

PROGETTAZIONE DI OPERE PER L'INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA

Superfici a verde per la gestione delle acque meteoriche in area urbana



Ilaria Gnecco

Ilaria.gnecco@unige.it



*Dip. di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale –
Scuola Politecnica Università degli Studi di Genova*

centro
studi

IDRAULICAurbana

Centro Studi Idraulica Urbana



Indice

- * Le infrastrutture verdi
- * I benefici ambientali e la gestione dei deflussi
- * La copertura continua a verde
 - Tecniche costruttive;
 - Le normative di riferimento
- * L'impatto delle infrastrutture verdi a scala del singolo intervento
 - Aspetti quantitativi ed Aspetti qualitativi
- * L'impatto delle infrastrutture verdi a scala del bacino urbano
 - Scenari di conversione e resilienza idrologica
- * Conclusioni
- * Riferimenti bibliografici

Introduzione

Quale direzione prendere per costruire città «WATER-WISE»
(città che valorizzano sapientemente la risorsa idrica) ?

- ✓ Trovare soluzioni alle sfide attuali per la *gestione dell'acqua* in contest urbano;
- ✓ Implementare strategie di gestione rivolte alla *resilienza ed alla sostenibilità* dell'ambiente urbano

→ Il percorso prevede:

- ✓ **5 atti** rivolti alla gestione sostenibile della risorsa idrica;
- ✓ **4 livelli** di azioni



1 Regenerative Water Services

- Replenish Waterbodies and their Ecosystems
- Reduce the Amount of Water and Energy Used
- Reuse and Use Diverse Sources of Water
- Apply a Systems Approach for Integration with Other Services
- Increase the Modularity of Systems for Multiple Options

2 Water Sensitive Urban Design

- Enable Regenerative Water Services
- Design Urban Space to Reduce Flood Risk
- Enhance Livability with Visible Water
- Modify and Adapt Urban Materials to Minimise Environmental Impact

3 Basin Connected Cities

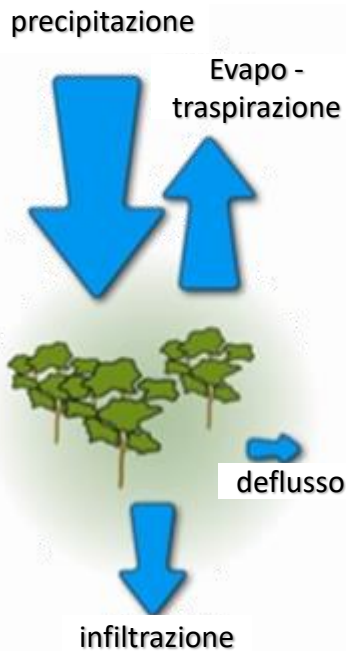
- Secure Water Resources and Plan for Drought Mitigation
- Protect the Quality of Water Resources
- Plan for Extreme Events

4 Water Wise Communities

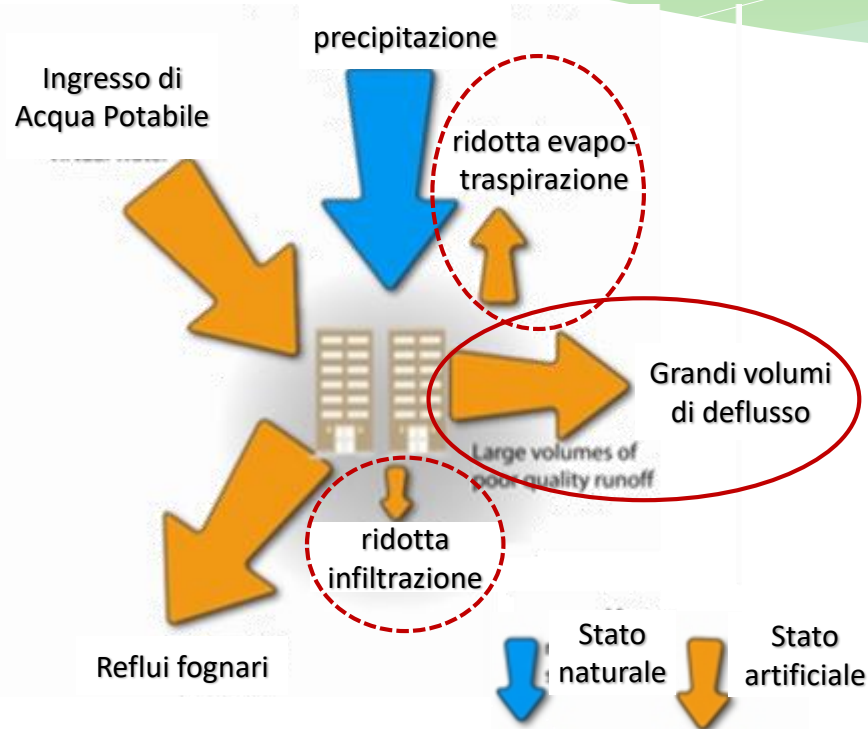
- Empowered Citizens
- Incentivized Professionals
- Transdisciplinary Planning Teams
- Progressive Policy Makers
- Leaders that Engage and Engender Trust

Le infrastrutture verdi

Ciclo idrologico naturale



Ciclo idrologico convenzionale in area urbana



La pericolosità idraulica cresce con l'aumentare dell'urbanizzazione →

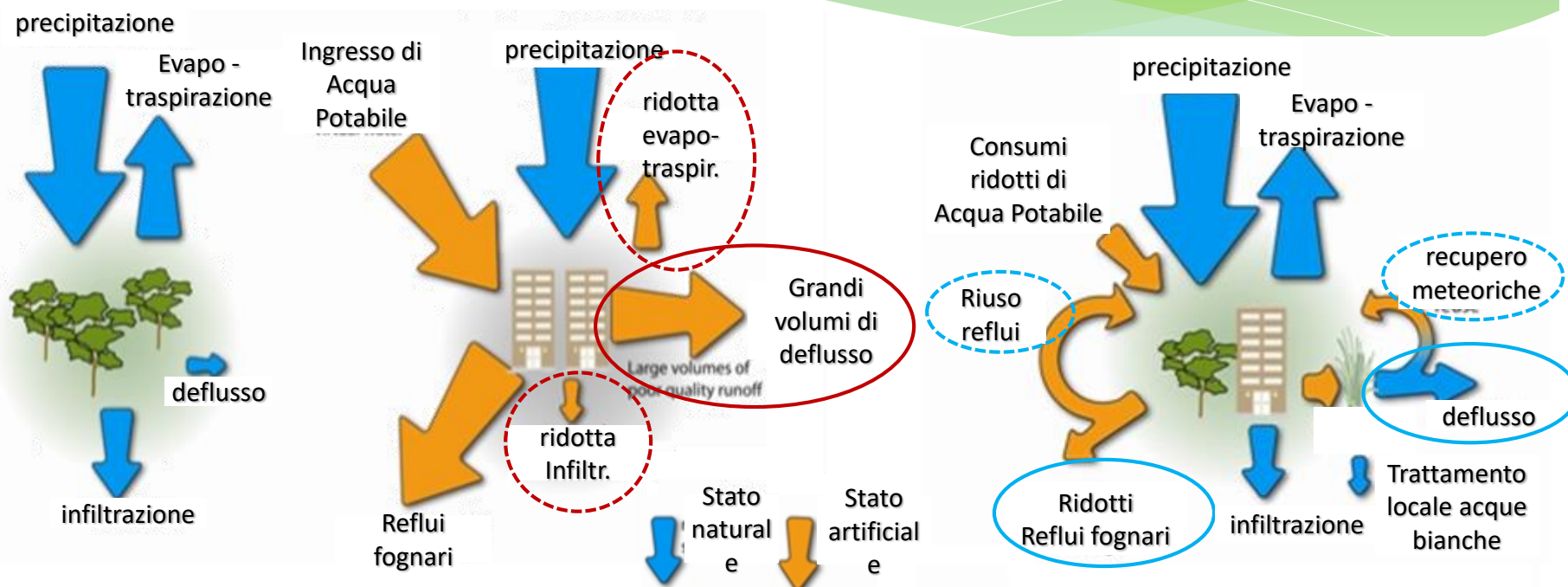
il contributo al deflusso superficiale aumenta mentre l'infiltrazione in aree permeabili così come l'evapotraspirazione (principalmente nelle aree verdi) si riduce

