

Le specie sono perenni, rustiche, pioniere (Vetiver, piante ingegnere e diverse specie di graminacee) e raggiungono una dimensione dell'ordine dei 2 metri dell'impianto radicale nell'arco di 18 mesi di sviluppo vegetativo. Hanno un impianto radicale denso >10 radici per cm² e una resistenza a rottura non inferiore a 16 MPa e fino a 205 MPa, con valori massimi fino a 468 Mpa - un acciaio di qualità media-.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è relativamente bassa, consiste nella gestione

della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o eradicazione di porzioni vecchie o malate e controllo dei livelli di umidità

EFFICIENZA Questa soluzione dell'ingegneria naturalistica oltre ad essere efficace nell'aumento della resistenza alle sollecitazioni di taglio dei terreni, riesce ad apportare mitigazioni senza intaccare o antropizzare il paesaggio montano con metodologie di contenimento più tecniche. Favoriscono l'evapotraspirazione evitando la saturazione dei terreni di profondità che causano instabilità dei versanti

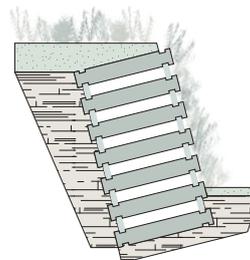
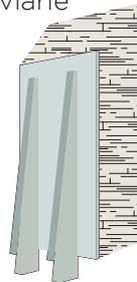
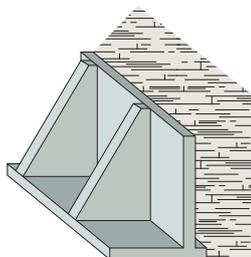
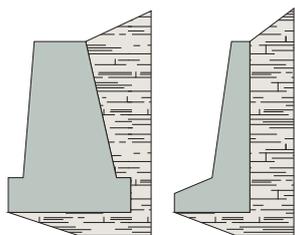
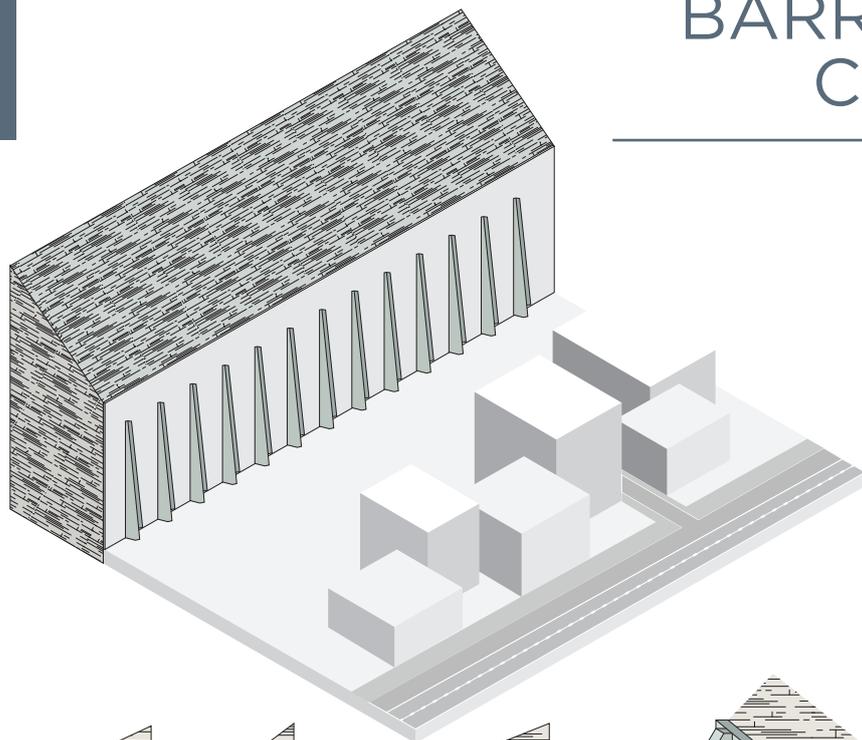
CRITICITÀ È una azione che necessita di grandi superfici e scelta di appropriate specie avendo accortezza di un costante monitoraggio



Tipologia movimento: Scorrimento
Luogo: Oropa, (BI) Italia
Anno: 2002

A seguito degli eventi franosi innescati da intense piogge (300 mm in 24 ore - 300 l/mq) sul crinale del Colle della Colma vengono asportati oltre 100 m di strada. Il terreno è costituito da sabbie grossolane miste con presenza di massi (anche ciclopici) e la pendenza si attesta sui 70-80° con forte erosione. Nonostante la frana abbia asportato il substrato fertile il prato armato costituito da oltre 15 specie erbose tra cui Lupini, Larice, Maggiociondolo e Trifogli è riuscito a prosperare e raggiungere i suoi obiettivi di controllo dell'erosione.

BARRIERE e MURI DI CONTENIMENTO



MURI A GRAVITA' - consigliati per altezze modeste $H < 3/4$ m strutture di sostegno generalmente di forma trapezoidale, realizzate in calcestruzzo, pietrame legato o secco che forniscono resistenza mediante il peso proprio

MURI A MENSOLA - consigliati per altezze elevate $4/5$ m $< H < 8/9$ m e per pendii sottoposti a movimenti strutture di sostegno armate formate da tre mensole convergenti in un unico nodo generalmente

snelle e realizzate in calcestruzzo. Forniscono resistenza mediante peso proprio e peso del terreno imbarcato. Nel caso di impiego per contrastare pendii franosi si utilizzano con fondazione su pali -portando più in profondità la zona di trasmissione del carico apportano migliorie e stabilità verso fenomeni di scorrimento.

MURI A CONTRAFFORTI - consigliati per altezze elevate $H > 8/9$ m simili ai muri a mensola, si distinguono per la

presenza di speroni di irrigidimento e sostegno della lastra laterale e per gli alti costi di realizzazione uniti alla complessità di cassetatura.

MURI DI SOSTEGNO PREFABBRICATI - consigliati per altezze elevate $H > 8/9$ m realizzati con elementi in calcestruzzo armato prefabbricati e irrigidi con costolature estese per tutta l'altezza dell'elemento - fino a terra dove si trovano i ferri di ripresa per la giunzione col cordolo gettato in

opera sul quale vengono posati - si distinguono dai muri a mensola per celerità di realizzazione dell'opera, riduzione dei costi e impiego di manodopera non necessariamente specializzata. Messi in opera mediante giunzioni ad incastro, gli elementi presentano larghezze comprese tra l'1.25 e i 2.50 m

CRIB WALLS / MURI CELLULARI - consigliati per opere provvisoriale e di pronto intervento, interventi a secco (unico

elemento ad umido fondazione a sezione min. 90 cm)

Classificati tra i muri a gravità drenanti, sono strutture modulari, prefabbricate in legno o cls che poste le une sulle altre danno vita ad un reticolo riempito poi con terreno -solitamente misto granulometrico di cava o fiume, che impedisce con il peso lo slittamento e grazie al materiale sciolto favorisce il drenaggio delle acque a monte senza dilavamenti.

STRATEGIA contenitiva

infrastrutturale

METODOLOGIA ADATTA A

adattamento

AMBITO Regione climatica alpina/ adriatica/appenninica/mediterranea

MANUTENZIONE media

EFFICIENZA alta

CRITICITÀ grandi superfici, deturpamento paesaggio naturale

COSTI alti

LOCALIZZAZIONE versanti

soggetti a frane e smottamenti in prossimità di agglomerati urbani e reti viarie

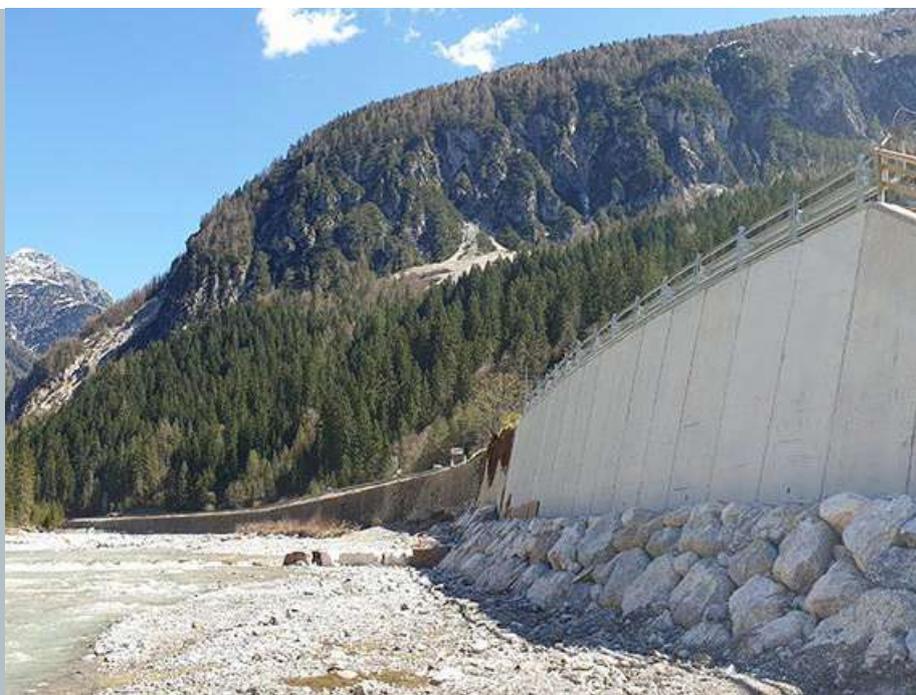
Tipologia intervento: Ricostruzione spondale

Luogo: Fiume Piave - San Pietro di Cadore, Italia

Anno: 2018-2019

La tempesta VAIA nell'ottobre del 2018 ha causato il crollo di una porzione di muro spondale del fiume Piave.

Le opere di ricostruzione del muro si è deciso di realizzarle mediante muro di contenimento prefabbricato costolonato su fondazione gettata in opera appoggiata su micropali. l'opera ha un'estensione di 63 m e un'altezza compresa tra 7.30 m e 6.00 m



DESCRIZIONE Tra le opere di consolidamento dei versanti in frana si annoverano certamente quelle dei muri di contenimento. Rappresentando soluzioni fortemente impattanti sia a livello paesaggistico che naturalistico sono da valutare con estrema cognizione e si raccomanda l'applicazione solamente laddove opere di ingegneria naturalistica non siano sufficienti a porre in sicurezza il versante interessato dall'intervento.

Le fasi costruttive prevedono:

- scavo di sbancamento
- cassetatura e imbastimento armature
- getto
- riempimento a tergo

MURI A GRAVITA' - consigliati per altezze modeste $H < 3/4$ m

MURI A MENSOLA - consigliati per altezze elevate $4/5 \text{ m} < H < 8/9 \text{ m}$ e per pendii sottoposti a movimenti

MURI A CONTRAFFORTI - consigliati per altezze elevate $H > 8/9 \text{ m}$

MURI DI SOSTEGNO PREFABBRICATI - consigliati per altezze elevate $H > 8/9 \text{ m}$

CRIB WALLS / MURI CELLULARI - consigliati per opere provvisoriale e di pronto intervento, interventi a secco (unico elemento ad umido fondazione a sezione min. 90 cm)

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è media, consiste nella verifica periodica delle condizioni di portanza della barriera, controllo della presenza di cedimenti, crepe

e infiltrazioni e di una verifica immediata in seguito a movimenti ed eventi franosi.

EFFICIENZA Questa soluzione invece della mitigazione -come si propone l'ingegneria naturalistica-, prescrive una strategia di adattamento offrendo una soluzione più costante al prezzo di una modificazione perenne del contesto naturalistico.

CRITICITÀ Si associa a questa azione di adattamento la modificazione dell'aspetto del contesto naturalistico nel quale si inserisce, nonostante si possano predisporre rinverdimenti, rappresentano soluzioni con capacità e volumetria di grandi dimensioni.



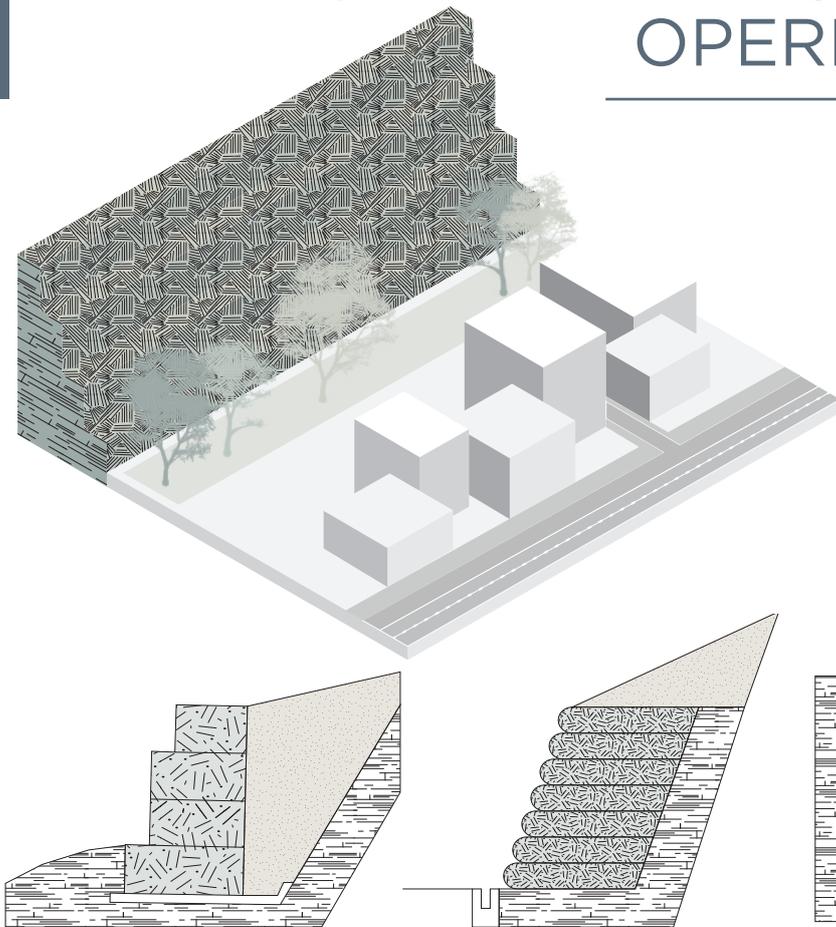
Tipologia intervento: Contenimento

Luogo: Castleford, west Yorkshire

Anno: 2019

Per il contenimento di un'area adibita a discarica contenente oltre 105 tonnellate di rifiuti in plastica, viene installata questa tecnologia Crib Wall su una superficie di 1106 metri quadri nel comune di Glasshoughto Waystone. Altro impiego possibile di questa tecnologia oltre al contenimento e alla messa in sicurezza di versanti caratterizzati da frane e smottamenti

STABILIZZAZIONE PENDII CON OPERE DI SOSTEGNO



STRATEGIA contenitiva
METODOLOGIA ADATTA A
mitigazione

AMBITO Regione climatica alpina/
adriatica/appenninica/mediterranea

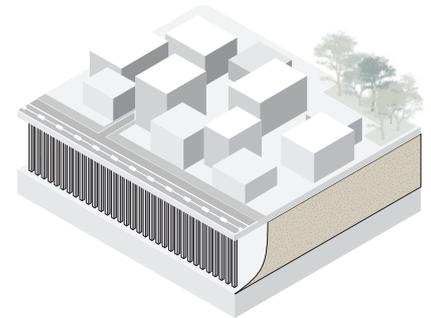
MANUTENZIONE bassa

EFFICIENZA media

CRITICITÀ modificazione paesaggio
naturale

COSTI medi

LOCALIZZAZIONE versanti
soggetti a frane e smottamenti



GABBIONATE - consigliati per pendii in frana, ripristino in tempi celeri della viabilità interrotta e erosione di sponde fluviali o coste
si compongono di elementi di sostegno modulari in rete metallica indipendenti - affiancati e appoggiati - solitamente dell'ordine dei 2 m³ (1mx1mx2m) rinzeppati con pietrame e ghiaia non gelivi o friabili. I materiali lapidei dovranno avere peso specifico non inferiore a 22 kN/m³

Sono autoportanti -in grado di sostenere il terreno retrostante senza necessità di fondazioni-

estremamente permeabili grazie ai vuoti e presentano una conformazione a 'zigurat' sfalsata e rastremata verso l'alto.
TERRE ARMATE e RINFORZATE - consigliati per infrastrutture viarie e per impatti paesaggistico ridotto
realizzate mediante rinforzo meccanico e geosintetico -barre e strisce metalliche nel caso di armature e fogli geosintetici nel caso di rinforzi- aumentano la resistenza a trazione e la compattezza del terreno.

Procedendo per strati orizzontali si inserisce tra ciascuno strato il rinforzo e si compatta il terreno,

chiudendo poi con un paramento di rivestimento verticale a piastre metalliche o elementi in cls.

PARATIE DIAFRAMMI IN CALCESTRUZZO - consigliati per opere di capacità importante e impermeabili
gettati in opera o assemblati a secco in cls prefabbricato con incastri a giunzione - nel caso di utilizzo di elementi prefabbricati si realizza un cordolo armato a sormonto per solidarizzare-

PARATIE PALANCOLE METALLICHE - consigliati per opere temporanee o per opere permanenti come porti, banchine, argini e canali

elementi metallici fissati gli uni agli altri per saldatura o bullonatura e infissi nel terreno tramite percussione, vibratura o pressione. Presentano peso limitato, facilità di mobilitazione, vita utile elevata e possibilità di reimpiego

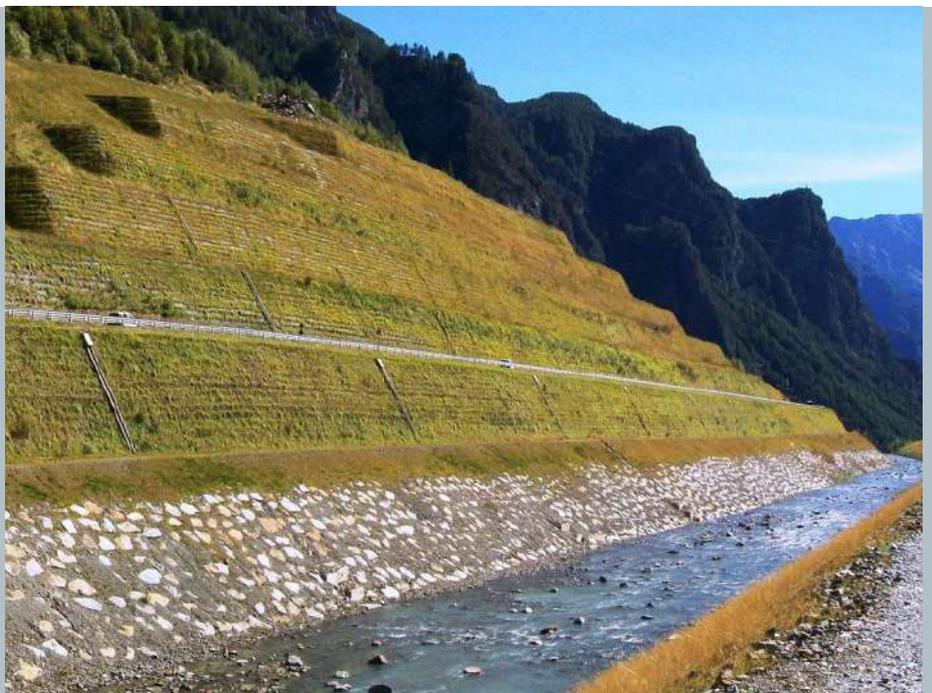
BERLINESI DI PALI- consigliati per spazi ristretti tipici degli ambienti urbani
sistemi di pali -della dimensione dell'ordine dei 60-80 cm di d- adiacenti, trivellati e gettati: accostati o con interesse solidarizzati con un cordolo armato a sormonto.

Tipologia intervento: Rinforzo pendio

Luogo: Val Pola - Sondrio, Italia

Anno: 2011

A seguito della frana che ha interessato la Val Pola, vengono commissionati rinforzi e contenimento dei pendii interessati. Questo intervento realizzato con la tecnica della terra rinforzata ha interessato un'area di 25.000 metri quadri a seguito rinverdità con piantumazioni a basso fusto.



DESCRIZIONE Tra le opere di consolidamento dei versanti in frana si annoverano certamente quelle delle opere di sostegno. Rappresentando soluzioni fortemente impattanti sia a livello paesaggistico che naturalistico sono da valutare con estrema cognizione e si raccomanda l'applicazione solamente laddove opere di ingegneria naturalistica non siano sufficienti a porre in sicurezza il versante interessato dall'intervento.

GABBIONATE - consigliati per pendii in frana, ripristino in tempi celeri della viabilità interrotta e erosione di sponde fluviali o coste
TERRE ARMATE e **RINFORZATE** - consigliati per infrastrutture viarie e per

impatti paesaggistico ridotto
PARATIE
DIAFRAMMI IN CALCESTRUZZO - consigliati per opere di capacità importante e impermeabili
PALANCOLE METALLICHE - consigliati per opere temporanee o per opere permanenti come porti, banchine, argini e canali
BERLINESI DI PALI- consigliati per spazi ristretti tipici degli ambienti urbani

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è bassa, consiste nella verifica periodica delle condizioni di portanza degli elementi, controllo delle presenze di cedimenti, crepe e infiltrazioni e di una verifica immediata in seguito a movimenti ed eventi franosi.

EFFICIENZA Questa soluzione atta alla mitigazione permette di ottenere benefici nella gestione dei versanti caratterizzati da movimenti franosi con alta efficienza senza intaccare il patrimonio naturale, poiché sono predisposte alla mimetizzazione.

CRITICITÀ Si associa a questa azione di adattamento la modificazione dell'aspetto del contesto naturalistico nel quale si inserisce, nonostante si possano predisporre rinverdimenti e siano facilmente mimetizzabili, si apporta comunque una modificazione fisica di versanti, argini e coste.



Tipologia intervento: Difesa suolo
Luogo: Toscana - Italia
Anno: 2019

Per la messa in sicurezza e il contenimento di un versante di montagna sono state realizzate 5 corsi di gradoni in gabbionate elettrosaldate scatolari con dimensione 60 m^3 , legate tra loro da una clippatrice ad aria compressa e costipate con pietre calcaree locali a granulometria compresa tra gli 80 e i 150 cm. L'effetto è assimilabile a quello di un muro a gravità drenante e riciclabile senza necessità di fondazione

A. INQUINAMENTO

A. INQUINAMENTO

In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione dell'inquinamento atmosferico.

La presenza di agenti inquinanti e di una bassa qualità dell'aria è denominatore comune di molti eventi climatici dannosi.

AZIONI INQUINAMENTO

I.01 _ SUPERFICI TRATTATE CON MATERIALI FOTOCATALITICI

I.02 _ PAVIMENTAZIONI FOTOCATALITICHE

I.03 _ RINATURALIZZAZIONE E DEPAVIMENTAZIONE

I.04 _ BARRIERA O BUFFER VEGETALE

I.05 _ RALLENTAMENTO CIRCOLAZIONE VEICOLARE

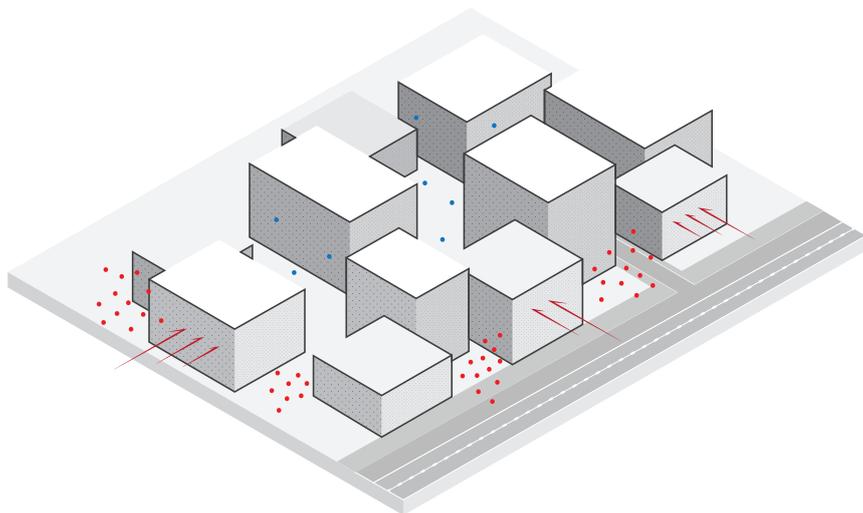
I.06 _ SOSTITUZIONE VEICOLARE

I.07 _ SOSPENSIONE VEICOLARE

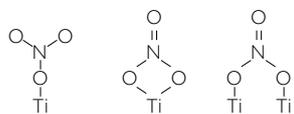
I.08 _ COPERTURE VERDI

I.09 _ VERDE VERTICALE O PARETI VERDI

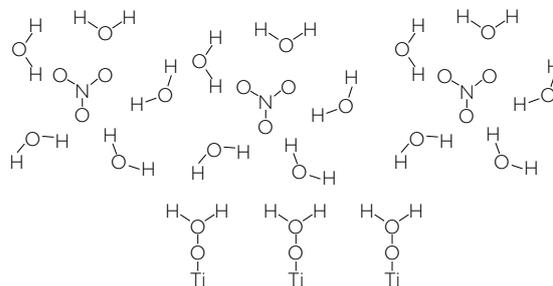
SUPERFICI TRATTATE CON MATERIALI FOTOCATALITICI



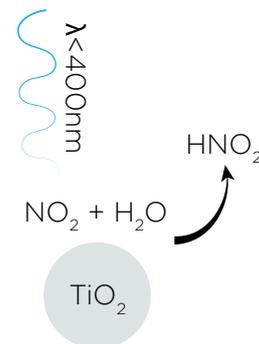
STRATEGIA architettonica /spazio esterno
METODOLOGIA ADATTA A mitigazione
AMBITO Regione climatica generica
MANUTENZIONE bassa
EFFICIENZA media
CRITICITÀ grandi superfici, irraggiamento con raggi UV a lunghezza d'onda <400 nm per numero di ore sufficiente
COSTI alti
LOCALIZZAZIONE Pareti esterne edifici urbani, pareti interne, tetti



Reazione NO₂ e TiO₂



Reazione NO₂ e TiO₂



Progetto: Chiesa del Giubileo o di Dio padre Misericordioso
Architetto: Richard Meier
Location: Roma
Anno: 2003

I gusci sono realizzati con pannelli autoportanti, prefabbricati in calcestruzzo a doppia curvatura, il materiale utilizzato si chiama cemento Bianco TX Millenium ed è addizionato con particelle fotocatalitiche capaci di ossidare gli agenti inquinanti -prodotto da Italcementi-.



DESCRIZIONE L'utilizzo di malte cementizie, intonaci, vernici e materiali da costruzione addizionati con biossido di Titanio (TiO₂) si sono rivelate utili nel decomporre e degradare una vasta quantità di sostanze chimiche nocive tramite il processo di fotocatalisi. Il processo fotocatalitico prevede che si aggiungano nanoparticelle di biossido di Titanio -sensibili alla luce- a materiali da rivestimento sia interno che esterno, questi tramite la luce assorbita e trasformata in energia chimica producono ossidanti di breve durata come ossigeno e radicali ossidrilici capaci di agire su diversi inquinanti riducendone l'effetto dannoso - in particolare gli ossidi di azoto responsabili del deperimento dell'Ozono, trasformandoli in acido nitrico-

Attraverso una serie di reazioni fotochimiche, infatti, favoriscono la decomposizione di inquinanti atmosferici -tra i quali si riportano sostanze come aromatici policondensati, benzene, nitrobenzene,

metanolo, etanolo, bisfenolo, xylene, n-ettano metanolo, acetone, etil-etero, biossido di zolfo, monossido di carbonio, particolato atmosferico PM10, ammoniaca, anidride solforosa, formaldeide, triclotilene e percloroetilene- che in contatto con la superficie trattata vengono trasformate in CO₂, azoto, Sali e calcare: generando residui facilmente lavabili con le piogge. Oltre a questa particolare caratteristica che riserva loro il nome 'mangia smog', le vernici fotocatalitiche fungono anche da battericidi e fungicidi. Si rende noto che esistono delle variazioni di efficienza in relazione a diverse concentrazioni di TiO₂, al tipo e all'intensità dei raggi ultravioletti e ad altri aspetti correlati.

MANUTENZIONE Questa tecnologia non necessita di manutenzione specifica, bensì favorisce un allungamento dei tempi di intervento e diminuisce l'entità degli interventi di manutenzione dell'edificio a cui viene applicata

EFFICIENZA Le superfici trattate con vernici fotocatalitiche restano esteticamente inalterate più a lungo, sono idrofiliche quindi facilmente pulibili con semplici getti d'acqua e non subiscono alterazioni.

All'interno della relazione tecnica del CNR (Allegrini, 2003) si cita un'efficienza nella degradazione degli Ossidi di Azoto pari a 30 T/anno per ogni km² rivestito, secondo altre fonti ogni mille metri quadri di superficie trattata con vernice fotocatalitica permetterebbero una riduzione di Nox pari a quella di 56 alberi adulti.

CRITICITÀ Per funzionare correttamente e ottenere il beneficio stimato questa tecnica necessita di grandi superfici predisposte all'impiego, poiché la migioria è riscontrabile maggiormente nelle dirette vicinanze, che vengano irraggiate per un numero di ore sufficiente e con una lunghezza d'onda di raggi ultravioletti corretta <400 nm



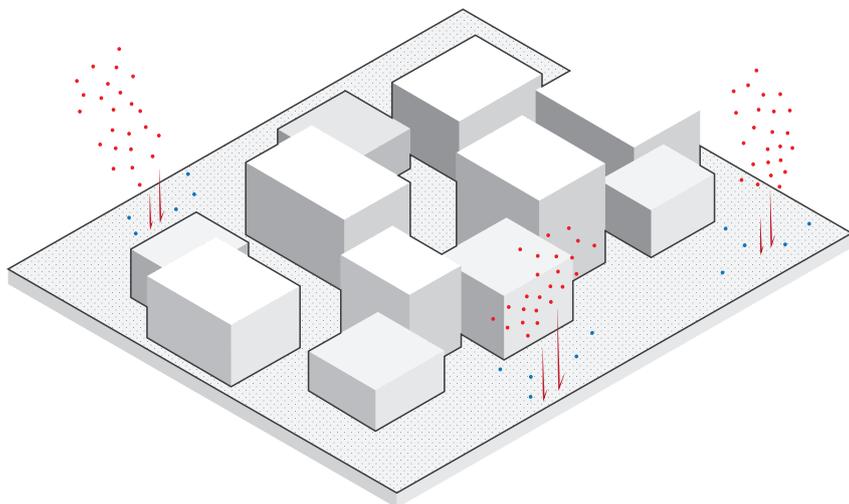
Progetto: Padiglione Italia - Palazzo Italia

Architetto: Nemesi & Partners Srl

Location: Expo Milano 2015_ Ro fiere

Anno: 2015

La facciata ramificata che segue l'idea della 'foresta urbana' è realizzata con calcestruzzo dalle proprietà fotocatalitiche e consta di 2.000 tonnellate di cemento biodinamico i.active oltre 700 pannelli ramificati, 4.000 mq di copertura velica - 400 tonnellate di acciaio

PAVIMENTAZIONI
FOTOCATALITICHE

STRATEGIA urbana / spazio esterno areale

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica generica

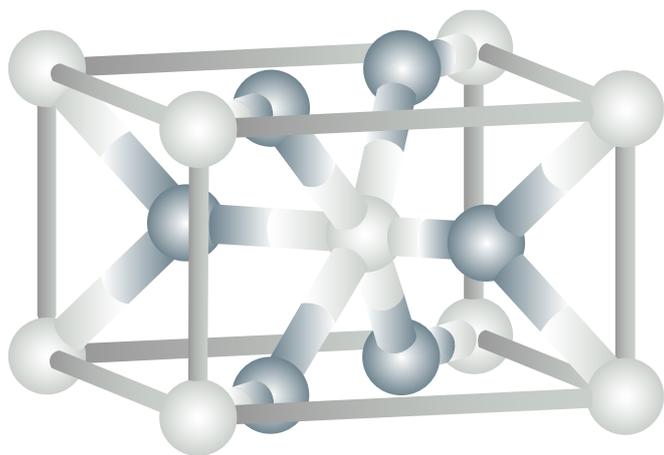
MANUTENZIONE media

EFFICIENZA

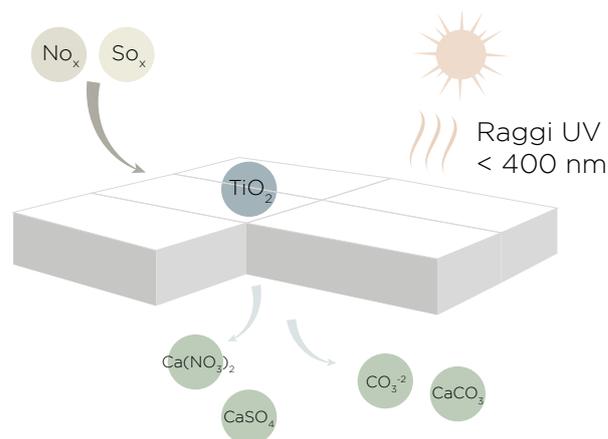
CRITICITÀ grandi superfici, irraggiamento con raggi UV a lunghezza d'onda <400 nm per numero di ore sufficiente, costi elevati

COSTI

LOCALIZZAZIONE Spazi pubblici, piazze, strade pedonali, ciclabili e parcheggi



Struttura molecolare TiO_2 Biossido di Titanio



Processo Fotocatalisi TiO_2 con NO_x e SO_x

Progetto: Scuola Summa Aldapeta
Architetto: Antonio Lorén e Olatz Maestre - IDOM
Location: San Sebastian, Guipuzcoa_Spagna
Anno: 2019

Progetto di demolizione e ristrutturazione della preesistente scuola del XIX secolo si articola su un terreno di 9.972 m² dove è stata ricostruita la topografia originale del terreno, utilizzando il cemento a doghe fotocatalitiche ecoGranic. La quantità di NO_x degradata in 1 ora da ecoGranic su 1 m² è di 78 mg/m² (= 0,078 g/m²)



DESCRIZIONE L'utilizzo di pavimentazioni fotocatalitiche segue lo stesso principio delle malte cementizie e dei materiali da costruzione, addizionate con biossido di Titanio (TiO₂) decompongono e degradano una vasta quantità di sostanze chimiche nocive (si rimanda a strategia 'superfici trattate con materiali fotocatalitici') tramite il processo di fotocatalisi.

Esistono differenti tecniche di posa delle pavimentazioni fotocatalitiche come quella in masselli e lastre autobloccanti usata principalmente per camminamenti e piste ciclabili, ma la più diffusa per la realizzazione delle pavimentazioni carrabili è quella bitume-cemento: uno strato di conglomerato bituminoso addizionato e rivestito con malta cementizia fotocatalitica o l'applicazione diretta della malta cementizia sul conglomerato bituminoso esistente.

Questa strategia è adatta a contesti particolarmente

inquinati come arterie stradali fortemente battute, canyon stradali (strada delimitata su ogni lato da edifici) o all'interno di aree e lungo percorsi dove è auspicabile una qualità dell'aria maggiore come ampi spazi pubblici e piste ciclabili. Questa tecnologia è tanto più efficace quanto più la sua collocazione è irradiata, ventilata e di colore chiaro.

MANUTENZIONE Questa tecnologia necessita di una manutenzione media poiché può essere interessata da fessurazioni o distacchi e deterioramenti di masselli. Nel caso di fessurazione si procede scarificando la parte interessata e sostituendola con un getto, nel caso di deterioramenti e distacchi si procede alla sostituzione dell'elemento danneggiato.

EFFICIENZA Questa tecnica, ha un comportamento passivo e genera benefici alla qualità dell'aria senza necessità di particolari azioni, le superfici trattate con

vernici fotocatalitiche restano esteticamente inalterate più a lungo, sono idrofiliche quindi facilmente pulibili con semplici getti d'acqua e non subiscono alterazioni.

All'interno della relazione tecnica del CNR (Allegrini, 2003) si cita un'efficienza nella degradazione degli Ossidi di Azoto pari a 30 T/anno per ogni km² rivestito, secondo altre fonti ogni mille metri quadri di superficie trattata con vernice fotocatalitica permetterebbero una riduzione di Nox pari a quella di 56 alberi adulti.

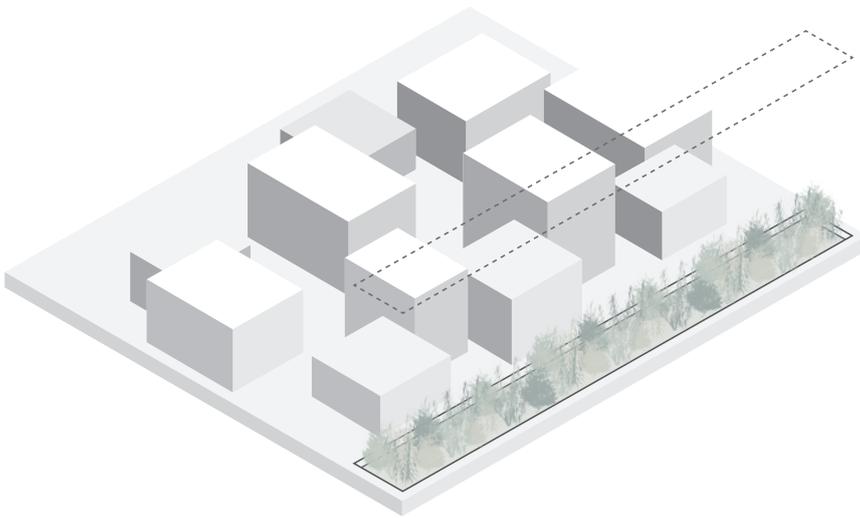
CRITICITÀ Per funzionare correttamente e ottenere il beneficio stimato questa tecnica necessita di grandi superfici predisposte all'impiego, poiché la miglioria è riscontrabile maggiormente nelle dirette vicinanze, che vengano irraggiate per un numero di ore sufficiente e con una lunghezza d'onda di raggi ultravioletti corretta <400 nm



Progetto: Plaza del Patrocinio
Architetto: D. Jiménez e J. A. Marín
Location: Malaga_Spagna
Anno: 2019

L'area rettangolare della piazza antistante il complesso cimiteriale di San Miguel -risalente al XIX e XX secolo- è stata ristrutturata e valorizzata con un investimento comunale di 650.000 euro. L'area centrale è stata pavimentata con lastre fotocatalitiche, nei toni crema, sabbia, tostato o grigio del tipo ecoGranic e con un disegno open space privo di elementi di arredo urbano

RINATURALIZZAZIONE E DEPAVIMENTAZIONE



STRATEGIA urbana / spazio esterno areale, naturale, vegetale

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica generica

MANUTENZIONE bassa

EFFICIENZA

CRITICITÀ grandi superfici, demolizione manto esistente

COSTI

LOCALIZZAZIONE Spazi pubblici, piazze, strade pedonali e parcheggi



Ilex spp. con un fattore di assorbimento di 0,334 g/pianta/giorno (aquifoliacee noto comunemente come Agrifoglio specie arbustiva, a fogliame sempreverde o deciduo, fiori poco appariscenti, i frutti a bacche variamente colorate, maturano d'inverno)



Ilex cornuta con un fattore di assorbimento di 0,191 g/pianta/giorno (comunemente detto agrifoglio cinese appartiene alla famiglia delle aquifoliacee, è una specie arbustiva a fogliame sempreverde, crescita lenta e denso fogliame che può raggiungere i 3 metri di altezza)



Ilex cassine con un fattore di assorbimento di 0,191 g/pianta/giorno (conosciuto come Cassena appartiene alla famiglia degli agrifogli, raggiunge un'altezza fino a 10 m, ha foglie sempreverdi verdi scure e lucide, fiori bianchi a corolla e frutto del tipo drupa rossa)



Viburnum spp. con un fattore di assorbimento di 0,253 g/pianta/giorno (conosciuto come Viburno appartiene alla famiglia delle Caprifogliaceae, arbusti capaci di raggiungere anche 5 m di altezza a fogliame caduco o persistente e fiori bianchi riuniti in corimbi)



Ligustrum vulgare con un fattore di assorbimento di 0,253 g/pianta/giorno (conosciuto come Ligustro appartiene alla famiglia delle Oleaceae è una pianta cespugliosa a foglie coriacee, fiori bianchi, densi di forma ovato-piramidale e i frutti a bacche carnose di colore nero lucido)



Ilex opaca con un fattore di assorbimento di 0,191 g/pianta/giorno (comunemente detto agrifoglio americano appartiene alla famiglia delle aquifoliacee, è una specie arbustiva a fogliame sempreverde, fiori bianco verdastri raccolti in cime peduncolate e denso fogliame che può raggiungere i 10 metri di altezza)

Progetto: [park]ing-courtrai
Progettista: WAGON Landscape
Location: Kortrijk, Belgio
Anno: 2014

realizzato in occasione dell'apertura del Museo del lino ai margini del fiume Lys e con un costo di 60.000 €, utilizza 2000 mq di un parcheggio per depavimentarlo e trasformarlo in un giardino



DESCRIZIONE Le opere di rinaturalizzazione e piantumazione di specie vegetali predisposte all'assorbimento di CO₂ e particolato e la de-pavimentazione di porzioni all'interno di aree impermeabili, rappresentano una valida strategia per la gestione dell'inquinamento atmosferico. Il processo di evapotraspirazione che interessa ogni albero agisce sull'umidità circostante rilasciando vapore acqueo e favorendo un abbassamento di temperatura nelle immediate vicinanze che con condizioni di chioma folta può raggiungere i 3°C. De-pavimentare porzioni di superficie impermeabilizzata o artificiale e renderla di nuovo permeabile rivegetandola favorisce sia il miglioramento della qualità dell'aria sia la permeabilità dei suoli anche grazie agli impianti radicali che intervengono sulla porosità del suolo. Le de-pavimentazioni a seconda dell'entità possono essere utilizzate per la messa a dimora di arbusti o alberi di piccole dimensioni.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o abbattimento degli esemplari vecchi o ammalati e controllo dei livelli di umidità

EFFICIENZA Influenzando completamente la sfera climatico-ambientale -con un aumento della qualità dell'aria, la riduzione di runoff superficiale e potere di filtraggio e decontaminazione delle acque superficiali-, contribuisce a mitigare l'inquinamento e apporta beneficio a livello di gestione degli agenti inquinanti, migliorando microclima, confort termico e qualità dell'aria. Per quanto concerne l'efficienza in termini di sottrazione dall'atmosfera delle sostanze inquinanti, si rimanda alla capacità intrinseche delle singole specie adatte ad essere piantumate.

CRITICITÀ la criticità maggiore risiede certamente

nella necessità di demolizioni e risistemazioni di manti esistenti con annesse opere di smaltimento e reimpiego delle porzioni rimosse.

ARBUSTI più indicati per assorbimento O₃
Ilex spp. fattore di assorbimento 0,334 g/pianta/giorno
Ligustrum vulgare fattore di assorbimento 0,253 g/pianta/giorno
Viburnum spp. fattore di assorbimento 0,253 g/pianta/giorno

ARBUSTI più indicati per assorbimento NO₂
Ilex cassine fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno
Ilex cornuta fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno
Ilex opaca fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno

ARBUSTI più indicati per assorbimento PM₁₀
Ilex cassine con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno
Ilex cornuta con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno
Ilex opaca con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno

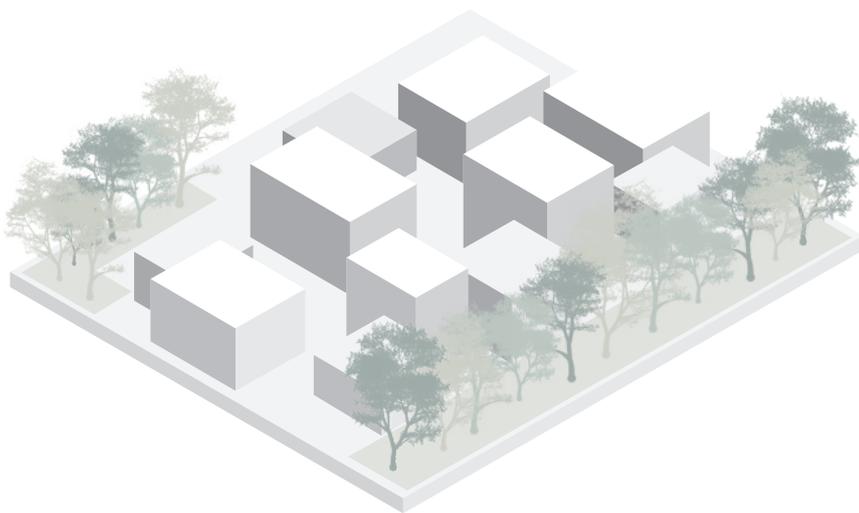
ARBUSTI più indicati per assorbimento CO₂
Ilex cassine con un fattore di assorbimento 0,0587 t/anno
Ilex cornuta con un fattore di assorbimento 0,0587 t/anno
Ilex opaca con un fattore di assorbimento 0,0180 t/anno



Progetto: Scuola media Oliver
Progettista: Depave
Location: Portland, OR - USA
Anno: 2021

realizzato all'interno di un progetto di de-pavimentazione di tre scuole nel distretto del Centellian School District Expansion è stato protagonista della rimozione di 3900 piedi quadrati di asfalto (circa 360 metri quadri) che impedivano il deflusso annuo di 39.000 galloni di acqua piovana (circa 150.000 litri). L'area del cortile scolastico è stata trasformata in un'area giochi naturalistica con piante autoctone, alberi e sentieri.

BARRIERA BUFFER VEGETALE



STRATEGIA urbana / spazio esterno areale, naturale, vegetale

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica generica

MANUTENZIONE bassa

EFFICIENZA

CRITICITÀ grandi superfici, distanza rispetto a nuclei abitati

COSTI

LOCALIZZAZIONE Spazi aperti di grandi dimensioni, radure, prati, terreni disboscati



Fagus sylvatica con un fattore di assorbimento 47,950 g/pianta/giorno (conosciuto comunemente come faggio appartiene alla famiglia delle Oleaceae e un albero di prima grandezza che raggiunge dimensioni di 30-40 m, presenta

un fusto dritto con corteccia liscia e sottile e fogliame denso. Si tratta di una specie caducifolia con un legno molto duro e compatto)



Liriodendron tulipifera con un fattore di assorbimento 36,626 g/pianta/giorno (noto come albero dei tulipani appartiene alla famiglia delle Magnoliaceae e un albero di prima grandezza che

raggiunge dimensioni fino a 50 m in condizioni di habitat favorevole. Presenta un fusto dritto capace di raggiungere i 2-3 m di diametro e un legname tenero e venature compatte)



Cedrus libani con un fattore di assorbimento 37,952 g/pianta/giorno (detto anche cedro del Libano appartiene alla famiglia delle Pinacee e può raggiungere anche di 40 m di altezza,

presenta un tronco liscio con densa ramificazione e foglie aghiformi).



Fraxinus excelsior con un fattore di assorbimento 42,70 g/pianta/giorno (conosciuto comunemente come frassino maggiore appartiene alla famiglia delle Oleaceae e un albero di prima grandezza che

raggiunge dimensioni fino a 40 m, presenta un fusto dritto, cilindrico con corteccia liscia e olivastro e foglie grandi e caduche)



Pseudotsuga menziesii con un fattore di assorbimento 95,674 g/pianta/giorno (comunemente detto abete di Douglas appartiene alla famiglia delle Pinacee ed è una conifera

sempreverde. Può raggiungere altezze anche di 70 m, presenta una corteccia sugherosa e spessa circa 20 cm con foglie poste a spirale)



Picea abies con un fattore di assorbimento 30,356 g/pianta/giorno (comunemente detto abete rosso appartiene alla famiglia delle Pinacee ed è una conifera sempreverde. Può

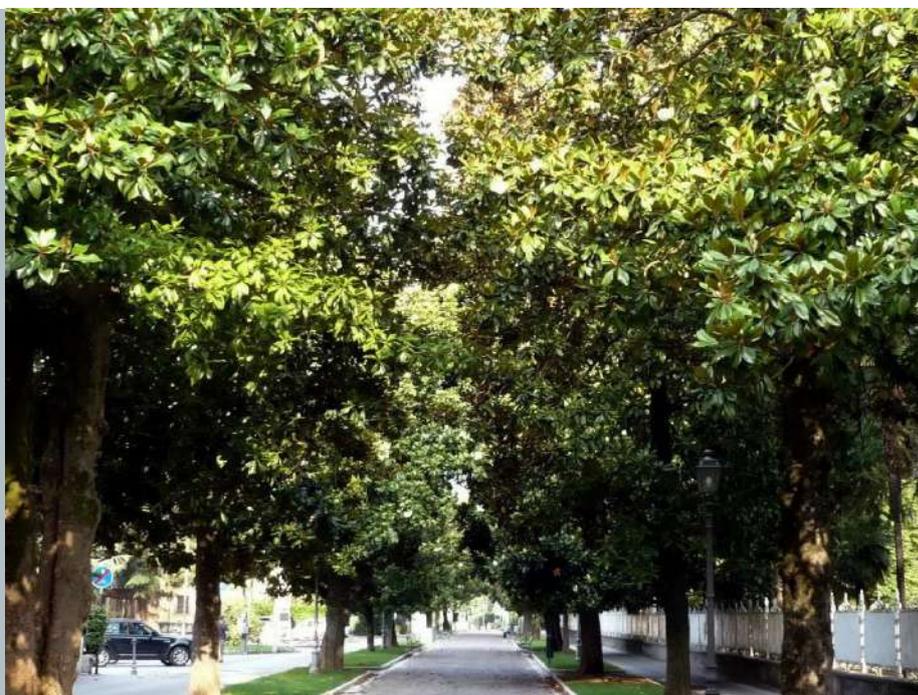
raggiungere altezze anche di 40 m, presenta una corteccia sottile e foglie aghiformi a crescita tendente al piano orizzontale)

Tipologia intervento: Alberatura passaggio pedonale

Luogo: Via delle Magnolie, Palermo - Italia

Anno: 1920-oggi

I 16 esemplari di *Ficus macrophylla columnaris* presenti sulla passeggiata di Via delle Magnolie, sommati contano un apparato fogliare con una superficie pari a quasi un ettaro 7.500 m² che permettono l'abbassamento delle temperature nel quartiere di 2-3 °C riducendo inquinamento e emissioni per il raffrescamento delle abitazioni. I cittadini vogliono trasformarlo in bosco urbano liberandoli dal cemento che li ospita ma che è diventato opprimente per l'impianto radicale.



DESCRIZIONE Un filare o un sistema di alberi, rappresenta una soluzione non solo a livello di confort acustico per l'assorbimento dei rumori o per la gestione delle forti correnti per il suo potere di frangivento naturale, ma anche di benessere fisico grazie all'assorbimento della CO₂ e sostanze inquinanti. Alcune specie arboree sono in grado di assorbire gas inquinanti e far depositare sulla superficie fogliare il particolato atmosferico facendolo dilavare poi dalle piogge che portandolo nel suolo -dove alcuni organismi svolgono processi di neutralizzazione- viene processato. Questa strategia è adatta a contesti che presentano una fascia verde preesistente adatta alla piantumazione o che dispongano di una porzione di terreno trasformabile e adattabile allo scopo. Solitamente queste condizioni sono riscontrabili ma soprattutto necessarie nelle zone periferiche, dove aree industriali a

forte emissione di sostanze inquinanti incontrano zone e quartieri residenziali.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o abbattimento degli esemplari vecchi o ammalati e controllo dei livelli di umidità

EFFICIENZA Questa tecnica permette una separazione tra aree a diversa destinazione d'uso dove anche solo una può essere inquinante, favorendo l'assorbimento di agenti inquinanti per migliorare la qualità dell'aria. Per quanto concerne l'efficienza in termini di sottrazione dall'atmosfera delle sostanze inquinanti, si rimanda alla capacità intrinseche delle singole specie adatte ad essere piantumate.

CRITICITÀ la criticità maggiore risiede certamente nella necessità di grandi spazi impiegabili allo scopo e nella

scelta della specie corretta da piantumare che resista a temperature, terreni, e malattie.

Tra le specie più efficaci nell'assorbimento di particolari inquinanti osserviamo ALBERI più indicati per assorbimento O₃
 Fagus sylvatica con un fattore di assorbimento 47,950 g/pianta/giorno
 Fraxinus excelsior con un fattore di assorbimento 42,70 g/pianta/giorno
 Liriodendron tulipifera con un fattore di assorbimento 36,626 g/pianta/giorno
 ALBERI più indicati per assorbimento NO₂
 Fagus sylvatica con un fattore di assorbimento 44,174 g/pianta/giorno
 Fraxinus excelsior con un fattore di assorbimento 43,206 g/pianta/giorno
 Liriodendron tulipifera con un fattore di assorbimento 42,563 g/pianta/giorno
 ALBERI più indicati per assorbimento PM₁₀
 Pseudotsuga menziesii con un fattore di assorbimento 95,674 g/pianta/giorno
 Cedrus libani con un fattore di assorbimento 37,952 g/pianta/giorno
 Picea abies con un fattore di assorbimento 30,356 g/pianta/giorno
 ALBERI più indicati per assorbimento CO₂
 Populus alba con un fattore di assorbimento 6,0140 t/anno
 Cedrus atlantica con un fattore di assorbimento 4,9742 t/anno
 Quercus rotundifolia con un fattore di assorbimento 3,3856 t/anno



Realizzazione di un viale alberato:
 messa a dimora di nuove
 alberature clima resistenti.
 Maggiore ombreggiatura e
 riduzione delle isole di calore.

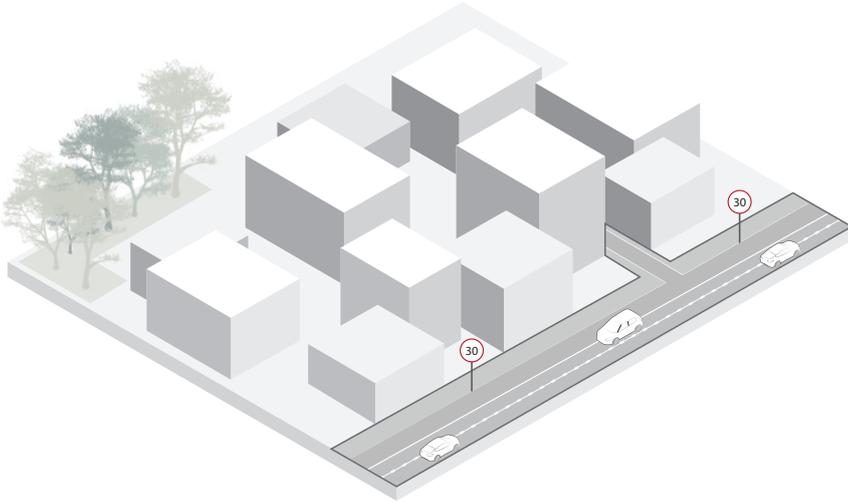
Tipologia intervento: Alberatura asse viario

Luogo: Viale XI Agosto, via Benedetto Croce, via Goffredo Mameli, via Mannelli, Largo Alcide de Gasperi-Lungarno Aldo Moro, via Rocca Tedalda, via Filippo Strozzi, piazza Mentana, piazza Tasso, via Salvi Cristiani Firenze - Italia

Anno: 2023

Il progetto da 2,3 milioni di euro che la città di Firenze intende mettere in atto, coinvolge 5 quartieri, circa 2000 metri lineari e 176 nuove unità arboree (aceri, querce e Ginko). Questo progetto rientra negli obiettivi comunali di destinare non 24 ma bensì 30 metri quadri di verde pro-capite nella città fiorentina a partire dalle aree maggiormente inquinate con le strade scelte.

RALLENTAMENTO CIRCOLAZIONE VEICOLARE



STRATEGIA urbana / trasporti, viabilità

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica generica

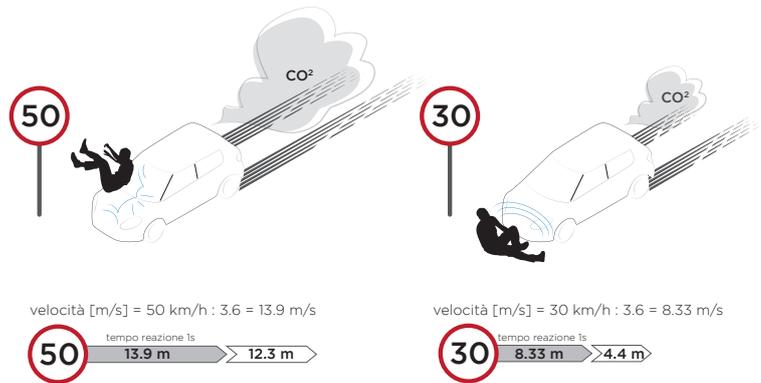
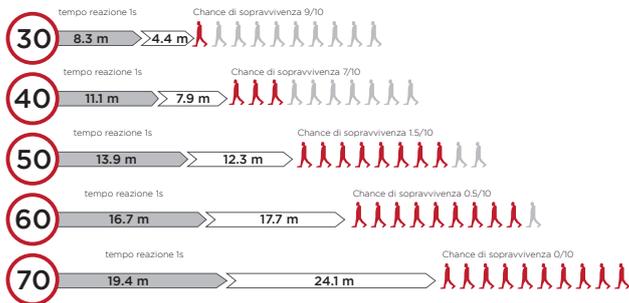
MANUTENZIONE nulla

EFFICIENZA media

CRITICITÀ riluttanza cittadinanza, aumento infrazioni

COSTI bassi

LOCALIZZAZIONE arterie stradali urbane



Spazio di frenata = Spazio di reazione + Spazio di arresto

Spazio di reazione $1s < x < 2s$ = tempo necessario a realizzare la presenza di un ostacolo

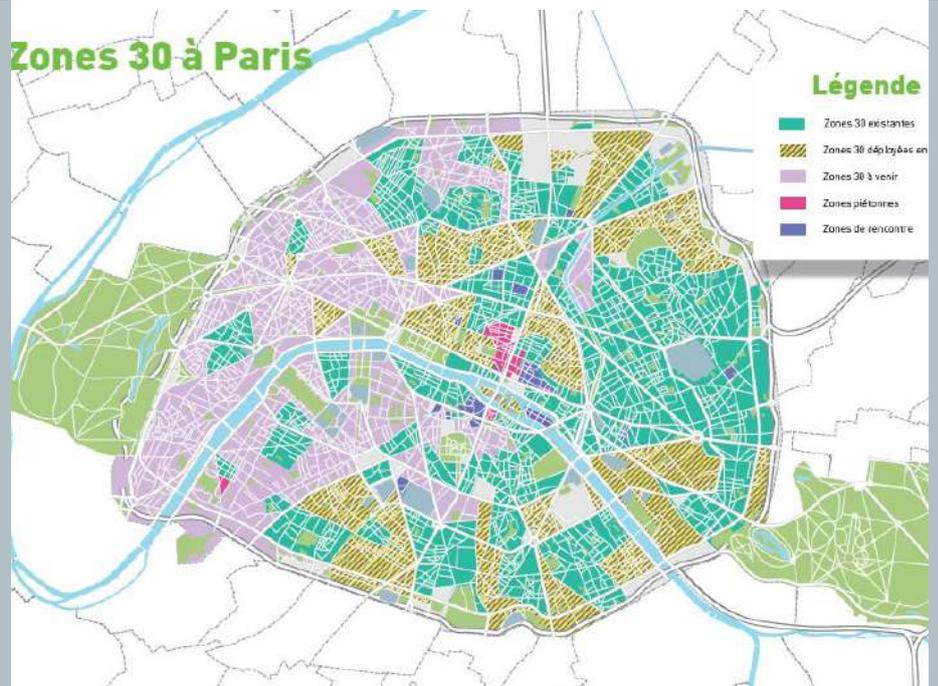
$$\text{Spazio di arresto} = \frac{\text{velocità [m/s]}^2}{2 \times \text{gravità } 9,8 \text{ [m/s]} \times [0,8 \text{ (strada asciutta)} < x < 0,05 \text{ (strada ghiacciata)}]}$$

$$\text{Spazio di arresto} = \frac{(30 \text{ km/h} : 3,6)^2 = (8,3 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ [m/s]} \times 0,8} = 4,4 \text{ m}$$

$$\text{Spazio di arresto} = \frac{(50 \text{ km/h} : 3,6)^2 = (13,9 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ [m/s]} \times 0,8} = 12,3 \text{ m}$$

Tipologia intervento: zone 30 km/h
Luogo: Parigi - Francia
Anno: 2022

L'amministrazione parigina sotto la sindaco Anne Hidalgo ha sottoposto ai cittadini una consultazione pubblica sull'istituzione delle zone 30 in tutte le strade di Parigi esclusa la tangenziale. La Convenzione dei cittadini per il clima aveva già fatto notare la potenzialità in termini di inquinamento risparmiato abbassando il limite di velocità -guidando più lentamente i veicoli consumano meno carburante e rilasciano meno CO2- nonché il contributo in termini di sicurezza stradale e incoraggiamento all'utilizzo di mezzi di trasporto alternativi.



DESCRIZIONE Attraverso la combustione di ogni kg di idrocarburi vengono emessi nell'aria un quantitativo di circa 3 kg di CO₂ assimilabili a circa 1,5 m³ di gas. Per ogni 50 litri di benzina (C₈H₁₈) pertanto si emettono circa 60 m³ di CO₂.

Moltiplicando questo indicatore per il parco macchine della città presa a riferimento si riesce ad ottenere approssimativamente l'inquinamento atmosferico generato dal traffico veicolare per mezzi privati.

Una volta ottenuto questo valore si può mettere in relazione ai valori medi di inquinamento registrati dalla letteratura e dai report esistenti (utilizzando quelli più aggiornati possibili) e calcolare quanta percentuale è in esubero.

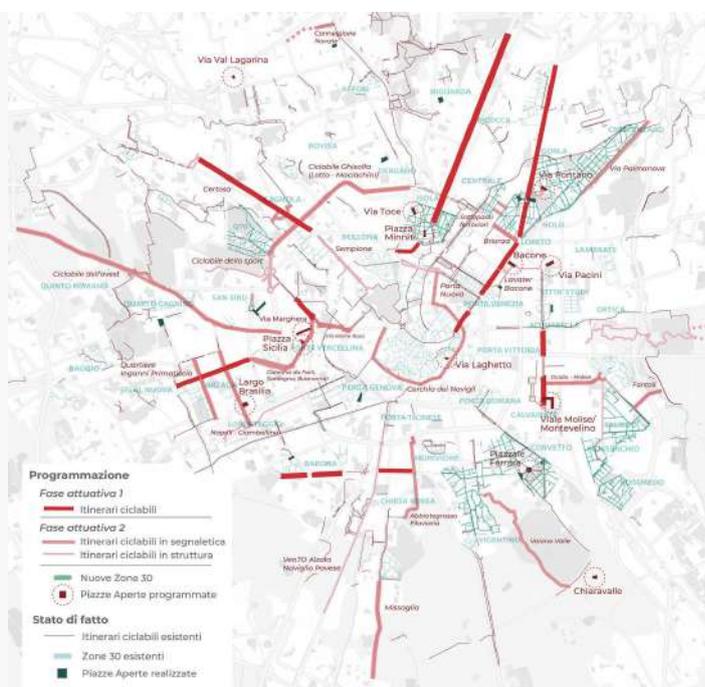
Presupponendo che questo dato sia riferito al limite di 50 km/h si crea una proporzione prendendo a riferimento un limite di 30 km/h e si risale al beneficio in termini di emissioni e si calcola quante vie in percentuale dovrebbero attuare questa strategia affinché la percentuale in

esubero venga colmata. Alcune tesi sostengono l'inefficacia di questa strategia poiché il risparmio in termini di emissioni secondo alcuni studi del Victoria Transport Policy Institute è osservabile nell'intervallo di velocità compreso tra i 48 e gli 88 km/h, rendendo di fatto questa strategia inutile in termini di inquinamento. Presupponendo la veridicità dell'antitesi, si assisterebbe comunque ad un incentivo dell'utilizzo di mezzi alternativi e ad una riduzione della guida 'stop and go' tipicamente cittadina -caratterizzata da frenate e ripartenze continue che inquinano a livello di combustione di carburante e deteriorano freni e pneumatici responsabili dell'emissione di polveri- segnalazioni semaforiche, precedenza e traffico congestionato, apportando comunque beneficio tangibile. Questa strategia è adatta a contesti estremamente inquinati e può essere sia definitiva che temporanea a seconda di necessità e gravità della situazione

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è pressoché nulla, si rimanda alla ordinaria manutenzione dell'asfalto già prevista dai piani comunali.

EFFICENZA Questa soluzione oltre alla riduzione nell'emissione di agenti inquinanti dovuti alla modalità di guida con limite a 50 km/h caratterizzata dall'esigenza di fermarsi e ripartire -aumentando le emissioni allo scarico e quindi i transitori- favorisce anche la sicurezza stradale, una diminuzione delle emissioni acustiche e un'incentivazione all'utilizzo di mezzi pubblici o mezzi di trasporto alternativi come le biciclette. a seguito di un'esperienza svolta nel 2012 a Madrid si è dimostrato come con il limite di 50 km/h il consumo di carburante si aggiri tra l'1,8 e i 2,2 g al secondo mentre si attesta su 1 g al secondo a 30 km/h.

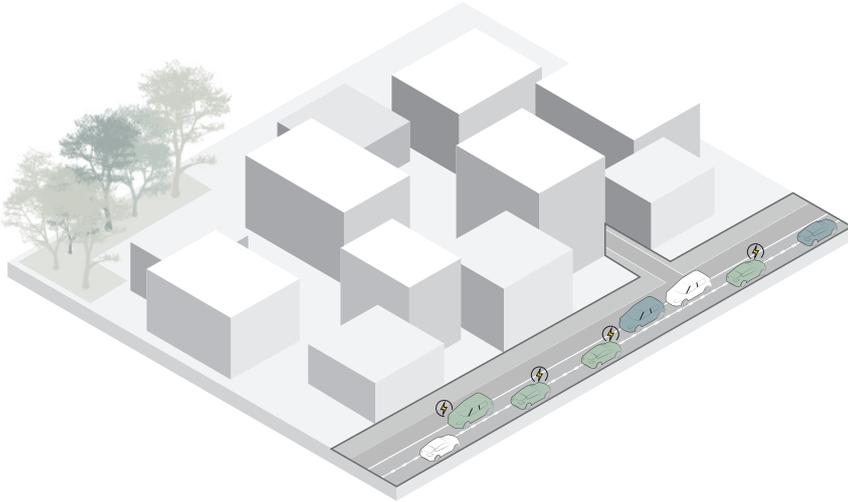
CRITICITÀ la criticità maggiore risiede nella corretta osservanza della restrizione da parte degli automobilisti e nell'impossibilità di prevederne il comportamento



Progetto: Strade Sicure
Luogo: Milano - Italia
Anno: 2020-oggi

L'amministrazione milanese come molte altre città caratterizzate da alti tassi di inquinamento ha deciso di istituire delle zone a traffico cittadino 30 km/h. Questo progetto cresciuto durante il Covid si colloca tra quelli che l'amministrazione sta cercando di adempiere per favorire la mobilità dolce, le zone pedonalizzate e il recupero di spazi aperti all'interno dei quartieri.