Le infrastrutture verdi (II)

Ciclo idrologico naturale

Ciclo idrologico convenzionale
in area urbana

Ciclo idrologico SOSTENIBILE



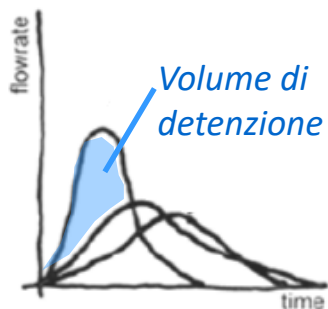
→ I sistemi di drenaggio urbano sostenibile consentono di ripristinare i processi del ciclo idrologico naturale e di minimizzare l'impatto dell'urbanizzazione

Gestione deflussi meteorici

* In ambiente urbano le infrastrutture verdi contribuiscono a:

→ l'invarianza idraulica

DETENZIONE



Immagazzinamento e lento rilascio

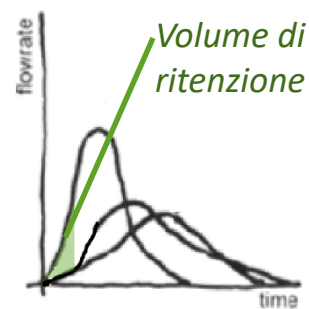


- Attenuazione del picco;
- Ritardo nel conferimento.

Pavimentazioni permeabili, coperture a verde, giardini drenanti...

→ l'invarianza idrologica

RITENZIONE



→ **Immagazzinamento e lenta dispersione in atmosfera**

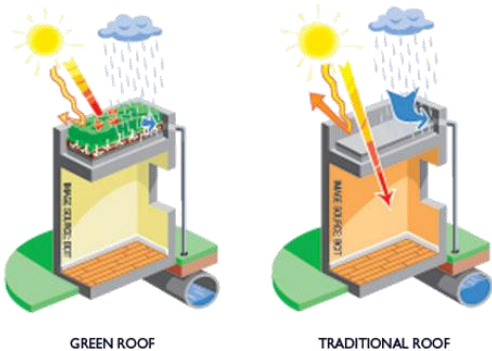


- Riduzione del volume di scorrimento superficiale.

Bacini di infiltrazione, lagunaggi, cunette inerbite, ecc.

I benefici ambientali

* Quali sono i benefici ambientali delle superfici a verde?



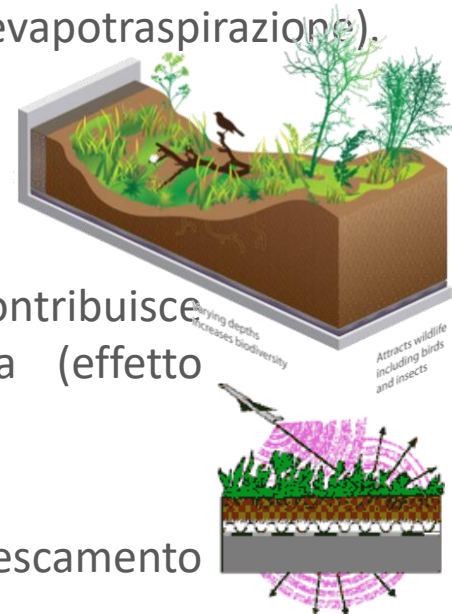
- **Ripristino del ciclo idrologico naturale:** contribuisce al controllo della generazione dei deflussi superficiali (ripristino parziale dei processi di infiltrazione ed evapotraspirazione).
- **Riduzione isola di calore urbana:** la presenza di vegetazione in aree densamente urbanizzate contribuisce a ridurre le temperature dell'ambiente circostante (evapotraspirazione).

- **Conservazione della biodiversità:** mitiga l'impatto antropico sulla perdita della biodiversità contribuendo a ripristinare superfici a disposizione di flora e fauna .

- **Riduzione inquinamento dell'aria:** la vegetazione (fotosintesi) contribuisce alla riduzione dell'anidride carbonica e dei nitrati in atmosfera (effetto serra). Il raffrescamento favorisce il deposito delle polveri sottili.

- **Riduzione inquinamento acustico:** abbatte i rumori da sorvolo .

- **Riduzione consumi energetici:** riduzione dei costi di raffrescamento dell'edificio.



La copertura a verde

* Che cos'è il verde pensile?

→ Il verde pensile (detto anche in alcune sue versioni tetto verde, oppure copertura continua a verde, o copertura vegetata) è un **sistema tecnologico** utilizzato quale soluzione costruttiva per la copertura anche parziale di un generico corpo di fabbrica (manufatto edilizio) con lo scopo di garantire le condizioni di vita nel tempo di uno strato di vegetazione programmato.

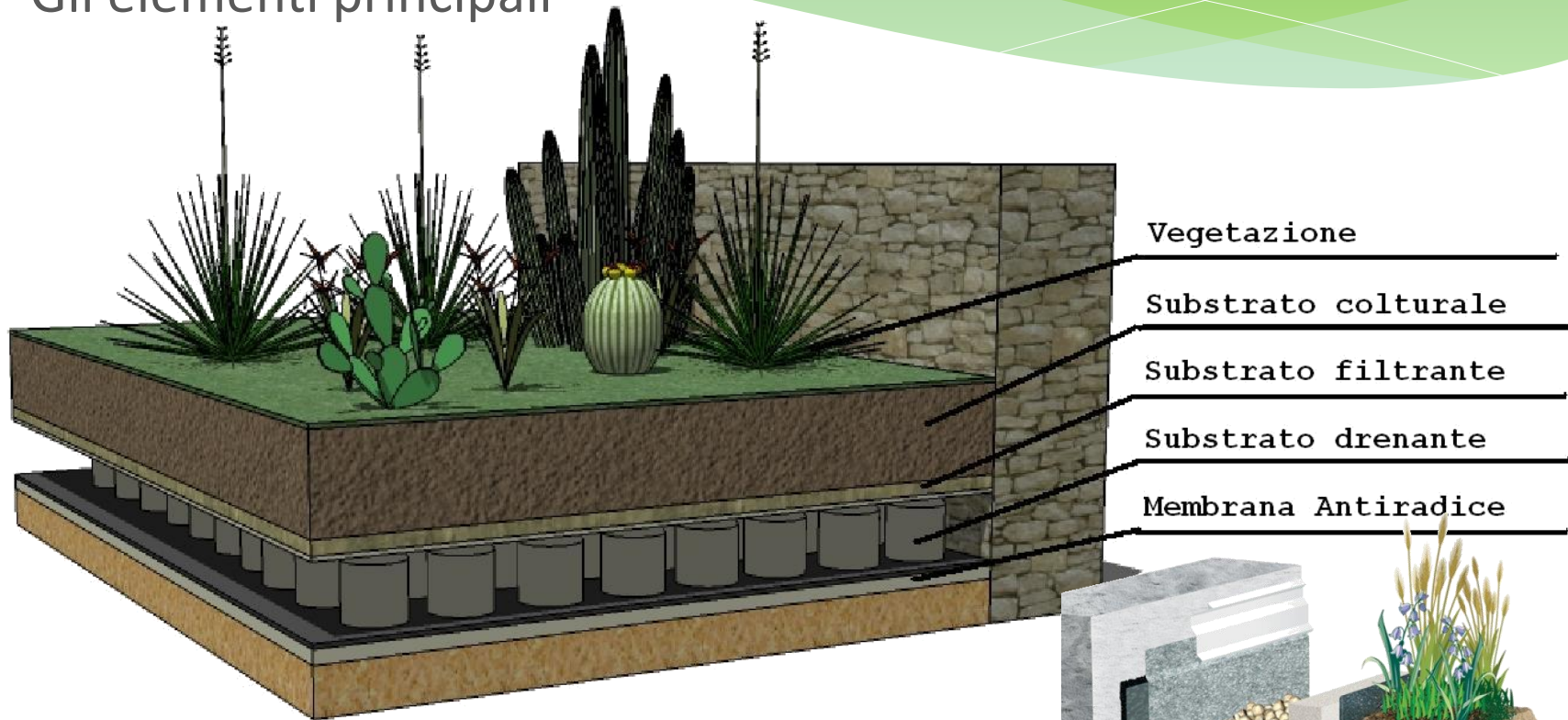
→ La **capacità di regimazione idrica** di un copertura a verde è funzione:

- ✓ delle caratteristiche costruttive (composizione dello strato drenante, inclinazione del tetto, ecc.) e del tipo di vegetazione;
- ✓ delle condizioni meteo-climatiche (regime della precipitazione, evapotraspirazione potenziale, contenuto di umidità del sistema, ecc.)
- ✓ della diffusione delle coperture a verde pensile sul territorio urbanizzato.



Le tecniche costruttive (I)

* Gli elementi principali



Dettaglio di soluzione sui bordi



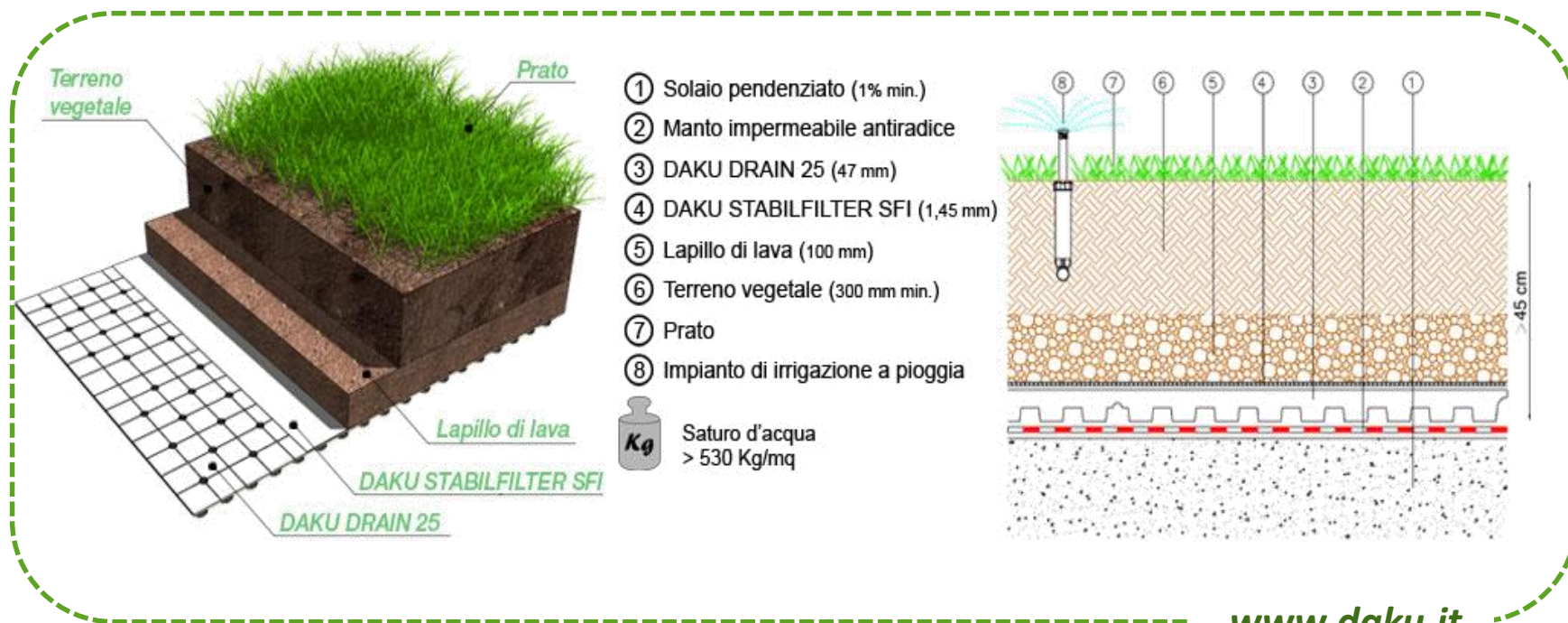
Le tecniche costruttive (II)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Intensivo**

- Sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi nelle condizioni in cui sono poste ma che richiedono una elevata manutenzione in funzione delle tipologie di specie vegetali
 - Tipologie di vegetazione: erbacee, erbacee perenni, arbusti, suffrutici, cespugli, alberi, similmente alle realizzazioni a verde di tipo tradizionale.
- Richiede uno spessore minimo del terreno di almeno 30 cm nel caso di sistema intensivo, di 15 cm nel caso di intensivo leggero
- Determina un sovraccarico di $\sim 400-750 \text{ kg/m}^2$
- Richiede una adeguata manutenzione ed irrigazione
 - Media nel caso di sistema intensivo leggero
 - Elevata nel caso di sistema intensivo
- L'inverdimento intensivo è utilizzato soprattutto ai fini di fruibilità della copertura come spazio per attività all'aperto ed a fini estetici

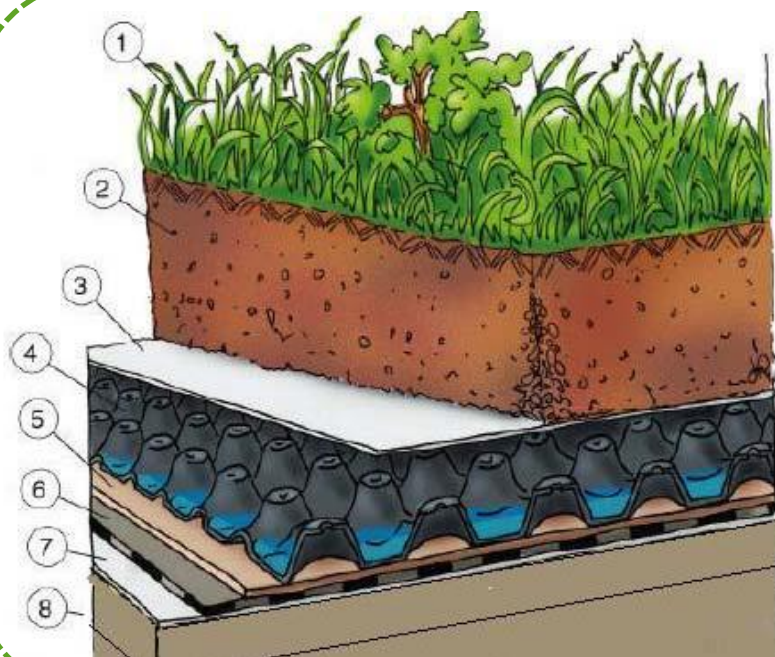
Le tecniche costruttive (III)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Intensivo a prato**



Le tecniche costruttive (IV)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Intensivo Leggero a tappezzanti arbustive**