SOSTITUZIONE VEICOLARE



STRATEGIA urbana /
trasporti,viabilità

METODOLOGIA ADATTA A
adattamento

AMBITO Regione climatica generica

MANUTENZIONE variabile

EFFICIENZA medio/alta

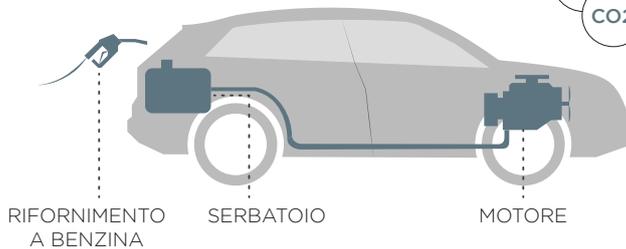
CRITICITÀ costi elevati, emissioni
ridotte dall'utilizzo ma aumentate
per la produzione e la ricarica

COSTI alti

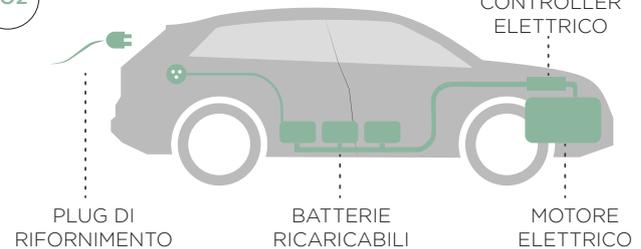
LOCALIZZAZIONE arterie stradali
urbane

DIFFERENZE TRA TECNOLOGIA TRADIZIONALE A BENZINA E ELETTRICA PLUG-IN

Emissioni auto a benzina (comprese tra 115 e 165 g/km) 140 g/km



Emissioni auto Plug-In (comprese tra 26 e 60 g/km) 43 g/km



Progetto: Politiche di risanamento dell'aria regionali
Location: Piemonte, Italia
Anno: 2019

Il Piemonte ha assegnato 2 milioni e mezzo di euro a micro, piccole e medie imprese per sostituire i propri veicoli più inquinanti in vista delle riduzioni delle concentrazioni dei maggiori agenti inquinanti come PM10, PM2,5 e NO2.



DESCRIZIONE Su un Totale nazionale di 39.429.528 autovetture circolanti al 31/12/2021, le auto a benzina rappresentano il 47,1%, quelle a diesel il 43,1%, a GPL il 4,45% e a metano appena il 0,44%. Le auto a tecnologia ibrida misto elettrico/benzina il 2,5%, quelle ibride misto elettrico/gasolio lo 0,3% e quelle elettriche lo 0,3%. Le Emissioni di un'auto a benzina sono (comprese tra 115 e 165 g/km) di 140 g/km, mentre le emissioni di un'auto Plug-In (comprese tra 26 e 60 g/km) di 43 g/km. È facile notare come le emissioni prodotte da veicoli a benzina siano pari a oltre tre volte quelle emesse dai

veicoli plug-in. In vista di una riduzione del 55% delle emissioni all'interno del piano 'Fit for 55' la sostituzione veicolare rappresenta un mezzo indispensabile per far decrescere i massicci quantitativi di CO2 soprattutto in contesti urbani fortemente trafficati.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è di pertinenza privata a meno di sussistenze di incentivi comunali o regionali che devono preoccuparsi che le auto sostituite con l'usura non diventino a loro volta inquinanti; e l'accortezza di dotare le città di colonnine di ricarica

EFFICENZA Questa soluzione permette di mantenere il parco veicolare intatto senza agire su pedonalizzazione, sospensione veicolare alternata o altre restrizioni sulla circolazione.

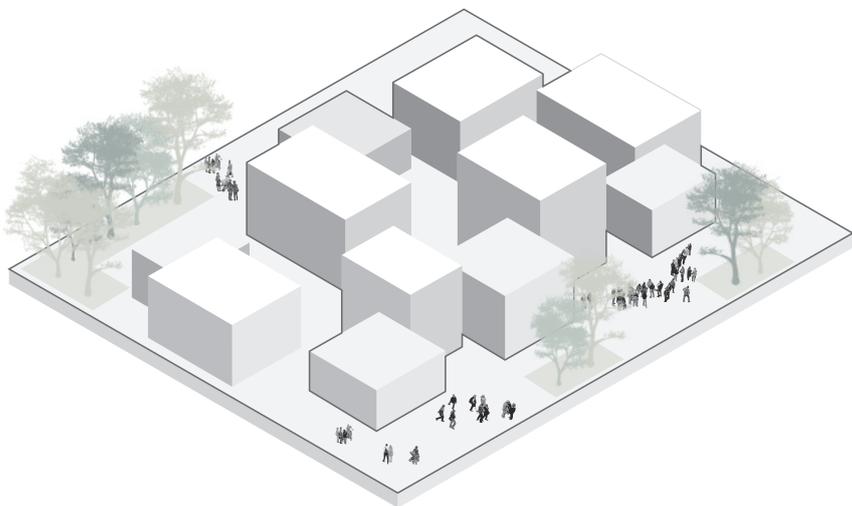
CRITICITÀ sostituire il numero di veicoli necessari è altrettanto inquinante e fonte di rifiuti speciali, nonché le tecnologie utilizzate nella costruzione di auto elettriche prevedono l'utilizzo di massicci quantitativi di terre rare. Nonostante le auto elettriche emettano meno CO2, il beneficio viene intaccato dalla modalità di produzione energetica con cui il veicolo viene ricaricato.



Progetto: Politiche di risanamento dell'aria regionali
Location: Lombardia, Italia
Anno: 2023

In Lombardia si attua l'esenzione dal bollo automobilistico per 3 anni per chi demolisce un veicolo inquinante e un contributo di 90 per la demolizione per incentivare la sostituzione di quelli maggiormente impattanti. Le condizioni sono quelle della sostituzione con un veicolo di categoria meno inquinante.

SOSPENSIONE VEICOLARE



STRATEGIA urbana / trasporti, viabilità
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica generica
MANUTENZIONE variabile
EFFICIENZA alta
CRITICITÀ riluttanza cittadinanza, riassetto urbanistico viario
COSTI medi
LOCALIZZAZIONE arterie stradali urbane



Les Champs Elysees adibiti a traffico veicolare e pedonalizzati

Progetto: Quartiere Poblenou
 Architetto: Salvador Rueda
 Location: Barcellona, Spagna
 Anno: 2019

Iniziato con il piano urbanistico degli anni ottanta dal capo dell'Agenzia di ecologia urbana di Barcellona, che ideò la strategia delle superilles, un insieme di 9 piccoli blocchi che creasse uno spazio percorribile solo da pedoni e ciclisti. Dopo anni di incertezze nel 2019 finalmente si attua nelle strade del quartiere Poblenau.



DESCRIZIONE Attraverso la combustione di ogni kg di idrocarburi vengono emessi nell'aria un quantitativo di circa 3 kg di CO₂ assimilabili a circa 1,5 m³ di gas. Per ogni 50 litri di benzina (C₈H₁₈) pertanto si emettono circa 60 m³ di CO₂.

Se l'azione viene applicata su larga scala è sufficiente moltiplicare questo indicatore per il parco macchine della città presa a riferimento per riuscire ad ottenere approssimativamente l'inquinamento atmosferico evitato dal traffico veicolare per mezzi privati.

Se l'azione viene applicata in modo più puntuale o solo in alcune aree, va messo in relazione con i dati delle stazioni di monitoraggio per riuscire ad ottenere

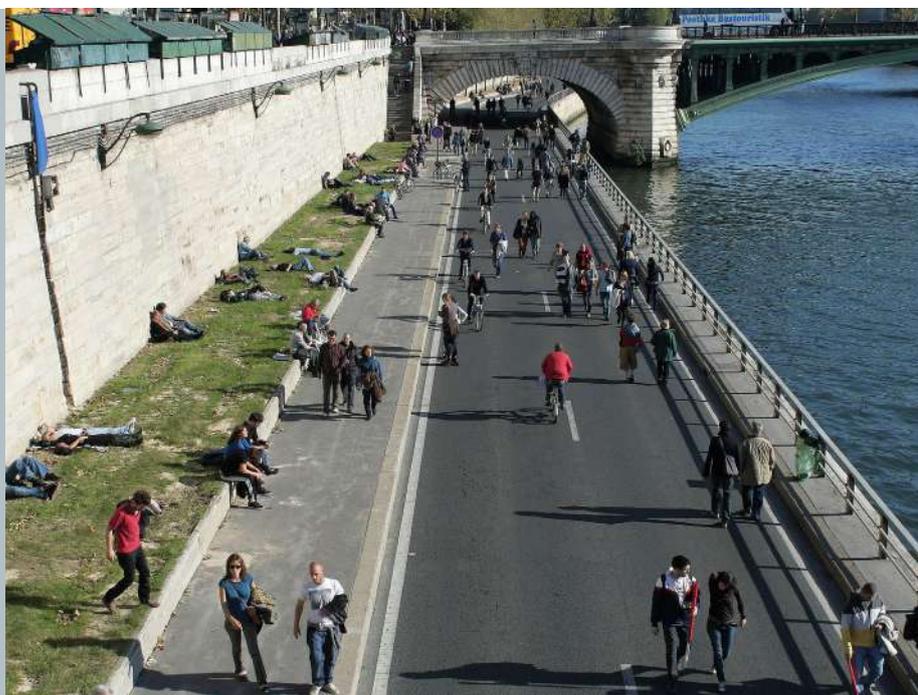
approssimativamente l'inquinamento atmosferico evitato dal traffico veicolare per mezzi privati presenti in quell'area.

Questa strategia è adatta a contesti estremamente inquinati o che necessitano di protezione da traffico e inquinamento stradale -come alveo dei fiumi, centri storici...- e per i quali non vi è altra soluzione se non quella di dirottare il transito degli autoveicoli su tratte alternative

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è dipendente dalle modificazioni -se e quante- vengono apportate per risistemare le aree soggette a pedonalizzazione.

EFFICENZA Questa soluzione oltre all'azzeramento delle emissioni di agenti inquinanti dovuti alle autovetture nell'area di applicazione, favorisce la sicurezza pedonale, una diminuzione delle emissioni acustiche e un'incentivazione all'utilizzo di mezzi pubblici o mezzi di trasporto alternativi come le biciclette.

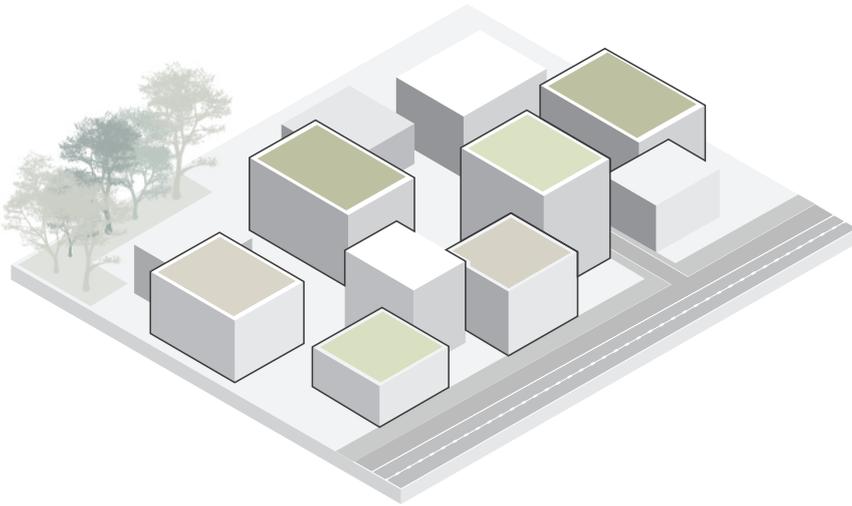
CRITICITÀ la criticità maggiore è nel ripensare l'assetto viario-urbanistico delle aree o delle intere città dove si decide per l'applicazione di questa azione di adattamento, nella gestione del traffico veicolare dirottato su arterie esistenti senza apportare disagi e nell'attrezzatura delle aree divenute pedonali.



Progetto: pedonalizzazione voie-Gerges Pompidou
 Progettista: consiglio comunale
 Location: Parigi, Francia
 Anno: 2016

La voie-Gerges Pompidou è un tracciato di 3,3 chilometri, nel centro di Parigi. Si tratta di una strada a scorrimento veloce lungo le rive della Senna (patrimonio Unesco) che ogni giorno vede un passaggio di 50.000 automobilisti. La sua chiusura, oltre alla tutela dell'area, rappresenta una rivoluzione nella mobilità urbana della capitale.

COPERTURE VERDI



STRATEGIA architettonica /
vegetale

METODOLOGIA ADATTA A
adattamento

AMBITO Regione climatica generica

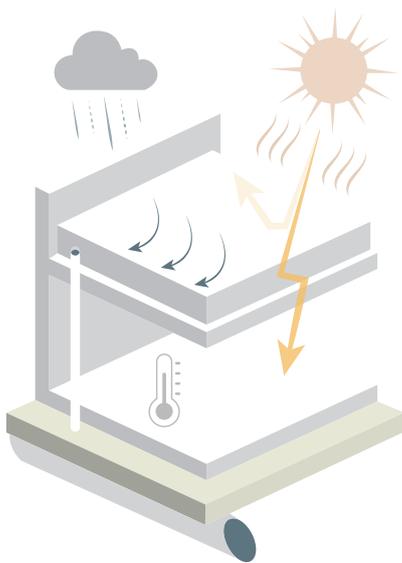
MANUTENZIONE media

EFFICIENZA media

CRITICITÀ gestione del verde e
costi elevati

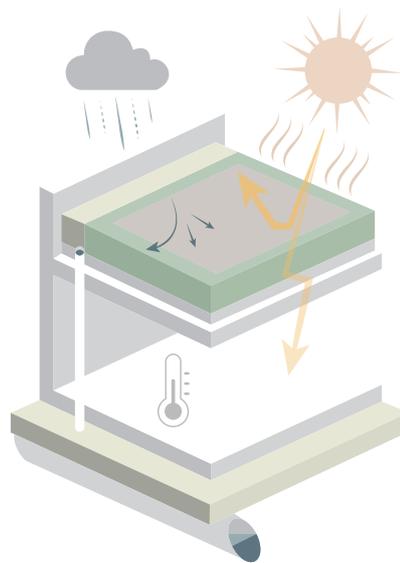
COSTI alti

LOCALIZZAZIONE coperture
piane residenziali, grandi edifici e
complessi



COPERTURA TRADIZIONALE

- > temperature interne
- > consumi energia elettrica per il raffreddamento
- > emissioni CO2



COPERTURA VERDE

- < temperature interne
- < consumi energia elettrica per il raffreddamento
- < emissioni CO2

Progetto: Marcel Sembat High School
Progettista: archi5
Location: Sotteville-lès-Rouen, France
Anno: 2011

L'edificio caratterizzato da struttura in acciaio e 6 edifici affiancati costruiti tra gli anni '30 e '90 presenta 8.000 mq di copertura trattata a verde suddivisa in 6 porzioni ciascuna appartenente ad un edificio differente.



DESCRIZIONE Per quanto concerne ossidi di azoto e polveri sottili i benefici apportati dalla vegetazione sono noti spiega ISPRA nel suo 'Manuale e linee guida' riguardo il verde pensile.

Nonostante questo, gli agenti inquinanti sono assorbiti maggiormente da alberi e arbusti grazie alla loro massa fogliare, vegetazione poco idonea a dei tetti verdi cittadini di spessore ridotto -nelle soluzioni di verde pensile o tetto verde si opta solitamente per vegetazione a basso fusto e prato-. Per quanto riguarda la CO2 invece facendo un bilancio tra CO2 assorbita dal sistema 'tetto verde' durante l'intero ciclo di vita e quella emessa nelle fasi di realizzazione e posa degli elementi che la compongono, l'apporto non risulta significativo. Ciò che risulta invece significativo è il risparmio di CO2 dovuto al ridotto consumo energetico

derivato dalla presenza della soluzione 'tetto verde'. In questo caso quindi si parla più di sostanze inquinanti risparmiate piuttosto che di quelle assorbite.

Secondo alcuni studi svolti dalla Commissione europea durante la stagione estiva l'energia destinata al funzionamento di sistemi di climatizzazione rappresenta circa il 30% dei consumi complessivi. Il risparmio energetico che si osserva grazie all'impiego della copertura verde è stato stimato 2 kWh/m2 per il periodo estivo.

Questa strategia è adatta a contesti a maggioranza di coperture piane praticabili, sottoposta a forte irraggiamento e aumento delle temperature interne. È adatta, inoltre, a contesti densamente costruiti per evitare che l'utilizzo di numerosi impianti di condizionamento crei isole di calore urbano.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o abbattimento di vegetazione vecchia o ammalata e controlli periodici delle condizioni del substrato

EFFICENZA Questa azione permette di evitare il surriscaldamento interno degli ambienti, ridurre la domanda di energia elettrica ad opera degli impianti di condizionamento e favorire la gestione delle acque piovane.

CRITICITÀ la criticità maggiore risiede negli elevati costi di realizzazione delle tecnologie a tetto verde soprattutto se adattate e non inserite da principio di progetto. Oltre alla delicata gestione della fascia verde e delle membrane.

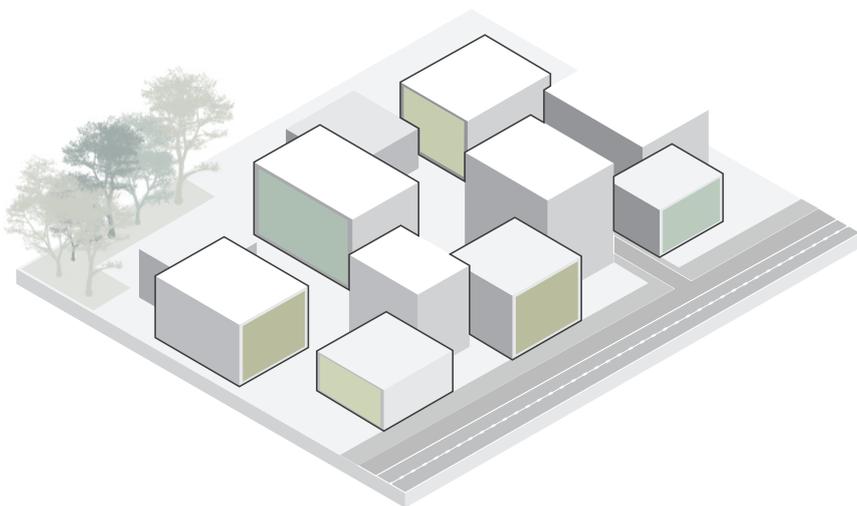


Progetto: Thammasat Urban Rooftop Farm
 Progettista: LANDPROCESS_
 Kotchakorn Voraakhom
 Location: Pathum Thani_Bangkok
 Anno: 2019

Implementando il tetto dell'asse principale del Campus, si producono all'interno dei 22.000 metri quadrati di copertura alimenti sostenibili, energia rinnovabile, rifiuti organici e si gestiscono acque e spazio pubblico

Si coltivano più di 40 specie commestibili, il tetto è dotato di pannelli solari, in grado di produrre fino a 500.000 watt all'ora e quattro stagni di ritenzione sono in grado di contenere fino a 3.095.570 litri d'acqua

VERDE VERTICALE O PARETI VERDI



STRATEGIA architettonica / vegetale

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

AMBITO Regione climatica generica

MANUTENZIONE media

EFFICIENZA media

CRITICITÀ gestione del verde e costi elevati

COSTI alti

LOCALIZZAZIONE edifici singoli, complessi, centri storici e zone industriali

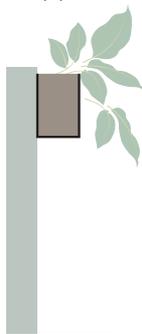
Di prossimità



Rampicante
Diretta Indiretta



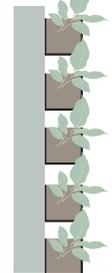
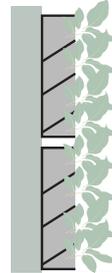
Appesa



Idroponica



Substrati
Orizzontale Obliquo Vasi



Tipologia e categorizzazione pareti verdi

Progetto: Oasis d'Aboukir
Progettista: Patrick Blanc
Location: Parigi
Anno: 2013

Alto 25 metri, con i suoi 250 metri quadrati di vegetazione raccoglie 7600 piante e 237 specie differenti. Oltre a migliorare il microclima esterno, apporta beneficio nell'assorbimento di acqua piovana, fonoisolamento e nel microclima interno



DESCRIZIONE Come per quanto riguarda la soluzione a 'tetto verde' ciò che risulta significativo non è il quantitativo di CO2 assorbita, quanto il risparmio di CO2 dovuto al ridotto consumo energetico derivato dalla presenza della soluzione 'parete verde'. Anche in questo caso quindi si parla più di sostanze inquinanti risparmiate piuttosto che di quelle assorbite.

La start-up tedesca Green City Solution ha progettato degli schermi verdi con filtri biotecnologici chiamati 'City Tree scaler' con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento atmosferico in ambiente urbano. Si tratta di pannelli autoportanti lunghi 3 metri, alti 4 e profondi 60 centimetri -12 m2- che ospitano specifiche colture di muschio e piante vascolari che nutrendosi di polveri sottili, biossido di azoto e ozono sottraggono dall'ambiente lo stesso quantitativo di 275 alberi occupando l'11% dello spazio.

Gli sviluppatori sostengono questo filtro vegetale essere in grado di rimuovere dall'aria circostante 240 tonnellate di CO2.

Questa strategia è adatta a contesti urbani densamente costruiti e caratterizzati da forti concentrazioni di inquinanti e limitati spazi verdi per la mitigazione delle stesse.

Questa tecnologia permette di beneficiare delle caratteristiche di assorbimento e mitigazione della vegetazione pur non disponendo delle dimensioni e del suolo necessari ad ottenere i medesimi risultati con impianti vegetali tradizionali. Oltre che in ambito architettonico è posizionabile anche in arterie ad alto scorrimento senza necessità di intaccare la disposizione viaria stradale apportando benefici nell'assorbimento degli agenti inquinanti e nella mitigazione delle concentrazioni di agenti inquinanti.

MANUTENZIONE Questa tecnica prevede una manutenzione media che consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione di elementi di vegetazione vecchia o ammalata e controlli periodici delle condizioni del substrato e degli strati adibiti al filtraggio.

EFFICENZA Questa azione permette di evitare il surriscaldamento interno degli ambienti, ridurre la domanda di energia elettrica ad opera degli impianti di condizionamento e favorire la gestione delle acque piovane.

CRITICITÀ la criticità maggiore risiede negli elevati costi di realizzazione delle tecnologie a parete verde soprattutto se adattate e non inserite da principio di progetto. Oltre alla delicata gestione della fascia verde e delle membrane.



Progetto: Leamouth Peninsula Building
 Progettista: Patrick Blanc
 Location: Londra
 Anno: 2008

Sulle rive del Tamigi alla confluenza con il fiume Lea, il progetto è collocato in un sito urbano stretto e di difficile integrazione con il verde urbano. La parte vegetata copre ben 820 metri quadri con 160 varietà di piante diverse.

ABACCO ALLUVIONI

A. ALLUVIONI

In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione degli eventi climatici estremi alluvionali. Questi eventi sono i più frequenti e significativi per l'Italia poichè particolarmente soggetta

AZIONI ALLUVIONI

A.01 _ DEPAVIMENTAZIONI

A.02 _ PAVIMENTAZIONI DRENANTI

A.03 _ GIARDINI DELLA PIOGGIA

A.04 _ FOSSATI INONDABILI

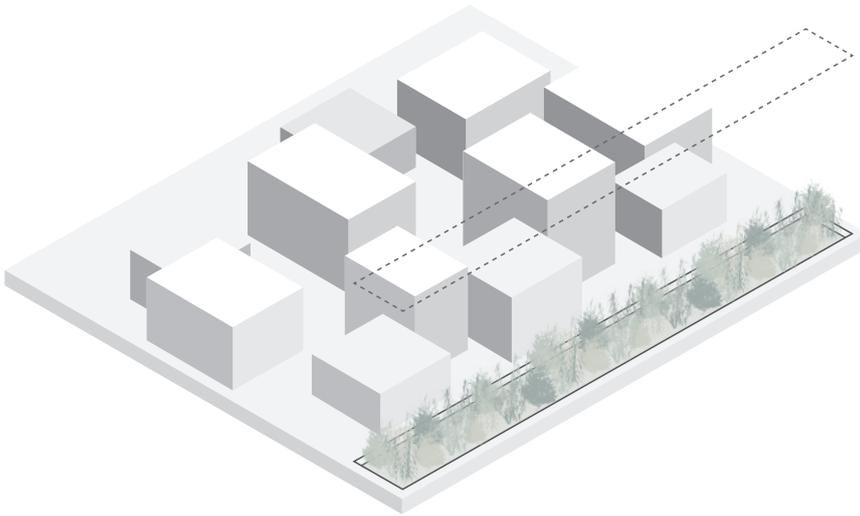
A.05 _ BACINI E PARCHI ALLAGABILI

A.06 _ PIANTUMAZIONE ALBERI

A.07 _ PIAZZE INONDABILI

A.08 _ COPERTURE VERDI

DEPAVIMENTAZIONI



STRATEGIA vegetale / sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica

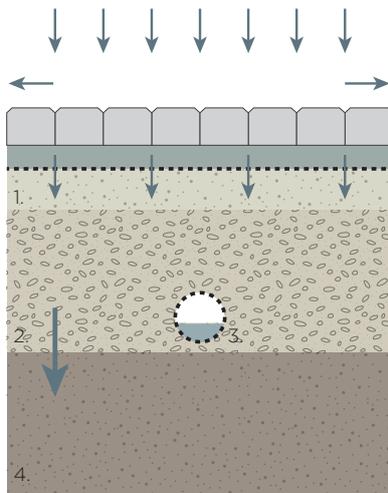
LOCALIZZAZIONE Spazi pubblici, rive di fiumi e corsi d'acqua

EFFICIENZA

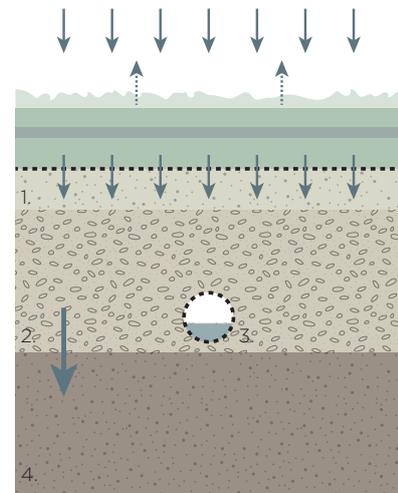
CRITICITÀ

MANUTENZIONE Variabile alta/bassa

COSTI bassi



1. Strato di base permeabile in ghiaia
2. Strato permeabile di fondazione
3. Tubo drenante
4. Sottosuolo



Progetto: Sønder Boulevard

Progettista:

Luogo: Verstebro, Copenaghen, Danimarca

Anno: 2004

Il quartiere Verstebro ha avuto origine a metà dell'ottocento, dopo la rimozione delle mura di cinta, uno degli assi principali che lo attraversano è Sønder Boulevard che nel 2004 ha subito interventi di rifunzionalizzazione finanziati dalla città.

Nello specifico sono state ridotte le corsie di passaggio veicolare e l'area centrale di 17 m è stata sfruttata per l'inserimento di aree ad uso pubblico. Nell'area pedonale sono state depavimentate alcune aree rettangolari, restituendo porzioni di verde al quartiere densamente costruito. La duplice funzione di questi spazi è di restituire



DESCRIZIONE

All'interno delle aree urbane si registra un fenomeno sempre maggiore di consumo di suolo, l'elevata presenza di aree impermeabilizzate che durante i fenomeni alluvionali estremi causano allagamenti nelle città.

Tra le azioni da intraprendere per contrastare il fenomeno vi è la depavimentazione, cioè dove è possibile vengono rimosse porzioni di pavimentazioni impermeabili e asfalto per ripristinare porzioni di aree verdi.

Le superfici verdi risultano ottimali nei contesti urbani densamente costruiti in quanto restituiscono aree permeabili utili alla gestione e all'assorbimento delle acque piovane, utili a ristabilire il normale corso del ciclo dell'acqua.

In aree di prossimità dei fiumi forniscono un aiuto nella stabilizzazione delle rive, fornendo un'area di assorbimento maggiore in caso di esondazioni.

Esistono differenti tipologie di manti erboso a seconda delle necessità e degli usi, la scelta deve essere orientata in base all'utilizzo specifico di un'area e alle possibilità di gestione e manutenzione. Le tipologie sono:

1. Rustici- poca manutenzione, adatte per aree fluviali o spazi pubblici inondabili
2. Ornamentali- medio/alta manutenzione, adatti a giardini privati e pubblici, resistenti a calpestio
3. Sportivi- alta manutenzione, adatti a calpestio perenne
4. Fioriti e tappezzati- medio/bassa manutenzione, scopo decorativo e utilizzo di mix di piante perenni e stagionali che non richiedono cure particolari

MANUTENZIONE

Variabile da una bassa manutenzione dei prati rustici, fioriti e tappezzati fino ad un'alta manutenzione tipica

dei prati sportivi.

EFFICIENZA

I terreni naturali hanno una capacità di assorbimento totale elevata. Tendenzialmente il potere assorbente è proporzionale alla porosità del terreno, inoltre la presenza di piante ed alberi contribuisce ad aumentare l'assorbimento che non risulta strettamente legato alla saturazione delle porosità.

CRITICITÀ

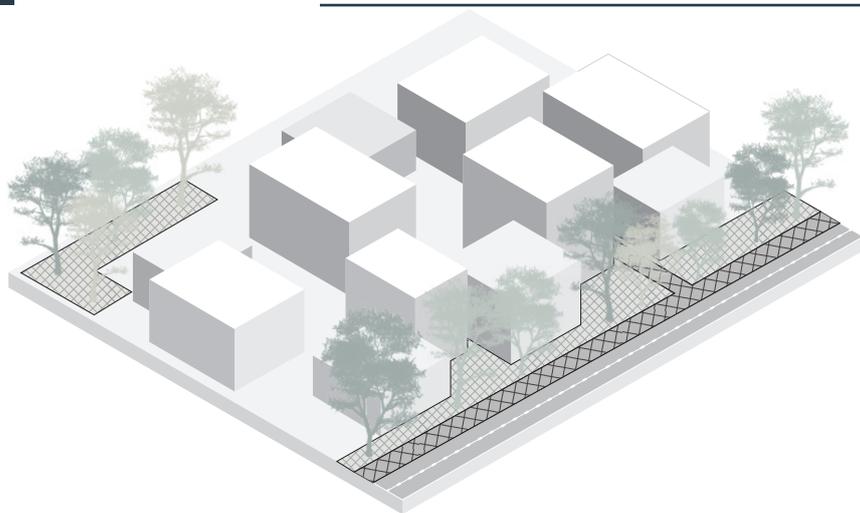
La scelta delle aree da depavimentare deve essere ponderata, non è consigliabile realizzarle in aree in cui le acque pluviali possono contenere sostanze inquinanti (strade, parcheggi, impianti produttivi).



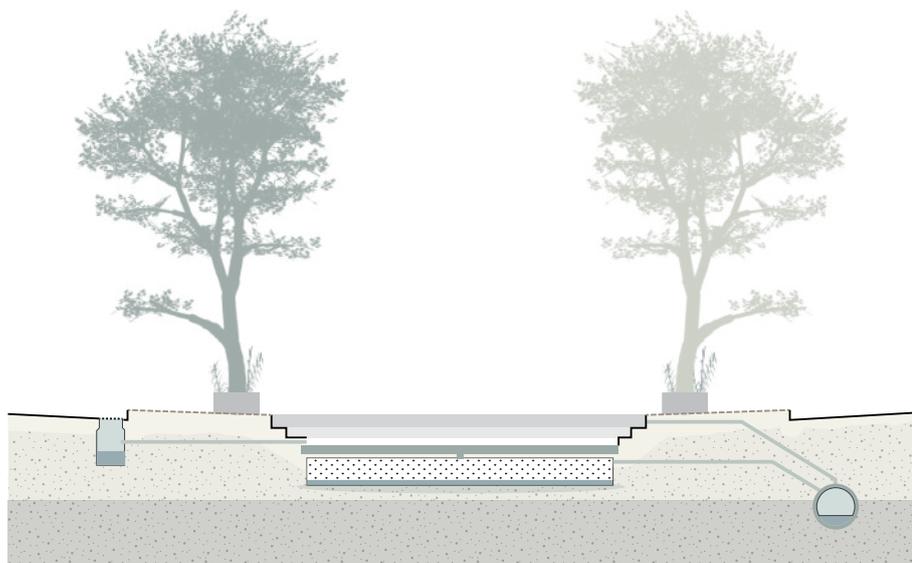
Progetto: Templeuve
Progettista: Agence Canopée
Luogo: Lille, Francia
Anno: 2013

Nell'area prospiciente alla stazione ferroviaria di Templeuve è stato realizzato un progetto di rifunionalizzazione e riqualificazione. L'intento del progetto è quello di dare una nuova importanza all'area, dando importanza a tutte le tipologie di utenti della strada. Inoltre è stata data notevole importanza alla sostituzione di aree verdi all'area, procedendo con opere di depavimentazione.

PAVIMENTAZIONI DRENANTI



STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea
MANUTENZIONE ordinaria
COSTI bassi
EFFICIENZA
LOCALIZZAZIONE Spazi limitrofi a strade, marciapiedi e piste ciclabili



Progetto: Zollhallen Plaza
 Progettista: Henning Larsen
 Luogo: Friburgo, Germania
 Anno: 2009

L'intervento ha previsto il restauro della storica dogana di Friburgo, con un progetto che rimanda alla ex scalo ferroviario. Attraverso l'uso di pavimentazioni drenanti viene creata un'area di inondazione superficiale, l'acqua piovana raccolta non viene fatta defluire nella rete fognaria ma viene sfruttata una falda freatica.



DESCRIZIONE

Le pavimentazioni drenanti contribuiscono al deflusso e la gestione delle acque piovane. Sono particolarmente consigliabili nelle aree urbane a rischio allagamenti in cui risulta necessario il mantenimento di strade pedonali o ciclabili. Inoltre, il sistema di filtraggio dovuto alla pavimentazione drenante permette di depurare le acque da sostanze inquinanti derivanti dalle piogge.

Esistono differenti tipologie di pavimentazioni drenanti, diversificate in base ai materiali utilizzati:

1. Calcestruzzo poroso
2. Asfalto poroso
3. Pavimentazione autobloccante in calcestruzzo permeabile
4. Pavimentazioni autobloccanti o griglie a base polimerica

Le stratigrafie di queste pavimentazioni prevede l'inserimento di uno strato poroso o permeabile superiore che permette il deflusso dell'acqua nello

strato drenante, tipicamente costituito da rocce e pietre che fungono da filtro e permettono lo scorrimento dell'acqua. Nelle aree a maggior rischio di allagamenti da alluvioni viene inserita una membrana in tessuto nello strato inferiore, il cui spessore varia in base al carico di acqua a cui è sottoposta l'area. Nelle aree a maggiore rischio la membrana viene infatti inserita in uno strato profondo per riuscire a mitigare il flusso aggiuntivo e incrementare il tempo di dissipazione.

MANUTENZIONE

Il livello di manutenzione deve essere sempre piuttosto alto, infatti lo strato superficiale va pulito regolarmente per permettere il regolare flusso dell'acqua al suo interno

EFFICIENZA

La capacità di assorbimento di una pavimentazione drenante può arrivare a garantire il 95% di acqua piovana assorbita, tralasciando solo il 5% come acqua superficiale. In questo

modo il deflusso delle acque superficiali viene ridotto al minimo, non sovraccaricando il sistema fognario.

La portata tipica di una pavimentazione drenante può variare tra i 2 e i 7 l/s/ha (litri/secondo/ettaro).

Inoltre i sistemi di filtraggio possono rimuovere tra il 60% e il 95% dei solidi sospesi presenti nell'acqua e tra il 70% e il 90% degli idrocarburi. In questo modo si avvia da subito un sistema di purificazione dell'acqua, non ottenibile attraverso l'utilizzo di sole pavimentazioni impermeabili e sistemi fognari.

CRITICITÀ

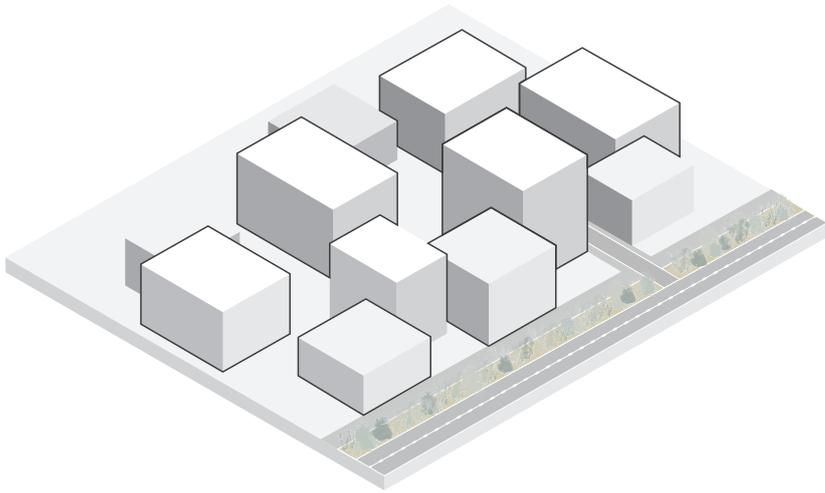
I costi elevati e il grado di manutenzione costante da mantenere rendono questa soluzione poco adatta a contesti con budget e risorse ridotti. Inoltre, per riscontrare l'effettiva efficacia dell'assorbimento delle acque è preferibile l'inserimento in aree ampie e continue.



Progetto: Parco del Mare
Progettista: Miralles Tagliabue EMBT
Luogo: Rimini, Italia
Anno: 2017

Il progetto ha previsto la riqualificazione di 7 km del lungomare. L'obiettivo è stato quello di rinaturalizzare l'area e renderla di esclusiva fruizione di persone e veicoli leggeri. Infatti, all'interno della passeggiata è possibile ritrovare aree verdi, dune che rimandano alla spiaggia e diverse pavimentazioni, in legno per i pedoni e drenante per la pista ciclo-pedonale. La pavimentazione drenante utilizzata è la IPM-Dreogena e ricopre un totale di 5.000 mq con una capacità di assorbimento di 2.700 litri/m²/minuto.

GIARDINI DELLA PIOGGIA



STRATEGIA spazio esterno areale

METODOLOGIA ADATTA A

adattamento

AMBITO Regione climatica
padana,tirrenica,adriatica,
mediterranea

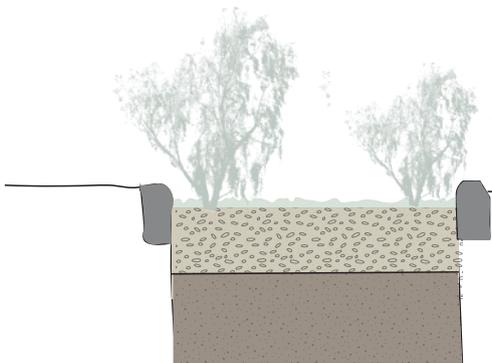
MANUTENZIONE Alta

COSTI medio/elevati

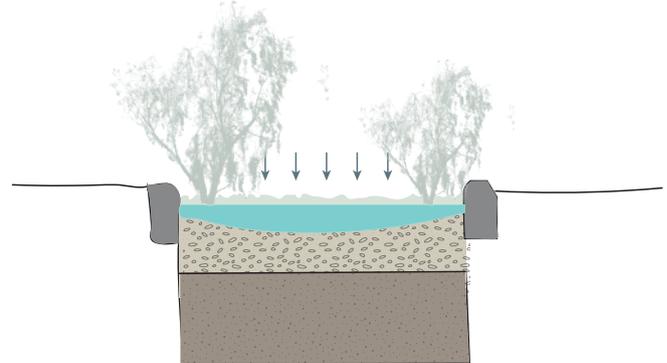
EFFICIENZA

LOCALIZZAZIONE Spazi pubblici,
piazze, strade pedonali, ciclabili e
parcheggi

GIARDINO DELLA PIOGGIA IN CONDIZIONI
DI ASSENZA DI PRECIPITAZIONI

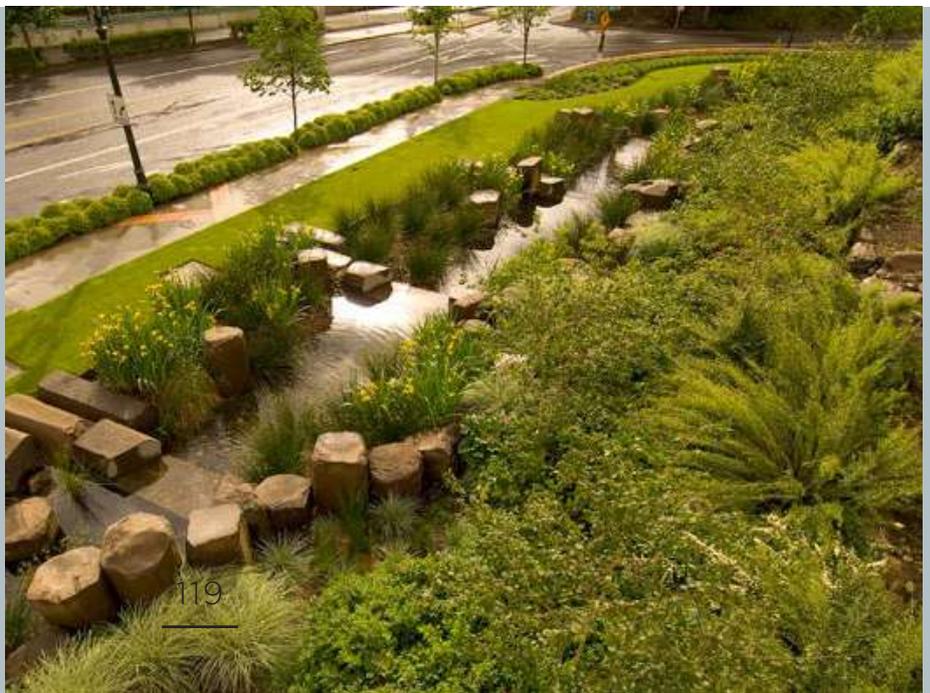


GIARDINO DELLA PIOGGIA IN CONDIZIONI
DI PRECIPITAZIONI



Progetto: Rain garden at the
Oregon Convention Center
Progettista: Mayer Reed
Luogo: Portland,USA
Anno: 2009

L'intervento ha previsto
l'inserimento di un giardino della
pioggia utile alla gestione delle
acque piovane provenienti dalla
copertura dell'Oregon Convention
Center. L'intervento di espansione
è costato 16 milioni di dollari.
Attraverso processi naturali è
possibile il raccoglimento e la
filtrazione della grossa quantità
d'acqua proveniente dalla
copertura del centro. A livello
qualitativo il giardino fornisce
uno spazio attrattivo utile a
comprendere la dinamica della
gestione delle acque.



DESCRIZIONE

I giardini della pioggia hanno abitualmente uno sviluppo lineare o circolare, posizionati vicino a strade e percorsi. Si tratta di depressioni di almeno 1m di profondità riempite da diversi strati drenanti sormontati da piante come erbacee annuali, arbusti o piccoli alberi. Il compito dei giardini della pioggia è quello di rallentare i fenomeni di run-off, l'acqua piovana viene infatti raccolta, immagazzinata e filtrata grazie ai diversi strati che riempiono lo scavo. In questo modo l'acqua defluisce più lentamente, non sovraccaricando il sistema fognario ed evitando allagamenti.

Tipicamente i giardini della pioggia sono composti da strati drenanti e collettori disposti in quest'ordine (dallo strato più esterno):

1. Pacciamatura
2. Strato di coltivazione per specie vegetali
3. Strato di ristagno
4. Materiale drenante

o pietrisco con diverse granulometrie

5. Drenaggio e collettore di raccolta verso il sistema fognario

6. Sistema di filtrazione
L'inserimento di giardini della pioggia in aree urbane e profili stradali contribuisce ad aumentare l'indice di permeabilità di un territorio.

Con questa azione oltre a migliorare le capacità di assorbimento in aree eccessivamente impermeabilizzate migliora anche la qualità ambientale fornendo supporto all'assorbimento di inquinanti e nel contrastare le isole di calore.

MANUTENZIONE

Manutenzione ordinaria per quanto concerne azioni di potatura, innaffiamento quando necessario e sostituzione pacciamatura. Ogni 1-2 anni è appropriato fare ispezioni più approfondite e valutare lo stato degli strati

drenanti.

EFFICIENZA

La capacità di assorbimento di un giardino della pioggia è molto elevata, circa il 98,8% dell'acqua viene espulso come flusso subsuperficiale, inoltre la presenza di piante permette di ristabilire in parte il normale ciclo dell'acqua.

CRITICITÀ

I giardini della pioggia sono soluzioni che richiedono costi non eccessivi o manutenzione accurata perciò non presentano particolari controindicazioni.

Nella scelta della vegetazione è preferibile scegliere piante resistenti al clima di riferimento e adattabili a contesti con forte inquinamento ambientale. La soluzione non è adatta a contesti d'inserimento con poco spazio longitudinale a disposizione, poiché andrebbero sviluppati in lunghezze abbastanza estese per essere efficaci.



Progetto: Rain garden Upper Pitt Street

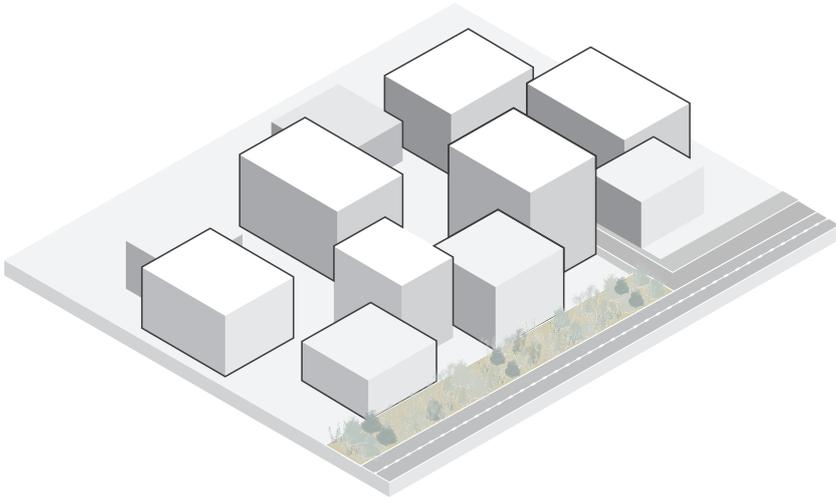
Progettista: STRI Group

Luogo: Liverpool, Inghilterra

Anno: 2022

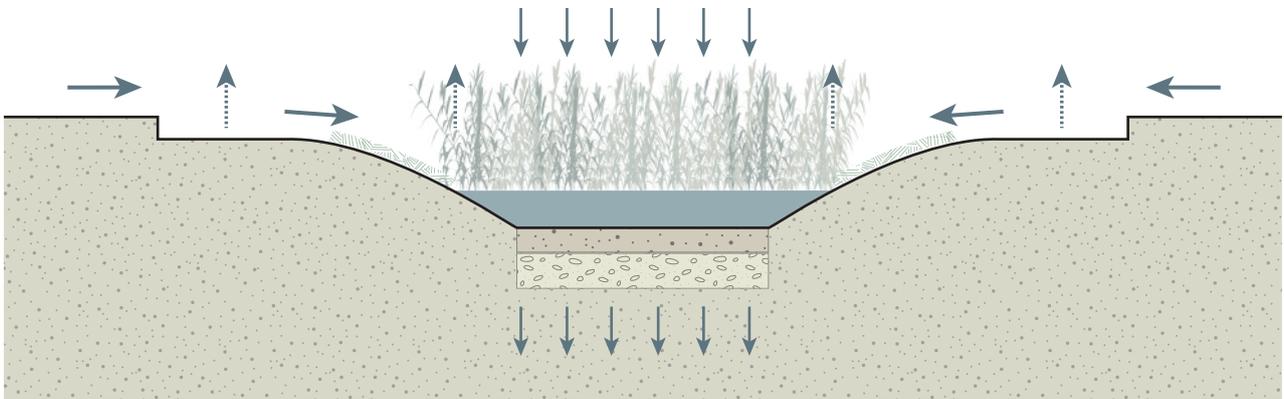
Sono state realizzate tre aiule con stratigrafie diverse per monitorarne l'efficienza, i risultati saranno verificati nel 2023 ma è già stato dimostrato il contributo alla gestione delle acque, intercettando i deflussi delle piogge provenienti dalle strade.

FOSSATI INONDABILI



STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea
MANUTENZIONE ordinaria
COSTI bassi
EFFICIENZA
LOCALIZZAZIONE Profili stradali, parchi, parcheggi, aree verdi.

INCLINAZIONE MARGINI PER FAVORIRE IL DEFLUSSO



Progetto: Parco Clichy-Batignolles Martin Luther King Park
 Progettista: Grether, Osty e OGI
 Luogo: Parigi, Francia
 Anno: 2003

Il quartiere Clichy Batignolles ha subito una trasformazione notevole sia funzionale che di qualità ambientale. L'ex scalo ferroviario doveva essere modificato per la candidatura alle olimpiadi nel 2012, il nuovo progetto non convinse il comitato olimpico ma fu portato avanti ugualmente. Il parco è stato ideato come cucitura per i quartieri che lo affiancano e ricopre una superficie di 10 ettari, costituito da prati e fossati inondabili che garantiscono un aspetto al tempo curato e selvaggio. L'acqua piovana viene raccolta, depurata e raccolta in un serbatoio sotterraneo il quale la sfrutta per riutilizzarla per l'irrigazione e alimentazione delle zone umide nei periodi di siccità.



DESCRIZIONE

I fossati inondabili analogamente ai giardini della pioggia, hanno lo scopo di evitare il run-off superficiale dovuto ad eventi alluvionali estremi. Solitamente questi fossati hanno sezioni ampie di circa 10 m e di profondità minore, circa tra i 20 cm e i 30 cm. Tipicamente le sponde vengono realizzate con inclinazioni poco brusche e gradualmente per favorire il ruscellamento della pioggia. All'interno sono inserite specie arboree come erbacee annuali e perenni, arbusti, alberi di piccole dimensioni o canneti. L'acqua piovana viene raccolta all'interno del fossato tramite ruscellamento diretto o canalizzazione e in base al contesto di riferimento può avere forme e dimensioni variabili. L'acqua raccolta viene sistematicamente indirizzata verso il collettore pubblico principale, attraverso

un processo di filtrazione e canalizzazione del flusso regolamentato. A seconda del luogo d'inserimento il fossato può avere una sezione regolare e più naturale o una sezione più strutturata attraverso l'inserimento di porzioni interrate che raccolgono l'acqua proveniente da strade e marciapiedi separatamente e convogliandola in un pre-bacino e in seguito al collettore pubblico principale.

MANUTENZIONE

La manutenzione dei fossati va eseguita due volte l'anno per la potatura e il ristabilimento della vegetazione, è necessario garantire anche pulizia dei sistemi di drenaggio e regolazione.

EFFICIENZA

I fossati inondabili possono immagazzinare notevoli volumi d'acqua in base alla sezione e conformazione

e permettono di ridurre il carico immediato di acqua del sistema fognario pubblico. In base alle necessità possono infatti essere dimensionati per sopportare il carico d'acqua.

CRITICITÀ

I fossati inondabili come i giardini della pioggia non richiedono costi di realizzazione e manutenzione eccessivi. Bisogna però considerare che la sezione degli stessi dovrebbe essere sempre piuttosto ampia per garantirne l'efficacia perciò andrebbe inserito in sezioni stradali e percorsi ampi. Inoltre, anche lo sviluppo longitudinale andrebbe garantito per il corretto funzionamento.



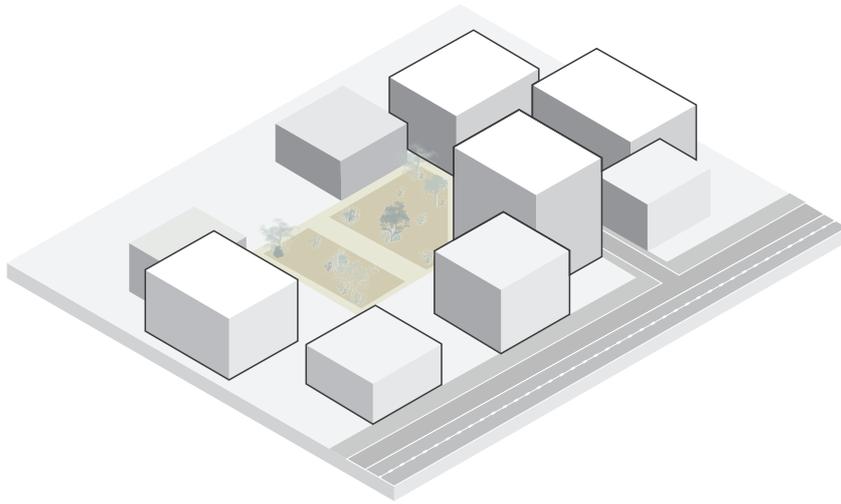
Progetto: Parco Clichy-Batignolles Martin
Luther King Park
Progettista: Grether, Osty e OGI
Luogo: Parigi, Francia
Anno: 2003

L'estensione dei fossati inondabili all'interno del quartiere raggiunge lunghezze consistenti.

Infatti, lungo praticamente tutti i percorsi è possibile vederli.

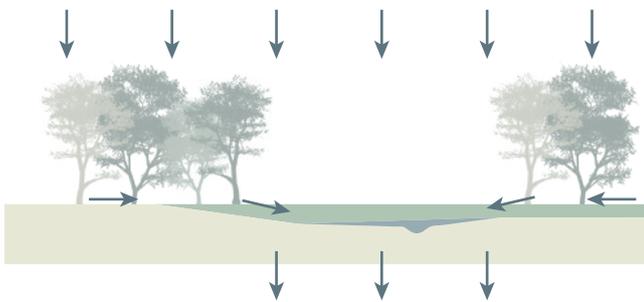
Inoltre, le inclinazioni date a queste porzioni fanno sì che il deflusso dell'acqua piovana venga canalizzato direttamente all'interno di questi grandi fossati.

BACINI E PARCHI ALLAGABILI

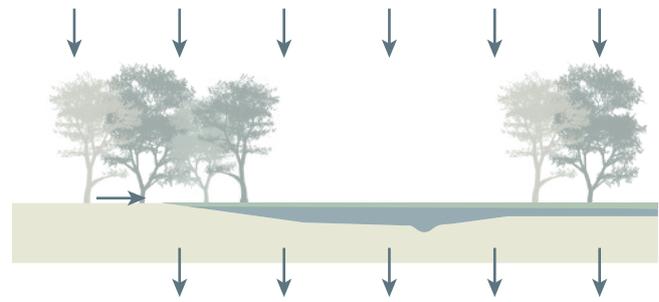


STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A
 adattamento
AMBITO Regione climatica
 padana,tirrenica,adriatica,
 mediterranea
MANUTENZIONE ordinaria
COSTI medio alti
EFFICIENZA
LOCALIZZAZIONE Aree verdi, aree
 limitrofe a fiumi

CONDIZIONE DI BACINO VUOTO



CONDIZIONE DI BACINO PIENO



Progetto: Parco inondabile río
 Esgueva
 Progettista: Urban Green Up
 proejct
 Luogo: Valladolid,Spagna
 Anno: 2022

Tra le diverse azioni attuate dalla
 città attraverso la partecipazione
 ai progetti Horizon 2020 vi è
 la realizzazione di un parco
 inondabile utile alla gestione delle
 acqua e alla riduzione dei rischi
 generati dall'esonazione del río
 Esgueva.



DESCRIZIONE

La progettazione e inserimento di parchi allagabili risulta particolarmente efficiente in aree a forte rischio di allagamenti a seguito di eventi alluvionali estremi e si hanno a disposizione ampie aree d'intervento. Questo tipo di parchi sono progettati apposta per assorbire e contenere ingenti quantità di acque piovane, rilasciandole gradualmente e non sovraccaricando i sistemi fognari.

Durante la fase di progettazione bisogna verificare attraverso indagini specifiche le condizioni del terreno e i livelli delle acque sotterranee, oltre ad avere una stima della quantità di acqua piovana in entrata.

Il bacino dovrebbe avere una profondità massima di 3 m e nella parte più profonda avere una superficie piana e regolare

in modo da immagazzinare più acqua possibile. Inoltre, questa tecnologia è adatta anche se posizionata vicino a fiumi a rischio esondazione, poiché in caso di piena il parco accumulerebbe l'acqua in eccesso e ne garantirebbe il lento deflusso, impedendo allagamenti. Le piante da inserire all'interno del parco dovrebbero essere erbacee perenni o stagionali o arbusti di piccole o medie dimensioni, alberi possibilmente del luogo. L'acqua all'interno del bacino non deve stanzare per più di 72 ore.

MANUTENZIONE

Per il corretto funzionamento del bacino bisogna garantire una periodica manutenzione. Inoltre nella progettazione delle pendenze laterali andrebbero garantiti angoli lievi in modo da facilitarne la

manutenzione.

EFFICIENZA

La predisposizione di parchi allagabili in contesti a rischio allagamenti riduce notevolmente i costi dovuti ad eventi alluvionali estremi, garantendo il corretto deflusso dell'acqua. Infatti l'area occupata dai bacini inserita in contesti urbani densamente costruiti garantisce il giusto apporto di aree permeabili.

CRITICITÀ

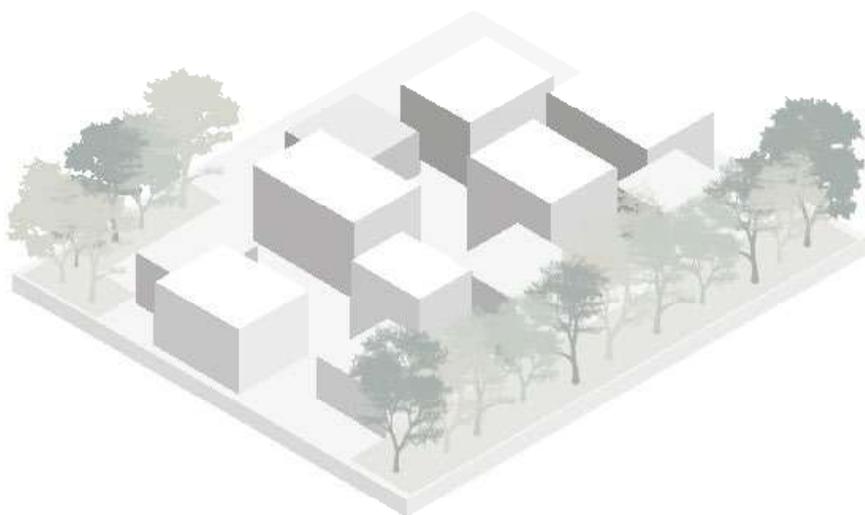
I bacini allagabili andrebbero inseriti in aree urbane marginali o aree verdi esistenti all'interno delle città, poiché nei periodi in cui l'acqua staziona al suo interno può generare odori sgradevoli e problemi con insetti.



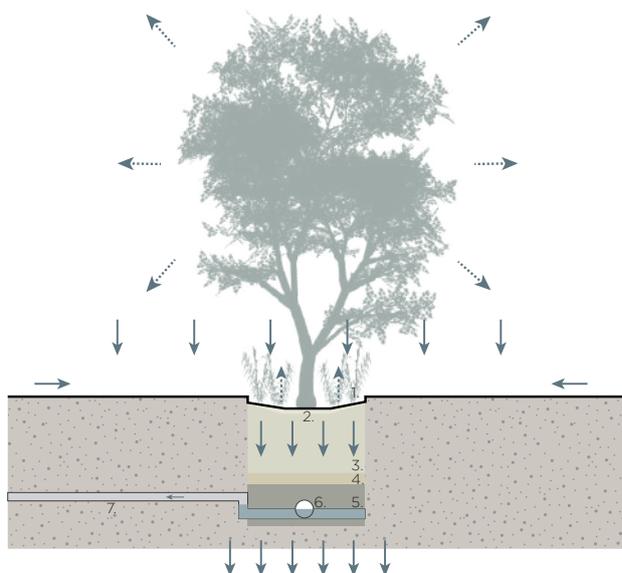
Progetto: Parc Dejardin
 Progettista: Phytolab, ENET-DOLOWY
 Luogo: Anjers, Francia
 Anno: 2012

Lo sviluppo del quartiere Dejardin ha previsto il mantenimento di 1,6 ettari di area verde ad uso pubblico. Il progetto fa parte del gruppo di sviluppo degli eco quartieri e nello sviluppo dell'area pubblica sono state tenute in considerazione le esigenze climatiche e degli utenti. Per tale ragione è stato realizzato un parco allagabile utile a garantire un maggiore assorbimento delle acque piovane e al mantenimento dell'acqua in caso di alluvioni intense, in modo da non sovraccaricare il sistema fognario della città. Inoltre, sono stati realizzati dei passaggi pedonali sopraelevati in modo da garantire il passaggio agli utenti.

PIANTUMAZIONE ALBERI



STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea
MANUTENZIONE ordinaria
COSTI medio alti
EFFICIENZA
LOCALIZZAZIONE Aree verdi, aree limitrofe a fiumi



1. Strato superficiale verde
2. Pacciamatura 5-8 cm
3. Terreno con materiale filtrante 80-100 cm
4. Strato intermedio o geotessile 10-20 cm
5. Strato filtrante 50-70 cm
6. Tubo forato 10-15 cm
7. Troppo pieno alla rete fognaria

Progetto: Sankt Kjelds Square e Bryggervangen
 Progettista: SLA
 Luogo: Copenaghen, Danimarca
 Anno: 2019

Il progetto ha visto il riadattamenti di 9.000 mq di asfalto che hanno subito una profonda modifica di rinaturalizzazione al fine di garantire un supporto per la gestione dei nubifragi, oltre a garantire una migliore qualità dell'aria e delle temperature. Sono stati piantati un totale di 586 alberi di diverse dimensioni che possano fornire un supporto nell'assorbimento dell'acqua piovana.



DESCRIZIONE

La presenza di alberi in ambienti urbani garantisce un miglior deflusso delle acque piovane riducendo fenomeni di allagamenti, non solo in ambienti fortemente impermeabilizzati ma anche in presenza di erba o superfici drenanti. In ambienti cittadini inoltre è possibile sfruttare la presenza di un solo albero o di gruppi definiti, in base alle esigenze spaziali, adattandosi facilmente a diversi contesti. Genericamente l'utilizzo di un gruppo di alberi garantisce un assorbimento di acque maggiore, per tale ragione sarebbe consigliato rispetto al singolo intervento. Inoltre,

in aree stradali con particolari criticità legate ad allagamenti da alluvioni è possibile inserire filari di alberi limitrofi che limitino il verificarsi degli eventi di allagamento.

Inoltre possono risultare utili anche posizionati in aree fluviali a rischio esondazione, insieme ad altra vegetazione si possono creare barriere di assorbimento e limitazione degli argini.

MANUTENZIONE

Periodica, è utile che le pendenze laterali del bacino siano lievi in modo da facilitare la manutenzione.

EFFICIENZA

Secondo alcuni studi è stato dimostrato che gli allagamenti sono ridotti del 62% negli ambienti con presenza di alberi, mentre la piantumazione di un singolo albero in un'area asfaltata può ridurre il fenomeno del 60%.

CRITICITÀ

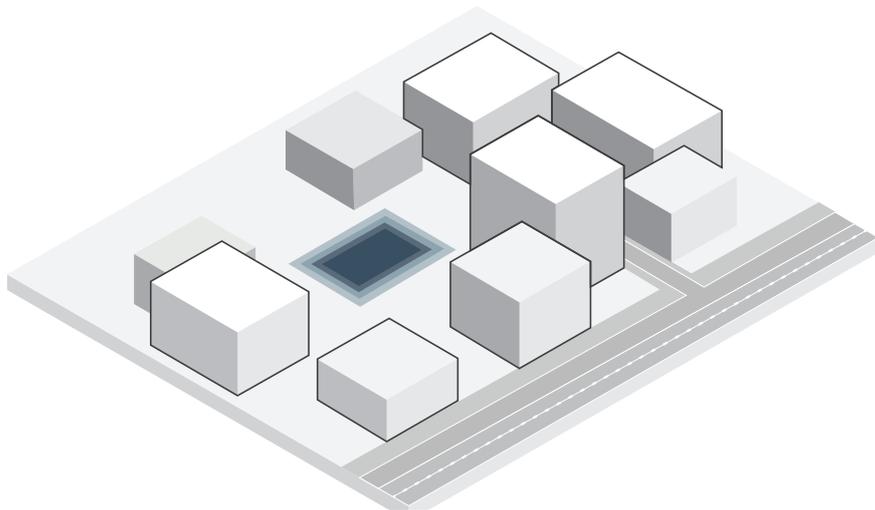
I costi elevati e il grado di manutenzione costante da mantenere rendono questa soluzione poco adatta a contesti con budget e risorse ridotti. Inoltre, per riscontrare l'effettiva efficacia dell'assorbimento delle acque



Progetto: Piazza Martiri d'Ungheria
 Progettista: Archistar studio
 Luogo: Vibo Valentia, Calabria
 Anno: in corso

La riqualifica della piazza ha previsto l'inserimento di gruppi di alberi utili all'assorbimento delle acque piovane. Infatti l'area presentava una problematicità elevata dovuta ad allagamenti da piogge intense. Questi sistemi di assorbimento naturali sono stati affiancati da una piazza inondabile centrale.