1. Vegetazione
2. Miscela di **substrato SEIC** per inverdimenti intensivi (spessore 15-25 cm).
3. Telo filtrante **MediFilter MF 1**
4. Strato di accumulo, drenaggio aerazione **MediDrain 40** (ca. 4 cm)
5. Feltro di protezione e accumulo **MediPro MP500**
6. Impermeabilizzazione antiradice in membrana sintetica **HarpoPlan ZDUV**
7. Eventuale geotessile di compensazione
8. Strato di pendenza in malta cementizia (pendenza >1 %)

Le tecniche costruttive (V)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Estensivo**

- Sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi nelle condizioni in cui sono poste. Le specie sono caratterizzate da una elevata capacità di insediamento
 - Tipologie di vegetazione: piante perenni e sempreverdi, prato naturale, erbe aromatiche, sedum.
- Richiede uno spessore minimo del terreno di 8 – 12 cm
- Può richiedere l'impiego di uno strato termo-isolante
- Determina un sovraccarico di ~ 60-250 kg/m²
- Richiede oneri di manutenzione ridotta ed irrigazione solo di soccorso
- L'inverdimento estensivo è normalmente utilizzato con funzioni di variazione delle condizioni ambientali interne ed esterne all'edificio. Normalmente, l'accessibilità della copertura è di sola manutenzione e la fruibilità è ridotta.

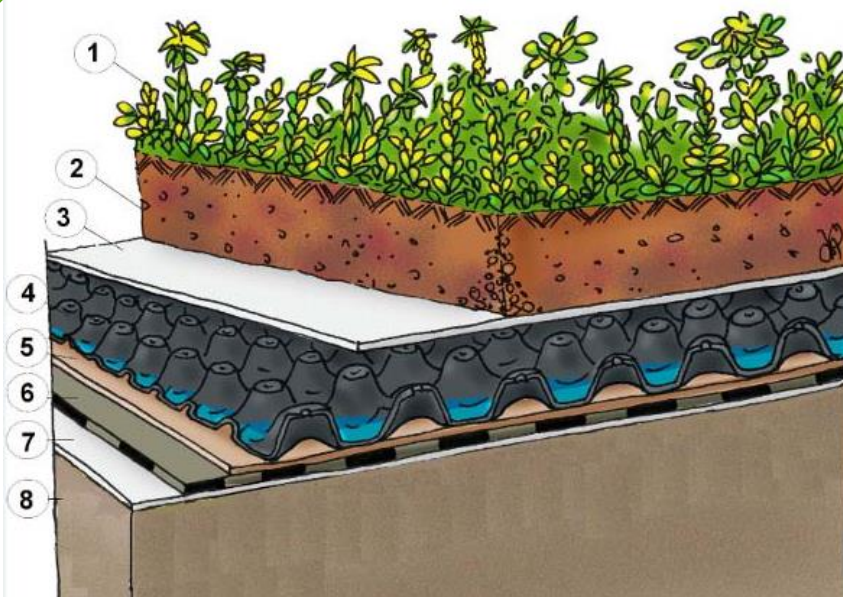
Le tecniche costruttive (VI)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Estensivo a Sedum**



Le tecniche costruttive (VII)

* Stratigrafia a Verde Pensile **Estensivo a prato naturale**



1. Vegetazione
2. Miscela di **substrato SEIC** per inverdimenti estensivi (12 cm).
3. Telo filtrante **MediFilter MF 1**
4. Strato di drenante **MediDrain** (ca. 2,5 cm)
5. Feltro di protezione e accumulo **MediPro MP300**
6. Impermeabilizzazione antiradice in membrana sintetica **Harpoplan ZDUV**
7. Strato di regolarizzazione: geotessile
8. Strato di pendenza in malta cementizia (pendenza >1 %)



La normativa di riferimento (I)

- * Le linee guida per la progettazione, realizzazione, manutenzione e collaudo delle coperture a verde pensile sono state introdotte nel 2007 a partire da:
 - Esperienze professionali di progettisti e produttori;
 - Linee Guida di altre nazioni europee
 - “Guidelines for the Planning, Execution, and Upkeep of green roofs sites” redatte da FLL Tedesca (prima edizione del 1982)



UNI 11235 (2007) “Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture a verde”

- * Sono state pubblicate le linee guida ministeriali
“Verde pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico” (ISPRA 2012).



La normativa di riferimento (II)

UNI 11235 (2007)

«La norma definisce i criteri di **progettazione, esecuzione, controllo e manutenzione** di coperture continue a verde, in funzione delle particolari situazioni di contesto climatico, di contesto edilizio e di destinazione d'impiego»

- Le specifiche e i criteri di calcolo per la progettazione di tutti gli elementi costituenti una copertura a verde;
- I materiali ed i componenti per ogni elemento costituente il sistema
- Le caratteristiche principali ed i requisiti minimi in relazione a specifiche installazioni
- Indicazioni sulla posa dell'elemento di tenuta e dell'elemento di protezione all'azione delle radici
- Controllo dell'insediamento della vegetazione;
- Collaudo dell'elemento di tenuta
- Operazioni di manutenzione ordinaria del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche;
- Operazioni di manutenzione programmata degli elementi vegetali



Alcuni esempi (I)

- * Palazzo Albini, Genova – Sistema Intensivo





centro
studi

DRALICA
urbana

I. Gnecco

Alcuni esempi (II)

- * Viale Brigate Partigiane (Copertura Torrente Bisagno), Genova
– Sistema Intensivo leggero





Alcuni esempi (III)



- * Centro commerciale, Firenze – Sistema Intensivo

Il sito sperimentale



L'Università di Genova ha convertito la copertura a verde esistente in un *sito sperimentale*.

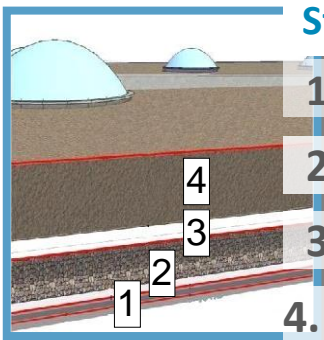


Realizzato nel **2007** i collaborazione con Comune di Genova e AIVEP

Lapillo e **Pomice** sono materiali vulcanici con elevato contenuto di Fe_2O_3 , CaO , K_2O

La copertura vegetale è un mix di prato naturale e piante **graminacee**

Stratigrafia (Spessore = 40 cm)



1. Geotessile → protezione meccanica guaina
2. **Lapillus** → strato drenante
3. Geotextile → funzione filtrante
4. **VULCAFLOR** → strato colturale

(miscela di lapillo, pomice e materiale organico)

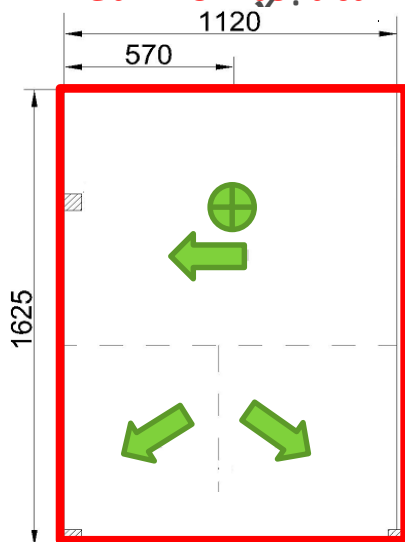
La stazione di misura (I)

* Misure di QUANTITÀ

Precipitazione

- ✓ Pluviometro a vaschette basculanti (Stazione meteorologica CAE SP-102);

Area Monitorata

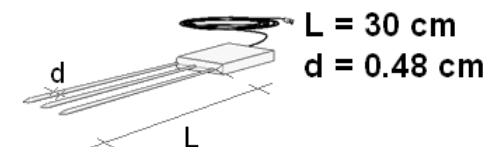


Deflusso sub-superficiale

- ✓ Stramazzo triangolare accoppiato a sensore di livello + sistema volumetrico a vaschette basculanti;