PIAZZE INONDABILI



STRATEGIA spazio esterno
METODOLOGIA ADATTA A
 adattamento

AMBITO Regione climatica
 padana,tirrenica,adriatica,
 mediterranea

MANUTENZIONE ordinaria

COSTI medio alti

EFFICIENZA

LOCALIZZAZIONE Aree verdi, aree
 limitrofe a fiumi, ampi spazi urbani

1. ASCIUTTO

VASCA A CONFORMAZIONE RIGIDA



2. DOPO ROVESCII



3. ALLUVIONE



VASCA A CONFORMAZIONE MOBILE



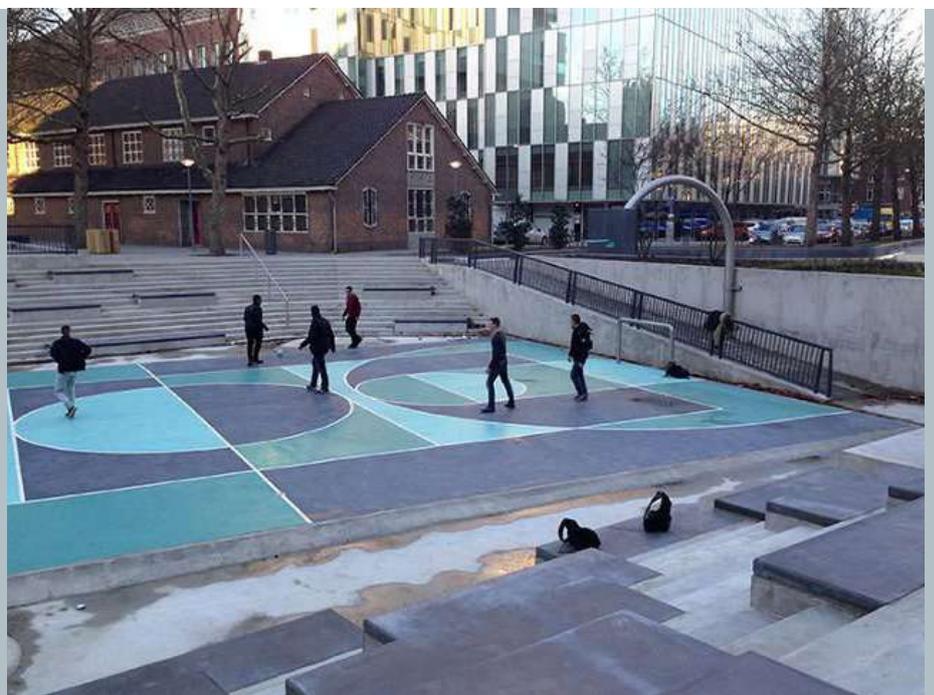
VASCA A SCOMPARTI



Progetto: Piazza Benthemplein
 Progettista: De Urbanisten
 Luogo: Rotterdam,Olanda
 Anno: 2013

La piazza Benthemplein è stata progettata secondo due principi cardine: la gestione dell'acqua e la realizzazione di uno spazio pubblico a servizio delle persone. A livello tecnico sono stati realizzati tre diversi bacini con profondità diverse, che in assenza di pioggia possono essere sfruttati per attività sportive, teatro all'aperto e relax. Tutte le porzioni allagabili sono realizzate nei toni del blu mentre le porzioni adatte allo scorrimento dell'acqua dentro i bacini sono realizzate in acciaio.

La capacità di raccolta della piazza è di 1700 mc di acqua e il bacino più profondo è stato pensato per gestire l'acquapiovana in caso di piogge intense e di lunga durata.



DESCRIZIONE

Le piazze inondabili vengono concepite come vere e proprie piazze, luogo di ritrovo, relax e divertimento. La loro conformazione a conca permette in caso di fenomeni alluvionali estremi, lo stoccaggio dell'acqua piovana e la restituzione lenta e graduale al sistema fognario, in modo che quest'ultimo non venga sovraccaricato. Il periodo di allagamento della piazza non deve superare le 32 ore per motivi igienici e il loro dimensionamento dev'essere proporzionato alle necessità dell'area urbana e ai rischi idraulici a cui incorre. Durante l'allagamento della piazza sono sempre garantiti percorsi di passaggio e in caso di piogge lievi l'acqua viene

stoccata in bacini nascosti.

Per la realizzazione di piazze inondabili è necessario creare depressioni più o meno pronunciate in base alle esigenze di portata per la raccolta delle acque alluvionali.

MANUTENZIONE

Annuale controllo dei sistemi di rilascio in rete e funzionamento dei sistemi. Generalmente questo sistema richiede una cura maggiore rispetto alle piazze di normale conformazione proprio a causa dell'inserimento di sistemi di collegamento alla rete, che vanno costantemente puliti e revisionati.

EFFICIENZA

In caso di fenomeni alluvionali impattanti, l'utilizzo di piazze inondabili garantisce il corretto deflusso dell'acqua, evitando costi dovuti a danni e prevenendo rischi a livello di vite umane.

CRITICITÀ

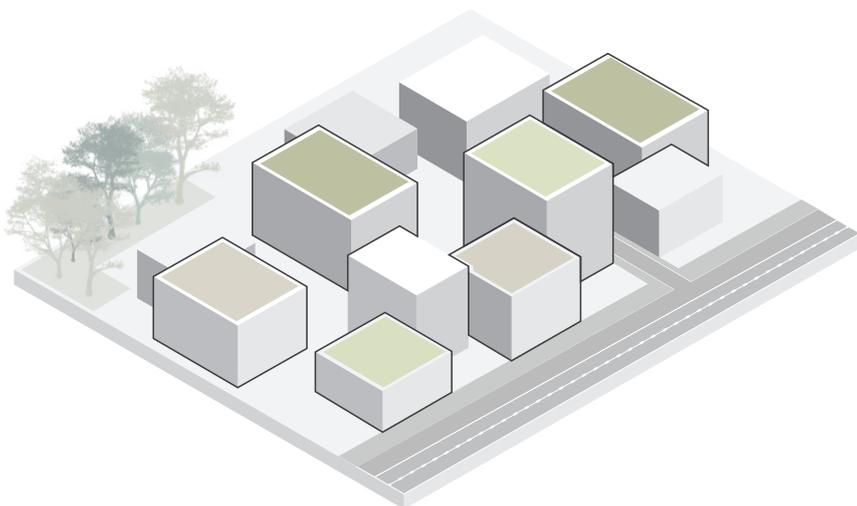
I costi elevati e il grado di manutenzione costante da mantenere rendono questa soluzione poco adatta a contesti con budget e risorse ridotti. Inoltre, per riscontrare l'effettiva efficacia dell'assorbimento delle acque è preferibile l'inserimento in aree ampie e continue.



Progetto: Piazza Martiri d'Ungheria
 Progettista: Archistar studio
 Luogo: Vibo Valentia, Calabria
 Anno: in corso

Per la riqualifica della piazza sono state previste diverse aree ad uso pubblico tra cui una piazza inondabile posta centralmente. Il progetto è stato ideato dando valore alle condizioni climatiche ed esigenze della comunità. La piazza può infatti essere utilizzata per spettacoli e attività, mutando aspetto in caso di forti alluvioni.

COPERTURE VERDI



STRATEGIA vegetale /sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

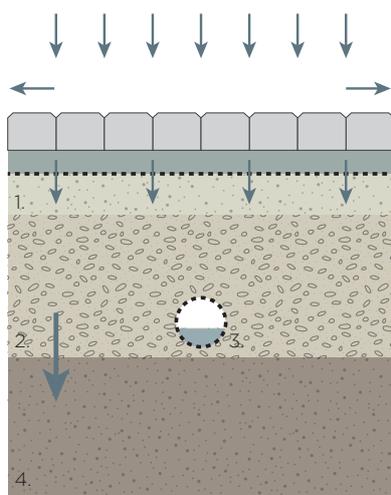
AMBITO Regione climatica padana,tirrenica,adriatica, mediterranea

MANUTENZIONE periodica

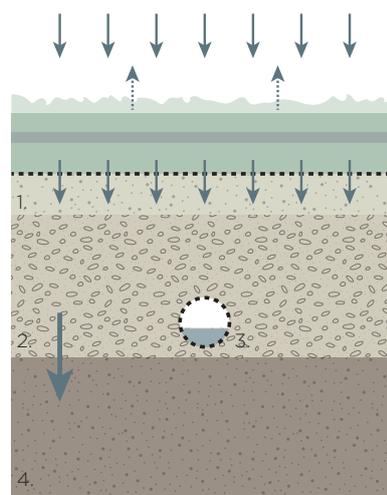
COSTI medio bassi

EFFICIENZA

LOCALIZZAZIONE Spazi sopra edifici ad uso residenziale, commerciale, terziario



1. Strato di base permeabile in ghiaia
2. Strato permeabile di fondazione
3. Tubo drenante
4. Sottosuolo



Progetto: DakAkker
 Progettista: SustainableUrbanDelta
 Luogo: Rotterdam,Olanda
 Anno: 2018

Il DakAkker è la prima fattoria su un tetto, realizzata su una superficie di 1000 m² posta sopra lo Schieblock. Per lo stoccaggio dell'acqua è stata utilizzata la tecnologia Slimdak (Clever Rooftop) che grazie a dei sensori appositi in caso di previsione di fenomeni piovosi estremi rende disponibile una maggiore capacità di stoccaggio con 24 h di anticipo. L'acqua piovana raccolta viene in seguito utilizzata per l'innaffiamento degli orti.



DESCRIZIONE

I tetti verdi risultano particolarmente efficaci per l'assorbimento delle acque piovane e si adattano bene a contesti in cui vi è necessità di aumentare superficie permeabile ma con spazi a disposizione limitati. La stratigrafia di questo tipo di copertura è composta da :

- Vegetazione
- Strato colturale
- Elemento filtrante
- Strato drenante in materiale granulare
- Elemento di protezione meccanica
- Barriera impermeabile e antiradice
- Struttura portante

Lo spesso della stratigrafia varia in funzione della vegetazione selezionata e va

da 8cm dello strato colturale per il Sedum a 1m per alberi di 1° grandezza, all'aumentare dello spessore aumenta il carico strutturale.

MANUTENZIONE

Annuale controllo dei sistemi di rilascio in rete e funzionamento dei sistemi

EFFICIENZA

È stato calcolato che un tetto verde con 20 cm di substrato può assorbire 90 l/m² si .

In generale le coperture verdi permettono di non sfruttare il suolo, garantendo comunque superfici permeabili all'interno delle aree urbane

CRITICITÀ

I costi elevati e il grado di manutenzione costante da mantenere rendono questa soluzione poco adatta a contesti con budget e risorse ridotti. Inoltre, per riscontrare l'effettiva efficacia dell'assorbimento delle acque è preferibile l'inserimento in aree ampie e continue.



Progetto: Godsbanearealet
 Progettista: Sanberg
 Luogo: Aalborg, Danimarca
 Anno: 2014

La progettazione del quartiere ha posto come obiettivo principale la gestione delle acque piovane, poiché l'area risultava interessata ad alluvioni intense per portata d'acqua. La realizzazione delle coperture verdi degli edifici ha garantito una maggiore quantità di area permeabile alle alluvioni, riducendo al minimo il deflusso e permettendone una migliore gestione.

A. FORTI VENTI

A. FORTI VENTI

In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione degli eventi climatici estremi delle forti perturbazioni: venti e tempeste. Questi eventi, per quanto siano inevitabili e gestibili solamente in parte, presentano delle azioni atte alla mitigazione che vengono riportate.

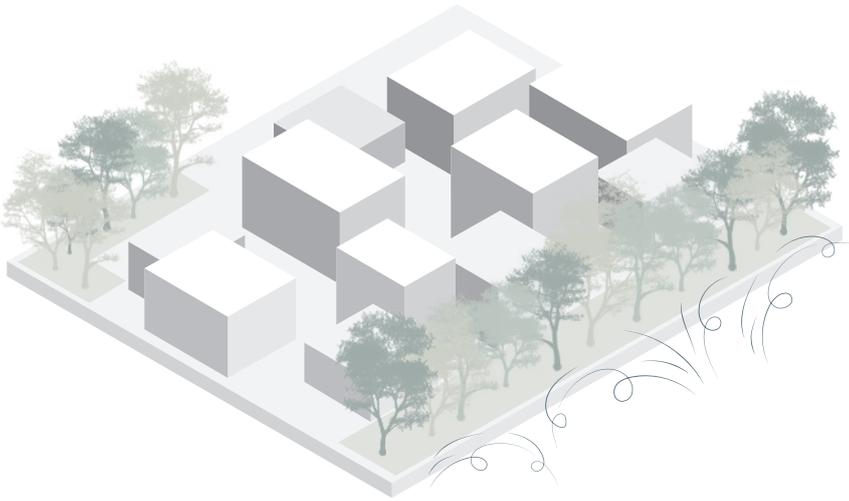


AZIONI FORTI VENTI

V.01 _ BARRIERA VEGETALE O QUINTA ARBOREA

V.02 _ FRANGIVENTO E SCHERMATURE

BARRIERA VEGETALE o QUINTA ARBOREA



STRATEGIA spazio esterno areale, vegetale

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, appenninica, mediterranea

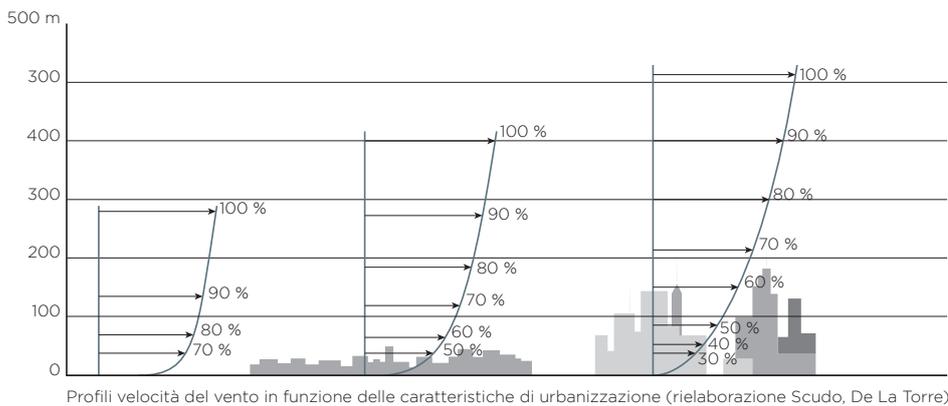
MANUTENZIONE Bassa

EFFICIENZA

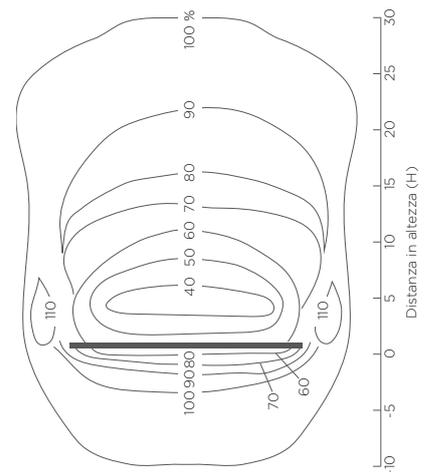
CRITICITÀ grandi superfici, distanze cautelative, corretta progettazione

COSTI

LOCALIZZAZIONE aperta campagna, area periurbana, area urbana



Distribuzione velocità del vento intorno ad una barriera



Tipologia intervento: frangivento, quinta arborea

Luogo: Arborea, Sardegna - Italia

Anno: primi anni '50

Nel corso degli anni 50 l'EFTAS - Ente per la trasformazione fondiaria e agraria in sardegna, bonificò tutti i terreni e li riassegnò ai contadini nella speranza di risvegliare l'agricoltura sarda. Fin dai primi anni di attività iniziò a predisporre un gran numero di filari di eucaliptus nel Centro di Colonizzazione di Oristano tramite il vivaio San Quirico impiegandoli come frangivento.



DESCRIZIONE sono colture a sviluppo lineare di alberi definiti frangivento per la loro caratteristiche di resistenza alle sferzate e alle correnti violente e di protezione per le aree retrostanti.

Questo assetto a 'filare' può essere impiegato come riparo per le coltivazioni e per le aree urbanizzate e può apportare riparo fino ad una distanza 10 volte l'altezza della vegetazione.

Le specie più indicate sono quelle sempreverdi o quelle cadufoglie con rami densi poichè non accusano mai il diradamento della chioma; le specie rustiche e a rapida crescita; le specie con apparato radicale sviluppato e di difficile eradicazione

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia consiste nella gestione della fascia vegetale: controllo periodico e potatura, sostituzione o abbattimento degli esemplari vecchi o ammalati e controllo dei livelli di umidità e di condizione di secchezza o meno di foglie e gemme proprio dovute all'eccessiva ventosità (come anche le condizioni di umidità del terreno sottoposto ad evaporazione rilevante a

causa delle forti correnti)

EFFICIENZA Secondo la teoria SIA (Statics Integrated Assessment) messa a punto dall'ing. L. Wessolly responsabile del progetto 'Light weight constructions in nature', la struttura di un albero è paragonabile a quella di un edificio dove a determinare la sicurezza statica dell'elemento (ovvero la sua efficienza) contribuiscono carico, materiale e geometria costituenti del 'triangolo della statica'.

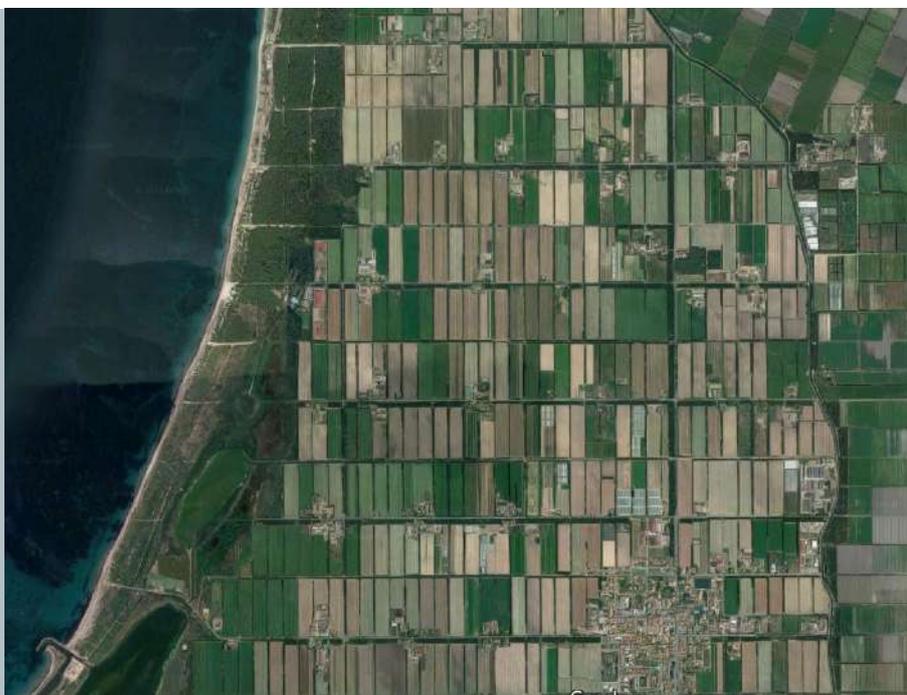
carico con influenza del 73% sull'efficacia statica -> è rappresentato dalla spinta del vento in funzione all'altezza dell'albero e della forma della chioma con il suo coefficiente C_w di turbolenza aerodinamica. Le prove dimostrano come il massimo del carico sopportato da una chioma in perfetta salute sia di circa 32,5 m/s equivalente ad un uragano di grado 12 sulla scala di Beaufort e come a seconda dell'area in cui è collocata l'essenza (aperta campagna, area periurbana caratterizzata da edifici bassi e città) l'esposizione va differenziata.

materiale con influenza del 13,5% sull'efficacia statica->

la porzione di legno 'vivo' ovvero quello ritrovabile negli ultimi anelli di accrescimento con comportamento elastico dato dall'umidità superiore al 30% e assenza di difetti. Viene dimostrato come sia proprio questa porzione esterna di radici, fusto e rami ad apportare la resistenza significativa

geometria con influenza del 13,5% sull'efficacia statica -> intesa come corrette dimensioni e proporzioni di radici, fusto e chioma nonche la corrispondenza nell'incremento delle dimensioni all'aumento del carico del vento.

CRITICITÀ vanno posizionati perpendicolarmente alla direzione prevalente del vento, devono avere uno sviluppo in lunghezza non inferiore a 24 volte l'altezza raggiungibile dalle piante impiegate (permette di ottenere protezione anche in caso di mutamento fino a 45° della direzione prevalente del vento), devono distanziarsi di una lunghezza compresa tra 0,5 e 2 m per le specie arbustive e per una lunghezza compresa tra 3 e 5 m per le specie arboree



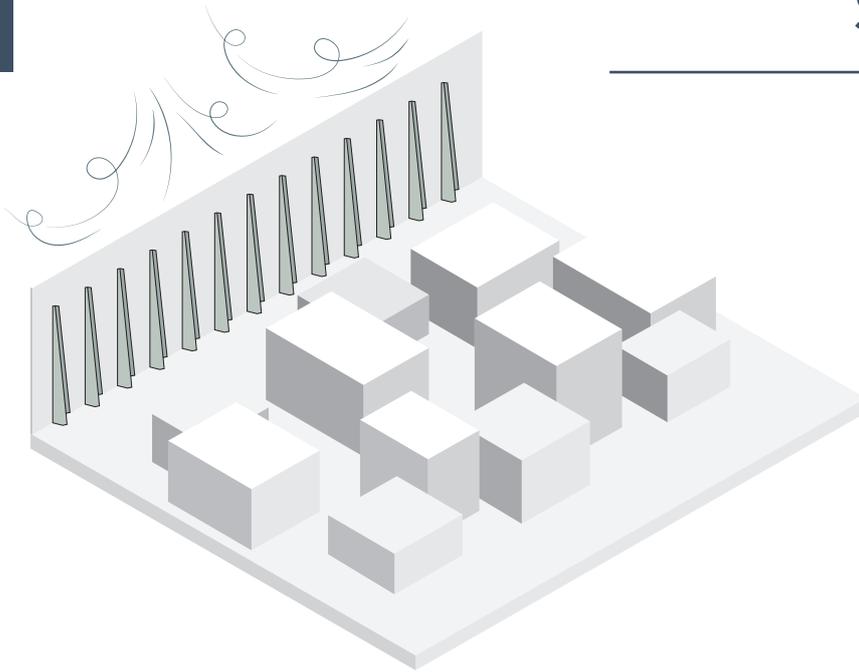
Tipologia intervento: frangivento, quinta arborea

Luogo: Arborea, Sardegna - Italia

Anno: 2023

La quinta arborea iniziata oltre 70 anni fa, oggi si compone di tre fasce: la prima costituita da 5-10 file di alberi di eucalipto normali alla direzione del vento; la seconda 2-3 file di cipressi posti perpendicolari alla prima; la terza costituita da un filare unico in prossimità di fossati. Si calcola che all'interno dell'area schermata dalla quinta la velocità del vento sia inferiore del 37-40%

FRANGIVENTO e SCHERMATURE



STRATEGIA spazio esterno areale, facciate edifici

METODOLOGIA ADATTA A mitigazione

AMBITO Regione climatica alpina/ adriatica/appenninica/mediterranea

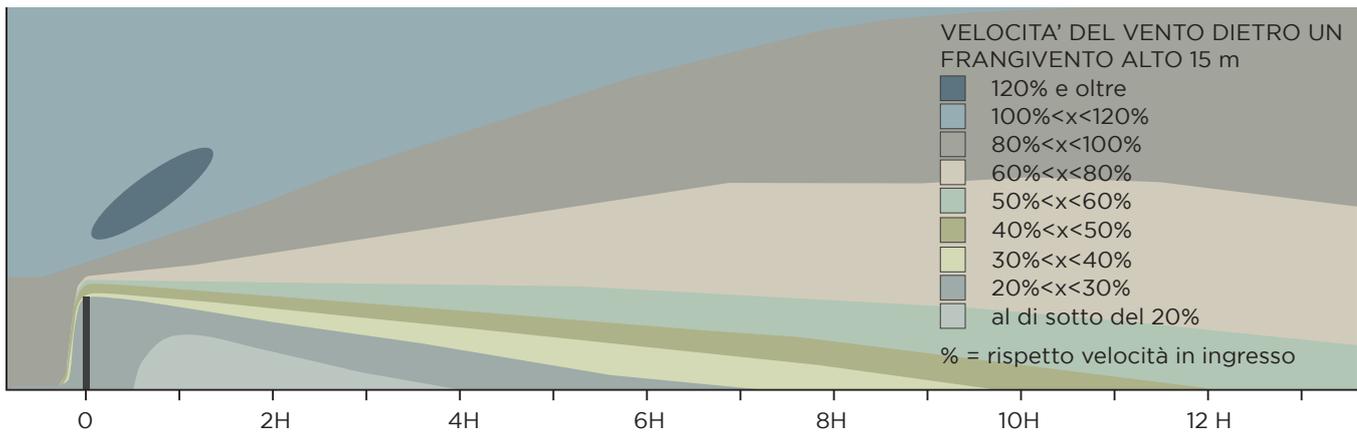
MANUTENZIONE bassa

EFFICIENZA

CRITICITÀ distacco e flying debris

COSTI

LOCALIZZAZIONE aperta
campagna, area periurbana, area urbana



Tipologia intervento: frangiventi pannelli metallici

Luogo: Port Hedland, West End - Australia

Anno: 2022

La CPB Contractors di CIMIC Group si è aggiudicata la costruzione di frangivento nella regione del West End con il progetto Pilbara Air Quality Program. Le opere dovranno essere anticiclone ed evitare lo spargimento di polveri dell'area portuale di proprietà di BHP, saranno realizzate con 3000 t di acciaio strutturale e punteranno al maggior coinvolgimento possibile di imprese e occupazione indigena. Le recinzioni avranno un'altezza di 30 m e uno sviluppo di 2 km



DESCRIZIONE Tettoie e schermi frangivento su terminali, podi sovrelevati, bordi e angoli di balconi e terrazzi favorisce la protezione delle aree esposte al diretto contatto con le correnti ad alta velocità, aiutando ad evitare distacchi e cadute di porzioni di facciata o di piastrelle di rivestimento nel caso di facciate ventilate. Il posizionamento di lame orizzontali permette di interrompere i flussi discendenti che si creano nello scorrimento delle masse d'aria lungo facciate di edifici particolarmente lisce e continue. L'installazione di queste lame in prossimità di ingressi e punti di forte passaggio permette di ottenere condizioni più favorevoli a livello del suolo e rendere più confortevole il transito. Questa strategia può essere impiegata con frangivento in vetro a balaustra piena, vegetazione e canniccio,

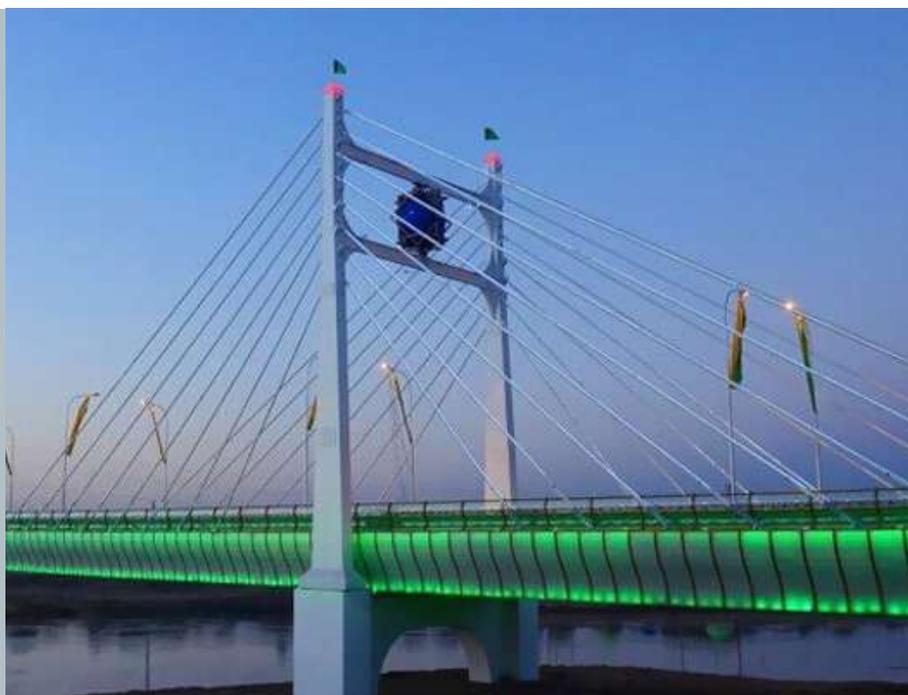
mensole in metallo, divisori in legno e molto altro, rendendola adatta a soddisfare anche questioni estetiche. Questa strategia è adatta a aperture e terrazzi posti sulle facciate direttamente investite dalla direzione preponderante del vento, soprattutto se ubicati in vie che favoriscano la creazione e amplificazione delle correnti discendenti originate lungo le facciate esterne. L'impiego di dispositivi di schermatura può avere declinazione sia urbana che rurale mediante l'utilizzo di muri, reti, pannelli e elementi di arredo.

MANUTENZIONE La manutenzione legata a questa strategia è piuttosto bassa e necessita di pulizia degli elementi di schermatura e di un controllo periodico sulla stabilità e solidità dell'aggancio alla parte strutturale per evitare il distacco per usura o fatica in occasione di venti

eccezionalmente forti.

EFFICIENZA L'applicazione di frangivento smorza l'energia cinetica del vento, provocando una diminuzione di velocità della parte che lo attraversa e una deviazione per la parte che impattando viene spinta verso l'alto scavalcandolo. Per quanto concerne gli elementi per contesto rurale hanno un'efficacia valutabile in funzione dell'altezza, della porosità e dell'estensione. Sono efficaci nella riduzione del vento tanto quanto lo sono nel ridurre i consumi di acqua dovuti all'evapotraspirazione.

CRITICITÀ se utilizzati in siti agricoli possono provocare ombreggiamento dovuto alla densità delle maglie o se vengono sradicati da forti raffiche possono rappresentare dei fattori di pericolo e contribuire alla quantità di flying debris che si librano durante un evento ad altissima intensità.



Tipologia intervento: frangivento pannelli in plastica e metallo
Luogo: Ponte Gokce - Turkmenistan
Anno: 2012

L'impiego di frangivento è diffuso anche nell'ingegneria civile come in questo ponte sospeso dove per proteggere i veicoli che lo percorrono dalle sferzate provenienti dal fiume sottostante vengono impiegati pannelli della fabbrica YENTE in plastica trasparente decorata.

A. ONDATE DI CALORE

A. ONDATE DI CALORE

In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione degli eventi climatici estremi delle ondate di calore.

Questi eventi sono sempre più gravi e frequenti, rappresentano una minaccia crescente per l'Italia.



AZ. ONDATE DI CALORE

C.01 _ VASCHE D'ACQUA E FONTANE

C.02 _ NEBULIZZATORI

C.03 _ DEPAVIMENTAZIONE

C.04 _ PIANTUMAZIONE DI ALBERI

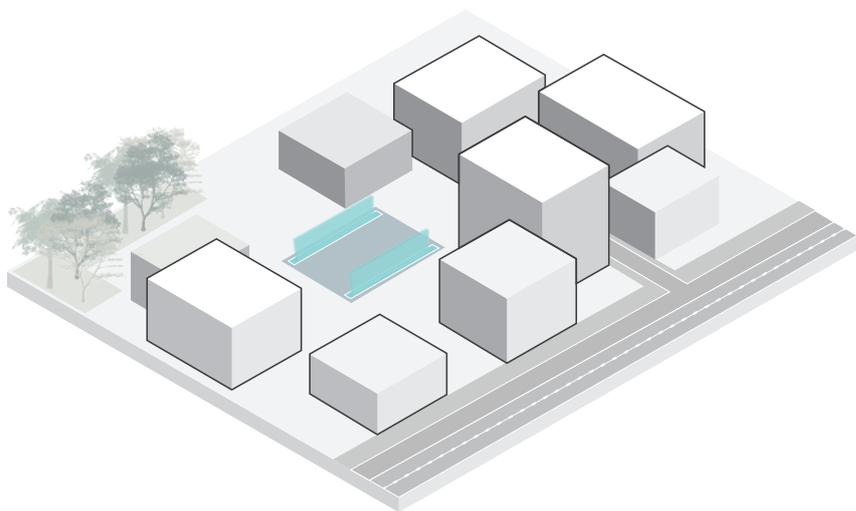
C.05 _ VERDE VERTICALE

C.06 _ COPERTURE VERDI

C.07 _ PERGOLE

C.08 _ COPERTURE FISSE

VASCHE D'ACQUA E FONTANE



STRATEGIA spazio esterno
METODOLOGIA ADATTA A
 adattamento

AMBITO Regione climatica
 padana, tirrenica, adriatica,
 mediterranea

MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

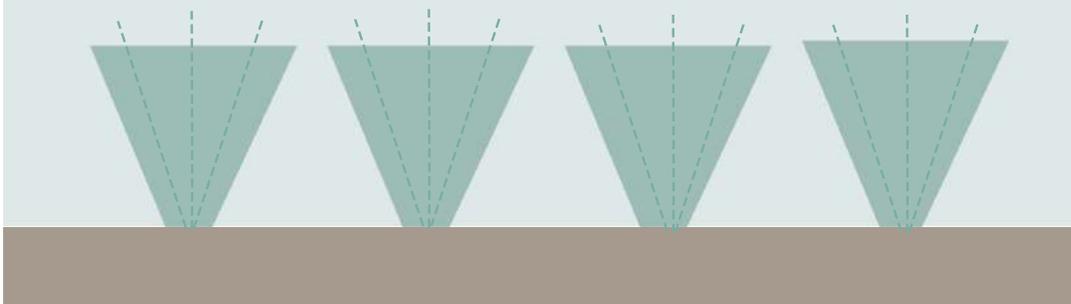
COSTI medio alti

LOCALIZZAZIONE Spazi urbani,
 parchi, aree di passaggio pedonale

+T

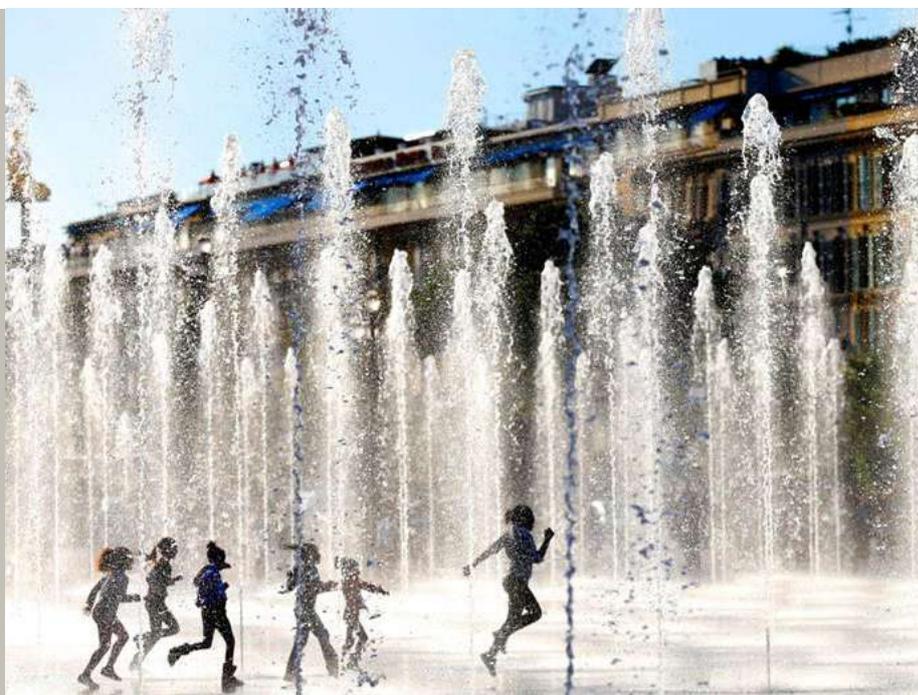
AREA DI RAFFRESCAMENTO PER VAPORIZZAZIONE

-T



Progetto: The Paillon Promenade
 Progettista: Péna Paysages
 Luogo: Nizza, Francia
 Anno: 2013

Il progetto si sviluppa come copertura dell'alveo del fiume Paillon, il quale si presentava come un rivolo d'acqua non considerato di grande pregio paesaggistico. Tra le aree di copertura del fiume è presente il giardino Albert 1er. che ricopre un'area di 1400 mq ed è composto da una pavimentazione in blocchi in pietra di basalto contenenti 960 nebulizzatori. In questo modo le particelle di acqua nebulizzate raffrescano l'area circostante attraverso l'evaporazione. Inoltre, l'effetto di raffrescamento risulta particolarmente piacevole alle persone che attraversano la piazza, creando una vera e propria zona di comfort dal calore urbano.



DESCRIZIONE

L'utilizzo di sistemi ad acqua negli spazi urbani garantisce comfort termico, regolando il microclima, infatti la vaporizzazione dell'acqua permette l'assorbimento di energia termica e di conseguenza la diminuzione delle temperature. Il dimensionamento di queste soluzioni dipende dalle disponibilità spaziali, ma in generale sono preferibili vasche o fontane di grandi dimensioni. Infatti, maggiore è la massa di acqua maggiore sarà la sua massa termica. Inoltre il movimento dell'acqua fornisce una nebulizzazione naturale, incrementando l'efficacia dell'azione dell'acqua sull'abbassamento delle temperature. In base alla soluzione perseguita ci sono inoltre,

alcuni accorgimenti che ne garantiscono una maggiore efficacia:

- Vasche d'acqua: è preferibile prevedere un circuito idraulico chiuso di acqua in movimento.
- Cascate e fontane: il sistema risulta maggiormente efficace dato il movimento proprio del sistema. Avviene uno scambio di radiante di energia con le persone e favorisce il comfort termico.

MANUTENZIONE

Periodica pulizia e manutenzione dei sistemi. Disincrostazione dei depositi calcarei che possono intasare i sistemi.

EFFICIENZA

Efficace in aree di sosta e relax ma applicabile solo in assenza di fenomeni di siccità.

Aumentano le prestazioni e la diminuzione della temperatura ambientale se combinati ad azioni di raffrescamento generate da soluzioni di origine naturale.

CRITICITÀ

Soluzione non adatta a contesti in cui sono presenti problemi di siccità. L'inserimento delle fontane richiede ampi spazi ad uso pubblico pedonale. Inoltre, la soluzione potrebbe non essere adatta singolarmente ma andrebbe combinata ad altre azioni nei casi di ondate di calore intense.

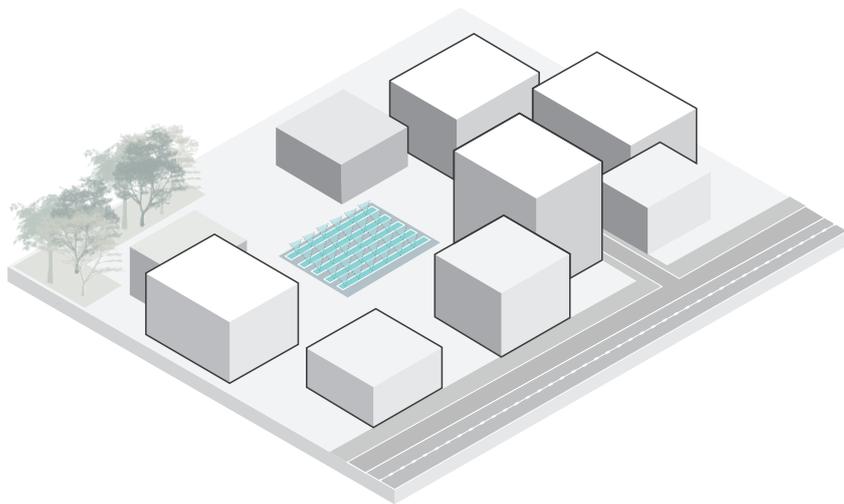
Le cascate o fontane possono richiedere un dispendio di energia tale da non essere adatti a contesti di povertà energetica o in cui si richiedono pochi costi di funzionamento.



Progetto: Templeuve
 Progettista: Agence Canopée
 Luogo: Lille, Francia
 Anno: 2013

Nell'area prospiciente alla stazione ferroviaria di Templeuve è stato realizzato un progetto di rifunzionalizzazione e riqualificazione. L'intento del progetto è quello di dare una nuova importanza all'area, dando importanza a tutte le tipologie di utenti della strada. Inoltre è stata data notevole importanza alla restituzione di aree verdi all'area, procedendo con opere di depavimentazione.

NEBULIZZATORI



STRATEGIA spazio esterno
METODOLOGIA ADATTA A
 adattamento

AMBITO Regione climatica
 padana,tirrenica,adriatica,
 mediterranea

MANUTENZIONE periodica

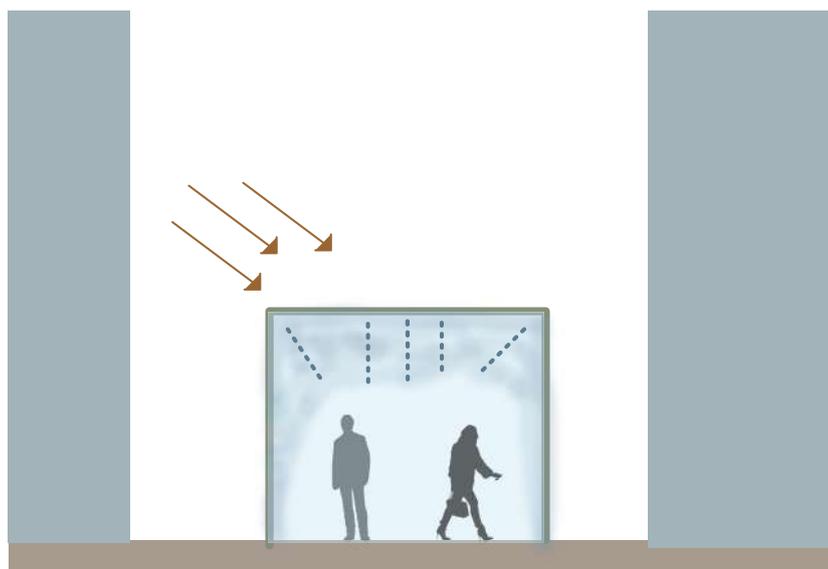
COSTI medio alti

EFFICIENZA

CRITICITÀ

COSTI medio alti

LOCALIZZAZIONE Spazi urbani,
 parchi, aree di passaggio pedonale
 coperte



Progetto: Alto Zürrus in Turbinenplatz
 Progettista: Grün Stadt Zürich
 Luogo: Zurigo, Svizzera
 Anno: 2022-2024 fase monitoraggio
 La nuvola artificiale Alto Zürrus è stata progettata per contrastare l'isola di calore urbano che colpisce la piazza principale della città di Zurigo, Turbinenplatz. Infatti, nelle estati passate si sono registrati fino a 6°C in più rispetto al resto della città. Il progetto costato 140.000 franchi svizzeri sarà in fase di monitoraggio, per la valutazione degli effetti, dal 2022 al 2024. Alto Zürrus è composto da un anello in alluminio dal diametro di 9 m all'interno del quale sono inseriti 180 ugelli, sospesi da terra di 5 m. Le particelle d'acqua nebulizzate dovrebbero, tramite evaporazione, estrarre l'energia termica dell'aria circostante, prevedendo una riduzione di 10°C nell'ambiente. Inoltre, la nuvola si attiva grazie a dei sensori, esclusivamente al superamento di 30°C, garantendo il raffrescamento solo nei periodi necessari.



DESCRIZIONE

Sistema di mitigazione del calore urbano basato sull'evaporazione dell'acqua, infatti il sistema garantisce raffreddamento grazie al contatto tra acqua e aria che fornisce energia per la vaporizzazione.

Questo sistema funziona generalmente meglio se associato ad altre soluzioni.

In diverse applicazioni è stato sperimentato che l'inserimento di sistemi di controllo automatico garantiscono una maggiore efficienza, questo perchè la potenza o la stessa attivazione dei nebulizzatori è legata alle condizioni ambientali esterne. Inoltre, alcune accortezze permettono di evitare depositi d'acqua, tra le quali:

- Posizionare i nebulizzatori

ad altezze maggiori per garantire un maggiore volume d'aria a cui legarsi

- Utilizzare micronizzatori che riducano al minimo le dimensioni delle gocce d'acqua
- Impostare il nebulizzatore in modo che funzioni in maniera discontinua, alternando brevi periodi di funzionamento a brevi periodidi stop.

MANUTENZIONE

Periodica pulizia e manutenzione dei sistemi

EFFICIENZA

Efficace in aree di sosta e relax, se abbinati ad azioni di ombreggiamento e copertura aumentano le prestazioni e gli effetti, in particolare

andrebbero abbinati a pergole o alberi.

CRITICITÀ

Soluzione non adatta a contesti in cui sono presenti problemi di siccità. Il posizionamento dei nebulizzatori è strettamente vincolato a spazi di fruizione pedonale e richiedono una manutenzione elevata, non risulta consigliabile per contesti con pochi spazi a disposizione e in cui sono richieste soluzioni low-budget.

Non si consiglia l'utilizzo in contesti con elevata umidità relativa e in presenza di forti venti direzionati. In questi ultimi casi è necessario inserire sistemi di controllo.



Progetto: The Paillon Promenade

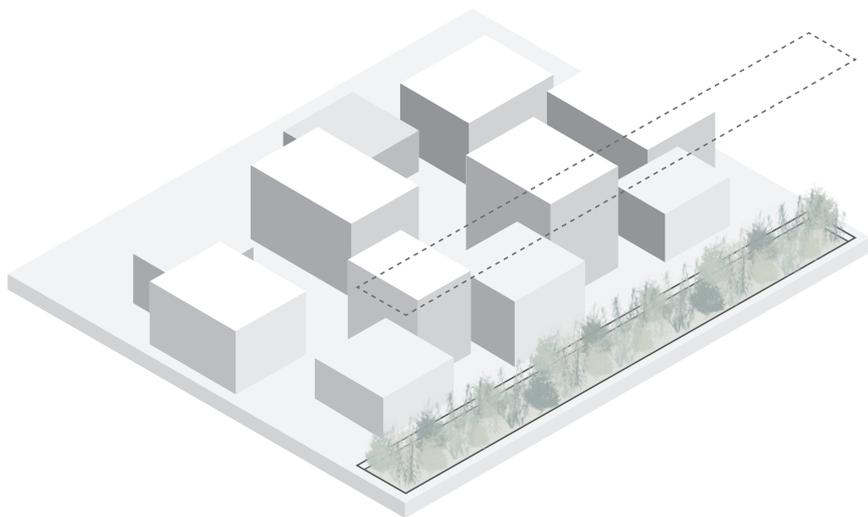
Progettista: Péna Paysages

Luogo: Nizza, Francia

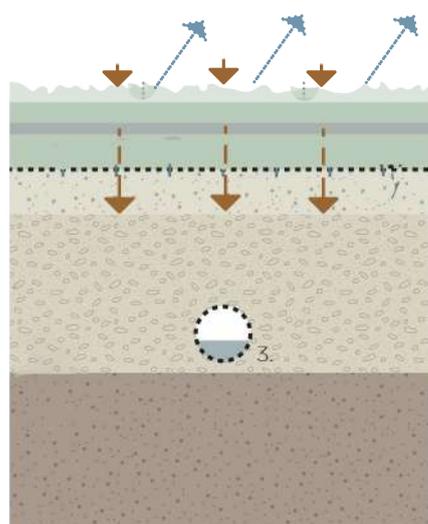
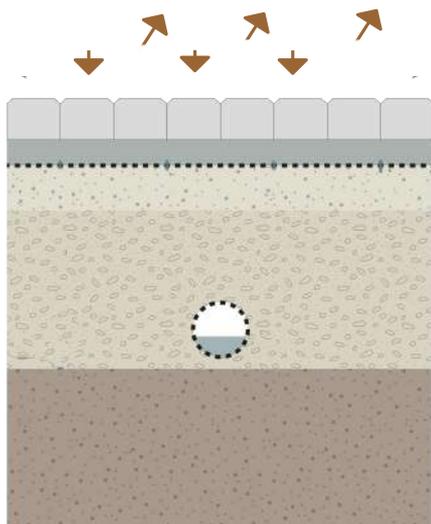
Anno: 2013

Il progetto si sviluppa come copertura dell'alveo del fiume Paillon, il quale si presentava come un rivolo d'acqua non considerato di grande pregio paesaggistico. Tra le aree di copertura del fiume è presente il giardino Albert 1er. che ricopre un'area di 1400 mq ed è composto da una pavimentazione in blocchi in pietra di basalto contenenti 960 nebulizzatori. In questo modo le particelle di acqua nebulizzate raffreddano l'area circostante attraverso l'evaporazione. Inoltre, l'effetto di raffreddamento risulta particolarmente piacevole alle persone che attraversano la piazza, creando una vera e propria zona di comfort dal calore urbano.

DEPAVIMENTAZIONE



STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica padana,tirrenica,adriatica, mediterranea
MANUTENZIONE periodica
EFFICIENZA
CRITICITÀ
COSTI bassi
LOCALIZZAZIONE Spazi urbani, parchi, aree verdi



Progetto: Whitman Elementary School
 Progettista: Depave
 Luogo: Portland, USA
 Anno: 2021
 Attraverso la depavimentazione di circa 240 mq di asfalto sono state realizzate 6 aree in cui sono stati inseriti alberi e 116 specie arboree differenti.
 Il progetto ha permesso di contrastare fenomeni di ondate di calore garantendo un maggiore ombreggiamento ed evapotraspirazione nell'area circostante alla scuola.



DESCRIZIONE

All'interno delle aree urbane si registra un fenomeno sempre maggiore di consumo di suolo, l'elevata presenza di aree impermeabilizzate favorisce la creazione di isole di calore urbano.

Tra le azioni da intraprendere per contrastare il fenomeno vi è la depavimentazione, cioè dove è possibile vengono rimosse porzioni di pavimentazioni impermeabili e asfalto per ripristinare porzioni di aree verdi.

Una volta individuate le aree asfaltate da rimuovere si andranno perciò a ricreare piccoli giardini ornamentali o fruibili dalle persone.

Le superfici verdi risultano ottimali nei contesti urbani densamente costruiti in quanto hanno un importante ruolo di regolamentazione termica. Grazie al processo di evaporazione nelle ore diurne diminuisce la temperatura; infatti, un manto erboso può

avere una temperatura di 15°C inferiore rispetto all'asfalto. Inoltre nelle ore notturne riduce la riflessione dei raggi solari garantendo una buona escursione notte e giorno. Esistono differenti tipologie di manti erbosi a seconda delle necessità e degli usi, la scelta deve essere orientata in base all'utilizzo specifico di un'area e alle possibilità di gestione e manutenzione. Le tipologie sono:

1. Rustici- poca manutenzione, adatte per aree fluviali o spazi pubblici inondabili
2. Ornamentali- medio/alta manutenzione, adatti a giardini privati e pubblici, resistenti a calpestio
3. Fioriti e tappezzati- medio/bassa manutenzione, scopo decorativo e utilizzo di mix di piante perenni e stagionali che non richiedono cure particolari

MANUTENZIONE

Variabile da una bassa manutenzione dei prati rustici, fioriti e tappezzati fino ad un'alta manutenzione dei giardini ornamentali

EFFICIENZA

Efficace in aree densamente costruite poichè mitigano gli effetti delle ondate di calore e rendono le aree urbane più a misura d'uomo.

CRITICITÀ

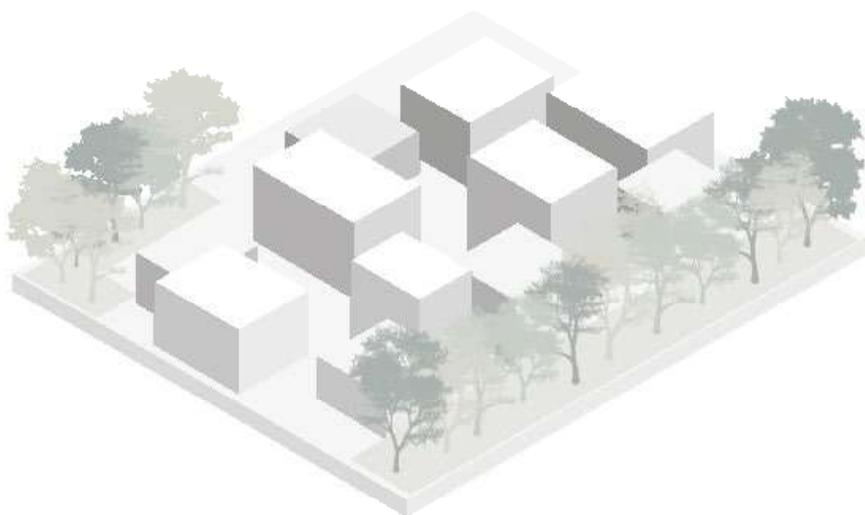
La scelta delle aree da depavimentare deve essere ponderata, non è consigliabile realizzarle in aree in cui le acque pluviali possono contenere sostanze inquinanti (strade, parcheggi, impianti produttivi). In caso di presenza di sostanze inquinanti vanno scelte piante in grado di convivere con inquinamento atmosferico e in grado di filtrare acque meteoriche.



Progetto: Aiula via Suzzani
Progettista: Soil4life
Luogo: Milano, Italia
Anno: 2020

Progetto realizzato nella giornata mondiale del suolo, è stata rimossa una porzione di asfalto con la funzione di spartitraffico, al suo posto è stata realizzata un'aiuola con l'obiettivo di far crescere piante e arbusti che possano influenzare il microclima urbano.

PIANTUMAZIONE DI ALBERI



STRATEGIA vegetale
METODOLOGIA ADATTA A adattamento
AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea
MANUTENZIONE periodica
EFFICIENZA
CRITICITÀ
COSTI bassi
LOCALIZZAZIONE Spazi urbani, parchi, aree di passaggio pedonale



Progetto: Parco Gagliarella
 Progettista: Comune
 Luogo: Toscana
 Anno: in corso

La nuvola artificiale è stata progettata per contrastare l'isola di calore urbano che colpisce la piazza principale della città, Turbinenpaltz, soggetta ad isole di calore. Il progetto costato 140.000 franchi svizzeri sarà in fase di monitoraggio, per la valutazione degli effetti, dal 2022 al 2024. È composto da un anello in alluminio dal diametro di 9 m all'interno del quale sono inseriti 180 ugelli, sospesi da terra di 5 m. Le particelle d'acqua nebulizzate evaporizzando estraggono l'energia termica dell'aria circostante, prevedendo una riduzione di 10°C nell'ambiente. Inoltre, si attiva grazie a dei sensori, esclusivamente al superamento di 30°C, garantendo il raffrescamento solo nei periodi necessari.



DESCRIZIONE

All'interno delle aree urbane si registra un fenomeno sempre maggiore di consumo di suolo, l'elevata presenza di aree impermeabilizzate favorisce la creazione di isole di calore urbano.

Tra le azioni da intraprendere per contrastare il fenomeno vi è la depavimentazione, cioè dove è possibile vengono rimosse porzioni di pavimentazioni impermeabili e asfalto per ripristinare porzioni di aree verdi.

Una volta individuate le aree asfaltate da rimuovere si andranno perciò a ricreare piccoli giardini ornamentali o fruibili dalle persone.

Le superfici verdi risultano ottimali nei contesti urbani densamente costruiti in quanto hanno un importante ruolo di regolamentazione termica. Grazie al processo di evaporazione nelle ore diurne diminuisce la temperatura; infatti, un manto erboso può

avere una temperatura di 15°C inferiore rispetto all'asfalto. Inoltre nelle ore notturne riduce la riflessione dei raggi solari garantendo una buona escursione notte e giorno. Esistono differenti tipologie di manti erbosi a seconda delle necessità e degli usi, la scelta deve essere orientata in base all'utilizzo specifico di un'area e alle possibilità di gestione e manutenzione. Le tipologie sono:

1. Rustici- poca manutenzione, adatte per aree fluviali o spazi pubblici inondabili
2. Ornamentali- medio/alta manutenzione, adatti a giardini privati e pubblici, resistenti a calpestio
3. Fioriti e tappezzati- medio/bassa manutenzione, scopo decorativo e utilizzo di mix di piante perenni e stagionali che non richiedono cure particolari

MANUTENZIONE

Variabile da una bassa manutenzione dei prati rustici, fioriti e tappezzati fino ad un'alta manutenzione dei giardini ornamentali

EFFICIENZA

Efficace in aree densamente costruite poiché mitigano gli effetti delle ondate di calore e rendono le aree urbane più a misura d'uomo.

CRITICITÀ

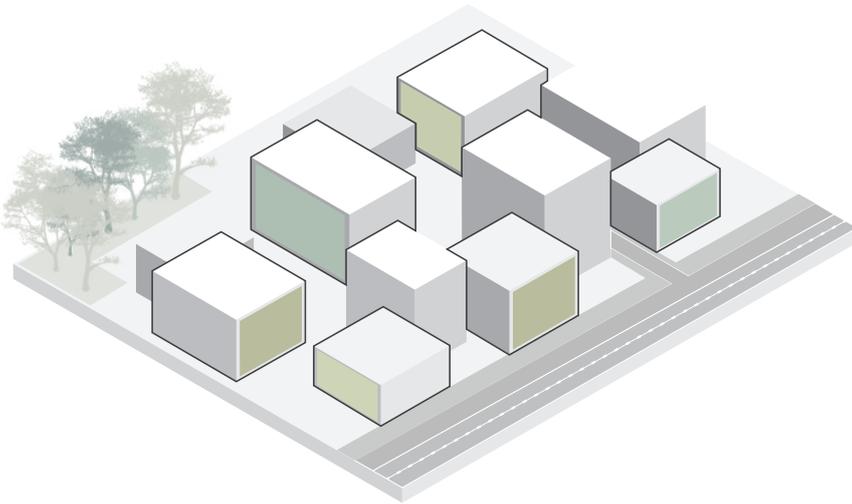
La scelta delle aree da depavimentare deve essere ponderata, non è consigliabile realizzarle in aree in cui le acque pluviali possono contenere sostanze inquinanti (strade, parcheggi, impianti produttivi). In caso di presenza di sostanze inquinanti vanno scelte piante in grado di convivere con inquinamento atmosferico e in grado di filtrare acque meteoriche.



Progetto: Biblioteca degli alberi
Progettista: Péna Paysages
Luogo: Milano, Italia
Anno: 2013

Il progetto si sviluppa come copertura dell'alveo del fiume Paillon, il quale si presentava come un rivolo d'acqua non considerato di grande pregio paesaggistico. Tra le aree di copertura del fiume è presente il giardino Albert 1er. che ricopre un'area di 1400 mq ed è composto da una pavimentazione in blocchi in pietra di basalto contenenti 960 nebulizzatori. In questo modo le particelle di acqua nebulizzate rinfrescano l'area circostante attraverso l'evaporazione. Inoltre, l'effetto di rinfrescamento risulta particolarmente piacevole alle persone che attraversano la piazza, creando una vera e propria zona di comfort dal calore urbano.

VERDE VERTICALE



STRATEGIA vegetale/ sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea

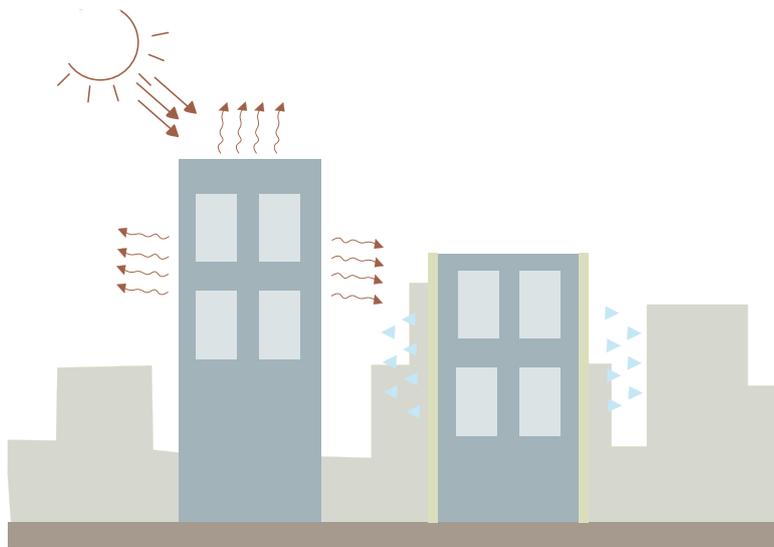
MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

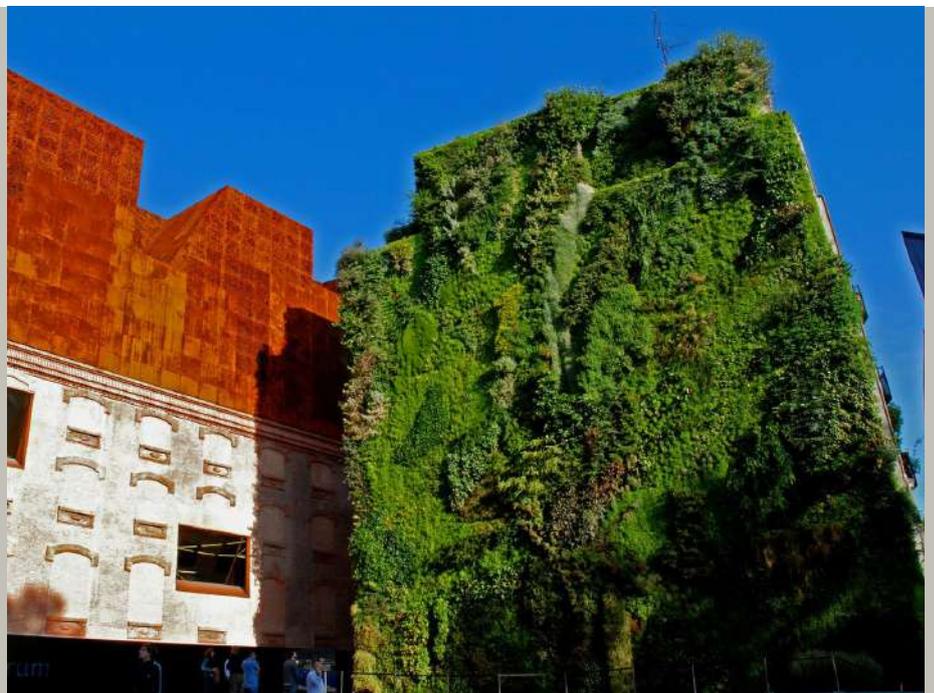
COSTI medio bassi

LOCALIZZAZIONE Facciate di edifici ad uso residenziale, commerciale, terziario



Progetto: Foro Caixa
Progettista: Patrick Blanc
Luogo: Madrid, Spagna
Anno: 2007

Il museo Caixa Forum è stato realizzato attraverso il restauro di una vecchia centrale elettrica del 1899. La facciata verde idroponica si sviluppa su 600 mq e presenta 300 tipologie di piante differenti.



DESCRIZIONE

Il verde verticale si adatta bene come seconda pelle di edifici di nuova costruzione o esistenti. Questa soluzione è particolarmente indicata per contrastare gli effetti delle ondate di calore e isole di calore urbano, infatti la vegetazione garantisce raffreddamento tramite evaporazione. Inoltre, viene garantito il comfort interno migliorando l'isolamento e impedendo il surriscaldamento dovuto all'irraggiamento dei raggi solari sulla parete. In contemporanea vengono ridotte le dispersioni di calore e di conseguenza il fabbisogno energetico dell'edificio.

Esistono due tipologie di verde verticale e sono:

1. Verde verticale con rampicanti, in cui si sfrutta la peculiarità di questo tipo di piante promuovendone la crescita in facciata

2. Giardini verticali in cui vengono inseriti insieme ai rampicanti anche piante e piccoli arbusti

In genere viene prevista una struttura portante, possibilmente in acciaio e uno strato geotessile o un materassino di tessuto non tessuto contenente il substrato di coltivazione.

Per entrambe le tipologie valgono alcune regole base da seguire, per esempio la scelta della tipologia di piante da utilizzare dovrebbe essere sempre ponderata e orientata in base al clima di riferimento. L'ultimo aspetto fondamentale è la previsione di un sistema d'irrigazione adeguato.

MANUTENZIONE

Sostituzione periodica delle piante quando necessario e manutenzione del sistema d'irrigazione.

EFFICIENZA

È stato calcolato che una facciata verde può ridurre anche di 5°C la temperatura interna di un edificio e a livello di risparmio energetico ed economico risulta molto efficiente.

Inoltre, la presenza di verde nelle aree urbane garantisce il raffreddamento per evotraspirazione.

CRITICITÀ

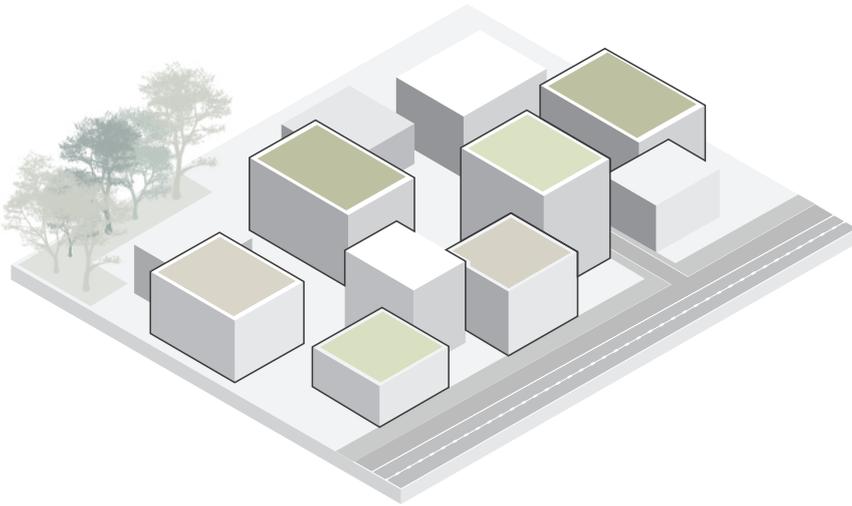
In base alla soluzione scelta i costi possono essere più o meno elevati. La scelta della soluzione deve essere ponderata in base all'orientamento della facciata, non risulta infatti consigliabile l'inserimento in facciate poco esposte. Anche il livello di manutenzione può essere vincolante in alcuni casi, infatti in base alla soluzione può essere richiesta una manutenzione superiore.



Progetto: The Paillon Promenade
 Progettista: Péna Paysages
 Luogo: Nizza, Francia
 Anno: 2013

Il progetto si sviluppa come copertura dell'alveo del fiume Paillon, il quale si presentava come un rivolo d'acqua non considerato di grande pregio paesaggistico. Tra le aree di copertura del fiume è presente il giardino Albert 1er. che ricopre un'area di 1400 mq ed è composto da una pavimentazione in blocchi in pietra di basalto contenenti 960 nebulizzatori. In questo modo le particelle di acqua nebulizzate rinfrescano l'area circostante attraverso l'evaporazione. Inoltre, l'effetto di raffreddamento risulta particolarmente piacevole alle persone che attraversano la piazza, creando una vera e propria zona di comfort dal calore urbano.