Contenuto di umidità

- ✓ 4 sonde TDR (Campbell Scientific CS605-L)



Le sonde sono installate in orizzontale lungo il profilo verticale del baricentro del sottobacino principale

- ⊕ 4 TDR (2 nello substrato drenante + 2 nel substrato colturale)

Il contenuto di umidità del suolo è determinato dall'equazione di Topp (*Topp, et al., 1980*)

La stazione di misura (II)

* Misure di QUALITÀ

Precipitazione:



- ✓ Dispositivo ad un'altezza di 1.5 m sopra la copertura (superficie di captazione pari a 10^3 cm²)
- ✓ Primo serbatoio di raccolta (capacità 8 l);
- ✓ Secondo serbatoio (20 l)



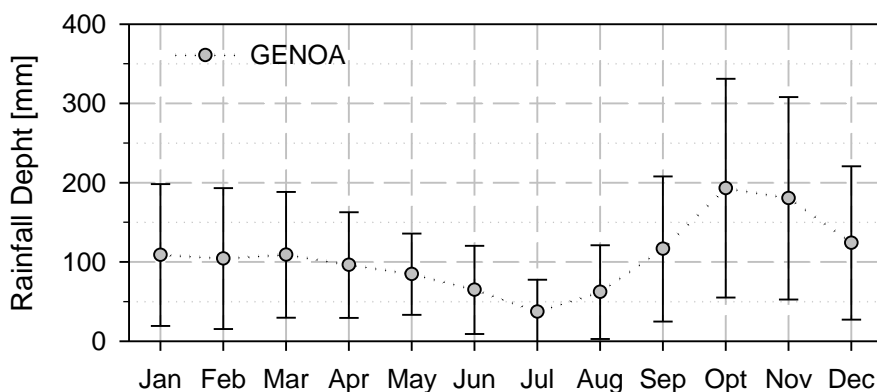
Deflusso sub-superficiale:

- ✓ Campionatore automatico: prelievi del campione direttamente dalla sezione terminale della copertura a verde;
- ✓ 24 bottiglie di plastica (1l)

Regime pluviometrico a Genova

- * Serie storica di osservazioni pluviometriche (Villa Cambiaso **1990-2012**)

→ Precipitazione mensile



→ Caratteristiche degli eventi

	Altezza (mm)	Durata (h)	Inter-evento (g)
μ	20.2	11	5.1
σ	35.2	11.8	5.4

- ✓ Altezza della precipitazione annuale superiore a 1300 mm;
- ✓ Elevata piovosità: Ottobre in media 200 mm;
- ✓ Modesta piovosità: Luglio in media 50 mm.

- ✓ Altezza media d'evento pari a 20 mm ;
- ✓ Periodo di inter-evento medio pari a 5.1 giorni.

→ Il regime di precipitazione tipico dell'area mediterranea è caratterizzato da eventi **meno frequenti** e con **altezze più elevate** se confrontati con i climi del Nord-Europa.



Le prestazioni idrologiche (I)

Aspetti quantitativi

* Programma di monitoraggio presso il sito sperimentale di Genova

Dati Osservati:

- Dati di precipitazione con risoluzione del minuto misurati in sito
- Misurazioni di livello in continuo per la misura indiretta della portata (deflusso sub-superficiale)
- Contenuto di umidità del suolo con risoluzione del minuto ottenuto dalle 4 sonde TDR

Eventi Monitorati:

- Eventi di precipitazione con altezza totale superiore a 8 mm;
- Eventi di precipitazione caratterizzati da un periodo di tempo secco superiore a 12 h (idoneo per separare i deflussi di due eventi consecutivi).

Le prestazioni idrologiche (II)

Aspetti quantitativi

Variabili utilizzate per quantificare le prestazioni idrologiche:

→ Volume Ritenuto = $(V_{Rain} - V_{GR}) / V_{Rain}$

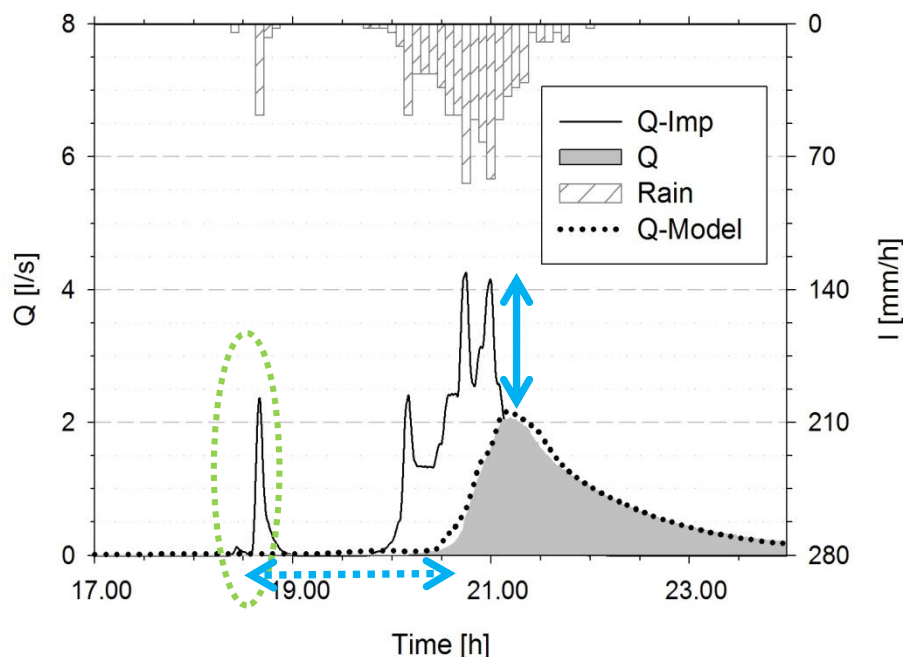
V_{Rain} : Volume di precipitazione

V_{GR} : Volume di deflusso sub – superficiale della copertura a verde

→ Riduzione del Picco = $(Q_{IR} - Q_{GR}) / Q_{IR}$

Q_{IR} : Portata di picco della copertura tradizionale

Q_{GR} : Portata di picco della copertura a verde



→ Caratteristiche evento di precipitazione

- Intensità max 5 min: 84 mm/h
- Portata di Picco: 2.05 l/s
- Altezza Precipitazione: 59 mm
- Tempo secco antecedente: 48 h