COPERTURE VERDI



STRATEGIA vegetale/ sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea

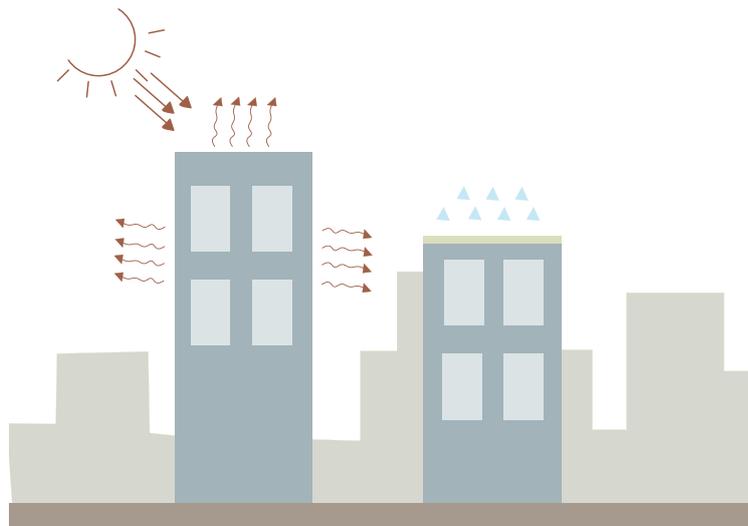
MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

COSTI medio bassi

LOCALIZZAZIONE Spazi sopra edifici ad uso residenziale, commerciale, terziario



Progetto: Ozanam
Progettista: OrtiAlti
Luogo: Torino, Italia
Anno: 2016

Sono stati recuperati 300 mq di copertura adibendone 150 mq a funzione di orto per uso della comunità e chi vive la zona. In questo modo si è cercato di garantire anche una porzione di area verde nel complesso estremamente edificato, aiutando a diminuire i fenomeni di isole di calore urbano.



DESCRIZIONE

Il verde verticale si adatta bene come seconda pelle di edifici di nuova costruzione o esistenti. Questa soluzione è particolarmente indicata per contrastare gli effetti delle ondate di calore e isole di calore urbano, infatti la vegetazione garantisce raffreddamento tramite evaporazione. Inoltre, viene garantito il comfort interno migliorando l'isolamento e impedendo il surriscaldamento dovuto all'irraggiamento dei raggi solari sulla parete. In contemporanea vengono ridotte le dispersioni di calore e di conseguenza il fabbisogno energetico dell'edificio.

Esistono due tipologie di verde verticale e sono:

1. Verde verticale con rampicanti, in cui si sfrutta la peculiarità di questo tipo di piante promuovendone la crescita in facciata

2. Giardini verticali in cui vengono inseriti insieme ai rampicanti anche piante e piccoli arbusti

In genere viene prevista una struttura portante, possibilmente in acciaio e uno strato geotessile o un materassino di tessuto non tessuto contenente il substrato di coltivazione.

Per entrambe le tipologie valgono alcune regole base da seguire, per esempio la scelta della tipologia di piante da utilizzare dovrebbe essere sempre ponderata e orientata in base al clima di riferimento. L'ultimo aspetto fondamentale è la previsione di un sistema d'irrigazione adeguato.

MANUTENZIONE

Sostituzione periodica delle piante quando necessario e manutenzione del sistema d'irrigazione.

EFFICIENZA

È stato calcolato che una facciata verde può ridurre anche di 5°C la temperatura interna di un edificio e a livello di risparmio energetico ed economico risulta molto efficiente.

Inoltre, la presenza di verde nelle aree urbane garantisce il raffreddamento per evotraspirazione.

CRITICITÀ

In base alla soluzione scelta i costi possono essere più o meno elevati. La scelta della soluzione deve essere ponderata in base all'orientamento della facciata, non risulta infatti consigliabile l'inserimento in facciate poco esposte. Anche il livello di manutenzione può essere vincolante in alcuni casi, infatti in base alla soluzione può essere richiesta una manutenzione superiore.

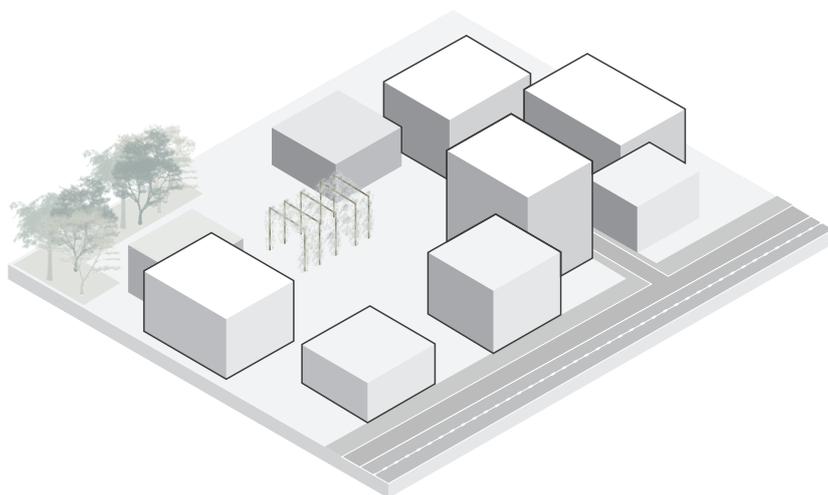


Progetto: Copertura dipartimento Architettura
 Progettista: CIRI E-C U.O. Fluidodinamica e del DICAM dell'Università di Bologna
 Luogo: Bologna, Italia
 Anno: 2014

La realizzazione della copertura verde è servita per incrementare il controllo naturale della gestione delle acque. L'Università di Bologna ha utilizzato questi interventi per monitorare e valutare di conseguenza i benefici della soluzione rispetto alla gestione delle alluvioni e del rallentamento dei deflussi.

C. 07

PERGOLE



STRATEGIA vegetale spazi esterni

METODOLOGIA ADATTA A
adattamento

AMBITO Regione climatica
padana,tirrenica,adriatica,
mediterranea

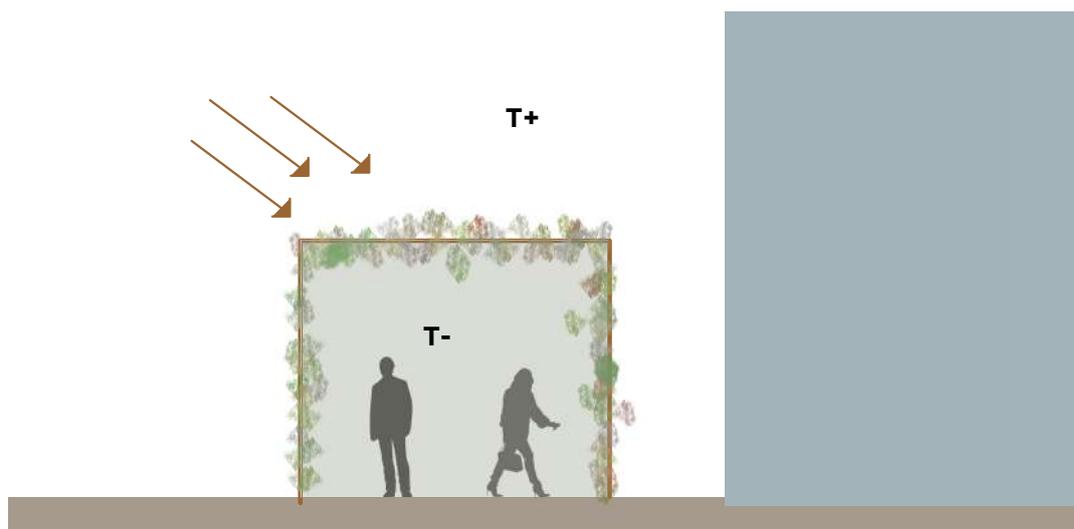
MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

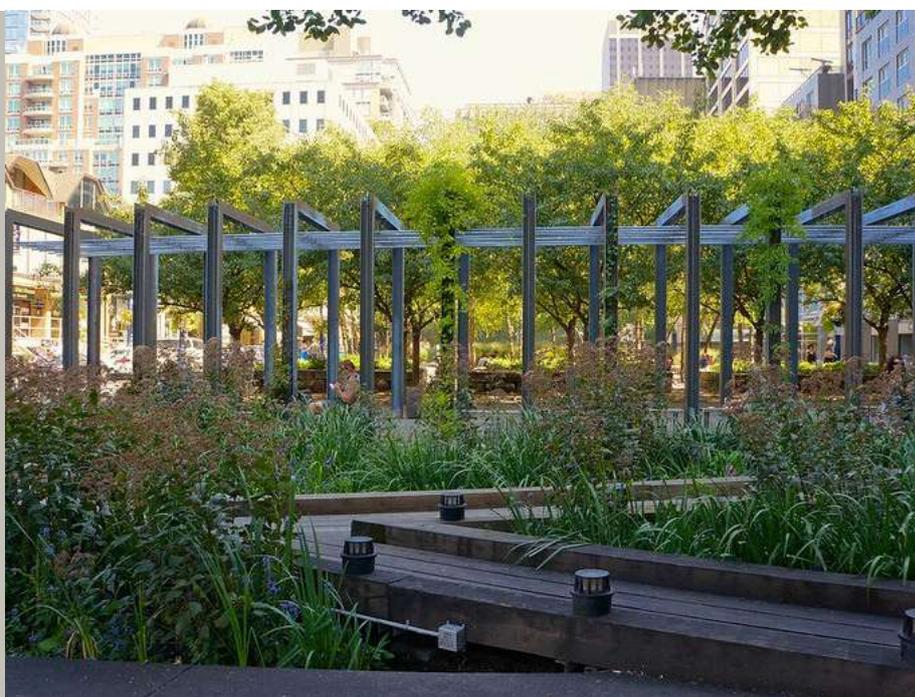
COSTI medio bassi

LOCALIZZAZIONE Percorsi
pedonali, parchi, piazze



Progetto: Village of Yorkville Park
Progettista: Oleson Worland,
Schwartz Meyer, BIA di Bloor-
Yorkville
Luogo: Toronto, Canada
Anno: 1994

Il parco sorge sull'ex villaggio bohémien di Yorkville ed è suddiviso in 11 appezzamenti che corrispondono al disegno planimetrico delle case a schiera demolite. Ogni area presenta delle peculiarità differenti ma tutto è stato progettato con principi bioclimatici. In particolare è presente una pergola in metallo rivestita di vite, che ha lo scopo di creare un percorso ombreggiato per i periodi estivi, inoltre all'interno dello stesso sono presenti panchine di sosta.



DESCRIZIONE

Le pergole sono generalmente strutture fisse costituite da montanti verticali o orizzontali e sormontate da vegetazione e servono a garantire ombra e raffrescamento per contrastare gli effetti del calore eccessivo. L'utilizzo di vegetazione come copertura della pergola garantisce il giusto raffrescamento dovuto ai processi di vaporizzazione generati dalle piante, inoltre il sistema di ombreggiamento garantisce una schermatura dalla radiazione solare incidente. La disposizione dell'orientamento e la

copertura dei lati della pergola viene decisa in base all'orientamento del sito di progetto, in modo da valutare la direzione dei raggi solari incidenti. Le piante rampicanti sono preferibili per questa funzione ma bisogna sempre verificare che tipo di vegetazione è preferibile in un determinato luogo

MANUTENZIONE

Sostituzione periodica di piante e manutenzione sistema d'irrigazione

EFFICIENZA

In base al dimensionamento

della pergola e alla quantità di vegetazione presente su essa è possibile quantificare il calore dissipato, come intervento puntuale risulta comunque estremamente efficiente a garantire comfort termico ai cittadini ed evitare malesseri dovuti ad ondate di calore.

CRITICITÀ

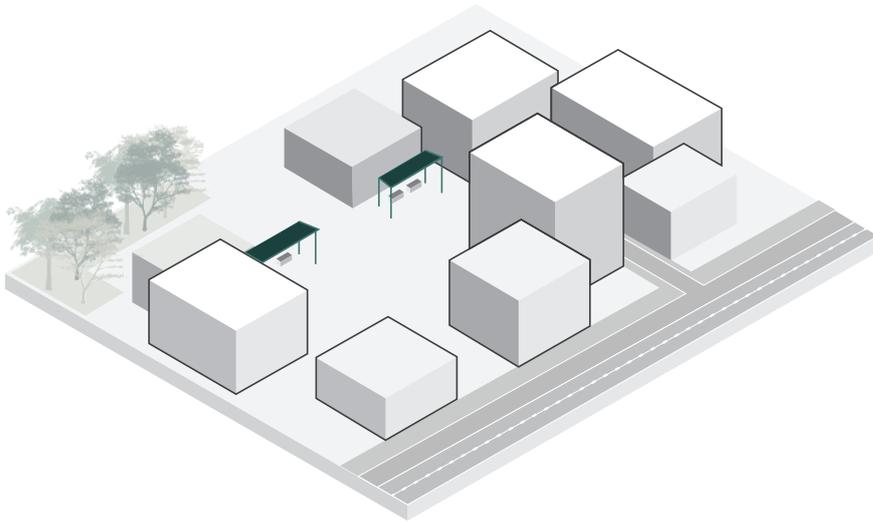
L'inserimento di pergole risulta adatto solo a percorsi pedonali/ciclabili, l'azione non può considerarsi una soluzione su larga scala ma agisce prettamente nell'area di collocazione.



Progetto: The Paillon Promenade
 Progettista: Ambiente italia
 Luogo: Milano, Italia
 Anno: 2019

Il progetto si instaura all'interno di un'area verde costeggiata da strade a scorrimento urbano. L'obiettivo del pergolato è di creare ambienti ombreggiati e confortevoli durante le giornate estive, soprattutto protetti da radiazione solare, rumore e inquinamento.

COPERTURE FISSE



STRATEGIA vegetale/ sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

AMBITO Regione climatica padana, tirrenica, adriatica, mediterranea

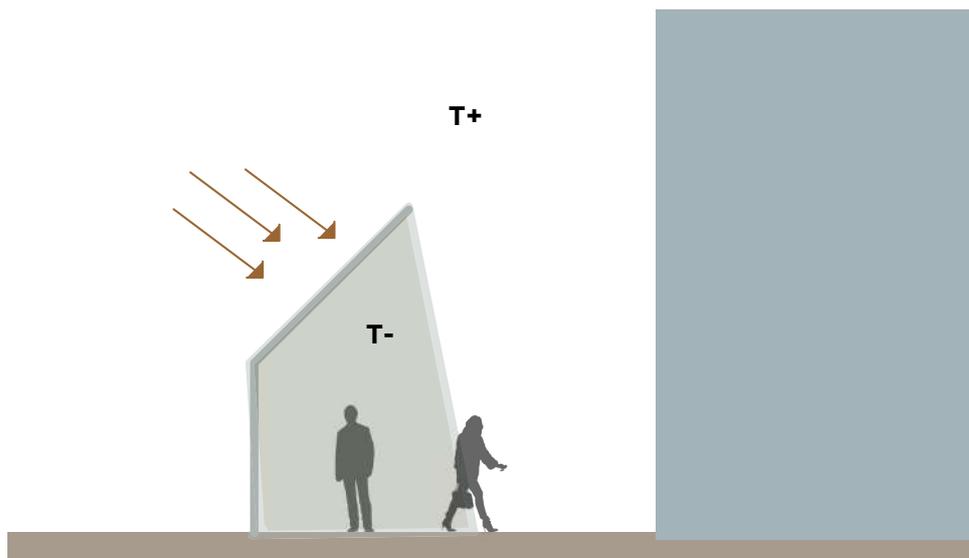
MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

COSTI medio bassi

LOCALIZZAZIONE Percorsi pedonali, parchi, piazze



Progetto: CAAC Centro Abierto De Actividades Ciudadanas
 Progettista: Parades Pino
 Luogo: Cordoba, Spagna
 Anno: 2010

La piazza è situata vicino alla stazione ferroviaria, l'obiettivo del progetto era quello di rendere la piazza un nuovo polo e centro di attività del territorio. Sono state inserite delle coperture fisse composte da elementi prefabbricati circolari posti ad altezze variabili, al di sotto del quale possono svolgersi attività differenti, a partire dal mercato temporaneo. La disposizione delle coperture incentiva la fruibilità dell'area anche in condizioni climatiche differenti, in particolare crea un'ombreggiatura continua in grado di diminuire gli effetti e la formazione di isole di calore urbano.



DESCRIZIONE

Le pergole sono generalmente strutture fisse costituite da montanti verticali o orizzontali e sormontate da vegetazione e servono a garantire ombra e raffrescamento per contrastare gli effetti del calore eccessivo. L'utilizzo di vegetazione come copertura della pergola garantisce il giusto raffrescamento dovuto ai processi di vaporizzazione generati dalle piante, inoltre il sistema di ombreggiamento garantisce una schermatura dalla radiazione solare incidente. La disposizione dell'orientamento e la

copertura dei lati della pergola viene decisa in base all'orientamento del sito di progetto, in modo da valutare la direzione dei raggi solari incidenti. Le piante rampicanti sono preferibili per questa funzione ma bisogna sempre verificare che tipo di vegetazione è preferibile in un determinato luogo

MANUTENZIONE

Sostituzione periodica di piante e manutenzione sistema d'irrigazione

EFFICIENZA

In base al dimensionamento

della pergola e alla quantità di vegetazione presente su essa è possibile quantificare il calore dissipato, come intervento puntuale risulta comunque estremamente efficiente a garantire comfort termico ai cittadini ed evitare malesseri dovuti ad ondate di calore.

CRITICITÀ

L'inserimento di pergole risulta adatto solo a percorsi pedonali/ciclabili, l'azione non può considerarsi una soluzione su larga scala ma agisce prettamente nell'area di collocazione.



Progetto: The Paillon Promenade
Progettista: Péna Paysages
Luogo: Nizza, Francia
Anno: 2013

Il progetto si sviluppa come copertura dell'alveo del fiume Paillon, il quale si presentava come un rivolo d'acqua non considerato di grande pregio paesaggistico. Il percorso è suddiviso in diverse aree verdi, di camminamento e fontane, poste a copertura del fiume. All'interno dell'area sono posizionate aree di sosta e relax ombreggiate da coperture in legno. In questo modo si combinano gli effetti di più soluzioni atte a contrastare le isole di calore urbano e i cittadini possono sfruttare lo spazio aperto con la garanzia di avere un maggiore comfort termico.

ABACO SICCIÀ

ABACO SICCIÀ

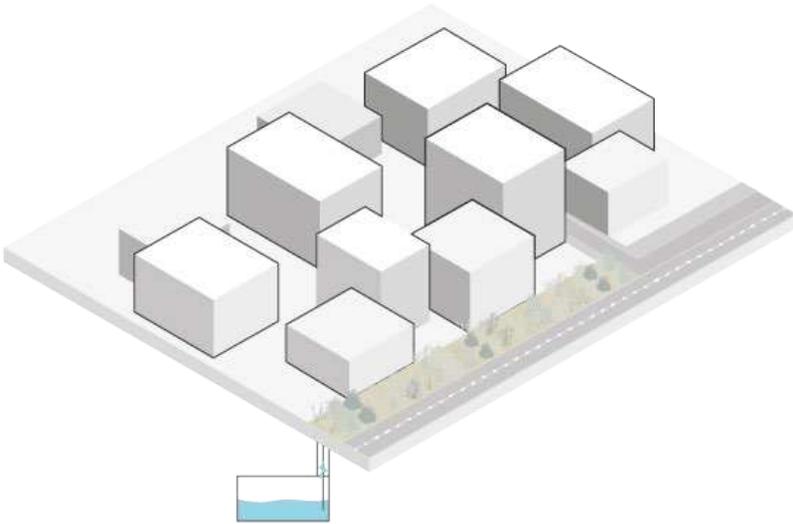
In questa sezione del catalogo si riportano le schede legate alle azioni individuate maggiormente efficaci nella gestione dell' evento climatico estremo della siccità

Questi eventi sono sempre più gravi e frequenti, rappresentano una minaccia crescente per l'Italia.

AZIONI SICCATÀ

S.01 _ SERBATOI DI ACCUMULO

SERBATOI DI ACCUMULO



STRATEGIA vegetale/ sistemi integrati

METODOLOGIA ADATTA A adattamento

AMBITO Regione climatica padana,tirrenica,adriatica, mediterranea

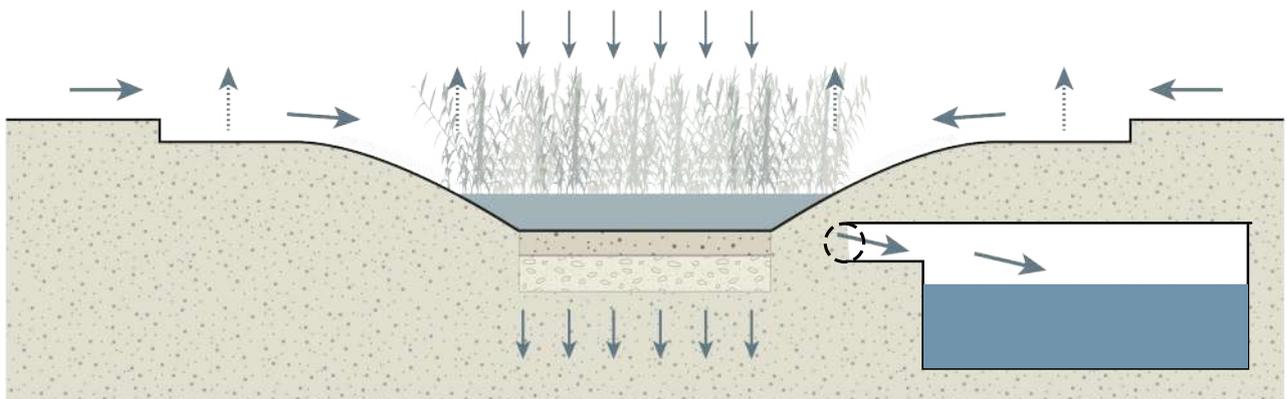
MANUTENZIONE periodica

EFFICIENZA

CRITICITÀ

COSTI medio bassi

LOCALIZZAZIONE Percorsi pedonali, parchi, piazze



Progetto: Eco quartiere
Progettista: François Grether, Jacqueline Osty, OGI

Luogo: Clichy-Batignolles_Parigi
Anno: 2015

L'eco-quartiere Clichy-Batignolles a Parigi è stato realizzato nell'area dismessa dell'ex stazione Saint Lazare, dei 54 ettari a disposizione 10 sono stati utilizzati per l'inserimento di serbatoi di raccolta dell'acqua piovana di cui è previsto il riutilizzo.

Gli edifici sono stati progettati per essere il più efficienti possibili a livello energetico, con l'ausilio di isolante termico per evitare la dispersione di calore e tetti verdi che fungono da termo regolatori. Per la produzione di energia elettrica viene utilizzato il fotovoltaico e per il riscaldamento viene sfruttato il geotermico.



DESCRIZIONE

In casi di siccità estrema attualmente non esistono azioni vere e proprie atte a mitigare il fenomeno, è possibile però prevederlo e cercando di farsi trovare preparati.

Affiancare dei serbatoi di accumulo ad azioni utili alla raccolta dell'acqua piovana può essere una strategia favorevole.

Tipicamente questi serbatoi raccolgono acqua che attraverso i sistemi di raccolta viene drenata e ripulita da inquinanti e sporcizia.

È importante anche la disposizione degli stessi, infatti devono essere chiusi

e non accessibili da insetti o altre tipologie di animali, soprattutto non deve essere sottoposto ad aria e raggi solari che ne possano alterare il contenuto.

MANUTENZIONE

I serbatoi di raccolta devono essere controllati con una certa periodicità e frequenza. È importante che vengano sempre ripuliti i sistemi di filtraggio e controllate tutte le giunture che siano sempre sigillate.

EFFICIENZA

Il lato positivo dei serbatoi di accumulo è che questi possono essere

perfettamente dimensionati, sia in funzione della quantità di pioggia e perturbazioni, che in funzione del sistema di accumulo a cui vengono affiancati, come coperture verdi o giardini della pioggia. Tendenzialmente possono contenere un grande quantitativo di acqua piovana

CRITICITÀ

L'inserimento di serbatoi non è una garanzia nel contrastare i fenomeni di siccità, quando gli eventi piovosi non si verificano per periodi lunghi risultano infatti inefficienti.



Progetto: Linz Solar city
Progettista: Thomas Herzog, Richard Rogers, Renzo Piano, Norman Foster

Luogo: Linz, Austria

Anno: 2001

La "città solare" a sud est di Linz altro non è che un grande quartiere di circa 3.000 abitanti, realizzato secondo principi di sostenibilità ambientale e sociale.

Per la gestione delle acque è stato realizzato un bacino fitoassorbente, che depura l'acqua attraverso piante radicate sempreverdi e il laghetto. L'acqua recuperata viene riutilizzata per l'irrigazione delle aree verdi.

ABACCO AZIONI

CONCLUSIONI

Presentato interamente il catalogo e le azioni in esso contenute, si passerà alla selezione delle scelte più indicate per fronteggiare le problematiche del caso studio in esame. Consultando le sezioni successive, si potrà accedere ad un quadro più completo e definito delle caratteristiche e delle prestazioni dell'azione selezionata.

PROCEDIMENTI DI CALCOLO KPIs

Per poter valutare l'efficienza delle azioni strategiche precedentemente descritte questo capitolo è stato sviluppato come guida al calcolo dei KPIs.

All'interno di questa sezione è possibile trovare delle schede in cui sono stati descritti tutti i passaggi utili per calcolare la performance delle azioni nei diversi luoghi di applicazione.

CAPITOLO.7

7.1 Definizione

Come anticipato nel capitolo 5 molti progetti europei utilizzano dei **Key Performance Indicator** anche detti KPIs, cioè degli indicatori chiave di performance che forniscono **informazioni preliminari o finali** rispetto a delle performance di processo.

Forniscono informazioni puntuali riguardo aspetti misurabili della strategia adottata e assolvono la funzione di traccia per quanto ne concerne l'andamento.

Esistono due tipologie principali di Kpi:

consuntivi (di ritardo) – permettono di valutare gli obiettivi a processo concluso, misurando dati e prestazioni di un periodo passato

predittivi (principali) – forniscono indicazioni su prestazioni future attese

La selezione dei parametri per il loro calcolo è da basarsi su **accessibilità e reperibilità delle informazioni**, rigorosità e affidabilità di fonti scientifiche e riproducibilità. La loro efficacia, infatti, è direttamente proporzionale alla chiarezza riguardo gli obiettivi stabiliti, la loro misurabilità e certezza nonché la loro utilità per il confronto periodico.

Utilizzando degli indicatori di sostenibilità ambientale -che forniscono dati su sviluppo sostenibile e qualità ambientale- si è in grado di guidare verso soluzioni più eco-compatibili processi decisionali politici, economico-sociali ma soprattutto progettuali.

A livello normativo, i KPIs per la progettazione delle città sono stati definiti dalla **ISO 37120:2014** “Sustainable development of communities-Indicators for city services and quality of life” e dalla **ISO 37121:2017** “Resilient cities”. La ISO 37120 definisce indicatori inerenti a diverse tematiche tra le quali: Informazioni e mezzi di comunicazione, sostenibilità ambientale, stato economico/ produttività, qualità della vita e infrastrutture. Nella ISO 37121 invece vengono definiti degli indicatori riferiti ad aspetti sociali inerenti al rischio e alla sicurezza, risposta alle emergenze e necessità. Attualmente non esistono delle normative specifiche che definiscano dei KPIs per le strategie urbane d'intervento per l'adattamento e la mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici.

L'utilizzo dei KPIs è incrementato all'interno dei progetti europei come **Horizon 2020 e Interreg**, soprattutto a livello di **progettazione urbana**, poichè permettono di confrontare i risultati delle città, valutando la replicabilità delle azioni.

Come analizzato nel Capitolo 5, molti progetti Horizon 2020 utilizzano approcci metodologici simili, infatti nel corso degli anni sono stati isolati numerosi KPIs utili a monitorare le Nature Based Solutions.

Per tale ragione nel 2021 è stato pubblicato un **manuale di consultazione** per i professionisti, per la valutazione dell'impatto delle NBS.

La volontà di questa pubblicazione era di rivolgersi ad un pubblico non esperto e a tutti i soggetti coinvolti in fasi di realizzazione e monitoraggio delle NBS rispetto a diversi settori di competenza.

Gli stakeholder a cui si rivolge sono:

- Utenti coinvolti nell'organizzazione urbana, come **pianificatori urbani, politici e enti pubblici**.
- **Membri della comunità scientifica**
- **Imprese di realizzazione o investitori**
- **Associazioni non governative e società civile**

Per la realizzazione del manuale sono stati messi a sistema i KPIs utilizzati in **28 progetti Horizon 2020**, che sono: BiodivERsA, CLEARING HOUSE, CLEVER Cities, CONNECTING Nature, EdiCitNet, EKLIPSE, GREEN SURGE, GROW GREEN, Inspiration, MAES/EnRoute, NAIAD, **Nature4Cities**, Naturvation, NetworkNature, OpenNESS, OPERAs, OPERANDUM, PHUSICOS, proGInreg, RECONNECT, REGREEN, Think Nature, TURaS, UNaLab,

URBAN GreenUP, and URBiNAT.

La selezione ed individuazione di questi KPIs è stata resa possibile grazie ad una task force istituita proprio allo scopo di collegare e facilitare lo scambio di conoscenze fra i vari progetti Horizon, in questo caso per quanto concerne le fasi di valutazione performance e monitoraggio.

Gli indicatori scelti sono stati suddivisi in 12 categorie di valutazione:

1. Resilienza climatica
2. Gestione dell'acqua
3. Rischi naturali e climatici
4. Gestione degli spazi verdi
5. Valorizzazione della biodiversità
6. Qualità dell'aria
7. Rigenerazione dei luoghi
8. Sviluppo della conoscenza e delle capacità sociali per una trasformazione urbana sostenibile
9. Pianificazione e governo partecipativo
10. Giustizia sociale e coesione sociale
11. Salute e benessere
12. Nuove opportunità economiche e lavoro verde

Per ognuna di queste categorie è stato creato un elenco di KPIs suddivisi in **raccomandati** cioè circa a 5-6 KPIs con lo scopo di adattare o mitigare la problematica evidenziata dalla categoria. In seguito sono stati inseriti degli **indicatori aggiuntivi**, che forniscono valutazioni legate ad altre tematiche, come fattori economici, rischio ecc...

Questo manuale è servito come **ottimizzazione e sintesi** dei KPIs che nel corso degli anni sono stati individuati nei molteplici **progetti Horizon 2020**, in questo modo sono stati messi a sistema tutti i progetti al fine di ricercare i risultati migliori per le proposte di monitoraggio e valutazione di performance.

Al fine di valutare le strategie proposte in questa tesi verranno selezionati e adattati gli **indicatori più pertinenti** e utili per guidare la scelta dei progettisti e pianificatori. In particolar modo sono stati valutati dei veri e propri **incrementi di performance** equiparando la reazione delle città, allo stato attuale, ai **6 eventi climatici estremi** selezionati alla reazione in caso di attuazione delle soluzioni. Dopo aver sintetizzato ed esplicitato i processi di calcoli sono stati analizzati alcuni caso studi come esempio di applicazione.

Le fasi di monitoraggio non verranno attualmente trattate ma egualmente ai progetti presi in analisi viene considerata utile e fondamentale per fornire dati più certi sul rendimento delle strategie.



FIGURA 1 schema struttura manuale di valutazione delle Nature based solutions
Fonte: HORIZON 2020, Evaluating the impact of Nature-Based Solution

7.2 KPIs individuati

INQUINAMENTO

MANUALE VALUTAZIONE NBS (sintesi 28 progetti HORIZON 2020)- Resilienza climatica

- **Carbonio rimosso o immagazzinato da vegetazione per il totale di superficie per l'unità di tempo (kg/ha/y)**
- **Emissioni di gas serra evitate grazie alla riduzione del consumo energetico degli edifici (t CO₂e/kWh)**
- Carbonio totale assorbito dalla vegetazione (kg/ha/y)
- **Tonnellate di carbonio rimosse o per unità di superficie per unità di tempo (ton CO₂/year)**
- **Emissioni di carbonio da traffico veicolare (tC/y)**
- **Stoccaggio di carbonio (kg/giorno)**
- Contenuto di carbonio nel suolo (ton/ha)

I KPIs evidenziati sono stati utilizzati o presi a riferimento per la determinazione dei calcoli presentati nelle pagine successive

ALLUVIONI

MANUALE VALUTAZIONE NBS (sintesi 28 progetti HORIZON 2020)- Gestione dell'acqua

- **Coefficiente di deflusso in relazione alle quantità di precipitazioni (mm/%)**
- Qualità dell'acqua (-)
- Velocità d'infiltrazione (mm/h o %)
- Capacità d'infiltrazione (mm/d)
- Volume di ruscellamento superficiale in eccesso (m³)
- **Volume massimo di acqua assorbita (m³/h)**
- Concentrazione di metalli (%)
- Concentrazione di nitrati(%)
- Capacità d'infiltrazione (mm/d)
- Evapotraspirazione (mm/m²giorno)
- Tempo di deflusso (h)
- Qualità dell'acqua: contenuto TSL (mg/L)
- Quantità di acqua intercettata da soluzioni naturali (mm/h)

I KPIs evidenziati sono stati utilizzati o presi a riferimento per la determinazione dei calcoli presentati nelle pagine successive

ONDATE DI CALORE

MANUALE VALUTAZIONE NBS (sintesi 28 progetti HORIZON 2020)- Resilienza climatica

- **Valore medio mensile della temperatura massima giornaliera (°C)**
- **Evapotraspirazione (mm/m²giorno)**
- **Ombreggiamento da alberi per ridurre la temperatura locale (%)**
- Comfort umano: indice termico universale (°C)
- Numero di notti tropicali e giorni caldi (-)
- **Raffreddamento dell'aria (°C)**
- Punteggio di carico termico (°C)

I KPIs evidenziati sono stati utilizzati o presi a riferimento per la determinazione dei calcoli presentati nelle pagine successive

FRANE

KPIs non trattati all'interno della tesi per lacunosità di letteratura e complessità di applicazione

SICCITÀ

KPIs non reperibili ma si prendono a riferimento i dati scaturiti dal dimensionamento di serbatoi di accumulo.

FORTI VENTI

KPIs non reperibili ma si prendono a riferimento i dati scaturiti dalle prove in galleria del vento effettuate da programmi di ricerca sul campo.

7.3 KPIs selezionati

Per la **valutazione delle performance** attese delle azioni indicate attraverso l'abaco composto nel capitolo precedente, sono stati presi a riferimento i progetti UE indicati nello schema precedente. La mancanza di esplicitazione dei metodi di calcolo o l'utilizzo di appositi software non ancora disponibili al pubblico non ha reso possibile la valutazione di tutti i KPIs individuati.

Per quanto riguarda le azioni di contrasto ai fenomeni **franos** attualmente non risulta alcun progetto europeo o internazionale che tratti dei problemi derivanti dai fenomeni di dissesto idrogeologico. Per tale ragione e ricadendo in un ambito geologico, non affrontato nella tesi per mancanza di preparazione adeguata, non verranno eseguiti dei calcoli sulle performance di tali azioni. La volontà di inserire ugualmente la problematica è dovuta ad una forte presenza di questi fenomeni in Italia, si evidenzia perciò la mancanza di fonti ufficiali per stabilire le azioni d'intervento.

Per quanto concerne i KPIs legati alle azioni di gestione dell'**inquinamento** atmosferico, vengono utilizzati KPIs inerenti a diversi progetti. Va, però, evidenziata la presenza in letteratura prevalentemente di indicatori per la valutazione delle condizioni d'inquinamento indoor. Adottando metodologie riferibili sia all'inquinamento indoor che outdoor si ottengono degli output analoghi.

Per le **alluvioni** verranno utilizzati i KPIs inerenti al **coefficiente di assorbimento** delle acque in quanto, come evidenziato nei procedimenti, è possibile trovare fonti di letteratura che ne spieghino la metodologia. Questo sarà utile anche per il calcolo del volume di **assorbimento massimo atteso dalle superfici (m³/h)**. La valutazione % della performance attesa verrà invece valutata secondo dei semplici rapporti.

Per quanto concerne i KPIs legati alle azioni di mitigazione dei **forti venti**, si rende noto che in letteratura non si riscontrano KPIs consultabili poiché le uniche metodologie note di valutazione dell'evento climatico sono:

- **simulazioni in galleria** del vento con ausilio di un modello (estremamente costoso)
- **simulazioni software online** (dipendono fortemente dalle competenze dell'utilizzatore)
- **approccio empirico** dove si adatta il caso generale al caso particolare

I calcoli inerenti al fenomeno delle **ondate di calore** verrà eseguito utilizzando le formule per il calcolo dell'**evapotraspirazione** per quanto concerne tutti gli elementi naturali e di **ombreggiamento**, di alberature e coperture fisse o pergole, da cui si ricaverà una **riduzione di temperatura**. Per la valutazione di tutti questi valori sarà fondamentale l'utilizzo della **temperatura media**.

Per la componente della **siccità**, così come per le frane, non verrà analizzato nella sua interezza. In questo caso verrà però adottato un calcolo di dimensionamento di un serbatoio di raccolta per coperture verdi, per verificare l'utilità dell'azione già descritta in altre casistiche.

Frane e dissesti

Instabilità dei versanti

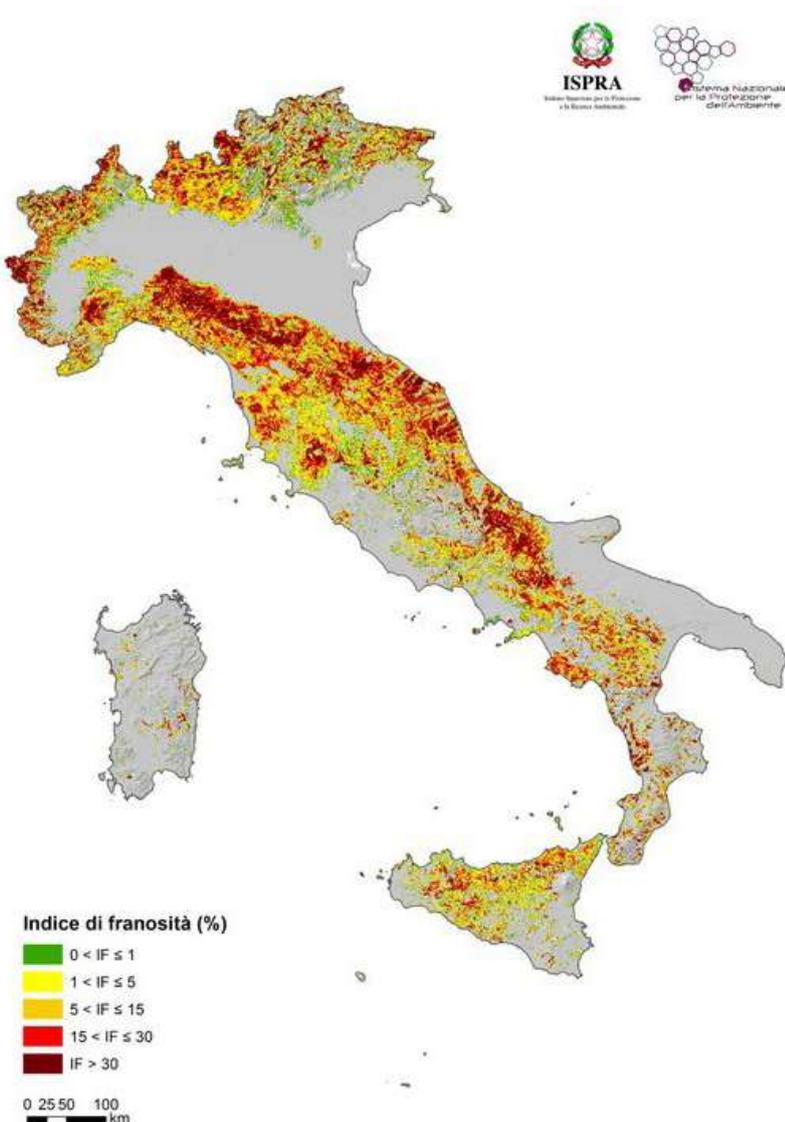
AZIONI

- F.01 Pavimentazioni drenanti
- F.02 Rimboschimento e ripristino aree verdi
- F.03 Prati armati e piante ingegnere
- F.04 Barriere e muri di contenimento
- F.05 Opere di sostegno

OBIETTIVO

L'ambito degli eventi estremi legati al dissesto geologico e la loro complessità rende difficile porre obiettivi o anche solo sintetizzare indici di aumento di performance legati a gestione e progettazione delle opere di difesa.

La letteratura in merito è lacunosa e non è stato ritenuto apportasse veridicità tale da essere utilizzata per lo scopo.



Una delle azioni fondamentali da perseguire oggi è il monitoraggio: ripetuto nel tempo, focalizzato su un determinato parametro fisico, accurato. I sistemi di monitoraggio conosciuti sono diversi ma tutti si basano su questi tre principi:

- il parametro oggetto di misurazione
- la frequenza di campionamento
- l'accuratezza della misura

La grandezza fisica oggetto di misura dei sistemi di monitoraggio viene rappresentata mediante i parametri misurabili di

- a. Movimenti superficiali
- b. Movimenti profondi
- c. Parametri riferibili alla presenza di acqua all'interno del pendio e alle pressioni interstiziali
- d. Misure geofisiche
- e. Parametri meteorologici

Densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di lato 1 km; Fonte: Rapporto ISPRA, 356/2021

Inquinamento

concentrazioni inquinanti atmosferici

AZIONI

I.01 Superfici trattate con materiali fotocatalitici
I.02 Pavimentazioni fotocatalitiche

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione delle concentrazioni di agenti inquinanti come NO₂, PM₁₀ e CO₂ grazie all'impiego delle azioni individuate, viene valutata la differenza di performance sulla base delle condizioni attuali e di quelle che entreranno in vigore dal 2030: nell'ambito dell'obiettivo intermedio di riduzione delle emissioni del 55%. Questa valutazione definisce gli elementi necessari per l'efficacia di ogni azione, non tenendo conto della quota parte di riduzione delle emissioni già in atto nelle nostre città.



Per la valutazione d'incremento di performance in azioni come quelle riguardanti i trattamenti di superfici con materiali ad assorbimento di agenti inquinanti (I.01, I.02), si utilizzano dati di **superficie rivestibile** noti o, se necessitano di dati di media, si utilizzano procedimenti di calcolo atti ad isolare dei dati di superficie media utilizzabili ai fini di calcolo come:

$$S_m = S_{tot} / N_{ed}$$

Dove

S_m - Superficie di impronta a terra media edificio (m²)

S_{tot} - Superficie di suolo edificata totale (m²)

N_{ed} - Numero edifici (-)

Per stimare i **m² di superficie utilizzabili** per l'azione di rivestimento, si media il dato tenendo conto di ostacoli, superfici poco agevoli o inadatte allo scopo, in questo caso si basano su un edificio con involucro esterno da rivestire

$$S_f = 60\% (S_m \cdot h) \cdot 4$$

Dove

S_f - Superficie Fotocatalitica (m²)

60% - Approssimazione superficie rivestita per ogni edificio (%)

h - Altezza media edificio riportata da statistiche e censimenti comunali (m)

4 - Numero facciate (-)

Isolato il dato di superficie rivestita unitario, si procede nell'inserimento di quest'ultimo moltiplicato per il potere di assorbimento del materiale di rivestimento, in rapporto alle concentrazioni dell'agente inquinante da contrastare per ottenere i **m³ di gas climalteranti** di pertinenza di ogni edificio

$$V = A \cdot S_f / ([C]_{attuale} - [C]_{2030})$$

Dove

V - Volume di gas climalterante di pertinenza di ciascun elemento (m³)

A - Potere di Assorbimento materiale¹ (T/ km² o g/m²)

$[C]$ - Concentrazione inquinante atmosferico da contrastare (ug/m³)

¹ I. Allegrini, 2003, 'Relazione tecnica malte cementizie fotocatalitiche (ecorivestimento) per la riduzione dell'inquinamento atmosferico', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 20 marzo, consultato il 18 giugno 2023, <file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/Relazione%20CNR%201vo%20Allegrini.pdf>

Una volta ottenuto il volume in m³ di gas climalteranti di pertinenza di ogni edificio, si pone la necessità di metterlo in relazione con un altro dato di volume, in questo caso legato alla località interessata dai fini di calcolo, con le sue caratteristiche basate su temperatura e turbolenza², per conoscere il **numero di unità da impiegare** in caso di utilizzo unico dell'azione

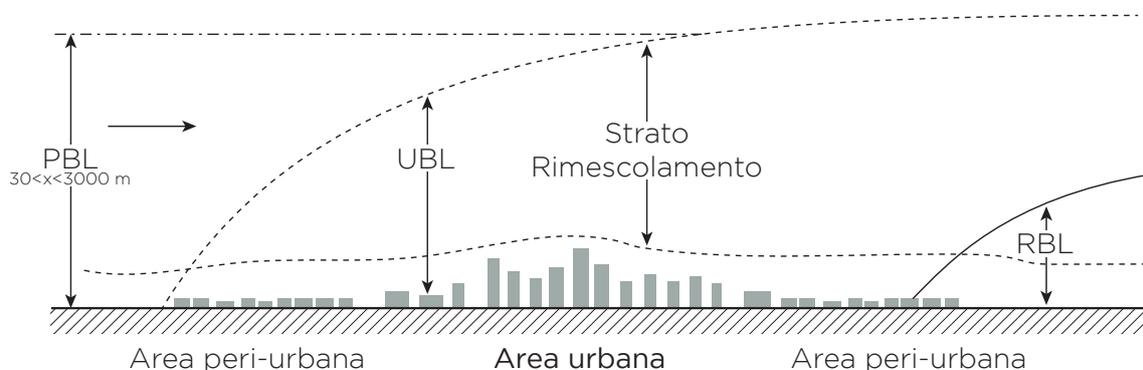
$$M = S * h_{PBL} / V$$

Dove

M - Numero edifici totali da rivestire con materiali fotocatalitici (-)

S - Superficie territoriale di area comunale (m²)

h_{PBL} - ³Altezza Strato Limite Planetario (Planetary Boundary Layer - PBL) (m)



³Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-.

Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)
Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

² L'altezza del PBL (come anche la turbolenza) sono molto variabili, per quanto riguarda l'altezza è possibile stimarla con diverse tecniche che si servono di radiosonde e palloni aerostatici per misurazioni empiriche dirette o tecniche di telerilevamento. La turbolenza invece dipende dall'attitudine a creare vortici convettivi, in alcuni punti come all'interno dello strato di rimescolamento sono più forti.

Individuato il numero di edifici necessari da rivestire per ottenere il riassorbimento dell'intera quota parte di concentrazione inquinante in esubero, si procede stabilendo l'incremento percentuale della singola unità (singolo edificio), mettendola in rapporto sull'intero (tot. edifici)

$$M : 100 = m : x$$

Dove

m - Singolo edificio rivestito con materiali fotocatalitici (-)

Nel caso d'**incremento percentuale** legato ad un'unità di superficie (come un m² di pavimentazione) e non ad un elemento (come ad esempio un edificio), nella mediazione di alcuni dati si distinguono delle differenze

$$P = S * h_{PBL} / V$$

Dove

P - Totale metri quadri da rivestire con materiali fotocatalitici (m²)

S - Superficie territoriale di area comunale (m²)

h_{PBL} - Altezza Strato Limite Planetario (Planetary Boundary Layer - PBL) (m)

A livello di stima di incremento percentuale, la proporzione è simile con eccezione dell'unità di misura uscente [m²]

$$P : 100 = p : x$$

Dove

p - Singolo metro quadro rivestito (m²)

Inquinamento

Concentrazioni inquinanti atmosferici

AZIONI

I.03 Rinaturalizzazione e depavimentazione
I.04 Barriera o buffer vegetale

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione delle concentrazioni di agenti inquinanti come NO₂, PM₁₀ e CO₂ grazie all'impiego delle azioni individuate, viene valutata la differenza di performance sulla base delle concentrazioni attuali e di quelle che entreranno in vigore dal 2030. Questa valutazione definisce gli elementi necessari per l'efficacia di ogni azione, non tenendo conto della quota parte di riduzione delle emissioni già in atto nelle nostre città.



Per la valutazione d'incremento di performance di azioni come quelle riguardanti le **unità arboree o le specie arbustive** agenti sulle sostanze inquinanti (I.03, I.04), si utilizzano dati di assorbimento noti o di letteratura, e si relazionano con dati volumetrici di gas climalterante di pertinenza di ciascun elemento ai fini di calcolo.

Si individua il **volume di competenza della singola unità** rapportandone il potere di assorbimento alle concentrazioni dell'inquinante atmosferico da contrastare

$$v = A_{pg} / ([C]_{attuale} - [C]_{2030})$$

Dove

v - Volume di gas climalterante di pertinenza di ogni elemento arboreo o vegetale (m³)

A_{pg} - Fattore di Assorbimento della sostanza inquinante in esame per pianta per giorno (g/pianta/g)

[C] - Concentrazione inquinante atmosferico da contrastare (ug/m³)

Stimata l'unità volumetrica di gas climalterante di pertinenza di ciascuna unità arborea o specie arbustiva, viene messa in relazione con il dato di **volume legato alla località** interessata dai fini di calcolo (come si osserva in dettaglio nel procedimento precedente I.01, I.02), con le sue caratteristiche basate su temperatura e turbolenza¹, per conoscere il numero di unità da impiegare in caso di utilizzo unico dell'azione

$$V = S * h_{PBL}$$

Dove

V - Volume influenzato dalla presenza di gas climalteranti della città in esame (m³)

S - Superficie territoriale di area comunale (m²)

h_{PBL} - Altezza Strato Limite Planetario (Planetary Boundary Layer - PBL) (m)

Individuati il volume unitario di gas climalterante di pertinenza di ogni elemento arboreo o vegetale e il volume comunale influenzato dalla presenza di gas climalteranti, si mettono in rapporto per conoscere l'**entità numerica delle unità da piantumare**

$$N = V / v$$

Dove

N = Numero elementi da piantumare (-)

¹ Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-. Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)

Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

Emissioni atmosferiche

AZIONI

- I.06 Sostituzione veicolare
- I.07 Sospensione veicolare

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione delle emissioni di CO₂ grazie all'impiego delle azioni individuate, viene valutata la differenza di performance sulla base delle condizioni attuali e di quelle che entreranno in vigore dal 2030: nell'ambito dell'obiettivo intermedio di riduzione delle emissioni del 55%. Questa valutazione definisce gli elementi necessari da sostituire o sospendere per l'efficacia di ogni azione, non tenendo conto della quota parte di riduzione delle emissioni già in atto nelle nostre città.



Per la valutazione d'incremento di performance in azioni riguardanti **la mobilità e la produzione di agenti inquinanti** (I.06, I.07), si utilizzano dati di emissione noti o di letteratura e si relazionano con dati riguardanti il parco veicolare della località in esame.

Si individua l'emissione legata alla singola unità veicolare e si stimano due scenari: la riduzione dell'emissione dell'unità per sostituzione o la sospensione della circolazione dell'unità.

Il calcolo delle **emissioni dell'intero parco veicolare** è effettuato in relazione al tipo di alimentazione e alla quantità di unità, secondo la seguente equazione:

$$m_{CO_2/d} = \sum_{i=1}^I N_i \cdot \bar{d} \cdot e_i$$

$m_{(CO_2/d)}$ - massa di CO₂ prodotta giornalmente dal parco veicolare circolante (t o kg)

N_i - Numero di autovetture per tipologia di alimentazione (-)

\bar{d} - distanza media di percorrenza giornaliera (km)

e_i - emissioni per tipologia di alimentazione (g/km)

Una volta ottenute le emissioni giornaliere, si procede alla trasformazione del dato secondo le proporzioni dei **limiti che entreranno in vigore dal 2030**

$$e_{2030} = m_{(CO_2/d)} * 55\%$$

Dove e_{2030} rappresenta l'obiettivo intermedio di decarbonizzazione 2030 dove le emissioni vengono ridotte del 55%

Per ottenere l'incremento percentuale nel caso della sostituzione, vista la complessità di gestione del calcolo e l'elevato numero di variabili (alimentazione, consumi e numero di veicoli), si media il dato creando un'equazione dove al parco veicolare calcolato in partenza si sostituisce per tentativi l'alimentazione di un veicolo con i dati di emissione di un veicolo più performante e si relaziona all'intero. Ovvero:

1. si implementa una tipologia per volta, lasciando invariate le altre tipologie di alimentazione
2. si effettuano i calcoli di quanto la modifica di ogni tipologia incide sulla riduzione di emissioni
3. si fanno dei tentativi per ridurre percentuali di ogni tipologia (es. sostituisco con elettrico il 50% delle auto diesel, e il 30% delle auto a benzina e verifico l'incremento di performance)

$$I_{\%} = [(e_{\text{att}} - e_s) / e_{\text{att}}] * 100$$

Dove

$I_{\%}$ - Incremento percentuale di performance (%)

e_{att} - emissioni attuali (kg/CO2)

e_s - emissioni dopo sostituzione (viene sostituita l'alimentazione di un veicolo per verificarne l'apporto) (kg/CO2)

Nel caso della sospensione, di più difficile attuazione, ma altrettanto efficace, si procede mettendo in relazione in un **sistema proporzionale le emissioni annuali** stimate attualmente su 365 giorni e **quelle previste per il 2030** per ottenere il numero di giorni in cui, lasciando invariato il parco macchine, si potrebbe garantire la circolazione senza oltrepassare la soglia di emissioni prevista per legge.

$$e_{\text{tot/a}} : 365 = e_{\text{tot/2030}} : x$$

Dove $e_{\text{tot/2030}}$ rappresenta le emissioni limite stimate per il 2030 (ridotte del 55%)

Analogamente è possibile agire sul parco veicolare e stimare tramite sistema proporzionale **quanti veicoli sarebbero liberi di circolare** senza limitazioni temporali annuali per mantenere le emissioni sotto la soglia normativa

$$e_{\text{tot/a}} : N = e_{\text{tot/2030}} : x$$

Dove

N - numero autovetture parco circolante (-)

Emissioni atmosferiche

AZIONI

I.08 Coperture verdi

I.09 Verde verticale o pareti verdi

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione delle emissioni di CO₂ grazie all'impiego delle azioni individuate, viene valutata la differenza di performance sulla base delle condizioni attuali e di quelle che entreranno in vigore dal 2030: nell'ambito dell'obiettivo intermedio di riduzione delle emissioni del 55%. Questa valutazione definisce se e quanti siano gli elementi necessari per l'efficacia di ogni azione, non tenendo conto della quota parte di riduzione delle emissioni già in atto nelle nostre città.



Per la valutazione d'incremento di performance di azioni riguardanti **l'installazione di coperture e pareti vegetali** e la loro influenza sulla presenza di agenti inquinanti (I.08, I.09), si utilizzano dati di consumo e emissione noti o di letteratura e si relazionano con dati riguardanti la categoria di edifici di riferimento censita. Si individua l'emissione legata alla singola unità e si stimano due scenari: **la riduzione dell'emissione della singola unità data dall'inserimento della tecnologia d'azione, la riduzione delle emissioni della singola unità dotata sia dell'azione tecnologica che di un sistema di approvvigionamento energetico alternativo per rientrare nelle emissioni ridotte che entreranno in vigore dal 2030.**

Si ricercano i consumi annuali per edificio rapportandoli al numero di unità figuranti dai dati di letteratura

$$\bar{C}_{a/ed} = \bar{S}_{ed} \cdot \bar{C}_{m^2} \cdot \bar{h}_{ed}$$

Dove

$C_{a/ed}$ Consumo medio annuo per edificio (kWh)

S_{ed} Superficie media di piano (m²)

$C_{(m^2)}$ Consumi a metro quadrato (kWh/m²)

h_{ed} numero p.f.t. edificio (-)

$$\bar{C}_{a/edv} = \bar{S}_{ed} \cdot (\bar{C}_{m^2} - \bar{C}_{vm^2}) \cdot \bar{h}_{ed}$$

Dove

$C_{a/edv}$ Consumo medio annuo per edificio con copertura verde (kWh)

C_{vm^2} Consumi a metro quadrato risparmiati grazie alla copertura vegetale (kWh/m²)

Una volta stimati i consumi si procede con una media delle emissioni dettate dalla tipologia di approvvigionamento energetico

$$m_{CO2/ed} = \bar{C}_{a/ed} \cdot e_{kWh}$$

Dove

$m_{CO2/ed}$ - massa di CO₂ annua edificio (kg CO₂)

e_{kWh} emissioni kg di CO₂/kWh tipologia energia utilizzata (kg di CO₂/kWh)

¹ A. Latini, 2022, 'Energia: 3 °C in meno in casa d'estate con tetti e pareti verdi', ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 09 giugno, consultato il 26 giugno 2023, <<https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradi-in-meno-in-casa-d'estate-con-tetti-e-pareti-verdi>>

$$\begin{aligned}
 m_{CO2/foss} &= \bar{C}_{2/edv} \cdot e_{foss/kWh} \\
 m_{CO2/idro} &= \bar{C}_{2/edv} \cdot e_{idro/kWh} \\
 m_{CO2/foto} &= \bar{C}_{2/edv} \cdot e_{foto/kWh} \\
 m_{CO2/eol} &= \bar{C}_{2/edv} \cdot e_{eol/kWh}
 \end{aligned}$$

Dove

$e_{foss/kWh}$ emissioni kg di CO2/kWh energia prodotta da fonti fossili
 $e_{idro/kWh}$ emissioni kg di CO2/kWh energia prodotta da fonti rinnovabili di tipo idroelettrico
 $e_{foto/kWh}$ emissioni kg di CO2/kWh energia prodotta da fonti rinnovabili di tipo fotovoltaico
 $e_{eol/kWh}$ emissioni kg di CO2/kWh energia prodotta da fonti rinnovabili di tipo eolico

Stimate le emissioni attuali basate sui consumi annuali di un edificio è necessario rapportare il dato all'intero censimento degli edifici della località in esame e stimarne l'**entità futura secondo normativa 2030**

$$e_{2030} = m_{CO2/ed} \cdot N \cdot 55\%$$

Dove

e_{2030} - obiettivo intermedio di decarbonizzazione 2030 dove le emissioni vengono ridotte del 55%

N - Numero edifici censiti comune (-)

Stimato se sia sufficiente adottare l'azione pura o se necessiti di essere implementata con approvvigionamento energetico da fonte rinnovabile per rientrare nelle emissioni previste al 2030, si procede con il **calcolo dell'incremento percentuale di performance** della azione singola e della azione singola implementata di approvvigionamento energetico da fonte rinnovabile (analogamente al procedimento riportato per le soluzioni I.06, I.07)

$$I_{\%} = [(e_{att} - e_s) / e_{att}] \cdot 100$$

Dove

$I_{\%}$ - Incremento percentuale di performance (%)

e_{att} - emissioni attuali (kg di CO2/kWh)

e_s - emissioni dopo sostituzione (viene sostituita l'emissione di un edificio privo di copertura verde con uno con copertura verde o con uno con copertura verde e fonte rinnovabile per verificarne l'apporto) (kg di CO2/kWh)

ARBUSTI più indicati per assorbimento O3
 Ilex spp. fattore di assorbimento 0,334 g/pianta/giorno
 Ligustrum vulgare fattore di assorbimento 0,253 g/pianta/giorno
 Viburnum spp. fattore di assorbimento 0,253 g/pianta/giorno

ARBUSTI più indicati per assorbimento NO2
 Ilex cassine fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno
 Ilex cornuta fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno
 Ilex opaca fattore di assorbimento 0,191 g/pianta/giorno

ARBUSTI più indicati per assorbimento PM10
 Ilex cassine con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno
 Ilex cornuta con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno
 Ilex opaca con un fattore di assorbimento 0,123 g/pianta/giorno

ARBUSTI più indicati per assorbimento CO2
 Ilex cassine con un fattore di assorbimento 0,0587 t/anno
 Ilex cornuta con un fattore di assorbimento 0,0587 t/anno
 Ilex opaca con un fattore di assorbimento 0,0180 t/anno

Infiltrazione acqua piovana

AZIONI

- A.01 Depavimentazione
- A.02 Pavimentazioni drenanti
- A.03 Giardino della pioggia
- A.04 Fossati inondabili
- A.05 Bacini allagabili
- A.06 Piantumazione alberi

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo dell'infiltrazione di acqua piovana nel terreno e nei suoli viene valutata la differenza di performance tra suoli asfaltati ed impermeabili e la sostituzione degli stessi con vegetazione o superfici permeabili. Questa valutazione definisce la riduzione del fenomeno di deflusso delle piogge, tipicamente causa di allagamenti.



Per la valutazione dell'infiltrazione dell'acqua piovana possono essere utilizzati diversi procedimenti di calcolo, di seguito verrà analizzato il potere di assorbimento massimo delle acque piovane di superfici impermeabili e verdi.

Potere di assorbimento massimo¹ $Q \text{ (m}^3\text{/h)} = P \times A \times R = P \times A \times (1 - C)$

Dove

P= precipitazioni medie annue degli ultimi 10 anni (mm)

A= area totale d'intervento (m²)

R= coefficiente di assorbimento delle acque piovane(-)

C= coefficiente di deflusso superficiale delle acque piovane(-)

Il potere di assorbimento e il deflusso massimo sono calcoli che a livello fisico descrivono il comportamento delle superfici e risultano strettamente correlati. Infatti, il primo indica la **quantità di acqua piovana che una superficie è in grado di assorbire** mentre il secondo definisce lo scorrimento superficiale, cioè la quantità di acqua non assorbita che genera fenomeni di run-off e allagamenti.

Di seguito verranno descritti i valori contenuti nelle formule e necessari per la valutazione.

Precipitazioni medie annuali (P)

Questo valore definisce le caratteristiche del sito di riferimento, infatti rappresenta il valore medio di mm di acqua piovana caduto nell'arco di dieci anni nella località di analisi specifica.

Per reperire questi valori si fa tipicamente riferimento a banche dati online, come quelle fornite dall'ISTAT in Italia.

Area (A)

Area del sito preso in analisi, deve essere considerata l'area di superficie d'intervento al netto di edifici e porzioni in cui non verrà sostituita la tipologia di suolo.

¹ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

Coefficiente di deflusso dell'acqua piovana(C)

Il coefficiente di deflusso è un valore adimensionale che mette in **relazione il deflusso di acqua piovana di una superficie o terreno alla quantità di precipitazione ricevuta**. I valori risultano maggiori per le superfici impermeabili in cui il valore d'infiltrazione è minore rispetto a quello di deflusso, al contrario il coefficiente presenta valori inferiori per le superfici permeabili in cui il valore di infiltrazione è maggiore rispetto a quello di deflusso.

Il coefficiente di deflusso può essere utilizzato per individuare aree a rischio allagamenti che presenteranno valori vicini all'1 e per verificare l'efficacia di soluzioni anti allagamenti che dovranno riportare valori inferiori e vicini allo 0. Tipicamente vengono utilizzati valori da letteratura riportati nella tabella qui di seguito. Per il calcolo delle azioni selezionate verranno presi a riferimento i valori.

Character of surface	Return Period (years)						
	2	5	10	25	50	100	500
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
<i>Poor condition (grass cover less than 50% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep, over 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Good condition (grass cover larger than 75% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep, over 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep, over 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							
Flat, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Forest/Woodlands							
Flat, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Average, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Steep, over 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Note: The values in the table are the standards used by the City of Austin, Texas. Used with permission

Tipo di superficie	φ
Superficie pavimentate	0.7÷0.9
Strade in terra	0.4÷0.6
Superficie erbose	0.1÷0.7
Aree residenziali	0.3÷0.7
Boschi	0.1÷0.3
Terreni coltivati	0.2÷0.6

Tabella 2 valori dei coefficienti di deflusso in funzione dei tipi di superfici
 Fonte: *Manuale del geologo, 2020*, "Formulario di idrogeologia" < <https://manualedelgeologo.it/formulario-di-idrogeologia/>>

Tabella 1 valori coefficiente di deflusso.
 Fonte: *Manuale del geologo, 2020*, "Formulario di idrogeologia" < <https://manualedelgeologo.it/formulario-di-idrogeologia/>>

Valutazione incremento performance

Per determinare i miglioramenti apportati dalle soluzioni sono stati impostati due rapporti, il primo fra l'assorbimento massimo atteso e la differenza di assorbimento della superficie in cui si ipotizza di applicare l'azione e la superficie allo stato attuale. Lo stesso procedimento viene effettuato per l'analisi di riduzione del deflusso superficiale.

$$I_{\%} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{azione}} - Q_{\text{stato di fatto}}} \cdot 100 : x$$

Deflusso coperture

AZIONI

A.08 Coperture verdi

OBBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione del deflusso delle acque piovane, legato alle coperture viene verificata l'efficacia della sostituzione di coperture tradizionali e impermeabili con verde pensile intensivo ed estensivo, al fine di ridurre i fenomeni di allagamento da alluvioni intense.



Per la valutazione dell'efficacia dei **tetti verdi** diversi studi hanno individuato intervalli percentuali che definiscono la **capacità idrica media e la riduzione del deflusso di tetti verdi** intensivi ed estensivi. I vari studi analizzati riportano valori differenti fra loro, questo perché vi sono diversi fattori che possono influenzare il clima di riferimento, tra cui la scelta della tipologia di piante selezionate, numero di strati e profondità degli stessi, il clima del contesto di riferimento e conseguente regime alluvionale, queste variabili si possono suddividere in variabili progettuali e climatiche.

La vegetazione può apportare risultati diversi in base alla capacità di intercettazione, ritenzione e traspirazione della pianta, ad esempio un prato ha una perdita d'intercettazione che varia dal 5% al 10% mentre per le foreste il valore aumenta al 25%. Altri studi hanno rilevato che le bromeliacee hanno un accumulo di acqua tra il 15% e il 20% e il volume d'acqua massimo accumulabile varia in base alla dimensione della pianta.

Per quanto concerne le condizioni climatiche del luogo sicuramente la capacità di assorbimento è influenzata da temperatura, umidità e venti, eventuali periodi di siccità, modelli di precipitazioni e intensità delle precipitazioni. La **Norma UNI 11235** fornisce i valori di riferimento per il coefficiente di deflusso dell'acqua piovana in funzione dello spessore dei giardini pensili:

- $8 < S < 10$ ψ 0,60
- $10 < S < 15$ ψ 0,45
- $15 < S < 25$ ψ 0,35
- $25 < S < 35$ ψ 0,25
- $35 < S < 50$ ψ 0,20
- $S > 50$ ψ 0,10

A spessore maggiore del substrato si registra un minore deflusso poiché avrà una maggiore quantità di acqua assorbita.

Il coefficiente di deflusso viene utilizzato per calcolare la **quantità d'acqua massima di acqua scaricata da una copertura¹**, la cui formula è:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = I * \psi * cr * A$$

dove

I= intensità della pioggia critica (mm/h)

ψ = coefficiente di deflusso superficiale dell'acqua piovana (-)

Cr= coefficiente di rischio, funzione del livello di pregio dell'edificio (-)

A= superficie della copertura verde (m²)

Questa tipologia di calcolo è utile a comprendere le performance attese dalla copertura specifica, infatti l'obiettivo è di ridurre il picco di deflusso dovuto alle coperture impermeabili, senza creare problematiche legate ad uno scorretto dimensionamento del drenaggio. Infatti secondo le linee guida ISPRA è consigliato effettuare ogni volta i passaggi descritti utilizzando sempre dati di input inerenti al contesto e al clima di riferimento.

¹ ISPRA, ATAP, 2012, *Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico*, Manuali e Linee guida 78.3

Intensità della pioggia critica (I)

Attraverso questo valore si definisce la quantità di pioggia massima caduta in un'ora con periodo di ritorno di 10 o 30 anni. Questo valore deve essere definito in base ai dati climatici del sito di riferimento per garantire una maggiore accuratezza, in caso di mancanza di dati reperibili viene utilizzato il valore di 120 mm/h, cioè 0,033 l/(m²*s)

Coefficiente di deflusso superficiale dell'acqua piovana (ψ)

Come visto in precedenza il coefficiente di deflusso è un valore adimensionale che in questo caso mette in relazione il deflusso di acqua piovana dei tetti verdi con la quantità di pioggia caduta. Per il verde pensile si utilizzano tipicamente dei valori certificati da istituti indipendenti, in caso di altre tipologie di pavimentazioni affiancate al verde pensile in caso di irreperibilità dei dati vengono utilizzati quelli della tabella seguente:

Tipologia di finitura di coperture piane	Coefficiente di deflusso *
Pavimentazioni in asfalto o c/c	0,90
Pietra, cubetti, piastrelle con giunti sigillati	0,85
Pavimentazione galleggiante su supporti	0,80
Pietra, cubetti, pavimentazione in legno, con fuga non sigillata, su sottofondo in sabbia o ghiaia.	0,70
Zavoratura in ghiaia con spessore di almeno 5 cm	0,70

Tabella 1 valori coefficiente di deflusso per coperture impermeabili Fonte: ISPRA, ATAP, 2012, Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico, Manuali e Linee guida 78.3

Coefficiente di rischio funzione del livello di pregio dell'edificio (cr)

Il coefficiente di rischio a cui viene tipicamente attribuito un valore di 2, e un massimo di 3 per gli edifici di maggiore pregio.

Superficie copertura verde (A)

corrisponde alla superficie proiettata della copertura verde su cui si riversano le precipitazioni.

Valutazione incremento performance

Per determinare il miglioramento apportato dalle coperture verdi viene calcolata la differenza di performance tra le coperture impermeabili allo stato di fatto (con $0,90 > \psi > 0,70$) e la sostituzione di coperture verdi, totale e del 40% (con $0,60 > \psi > 0,10$)

$$I_{\%} = \frac{Q_{\max} \cdot (Q_{40\%} - Q_{\text{stato di fatto}})}{Q_{\max}} = 100 : x$$

Raffiche, vortici, elevata v d'impatto

AZIONI

- V.01 Barriera vegetale o quinta arborea
- V.02 Frangivento e schermature

OBIETTIVO

Attraverso il calcolo della riduzione della velocità del vento grazie all'impiego delle azioni individuate, viene valutata la differenza di performance apportata dall'installazione di barriere frangivento. Questa valutazione non si pone di ottenere migliori normative ma si propone come strategia di mitigazione da applicare in aree soggette a costanti movimenti del vento.



Due grandezze variabili del vento sono la velocità e la direzione, devono la loro instabilità a turbolenze e rugosità del terreno (la conformazione del paesaggio urbano influenza significativamente). A differenza della radiazione termica, il vento non può essere descritto solamente tramite un'equazione, pertanto ad oggi esistono **tre metodologie** per simulare il comportamento del vento

- **galleria del vento con ausilio di un modello (estremamente costoso)**
- **simulazioni software online (dipendono fortemente dalle competenze dell'utilizzatore)**
- **approccio empirico dove si adatta il caso generale al caso particolare**

Gli elementi frangivento possono agire secondo 4 funzioni

- **Ostruire** - il flusso d'aria viene bloccato
- **Deflettere** - il flusso d'aria viene deviato e perde velocità
- **Filtrare** - attraverso il passaggio in una barriera permeabile il flusso d'aria perde velocità
- **Incanalare** - il flusso d'aria viene deviato e condotto in zone che necessitano di ventilazione

Quando si prevede l'impiego di una barriera frangivento, arborea o meno, si deve tener conto sempre di

- h - altezza della barriera frangivento (m)
- l - lunghezza della barriera frangivento (m)
- z - larghezza della barriera frangivento (m)
- p - permeabilità della barriera (%)

Questi tre fattori, infatti, influenzano e sono proporzionali all'efficacia della barriera e alla superficie protetta

Per la valutazione d'incremento di performance in azioni come quelle riguardanti l'incidenza di forti venti e tempeste è possibile porre come **obiettivo** solamente **la schermatura totale e solamente in aree limitate di superficie**, poichè non è possibile agire sulla velocità d'impatto del vento come non è possibile ipotizzare un comportamento lineare e direttamente proporzionale all'estensione dell'azione.

$$v_1 = v \cdot \Psi_{\%}$$

Dove

- v_1 - Velocità del vento ridotta (m/s)
- v - Velocità iniziale (m/s)
- Ψ - Fattore di riduzione di velocità del vento dovuto a distanza e permeabilità della barriera (%)

Ondate di calore

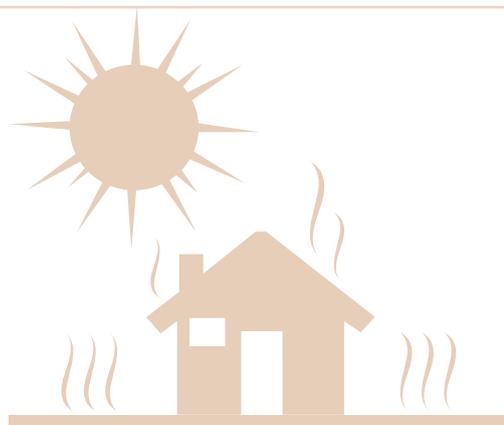
Evapotraspirazione

AZIONI

- C.03 Depavimentazione
- C.04 Piantumazione alberi
- C.05 Verde verticale
- C.06 Coperture verdi

OBIETTIVO

Il calcolo dell'evapotraspirazione aiuta a determinare come i processi di evaporazione e traspirazione siano incrementati attraverso l'utilizzo di specchi d'acqua e vegetazione, garantendo un maggiore comfort ambientale e diminuzione delle temperature..



L'evapotraspirazione è la quantità d'acqua che finisce in atmosfera attraverso fenomeni di evaporazione diretta di specchi d'acqua, del terreno, della vegetazione e dalla traspirazione della vegetazione. Questo processo garantisce l'abbassamento delle temperature di 2-3°C nelle aree immediatamente limitrofe.

ETR (mm/d) = Ev + Tv

Dove

Ev= evaporazione acqua degli strati più superficiali del terreno

Tv= traspirazione della copertura vegetale che avviene principalmente a livello fogliare

L'evapotraspirazione reale ETr (mm/d) è definita così in quanto tiene conto dell'interazione tra il suolo e la vegetazione che lo sovrasta con l'atmosfera, rappresentando perciò l'effettiva quantità di acqua trasformata in vapore, essa dipende da:

- **Potere evaporante dell'atmosfera**
- **Vegetazione (tipologia, sviluppo e stadio vegetativo)**
- **Contenuto idrico del suolo**

Per il calcolo di questo indicatore si possono usare metodologie dirette ed indirette.

Per il metodo indiretto si prende a riferimento l'indicatore di Evapotraspirazione potenziale ETP₀ calcolato attraverso la stima preliminare **Thornthwaite-Mather**.

ETP₀ indica quando la disponibilità di acqua nel suolo è pari alla quantità di acqua che il sistema **PD-VG-ATM¹** è in grado di far evaporare ed è strettamente legato al potere evaporante dell'atmosfera e la vegetazione. Questo valore fornisce indicazioni sul valore limite della quantità d'acqua disponibile per l'evapotraspirazione e il valore massimo di evapotraspirazione di un particolare tipo di vegetazione².

Metodo Thornthwaite-Mather

ETP₀ (mm/d⁻¹) si calcola utilizzando l'andamento delle temperature medie mensili T_m e l'indice termico annuale I attraverso la formula

$$ETP_{p0} = c \bar{T}_m^a$$

$$c = 1,6 \left(\frac{10}{I} \right)^a$$

$$a = 0,016I + 0,5$$

$$I = \sum_{i=1-12} \left(\frac{\bar{T}_{mi}}{5} \right)^{1,541}$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,541}$$

I= Indice termico annuale (°C)

T_m= Temperatura media mensile (°C)

Attraverso questo metodo è possibile calcolare l'ETP relativo ad un mese specifico nell'anno i tenendo conto della temperatura media (T_m) del mese e il numero medio delle ore d'insolazione per la latitudine, cioè il coefficiente km attraverso la formula:

$$ETP_{pi} = 16, k \left(\frac{10 \bar{T}_{mi}}{I} \right)^a$$

¹ Suolo, vegetazione, atmosfera

² Questo purché siano noti lo stato di crescita e le condizioni atmosferiche

Con **km** che è il **coefficiente d'irraggiamento** e si prende da valori tabellari che varia in base al mese preso in considerazione e la latitudine del sito d'interesse.

NORTH LAT.	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
0°	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
10°	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20°	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
30°	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35°	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40°	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45°	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50°	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

Source: Gray [1973]

Dopo aver acquisito questo valore è necessario calcolare l'**evapotraspirazione reale ET_r (mm/d)** seguendo un modello TM su base mensile.

Sappiamo che la **precipitazione efficace P_e (mm) = ψP**

dove ψ è il coefficiente di afflusso delle acque piovane da tabella (-)

P = precipitazione media mensile (mm)

Nel caso in cui $P_e > ET_p$ cioè la precipitazione mensile che si infiltra nel terreno supera l'evapotraspirazione si considera $ET_p = ET_r$

Nel caso in cui $P_e < ET_p$ cioè la precipitazione mensile è inferiore all'evapotraspirazione

$$ET_r = P_e + \alpha RE \text{ cioè } ET_r = |P_e + \Delta RU|$$

Dove αRE : frazione della riserva idrica RE dello strato superficiale (mm)

P_e : pioggia efficace che contribuisce al deflusso delle acque (mm)

ΔRU (mm) è la perdita idrica del suolo e si calcola secondo la formula $RU = e^{\frac{\sum \Delta P}{RT}}$ con ΔP (mm) che rappresenta la perdita idrica e si calcola attraverso la formula ΔP_e (mm) = $P_e - ET_p$

In seguito, si procede calcolando la variazione mensile della riserva idrica del terreno attraverso la formula ΔRU (mm) = $\Delta RU - \sum \Delta RU$

dove ΔRU_m (mm) = $(RU_m - RU_{(m-1)})$ cioè la differenza tra la perdita idrica del mese preso in analisi rispetto al mese precedente mentre $\sum \Delta RU$ (mm) è la perdita idrica cumulata.

In caso di valutazione della siccità sappiamo che finché la differenza tra la quantità di pioggia e l'evapotraspirazione è maggiore di 0 $P - ET > 0$ la disponibilità idrica sarà sempre garantita, al contrario se $P - ET < 0$ la riserva utile RU andrà man mano esaurendosi per effetto dell'evapotraspirazione e dell'assenza di precipitazioni.

Valutazione incremento performance

Per determinare il miglioramento apportato viene valutato il livello di evapotraspirazione allo stato attuale, considerando superfici asfaltate, in seguito viene valutato il livello di evapotraspirazione delle soluzioni attuate. Infine viene effettuato un rapporto per valutare l'abbassamento di temperatura attraverso la formula

$$T_m : ET_{r(\text{asfalto})} = x : ET_{r(\text{azione})} \rightarrow T_{\text{azione}} (\text{°C}) - T_m = T_{\text{ridotta}} (\text{°C})$$

Ondante di calore

Ombreggiamento

AZIONI

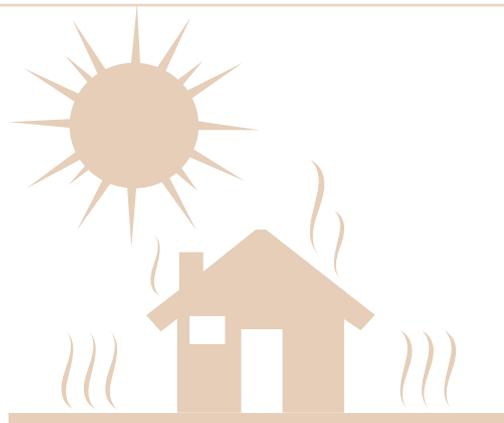
C.04 Piantumazione alberi

C.07 Pergole

C.08 Coperture fisse

OBIETTIVO

Per valutare i benefici apportati dall'ombreggiamento generato da alberi o coperture viene effettuato un paragone fra la radiazione solare diretta incidente prima e post intervento, verificando così l'efficienza delle soluzioni proposte



L'utilizzo di alberi singoli, gruppi di alberi o la costruzione di pergole e coperture fisse contribuiscono alla **creazione di zone d'ombra** all'interno dell'area urbana, queste garantiscono un maggiore comfort e abbattimento delle isole di calore diminuendo gli effetti della radiazione solare. Per valutare l'efficienza dell'ombreggiamento si calcola la radiazione solare diretta incidente attraverso la formula

$$T \text{ (MJ/m}^2\text{)} = \{[(K - K_d) / \tan e] / \pi\} * t$$

Dove

K= radiazione solare media sul piano orizzontale MJ/m²

K_d=radiazione solare diffusa MJ/m²

e=altezza solare nel sito di riferimento(°)

t=trasmissività dell'oggetto oscurante(-)

Radiazione solare media

Corrisponde al valore di radiazione solare globale, comprensivo di radiazione diretta e diffusa, ricevuta in questo caso su piano orizzontale.

Questo valore viene stabilito in base alla località di riferimento ed è possibile reperirlo da banche date online.

Radiazione solare diffusa

La radiazione diffusa è la componente indiretta della radiazione globale, questa componente non arriva alla terra tramite raggio diretto ma a causa di ostacoli, come nuvole o altre particelle presenti nell'aria, cambia direzione, distribuendosi in maniera irregolare. Per questo calcolo da letteratura si determina un valore corrispondente al 10% della radiazione globale K in un giorno sereno.

Altezza solare

Valore corrispondente all'angolo formato dalla direzione dei raggi solari con la superficie orizzontale. Come la radiazione solare anche l'altezza fa riferimento al sito di progetto specifico

Trasmissività

La trasmissività solare è un fattore che indica la quantità di radiazione solare in grado di attraversare un determinato ostacolo.

Si considera t=100 in assenza di ostruzioni

t=0 per ostruzioni opache

per la vegetazione viene considerato l'inverso del fattore di ombreggiamento, da tabella

Nome botanico	Coefficienti di ombreggiamento (% di trasmissione)	
	Estate	Inverno
<i>Acer platanoides</i>	0,12	0,69
<i>Acer rubrum</i>	0,24	0,74
<i>Acer saccharinum</i>	0,17	0,71
<i>Acer saccharum</i>	0,16	0,69
<i>Aesculus hippocastanum</i>	0,11	0,73
<i>Albizzia julibrissin</i>	0,17	0,68
<i>Amelanchier canadensis</i>	0,23	0,57
<i>Betula alba</i>	0,18	0,62
<i>Carya ovata</i>	0,23	0,66
<i>Catalpa speciosa</i>	0,24	0,68
<i>Celtis australis</i>	0,08	0,53
<i>Celtis occidentalis</i>	0,12	
<i>Crataegus laevigata</i>	0,14	
<i>Crataegus lavalleyi</i>	0,11	
<i>Eleagnus angustifoli</i>	0,13	
<i>Fagus sylvatica</i>	0,12	0,83
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,15	0,59
<i>Ginkgo biloba</i>	0,19	0,63
<i>Gleditsia triacanthos</i>	0,36	0,70
<i>Juglans nigra</i>	0,09	0,63
<i>Koelreuteria paniculata</i>	0,19	0,65
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,18	0,65
<i>Liriodendron tulipifera</i>	0,10	0,73
<i>Malus s.p.</i>	0,15	0,85
<i>Platanus acerifolia</i>	0,14	0,55
<i>Populus tremuloides</i>	0,25	
<i>Pyrus communis</i>	0,20	0,60
<i>Quercus palustris</i>	0,22	0,75
<i>Quercus robur</i>	0,19	0,77
<i>Quercus rubra</i>	0,19	
<i>Sophora japonica</i>	0,22	
<i>Tilia cordata</i>	0,12	0,59
<i>Ulmus americana</i>	0,13	0,76
<i>Ulmus pumila</i>	0,15	0,50
<i>Zelkova serrata</i>	0,20	0,74

Tabella valori coefficienti di ombreggiamento per tipologia di albero
 Fonte: G.Scudo, J.M. del la Torre, 2003, *Spazi verdi urbani : la vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*

Valutazione incremento performance

Per determinare l'efficacia dei sistemi di ombreggiamento opachi e vegetali si effettueranno i calcoli pre intervento con $t=100$ e post intervento con $t=0$ ecc..

Per valutare l'incremento di performance viene eseguito il rapporto

$$T_{\max} : 100 = (T_{\text{azione}} - T_{\text{stato di fatto}}) : X$$

Serbatoi di accumulo

AZIONI

OBIETTIVO

Indicatori di impatto della siccità



Per la valutazione della siccità e del suo impatto vengono utilizzati diversi indicatori e indici che forniscono valori descrittivi basandosi sulle caratteristiche fisiche proprie dell'evento fra cui la durata, la gravità e estensione spaziale del territorio coinvolto. Inoltre, bisogna sempre tenere conto dei fenomeni che possono influenzarla per azione indiretta come l'approvvigionamento idrico dovuto alle precipitazioni e neve.

Tipicamente gli indici vengono suddivisi in base alla categoria di analisi e sono:

- Indici di siccità meteorologica
- Indici di siccità agricola
- Indici di siccità idrologica

Questi possono essere suddivisi in comprensionali, combinati e basati su telerilevamento.

SPI

Per la valutazione della siccità meteorologica viene genericamente utilizzato lo Standardized Precipitation Index (SPI), un **indicatore che mette a confronto la precipitazione totale ricevuta di una località in un periodo di n mesi con la distribuzione delle precipitazioni a lungo termine nello stesso periodo di tempo**. Questo indicatore non prende però in considerazione gli effetti derivanti dal surriscaldamento globale e di conseguenza del fenomeno di evapotraspirazione, inoltre non è possibile considerare l'intensità delle precipitazioni e le tipologie di deflusso con conseguente impatto.

Una delle caratteristiche funzionali che rendono l'SPI largamente utilizzato per la valutazione è la possibilità di mettere a **confronto diversi periodi di mesi**, in questo modo è possibile ottenere una variabile standard con media nulla e varianza uguale ad 1, al fine di confrontare statisticamente diversi climi. In base ai periodi di tempo analizzati si possono ottenere diverse valutazioni degli impatti della siccità meteorologica; infatti, sui brevi periodi che vanno da 1 a 3 mesi si registrano impatti immediati quali riduzione dell'umidità del suolo, del manto nevoso e dei ruscelli. Per periodi che vanno da 3 mesi ad un anno si registra una diminuzione delle portate fluviali e delle capacità degli invasi, mentre superando l'anno si ottiene una ridotta ricarica degli invasi e poca disponibilità di acqua nelle falde.

Il WMO indica che per avere una maggiore robustezza statistica e minori incertezze bisogna considerare serie temporali di dati di almeno 30 anni, genericamente vengono impostate serie fino ai 24 mesi. Grazie al valore di SPI è possibile avere un dato che correla la quantità di pioggia caduta in un determinato intervallo di tempo e la sua climatologia. È possibile monitorare periodi secchi che corrispondono a valori negativi (deficit di precipitazione) e umidi che corrispondono a valori positivi (surplus di precipitazione)

Valori SPI	Classe
$SPI \geq 2$	umidità estrema
$1.5 \leq SPI < 2.0$	umidità severa
$1.0 \leq SPI < 1.5$	umidità moderata
$-1.0 < SPI < 1.0$	nella norma
$-1.5 < SPI \leq -1.0$	siccità moderata
$-2.0 < SPI \leq -1.5$	siccità severa
$SPI \leq -2.0$	siccità estrema

SPEI

Per la **valutare come la variazione e l'aumento di temperature può influenzare la presenza di siccità** si utilizza l'indicatore SPEI Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. In particolare, si tiene conto di come l'aumento delle temperature influenzi l'evapotraspirazione, modificando i meccanismi di formazione dei flussi superficiali, infiltrazione e ricarica dei corpi idrici. Il calcolo dello SPEI mette in relazione la precipitazione del luogo di riferimento e l'evapotraspirazione. Viene utilizzato il metodo Thomthwaite (1948) per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale ETP la cui formula è:

$$\text{ETP (mm/d)} = 16 * k * (10T/I)^m$$

Dove

K: coefficiente di correzione che tiene conto della latitudine del sito di analisi e del mese preso in esame. Per calcolarlo è stata definita l'equazione $K = (N/12) * (NDM/30)$ in cui NDM è il numero di giorni del mese e N sono le ore di sole giornaliere $N = (24/\pi) \cos^{(-1)}(-\tan^* \tan)$, con $\phi = 0,4093 * \sin(2\pi J/365 - 1405)$ cioè la decimazione solare espressa in radianti e J è il giorno medio del mese giuliano.

T: Temperatura media mensile °C

I: Indice annuo di calore, calcolato sommando gli indici mensili di calore $i = (T/5)^{1514}$

m: coefficiente sperimentale calcolato con l'utilizzo dell'indice I secondo l'equazione

$$m = 6,75 * 10^{(-7)} * I^3 - 7,71 * 10^{(-5)} * I^2 + 1,79 * 10^{(-2)} * I + 0,492$$

Per il calcolo di SPEI la variabile d'interesse è:

$$D = P - \text{ETP}$$

Con P che corrisponde alla precipitazione cumulata mensile (mm) e l'evapotraspirazione cumulata mensile di riferimento (mm). Come per l'indicatore SPI è possibile aggregare il valore su diverse scale temporali, tipicamente da 1 a 24 mesi, in questo modo di ottiene una serie storica mensile della grandezza Dk, dove k indica la scala temporale di aggregazione.

Questo indicatore viene utilizzato per dimostrare ad esempio come le precipitazioni che avvengono in periodi estivi siano poco significative nei processi di infiltrazione al suolo e successiva ricarica degli acquiferi, questo a causa degli elevati tassi di evapotraspirazione. Sovrapponendo la serie di dati ottenuti con il calcolo dello SPI se sovrapposti alla serie SPEI si possono visualizzare differenze tra i due metodi nel primo caso infatti non tiene conto del fenomeno di incremento delle temperature.

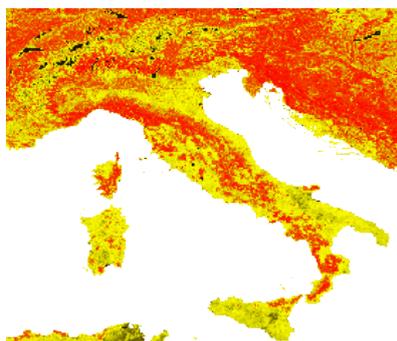
SRI

Standardized Run-off Index è un indicatore per la siccità idrologica utilizzato per **monitorare i bacini**, infatti viene valutata la probabilità di avere una portata media mensile in una determinata scala temporale. Questo indicatore può essere calcolato solo in presenza di serie con dati storici lunghi e stazionari, rispetto allo SPI è consigliato su periodi di durate inferiori ma per bacini di dimensioni più ampie.

fAPAR

L'indicatore Fapar risulta utile per verificare l'impatto che la siccità ha sulla vegetazione, in particolare viene misurata la **frazione di energia solare assorbita dalla vegetazione**. Tendenzialmente questo valore non viene calcolato ogni volta che si esegue l'analisi poiché la procedura risulta molto complessa, vengono invece presi a riferimento delle mappature messe a disposizione dal Copernicus Global Land Service. Le mappature sono state realizzate dal 1999 con diverse risoluzioni spaziali.

Questo indicatore andrebbe convenzionalmente associato ad altri per avere un quadro più completo delle possibili cause della siccità.



Serbatoi di accumulo

AZIONI

S.01 Serbatoi di accumulo tetti verdi

OBIETTIVO

Valutazione del dimensionamento di serbatoi di accumulo da affiancare a soluzioni di raccolta delle acque piovane.



Attraverso il calcolo del deflusso dei tetti verdi è possibile dimensionare un **serbatoio di raccolta**, valutando la quantità di precipitazione del sito di progetto specifico. Come visto in precedenza il coefficiente di deflusso viene utilizzato per calcolare la quantità d'acqua massima scaricata da una copertura, la cui formula è:

$$Q = I * \psi * cr * A$$

Q = portata d'acqua massima da smaltire (m³/h)

I= intensità della pioggia critica (mm/h)

ψ = coefficiente di deflusso acqua superficiale (-)

Cr= coefficiente di rischio, funzione del livello di pregio dell'edificio (-)

A= superficie della copertura verde (m²)

Questo calcolo risulta utile per la definizione del dimensionamento dei serbatoi di accumulo, per questo calcolo non esiste una normativa di riferimento italiana ma si prende a riferimento la norma tedesca **E DIN 1989-1 : 2002-12**.

In primo luogo, viene calcolata la quantità d'acqua disponibile nel corso dell'anno attraverso la formula: $Q \text{ (m}^3\text{/h)} = P * \psi * A$

Dove non viene considerato il coefficiente di rischio e al posto dell'intensità della pioggia si utilizza

P (mm)= precipitazione media annua del sito di riferimento¹.

Fabbisogno idrico per l'irrigazione di coperture a verde pensile	
Tipologia di vegetazione	Fabbisogno annuo (l/m ²)
Prato all'inglese, alberi e vegetazione mesofila	400
Prato arido, erbacee perenni, <i>Sedum</i> , arbusti xerofili	200

ISPRA e ATAP, 2012, Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico

In seguito per stimare il fabbisogno idrico del verde pensile si utilizzano questi dati di riferimento. A questo punto è possibile calcolare il dimensionamento del serbatoio seguendo la formula:

$$V = Q * (Psm / GA)$$

Dove

V= volume del serbatoio (m³)

Q= minimo valore tra l'acqua a disposizione e il fabbisogno annuo per irrigazione ed usi domestici. (m³)

Psm= periodo secco medio, cioè il periodo in cui si verifica un'assenza di precipitazioni, se preso da letteratura si considerano 21 giorni

GA= giorni anno

7.4 Conclusioni

Attraverso l'individuazione dei KPIs sono stati definiti i rispettivi metodi di calcolo per **determinare la performance attesa** dalle azioni di adattamento e mitigazione dei 6 eventi climatici estremi individuati.

Nella catalogazione delle azioni, attraverso l'abaco delle azioni descritte nel capitolo precedente e nell'individuazione dei metodi di calcolo dei KPIs appena illustrati, la **suddivisione** è avvenuta sempre a seconda dell'**evento climatico estremo** analizzato.

Alcune tipologie d'intervento si distinguono per attitudine a rispondere a più problematiche ambientali e climatiche contemporaneamente.

È possibile, perciò, che ad una singola azione strategica corrispondano più calcoli per la valutazione delle performance attese e per la fase di monitoraggio.

Sovente le aree urbane, e soprattutto quelle italiane prese in analisi nel capitolo 5, sono soggette a più problematiche legate ai cambiamenti climatici, che si possono verificare in concomitanza o essere una conseguenza dell'altra. Per tale ragione risulta utile ed efficace la selezione di **singoli interventi** che possano rispondere a **più problematiche** contemporaneamente ed efficacemente.

Di seguito sono state **sintetizzate delle tabelle suddivise per azione d'intervento e per ognuna sono stati individuati i KPIs calcolabili**, determinando perciò quali sono i benefici complessivi che possono apportare rispetto ai 6 eventi climatici estremi.

Ogni riquadro della tabella corrisponde ad un evento climatico e quando è possibile determinare le performance viene descritto il calcolo possibile e la sua unità di misura. Se non risultano efficaci per la risoluzione degli eventi è stato, invece, inserito un riquadro grigio.

Guida alla consultazione

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Titolo azione in esame					
Il riquadro campo di colore grigio sta a significare l'assenza di dati riferiti all'efficacia per lo specifico evento climatico o l'inadeguatezza dell'azione.	Breve descrizione dei tratti salienti e maggiormente efficaci				
	Unità di misura km/h				

7.5 Tabelle di sintesi dei KPIs

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Pavimentazioni drenanti		Pavimentazioni drenanti			
Deflusso e gestione delle acque piovane senza impermeabilizzare superfici estese e provocare dissesti		Deflusso e gestione delle acque piovane per evitare fenomeni di allagamenti in seguito a piogge intense			
Unità di misura m^3 / m^2		Unità di misura m^3/h			

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Rimboscimento e ripristino aree verdi					
Allentare o fermare il movimento di declivi e pendenze grazie agli apparati radicali					
Unità di misura MPa					

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Prati armati e piante ingegnere					
Fermare il movimento di declivi e pendenze grazie agli apparati radicali in grado di raggiungere strati rocciosi resistenti in profondità					
Unità di misura MPa					

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Barriere e muri di contenimento			Frangivento e schermature		
opere di consolidamento dei versanti in frana			Installazione schermature dal vento e riduzione velocità d'impatto		
Unità di misura N/m^2			Unità di misura m/s		

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Opere di sostegno					
opere di consolidamento dei versanti in frana					
Unità di misura N/m ²					

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Superfici trattate con materiali fotocatalitici					
Materiali da costruzione addizionati con biossido di Titanio (TiO ₂)					
Unità di misura g/m ²					

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Pavimentazioni fotocatalitiche					
Materiali da costruzione addizionati con biossido di Titanio (TiO ₂)					
Unità di misura g/m ²					

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
Depavimentazione e rinaturalizzazione		Depavimentazione		Depavimentazione	
Rimozione superfici impermeabili e piantumazione di specie vegetali predisposte all'assorbimento di CO ₂ e particolato		Rimozione superfici impermeabili e piantumazione di specie vegetali per la riduzione del deflusso superficial e assorbimento acque piovane		Rimozione superfici impermeabili e piantumazione di specie vegetali per incrementare il raffreddamento evapotraspirante	
Unità di misura g/pianta/g		Unità di misura m ² /h		Unità di misura mm/m ² /mese	

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Barriera o buffer vegetale	Piantumazione alberi	Barriera vegetale o quinta arborea	Piantumazione alberi	
	Piantumazioni per filari	Piantumazioni per filari, gruppi di alberi o singoli per aumentare l'assorbimento di acqua piovana	Piantumazioni per filari per schermature dal vento e riduzione velocità d'impatto	Piantumazioni di gruppi di alberi o filari per garantire ombreggiamento e evapotraspirazione contro le temperature elevate	
	Unità di misura g/pianta/g	Unità di misura m ² /h	Unità di misura m/s	Unità di misura mm/m ² /mese	

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Rallentamento circolazione veicolare				
	Istituzione zone a maggiore sicurezza e ridotti consumi				
	Unità di misura g/km				

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Sostituzione circolazione veicolare				
	Sostituzione veicoli ad alimentazione maggiormente inquinante				
	Unità di misura g/km				

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Sospensione circolazione veicolare				
	Stop parco circolante				
	Unità di misura g/km				

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Copertura verde			Copertura verde	
	Rinverdimento coperture edifici e risparmio energetico	Inserimento coperture verdi per incrementare area di assorbimento acque piovane		Rinaturalizzazione attraverso coperture edifici per mitigare ondate calore	
	Unità di misura kg CO2/kWh	Unità di misura m ² /h		Unità di misura mm/m ² mese	

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
	Verde verticale o pareti verticali			Verde verticale o pareti verticali	
	Rinverdimento facciate esterne edifici e risparmio energetico			Rinaturalizzazione attraverso facciate edifici per mitigare ondate calore	
	Unità di misura kg CO2/kWh			Unità di misura mm/m ² mese	

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
		Giardini della pioggia			
		Inserimento depressioni vegetali per raccolta e assorbimento acqua piovana			
		Unità di misura m ² /h			

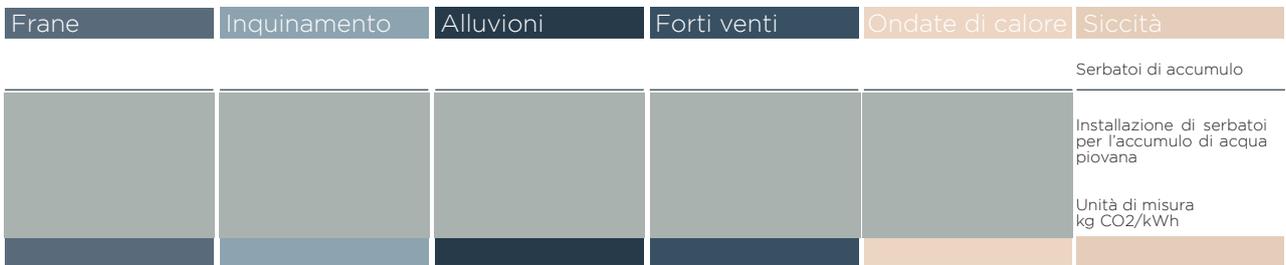
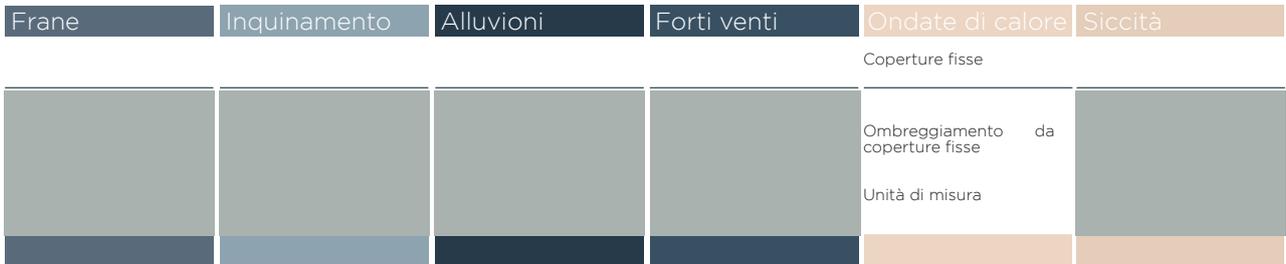
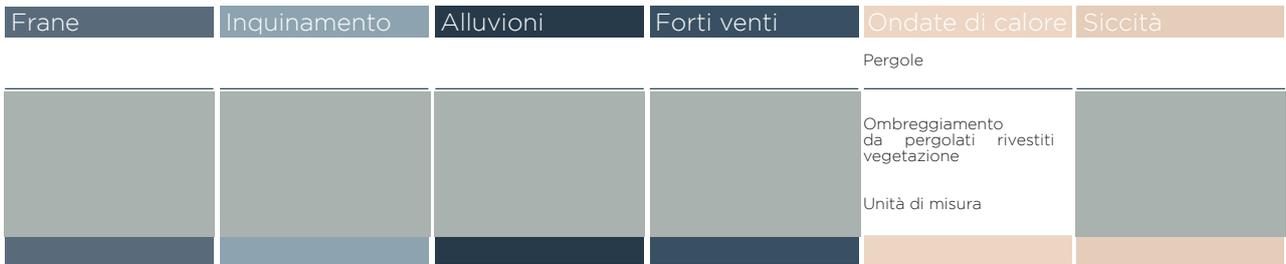
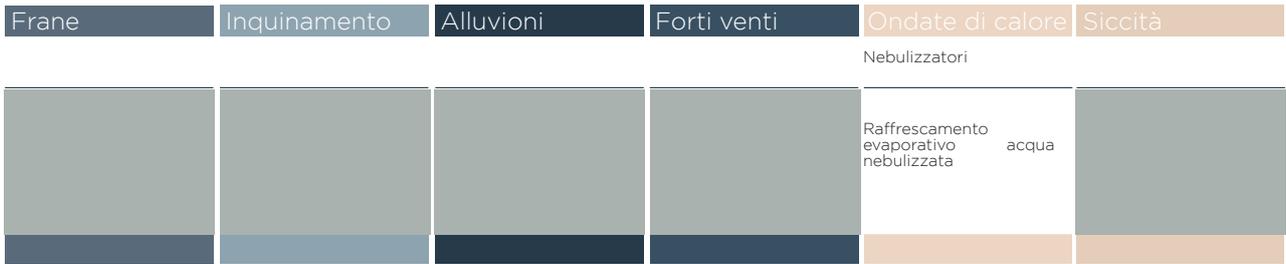
Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
		Fossati inondabili			
		Inserimento depressioni vegetali per raccolta e assorbimento acqua piovana			
		Unità di misura m ² /h			

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
		Bacini e parchi allagabili			
		Inserimento aree verdi di raccolta acqua piovana			
		Unità di misura m ² /h			

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
		Piazze inondabili			
		Inserimento piazze di raccolta delle acque per evitare fenomeni di allagamento			
		Unità di misura m ² /h			

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
		Sostituzione circolazione veicolare			
		Sostituzione veicoli ad alimentazione maggiormente inquinante			
		Unità di misura g/km			

Frane	Inquinamento	Alluvioni	Forti venti	Ondate di calore	Siccità
				Vasche d'acqua e fontane	
				Raffrescamento evaporativo	



CAPITOLO.8

CASI STUDIO KPIs

Applicazione esemplificativa

In questa sezione si riportano esempi applicativi dei KPI's sintetizzati precedentemente prendendo come caso studio di riferimento una città per ogni regione climatica affetta da problematiche legate ad eventi estremi causati dal cambiamento climatico.

L'obiettivo di questa sezione è di fornire una linea guida nell'applicazione e nella ricerca dei dati.

Introduzione

Per **verificare che il metodo** proposto sia corretto e per fornire una linea guida dell'applicazione del metodo, si sintetizzano **sei casi studio applicativi** che si concentrano su sei città differenti, una per ogni Regione Climatica analizzata in precedenza. La scelta ricade su centri urbani densamente costruiti -poichè focus principale della tesi- e caratterizzati da spiccata propensione o effetto agli eventi climatici estremi analizzati.

Le scelte delle città sono ricadute su:

Inquinamento - MILANO

Città della Regione Climatica Padana tra le più soggette agli effetti e ai rischi di emissioni e concentrazioni di agenti inquinanti.

Alluvioni - RAVENNA

Città della Regione Climatica Adriatica fortemente soggetta a rischio idrogeologico e fenomeni alluvionali intensi, il più recente avvenuto a Giugno 2023.

Forti venti - CAMPOBASSO

Città della Regione Climatica Appenninica prima tra tutte ad essere diventata energeticamente autosufficiente grazie ai suoi parchi eolici, nonostante il dato positivo, è soggetta per buona parte dell'anno a forti e costanti venti che a livello urbano vanno mitigati.

Ondate di calore - ROMA

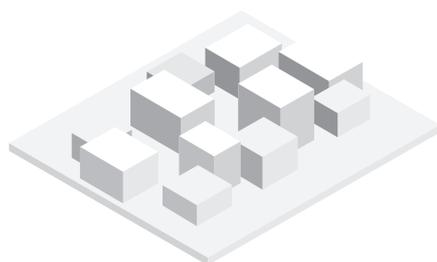
Città della Regione Climatica Tirrenica fortemente provata dalla densità costruttiva urbana e della popolazione, risulta particolarmente soggetta a sviluppare isole di calore e a mantenere elevate temperature per lunghi periodi di tempo, intrappolate dalla conformazione del tessuto.

Siccità - PALERMO

Città della Regione Climatica del Sud e delle Isole particolarmente significativa per i periodi privi di precipitazioni che l'area urbana subisce, in concomitanza alla registrazione di temperature tra le più elevate dell'intera Italia.

Per ogni città si utilizzano **dati di letteratura**, KPIs selezionati da progetti in fase di esecuzione o monitoraggio a livello europeo¹, oppure sintetizzati ad hoc per valutare l'incremento percentuale di performance dell'azione selezionata.

Per ogni azione oltre al titolo e all'applicazione fisico-numerica commentata, si associa uno schema illustrativo a scopo dimostrativo e una cernita dei principali valori scaturiti dall'applicazione per rendere la consultazione più agevole



OBIETTIVO

.....

**INCREMENTO PERCENTUALE
PERFORMANCE PER SINGOLO
ELEMENTO**

-----%

**INCREMENTO PERCENTUALE
PERFORMANCE TOTALE**

-----%

¹ BiodivERSA, CLEARING HOUSE, CLEVER Cities, CONNECTING Nature, EdiCitNet, EKLIPSE, GREEN SURGE, GROW GREEN, Inspiration, MAES/EnRoute, NAIAD, Nature4Cities, Naturvation, NetworkNature, OpenNESS, OPERAs, OPERANDUM, PHUSICOS, proGReg, RECONNECT, REGREEN, Think Nature, TURaS, UNaLab, URBAN GreenUP, and URBiNAT.

INQUINAMENTO

1.00

MILANO

45°28'01" N / 9°11'24" E

SUPERFICIE (S)	181.68 km²
ABITANTI (2022)	1.349.930
DENSITÀ	7430 a/km²
REGIONE CLIMATICA	PADANA
ZONA CLIMATICA	E

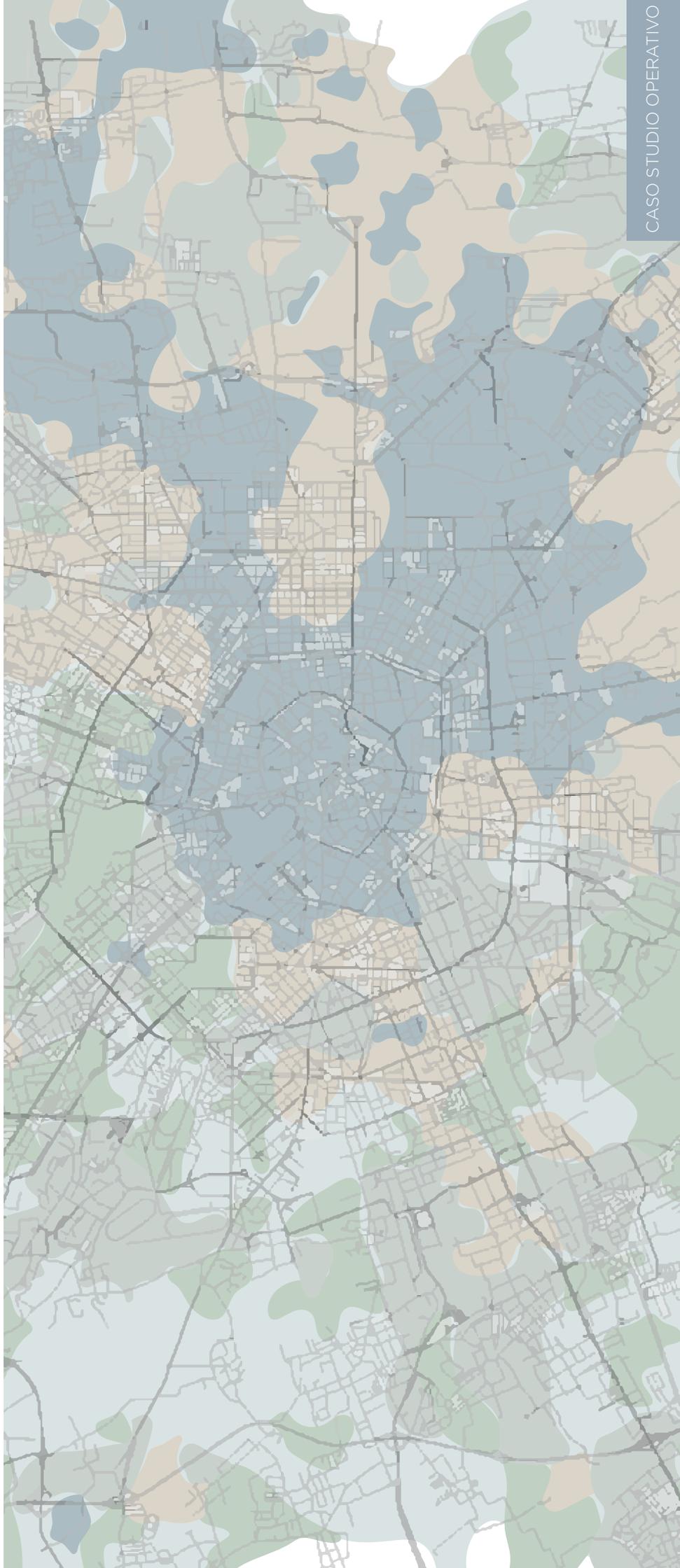
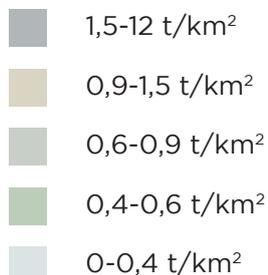
Il caso studio applicativo in merito all'inquinamento si ubica nel capoluogo Lombardo, dove si stima che si perdano tra i 2 e i 3 anni di vita per esposizione all'inquinamento atmosferico che rappresenta - come nel resto della Pianura Padana- il primo fattore di rischio ambientale e per la salute. La Lombardia registra il record di decessi dovuti ad alte concentrazioni di agenti inquinanti come PM10 e PM2,5.

Comune di Milano, 1 a.21) Gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico a Milano, consultato in data 22 giugno < https://partecipazione.comune.milano.it/processes/piano-aria-clima/f/19/proposals/86?component_id=19&locale=it&participatory_process_slug=piano-aria-clima >

MAPPA EMISSIONI ANNUALI DI PM10 PER KM2

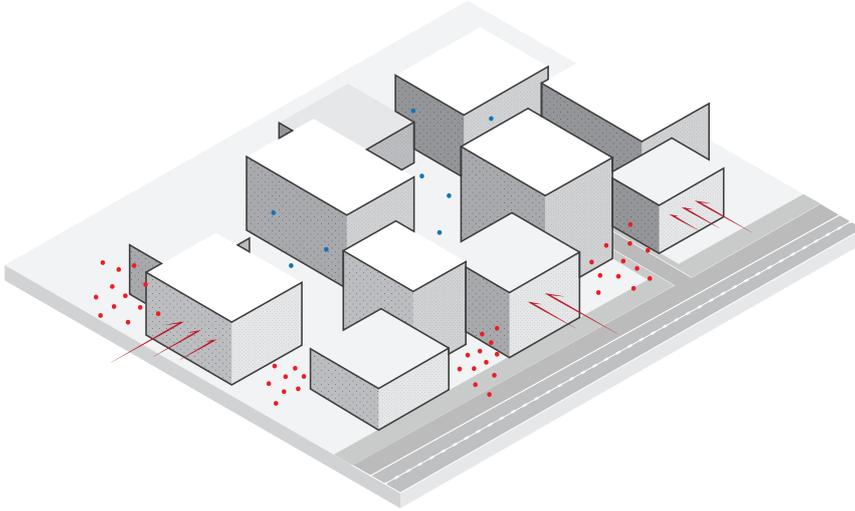
Risultati dell'Inventario Regionale di Emissioni in Atmosfera Anno 2019 espressi in tonnellate/km²

ARPA_Lombardia



SUPERFICI TRATTATE CON MATERIALI FOTOCATALITICI

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Normativa EU 2030 sulle concentrazioni inquinanti nell'aria

INCREMENTO PERFORMANCE PER SINGOLO EDIFICIO

0,00028 %

INCREMENTO PERFORMANCE TOTALE EDIFICI

62,42 %

DATI NOTI

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE ATTUALMENTE

NO₂ (diossido di azoto) valore limite annuale **40 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE NEL 2030

NO₂ valore limite annuale **20 ug/m³**

¹CONCENTRAZIONI MILANO 2022

NO₂ ultimo valore annuale registrato **38 ug/m³**

²Edifici residenziali comune di **Milano 221.891**

Altezza media Edifici residenziali comune di Milano **3 p.f.t.**

³Percentuale uso di suolo per edifici residenziali su territorio comunale **TOT. 29,71%**

⁴Potere di degradazione degli Ossidi di Azoto malte fotocatalitiche 30 t/ km² rivestito all'anno = 30 g/m² all'anno ovvero **0,082 g/m² al giorno**

Superficie al suolo media edificio residenziale Comune di Milano (29,71% di 182 km²)

superficie residenziale in percentuale rapportata alla superficie del Comune di Milano
numero edifici residenziali secondo censimento ISTAT

$$\frac{54.072.200 \text{ m}^2}{221.891} = 243,69 \text{ m}^2$$

Superficie unitaria trattabile con vernice fotocatalitica, approssimata ad un **60%** tenendo conto di muri di spalla condivisi tra più unità, facciate esposte a Nord non direttamente investite da radiazione solare -meno efficienti- e facciate con serramenti esterni

$$60\% [(\sqrt{\text{area edificio residenziale}} \times \text{altezza media edificio residenziale}) \times 4 \text{ facciate}] = 337,19 \text{ m}^2$$

¹ A. Donati, F. Petracchini, C. Gasparini, L. Tomassetti, C. Montiroli, M. Talluri, C. Leonardi, 2023, '6° RAPPORTO MOBILITARIA 2023', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 24 Maggio, consultato il 18 giugno 2023 < https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/rapporto_mobilitaria_2023.pdf >

² ISTAT CensimentoPopolazioneAbitazioni 2011, 'edifici residenziali', consultato il 18 giugno 2023, <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES>

³ Comune di Milano, 3.1.1 *Struttura complessiva degli usi del suolo, 2015, Tabella 3.1 Uso del suolo sul territorio comunale in valori percentuali, consultata il 18 giugno* < https://www.pgt.comune.milano.it/sites/default/files/allegati/RA_All2_Tabella_3_1.pdf>

Tessuto residenziale denso 18,07%; Tessuto residenziale continuo mediamente denso 0,94%; Tessuto residenziale discontinuo 9,37%; Tessuto residenziale rado e nucleiforme 0,77%; Tessuto residenziale sparso 0,18%; Cascine 0,38%

⁴ I. Allegrini, 2003, 'Relazione tecnica malte cementizie fotocatalitiche (ecorivestimento) per la riduzione dell'inquinamento atmosferico', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 20 marzo, consultato il 18 giugno 2023, <file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/Relazione%20CNR%20Ivo%20Allegrini.pdf>

⁵ Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-.

Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)

Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Mettendo in relazione il grado di assorbimento della tecnologia ovvero 0,082 g/m² al giorno con il dato di superficie utilizzabile, si ottiene il **volume d'aria che ogni edificio è in grado di mitigare al giorno**

quantità di sostanza sottratta da 1 edificio rivestito per 337,19 m²
(concentrazioni attuali sostanza inquinante – concentrazioni previste 2030)

$$\frac{27,65 \text{ g}}{38 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} - 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$\frac{27.650.000 \mu\text{g}}{18 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = 1.536.111 \text{ m}^3$$

Si mettono in relazione i metri cubi di aria di pertinenza del singolo edificio rivestito, con il volume d'aria della città⁵ per ottenere il **numero di unità necessarie da trattare** per mitigare il gap normativo

superficie città in esame x altezza PBL
volume di competenza di ogni edificio

$$82.000.000 \text{ m}^2 \times 3000 \text{ m} = 546.000.000.000 \text{ m}^3$$

$$\frac{546.000.000.000 \text{ m}^3}{1.536.111 \text{ m}^3} = 355.443 \text{ edifici}$$

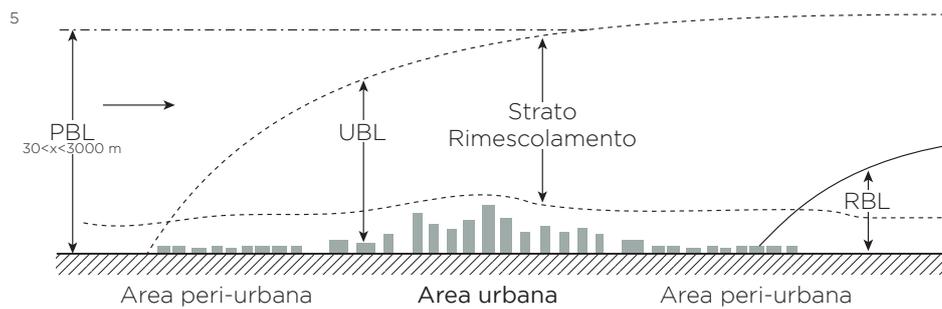
Per conoscere la **percentuale di miglioramento** data dal rivestimento del **singolo edificio** si utilizza un metodo proporzionale dato da:
n edifici totali : 100% = singolo edificio : x
355.443 : 100% = 1 : x -> ogni edificio rivestito con vernice fotocatalitica nella città di Milano apporta un **incremento di performance nella gestione dell'inquinamento da NO₂ dello 0,00028 %**

Per valutare l'**incremento di performance** dato dall'applicazione dell'azione alla **totalità degli edifici presi in esame** si utilizza il medesimo metodo proporzionale dato da:

n edifici necessari : 100% = edifici presi in esame : x

355.443 : 100% = 221.891 : x

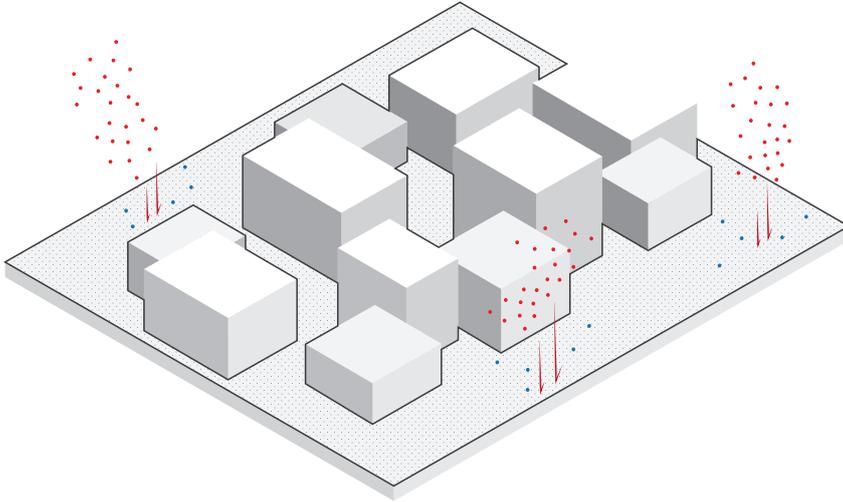
Rivestendo le facciate esterne di tutti gli edifici della città di Milano con vernice fotocatalitica si apporterebbe un **incremento di performance nella gestione dell' NO₂ del 62,42 %** ma non risulterebbe sufficiente l'applicazione di questa unica azione per colmare il gap tra le concentrazioni registrate nell'ultimo anno e l'obiettivo UE 2030.



L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica. Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

PAVIMENTAZIONI FOTOCATALITICHE

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Normativa EU 2030 sulle concentrazioni inquinanti nell'aria

INCREMENTO PERFORMANCE PER SINGOLO m²

0,000000083 %

INCREMENTO PERFORMANCE ESTENSIONE STRADE MILANO

1,06%

DATI NOTI

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE ATTUALMENTE

NO₂ (diossido di azoto) valore limite annuale **40 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE NEL 2030

NO₂ valore limite annuale **20 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MILANO 2022

¹**NO₂** ultimo valore annuale registrato **38 ug/m³**

²Potere di **degradazione degli Ossidi di Azoto malte fotocatalitiche** 30 t/ km² rivestito all'anno = 30 g/m² all'anno ovvero **0,082 g/m² al giorno**

³**ESTENSIONE STRADALE COMUNE DI MILANO 2.023 km**

Mettendo in relazione il grado di assorbimento della tecnologia ovvero 0,082 g/m² al giorno con il dato di riduzione delle concentrazioni, si ottiene la **quantità che ogni m² è in grado di mitigare al giorno**

$$\frac{0,082 \frac{g}{m^2}}{38 \frac{\mu g}{m^3} - 20 \frac{\mu g}{m^3}} m^3$$

$$\frac{82000 \frac{\mu g}{m^2}}{18 \frac{\mu g}{m^3}} = 82000 \frac{\mu g}{m^2} \times \frac{1}{18} \frac{m^3}{\mu g} = 4555 m$$

Si mette in relazione la quantità di pertinenza del singolo m² di pavimentazione rivestito, con il volume d'aria della città⁴ per ottenere **l'estensione superficiale da trattare** per mitigare il gap normativo

¹ A. Donati, F. Petracchini, C. Gasparini, L. Tomassetti, C. Montiroli, M. Talluri, C. Leonardi, 2023, '6° RAPPORTO MOBILITARIA 2023', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 24 Maggio, consultato il 18 giugno 2023 < https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/rapporto_mobilitaria_2023.pdf >

² I. Allegrini, 2003, 'Relazione tecnica malte cementizie fotocatalitiche (ecorivestimento) per la riduzione dell'inquinamento atmosferico', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 20 marzo, consultato il 18 giugno 2023, <file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/Relazione%20CNR%20vo%20Allegrini.pdf>

³ Autostrade 76,73 km; Strada urbana di scorrimento 47,62 km; Strada urbana di quartiere 359,60 km; Strada urbana locale 1.539,68 km

Strada urbana di scorrimento -> carreggiata ampia 3,25 m

Strada urbana di quartiere -> carreggiata ampia 3,00 m

Strada urbana locale -> carreggiata ampia 2,75 m

l'ampiezza minima della corsia ciclabile è di 1,5 m singola o di 1,25 m se doppia con un'ampiezza totale non inferiore a

2,5m

⁴ Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-.

Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)

Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

$$182.000.000 m^2 \times 3000 m = 546.000.000.000 m^3$$

$$\frac{546.000.000.000 m^3}{4555 m} = 1.200.000.000 m^2 \rightarrow 1.200 km^2$$

Per conoscere la **percentuale di miglioramento di un singolo m²** di pavimentazione installata si utilizza un metodo proporzionale dato da:
 metri quadri necessari a coprire il gap : 100% = ogni m² : x
 1.200.000.000 m²: 100 = 1 m² : x -> ogni metro quadro di pavimentazione rivestita con materiale fotocatalitico nella città di Milano apporta un **incremento di performance nella gestione dell'inquinamento da NO₂ dell' 8,3 x 10⁻⁸ % ovvero dello 0,000000083 %**

Per **mettere in relazione il dato ottenuto con un paragone tangibile**, viene calcolata la **superficie** di estensione delle diverse **strade** della città di **Milano** con dati di letteratura e approssimazioni di ampiezza basate sulla normativa vigente.

Le **piste ciclabili** ipotizzando che non tutte siano a doppio senso poste dallo stesso lato della carreggiata subiranno una approssimazione di ampiezza compresa tra 1,5 < x < 2,5 m = 2 m

$$103 km \times 0,002 km = \mathbf{0,21 km^2}$$

Le **strade urbane** di scorrimento contano almeno 2 corsie per senso di marcia separate da spartitraffico e 1 corsia per mezzi pubblici. Ipotizzando che non tutte siano a doppia carreggiata ma alcune possano contarne fino a 3 per direzione, subiranno una approssimazione a 5 corsie

$$47,62 km \times (0,00325 km \times 5) = \mathbf{0,77 km^2}$$

Le **strade urbane di quartiere** contano almeno 2 corsie su unica carreggiata. Ipotizzando che alcune presentino corsia riservata a bus o nella medesima carreggiata anche corsie in senso di marcia opposto subiranno una approssimazione a 3 corsie

$$359,60 km \times (0,003 km \times 3) = \mathbf{3,24 km^2}$$

Le **strade urbane locali** tipicamente utilizzate al fine pedonale e di servizio ai passi carrabili, si approssima ad una ampiezza di 2 corsie, una per senso di marcia

$$1.539,68 km \times (0,00275 km \times 2) = \mathbf{8,47 km^2}$$

Sommando l'**estensione totale** delle strade calcolate secondo dati di letteratura e un discreto grado di approssimazione si ottiene una superficie di 0,21 km² + 0,77 km² + 3,24 km² + 8,47 km² = **12,69 km²**

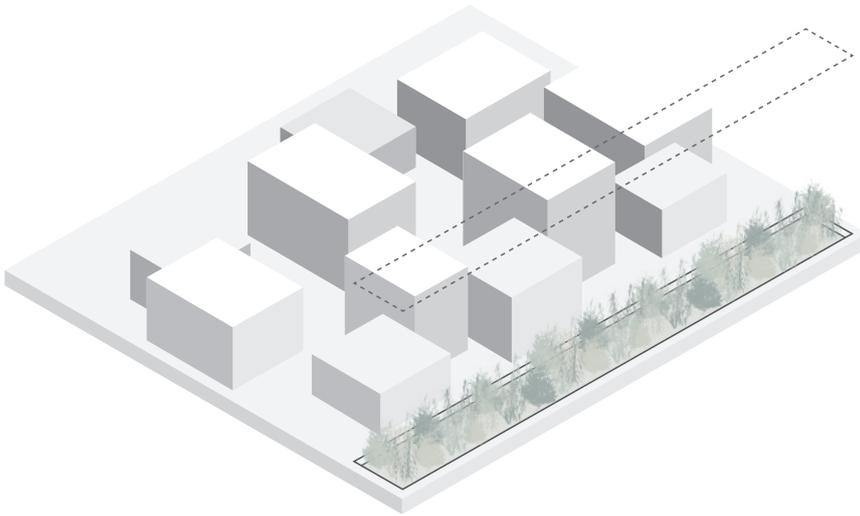
$$1200 km^2: 100\% = 12,69 km^2: x \rightarrow \mathbf{1,06\% di efficacia}$$

Confrontando il dato ottenuto con l'intera estensione delle pavimentazioni presenti nella città di Milano, è evidente come l'**impiego esclusivo dell'azione** sia inverosimile nonché **insufficiente a mitigare la concentrazione di ossidi di azoto presenti**.

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
 Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

RINATURALIZZAZIONE E DEPAVIMENTAZIONE

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Normativa EU 2030 sulle concentrazioni inquinanti nell'aria

INCREMENTO PERFORMANCE SINGOLA UNITÀ VEGETALE

PERCENTUALE PM10 PER
0,0000015 %

ELEMENTI COLMARE NORMATIVO PER IL COMUNE DI MILANO

NECESSARI L'INTERO GAP
66.585.366

DATI NOTI

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE ATTUALMENTE

PM10 valore limite annuale **40 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE NEL 2030

PM10 valore limite annuale **20 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MILANO 2022

¹PM10 ultimo valore annuale registrato **35 ug/m³**

²Fattore di **assorbimento Ilex Cassine 0,123 g/pianta/giorno per il PM10**

Ipotizzando di voler calcolare l'incremento di performance della azione nei confronti del PM10, per conoscere il **volume d'aria di competenza di ogni elemento vegetale**:

quantità di sostanza sottratta dall'atmosfera da 1 pianta in un giorno
(concentrazioni attuali sostanza inquinante – concentrazioni previste 2030)

$$\frac{0,123 \frac{\text{g}}{\text{pianta}}}{35 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} - 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$\frac{123.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}}}{15 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$123.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{15 \mu\text{g}} = 8.200 \frac{\text{m}^3}{\text{pianta}}$$

¹ A. Donati, F. Petracchini, C. Gasparini, L. Tomassetti, C. Montiroli, M. Talluri, C. Leonardi, 2023, '6° RAPPORTO MOBILITARIA 2023', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 24 Maggio, consultato il 18 giugno 2023 < https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/rapporto_mobilitaria_2023.pdf >

² Giunta regionale, regione Toscana, 2018, *Linee guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l'assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono*, consultato il 10 giugno < [file:///C:/Users/MSI%20GF75/

³ Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-.

Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)

Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Si mettono in relazione il volume d'aria della città³ con i metri cubi di aria di pertinenza del singolo elemento vegetale, così facendo si ottengono il **numero di unità necessarie da piantumare** per assorbire e quindi mitigare il gap normativo

$$\frac{\text{superficie città in esame} \times \text{altezza PBL}}{\text{volume di competenza di ogni elemento vegetale}}$$

$$182.000.000 \text{ m}^2 \times 3000 \text{ m} = 546.000.000.000 \text{ m}^3$$

$$\frac{546.000.000.000 \text{ m}^3}{8.200 \text{ m}^3} = 66.585.366 \text{ piante}$$

Per conoscere la percentuale di miglioramento apportata dalla singola pianta si utilizza un metodo proporzionale dato da:

n piante necessarie : 100% = ogni pianta : x

66.585.366 : 100% = 1 : x -> **ogni unità piantumata** nella città di **Milano** apporta un **incremento di performance nella gestione dell'inquinamento da PM10 dello 0,0000015 %**



Ilex cassine con un fattore di assorbimento per il particolato atmosferico PM10 di 0,123 g/pianta/giorno (conosciuto come Cassena appartiene alla famiglia degli agrifogli, raggiunge un'altezza fino a 10 m, ha foglie sempreverdi verdi scure e lucide, fiori bianchi a corolla e frutto del tipo drupa rossa)



Ilex cornuta con un fattore di assorbimento per il particolato atmosferico PM10 di 0,123 g/pianta/giorno (comunemente detto agrifoglio cinese appartiene alla famiglia delle aquifoliacee, è una specie arbustiva a fogliame sempreverde, crescita lenta e denso fogliame che può raggiungere i 3 metri di altezza)

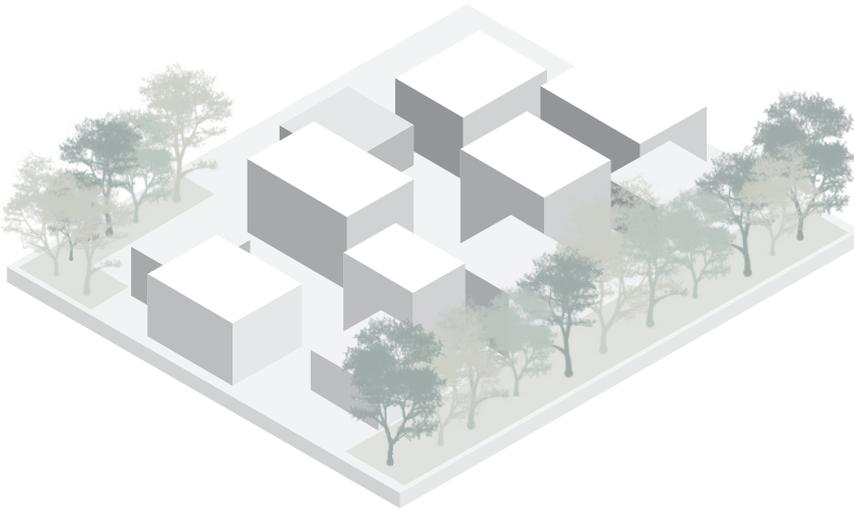


Ilex opaca con un fattore di assorbimento per il particolato atmosferico PM10 di 0,123 g/pianta/giorno (comunemente detto agrifoglio americano appartiene alla famiglia delle aquifoliacee, è una specie arbustiva a fogliame sempreverde, fiori bianco verdastri raccolti in cime pedunculato e denso fogliame che può raggiungere i 10 metri di altezza)

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica. Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

BARRIERA BUFFER VEGETALE

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Ritorno a concentrazioni pre-industriali

INCREMENTO PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ ARBOREA
PERCENTUALE CO₂ PER
0,00117 %

ELEMENTI NECESSARI A COLMARE L'INTERO GAP NORMATIVO PER IL COMUNE DI MILANO
166.972.477

DATI NOTI

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE ATTUALMENTE

PM10 valore limite annuale **40 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MAX PREVISTE PER LEGGE NEL 2030

PM10 valore limite annuale **20 ug/m³**

CONCENTRAZIONI MILANO 2022

¹**PM10** ultimo valore annuale registrato **35 ug/m³**

²Fattore di **assorbimento Pseudotsuga menziesii 95,674 g/pianta/giorno** per il **PM10**

³**Concentrazioni CO₂** registrate nel **2022 417 ppm*** -> 1 ppm = 1000 ppb

417 ppm = 417 x 1000 ppb = 417.000 ppb

1 ppb = 1,145 ug/m³

417.000 ppb x 1,145 = **477.465 ug/m³**

⁴**Concentrazioni CO₂** registrate nel **periodo pre-industriale 278 ppm*** -> 1 ppm = 1000 ppb 278

ppm = 278 x 1000 ppb = 278.000 ppb

1 ppb = 1,145 ug/m³

278.000 ppb x 1,145 = **318.310 ug/m³**

⁵**Acer platanoides** con un fattore di **assorbimento 520,5 g/giorno** per la **CO₂**

Ipotizzando di voler calcolare l'incremento di performance della azione nei confronti del **PM10**, per conoscere il **volume d'aria di competenza di ogni elemento arboreo**:

1 A. Donati, F. Petracchini, C. Gasparini, L. Tomassetti, C. Montiroli, M. Talluri, C. Leonardi, 2023, '6° RAPPORTO MOBILITARIA 2023', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 24 Maggio, consultato il 18 giugno 2023 < https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/rapporto_mobilitaria_2023.pdf >

2 Giunta regionale, regione Toscana, 2018, *Linee guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l'assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono*, consultato il 10 giugno < [file:///C:/Users/MSI%20GF75/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/31C9BPZF/Allegato%20Linea%20guida%20Piantumazione%2031_10_2018[1].pdf] >

3 Redazione ANSA, 2023, 'CO₂ a 417 parti per milione, mai così alta da 2 milioni anni', ANSA, 10 gennaio, consultato il 18 giugno 2023, < https://www.ansa.it/bannernews/notizie/breaking_news_eco/2023/01/10/-co2-a-417-parti-per-milione-mai-così-alta-da-2-milioni-anni_cd3c2f2d-72b6-488d-8564-e103b9fa5623.html >

4 R. Betts, 2021, 'Met Office: la CO₂ atmosferica ora raggiunge il 50% in più rispetto ai livelli preindustriali', CarbonBrief, 16 Marzo, consultato il 18 giugno 2023, < <https://www.carbonbrief.org/met-office-atmospheric-co2-now-hitting-50-higher-than-pre-industrial-levels/> >

5 Istituto Biometereologia di Bologna, 2017, 'Calcolo della Carbon footprint per l'abbattimento delle emissioni tramite piantumazione, rielaborazione da Centro di Ricerca Nazionale di Bologna', 29 giugno, consultata il 18 giugno 2023

6 Si assume un'altezza dell'area volumetrica individuata pari a quella compresa tra la superficie terrestre e lo strato limite planetario (detto PBL è la porzione dell'atmosfera direttamente influenzata dall'interazione con la superficie oltre la quale per via di turbolenze e variazioni di temperatura ciò che viene immesso nella PBL difficilmente raggiunge la parte superiore della troposfera).