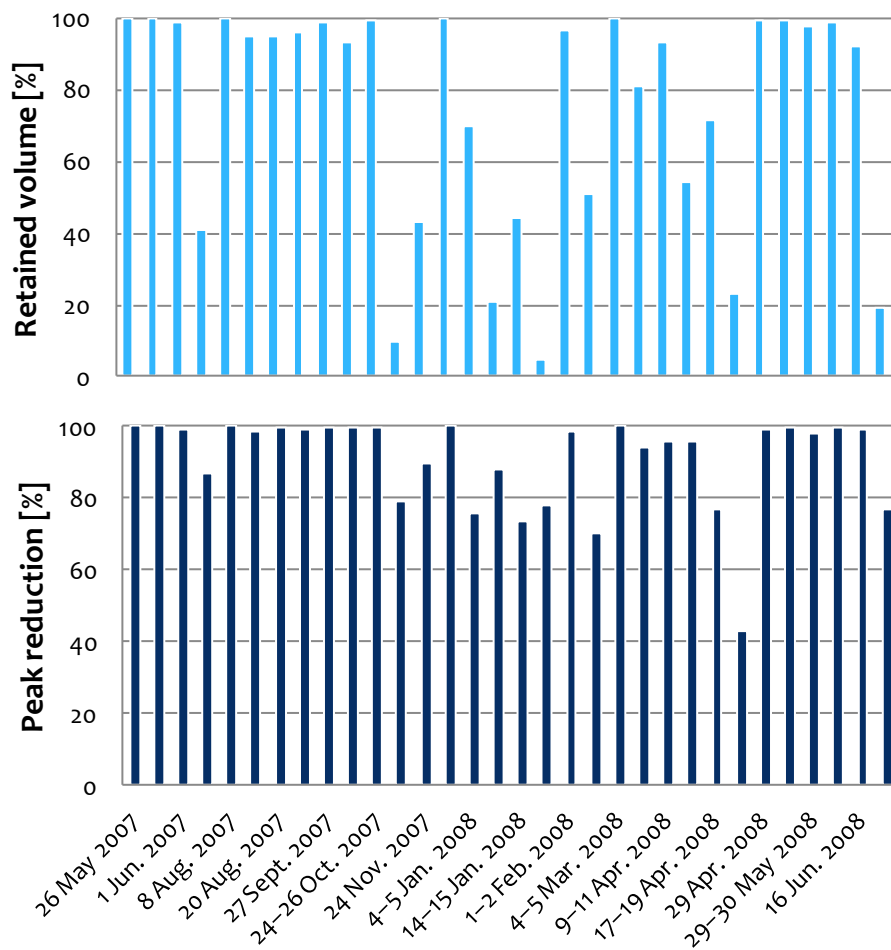
→ Prestazioni idrologiche

- **Riduzione del volume:** 18%
- **Abbattimento del picco:** 52%

Le prestazioni idrologiche (III)

Aspetti quantitativi

* Programma di monitoraggio presso il sito sperimentale di Genova



Nel periodo Maggio 2007 - Giugno 2008 sono stati misurati 32 eventi di pioggia

- ✓ Ruscellamento superficiale non è mai stato osservato;
- ✓ Il volume ritenuto varia tra 5 e 100% con un valor medio pari a 74.6%;
- ✓ La riduzione del valore della portata di picco varia tra 41 e 100% con un valor medio pari a 91%;

Evento	Volume Ritenuto (%)	Riduzione del Picco (%)
Media	74.6	91.1
Mediana	94	98.7
Dev. Std.	32.2	13.1



Il monitoraggio qualitativo (I)

* Programma di monitoraggio presso il sito sperimentale di Genova

Dati Osservati

- Campione singolo a scala d'evento di DEPOSIZIONE ATMOSFERICA totale (deposito secco e umido)
- Fino a 24 campioni compositi di **deflusso subsuperficiale** su distribuzione temporale uniforme (max di 120 prelievi effettuati ad intervalli di 5 minuti)

Profilo analitico di ciascun campione prelevato

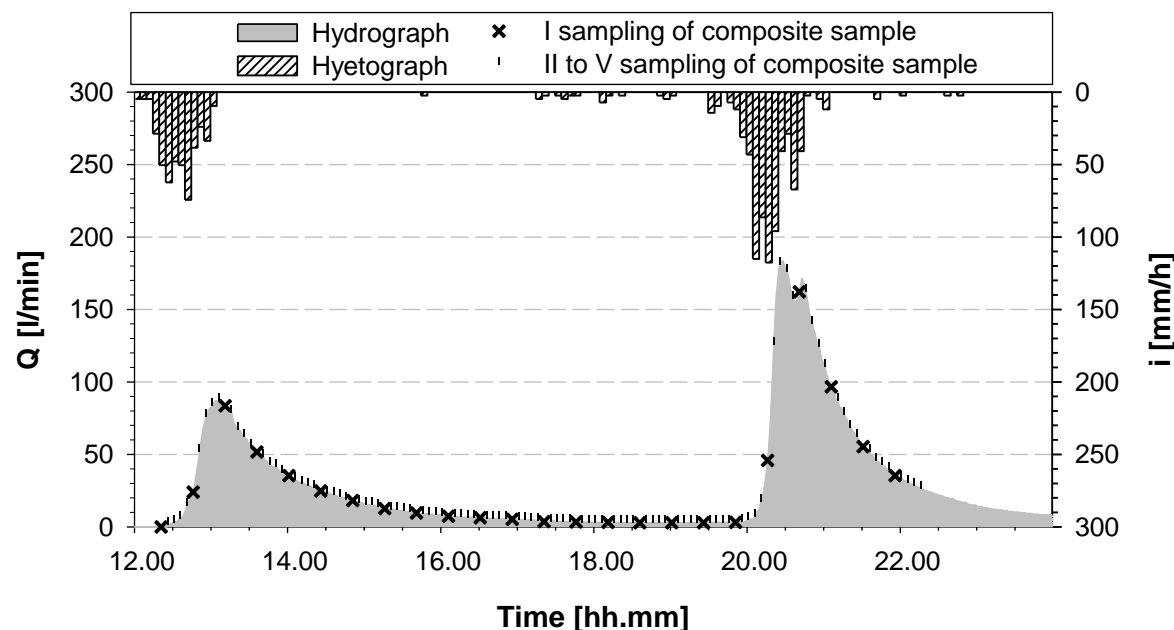
- pH;
- Conducibilità Elettrica (EC);
- Solidi Sospesi Totali (SST);
- Solidi Disciolti Totali (SDT);
- Richiesta Chimica di Ossigeno (COD);
- Metalli Disciolti (rame – Cu, zinco – Zn, ferro – Fe, manganese – Mn, calcio – Ca, potassio– K)

Evento Monitorato :

- Evento di precipitazione che produce deflusso sub-superficiale;
- Evento di precipitazione caratterizzato da un periodo di tempo secco antecedente di almeno 12 h (sufficiente a garantire l'esaurimento della coda dell'idrogramma).

Il monitoraggio qualitativo (II)

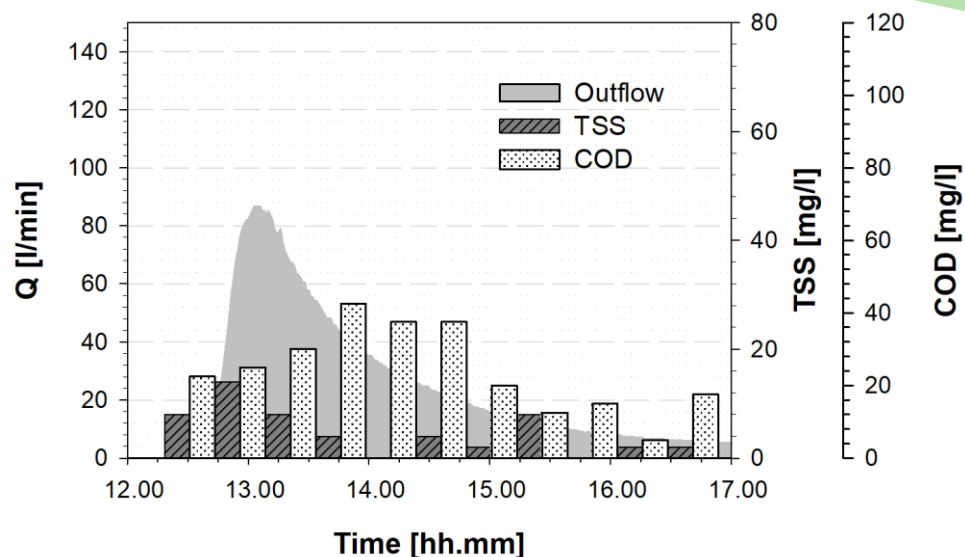
- * Programma di monitoraggio presso il sito sperimentale di Genova