Lo spessore del PBL non è costante ma varia tra i 30 m e i 3 km a seconda della sua caratteristica fondamentale: ovvero la turbolenza data da viscosità (con conseguente annullamento della velocità del vento alla superficie) e riscaldamento radiativo della superficie -che genera moti convettivi-.

Durante il giorno si assiste all'instabilità dei vortici convettivi dovuta alle alte temperature (instabile = spessore maggiore = 3 km)

Di notte ci si trova in assenza di questi moti pertanto si parla di strato limite stabile (stabile = spessore inferiore = 30 m)

 VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

$$\frac{95,674 \frac{\text{g}}{\text{pianta}}}{35 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} - 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$\frac{95.674.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}}}{15 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$95.674.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{15 \mu\text{g}} = 6.378.267 \frac{\text{m}^3}{\text{pianta}}$$

Si mettono in relazione il volume d'aria della città⁶ con i metri cubi di aria di pertinenza del singolo elemento arboreo, così facendo si ottengono il **numero di unità necessarie da piantumare** per assorbire e quindi mitigare il gap normativo

$$\frac{\text{superficie città in esame x altezza PBL}}{\text{volume di competenza di ogni elemento vegetale}}$$

$$182.000.000 \text{ m}^2 \times 3000 \text{ m} = 546.000.000.000 \text{ m}^3$$

$$\frac{546.000.000.000 \text{ m}^3}{6.378.267 \text{ m}^3} = 85.603 \text{ alberi}$$

Ipotizzando di voler calcolare l'incremento di performance della **medesima azione** nei confronti della **CO2**, si applica il medesimo procedimento:

$$\frac{520,5 \frac{\text{g}}{\text{pianta}}}{477.465 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} - 318.310 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$\frac{520.500.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}}}{159.155 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$520.500.000 \frac{\mu\text{g}}{\text{pianta}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{159.155 \mu\text{g}} = 3.270 \frac{\text{m}^3}{\text{pianta}}$$

$$\frac{546.000.000.000 \text{ m}^3}{3.270 \text{ m}^3} = 166.972.477 \text{ alberi}$$

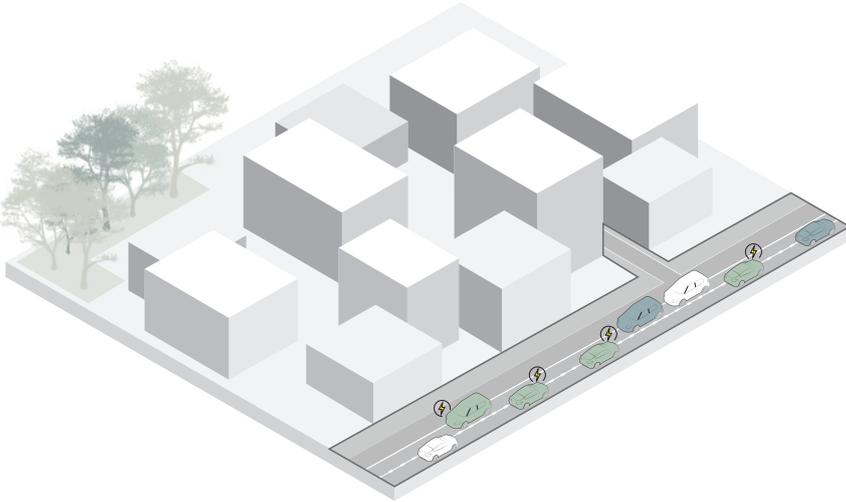
Per sapere la percentuale di **incremento di performance** apportata dal **singola unità arborea** nella gestione del surplus di PM10 registrato si utilizza un metodo proporzionale dato da:
 n alberi necessari : 100% = ogni albero : x
 85.603 : 100% = 1 : x -> ogni albero di Pseudotsuga menziesii piantumato nella città di Milano apporta un incremento di performance **nella gestione dell'inquinamento da PM10 dello 0,00117 %**

Per sapere la percentuale di **incremento di performance** apportata dal **singola unità arborea** nella gestione della CO2 registrata si utilizza un metodo proporzionale dato da:
 n piante necessarie : 100% = ogni pianta : x
 166.972.477 : 100% = 1 : x -> ogni albero di Acer platanoides piantumato nella città di Milano apporta un incremento di performance **nella gestione dell'inquinamento da CO2 del 5,9 x 10⁻⁷ = 0,000000599 %**

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
 Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

SOSTITUZIONE VEICOLARE

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione emissioni di CO2 del 55% entro il 2030

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ DIESEL SOSTITUITA
0,000061 %

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ BENZINA SOSTITUITA
0,000067 %

DATI NOTI

Unità **parco veicolare Comune di Milano 1.807.847 autovetture**¹

60% del parco macchine esistente risulta circolare ogni giorno -> **1.084.708,2 vetture**²

Totale **nazionale di 39.429.528 autovetture** circolanti al 31/12/2021³

benzina rappresentano il **47,1%**

diesel il **43,1%**

GPL il **4,45%**

metano appena il **0,44%**

ibride misto elettrico/benzina il **2,5%**

ibride misto elettrico/gasolio lo **0,3%**

quelle **elettriche** lo **0,3%** e la **restante** percentuale da **altro tipo di alimentazione**

Emissioni auto a benzina (comprese tra 115 e 165 g/km) **140 g/km**⁴

Emissioni auto a diesel (comprese tra 113 e 151 g/km) **132 g/km**

Emissioni auto a GPL (comprese tra 110 e 145 g/km) **127,5 g/km**

Emissioni auto ibride mild e full hybrid (comprese tra 124 e 218 g/km) di **107 g/km**

Emissioni auto Plug-In (comprese tra 26 e 60 g/km) **43 g/km**

Percorrenza giornaliera pro-capite di **29,35 km**⁵

Moltiplicando la percorrenza giornaliera media per vettura per le tipologie di vetture a diversa alimentazione otteniamo

Diesel -> 467.509 (132 g/km x 29,35 km) = 467.509 x 3.874,2 g = 1.811.223.368 g = 1.811,22 t

Benzina -> 510.898 (140 g/km x 29,35 km) = 510.898 x 4.109 g = 2.099.279.882 g = 2.099,28 t

GPL -> 48.270 (127,5 g/km x 29,35 km) = 48.270 x 3.742,1 g = 180.631.167 g = 180,63 t

Altro -> 58.031 (107 g/km x 29,35 km) = 58.031 x 3.140,5 g = 182.246.355 g = 182,25 t

Per l'intero **parco veicolare** di autovetture **circolante a Milano quotidianamente** otteniamo **emissioni di CO2 pari a 4.273,38 t** = 4.273.380 kg di CO2, in media per ogni auto:

$$\frac{4.273.380 \text{ kg (Co2)}}{1.084.708,2 \text{ auto circolanti}} = 3,940 \text{ kg di CO2 al giorno}$$

¹ ANFIA, 2022 'circolazione autovetture per provincia e potenza nel 2021', consultato il 18 giugno 2023, <<https://www.anfia.it/it/automobile-in-cifre/statistiche-italia/parco-circolante>>

² 2019, 'Un milione di auto entrano a Milano ogni giorno, Sala: "Più trasporto pubblico e metrò fino a Monza per ridurle"', La Repubblica, 14 aprile, consultato il 19 giugno 2023 < https://milano.repubblica.it/cronaca/2019/04/14/news/milano_area_b_un_milione_di_auto_al_giorno_entrano_in_citta_-223983302/>

³ MIMS, 2022, 'Guida sul risparmio di carburante e emissioni di CO2 delle autovetture', 'Tabella 2: Autovetture circolanti al 31-12-2021 suddivise per alimentazione', consultata il 19 giugno 2023

⁴ Data da percorrenza annuale pro-capite di 10.712 km per vettura divisa su 365 giorni dati da TELEBORSA, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', La Stampa, 30 settembre, consultato il 19 giugno < <https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTIxXzlwMjItMDktMzBFVExC> >

⁵ TELEBORSA, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', La Stampa, 30 settembre, consultato il 19 giugno < <https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTIxXzlwMjItMDktMzBFVExC> >

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Nel suo obiettivo di **neutralità climatica fissato entro il 2050**, l'UE si pone un **obiettivo intermedio** di una **riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030**

4.273.380 kg di CO2 giornalieri x 365 giorni = 1.559.783.700 kg di CO2 all'anno
 Mirando ad una riduzione del 55% delle emissioni otteniamo un totale di 857.881.035 kg di CO2 di emissioni annuali da evitare, ovvero 701.902.665 kg di CO2 di **emissioni consentite**: equivalenti a **1.923.021 kg di CO2 giornalieri**.

Ipotizzando di lasciare **invariato il parco veicolare circolante** di 1.084.708,2 vetture, le **uniche soluzioni** possibili sono la **sospensione veicolare** nel 55% dei giorni o la **sostituzione** di parte dei **modelli** con alimentazione **più inquinante** come Diesel e benzina

Diesel -> 467.509 (132 g/km x 29,35 km) = 467.509 x 3.874,2 g = 1.811.223.368 g = 1.811,22 t

Benzina -> 510.898 (140 g/km x 29,35 km) = 510.898 x 4.109 g = 2.099.279.882 g = 2.099,28 t

Ogni macchina Diesel emette come 3 macchine plug-in

Si **sostituisce** il tipo di **alimentazioni veicolare di quante auto necessarie** al parco macchine esistente per rientrare nelle emissioni giornaliere possibili e si ottiene il risultato seguente:

1.923.021 kg di CO2 giornalieri = **48.199 auto a diesel** + **70.150 auto a benzina** + **48.270 auto a GPL** + **58.031 auto ad altro tipo di alimentazione** + **860.058 auto Plug-in**

Per rientrare nel totale di **emissioni di CO2 permesse nel 2030** otteniamo un **parco macchine di 1.084.708,2 vetture così composto:**

4,44 % auto a Diesel

6,46% auto a benzina

4,45 auto a GPL

5,35% auto ad altro tipo di alimentazione

79,30% auto Plug-in

Totale emissioni 1.923.290,942 kg di CO2 giornalieri

Auto Diesel ridotte di 419.310 unità rispetto alle 467.509 di partenza

Auto benzina ridotte di 440.748 unità rispetto alle 510.898 di partenza

In favore di 860.058 auto Plug-in

Ogni auto alimentata a **Diesel sostituita con un'auto Plug-in** rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,000061%**

Calcolato come emissioni del parco macchine attuale suddivise per tipologia di alimentazione dove viene sostituita una auto a benzina in favore di un'auto Plug-in e vengono messi in rapporto

Emissioni parco macchine allo stato dell'arte - emissioni parco macchine con una auto a Diesel sostituita in favore di una plug-in
emissioni parco macchine allo stato dell'arte x 100

Ogni auto alimentata a **Benzina sostituita con un'auto Plug-in** rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,000067%**

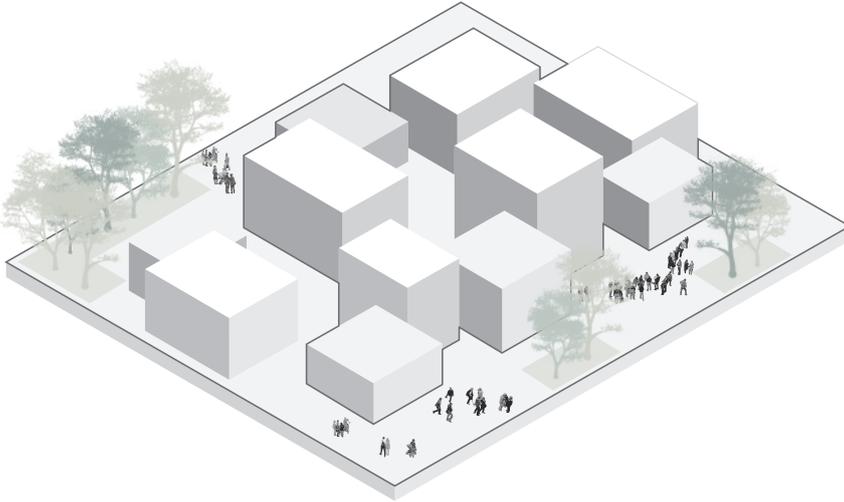
Calcolato come emissioni del parco macchine attuale suddivise per tipologia di alimentazione dove viene sostituita una auto a benzina in favore di un'auto Plug-in e vengono messi in rapporto

Emissioni parco macchine allo stato dell'arte - emissioni parco macchine con una auto a benzina sostituita in favore di una plug-in
emissioni parco macchine allo stato dell'arte x 100

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
 Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

SOSPENSIONE VEICOLARE

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione emissioni di CO2 del 55% entro il 2030

GIORNI CIRCOLAZIONE PERMESSI PER L'INTERO PARCO VEICOLARE CIRCOLANTE
164

VEICOLI AUTORIZZATI PER CIRCOLAZIONE DI 365 GIORNI
488.119

DATI NOTI

Unità **parco veicolare Comune di Milano 1.807.847 autovetture**¹

60% del **parco macchine** esistente risulta circolare ogni giorno -> **1.084.708,2 vetture**²

Totale **nazionale** di **39.429.528 autovetture** circolanti al 31/12/2021³

benzina rappresentano il **47,1%**

diesel il **43,1%**

GPL il **4,45%**

metano appena il **0,44%**

ibride misto elettrico/benzina il **2,5%**

ibride misto elettrico/gasolio lo **0,3%**

quelle **elettriche** lo **0,3%** e la **restante** percentuale da **altro tipo di alimentazione**

Emissioni auto a benzina (comprese tra 115 e 165 g/km) **140 g/km**⁴

Emissioni auto a diesel (comprese tra 113 e 151 g/km) **132 g/km**

Emissioni auto a GPL (comprese tra 110 e 145 g/km) **127,5 g/km**

Emissioni auto ibride mild e full hybrid (comprese tra 124 e 218 g/km) di **107 g/km**

Emissioni auto Plug-In (comprese tra 26 e 60 g/km) **43 g/km**

Percorrenza giornaliera pro-capite di **29,35 km**⁵

Moltiplicando la percorrenza giornaliera media per vettura per le tipologie di vetture a diversa alimentazione otteniamo

Diesel -> 467.509 (132 g/km x 29,35 km) = 467.509 x 3.874,2 g = 1.811.223.368 g = 1.811,22 t

Benzina -> 510.898 (140 g/km x 29,35 km) = 510.898 x 4.109 g = 2.099.279.882 g = 2.099,28 t

GPL -> 48.270 (127,5 g/km x 29,35 km) = 48.270 x 3.742,1 g = 180.631.167 g = 180,63 t

Altro -> 58.031 (107 g/km x 29,35 km) = 58.031 x 3.140,5 g = 182.246.355 g = 182,25 t

Per l'intero **parco veicolare** di autovetture **circolante** a **Milano quotidianamente** otteniamo **emissioni di CO2 pari a 4.273,38 t** = 4.273.380 kg di CO2, in media per ogni auto:

$$\frac{4.273.380 \text{ kg (Co2)}}{1.084.708,2 \text{ auto circolanti}} = 3,940 \text{ kg di CO2 al giorno}$$

¹ ANFIA, 2022 'circolazione autovetture per provincia e potenza nel 2021', consultato il 18 giugno 2023, <<https://www.anfia.it/it/automobile-in-cifre/statistiche-italia/parco-circolante>>

² 2019, 'Un milione di auto entrano a Milano ogni giorno, Sala: "Più trasporto pubblico e metrò fino a Monza per ridurle"', La Repubblica, 14 aprile, consultato il 19 giugno 2023 <https://milano.repubblica.it/cronaca/2019/04/14/news/milano_area_b_un_milione_di_auto_al_giorno_entrano_in_citta_-223983302/>

³ MIMS, 2022, 'Guida sul risparmio di carburante e emissioni di CO2 delle autovetture', 'Tabella 2: Autovetture circolanti al 31-12-2021 suddivise per alimentazione', consultata il 19 giugno 2023

⁴ Data da percorrenza annuale pro-capite di 10.712 km per vettura divisa su 365 giorni dati da TELEBORSA, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', La Stampa, 30 settembre, consultato il 19 giugno <<https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTIxXzlwMjItMDktMzBFVExC>>

⁵ TELEBORSA, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', La Stampa, 30 settembre, consultato il 19 giugno <<https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTIxXzlwMjItMDktMzBFVExC>>

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Nel suo **obiettivo di neutralità climatica fissato entro il 2050**, l'UE si pone un **obiettivo intermedio** di una **riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030**

4.273.380 kg di CO2 giornalieri x 365 giorni = 1.559.783.700 kg di CO2 all'anno
 Mirando ad una riduzione del 55% delle emissioni otteniamo un totale di 857.881.035 kg di CO2 di emissioni annuali da evitare, ovvero 701.902.665 kg di CO2 di emissioni consentite: equivalenti a **1.923.021 kg di CO2 giornalieri**.

Ipotizzando di lasciare **invariato il parco veicolare circolante** di 1.084.708,2 vetture, le **uniche soluzioni** possibili sono la **sospensione veicolare** nel 55% dei giorni **o** la **sostituzione** di parte dei **modelli** con alimentazione **più inquinante** come Diesel e benzina

Diesel -> 467.509 (132 g/km x 29,35 km) = 467.509 x 3.874,2 g = 1.811.223.368 g = 1.811,22 t

Benzina -> 510.898 (140 g/km x 29,35 km) = 510.898 x 4.109 g = 2.099.279.882 g = 2.099,28 t

Per conoscere il numero di **giorni in cui è possibile la circolazione** dell'intero **parco veicolare** (con condizioni di alimentazione invariate):

1.559.783.700 kg di CO2 : 365 giorni = 701.902.665 kg di CO2 : x

otteniamo **164** giorni, ovvero il numero di giorni in cui si raggiungerebbero le emissioni calcolate secondo il nuovo limite 2030.

Questo significherebbe che senza modificare le alimentazioni del parco veicolare e senza ridurlo in termini di unità, si potrebbe circolare meno di 1 giorno ogni due.

Se si andasse ad **agire sul parco veicolare**, invece, **per garantire la circolazione per 365 giorni** mantenendo i **livelli di emissioni** calcolate secondo il **nuovo limite 2030**, si dovrebbe **ridurre il parco veicolare del 55%**:

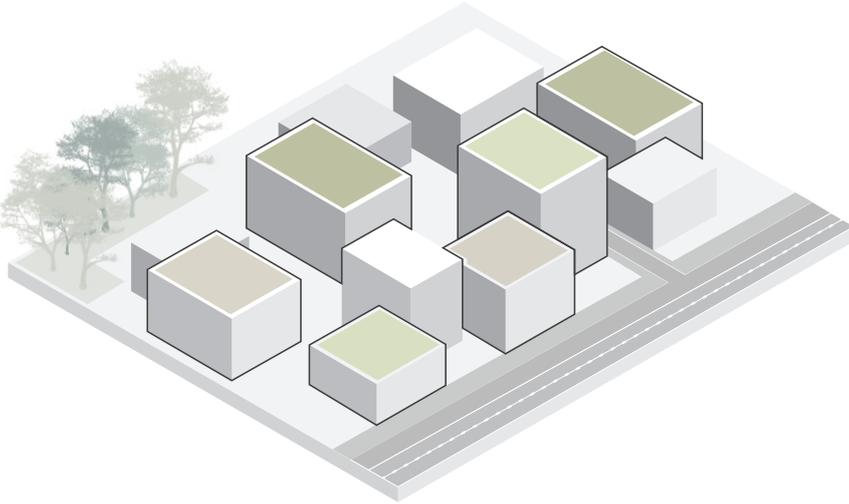
1.559.783.700 kg di CO2 : 1.084.708,2 = 701.902.665 kg di CO2 : x

Ottenendo quindi la **garanzia di circolazione a 488.118,69 veicoli al giorno** (stimati sui veicoli circolanti giornalmente al 2019)²

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
 Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

COPERTURE VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione emissioni di CO₂ del 55% entro il 2030

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ DOTATA DI TETTO VERDE
0,000056%

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ DOTATA DI TETTO VERDE E ENERGIA RINNOVABILE FOTOVOLTAICA
0,0004%

DATI NOTI

¹Edifici residenziali comune di Milano 221.891

Altezza media Edifici residenziali comune di Milano 3 p.f.t.

²Percentuale uso di suolo per edifici residenziali su territorio comunale TOT. 29,71%

³Consumi estivi di un edificio residenziale 16 kWh/m²

⁴Riduzione consumi elettrici dovuti all'installazione della copertura verde 2 kWh/m²

⁵Fattore di emissione per la produzione di energia termoelettrica nazionale da fonti fossili nel 2020 pari a 400.4 g CO₂/kWh = 0,4 kg CO₂/kWh

⁶Fattore di emissione produzione di energia idroelettrico (6,45<x<7,20 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di 6,83 gCO₂,eq/kWh)

Fotovoltaico (impianti in Italia: 46,74<x<53,04 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di 49,90 gCO₂,eq/kWh)

Geotermico (6,218<x<7,055 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di 6,636 gCO₂,eq/kWh)

Eolico (impianti onshore: 9,81<x<11,13 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di 10,47 gCO₂,eq/kWh)

Superficie al suolo media edificio residenziale Comune di Milano (29,71% di 182 km²)

Somma superficie residenziale in percentuale rapportata alla superficie del Comune di Milano
numero edifici residenziali secondo censimento ISTAT

$$\frac{54.072.200 \text{ m}^2}{221.891} = 243,69 \text{ m}^2$$

Si stimano i consumi estivi di un edificio residenziale privo di tetto verde, estensione di tre piani fuori terra, superficie di piano pari a 243,69 m² e consumi di 16 kWh/m² come riportato da ENEA

$$(243,69 \text{ m}^2 \times 16 \text{ kWh/m}^2) \times 3 \text{ piani} = 11.697,12 \text{ kWh}$$

¹ ISTAT CensimentoPopolazioneAbitazioni 2011, 'edifici residenziali', consultato il 18 giugno 2023, <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES>

² Comune di Milano, 3.1.1 Struttura complessiva degli usi del suolo, 2015, Tabella 3.1 Uso del suolo sul territorio comunale in valori percentuali, consultata il 18 giugno <https://www.pgt.comune.milano.it/sites/default/files/allegati/RA_All2_Tabella_3_1.pdf>

Tessuto residenziale denso 18,07%; Tessuto residenziale continuo mediamente denso 0,94%; Tessuto residenziale discontinuo 9,37%; Tessuto residenziale rado e nucleiforme 0,77%; Tessuto residenziale sparso 0,18%; Cascine 0,38%

³ P. Cesaratto, M. De Carli, 2010, 'Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti', ENEA, 1 settembre, consultato il 19 giugno, <https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/4-univ-pd-ob-b-1.pdf>

⁴ A. Latini, 2022, 'Energia: 3 °C in meno in casa d'estate con tetti e pareti verdi', ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 09 giugno, consultato il 26 giugno 2023, <<https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradini-meno-in-casa-d'estate-con-tetti-e-pareti-verdi>>

⁵ ISPRA 2022, rapporto 'indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico', consultato il 20 giugno 2023, <<https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/r363-2022.pdf>>

⁶ S. Colombatto, Tesi di Laurea Magistrale, 'Analisi energetica del sistema elettrico nazionale e valutazione delle emissioni di CO₂ dirette ed indirette della filiera elettrica italiana', Politecnico di Torino, a.a. 2018/2019, consultata il 21 Giugno 2023, <<https://webthesis.biblio.polito.it/12364/1/tesi.pdf>>

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Si stimano i **consumi estivi** di un **edificio residenziale provvisto di tetto verde**, estensione di **tre piani fuori terra**, **superficie di piano** pari a **243,69 m²** e **consumi di 16 kWh/m²** come riportato da ENEA meno **riduzione dei consumi** elettrici di circa **2 kWh/m** come affermato da A. Latini.

$$[243,69 \text{ m}^2 \times (16 \text{ kWh/m}^2 - 2 \text{ kWh/m}^2)] \times 3 \text{ piani} = 10.234,98 \text{ kWh}$$

Si stimano i **kg di emissione di CO_{2,eq}** di un **edificio residenziale privo di tetto verde**, estensione di tre piani fuori terra, superficie di piano pari a 243,69 m² e consumi di 16 kWh/m² come riportato da ENEA **alimentato da fonti energetiche fossili**

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{4.678,85 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo idroelettrico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,00683 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{79,89 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo fotovoltaico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{583,69 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo eolico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0105 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{122,82 \text{ kg CO}_2}$$

Si stimano i **kg di emissione di CO_{2,eq}** di un **edificio residenziale provvisto di tetto verde**, estensione di tre piani fuori terra, superficie di piano pari a 243,69 m² e consumi di 16 kWh/m² come riportato da ENEA meno riduzione dei consumi elettrici di circa 2 kWh/m² come affermato da Arianna Latini, **alimentato da fonti energetiche fossili**

$$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{4.094 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo idroelettrico

$$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,00683 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{69,90 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo fotovoltaico

$$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{510,73 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo eolico

$$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,0105 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{107,47 \text{ kg CO}_2}$$

Confrontando i dati ottenuti è possibile affermare che **installare una copertura verde** permette il **risparmio del 12,5% delle emissioni** a prescindere dalla fonte energetica utilizzata per coprire il fabbisogno energetico dell'edificio.

Installando una copertura verde e passando ad un **approvvigionamento di energia da fonte rinnovabile** di tipo **fotovoltaico** si ottiene un **risparmio** in termini di **emissioni dell'89,08%** dovute all'evitata accensione del climatizzatore in periodo estivo grazie alla presenza della copertura verde e alla copertura del fabbisogno con fonti rinnovabili

Presupponendo delle condizioni peggiorative quindi ipotizzando che di **tutti gli edifici** censiti a **Milano nessuno sia dotato di copertura verde** ne di **approvvigionamento energetico** da fonte **rinnovabile** otterremmo **emissioni pari a:**

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

COPERTURE VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

Per ogni edificio **privo di tetto verde** e alimentato da **fonti non rinnovabili** si stimano in media **all'anno**

$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = 4.678,85 \text{ kg CO}_2$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $4.678,85 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = 1.038.194.705,35 \text{ kg CO}_2 \text{ annui}$

Nel suo **obiettivo di neutralità climatica fissato entro il 2050**, l'UE si pone un **obiettivo intermedio** di una **riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030**

$55\% \text{ di } 1.038.194.705,35 \text{ kg CO}_2 = 571.007.087,94 \text{ kg CO}_2 \text{ da ridurre}$

Dal 2030 il massimo delle **emissioni permesse saranno pari a 467.187.617,41 kg CO2**

Per ogni edificio **provvisto di tetto verde** e alimentato a **fonti non rinnovabili** si stimano in media **all'anno**

$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = 4.094 \text{ kg CO}_2$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $4.094 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = 908.421.754 \text{ kg CO}_2$

Guardando questo semplice calcolo è facile notare come **neanche dotare tutti gli edifici residenziali di Milano di una copertura verde** sia **sufficiente ad abbattere le emissioni del 55%** rispetto al medesimo numero di edifici alimentato a fonti fossili e privo di tetto verde. **Per rientrare nell'obiettivo UE 2030** si rende **necessario introdurre oltre al tetto verde** anche una **fonte energetica rinnovabile**

Per ogni edificio **provvisto di tetto verde** e alimentato a **fonti rinnovabili** di tipo **fotovoltaico** si stimano in media **all'anno**

$(10.234,98 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = 510,73 \text{ kg CO}_2$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $510,73 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = 113.326.390 \text{ kg CO}_2$

Sostituendo tutti gli edifici alimentati a fonti fossili e privi di copertura verde con edifici alimentati a fonti rinnovabili e provvisti di copertura verde ci si ritroverebbe ad emettere **1/4 delle emissioni previste per legge entro il 2030.**

Rappresentando una tappa intermedia nell'obiettivo di decarbonizzazione 2050 è **nota la difficoltà di agire su tutti gli edifici** censiti; pertanto, **si stima che per rientrare nella soglia permessa sarebbe necessario**

Dotare di copertura verde 27.736 edifici dei 221.891 censiti

Dotare di copertura verde e alimentazione energetica da fonti rinnovabili 133.135 edifici dei 221.891 censiti

In questo modo otterremmo

61.020 edifici con condizioni di partenza (privi di tetto verde e fonti energetiche non rinnovabili) rappresentati il **27,5%**

27.736 edifici dotati di tetto verde (ma ancora alimentati a fonti non rinnovabili) rappresentati il **12,5%**

133.135 edifici dotati di tetto verde e alimentati con energia di fonte rinnovabile di tipo **fotovoltaico** rappresentati il **60%**

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Ogni edificio dotato di tetto verde rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,000056%**

Calcolato come emissioni edifici attuali (caso peggiorativo nessun tetto verde e alimentazione a fonti fossili) dove viene sostituito ad un edificio con condizioni base un edificio con tetto verde e vengono messe in rapporto le due grandezze ottenendo l'incremento

***Emissioni edifici allo stato dell' arte – emissioni edifici con un edificio con tetto verde sostituita in favore di uno con condizioni di base
emissioni edifici allo stato dell' arte x 100***

Ogni edificio dotato di tetto verde e alimentato con fonti rinnovabili di tipo fotovoltaico rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,0004%**

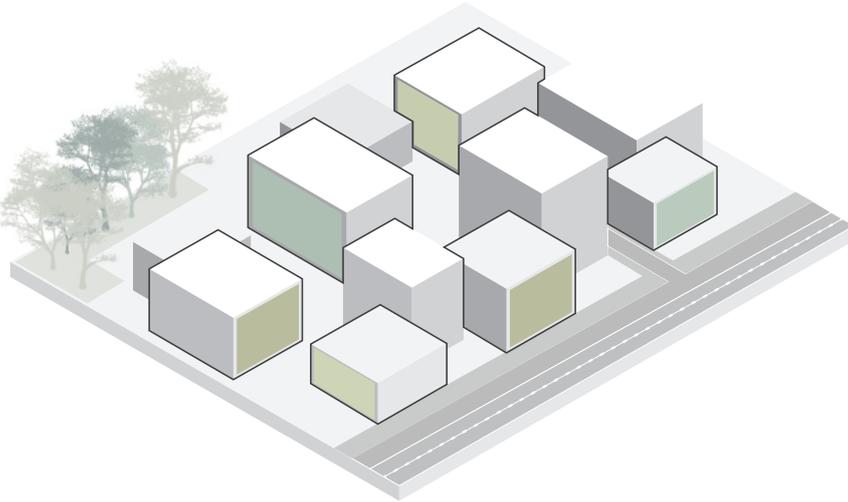
Calcolato come emissioni edifici attuali (caso peggiorativo nessun tetto verde e alimentazione a fonti fossili) dove viene sostituito ad un edificio con condizioni base un edificio con tetto verde e alimentazione energetica a fonte rinnovabile vengono messe in rapporto le due grandezze ottenendo l'incremento

***Emissioni edifici allo stato dell' arte – emissioni edifici con un edificio con tetto verde sostituita in favore di uno con condizioni di base
emissioni edifici allo stato dell' arte x 100***

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

VERDE VERTICALE O PARETI VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione emissioni di CO₂ del 55% entro il 2030

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ DOTATA DI PARETE VERDE

0,0000045%

INCREMENTO PERCENTUALE PERFORMANCE PER SINGOLA UNITÀ DOTATA DI PARETE VERDE E ENERGIA RINNOVABILE FOTOVOLTAICA

0,0004%

DATI NOTI

¹Edifici residenziali comune di Milano **221.891**

Altezza media Edifici residenziali comune di Milano **3 p.f.t.**

²Percentuale **uso di suolo** per **edifici residenziali** su territorio comunale **TOT. 29,71%**

³**Consumi estivi** di un **edificio residenziale** **16 kWh/m²**

⁴Riduzione consumi elettrici dovuti all'installazione della **parete verde** con conseguente **abbattimento** delle **emissioni** fino a **1 kg di CO₂/m²**

⁵Fattore di **emissione** per la **produzione di energia termoelettrica** nazionale da fonti fossili nel 2020 pari a 400,4 g CO₂/kWh = **0,4 kg CO₂/kWh**

⁶Fattore di **emissione produzione di energia idroelettrico** (6,45<x<7,20 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di **6,83 gCO₂,eq/kWh**)

Fotovoltaico (impianti in Italia: 46,74<x<53,04 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di **49,90 gCO₂,eq/kWh**)

Geotermico (6,218<x<7,055 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di **6,636 gCO₂,eq/kWh**)

Eolico (impianti onshore: 9,81<x<11,13 gCO₂,eq/kWh con un valore medio di **10,47 gCO₂,eq/kWh**)

Superficie unitaria rivestita 46,8 m²= 25% [(√area media edificio residenziale x altezza media edificio residenziale) x4 facciate]

Superficie al suolo media edificio residenziale Comune di Milano (29,71% di 182 km²)
Somma superficie residenziale in percentuale rapportata alla superficie del Comune di Milano

numero edifici residenziali secondo censimento ISTAT

$$\frac{54.072.200 \text{ m}^2}{221.891} = 243,69 \text{ m}^2$$

Si stimano i **consumi estivi** di un **edificio residenziale privo di tetto verde**, estensione di **tre piani fuori terra**, **superficie di piano** pari a **243,69 m²** e **consumi di 16 kWh/m²** come riportato da ENEA

$$(243,69 \text{ m}^2 \times 16 \text{ kWh/m}^2) \times 3 \text{ piani} = 11.697,12 \text{ kWh}$$

¹ ISTAT CensimentoPopolazioneAbitazioni 2011, 'edifici residenziali', consultato il 18 giugno 2023, <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES>

² Comune di Milano, 3.1.1 Struttura complessiva degli usi del suolo, 2015, Tabella 3.1 Uso del suolo sul territorio comunale in valori percentuali, consultata il 18 giugno <https://www.pgt.comune.milano.it/sites/default/files/allegati/RA_All2_Tabella_3_1.pdf>

Tessuto residenziale denso 18,07%; Tessuto residenziale continuo mediamente denso 0,94%; Tessuto residenziale discontinuo 9,37%; Tessuto residenziale rado e nucleiforme 0,77%; Tessuto residenziale sparso 0,18%; Cascine 0,38%

³ P. Cesaratto, M. De Carli, 2010, 'Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti', ENEA, 1 settembre, consultato il 19 giugno, <https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/4-univ-pd-ob-b-1.pdf>

⁴ A. Latini, 2022, 'Energia: 3 °C in meno in casa d'estate con tetti e pareti verdi', ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 09 giugno, consultato il 26 giugno 2023, <<https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradi-in-meno-in-casa-destate-con-tetti-e-pareti-verdi>>

⁵ ISPRA 2022, rapporto 'indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico', consultato il 20 giugno 2023, <<https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/r363-2022.pdf>>

⁶ S. Colombatto, Tesi di Laurea Magistrale, 'Analisi energetica del sistema elettrico nazionale e valutazione delle emissioni di CO₂ dirette ed indirette della filiera elettrica italiana', Politecnico di Torino, a.a. 2018/2019, consultata il 21 Giugno 2023, <<https://webthesis.biblio.polito.it/12364/1/tesi.pdf>>

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Si stimano i **kg di emissione di CO_{2,eq}** di un **edificio residenziale privo di parete verde**, estensione di **tre piani fuori terra, superficie di piano** pari a **243,69 m²** e **consumi di 16 kWh/m²** come riportato da ENEA **alimentato da fonti energetiche fossili**

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{4.678,85 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo idroelettrico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,00683 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{79,89 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo fotovoltaico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{583,69 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo eolico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0105 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{122,82 \text{ kg CO}_2}$$

Si stimano i **kg di emissione di CO_{2,eq}** di un **edificio residenziale provvisto di parete verde**, estensione di **tre piani fuori terra, superficie di piano** pari a **243,69 m²** e **consumi di 16 kWh/m²** come riportato da ENEA meno riduzione delle emissioni di **1 kg/CO₂** a m² come affermato da Arianna Latini, **alimentato da fonti energetiche fossili**

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg/CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{4.632,05 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo idroelettrico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,00683 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg/CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{33,09 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo fotovoltaico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg/CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{536,89 \text{ kg CO}_2}$$

fonti energetiche rinnovabili di tipo eolico

$$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0105 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg/CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{76,02 \text{ kg CO}_2}$$

Confrontando I dati ottenuti è possibile affermare che **installare una parete verde** su una parete di facciata permette il **risparmio dell'1% delle emissioni** in caso di **edifici alimentati a fonti fossili**, **del 58,6% in caso di fonti idroelettriche**, **dell'8% in caso di edifici alimentati a fonte fotovoltaica** e del **38,1% in caso di edifici alimentati a fonte eolica**

Installando una **parete verde e** passando ad un approvvigionamento di **energia da fonte rinnovabile** di tipo **fotovoltaico** si ottiene un **risparmio** in termini di **emissioni dell'88,53%** dovute all'evitata accensione del climatizzatore in periodo estivo grazie alla presenza della parete vegetata e alla copertura del fabbisogno con fonti rinnovabili

Presupponendo delle condizioni peggiorative quindi ipotizzando che di **tutti gli edifici** censiti a **Milano nessuno** sia **dotato di parete verde** ne di approvvigionamento energetico da **fonte rinnovabile** otterremmo **emissioni pari a:**

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

VERDE VERTICALE O PARETI VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

Per ogni edificio **privo di tetto verde** e alimentato da **fonti non rinnovabili** si stimano in media **all'anno**

$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = \mathbf{4.678,85 \text{ kg CO}_2}$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $4.678,85 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = \mathbf{1.038.194.705,35 \text{ kg CO}_2 \text{ annui}}$

Nel suo **obiettivo di neutralità climatica fissato entro il 2050**, l'UE si pone un **obiettivo intermedio** di una **riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030**

$55\% \text{ di } 1.038.194.705,35 \text{ kg CO}_2 = 571.007.087,94 \text{ kg CO}_2 \text{ da ridurre}$

Dal 2030 il massimo delle **emissioni permesse saranno pari a 467.187.617,41 kg CO2**

Per ogni edificio **provvisto di parete verde** e alimentato a **fonti non rinnovabili** si stimano in media **all'anno**

$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg}/\text{CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{4.632,05 \text{ kg CO}_2}$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $4.632,05 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = \mathbf{1.027.810.206,55 \text{ kg CO}_2}$

Guardando questo semplice calcolo è facile notare come **neanche dotare tutti gli edifici residenziali di Milano di una parete verde sia sufficiente ad abbattere le emissioni del 55%** rispetto al medesimo numero di edifici privi di parete verde. **Per rientrare nell'obiettivo UE 2030 si rende necessario introdurre oltre alla parete verde anche un approvvigionamento energetico da fonte energetica rinnovabile**

Per ogni edificio **provvisto di parete verde** e alimentato a **fonti rinnovabili** di tipo **fotovoltaico** si stimano in media **all'anno**

$(11.697,12 \text{ kWh} \times 0,0499 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) - [1 \text{ kg}/\text{CO}_2 \times 46,8 \text{ m}^2] = \mathbf{536,89 \text{ kg CO}_2}$

Ponderando il dato **sul numero totale di edifici residenziali** censiti dall'ISTAT nella città di Milano si stima $536,89 \text{ kg CO}_2 \times 221.891 \text{ edifici} = \mathbf{119.131.059 \text{ kg CO}_2}$

Sostituendo tutti gli edifici alimentati a fonti fossili e privi di parete verde con edifici alimentati a fonti rinnovabili e provvisti di parete verde ci si ritroverebbe ad emettere **1/4 delle emissioni previste per legge entro il 2030.**

Rappresentando una tappa intermedia nell'obiettivo di decarbonizzazione 2050 è **nota la difficoltà di agire su tutti gli edifici** censiti; pertanto, si stima che **per rientrare nella soglia permessa sarebbe necessario**

Dotare di parete verde 63.850 edifici dei 221.891 censiti

Dotare di parete verde e alimentazione energetica da fonti rinnovabili 137.150 edifici dei 221.891 censiti

In questo modo otterremmo

20.891 edifici con condizioni di partenza (privi di parete verde e fonti energetiche non rinnovabili) rappresentati il **9,41%**

63.850 edifici dotati di parete verde (ma ancora alimentati a fonti non rinnovabili) rappresentati il **28,77%**

137.150 edifici dotati di parete verde e alimentati con energia da fonte rinnovabile di tipo **fotovoltaico** rappresentati il **61,80%**

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Ogni edificio dotato di parete verde rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,0000045%**

Calcolato come emissioni edifici attuali (caso peggiorativo nessuna parete verde e alimentazione a fonti fossili) dove viene sostituito ad un edificio con condizioni base un edificio con parete verde e vengono messe in rapporto le due grandezze ottenendo l'incremento

***Emissioni edifici allo stato dell'arte – emissioni edifici con un edificio con parete verde sostituito in favore di uno con condizioni di base
emissioni edifici allo stato dell'arte x 100***

Ogni edificio dotato di parete verde e alimentato con fonti rinnovabili di tipo fotovoltaico rappresenta un **incremento percentuale** verso l'obiettivo di decarbonizzazione 2023 dello -> **0,0004%**

Calcolato come emissioni edifici attuali (caso peggiorativo nessuna parete verde e alimentazione a fonti fossili) dove viene sostituito ad un edificio con condizioni base un edificio con parete verde e alimentazione energetica a fonte rinnovabile e vengono messe in rapporto le due grandezze ottenendo l'incremento

***Emissioni edifici allo stato dell'arte – emissioni edifici con un edificio con parete verde sostituito in favore di uno con condizioni di base
emissioni edifici allo stato dell'arte x 100***

L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica.
Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

Commento

Per quanto concerne l'inquinamento e il caso studio della città di Milano

Come è possibile apprezzare dai risultati ottenuti, le azioni proposte si differenziano sia per efficienza a livello di incremento di performance, sia per vocazione incline a limitare, mitigare o compensare. Si propone in seguito una classificazione basata su questo concetto per isolare ulteriormente le azioni e fornire un ulteriore fattore di valutazione ai fini progettuali.

LIMITARE

I.08 COPERTURE VERDI

I.09 PARETI VERDI

In questa tipologia di azione si limitano le emissioni prodotte dotando gli edifici di tecnologie vegetali che aiutano a far sì che le condizioni interne di confort termico non richiedano raffrescamenti meccanici, con conseguente inquinamento dato dall'accensione degli impianti.

Dallo sviluppo dell'azione applicata al caso studio, è facile notare come l'obiettivo di riduzione delle emissioni proposto non sia raggiungibile solamente ricorrendo all'azione stessa, ma vada affiancata da un sistema di produzione energetica da fonti rinnovabili.

Con l'affiancamento della produzione energetica da fonte rinnovabile è facile notare l'ulteriore incremento dell'accezione limitante legata a queste due strategie d'azione.

In fatto di vocazione sono quelle che maggiormente vanno auspiccate poiché agiscono direttamente sulle emissioni e sul loro evitamento alla fonte.

MITIGARE

I.01 SUPERFICI TRATTATE CON MATERIALI FOTOCATALITICI

I.02 PAVIMENTAZIONI FOTOCATALITICHE

I.03 RINATURALIZZAZIONE E DEPAVIMENTAZIONE

I.04 BARRIERA O BUFFER VEGETALE

In questa tipologia di azione si mitigano le concentrazioni degli agenti inquinanti presenti apportando un aumento del quantitativo di elementi connotati da capacità di assorbimento.

Dallo sviluppo dell'azione applicata al caso studio, si nota come l'obiettivo di riduzione delle emissioni proposto sia raggiungibile negli ultimi due casi anche solamente ricorrendo all'azione unica -anche se per ottenere le emissioni target si necessita di grandi spazi-, mentre nei primi due casi l'applicazione unica non è sufficiente a mitigare le concentrazioni.

In fatto di vocazione rientrano tra le azioni auspicabili ma non risultano risolutive, poiché assorbono le emissioni presenti, le trasformano o immagazzinano ma non le eliminano.

COMPENSARE

I.06 SOSTITUZIONE VEICOLARE

I.07 SOSPENSIONE VEICOLARE

In questa tipologia di azione si agisce per compensazione, ovvero si stabilisce il target di emissioni e si apportano delle compensazioni in termini di elementi coinvolti, tempo o alimentazioni utilizzate. Questa tipologia di azioni è adatta per una riduzione delle emissioni sul breve periodo ma non è adatta a piani e tempistiche più lunghi, poiché anch'essa insostenibile.

In fatto di vocazione rientrano tra le azioni meno auspicabili ma che risultano necessarie, poiché non assorbono le emissioni presenti, non le evitano ma le diminuiscono a fronte di una stazionarietà di elementi coinvolti, apportando benefici in termini relativi ma non assoluti.

A fronte delle seguenti considerazioni, si evidenzia come le **soluzioni alla scala energetico/architettonica** siano non solo quelle **più influenti e adatte** ad uno sviluppo temporale lungo, ma anche quelle che a fronte di un cospicuo investimento e di una discreta necessità di spazio, garantiscono i benefici più significativi.

Non sono affette da consumo di suolo o consumo eccessivo di materie prime come quelle osservabili tra le azioni ad accezione di compensazione, ne sono affette da problemi di re immissione per via di combustione, deperimento o danneggiamento come le azioni ad accezione di mitigazione.

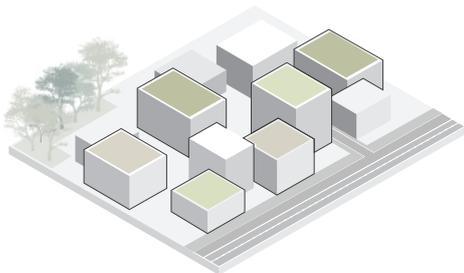
Permettono un effettivo incremento di performance a fronte di contenute emissioni per produzione e installazione.

Oltre alle soluzioni alla scala architettonica, si evidenzia come alla **scala urbana** le soluzioni che apportano **migliorie** significative siano quelle legate alla **piantumazione di elementi arborei o apparati vegetali** che permettono il sequestro delle sostanze inquinanti presenti dall'atmosfera e la loro sintetizzazione all'interno del loro apparato.

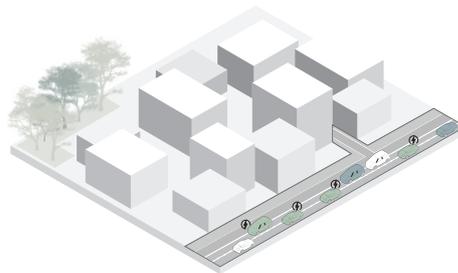
Riassumendo, le azioni che si sono dimostrate maggiormente efficaci nella gestione delle concentrazioni degli inquinanti e delle emissioni, risultano legate alla piantumazione vegetale sia puntuale che su vasta scala.

Si può dunque affermare che la cooperazione di soluzioni vegetali e sistemi di approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili, siano le uniche azioni in grado di sopperire al target obiettivo mediante l'ausilio di soluzione unica.

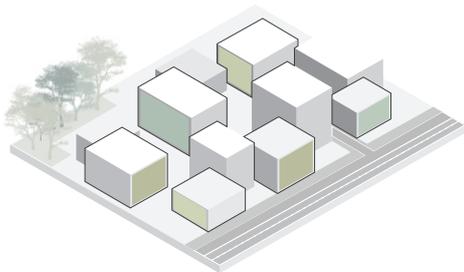
LIMITARE
I.08 COPERTURE VERDI



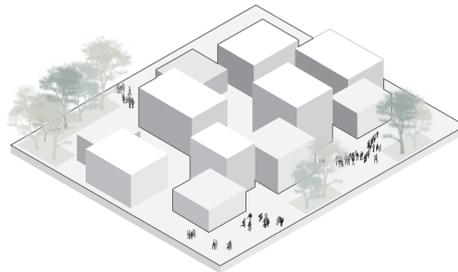
COMPENSARE
I.06 SOSTITUZIONE VEICOLARE



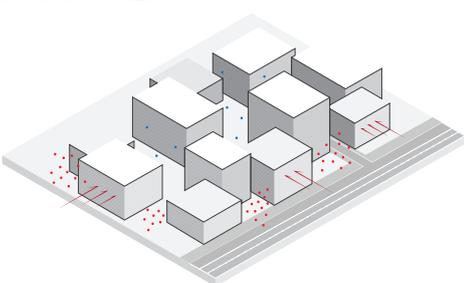
LIMITARE
I.09 PARETI VERDI



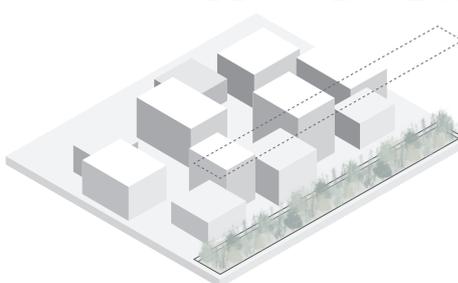
COMPENSARE
I.07 SOSPENSIONE VEICOLARE



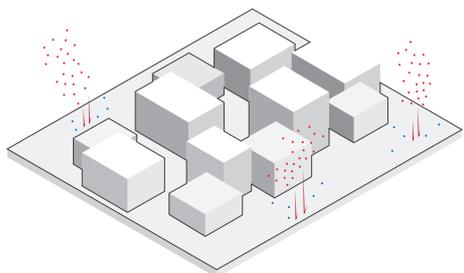
MITIGARE
I.01 SUPERFICI MATERIALI FOTOCATALITICI



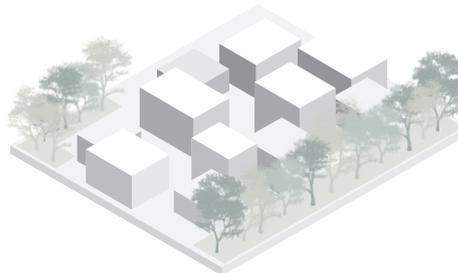
MITIGARE
I.03 RINATURALIZZAZIONE E DEPAVIMENTAZIONE



MITIGARE
I.02 PAVIMENTAZIONI FOTOCATALITICHE



MITIGARE
I.04 BARRIERA O BUFFER VEGETALE



L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica. Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

ALLUZIONI

A.00

RAVENNA

44°41'83"59 N / 12°20'35"29 E

SUPERFICIE (S)	653,8 km²
ABITANTI (2022)	153.740
DENSITÀ	238,23 a/km²
REGIONE CLIMATICA	ADRIAT.
ZONA CLIMATICA	E

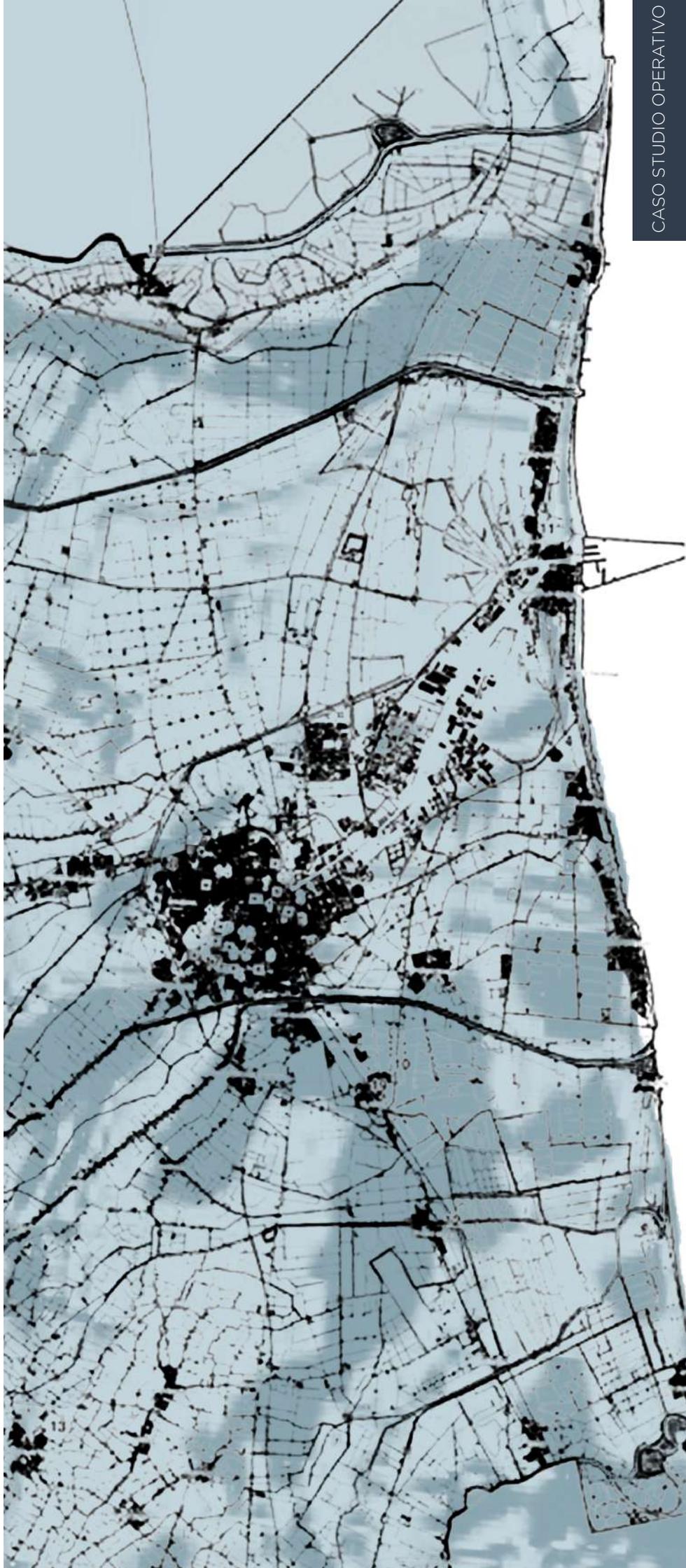
Il caso studio applicativo in merito alle alluvioni si ubica nel comune di Ravenna in Emilia-Romagna. La città emiliana è la seconda in Italia per consumo di suolo, preceduta soltanto da Roma. Questo fenomeno verificatosi in concomitanza ai cambiamenti climatici fa sì che sia una delle città che maggiormente viene colpita da allagamenti anche estremi a seguito di fenomeni alluvionali impattanti.

ISPRA, 2022, Rapporto Nazionale "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici."

RISCHIO IDROLOGICO

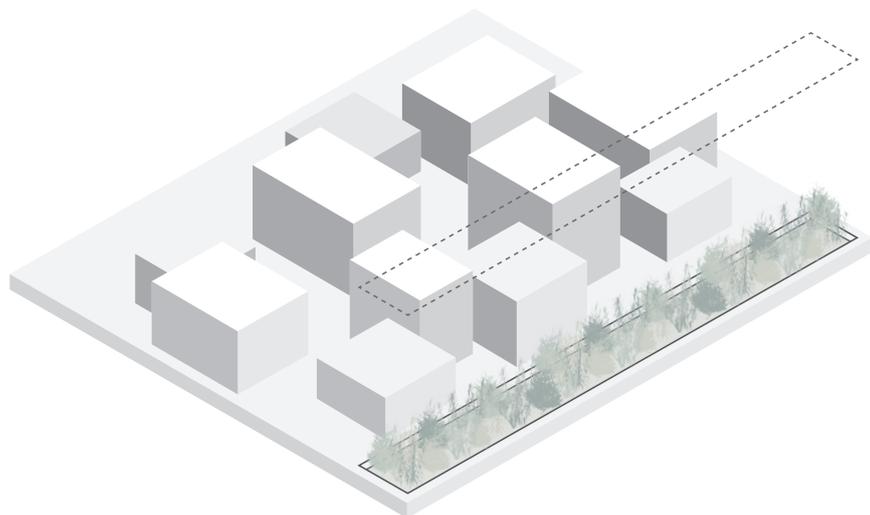
IDROGEO_ISPRA AMBIENTE

-  Rischio elevato
-  Rischio medio
-  Rischio basso



DEPAVIMENTAZIONI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione fenomeni di run-off superficiali e allagamenti

PERFORMANCE OTTIMALE

raggiungimento di valori nulli o quasi nulli di deflusso superficiale.

DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 690,9 mm/anno

Superficie pericolosità idraulica **BASSA 652,65 km²**

Superficie pericolosità idraulica **MEDIA 652,56 km²**

Superficie pericolosità idraulica **ALTA 196,95 km²**

Coefficiente deflusso² **asfalto 0,81**

Coefficiente deflusso³ **erba 0,37**

Per il calcolo del potere di assorbimento massimo verranno eseguiti 3 calcoli ipotizzando una percentuale d'intervento minima per la superficie di pericolosità bassa e aumentando gradualmente all'aumentare del rischio.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a bassa pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è meno probabile, con un periodo di ritorno di riferimento superiore ai 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 10% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

10 % Superficie pericolosità idraulica bassa = 65,27 km²

Potere di assorbimento massimo⁴ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,81) = 8568 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁵ $Q_{\text{erba}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,37) = 28410 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁶ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,1) = 40585 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 40585 : (28410 - 8568) = 100 : x = 49\%$

¹ Arpae, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023

< <https://dati.arpae.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali> >

² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁴ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁵ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁶ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

catchment area and a source of thermal comfort, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

PERICOLOSITÀ IDRAULICA MEDIA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 100 e 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 15% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

15 % Superficie pericolosità idraulica media = 97,88 km²

Potere di assorbimento massimo¹ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 \cdot 97,88 \cdot (1-0,81) = 12849 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo² $Q_{\text{erba}} = 690,9 \cdot 97,88 \cdot (1-0,37) = 42604 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo³ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 \cdot 97,88 \cdot (1-0,1) = 60863 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 60863 : (42604 - 12849) = 100 : x = 49\%$

PERICOLOSITÀ IDRAULICA ALTA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è molto probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 20 e 50 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 30% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

30 % Superficie pericolosità idraulica media = 59 km²

Potere di assorbimento massimo⁴ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 \cdot 59 \cdot (1-0,81) = 7745 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁵ $Q_{\text{erba}} = 690,9 \cdot 59 \cdot (1-0,37) = 25681 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁶ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 \cdot 59 \cdot (1-0,1) = 36687 \text{ km}^3/\text{anno}$

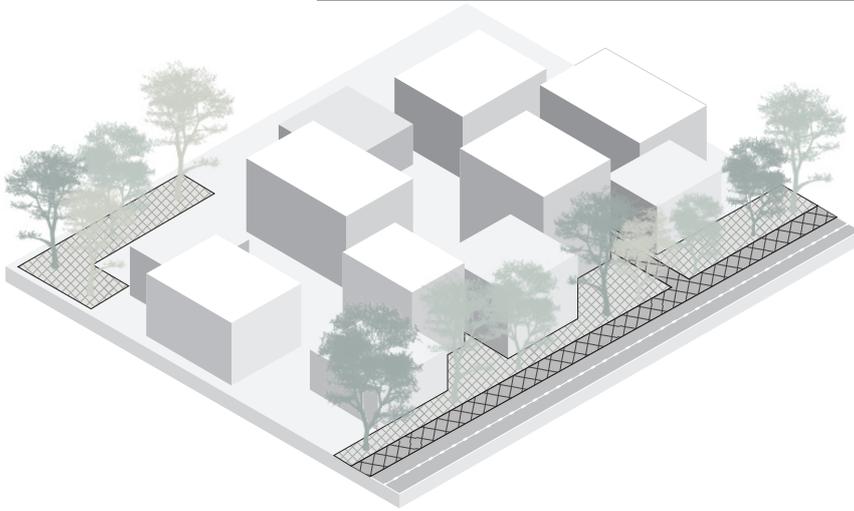
$I_{\%} = 36687 : (25681 - 7745) = 100 : x = 49\%$

Indipendentemente dalla superficie delle aree analizzate sappiamo che le azioni di depavimentazione possono migliorare del 49% circa l'assorbimento dell'acqua alluvionale, spesso causa di allagamenti. In aree ad elevata pericolosità idraulica sarebbe opportuno procedere con questa tipologia di interventi anche poco onerosi.

¹ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
⁴ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
⁵ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
⁶ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

PAVIMENTAZIONI DRENANTI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione fenomeni di run-off superficiali e allagamenti

PERFORMANCE OTTIMALE

raggiungimento di valori nulli o quasi nulli di deflusso superficiale.

DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 690,9 mm/anno

Superficie pericolosità idraulica **BASSA 652,65 km²**

Superficie pericolosità idraulica **MEDIA 652,56 km²**

Superficie pericolosità idraulica **ALTA 196,95 km²**

Coefficiente deflusso² **asfalto 0,81**

Coefficiente deflusso³ **pavimentazione drenante 0,6**

Per il calcolo del potere di assorbimento massimo verranno eseguiti 3 calcoli ipotizzando una percentuale d'intervento minima per la superficie di pericolosità bassa e aumentando gradualmente all'aumentare del rischio.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a bassa pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è meno probabile, con un periodo di ritorno di riferimento superiore ai 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 10% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

10 % Superficie pericolosità idraulica bassa = 65,27 km²

Potere di assorbimento massimo⁴ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,81) = 8568 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁵ $Q_{\text{pav.dren}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,37) = 18083 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁶ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,1) = 40585 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 40585 : (18083 - 8568) = 100 : x = 23\%$

¹ Arpa, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023

< <https://dati.arpa.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali>

² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁴ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁵ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁶ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

catchment area and a source of thermal comfort, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

PERICOLOSITÀ IDRAULICA MEDIA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 100 e 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 15% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

15 % Superficie pericolosità idraulica media = 97,88 km²

Potere di assorbimento massimo Q_{asfalto} = 690,9*97,88*(1-0,81)= 12849 km³/anno

Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{pav dren}}$ = 690,9*97,88*(1-0,37)= 27050 km³/anno

Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{condizione ottimale}}$ = 690,9*97,88*(1-0,1)= 60863 km³/anno

$I_{\%} = 60863:(27050 - 12849)=100 : x = 23\%$

PERICOLOSITÀ IDRAULICA ALTA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è molto probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 20 e 50 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 30% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

30 % Superficie pericolosità idraulica media = 59 km²

Potere di assorbimento massimo Q_{asfalto} = 690,9*59*(1-0,81)= 7745 km³/anno

Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{pav dren}}$ = 690,9*59*(1-0,37)= 16306 km³/anno

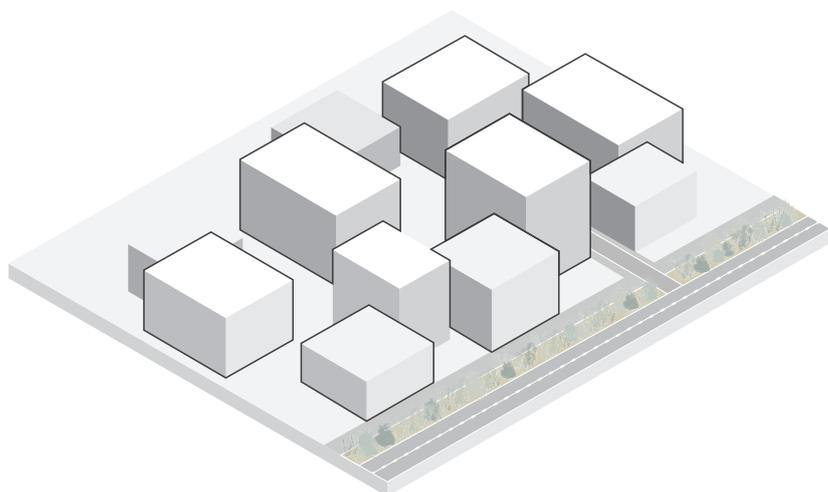
Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{condizione ottimale}}$ = 690,9*59*(1-0,1)= 36687 km³/anno

$I_{\%} = 36687:(163006 - 7745)=100 : x = 23\%$

Rispetto ad una pavimentazione asfaltata l'inserimento di pavimentazioni drenanti può migliorare del 23% il potere di assorbimento, cercando di contrastare i fenomeni di deflusso. Questa soluzione, in caso di zone particolarmente a rischio, andrebbe affiancata ad altre azioni.

GIARDINI DELLA PIOGGIA

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione fenomeni di run-off superficiali e allagamenti

PERFORMANCE OTTIMALE

raggiungimento di valori nulli o quasi nulli di deflusso superficiale.

DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 690,9 mm/anno
 Superficie pericolosità idraulica **BASSA 652,65 km²**
 Superficie pericolosità idraulica **MEDIA 652,56 km²**
 Superficie pericolosità idraulica **ALTA 196,95 km²**
 Lunghezza piste ciclabili urbane 120 km
 Coefficiente deflusso² **asfalto 0,81**
 Coefficiente deflusso³ **giardino della pioggia 0,6**

Per il calcolo del potere di assorbimento massimo verranno eseguiti 2 calcoli ipotizzando di affiancare i giardini della pioggia lungo le aree ciclo-pedonali.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA-MEDIA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a bassa pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è meno probabile, con un periodo di ritorno di riferimento superiore ai 200 anni, mentre la media pericolosità ha un periodo di ritorno che varia tra i 100 e 200 anni.

Per calcolare la superficie d'intervento ipotizziamo di sfruttare ed affiancare le piste ciclabili, l'area d'intervento risulta quindi il rapporto fra la lunghezza delle piste di circa 120 km e la larghezza dei giardini della pioggia che si ipotizza essere 1 m

perciò $A=120 * 0,001= 0,12 \text{ km}^2$

Potere di assorbimento massimo⁴ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 * 0,12 * (1-0,81) = 15,75 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁵ $Q_{\text{pav.dren}} = 690,9 * 0,12 * (1-0,37) = 58,04 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁶ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 * 0,12 * (1-0,1) = 74,62 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 74,62 : (58,04 - 15,75) = 100 : x = 56,7\%$

¹ Arpa, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023

< <https://dati.arpa.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali> >

² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁴ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁵ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁶ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

catchment area and a source of thermal comfort, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

PERICOLOSITÀ IDRAULICA ALTA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è molto probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 20 e 50 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 30% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

Per calcolare la superficie d'intervento ipotizziamo di sfruttare ed affiancare le piste ciclabili, l'area d'intervento risulta quindi il rapporto fra la lunghezza delle piste di circa 120 km e la larghezza dei giardini della pioggia che si ipotizza essere 1 m

perciò $A=120 * 0,001= 0,12 \text{ km}^2/2=0,06 \text{ km}^2$

Potere di assorbimento massimo¹ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 * 0,06 * (1-0,81) = 7,88 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo² $Q_{\text{giardino della pioggia}} = 690,9 * 0,06 * (1-0,60) = 29,01 \text{ km}^3/\text{anno}$

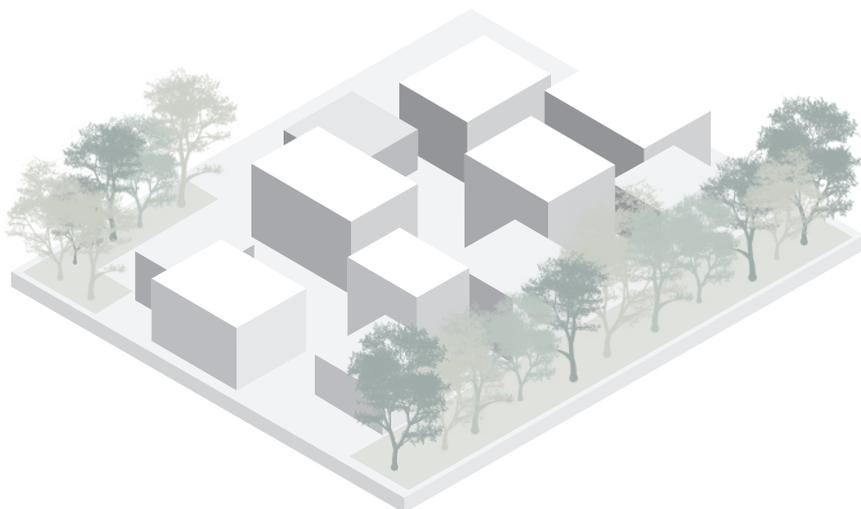
Potere di assorbimento massimo³ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 * 0,06 * (1-0,1) = 37,3 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 37,3 : (29,01 - 7,88) = 100 : x = 56,7\%$

¹ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127
³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

PIANTUMAZIONE ALBERI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione fenomeni di run-off superficiali e allagamenti

PERFORMANCE OTTIMALE

raggiungimento di valori nulli o quasi nulli di deflusso superficiale.

DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 690,9 mm/anno

Superficie pericolosità idraulica **BASSA 652,65 km²**

Superficie pericolosità idraulica **MEDIA 652,56 km²**

Superficie pericolosità idraulica **ALTA 196,95 km²**

Coefficiente deflusso² **asfalto 0,81**

Coefficiente deflusso³ **alberi 0,2**

Per il calcolo del potere di assorbimento massimo verranno eseguiti 3 calcoli ipotizzando una percentuale d'intervento minima per la superficie di pericolosità bassa e aumentando gradualmente all'aumentare del rischio.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a bassa pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è meno probabile, con un periodo di ritorno di riferimento superiore ai 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 10% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

10 % Superficie pericolosità idraulica bassa = 65,27 km²

Potere di assorbimento massimo⁴ $Q_{\text{asfalto}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,81) = 8568 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁵ $Q_{\text{alberi}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,2) = 36076 \text{ km}^3/\text{anno}$

Potere di assorbimento massimo⁶ $Q_{\text{condizione ottimale}} = 690,9 \cdot 65,27 \cdot (1 - 0,1) = 40585 \text{ km}^3/\text{anno}$

$I_{\%} = 40585 : (36076 - 8568) = 100 : x = 67,7\%$

¹ Arpa, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023

< <https://dati.arpa.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali> >

² D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

³ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁴ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁵ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

⁶ D. P. P. Mbarep et al., 2021, *The green open space functions as a water*

catchment area and a source of thermal comfort, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

PERICOLOSITÀ IDRAULICA MEDIA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 100 e 200 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 15% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

15 % Superficie pericolosità idraulica media = 97,88 km²

Potere di assorbimento massimo Q_{asfalto} = 690,9*97,88*(1-0,81)= 12849 km³/anno

Potere di assorbimento massimo Q_{alberi} = 690,9*97,88*(1-0,2)= 54100 km³/anno

Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{condizione ottimale}}$ = 690,9*97,88*(1-0,1)= 60863 km³/anno

$I_{\%}$ = 60863:(54100 - 12849)=100 : x = 67,7%

PERICOLOSITÀ IDRAULICA ALTA

Nell'ipotesi d'intervento all'interno dell'area a media pericolosità idraulica sappiamo che la probabilità che un evento alluvionale estremo allaghi l'area è molto probabile, con un periodo di ritorno di riferimento tra i 20 e 50 anni. Per tale ragione viene ipotizzato un'intervento che ricopra il 30% dell'area a rischio, considerando la presenza di edifici e aree verdi già esistenti.

30 % Superficie pericolosità idraulica media = 59 km²

Potere di assorbimento massimo Q_{asfalto} = 690,9*59*(1-0,81)= 7745 km³/anno

Potere di assorbimento massimo Q_{alberi} = 690,9*59*(1-0,2)= 32610 km³/anno

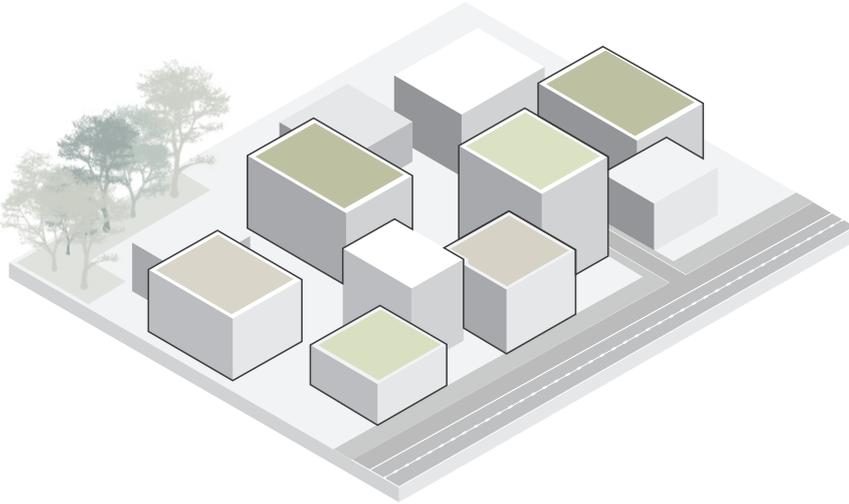
Potere di assorbimento massimo $Q_{\text{condizione ottimale}}$ = 690,9*59*(1-0,1)= 36687 km³/anno

$I_{\%}$ = 36687:(163006 - 7745)=100 : x = 67,7%

Rispetto ad una pavimentazione asfaltata l'inserimento di alberature contribuisce significativamente alla riduzione del deflusso superficiale, per tale ragione, la piantumazione risulta essere un'ottima soluzione soprattutto in aree ad alto rischio idraulico.

COPERTURE VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione fenomeni di run-off superficiali e allagamenti

PERFORMANCE

OTTIMALE

raggiungimento di valori nulli o quasi nulli di deflusso superficiale.

DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 690,9 mm/anno

Superficie pericolosità idraulica **BASSA 652,65 km²**

Superficie pericolosità idraulica **MEDIA 652,56 km²**

Superficie pericolosità idraulica **ALTA 196,95 km²**

Numero edifici in area di pericolosità BASSA e MEDIA 38113

Numero edifici in area di pericolosità ALTA 5464

Le coperture verdi possono essere di diverse tipologie, estensive o intensive, variando lo spessore della stratigrafia varia anche la capacità di assorbimento delle acque, per tale ragione verranno di seguito affrontati 3 diversi calcoli aventi spessori e coefficienti di deflusso diversi

CASO 1

Copertura piana in cls ψ 0,90

Verde pensile $8 < S < 10$ ψ 0,60

Come valore di intensità di pioggia si ipotizza un caso di nubifragio, per calcolare i benefici nella casistica peggiore, perciò $I=30$ mm/h

cr viene applicato al livello standard 2

Come area si ipotizza di modificare 1/3 delle coperture attualmente esistenti in area a pericolosità alta circa 98 km²

a questo punto è possibile procedere con il calcolo

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,90 * 2 * 98 = 5292 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,60 * 2 * 98 = 3528 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$i_{\%} = 5292:3528=100:x =66\% \rightarrow \text{incremento di } 34\%$$

¹ Arpae, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023
< <https://dati.arpae.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali>>

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

CASO 2

Copertura piana in cls ψ 0,90

Verde pensile $15 < S < 25$ ψ 0,35

Come valore di intensità di pioggia si ipotizza un caso di nubifragio, per calcolare i benefici nella casistica peggiore, perciò $I=30$ mm/h

cr viene applicato al livello standard 2

Come area si ipotizza di modificare 1/3 delle coperture attualmente esistenti in area a pericolosità alta circa 98 km^2

a questo punto è possibile procedere con il calcolo

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,90 * 2 * 98 = 5292 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,35 * 2 * 98 = 2058 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$i_{\%} = 5292:2058=100:x = 38,9\% \rightarrow \text{incremento di } 61,1\%$$

CASO 3

Copertura piana in cls ψ 0,90

Verde pensile $S > 50$ ψ 0,10

Come valore di intensità di pioggia si ipotizza un caso di nubifragio, per calcolare i benefici nella casistica peggiore, perciò $I=30$ mm/h

cr viene applicato al livello standard 2

Come area si ipotizza di modificare 1/3 delle coperture attualmente esistenti in area a pericolosità alta circa 98 km^2

a questo punto è possibile procedere con il calcolo

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,90 * 2 * 98 = 5292 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{stato di fatto}} = 30 * 0,10 * 2 * 98 = 588 \text{ km}^3/\text{h}$$

$$i_{\%} = 5292:588=100:x = 11,1\% \rightarrow \text{incremento di } 88,9\%$$

Commento

Per quanto riguarda la città di Ravenna e le soluzioni atte ad adattare in situazioni di allagamenti da alluvioni intense è possibile valutare come i comportamenti delle azioni si differenzino anche in base agli interventi di tipologia naturale e quelli artificiali.

ADATTARE

- A.01 Depavimentazione
- A.02 Pavimentazione drenante
- A.03 Giardini della pioggia
- A.04 Fossati inondabili
- A.05 Bacini inondabili
- A.06 Piantumazione di alberi
- A.07 Piazze inondabili
- A.08 Coperture verdi

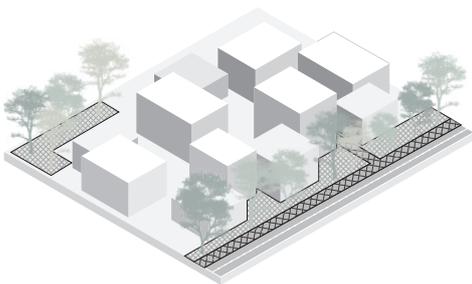
Queste tipologie di azioni sono pensate per adattarsi alla problematica delle alluvioni intense. Infatti, il compito di ciascuna azione è di cercare di **ridurre i fenomeni di allagamenti, diminuendoli o annullandoli** completamente evitando così danni di ogni genere.

Tra questi gli interventi che prevedono la rinaturalizzazione risultano di maggiore efficacia ed efficienza rispetto alla realizzazione della piazza inondabile, che fornisce una sistemazione momentanea all'ingente quantità di acqua piovana.

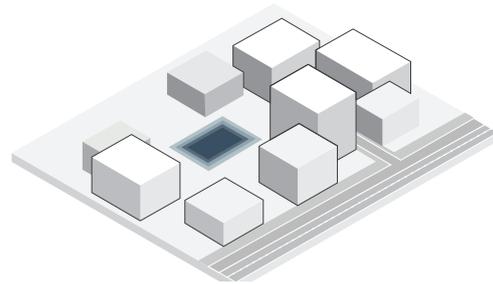
Le azioni nature based sono da preferire in quanto oltre a far confluire l'acqua piovana in un bacino di raccolta, sono predisposte all'assorbimento della stessa, utile al ripristino del naturale ciclo dell'acqua.

Dai risultati ottenuti si evidenzia inoltre che un utilizzo di vegetazione più massivo, come la piantumazione di alberi o l'inserimento di arbusti risulta essere la scelta più efficace ma richiedente più spazio di realizzazione, al contrario i manti erbosi dovuti a depavimentazione e coperture verdi sono più facilmente adattabili e collocabili al contesto di riferimento.

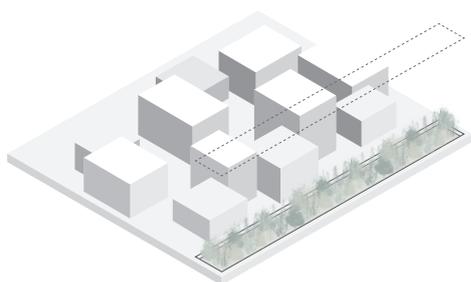
ADATTARE/ANTROPICA
A.02 PAVIMENTAZIONE
DRENANTE



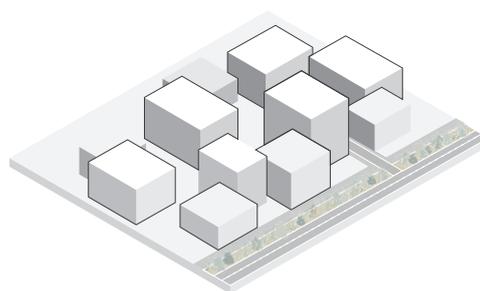
ADATTARE/ANTROPICA
A.07 PIAZZE INONDABILI



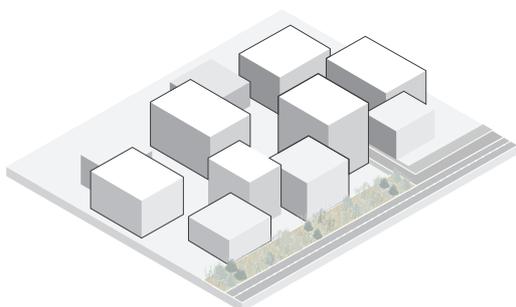
ADATTARE/NATURE BASED
A.01 DEPAVIMENTAZIONE



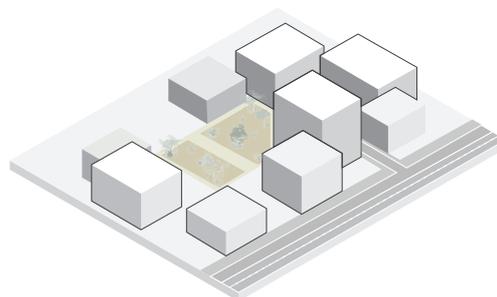
ADATTARE/NATURE BASED
A.03 GIARDINI DELLA PIOGGIA



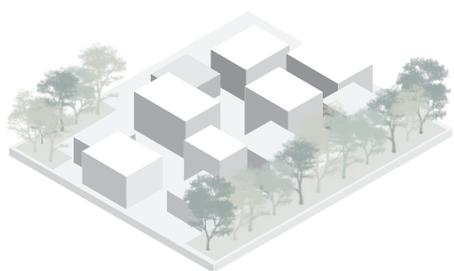
ADATTARE/NATURE BASED
A.04 FOSSATI INONDABILI



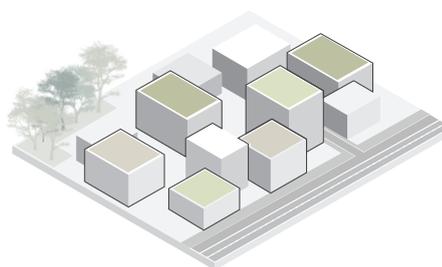
ADATTARE/NATURE BASED
A.05 BACINI INONDABILI



ADATTARE/NATURE BASED
A.06 PIANTUMAZIONE ALBERI



ADATTARE/NATURE BASED
A.08 COPERTURE VERDI



FORTE VENTI

V.00

CAMPOBASSO

41°33'39"60 N / 14°40'6"24 E

SUPERFICIE (S)	56,11 km²
ABITANTI (2022)	47.030
DENSITÀ	838,18 a/km²
REGIONE CLIMATICA	APPEN.
ZONA CLIMATICA	E

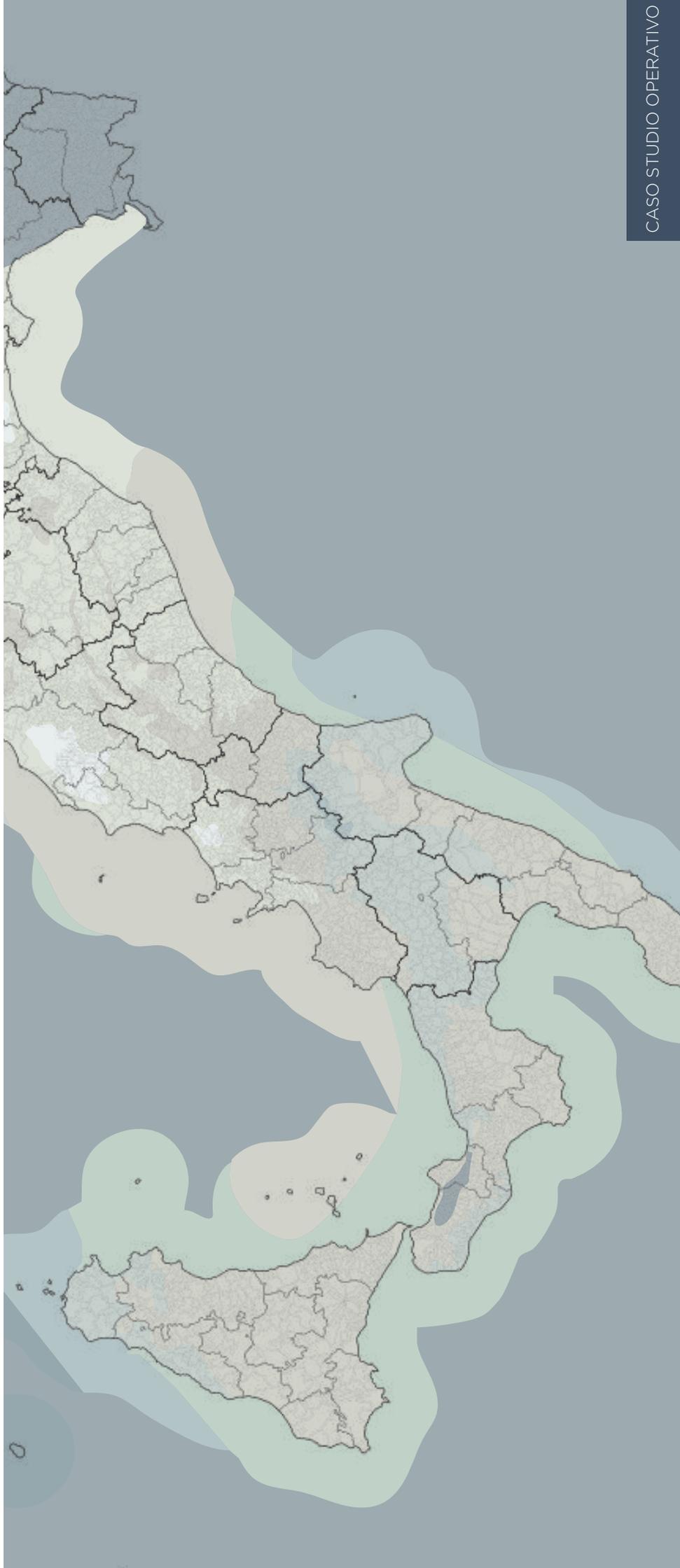
Il caso studio applicativo in merito ai forti venti si ubica nel capoluogo Molisano. Secondo le stime sulla produzione di energia eolica in Italia è la regione che a fronte della minor quantità di impianti installati, presenta i livelli più alti di efficienza. Ospita 9 parchi eolici ed è la prima regione d'Italia ad essere autosufficiente grazie a questa fonte rinnovabile.

ANSA, 2022, 'Eolico: Molise avanguardia rinnovabili', Ambiente & Energia, 27 ottobre, consultato il 28 giugno 2023, <https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/energia/2022/10/27/eolico-molise-avanguardia-rinnovabili-ecco-nuovo-impianto_13fc4004-c6cd-4c8f-816f-604278a19427.html>

VELOCITÀ MEDIA ANNUA DEL VENTO A 25 M S.L.T./S.L.M.

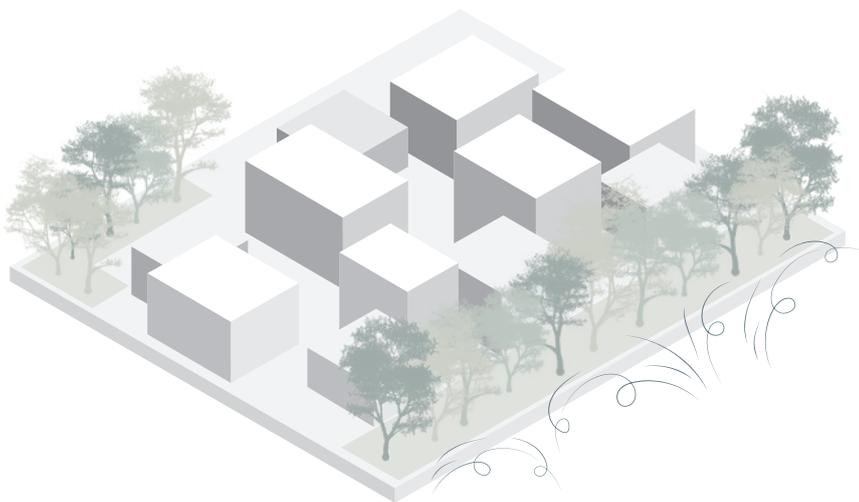
ATLANTE EOLICO_Nazionale

- 7-8 m/s
- 6-7 m/s
- 5-6 m/s
- 4-5 m/s
- 3-4 m/s



BARRIERA VEGETALE o QUINTA ARBOREA

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione velocità d'impatto del vento

PERFORMANCE OTTIMALE 60% di riduzione velocità del vento registrata a distanza di 5H con una barriera lunga 11H

DATI NOTI

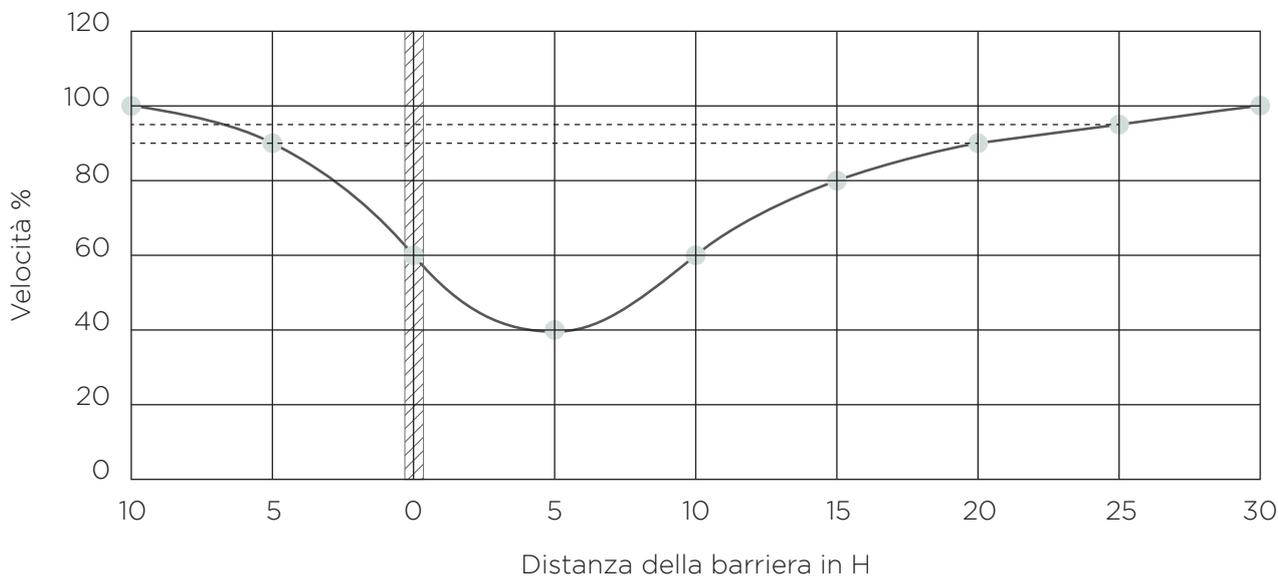
¹Velocità media vento Comune di Campobasso 14,9 km/h pari a 4,14 m/s

²Albero più performante a resistere a forti venti: Quercus robur L. altezza compresa tra 25 e 40 m, si assume un'altezza media di 30 m

³Diametro di chioma medio di 10 m

Distanza d'impianto 10 m

⁴Riduzione velocità del vento dovuta alla schermatura della barriera

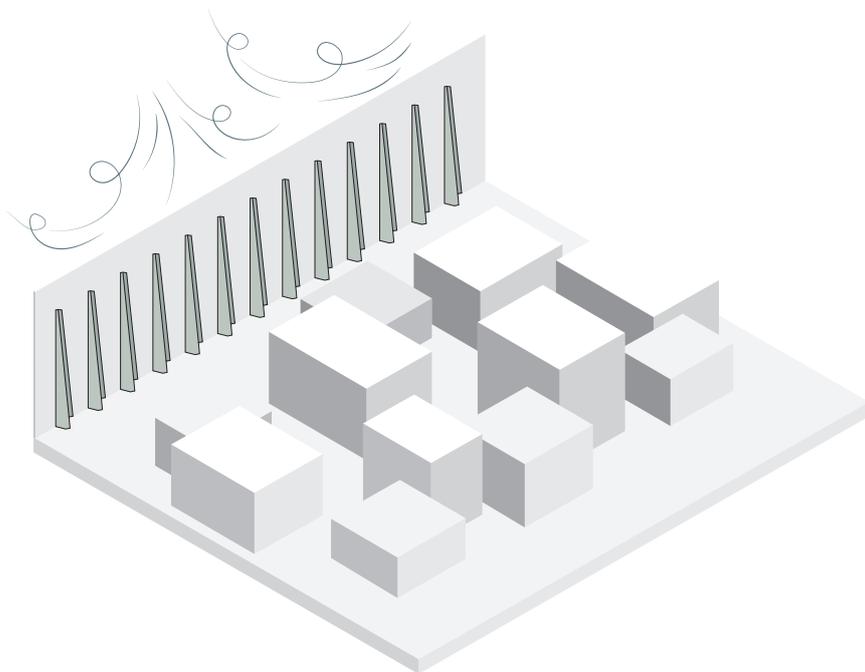


Effetto di un frangivento in funzione della sua permeabilità (rielaborazione da Scudo, De La Torre)

¹ Weather Spark, 'Condizioni climatiche e meteo medie tutto l'anno a Campobasso', consultata il 28 giugno 2023, <<https://it.weatherspark.com/y/77039/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Campobasso-Italia-tutto-l'anno>>
² V. Lobis, E. Brudi, G.Maresi, P. Ambrosi, 2022, 'Valutazione della stabilità degli alberi', Sile 2, progetto convenzionato con PAT e CNR, consultato il 28 giugno 2023, <https://www.formazione3t.it/wp-content/uploads/2014/03/Lobis_Valutazione_stabilita_alberi_Sherwood_78_2002.pdf>
³ A. Ranfa, 'Quercus robur', scheda monotematica, consultato il 28 giugno 2023, <https://www.lifeclivutspringgames.education/wp-content/uploads/2020/04/2_1_8_2>
⁴ G. Scudo, J.M. Ochoa de la Torre, 'Spazi verdi urbani', Sistemi Editoriali, 2003, p 168, consultato il 28 giugno 2023

FRANGIVENTO e SCHERMATURE

APPLICAZIONE METODOLOGIA



OBIETTIVO

Riduzione velocità d'impatto del vento

PERFORMANCE

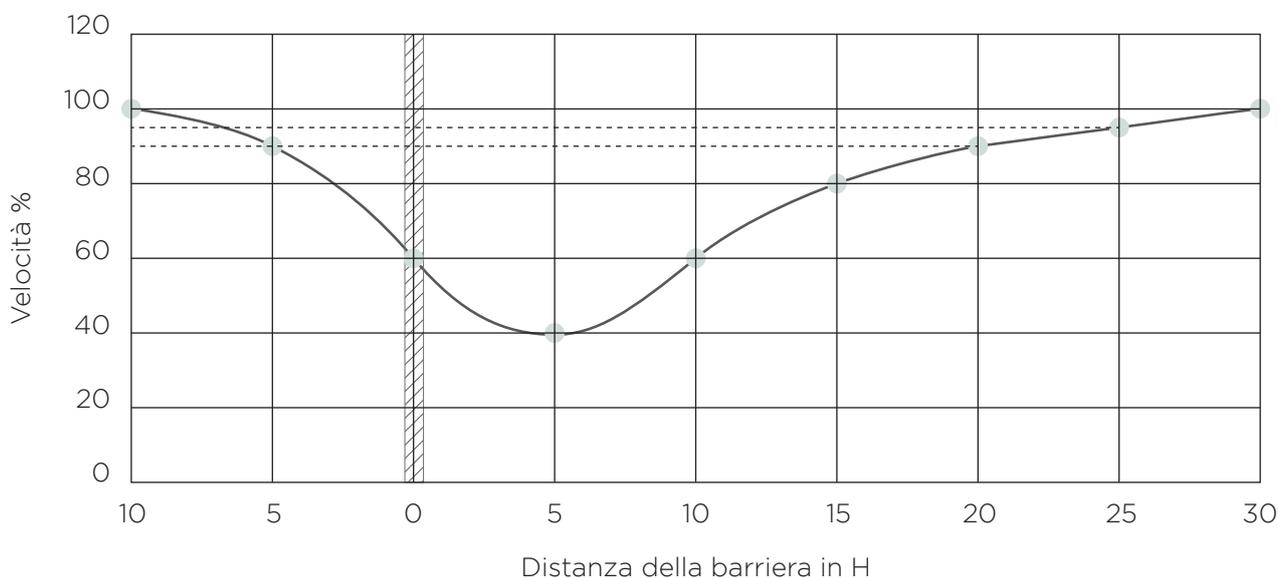
OTTIMALE

75% di riduzione velocità del vento registrata a 5H con una permeabilità di barriera del 30%

DATI NOTI

¹Velocità media vento Comune di Campobasso 14,9 km/h pari a 4,14 m/s

²Riduzione velocità del vento dovuta alla schermatura della barriera frangivento



Effetto di un frangivento in funzione della sua permeabilità (rielaborazione da Scudo, De La Torre)

¹ Weather Spark, 'Condizioni climatiche e meteo medie tutto l'anno a Campobasso', consultata il 28 giugno 2023, <<https://it.weatherspark.com/y/77039/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Campobasso-Italia-tutto-l'anno>>
² Saskatchewan, 'Progettazione generale e requisiti: Porosità frangivento', consultato il 28 giugno 2023 <<https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/livestock/cattle-poultry-and-other-livestock/cattle/portable-windbreak-fences>>

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Come per quanto riguarda la soluzione V.01 si fa fede a dati di letteratura poichè le uniche metodologie per simulare il comportamento del vento conosciute ad oggi sono

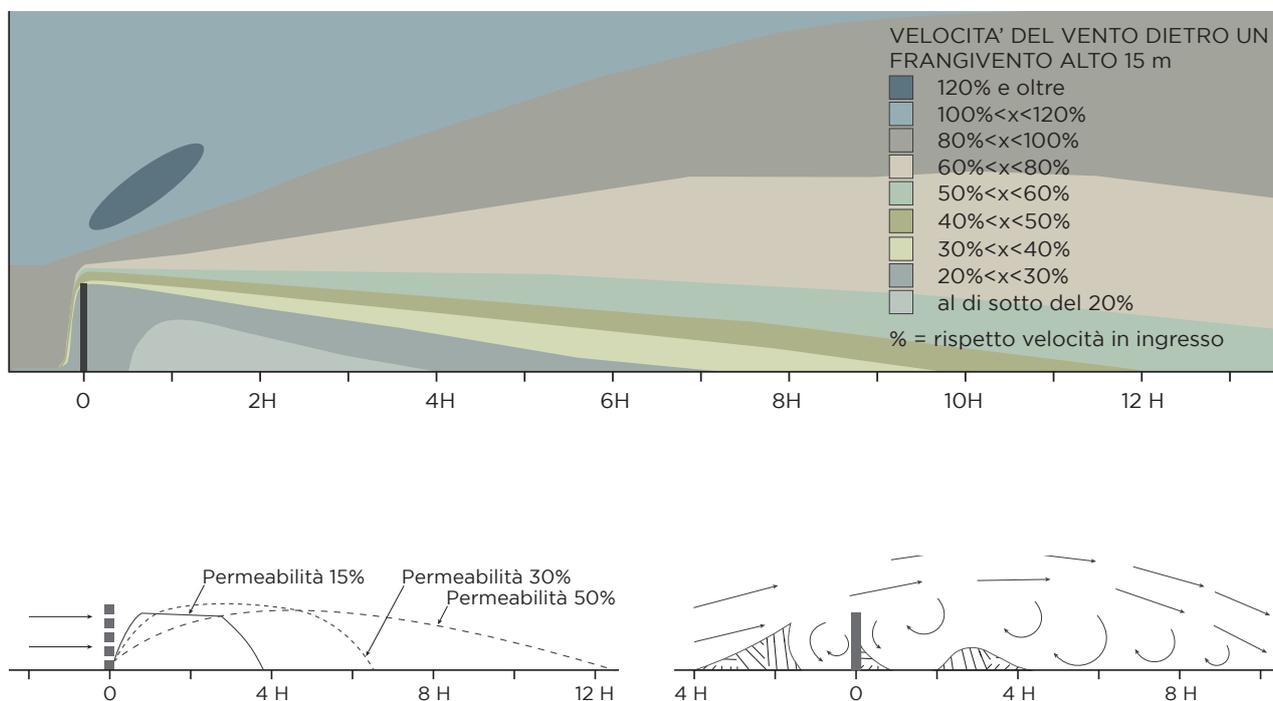
- galleria del vento con ausilio di un modello ma estremamente costoso
- simulazioni software online ma dipendono dalle competenze dell'utilizzatore
- approccio empirico dove si adatta il caso generale al caso particolare

Si stima la condizione ottimale del frangivento a livello di porosità pari al 30% così da sovrapporre la schermatura con i dati di G. Scudo, J.M. Ochoa de la Torre

v a distanza **1H** = 4,14 m/s **20% = 0,828 m/s**

v a distanza **5H** = 4,14 m/s **25% = 1,035 m/s**

v a distanza **10H** = 4,14 m/s **45% = 1,863 m/s**



L'incremento percentuale delle singole azioni riportate è affetto da mediazione di dati e leggere approssimazioni, pertanto, si utilizza come esempio di metodologia applicativa esemplificativa ma si sconsiglia l'utilizzo del dato come tale previa verifica. Tutti gli incrementi di performance sono stimati senza l'apporto della quota parte dovuta alla diminuzione delle emissioni, pertanto rappresentano già dei casi peggiorativi.

Commento

Per quanto concerne l'inquinamento e il caso studio della città di Campobasso

Come è possibile apprezzare dai risultati ottenuti le azioni proposte sono votate alla mitigazione e si differenziano sia per efficienza a livello di incremento di performance, sia per natura: con una soluzione nature based e una più strutturata e antropizzata. Si propone in seguito una classificazione basata su questo concetto per isolare ulteriormente le azioni e fornire un ulteriore fattore di valutazione della più adatta ai fini progettuali.

MITIGARE

V.01 BARRIERA VEGETALE O QUINTA ARBOREA

V.02 FRANGIVENTO E SCHERMATURE

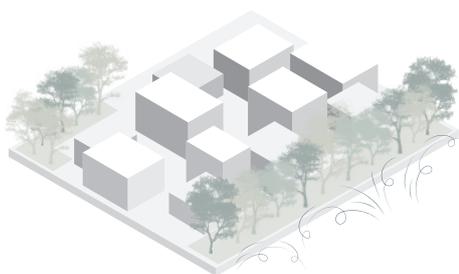
In questa tipologia di azione si **mitiga la velocità** di impatto del vento con il tessuto urbanizzato o con il campo aperto, apportando un aumento della percentuale di performance nella gestione delle aree più soggette ad essere investite da raffiche ad alta velocità.

Dallo sviluppo dell'azione applicata al caso studio, si nota come l'obiettivo di riduzione non abbia un valore proposto ma sia impostato verso la maggiore efficienza possibile, sia per impossibilità nell'agire definitivamente sull'evento atmosferico in se e per se e sia per via del suo comportamento non lineare.

In fatto di vocazione rientrano entrambe nell'ambito della mitigazione, quindi sono tra le azioni auspicabili ma non risultano risolutive, poiché **riducono l'esito dell'evento** ma non hanno potere di evitarlo.

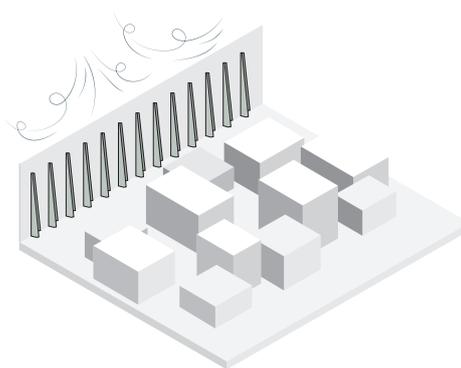
NATURE BASED

V.01 BARRIERA VEGETALE
O QUINTA ARBOREA



ANTROPICA

V.02 FRANGIVENTO E
SCHERMATURE





ONDATE DI CALORE

C.00

ROMA

44°41'83"59 N / 12°20'35"29 E

SUPERFICIE (S)	1.285 km ²
ABITANTI (2022)	2,873 milioni
DENSITÀ	2235 a/km ²
REGIONE CLIMATICA	TIRR.
ZONA CLIMATICA	D

Il caso studio applicativo in merito alle ondate di calore si ubica nel comune di Roma nella regione Lazio. Roma è la prima città italiana per consumo di suolo e nei periodi estivi presenta frequenti fenomeni di ondate di calore e temperature elevate.

Questo fenomeno va man mano incrementando, infatti le temperature medie registrate risultano sempre più crescenti con il passare degli anni.

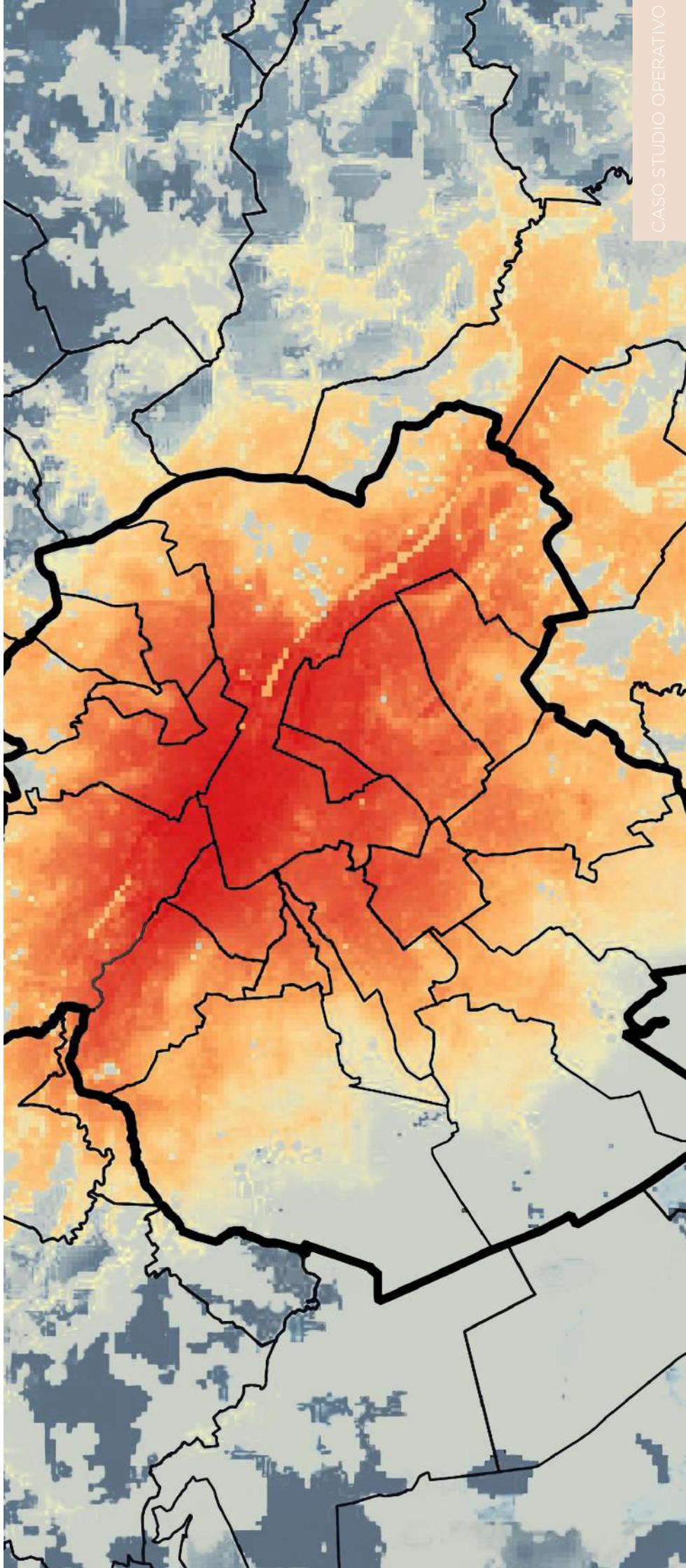
La scelta di questo caso studio deriva proprio dalla frequenza dell'evento e dalla condizione di città densamente abitata e costruita

ISPRA, 2022, Rapporto Nazionale "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici."

ONDATE DI CALORE

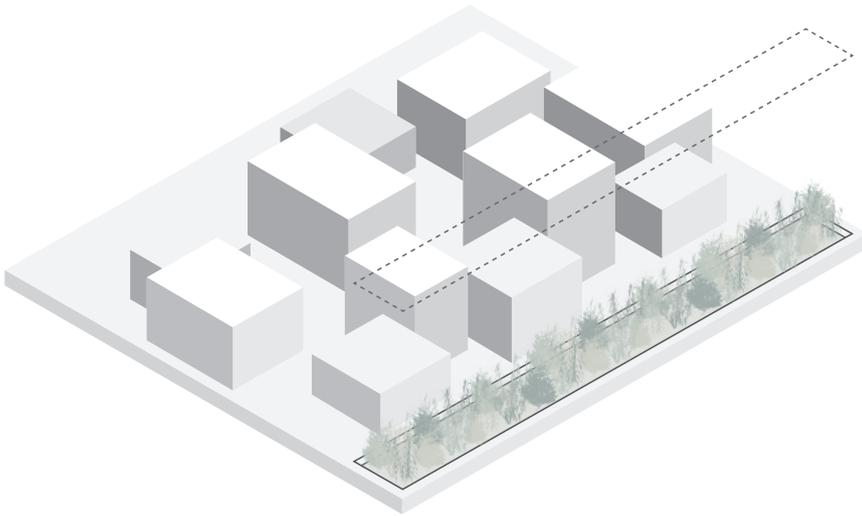
ISPRA AMBIENTE

-  Temperature estreme
-  Temperature elevate
-  Temperature normali



DEPAVIMENTAZIONE

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione temperature estreme

PERFORMANCE

Riduzione di circa 14,5 °C di temperatura nei periodi estivi grazie al grado di evapotraspirazione

OTTIMALE

DATI NOTI

Temperature medie mensili 2022

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
8,6	11,04	11,4	17,8	22,2	27,6	30	28,2	23,3	20,17	14,2	12,1

Per il calcolo dell'evapotraspirazione verranno confrontati i valori mensili di asfalto e superficie erbosa depavimentata, per far ciò verrà utilizzato il metodo di calcolo **Thornthwaite-Mather**.

I valori inerenti al clima sono stati come temperature e precipitazioni sono stati reperiti da fonte ISTAT e sono specifici sulla città di Roma

SUPERFICIE ASFALTATA

GEN FEB MAR APR MAG GIU LUG AGO SET OTT NOV DIC

i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I(°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,01											
coeff. Km (-)	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
ETp1 (mm/d)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
TOT SUOLO (kmq)	1.286,89											
SUOLO CONSUMATO (kmq)	311,44											
Precipitazione tot (mm)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,86											
Pe (mm)	15,48	18,66	1,81	4,21	13,59	5,07	4,56	15,22	32,25	11,01	86,34	112,57
ΔP (perdita) (mm)	5,50	1,89	-20,58	-56,84	-94,19	-165,49	-201,80	-153,23	-67,22	-56,94	58,44	92,87
RI (mm)	50,00											
RU (mm)	1,12	1,04	0,66	0,32	0,15	0,04	0,02	0,05	0,26	0,32	3,22	6,41
ΔRum (mm)		-0,08	-0,38	-0,34	-0,17	-0,12	-0,02	0,03	0,21	0,06	2,90	3,19
ΣΔRU (mm)		-0,08	-0,45	-0,80	-0,96	-1,08	-1,10	-1,07	-0,86	-0,80	2,10	5,29
ΔRU (mm)		0,00	0,08	0,45	0,80	0,96	1,08	1,10	1,07	0,86	0,80	2,10
Etr (mm/d)		16,77	1,88	4,67	14,38	6,04	5,64	16,32	33,32	11,86	27,90	19,71

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

DEPAVIMENTAZIONE

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I (°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
coeff. Km (-)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
ETp1 (mm/d)	1286,89											
TOT SUOLO (kmq)	311,44											
SUOLO CONSUMATO (km)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,40											
Pe (mm)	7,20	8,68	0,84	1,96	6,32	2,36	2,12	7,08	15,00	5,12	40,16	52,36
ΔP (perdita) (mm)	-2,78	-8,09	-21,54	-59,09	-101,46	-168,21	-204,24	-161,37	-84,47	-62,83	12,26	32,65
RI (mm)	100,00											
RU (mm)	0,97	0,92	0,81	0,55	0,36	0,19	0,13	0,20	0,43	0,53	1,13	1,39
ΔRum (mm)		-0,05	-0,12	-0,25	-0,19	-0,18	-0,06	0,07	0,23	0,10	0,60	0,26
ΣΔRU (mm)		-0,05	-0,17	-0,42	-0,61	-0,79	-0,84	-0,77	-0,54	-0,44	0,16	0,41
ΔRU (mm)		0,00	0,05	0,17	0,42	0,61	0,79	0,84	0,77	0,54	0,44	0,16
Etr (mm/d)		8,68	0,89	2,13	6,74	2,97	2,91	7,92	15,77	5,66	27,90	19,71

Per valutare l'incremento di performance viene effettuato un rapporto fra Evapotraspirazione reale dell'asfalto e della manto verde di depavimentazione, per ottenere la nuova temperatura derivante dal cambio di pavimentazione.

FEB 11,04 °C: 16,77 mm/d = x : 8,68 mm/d = T=5,71 °C -> riduzione di 5,33 °C

MAR 11,4 °C: 1,88 mm/d = x : 0,89 mm/d = T=5,40 °C -> riduzione di 6 °C

APR 17,88 °C: 4,67 mm/d = x : 2,13 mm/d = T=8,1 °C -> riduzione di 9,78 °C

MAG 22,19 °C: 14,38 mm/d = x : 6,74 mm/d = T=10,4 °C -> riduzione di 11,79 °C

GIU 27,6 °C : 6,04 mm/d = x : 2,97 mm/d = T=14 °C -> riduzione di 9,78 °C

LUG 30 °C: 5,64 mm/d = x : 2,91 mm/d = T=15,48 °C -> riduzione di 14,52 °C

AGO 28,2 °C: 16,32 mm/d = x : 7,92 mm/d = T=13,68 °C -> riduzione di 14,5 °C

SET 23,3 °C: 33,32 mm/d = x : 15,77 mm/d = T=11 °C -> riduzione di 12,3 °C

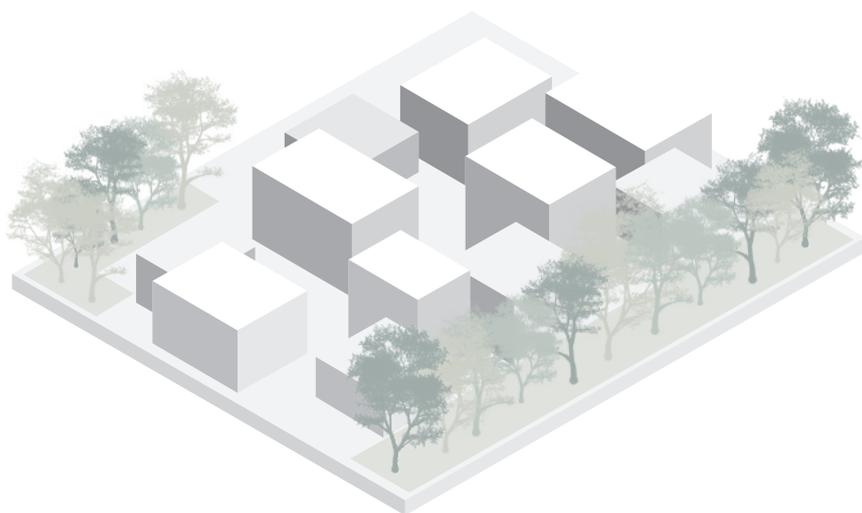
OTT 20,2 °C: 11,86 mm/d = x : 5,66 mm/d = T=9,6 °C -> riduzione di 10,6 °C

NOV 14,2 °C : 27,9 mm/d = x : 27,9 mm/d = T=14,2 °C -> riduzione di 0 °C

DIC 12,1 °C: 19,71 mm/d = x : 19,71 mm/d = T=12,1 °C -> riduzione di 0 °C

PIANTUMAZIONE DI ALBERI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione temperature estreme

PERFORMANCE

Riduzione di circa 17,8 °C di temperatura nei periodi estivi grazie al grado di evapotraspirazione

OTTIMALE

DATI NOTI

Temperature medie mensili 2022

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
8,6	11,04	11,4	17,8	22,2	27,6	30	28,2	23,3	20,17	14,2	12,1

Per il calcolo dell'evapotraspirazione verranno confrontati i valori mensili di asfalto e superficie erbosa depavimentata, per far ciò verrà utilizzato il metodo di calcolo **Thornthwaite-Mather**.

I valori inerenti al clima sono stati come temperature e precipitazioni sono stati reperiti da fonte ISTAT e sono specifici sulla città di Roma

SUPERFICIE ASFALTATA

GEN FEB MAR APR MAG GIU LUG AGO SET OTT NOV DIC

i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I(°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,01											
coeff. Km (-)	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
ETp1 (mm/d)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
TOT SUOLO (kmq)	1.286,89											
SUOLO CONSUMATO (kmq)	311,44											
Precipitazione tot (mm)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,86											
Pe (mm)	15,48	18,66	1,81	4,21	13,59	5,07	4,56	15,22	32,25	11,01	86,34	112,57
ΔP (perdita) (mm)	5,50	1,89	-20,58	-56,84	-94,19	-165,49	-201,80	-153,23	-67,22	-56,94	58,44	92,87
RI (mm)	50,00											
RU (mm)	1,12	1,04	0,66	0,32	0,15	0,04	0,02	0,05	0,26	0,32	3,22	6,41
ΔRum (mm)		-0,08	-0,38	-0,34	-0,17	-0,12	-0,02	0,03	0,21	0,06	2,90	3,19
ΣΔRU (mm)		-0,08	-0,45	-0,80	-0,96	-1,08	-1,10	-1,07	-0,86	-0,80	2,10	5,29
ΔRU (mm)		0,00	0,08	0,45	0,80	0,96	1,08	1,10	1,07	0,86	0,80	2,10
Etr (mm/d)		16,77	1,88	4,67	14,38	6,04	5,64	16,32	33,32	11,86	27,90	19,71

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

DEPAVIMENTAZIONE
mm/d

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I(°C)	98,69											
a=	2,08											
c=	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
coeff. Km (-)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
ETp1 (mm/d)	1286,89											
TOT SUOLO (kmq)	311,44											
SUOLO CONSUMATO	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pe (mm)	5,58	6,73	0,65	1,52	4,90	1,83	1,64	5,49	11,63	3,97	31,12	40,58
ΔP (perdita) (mm)	-4,40	-10,04	-21,73	-59,53	-102,88	-168,74	-204,71	-162,97	-87,84	-63,98	3,22	20,87
RI (mm)	100,00											
RU (mm)	0,96	0,90	0,80	0,55	0,36	0,19	0,13	0,20	0,42	0,53	1,03	1,23
ΔRum (mm)		-0,05	-0,10	-0,25	-0,19	-0,17	-0,06	0,07	0,22	0,11	0,51	0,20
ΣΔRU (mm)		-0,05	-0,15	-0,41	-0,60	-0,77	-0,83	-0,76	-0,54	-0,43	0,08	0,28
ΔRU (mm)		0,00	0,05	0,15	0,41	0,60	0,77	0,83	0,76	0,54	0,43	0,08
Etr (mm/d)		6,73	0,70	1,67	5,30	2,43	2,41	6,31	12,39	4,51	27,90	19,71

Per valutare l'incremento di performance viene effettuato un rapporto fra Evapotraspirazione reale dell'asfalto e della piantumazione di alberi, per ottenere la nuova temperatura derivante dall'inserimento di alberature.

FEB 11,04 °C: 16,77 mm/d = x : 6,73 mm/d = T=4,57 °C -> riduzione di 6,47 °C

MAR 11,4 °C: 1,88 mm/d = x : 0,70 mm/d = T=4,24 °C -> riduzione di 7,16 °C

APR 17,88 °C: 4,67 mm/d = x : 1,67 mm/d = T=6,39 °C -> riduzione di 11,49 °C

MAG 22,19 °C : 14,38 mm/d = x : 5,30 mm/d = T=8,18 °C -> riduzione di 10,01 °C

GIU 27,6 °C : 6,04 mm/d = x : 2,43 mm/d = T=11,10 °C -> riduzione di 16,5 °C

LUG 30 °C: 5,64 mm/d = x : 2,41 mm/d = T=12,82 °C -> riduzione di 17,81 °C

AGO 28,2 °C: 16,32 mm/d = x : 6,31 mm/d = T=10,90 °C -> riduzione di 17,3 °C

SET 23,3 °C: 33,32 mm/d = x : 12,39 mm/d = T=8,66 °C -> riduzione di 14,64 °C

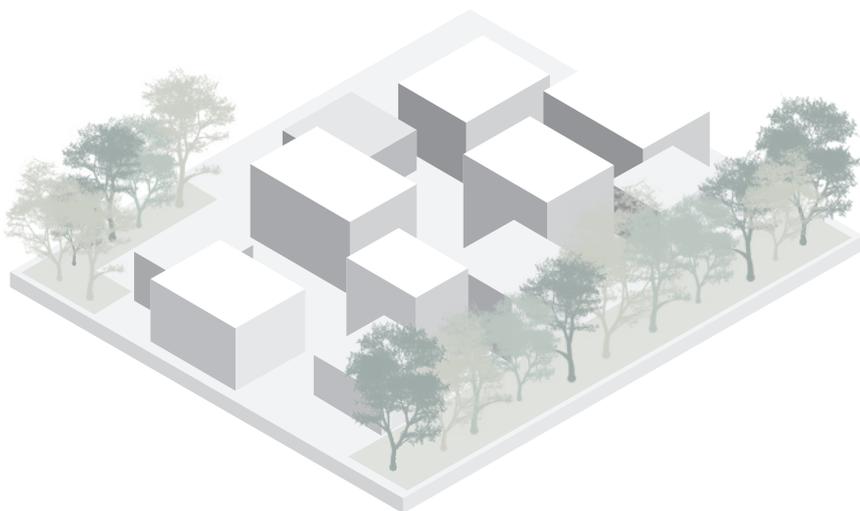
OTT 20,2 °C: 11,86 mm/d = x : 4,51 mm/d = T=7,68 °C -> riduzione di 12,52 °C

NOV 14,2 °C: 27,9 mm/d = x : 27,9 mm/d = T=14,2 °C -> riduzione di 0 °C

DIC 12,1 °C: 19,71 mm/d = x : 19,71 mm/d = T=12,1 °C -> riduzione di 0 °C

PIANTUMAZIONE DI ALBERI

APPLICAZIONE METODOLOGIA



DATI NOTI

Radiazione annua media sul piano orizzontale 5618 MJ/m²¹

Altezza solare 66,58°²

Per ottenere la radiazione diffusa viene calcolato il 10% della radiazione media su piano orizzontale che corrisponde a

$$K_d = 10\%(5618) = 56,18 \text{ MJ/m}^2$$

Verranno invece eseguiti diversi calcoli con trasmissività differenti, la prima in assenza di ostacoli per fornire un paragone con le azioni attuate, le successive saranno casistiche di alberature diverse, che grazie al diverso tipo di fogliazione garantiscono diversi apporti di ombreggiamento. Gli alberi selezionati sono specie già presenti nella città, in grado di sopravvivere al clima di riferimento³.

Assenza di ostruzioni $t=100$

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 100 = 255171,02 \text{ MJ/m}^2$$

Utilizzo di *Fagus sylvatica* $t=0,12$

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 0,12 = 306,2 \text{ MJ/m}^2$$

Utilizzo di *Quercus robur* $t=0,19$

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 0,19 = 484,8 \text{ MJ/m}^2$$

Utilizzo di *Platanus acerifolia* $t=0,14$

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 0,14 = 357,2 \text{ MJ/m}^2$$

¹ ENEA, Atlante italiano della radiazione solare, consultato in data 25 giugno 2023, < <http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmOrizz/Calcola3.php> >

² SunEarthTool consultato in data 25 giugno 2023 < https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=it >

³ Città metropolitana di Roma, *Censimento dei grandi alberi del territorio metropolitano di Roma Capitale*, < <https://www.cittametropolitanaroma.it/homepage/aree-tematiche/ambiente/aree-protette-tutela-della-flora-della-biodiversita/i-progetti/censimento-dei-grandi-alberi-del-territorio-metropolitano-roma-capitale/#::-:text=Sono%20discretamente%20rappresentati%20i%20platani,%20l'Acer%20campestre%20> >

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

Per la valutazione degli effetti dell'ombreggiamento delle alberature rispetto alla condizione iniziale viene effettuato un rapporto fra la trasmittività allo stato di fatto, privo di ombreggiamento e la trasmittività in presenza delle diverse alberature

$$T_{\text{stato di fatto}}:100=T_{\text{azione}}:x$$

$$255171,02:100= 306,2:x =0,11 \text{ \% di trasmissione solare}$$

$$255171,02:100= 484,8:x =0,19 \text{ \% di trasmissione solare}$$

$$255171,02:100= 357,2 :x =0,14 \text{ \% di trasmissione solare}$$

i valori corrispondono al coefficiente di ombreggiamento applicato



Fagus sylvatica con un fattore di ombreggiamento di 0,11 (conosciuto come faggio comune appartiene alla famiglia delle fagacee, può raggiungere i 30-40 m di altezza e presenta un fogliame denso dalla forma ovale che favorisce un buon ombreggiamento)



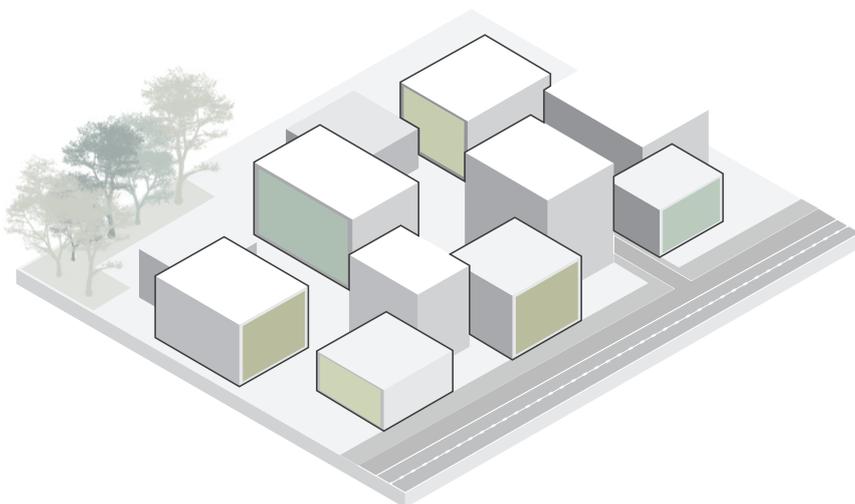
Quercus robur con un fattore di ombreggiamento di 0,19 (conosciuto comunemente come quercia appartiene alla famiglia delle fagacee, può raggiungere i 25-40 m di altezza e presenta un fogliame a forma obovata con margini lobati, le foglie possono essere lunghe da 7 a 14 cm)



Platanus acerifolia con un fattore di ombreggiamento di 0,14 (conosciuto come platano comune appartiene alla famiglia delle platanaceae, può raggiungere i 20-30 m di altezza e presenta un fogliame a forma palmata che ricorda le foglie dell'acero)

VERDE VERTICALE

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione temperature estreme

PERFORMANCE

Riduzione di circa 17,8 °C di temperatura nei periodi estivi grazie al grado di evapotraspirazione

OTTIMALE

DATI NOTI

Temperature medie mensili 2022

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
8,6	11,04	11,4	17,8	22,2	27,6	30	28,2	23,3	20,17	14,2	12,1

Per il calcolo dell'evapotraspirazione verranno confrontati i valori mensili di asfalto e superficie erbosa depavimentata, per far ciò verrà utilizzato il metodo di calcolo **Thornthwaite-Mather**.

I valori inerenti al clima sono stati come temperature e precipitazioni sono stati reperiti da fonte ISTAT e sono specifici sulla città di Roma

SUPERFICIE ASFALTATA

GEN FEB MAR APR MAG GIU LUG AGO SET OTT NOV DIC

i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I(°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,01											
coeff. Km (-)	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
ETp1 (mm/d)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
TOT SUOLO (kmq)	1.286,89											
SUOLO CONSUMATO (kmq)	311,44											
Precipitazione tot (mm)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,86											
Pe (mm)	15,48	18,66	1,81	4,21	13,59	5,07	4,56	15,22	32,25	11,01	86,34	112,57
ΔP (perdita) (mm)	5,50	1,89	-20,58	-56,84	-94,19	-165,49	-201,80	-153,23	-67,22	-56,94	58,44	92,87
RI (mm)	50,00											
RU (mm)	1,12	1,04	0,66	0,32	0,15	0,04	0,02	0,05	0,26	0,32	3,22	6,41
ΔRum (mm)		-0,08	-0,38	-0,34	-0,17	-0,12	-0,02	0,03	0,21	0,06	2,90	3,19
ΣΔRU (mm)		-0,08	-0,45	-0,80	-0,96	-1,08	-1,10	-1,07	-0,86	-0,80	2,10	5,29
ΔRU (mm)		0,00	0,08	0,45	0,80	0,96	1,08	1,10	1,07	0,86	0,80	2,10
Etr (mm/d)		16,77	1,88	4,67	14,38	6,04	5,64	16,32	33,32	11,86	27,90	19,71

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

VERDE VERTICALE

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I (°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
coeff. Km (-)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
ETp1 (mm/d)	1286,89											
TOT SUOLO (kmq)	311,44											
SUOLO CONSUMATO (km)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,40											
Pe (mm)	7,20	8,68	0,84	1,96	6,32	2,36	2,12	7,08	15,00	5,12	40,16	52,36
ΔP (perdita) (mm)	-2,78	-8,09	-21,54	-59,09	-101,46	-168,21	-204,24	-161,37	-84,47	-62,83	12,26	32,65
RI (mm)	100,00											
RU (mm)	0,97	0,92	0,81	0,55	0,36	0,19	0,13	0,20	0,43	0,53	1,13	1,39
ΔRum (mm)		-0,05	-0,12	-0,25	-0,19	-0,18	-0,06	0,07	0,23	0,10	0,60	0,26
ΣΔRU (mm)		-0,05	-0,17	-0,42	-0,61	-0,79	-0,84	-0,77	-0,54	-0,44	0,16	0,41
ΔRU (mm)		0,00	0,05	0,17	0,42	0,61	0,79	0,84	0,77	0,54	0,44	0,16
Etr (mm/d)		8,68	0,89	2,13	6,74	2,97	2,91	7,92	15,77	5,66	27,90	19,71

Per valutare l'incremento di performance viene effettuato un rapporto fra Evapotraspirazione reale dell'asfalto e della piantumazione di alberi, per ottenere la nuova temperatura derivante dall'inserimento di alberature.