Ottobre-Dicembre 2010 → sono stati caratterizzati 6 eventi di precipitazione

Il monitoraggio qualitativo (III)

* Programma di monitoraggio presso il sito sperimentale di Genova



A scala del singolo evento meteorico viene adottata la **Concentrazione Media d'Evento (EMC)** per confrontare il carico inquinante dilavato nei diversi eventi di precipitazione

$$EMC = \frac{M}{V} = \bar{C} = \frac{\int_0^T c(t)q(t)dt}{\int_0^T q(t)dt}$$

La concentrazione media pesata sul volume d'acqua meteorica → rapporto tra massa inquinante complessivamente dilavata e corrispondente volume d'acqua defluito

Il monitoraggio qualitativo (IV)

Parametro	1 EMC_{in}		2 EMC_{out}	
	Media	Dev. Std.	Media	Dev. Std.
pH [-]	5.4	0.7	7.1	0.4
EC [μ S/cm]	20.7	8.6	64.6	16.2
TSS [mg/l]	2.9	4.2	2.8	3.2
TDS [mg/l]	20.7	9.5	99.0	17.1
COD [mg/l]	2.64	6.06	18.1	10.4
Cu [μ g/l]	44	26	38	32
Fe [μ g/l]	100	151	121	26
Mn [μ g/l]	3.28	1.13	1.73	0.68
Zn [μ g/l]	77	77	32	30
Ca [μ g/l]	1437	888	4421	755
K [μ g/l]	478	215	3189	533

- ✓ L'effetto **tampone** operato dalla **copertura** sulla **precipitazione acida** incidente: il pH medio della precipitazione è pari a 5.4 mentre quello del deflusso è superiore a 7;
- ✓ I valori di concentrazione del **Cu** sono confrontabili; Il substrato della copertura contribuisce al rilascio di **Fe** in accordo con le caratteristiche dello stesso; Lo **Zn** può essere imputato al deposito atmosferico;
- ✓ Il substrato della copertura è la fonte principale di **calcio e potassio**.

- Il carico di materiale solido dilavato dalla copertura a verde è limitato anche rispetto alle coperture tradizionali;
- La concentrazione di metalli pesanti osservati nel deflusso sono inferiori a quelli osservati nel dilavamento delle superfici urbane.

L'impatto a scala di bacino (I)

Area residenziale di Colle Ometti a Genova

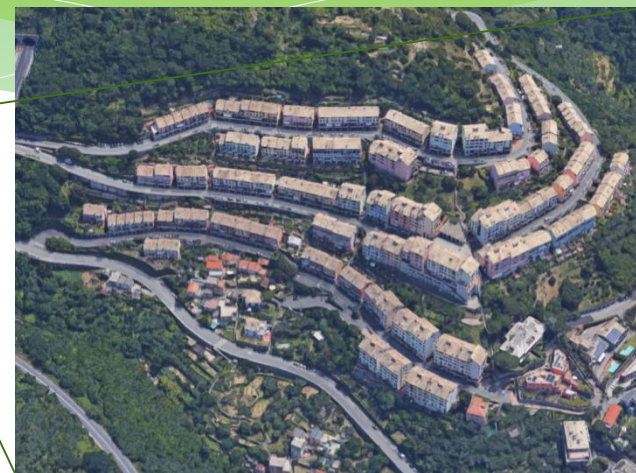
- ✓ 500 unità abitative realizzate negli anni '80;
- ✓ Estensione di circa 4.6 ha;
- ✓ Territorio caratterizzato da una forte pendenza;

Livello di impermeabilizzazione dell'area

- ✓ Analisi dell'uso del suolo rivela il 60% di aree impermeabili;
- ✓ L'area relativa all'unità abitative (tetti) pesa per il 31%

Gestione delle acque meteoriche nell'area

- ✓ Approccio tradizionale;
- ✓ Rete di drenaggio di tipo separato;
- ✓ Nessun intervento per il controllo locale dei deflussi (LID) è installato nell'area.



Classi di uso del suolo	Area	
	[ha]	[%]
Superfici a tetto	1.41	31
Strade e parcheggi	1.28	28
Altre sup. impermeabili	0.06	1
Sup. Impermeabili TOT.	2.75	60
Aree verdi	1.28	28
Aree coltivate	0.53	12
Sup. Permeabili TOT.	1.81	40
Sup. Totali	4.56	100

L'impatto a scala di bacino (II)

Tetti verdi

- Costituiscono un'alternativa sostenibile alle coperture impermeabili tradizionali.
- Sono strutture leggere ($\sim 100 \text{ kg/m}^2$) con profondità ridotte.
- La copertura vegetale include specie di Sedum species, coperture erbacee, etc.



Tetto verde

- Substrato SEIC: 12 cm
- Geotessile Filtrante
- Strato drenante :2.5 cm



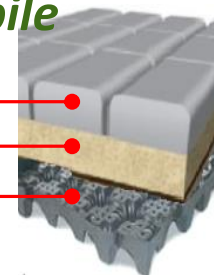
Pavimentazioni permeabili

- Possono essere utilizzati in percorsi pedonali, parcheggi, strade soggette a carrabilità leggera;
- Sono realizzati con diversi strati d'usura (e.g. pervious block, plastic grids) e differenti stratigrafie per favorire l'infiltrazione.



Pavimentazione permeabile

- Masselli porosi: 8 cm
- Strato filtrante in ghiaia : 5 cm
- Strato drenante materiale plastico



Soluzioni
adottate →

Gli scenari di simulazione (I)

Effective Impervious Area (EIA)

→ la superficie impermeabile direttamente connessa alla rete di drenaggio che contribuisce all'aumento del deflusso superficiale (*Shuster et al., 2005*).

Scenario di riferimento – Scenario 0

✓ Nessun intervento per il controllo locale (LID) è installato nell'area

Scenari di conversione – Riduzione di aree impermeabili

✓ Installazione di pavimentazione porose su tutte le aree di parcheggio – **Scenario I**

→ *Riduzione di area impermeabile effettivamente connessa alla rete (EIA Red.) = 5%*

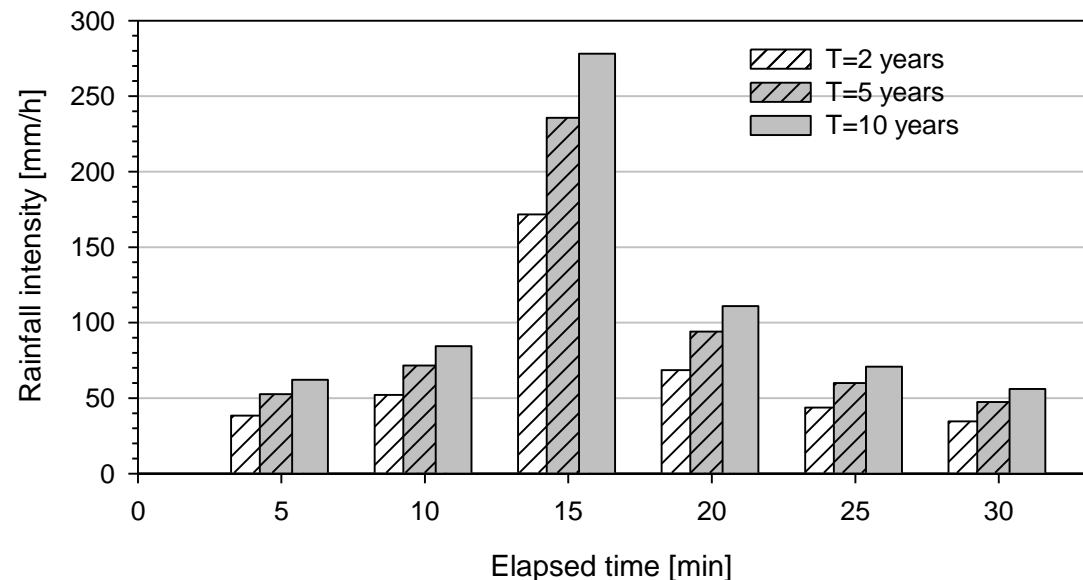
✓ Installazione di tetti verdi su tre percentuali di coperture – **Scenari II, III e IV**