FEB 11,04 °C: 16,77 mm/d = x : 6,73 mm/d = T=4,57 °C -> riduzione di 6,47 °C

MAR 11,4 °C: 1,88 mm/d = x : 0,70 mm/d = T=4,24 °C -> riduzione di 7,16 °C

APR 17,88 °C : 4,67 mm/d = x : 1,67 mm/d = T=6,39 °C -> riduzione di 11,49 °C

MAG 22,19 °C: 14,38 mm/d = x : 5,30 mm/d = T=8,18 °C -> riduzione di 10,01 °C

GIU 27,6 °C: 6,04 mm/d = x : 2,43 mm/d = T=11,10 °C -> riduzione di 16,5 °C

LUG 30 °C: 5,64 mm/d = x : 2,41 mm/d = T=12,82 °C -> riduzione di 17,81 °C

AGO 28,2 °C: 16,32 mm/d = x : 6,31 mm/d = T=10,90 °C -> riduzione di 17,3 °C

SET 23,3 °C: 33,32 mm/d = x : 12,39 mm/d = T=8,66 °C -> riduzione di 14,64 °C

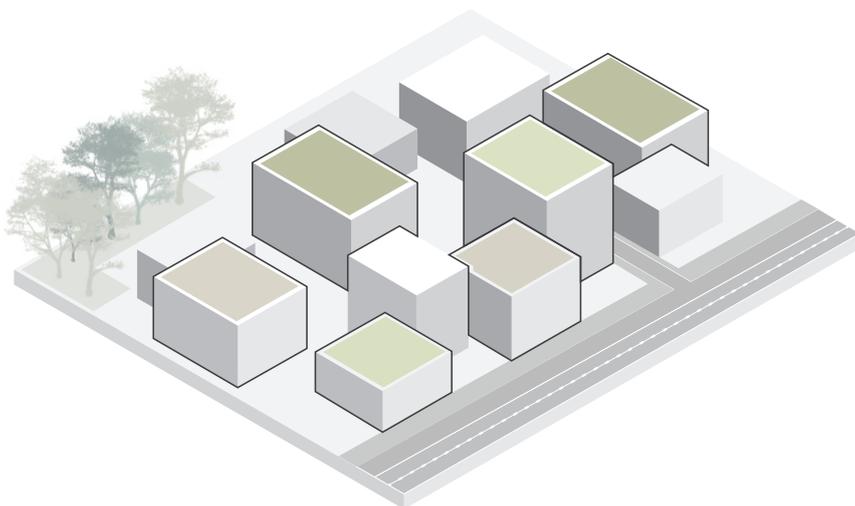
OTT 20,2 °C: 11,86 mm/d = x : 4,51 mm/d = T=7,68 °C -> riduzione di 12,52 °C

NOV 14,2 °C: 27,9 mm/d = x : 27,9 mm/d = T=14,2 °C -> riduzione di 0 °C

DIC 12,1 °C: 19,71 mm/d = x : 19,71 mm/d = T=12,1 °C -> riduzione di 0 °C

COPERTURE VERDI

APPLICAZIONE METODOLOGIA

**OBIETTIVO**

Riduzione temperature estreme

PERFORMANCE

Riduzione di circa 17,8 °C di temperatura nei periodi estivi grazie al grado di evapotraspirazione

OTTIMALE

DATI NOTI

Temperature medie mensili 2022

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
8,6	11,04	11,4	17,8	22,2	27,6	30	28,2	23,3	20,17	14,2	12,1

Per il calcolo dell'evapotraspirazione verranno confrontati i valori mensili di asfalto e superficie erbosa depavimentata, per far ciò verrà utilizzato il metodo di calcolo **Thornthwaite-Mather**.

I valori inerenti al clima sono stati come temperature e precipitazioni sono stati reperiti da fonte ISTAT e sono specifici sulla città di Roma

SUPERFICIE ASFALTATA

GEN FEB MAR APR MAG GIU LUG AGO SET OTT NOV DIC

i =	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
I(°C)	98,69											
a =	2,08											
c =	0,01											
coeff. Km (-)	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
ETp1 (mm/d)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
TOT SUOLO (kmq)	1.286,89											
SUOLO CONSUMATO (kmq)	311,44											
Precipitazione tot (mm)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,86											
Pe (mm)	15,48	18,66	1,81	4,21	13,59	5,07	4,56	15,22	32,25	11,01	86,34	112,57
ΔP (perdita) (mm)	5,50	1,89	-20,58	-56,84	-94,19	-165,49	-201,80	-153,23	-67,22	-56,94	58,44	92,87
RI (mm)	50,00											
RU (mm)	1,12	1,04	0,66	0,32	0,15	0,04	0,02	0,05	0,26	0,32	3,22	6,41
ΔRum (mm)		-0,08	-0,38	-0,34	-0,17	-0,12	-0,02	0,03	0,21	0,06	2,90	3,19
ΣΔRU (mm)		-0,08	-0,45	-0,80	-0,96	-1,08	-1,10	-1,07	-0,86	-0,80	2,10	5,29
ΔRU (mm)		0,00	0,08	0,45	0,80	0,96	1,08	1,10	1,07	0,86	0,80	2,10
Etr (mm/d)		16,77	1,88	4,67	14,38	6,04	5,64	16,32	33,32	11,86	27,90	19,71

VALUTAZIONE INCREMENTO PERFORMANCE

COPERTURA VERDE

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
i =	8,60	11,04	11,434	17,873	22,188	27,564	30,094	28,163	23,322	20,178	14,187	12,145
I(°C)	2,31	3,39	3,58	7,12	9,94	13,88	15,89	14,35	10,73	8,58	4,99	3,93
a=	2,08											
c=	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
coeff. Km (-)	9,98	16,77	22,38	61,05	107,78	170,57	206,36	168,45	99,47	67,95	27,90	19,71
ETp1 (mm/d)	1286,89											
TOT SUOLO (kmq)	311,44											
SUOLO CONSUMATO (kmq)	18,00	21,70	2,10	4,90	15,80	5,90	5,30	17,70	37,50	12,80	100,40	130,90
coeff. Di afflusso (-)	0,34											
Pe (mm)	6,12	7,38	0,71	1,67	5,37	2,01	1,80	6,02	12,75	4,35	34,14	44,51
ΔP (perdita) (mm)	-3,86	-9,39	-21,67	-59,39	-102,41	-168,56	-204,55	-162,44	-86,72	-63,60	6,23	24,80
RI (mm)	100,00											
RU (mm)	0,96	0,91	0,81	0,55	0,36	0,19	0,13	0,20	0,42	0,53	1,06	1,28
ΔRum (mm)	-0,05	-0,11	-0,11	-0,25	-0,19	-0,17	-0,06	0,07	0,22	0,11	0,53	0,22
ΣΔRU (mm)	-0,05	-0,16	-0,41	-0,60	-0,78	-0,83	-0,77	-0,54	-0,43	0,10	0,32	0,32
ΔRU (mm)	0,00	0,05	0,16	0,41	0,60	0,78	0,83	0,77	0,54	0,43	0,10	0,10
Etr (mm/d)		7,38	0,77	1,82	5,78	2,61	2,58	6,85	13,52	4,89	27,90	19,71

Per valutare l'incremento di performance viene effettuato un rapporto fra Evapotraspirazione reale dell'asfalto e della copertura verde, per ottenere la nuova temperatura derivante dall'inserimento di verde pensile

FEB 11,04 °C: 16,77 mm/d = x : 7,38 mm/d = T=4,86 °C -> riduzione di 6,18 °C

MAR 11,4 °C: 1,88 mm/d = x : 0,77 mm/d = T=4,67 °C -> riduzione di 6,73 °C

APR 17,88 °C : 4,67 mm/d = x : 1,82 mm/d = T=6,97 °C -> riduzione di 10,91 °C

MAG 22,19 °C: 14,38 mm/d = x : 5,78 mm/d = T=8,92 °C -> riduzione di 13,27 °C

GIU 27,6 °C : 6,04 mm/d = x : 2,61 mm/d = T=11,93 °C -> riduzione di 15,67 °C

LUG 30 °C: 5,64 mm/d = x : 2,58 mm/d = T=13,72 °C -> riduzione di 16,28 °C

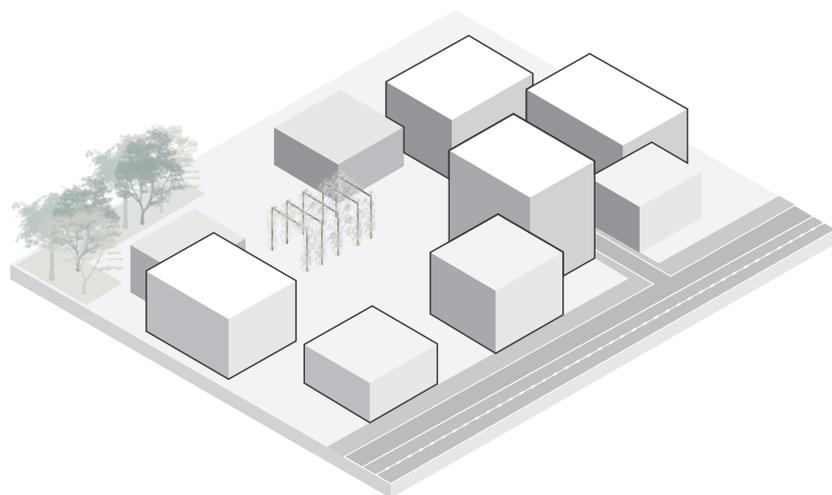
AGO 28,2 °C: 16,32 mm/d = x : 6,85 mm/d = T=11,83 °C -> riduzione di 16,37 °C

SET 23,3 °C : 33,32 mm/d = x : 13,52 mm/d = T=9,45 °C -> riduzione di 13,85 °C

OTT 20,2 °C : 11,86 mm/d = x : 4,89 mm/d = T=8,33 °C -> riduzione di 11,87 °C

NOV 14,2 °C : 27,9 mm/d = x : 27,9 mm/d = T=14,2 °C -> riduzione di 0 °C

DIC 12,1 °C: 19,71 mm/d = x : 19,71 mm/d = T=12,1 °C -> riduzione di 0 °C

**OBIETTIVO**

Ombreggiamento per creazione comfort

PERFORMANCE OTTIMALE

Riduzione di buona parte dell'infiltrazione solare

DATI NOTI

Radiazione annua media sul piano orizzontale **5618 MJ/m²¹**

Altezza solare **66,58°²**

Per ottenere la radiazione diffusa viene calcolato il 10% della radiazione media su piano orizzontale che corrisponde a

$$K_d = 10\%(5618) = 56,18 \text{ MJ/m}^2$$

Verranno invece eseguiti diversi calcoli con trasmissività differenti, la prima in assenza di ostacoli per fornire un paragone con le azioni attuate, le successive saranno casistiche di alberature diverse, che grazie al diverso tipo di fogliazione garantiscono diversi apporti di ombreggiamento. Gli alberi selezionati sono specie già presenti nella città, in grado di sopravvivere al clima di riferimento³.

Assenza di ostruzioni t=100

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 60 = 255171,02 \text{ MJ/m}^2$$

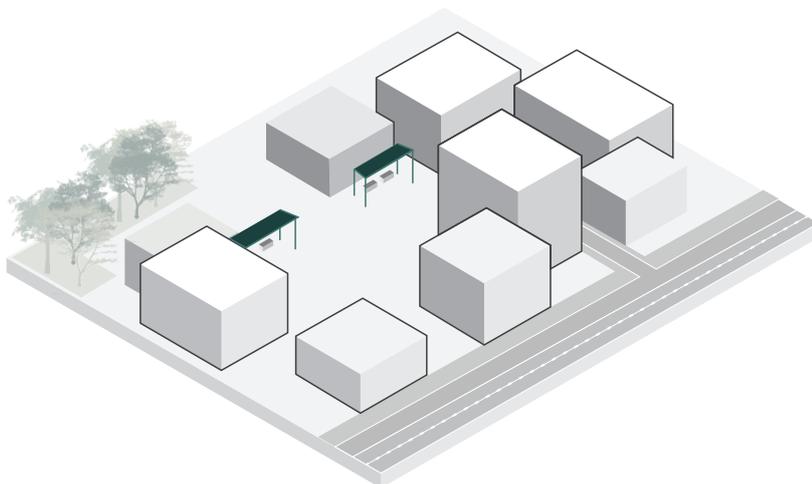
Utilizzo di pergolati

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 30 = 76551 \text{ MJ/m}^2 \text{ poichè la superficie è oscurata in parte}$$

¹ ENEA, Atlante italiano della radiazione solare, consultato in data 25 giugno 2023, < <http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmOrizz/Calcola3.php> >

² SunEarthTool consultato in data 25 giugno 2023 < https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=it >

³ Città metropolitana di Roma, *Censimento dei grandi alberi del territorio metropolitano di Roma Capitale*, < <https://www.cittametropolitanaroma.it/homepage/aree-tematiche/ambiente/aree-protette-tutela-della-flora-della-biodiversita/i-progetti/censimento-dei-grandi-alberi-del-territorio-metropolitano-roma-capitale/#:-:text=Sono%20discretamente%20rappresentati%20i%20platani,%20cero%20campestre%20> >



OBIETTIVO

Ombreggiamento per
creazione comfort

PERFORMANCE OTTIMALE

Riduzione di tutta la
trasmissione solare

DATI NOTI

Radiazione annua media sul piano orizzontale **5618 MJ/m²**

Altezza solare **66,58°**²

Per ottenere la radiazione diffusa viene calcolato il 10% della radiazione media su piano orizzontale che corrisponde a

$$K_d = 10\%(5618) = 56,18 \text{ MJ/m}^2$$

Verranno invece eseguiti diversi calcoli con trasmittività differenti, la prima in assenza di ostacoli per fornire un paragone con le azioni attuate, le successive saranno casistiche di alberature diverse, che grazie al diverso tipo di fogliazione garantiscono diversi apporti di ombreggiamento. Gli alberi selezionati sono specie già presenti nella città, in grado di sopravvivere al clima di riferimento³.

Assenza di ostruzioni t=100

$$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 100 = 255171,02 \text{ MJ/m}^2$$

Utilizzo di coperture fisse

$T = \{[(5618-56,18)/\tan 66,58]/\pi\} * 0 = 0 \text{ MJ/m}^2$ poichè la superficie è completamente oscurata non viene trasmessa radiazione solare

¹ ENEA, Atlante italiano della radiazione solare, consultato in data 25 giugno 2023, < <http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmOrizz/Calcola3.php> >

² SunEarthTool consultato in data 25 giugno 2023 < https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=it >

³ Città metropolitana di Roma, *Censimento dei grandi alberi del territorio metropolitano di Roma Capitale*, < <https://www.cittametropolitanaroma.it/homepage/aree-tematiche/ambiente/aree-protette-tutela-della-flora-della-biodiversita/i-progetti/censimento-dei-grandi-alberi-del-territorio-metropolitano-roma-capitale/#.-:text=Sono%20discretamente%20rappresentati%20i%20platani,%20Acero%20campestre%20> >

Commento

Per quanto concerne le ondate di calore e il caso studio della città di Roma

Come è possibile apprezzare dai risultati ottenuti, le azioni proposte si differenziano sia per efficienza a livello di incremento di performance, sia per vocazione incline a alleviare o mitigare

ALLEVIARE

- C.01 VASCHE D'ACQUA E FONTANE
- C.02 NEBULIZZATORI
- C.07 PERGOLATI
- C.08 COPERTURE FISSE

Queste tipologie di azioni sono volte principalmente ad alleviare gli effetti delle ondate di calore per rendere più confortevoli spazi pubblici all'aperto, come piazze, parchi o percorsi pedonali e di sosta.

Infatti l'utilizzo di queste azioni garantisce un benessere momentaneo ai cittadini, in grado di prevenire malesseri e problematiche derivanti dal caldo troppo intenso.

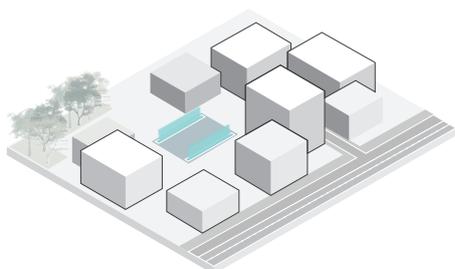
L'utilizzo e la scelta degli interventi proposti non dovrebbe mai essere preso singolarmente ma per un'azione di contrasto efficace alle ondate di calore andrebbero sempre affiancati ad altre soluzioni di natura mitigante.

MITIGARE

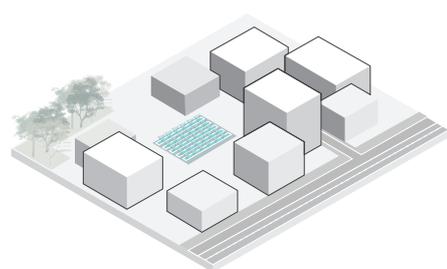
- C.03 DEPAVIMENTAZIONE
- C.04 PIANTUMAZIONE ALBERI
- C.05 VERDE VERTICALE
- C.06 COPERTURE VERDI

Attraverso l'uso di queste azioni si mitigano gli effetti delle ondate di calore attraverso il **fenomeno evapotraspirativo** della vegetazione. Tramite questo fenomeno è possibile infatti **ridurre le temperature** nelle aree immediatamente limitrofe all'intervento, per tale ragione in aree urbane soggette a rischi da ondate di calore intense sono particolarmente consigliate azioni di rinaturalizzazione. Dai risultati ottenuti si evidenzia come la piantumazione di alberi risulti essere la soluzione più efficace che garantisce al **contempo ombreggiamento e riduce notevolmente le temperature**. Ovviamente va tenuto conto lo spazio a disposizione e nella scelta degli alberi andrebbero sempre preferite specie autoctone e resistenti al clima di riferimento. Le azioni di tette e facciate verdi sono particolarmente consigliate in contesti con poco spazio d'intervento a disposizione, in particolare le coperture verdi possono contribuire attivamente alla riduzione delle temperature garantendo maggiore comfort anche all'interno degli edifici.

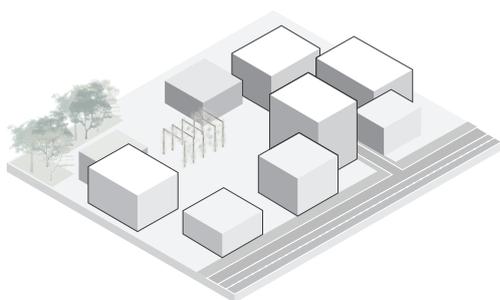
ALLEVIARE
C.01 VASCHE D'ACQUA



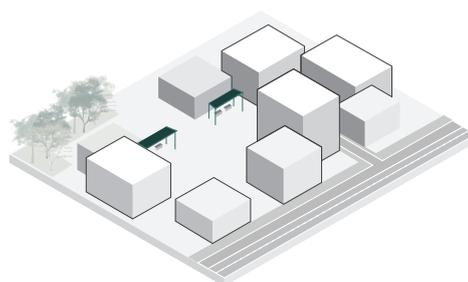
ALLEVIARE
C.02 NEBULIZZATORI



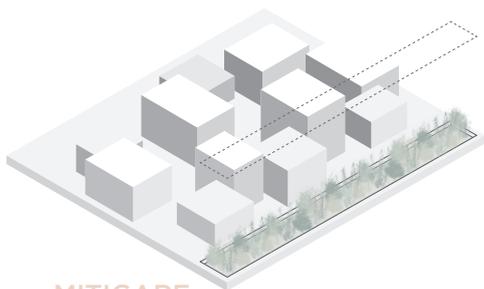
ALLEVIARE
C.07 PERGOLATO



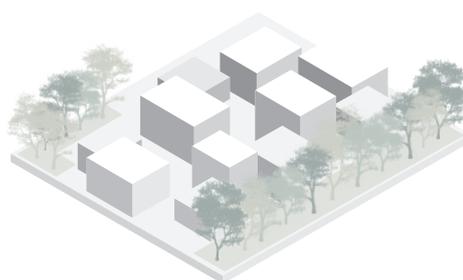
ALLEVIARE
C.08 COPERTURE FISSE



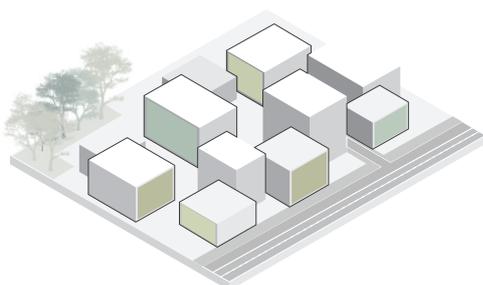
MITIGARE
C.03 DEPAVIMENTAZIONE



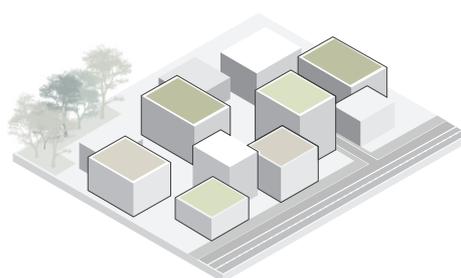
MITIGARE
C.04 PIANTUMAZIONE ALBERI



MITIGARE
C.05 VERDE VERTICALE



MITIGARE
C.06 COPERTURE VERDI



SICCITÀ

S.00

PALERMO

44°41'83"59 N / 12°20'35"29 E

SUPERFICIE (S)	158,9 km²
ABITANTI (2022)	153.740
DENSITÀ	238,23 a/km²
REGIONE CLIMATICA	MEDIT
ZONA CLIMATICA	B

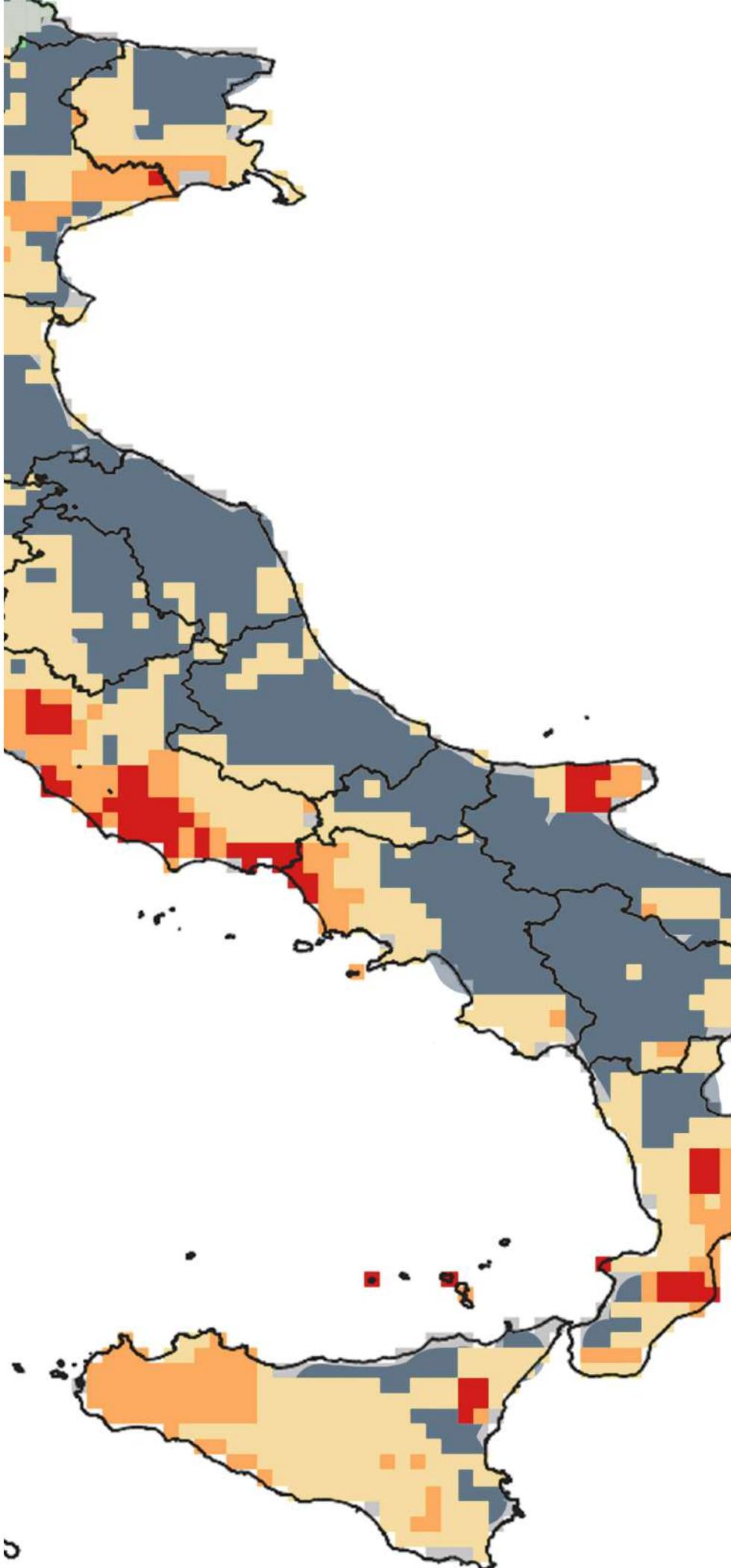
Il caso studio applicativo in merito per la siccità si ubica nel comune di Palermo in Sicilia.

La città è stata fortemente soggetta a onda di calore intense raggiungendo le temperature più elevate in tutta Italia nei periodi estivi. L'assenza di precipitazioni ha però fatto sì che diventassero sempre più frequenti periodi di siccità che hanno costretto le politiche locali ad adottare soluzioni temporanee per risparmiare acqua.

OSSERVATORIO SICCIÀ

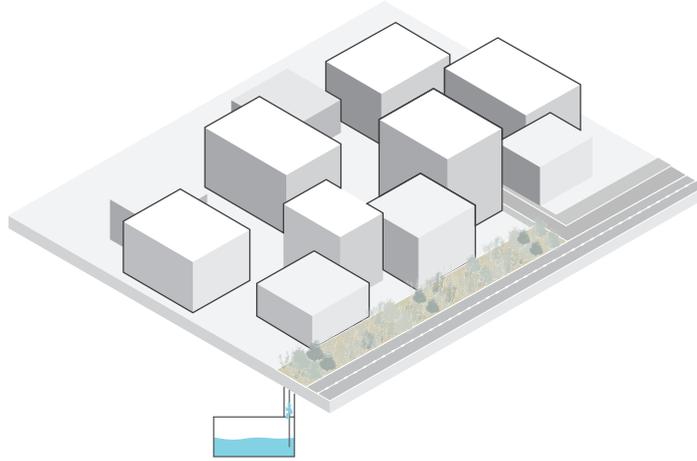
INDICATORI SPI

-  Siccità estrema
-  Siccità severa
-  Siccità moderata
-  Nella norma



S. 01

SERBATOI DI ACCUMULO



DATI NOTI

Precipitazioni totali medie 2022¹ 727,2 mm/anno

Superficie **158,9 km²**

Periodo secco medio 30 gg

Per il calcolo di portata massima viene ipotizzata come area d'intervento 1/5 di quella esistente arrivando a **31,78 km²**

Per il coefficiente di deflusso si considera un verde pensile $8 < S < 10$ ψ 0,60

$$Q = 727,2 * 31,78 * 0,60 = 13866,2 \text{ mm}^3/\text{h}$$

Per la stima del dimensionamento del serbatoio bisogna considerare come portata il minimo valore fra la portata effettiva a disposizione e il fabbisogno annuo per irrigazione ed usi domestici. In questo caso si prenderà a riferimento il secondo che vale 400mm/h

A questo punto è possibile calcolare il dimensionamento del serbatoio seguendo la formula:

$$V = 400 (30/360) = 33,3 \text{ m}^3$$

¹ Arpaè, Precipitazioni, consultato in data 20 giugno 2023
< <https://dati.arpaè.it/dataset/dati-meteoclimatici-comunali> >

Commento

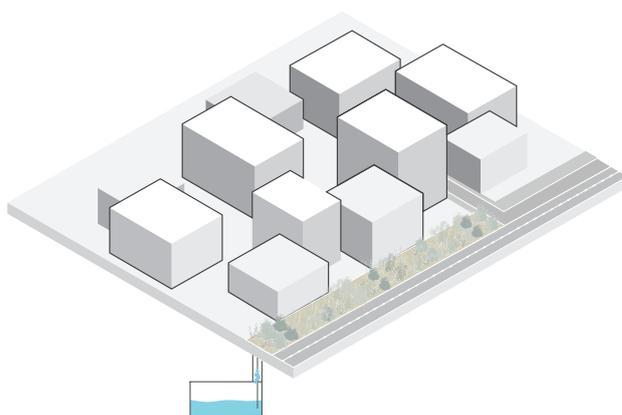
Per quanto concerne le ondate di calore e il caso studio della città di Palermo l'azione proposta promuove la valutazione del grado di siccità e l'inserimento di serbatoi di accumulo per compensare l'evento climatico.

COMPENSAZIONE S.01 SERBATOI DI ACCUMULO

Rispetto alle azioni viste in precedenza per la casistica della siccità non è possibile intervenire direttamente sul fenomeno, se non agendo attraverso buone pratiche, come rinaturalizzazione, ripristino ciclo dell'acqua ecc, che sul lungo termine possono apportare miglioramenti non attualmente verificabili.

L'unica azione proposta prevede l'inserimento di serbatoi di accumulo, che possono essere affiancati a diverse azioni di raccolta delle acque piovane, al fine di garantire una scorta maggiore di acqua da poter utilizzare come fonte aggiuntiva nei periodi di siccità.

COMPENSAZIONE S.01 SERBATOI DI ACCUMULO



CAPITOLLO.9

CONCLUSIONI

Commento risultati applicazione

In questa sezione si riportano i commenti sull'elaborazione scaturita dalle applicazioni operative dei KPI's sintetizzati. L'obiettivo è di fornire un confronto e un'analisi dei risultati verificati.

9.1 Sintesi procedimenti

In conclusione, la struttura di questa tesi si pone in una prospettiva nuova rispetto alla **progettazione urbana abbracciando la tematica dei cambiamenti climatici**, entrata ormai sul tavolo di discussione internazionale ma spesso ancora trascurata,

La decisione di porre l'accento sui **fenomeni climatici estremi** e farne da cardine nello sviluppo del progetto metodologico proposto vuole infatti evidenziare la necessità di intervenire sui cambiamenti ormai in atto.

L'approccio metodologico proposto parte proprio da **un'analisi del territorio italiano** in quanto non è possibile ipotizzare che un'azione strategica possa essere adattabile ovunque e in qualsiasi condizione.

Per tale ragione la guida agli eventi climatici estremi in Italia rappresenta un primo **supporto** utile ad evidenziare le criticità delle diverse aree della penisola. A questa andrebbe ovviamente affiancata un'analisi più dettagliata della città di riferimento, come evidenziato dall'uso di carte di zonizzazione dei rischi nel capitolo dell'approccio metodologico.

Solo a seguito di una presa di coscienza delle problematiche risulta possibile proseguire con la scelta, anche in questo caso però la volontà è stata di porre in primo piano l'evento climatico estremo. Infatti lo sviluppo dell'**abaco di azioni strategiche** non è stato volutamente impostato secondo un'ottica di strategia e soluzioni, ma **partendo dal problema** il progettista può individuare quelle che sono le azioni più adatte.

Per riuscire a guidare la fase di progettazione e pianificazione è risultato necessario l'utilizzo di appositi **KPIs**, attraverso i quali il progettista **valuta le performance attese** delle strategie precedentemente individuate, anche al fine di **gerarchizzare e selezionare** le azioni da realizzare. Lo sviluppo di questa sezione è stato impostato cercando di fornire da prima un manuale teorico, in cui vengono esplicitati i metodi di calcolo e, a seguire, delle applicazioni esemplificative utili a chiarire la procedura.

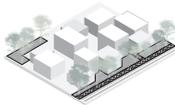
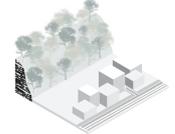
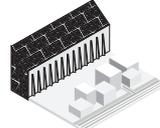
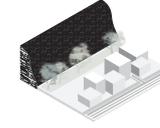
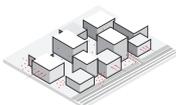
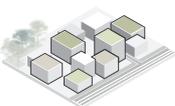
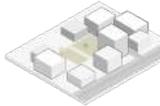
Questo procedimento risulta ancora in fase di studio e attualmente tutti i progetti europei, seppur definendo i KPIs selezionati, non rendono note le procedure o applicazione di calcolo, poichè in fase di monitoraggio e verifica.

Attraverso la **matrice finale** degli interventi si evidenzia la **versatilità** degli interventi proposti e promuove una scelta critica di progetto definito, in base alle necessità e condizioni al contorno specifiche, come spazio a disposizione e costi.

Con questo approccio si è cercato perciò di **semplificare la scelta** di azioni strategiche ma ponderando sempre in base agli eventi climatici estremi. Nel territorio italiano è ormai spesso prevedibile l'effetto che certi fenomeni possono causare, ma l'obiettivo è la volontà e di partire da questi per capire come contrastarli.

9.2 Sintesi dati

Al fine di realizzare una sintesi dei risultati ottenuti dall'applicazione delle azioni, è stata redatta una matrice utile a fornire un quadro completo dell'efficienza di ogni singola azione. Per ogni azione viene fornito un grado di efficienza per l'adattamento o mitigazione dei 6 eventi climatici estremi, questo viene indicato attraverso un punteggio che varia da 0 (l'azione non fornisce alcun miglioramento) a 5 (l'azione apporta un contributo significativo o totale). In questo modo i progettisti saranno in grado di motivare la scelta delle azioni attraverso il supporto di una valutazione qualitativa dei risultati ottenuti.

Azione						
Frane Inquinamento Alluvioni Forti venti Ondate di calore Siccità	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
Note	Soluzione che prevede consumo di suolo, adatta a contesti in cui risulta necessaria la ripavimentazione di strade, piste ciclabili o marciapiedi.	Soluzione che prevede il rimboscimento di versanti instabili in prossimità di aree urbane per sfruttare il potere di tenuta allo sforzo degli impianti radicali, prevede tempi medio-lunghi per la piena efficienza	Soluzione che prevede la piantumazione di versanti instabili con piante dal grande potere di tenuta allo sforzo degli impianti radicali, prevede tempi medi per la piena efficienza e non sempre attuabile per difficoltà d'impianto	L'installazione di opere di sostegno fisse è molto efficace ma compromette l'aspetto paesaggistico e prevede consumi di suolo	L'installazione di opere di sostegno mobili è efficace ma compromette l'aspetto paesaggistico e prevede manutenzioni	Il trattamento delle superfici con materiali fotocatalitici ha marginale efficienza, alti costi e alta energia incorporata
Azione						
Frane Inquinamento Alluvioni Forti venti Ondate di calore Siccità	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
Note	La realizzazione di tetti verdi permette di agire sul patrimonio edilizio esistente senza compromettere l'uso dei suoli. Deve essere sempre considerato però che quest'azione può coinvolgere edifici pubblici e privati.	L'utilizzo di facciate verdi risolve anche il problema delle facciate vuote, assieme al contrastare alcuni eventi climatici estremi. Prima di attuare quest'azione bisogna sempre verificare la tipologia di proprietà.	Il vantaggio dei giardini della pioggia è che richiedono uno spazio limitato in larghezza e si sviluppano in lunghezza. Quest'azione risulta facilmente attuabile se posta a fiancheggiare strade o marciapiedi.	I fossati inondabili sono azioni facilmente attuabili per la poca manutenzione e i costi ridotti. Bisogna però considerare uno spazio in larghezza più ampio, non si adatta infatti a strade di quartiere o simili.	I bacini o parchi inondabili risultano particolarmente efficaci per ondate di calore e alluvioni. È necessaria un'area d'intervento piuttosto ampia per la realizzazione ma è consigliabile in città a rischio elevato.	Le piazze inondabili sono particolarmente consigliate in città in cui un'ampia area di passaggio pubblico è soggetta ad allagamenti frequenti.

Sono state inoltre inserite delle note riassuntive utili ad evidenziare eventuali criticità o preferenze di applicazione.

Il trattamento di pavimentazioni con materiali fotocatalitici ha marginale efficienza, alti costi e alta energia incorporata	Le azioni di depavimentazione risultano essere di facile attuazione in quanto è possibile rimuovere anche piccole o medie porzioni di asfalto in maniera puntuale ma maggiormente sparse nell'area urbana.	La piantumazione di alberi risulta essere una delle soluzioni nel complesso più efficaci, deve però essere sempre considerato lo spazio a disposizione e di conseguenza le specie più adatte da inserire.	Il rallentamento veicolare non presenta dati sull'efficienza riguardo l'inquinamento atmosferico, si considera l'incentivo alla mobilità dolce.	La sostituzione veicolare ha buoni margini di efficienza ma non è sostenibile sul lungo periodo e presenta livelli elevati di energia incorporata.	La sospensione veicolare ha ottimi margini di efficienza ma non è verosimile applicarla nel prossimo futuro se non in brevi tratti.
L'installazione di barriere frangivento è efficace nel rallentamento delle correnti, ma compromette l'aspetto paesaggistico e prevede consumi di suolo	Gli specchi d'acqua e le fontane forniscono un comfort limitato per tale ragione andrebbero affiancate ad azioni che comprendano vegetazione, in modo da aumentarne la performance.	I nebulizzatori un comfort termico limitato per tale ragione andrebbero affiancati ad azioni che comprendano vegetazione o alberi in modo da aumentarne la performance.	L'utilizzo di pergolati è limitato a aree urbane di passaggio pedonale, piazze o parchi urbani. Se affiancati a sedute possono creare aree di comfort termico anche in estate. Si tratta però di interventi puntuali e di azione limitata.	Le coperture fisse possono essere interventi puntuali atti alla copertura di piccole porzioni o estesi, ricoprendo intere piazze o aree pedonali. Sarebbe opportuno affiancare questi sistemi ad altri che comprendano vegetazione o fonti d'acqua.	L'inserimento di serbatoi di raccolta di acqua piovana affiancati ad altri sistemi come giardini della pioggia, non contrasta il problema della siccità, ma permette di avere una risorsa maggiore di acqua da poter gestire.

9.3 Conclusioni

Il quadro teorico iniziale trova esito nell'approccio metodologico proposto, che mira a fornire una **risposta alle crescenti necessità di adattamento e mitigazione** delle aree urbane densamente costruite.

Data l'orizzontalità degli argomenti trattati e la definizione degli step che hanno portato alla determinazione delle fasi e dell'approccio metodologico, è possibile utilizzare e riadattare gli strumenti forniti per sintetizzare nuove azioni d'intervento e corrispondenti valutazioni d'incremento di performance.

La potenzialità di questo approccio è scaturita, quindi, dalla **possibilità di essere incrementato**, definito o addirittura connotato da varianti che mirino all'accrescimento della resilienza urbana, sulla base delle condizioni al contorno e dei dati reperibili.

L'obiettivo preposto di fornire un approccio dedicato ai progettisti che si interfacciano con il territorio italiano per la progettazione resiliente dello spazio urbano, si ritiene soddisfatto sulla base delle informazioni attualmente reperibili.

Infatti, lo sviluppo dei **tre strumenti** distinti e il loro utilizzo sinergico, permette una **valutazione a priori** degli interventi selezionati in fase preliminare e di monitorarne le fasi successive.

Con questo lavoro si vuole dimostrare che, la **resilienza urbana** non deve essere un fattore secondario o conseguente, ma va accuratamente **progettata e monitorata** ed è strettamente dipendente dal contesto di riferimento.

Tramite la fase dimostrativa di applicazione del metodo si evidenzia la stretta relazione alle condizioni al contorno e conseguente unicità del risultato. Pertanto si ribadisce che nonostante l'approccio metodologico sia univoco, l'esito e le informazioni scaturite saranno ogni volta diverse e strettamente legate al caso studio in esame.

Negli ultimi anni l'attenzione e gli investimenti internazionali si stanno indirizzando sempre più verso progetti che permettano una valutazione preliminare, al fine di gestire meglio le risorse e ponderare le scelte verso azioni sostenibili. Si è deciso pertanto di perseguire questa strada e attraverso la letteratura, i dati e le informazioni a disposizione, fornirne una personale elaborazione e apporto.

In conclusione, si auspica che questo documento non sia percepito come concluso o fine a se stesso, ma si vada ad inserire all'interno della discussione come nuovo slancio dell'evoluzione in ambito italiano e rappresenti un punto di partenza per **future applicazioni e approfondimenti**.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia e Sitografia

A

- A. Donati, F. Petracchini, C. Gasparini, L. Tomassetti, C. Montiroli, M. Talluri, C. Leonardi, 2023, '6° RAPPORTO MOBILITARIA 2023', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 24 Maggio, consultato il giugno 2023 < https://www.kyotoclub.org/wp-content/uploads/rapporto_mobilitaria_2023.pdf >
- A. Giusti, 2017, Indice NDVI, consultato a giugno 2023, <<https://physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/#:~:text=Le%20piante%20assorbono%20la%20radiazione,energia%20nel%20processo%20di%20fotosintesi.>>
- A. Kingsborough, K. Jenkins, J. W. Hall, 2017, Development and appraisal of long-term adaptation pathways for managing heat-risk in London, *Climate Risk Management*, Volume 16, pages 73-92
- A. Latini, 2022, 'Energia: 3 °C in meno in casa d'estate con tetti e pareti verdi', ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, 09 giugno, consultato giugno 2023, <<https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradi-in-meno-in-casa-destate-con-tetti-e-pareti-verdi>>
- A. N. Majidi et al., 2019, Planning Nature-Based Solutions for Urban Flood Reduction and Thermal Comfort Enhancement. *Sustainability*. 2019; 11(22):6361.
- A. Ranfa, 'Quercus robur', scheda monotematica, consultato giugno 2023, <https://www.lifeclivutspringames.education/wp-content/uploads/2020/04/2_1_8_2>
- A.Palla, L. G. Lanza, P. La Barbera, 2008, A green roof experimental site in the Mediterranean climate
AEOLIAN, RSE, consultato maggio 2023, <<http://atlanteeolico.rse-web.it/>>
- Agenzia Europea dell'ambiente, 2022, 'Emissioni prodotte dai trasporti nell'UE', consultato maggio 2023, <https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32034/20220602PHT32034_original.jpg>
- AMI Alberi Monumentali D'Italia, anno n.d., Problematiche strutturali e stabilità degli alberi, Corpo Forestale dello Stato, Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale, consultato giugno 2023, <[file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/05_Stabilit___degli_alberi_Criterio_Ecologico_AMI%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/05_Stabilit___degli_alberi_Criterio_Ecologico_AMI%20(2).pdf)>
- andrighettilegnami, Pioppo - Populus nigra - alba, consultato maggio 2023, <https://andrighettilegnami.it/wp-content/themes/ix-andrighetti2/docs/Download/Schede%20tecniche/SCHT_ITA-ENG/PIOPPO.pdf>
- ANFIA, 2022 'circolazione autovetture per provincia e potenza nel 2021', consultato giugno 2023, <<https://www.anfia.it/it/automobile-in-cifre/statistiche-italia/parco-circolante>>
- ANIT, 2020, 'PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI TETTI VERDI', consultato maggio 2023, <<https://www.anit.it/wp-content/>

uploads/groups-file-access/ManualeANIT-Tetti-verdi.pdf>

APAT, 2002, 'Atlante delle opere di sistemazione dei versanti', Manuali e linee guida, consultato maggio 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003400/3486-atlante-versanti-2edizione.pdf/>

APAT, 2016, 'Fenomeni di dissesto geologico - idraulico sui versanti', consultato maggio 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003400/3462-manuale-2006-39.pdf>

ARGO Società tecnica di servizi e di consulenza avanzata, 2017, Pannelli vegetali verticali per pulire l'aria: City trees installati a Modena, la nuova tecnologia green in città, consultato maggio 2023, https://www.argoit.com/it/sezione_id,2/newssez_id,258/pannelli-vegetali-verticali-per-pulire-l-aria-city-trees-installati-a-modena-la-nuova-tecnologia-green-in-citta/comunicati/print.html

ARPA Lazio, 2022, Dati rete micro-meteorologica, consultato a giugno 2023, <<https://www.arpalazio.it/rete-micro-meteorologica>>

ARPA, 2022, il consumo di suolo in Italia: Trasformazioni in atto e attività di monitoraggio, consultato a giugno 2023, <https://webgis.arpa.piemonte.it/agportal/apps/MapSeries/index.html?appid=a69317f87a5745a0b556526579755e37>

Arpae, 2022, Tabelle climatologiche, consultato a giugno 2023, <<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima/dati-e-indicatori/tabelle-climatiche>>

ARPAE, 'Lo strato limite planetario', consultato maggio 2023, <<https://simc.arpae.it/ctn/meteo/pbl.htm>>

Asla professional award, 2012, Village of Yorkville park, Toronto, consultato a maggio 2023, <<https://www.asla.org/2012awards/034.html>>

Associazione Studenti di Agraria IAAS Sassari, 2012, 'il vento', consultato maggio 2023, <https://iaassassari.files.wordpress.com/2012/07/6-il-vento.pdf>

B

B. Scharf, F. Kraus, 14 settembre 2019, Green Roofs and Greenpass, Buildings 2019, 9, 205

C

C. Criado et al., 21 marzo 2018, KPI-Driven Methodology for Urban Renovation at District Level. Sustainable Strategic Urban Planning,

CarbonBrief, 2021, 'Met office: Atmospheric CO2 now hitting 50% higher than pre-industrial levels', 16 marzo, consultato maggio 2023, <https://www.carbonbrief.org/met-office-atmospheric-co2-now-hitting-50-higher-than-pre-industrial-levels/>

Centro Euro-Mediterraneo sui cambiamenti climatici, 2021, Analisi del rischio: i cambiamenti climatici in sei città italiane, consultato il 30 marzo 2023, <<https://www.cmcc.it/it/rischio-clima-citta-2021>>

Cesaratto, P, De Carli, M, 2010, Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti, ENEA, settembre, https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/4-univ-pd-ob-b-1.pdf

Christian Aid, Dicembre 2022, Counting The Cost 2022: A year of climate breakdown
città metropolitana, 2019, 'strategie e misure di adattamento al cambiamento climatico nella Città Metropolitana di Milano', consultato maggio 2023, https://www.cittametropolitana.mi.it/export/sites/default/Life_Metro_Adapt/documenti/BARRIERE-VERDI_fin.pdf

Clever Cities, About the project, consultato a maggio 2023, <<https://clevercities.eu/the-project/>>

CNR , Viewer Zone di Allerta, consultato maggio 2023

CNR, 2008, 'Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni', 19 febbraio, consultato maggio 2023, <file:///C:/Users/MSI%20GF75/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/GKL3L5MO/IstruzioniCNR_DT207_2008_230619_082158[1].pdf>

CNR, 2019, 'Velocità del vento, uno studio fa luce sul modo migliore per prevederla', consultato maggio 2023, <<https://www.insalutenews.it/in-salute/velocita-del-vento-uno-studio-fa-luce-sul-modo-migliore-per-prevederla/>>

Comune di Milano, '2.4 Energia ed emissioni climalteranti', consultato maggio 2023, <https://www.pgt.comune.milano.it/vasraall2-quadro-di-riferimento-territoriale-e-ambientale/2-analisi-dei-fattori-determinanti/24-energia-ed-emissioni-climalteranti>

Comune di Milano, 2020, 'Applicazioni per il regolamento per la qualità dell'aria', consultato maggio 2023, <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/ambiente/aria-e-clima/applicazioni-per-il-regolamento-qualita-dell-aria>

Comune di Milano, 2021, Riportare il verde in città, < file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/COMUNE%20MILANO_Riportare%20il%20verde%20in%20citta%E2%95%A0%C3%87_%2014.07.2021.pdf>

Comune di Milano, 3.1.1 Struttura complessiva degli usi del suolo, 2015, Tabella 3.1 Uso del suolo sul territorio comunale in valori percentuali, consultata il 18 giugno < https://www.pgt.comune.milano.it/sites/default/files/allegati/RA_All2_Tabella_3_1.pdf>

Comune di Milano, 3.1.1 Struttura complessiva degli usi del suolo, 2015, Tabella 3.1 Uso del suolo sul territorio comunale in valori percentuali, consultata giugno 2023 < https://www.pgt.comune.milano.it/sites/default/files/allegati/RA_All2_Tabella_3_1.pdf>

Comune di Milano, l a.2.1) Gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico a Milano, consultato in data 22 giugno < https://partecipazione.comune.milano.it/processes/piano-aria-clima/f/19/proposals/86?component_id=19&locale=it&participatory_process_slug=piano-aria-clima >

D

D. Armson, P. Stringer, A. R. Ennos, 2013, The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK, Urban Forestry & Urban Greening, Volume 12, Issue 3, pages 282-286

D. P. P. Mbarep et al., 2021, The green open space functions as a water catchment area and a source of thermal comfort, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 716 012127

De Urbanisten, 2014, Middelfart, even beautiful when it rains, consultato a maggio 2023, <<https://www.urbanisten.nl/work/middelfart>>

Demitri, M, 2023, 'Zona 30 e Città 30. Cosa sono esattamente? Confronti, dubbi e risposte, consultato maggio 2023, <<https://www.marcodemitri.it/moderazione-traffico-citta-zone-30/>>

E

EKLIPSE, 2016, An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects, report

ENEA, 2021, 'Infrastrutture "verdi" per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e la qualità del microclima nelle aree urbane', consultato maggio 2023, https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/tecnologie-efficienza-risparmio-edifici/report-rds_ptr_2019_042.pdf

ENEA, 2022, 'Energia: 3 °C in meno in casa d'estate con tetti e pareti verdi', 09 giugno, consultato maggio 2023, <https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradi-in-meno-in-casa-destate-con-tetti-e-pareti-verdi>

Eurac Research, D 3.1 Guidelines on knowledge baseline creation and data collection, consultato il 20 aprile 2023, <https://varcities.eu/resources/deliverables/d3-1-guidelines-on-knowledge-baseline-creation-and-data-collection/>

European Commission, Marzo 2021, Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners,

European Environment Agency, 2019, 'Trends in atmospheric concentrations of CO₂ (ppm), CH₄ (ppb) and N₂O (ppb), between 1800 and 2017', 27 novembre, consultato maggio 2023

F

F.Mosca, K. Perini, 3 novembre 2022, Reviewing the Role of Key Performance Indicators in Architectural and Urban Design Practices. Sustainability 2022, 14, 14464

G

G4C and partners, novembre 2016, D2.1 – System of integrated multi-scale and multithematic performance indicators for the assessment of urban challenges and NBS, Nature4Cities

GeoClimAlp, 2021, Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi, consultato maggio 2023, <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>

Giunta regionale, regione Toscana, 2018, Linee guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l'assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono, consultato giugno 2023 <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/4058647/Allegato+1+Linea+guida+Piantumazione+31_10_2018.pdf/c99d86e0-811d-44da-836e-adb6f255f28c>

Green City Accord, 2 maggio 2022, Nota esplicativa su monitoraggio e rendicontazione e Serie di indicatori obbligatori, M&R | Set di indicatori obbligatori

H

H. Pazwash. 03 Feb 2016, Hydrologic Calculations from: Urban Storm Water Management CRC Press

I

I. Allegrini, 2003, 'Relazione tecnica malte cementizie fotocatalitiche (eco rivestimento) per la riduzione dell'inquinamento atmosferico', Consiglio Nazionale delle Ricerche, 20 marzo, consultato giugno 2023, <file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/Relazione%20CNR%20Ivo%20Allegrini.pdf>

INAF- Osservatorio astronomico di Palermo, Le precipitazioni annuali, consultato a maggio 2023, <https://www.astropa.inaf.it/le-precipitazioni-annuali/>

Isonio, M, RE SOIL Foundation, 2021, 'L'Italia sta franando. Piantiamo nuovi alberi per frenare il dissesto', 26 febbraio, consultato maggio 2023, <https://resoilfoundation.org/ambiente/nuovi-alberi-contro-dissesto/>

ISPRA 2022, rapporto 'indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico', consultato giugno 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/r363-2022.pdf>

ISPRA, 2012, 'Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico', Manuali e linee guida, consultato maggio 2023

ISPRA, 2017, 'Fattori di emissione atmosferica di CO2 e altri gas a effetto serra nel settore elettrico', Rapporti, consultato maggio 2023

ISPRA, 2021, Inventario dei fenomeni franosi d'Italia (IFFI), 'Rischi geologici e naturali', consultato maggio 2023

ISPRA, 2021, Inventario dei fenomeni franosi d'Italia (IFFI), Report annuario dei dati ambientali, Carrello indicatori, consultato maggio 2023

ISPRA, 2021, CARTA DELL'INDICE DI FRANOSITA' DEL TERRITORIO NAZIONALE, consultato maggio 2023, https://www.progettoiffi.isprambiente.it/wp-content/uploads/2023/02/Carta_A0_IF_griglia1km_2022.pdf

ISPRA, 2021, 'Le emissioni del trasporto stradale in Italia', 16 aprile, consultato maggio 2023, https://www.isprambiente.gov.it/files2021/eventi/evento16apr2021_emissioni_strada.pdf

ISPRA, 2022, Idrogeo, Piattaforma Italiana Dissesto Idrogeologico, consultato giugno 2023

ISPRA, 2022, 'Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico', Rapporti, consultato maggio 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/r363-2022.pdf>

ISPRA, '6.1 Qualità dell'aria', Allegato Salute.gov, consultato maggio 2023, https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_dettaglioPNI_1018_allegati_allegati_itemName_0_allegato.pdf

ISPRA, ATAP, 2012, Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico, Manuali e linee guida

Ispira, Sistema Nazionale per la protezione dell'ambiente, 2022, Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio

Ispira, Sistema Nazionale per la protezione dell'ambiente, IRSA CNR, 2018, Linee guida sugli indicatori di siccità e di scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori permanenti per gli utilizzi idrici

ISPRA, 'Specie di piante maggiormente utilizzate nelle opere di Ingegneria Naturalistica', consultato maggio 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/files/337.pdf>

ISPRA, 'Tipologia di opere e tecniche di ingegneria naturalistica', consultato maggio 2023, <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00000400/431-tb-battistella3.pdf>

ISTAT CensimentoPopolazioneAbitazioni 2011, 'edifici residenziali', consultato il giugno 2023, http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES

Istat, 2017, Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia

Istituto Biometereologia di Bologna, 2017, 'Calcolo della Carbon footprint per l'abbattimento delle emissioni tramite piantumazione, rielaborazione da Centro di Ricerca Nazionale di Bologna', 29 giugno, consultata giugno 2023

Istituto federale di ricerca WSL, 2017, 'Una vegetazione diversificata protegge dalle frane', consultato maggio 2023, <<https://www.waldwissen.net/it/ecosistema-bosco/funzione-di-protezione/suolo-e-caduta-sassi/vegetazione-diversificata-protegge-dalle-frane>>

J

J. Kukadia , M. Lundholm, I. Russell, 2018, Designing Rain Gardens: A Practical Guide, Urban Design London

J.Ortuño (GMV), J. Feroso (CARTIF), giugno 2019, D5.1: Technical KPIs Definition, URBAN GreenUP SCC-02-2016-2017 Innovation Action - GRANT AGREEMENT No. 730426

K

Kyoto Club - CNR, 2022, quinto rapporto MOBILITARIA 2022, 'Mobilità Urbana, emissioni di gas serra e qualità dell'aria nelle 14 città metropolitane'

Kyoto Club - CNR, 2023, sesto rapporto MOBILITARIA 2023, 'Mobilità 2030: Aria pulita, decarbonizzazione e spazi sicuri nelle grandi città italiane'

L

L. de Tommasi et all., 9 luglio 2018, Model-Based Comparative Evaluation of Building and District Control-Oriented Energy Retrofit Scenarios, Building

L. González et all., maggio 2018, D1.1: NBS Catalogue, URBAN GreenUP SCC-02-2016-2017 Innovation Action - GRANT AGREEMENT No. 730426

La Stampa, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', 30 settembre, consultato maggio 2023, <https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTIxXzlwMjltMDktMzBfVExC>

Langhammer, D, Kullgren, J, Österlund, L, 2022, 'Adsorption and Oxidation of NO₂ on Anatase TiO₂: Concerted Nitrate Interaction and Photon-Stimulated Reaction', consultato maggio 2023, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscatal.2c03334>

Legambiente, 2013, Il clima cambia le città, Atti conferenza, Promotore IUAV

Legambiente, 2022, Forum degli Appennini, Rapporto 2022, consultato maggio 2023, <https://www.legambiente.it/wp-content/>

uploads/2022/12/forum-appennini-rapporto-2022.pdf

M

M. da Silva et al., 2019, Assessing the Retention Capacity of an Experimental Green Roof Prototype

M. Rozanska, Gennaio 2019, D1.12: First Stage. Integration and articulation of the methodology, Urban Green Up, Innovation Action - GRANT AGREEMENT No. 730426

M. T. Salomoni, 2015, Gli alberi e la città, Rebus REnovation of public Building and Urban Spaces - 2° edizione

MIMS, 2022, 'Guida sul risparmio di carburante e emissioni di CO2 delle autovetture', 'Tabella 2: Autovetture circolanti al 31-12-2021 suddivise per alimentazione', consultata giugno 2023

Ministero dello Sviluppo economico, 2022, 'Guida sul risparmio di carburante e sulle emissioni di CO2 delle autovetture', consultato maggio 2023, https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Guida_CO2_Anno_2022.pdf

MonItto, 'Introduzione ai sistemi di monitoraggio dei fenomeni franosi', CNR, consultato maggio 2023, <https://monito.irpi.cnr.it/introduzione/>

N

Nature4Cities, 2018, Nature4Cities built a multi-scalar and multi-thematic Nature Based Solutions typology, consultato a maggio 2023, < <https://www.nature4cities.eu/post/nature4cities-multi-scalar-and-multi-thematic-nature-based-solutions-typology>>

O

Osservatorio CittàClima di Legambiente, 2022, Il Clima è già cambiato: gli impatti di siccità e caldo estremo sulle città, i territori e le persone, Unipol

P

P. Cesaratto, M. De Carli, 2010, 'Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti', ENEA, 1 settembre, consultato il 19 giugno, https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/4-univ-pd-ob-b-1.pdf

P. Kumar et al., 2020, Toward an operationalisation of nature-based solutions for natural hazards, Science of The Total Environment, Volume 731

P. Kumar et al., 2021, An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards, Earth-Science Reviews, Volume 217

Papini, M, 1987, 'Landslides classification. Extract from a meeting in Lecco about landslides', engeology, consultato maggio 2023, https://www.engeology.eu/sites/default/files/event-attach/landslides_classification_part_ii_0.pdf

Ponte, caratteristiche fisiche e meccaniche legno da costruzione cipresso, consultato maggio 2023, <PONTEWEB/PROGETTAZIONE_PONTEWEB/D_materialiinschede/Legnamidacostruzione/PDF/cipresso.pdf>

R

R. Betts, 2021, 'Met Office: la CO2 atmosferica ora raggiunge il 50% in più rispetto ai livelli preindustriali', CarbonBrief, 16 Marzo, consultato giugno 2023, <https://www.carbonbrief.org/met-office-atmospheric-co2-now-hitting-50-higher-than-pre-industrial-levels/>

R.Farmani, D. Butler, 7 novembre 2013, Implications of Urban Form on Water Distribution System Performance, Springer Link

R.Sanchez, settembre 2020, D1.16: Second Methodology Validation, URBAN GreenUP SCC-02-2016-2017 Innovation Action - GRANT AGREEMENT No. 730426

Redazione ANSA, 2023, 'CO2 a 417 parti per milione, mai così alta da 2 milioni anni', ANSA, 10 gennaio, consultato giugno 2023, https://www.ansa.it/bannernews/notizie/breaking_news_eco/2023/01/10/-co2-a-417-parti-per-milione-mai-cosi-alta-da-2-milioni-anni_cd3c2f2d-72b6-488d-8564-e103b9fa5623.html

S

S. Colombatto, Tesi di Laurea Magistrale, 'Analisi energetica del sistema elettrico nazionale e valutazione delle emissioni di CO2 dirette ed indirette della filiera elettrica italiana', Politecnico di Torino, a.a. 2018/2019, consultata Giugno 2023, <https://webthesis.biblio.polito.it/12364/1/tesi.pdf>

S. Gillner et al., 2015, Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites, Landscape and Urban Planning, Volume 143, pages 33-42

S. Voltaggio, 2020, Evapotraspirazione, Manuale del geologo, consultato a maggio 2023, < <https://manualedelgeologo.it/evapotraspirazione/> >

S. Voltaggio, 2020, Formulario di idrogeologia, Manuale del geologo, consultato a maggio 2023, <<https://manualedelgeologo.it/formulario-di-idrogeologia/>>

S.E.Debele et al., 2019, Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases, Environmental Research 179, 108799

S.Esposito, febbraio 2022, Quanta pioggia è caduta sulle regioni italiane nel 2021? Un'analisi dell'andamento pluviometrico sul territorio nazionale nell'anno appena concluso, consultato a maggio 2023, <http://www.pianetapsr.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2679#:~:text=Il%20totale%20di%20pioggia%20annuale,corrispondente%20a%20circa%20%2B9%25.>

SardegnaForeste, 2022, 'LA STORIA DELL'EUCALYPTUS E DELLE BONIFICHE SARDE', 05 maggio, consultato maggio 2023, <https://www.sardegnaforeste.it/notizia/la-storia-delleucalyptus-e-delle-bonifiche-sarde>

Saskatchewan, 'Progettazione generale e requisiti: Porosità frangivento', consultato giugno 2023 <https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/livestock/cattle-poultry-and-other-livestock/cattle/portable-windbreak-fences>

Scudo, G, Ochoa de la Torre, J.M., 2003, 'Spazi verdi urbani', Gruppo editoriale Esselibri, Simone, Sistemi editoriali SE, Professionisti, tecnici e imprese

Se-woon Hong, In-Bok Lee, H. Hwang, 2014, 'Modelling Wind Velocity Patterns for Windbreak Fence Design', consultato maggio 2023, <https://www.semanticscholar.org/paper/Modelling-Wind-Velocity-Patterns-for-Windbreak-De-Hong-Lee/96c83bb5053fc78a39f240c7af7fdbd8ac4bc764>

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2020, Qualità dell'aria in Italia, Report di sistema

SLA, 2020, Sankt Kjelds Square and Bryggervange, Landezine International Landscape Award, consultato ad aprile 2023, <https://landezine-award.com/sankt-kjelds-square-and-bryggervangen/>

SWMM, 2017, Runoff Coefficient in Infosewer and InfoSWMM, consultato a giugno 2023, <https://swmm5.org/2017/11/06/runoff-coefficient-in-infosewer-and-infoswmm/>

T

T. Blume, E. Zehe, A. Bronstert, 2007, Rainfall- Runoff Response, Event-Based Runoff Coefficients and Hydrograph Separation, Hydrological Sciences Journal

TELEBORSA, 2022, 'Gli italiani e l'auto: da parco circolante a km percorsi, i numeri', La Stampa, 30 settembre, consultato giugno 2023 < <https://finanza.lastampa.it/News/2022/09/30/gli-italiani-e-lauto-da-parco-circolante-a-km-percorsi-i-numeri/MTlxXzIwMjltMDktMzBfVExC> >

The Clean Water Team Guidance Compendium, 2011, Runoff coefficient, Fact sheet-5.1.3

Timberpolis, caratteristiche fisiche e meccaniche legno eucalipto, consultato maggio 2023, <https://www.timberpolis.it/s305201-Eucalyptus-globulus>

U

UNIRC, 2017, Effetti della distribuzione di reflui agrumari, consultato maggio 2023, <https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1462_2017_430_28442.pdf>

Università degli studi di Ferrara, 2021, Costruzione di strade: Le opere di sostegno, materiale didattico sezione di ingegneria, consultato maggio 2023, [file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/09_Opere%20di%20sostegno_2021%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/MSI%20GF75/Downloads/09_Opere%20di%20sostegno_2021%20(2).pdf)

Università degli studi di Ferrara, 'Rischio idrogeologico: fenomeni franosi' consultato maggio 2023, <https://www.unife.it/scienze/lm.geologia/insegnamenti/geomorfologia-applicata/materiale-didattico/FRANE%20NOMENCLATURA%20ED%20INTERVENTI.pdf>

UOL, settembre 2020, D1.4: Baseline Calculation Procedure, URBAN GreenUP SCC-02-2016-2017 Innovation Action - GRANT AGREEMENT No. 730426

Urban Green Up, 20 giugno 2023, URBAN GreenUP Legacy: Lessons learnt on NBS implementation in the iURBAN GreenUP cities- Handbook

V

V. Dessì, E. Farnè, L. Ravanello, M.T. Salomoni, 18 settembre 2018, Rigenerare la città con la natura: strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, Regione Emilia-Romagna, Politecnico di Milano, Maggioli editore

V. Lobis, E. Brudi, G.Maresi, P. Ambrosi, 2022, 'Valutazione della stabilità degli alberi', Sile 2, progetto convenzionato con PAT e CNR, consultato giugno 2023, https://www.formazione3t.it/wp-content/uploads/2014/03/Lobis_Valutazione_stabilita_alberi_Sherwood_78_2002.pdf

V. Tedeschini, A. Ferré, U. Ferrari, G. D'Arco, 2017, La radiazione solare, Nuovo basi agronomiche territoriali per le produzioni vegetali, Capitolo 2

Valeri, M, 2022, ' Venti da uragano sul Gran Sasso, superati i 188 Km/h al Duca degli Abruzzi', 15 settembre, consultato maggio 2023, <https://www.neveappennino.it/previsioni-meteo/venti-da-uragano-sul-gran-sasso-superati-i-188-km-h-al-duca-degli-abruzzi/>

W

W. Hynes, J. Sweeney, S. Lynch, D. Rood (FAC), 28 giugno 2019, D7.1 Approach and Methodology for Monitoring and Evaluation, Work Package 7, Task 7.1, City Change

Weather Spark, 'Condizioni climatiche e meteo medie tutto l'anno a Campobasso', consultata giugno 2023, <<https://it.weatherspark.com/y/77039/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Campobasso-Italia-tutto-l'anno>>

Weather Spark, 2022, Dati clima Roma, consultato a giugno 2023, <<https://it.weatherspark.com/download/71779/Scarica-i-dati-clima-per-Roma-Italia>>

WeatherSolve Structures, 'Wind protection', consultato maggio 2023, <https://www.weathersolve.com/wind-protection/>

Wen's Phoenixx Corp., 'TABELLA DI CONVERSIONE DEL LIVELLO DEL VENTO, DELLA VELOCITÀ DEL VENTO E DELLA PRESSIONE DEL VENTO', consultato maggio 2023, <https://www.highpeaktent.com/it/page/Tabella-di-conversione-del-livello-del-vento-della-velocit-del-vento-e-della-pressione-del-vento/beaufort-scale-wind-speed-and-wind-pressure.html>

-

2019, 'Un milione di auto entrano a Milano ogni giorno, Sala: "Più trasporto pubblico e metrò fino a Monza per ridurle"', La Repubblica, 14 aprile, consultato giugno 2023 < https://milano.repubblica.it/cronaca/2019/04/14/news/milano_area_b_un_milione_di_auto_al_giorno_entrano_in_citta_-223983302/>

Ringraziamo i nostri relatori Valentina Serra e Corrado Carbonaro, per averci insegnato ad affrontare le sfide con autonomia e determinazione e per averci permesso di affrontare delle tematiche per noi importanti e stimolanti dal punto di vista della ricerca condividendone l'interesse.