→ *Riduzione di area impermeabile effettivamente connessa = 11%, 21% e 36%*

Sistemi di drenaggio urbano sostenibile	Scenari di conversione			
	I	II	III	IV
Tetti verdi [% delle superfici a tetto]	0	20	50	100
Pavimentazioni permeabili [% di strade e parcheggi]	16	16	16	16
Riduzione aree impermeabili [% della sup. del bacino]	5	11	21	36

Gli scenari di simulazione (II)

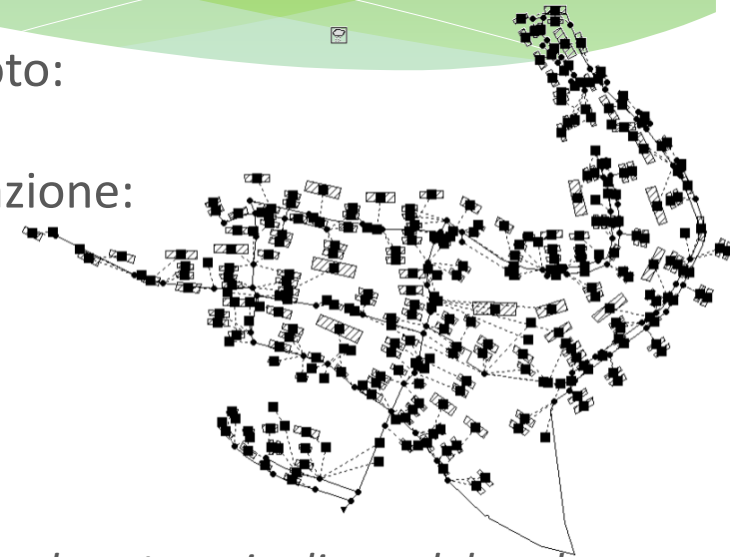
- ✓ *Serie temporale (1990-2015) di Precipitazione e Temperatura osservate alla stazione meteo di Villa Cambiaso, Genova (44.3986N; 8.9633E)*
- ✓ Gli ietogrammi sintetici sono stati implementati con il metodo Chicago per tre tempi di ritorno, rispettivamente $T=2, 5$ and 10 anni;
- ✓ La durata della precipitazione è stata Assunta pari a 30 minuti con picco in posizione centrale ($r=0.5$)



Modellazione idrologico-idraulica

Modello selezionato: EPA SWMM 5.1:

- Metodologia per la convoluzione e legge del moto:
Onda cinematica ed equazione di Manning;
- Metodologia per la stima delle perdite di infiltrazione:
Metodo del CN;
- Intervallo di calcolo: 30 sec;
- Dominio computazionale:
286 sottobacini, 102 nodi e 101 condotte ;
- Discretizzazione spaziale:
Elevata: Ciascun sottobacino è caratterizzato da una sola categoria di uso del suolo



L'elevata discretizzazione spaziale consente una precisa descrizione degli scenari di conversione: singoli sottobacini a tetto sono modificati in tetti e verdi e singole aree di parcheggio sono modificate in pavimentazioni porose.

I parametri del modello (valori di CN; depressioni superficiali e valori di n di Manning) sono stati calibrati sulla base di sette eventi meteorici monitorati tra il Febbraio ed Maggio 2005.

Modellazione idrologico-idraulica (II)



→ Modulo *Copertura a verde*

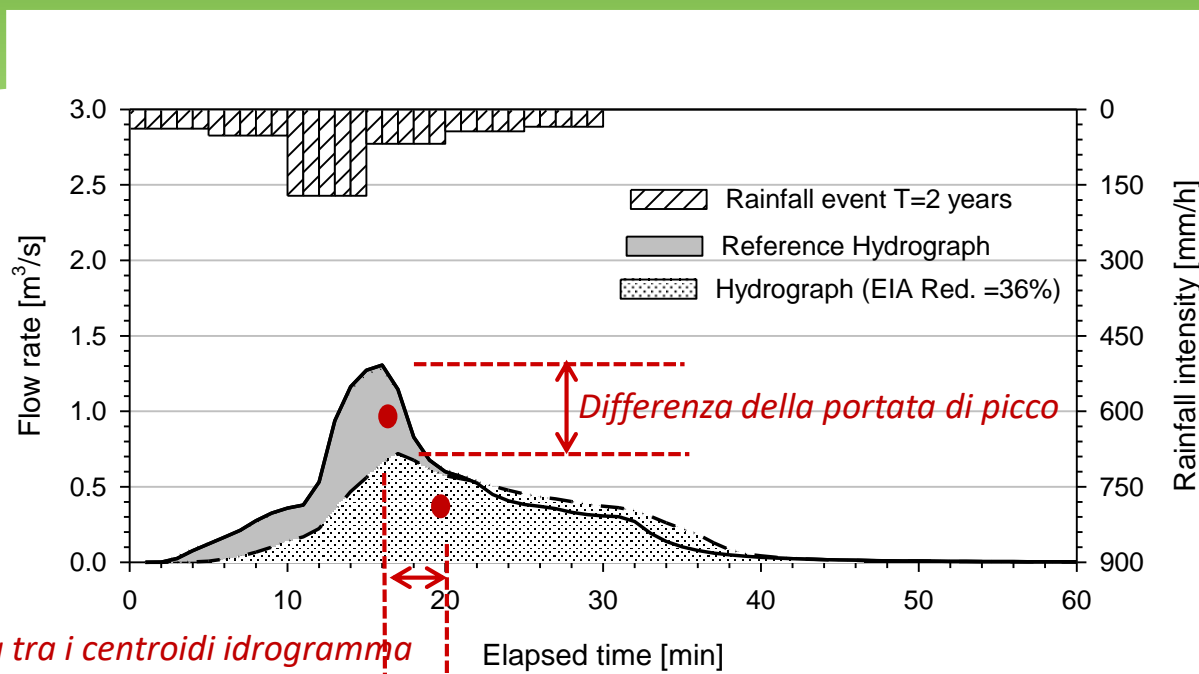
Elementi	Capacità di campo	P.to di appassimento	Conduttività idraulica	Pendenza conduttività	Indice dei vuoti	Coeff. Manning
	[-]	[-]	[mm/h]	[-]	[-]	[s/m ^{1/3}]
Suolo	0.43	0.07	1000	15	0.66	-
Drenante	-	-	-	-	0.4	0.02



→ Modulo *Pavimentazione permeabile*

Elementi	Indice dei vuoti	Permeabilità	Coeff. di flusso	Esponente di flusso	Offset
	[-]	[mm/h]	[mm ^{1/3} /s]	[-]	[mm]
Pavimentazione	0.18	9000	-	-	-
Immagazzinamento	0.9	-	-	-	-
Dreno	-	-	30	0.5	8

Indici prestazionali idrologici



Differenza tra i centroidi idrogramma

Elapsed time [min]

Rainfall intensity [mm/h]

Riduzione Portata al colmo

→ La differenza percentuale relativa tra la portata al colmo osservata nello scenario di riferimento ed in quello di conversione

Riduzione del Volume

→ La differenza percentuale relativa tra il volume defluito nello scenario di riferimento ed in quello di conversione

Ritardo risposta idrologica

→ Valutato sulla base della posizione del centroide dell'idrogramma nello scenario di riferimento ed in quello di conversione

Risultati: influenza scenari di conversione (I)

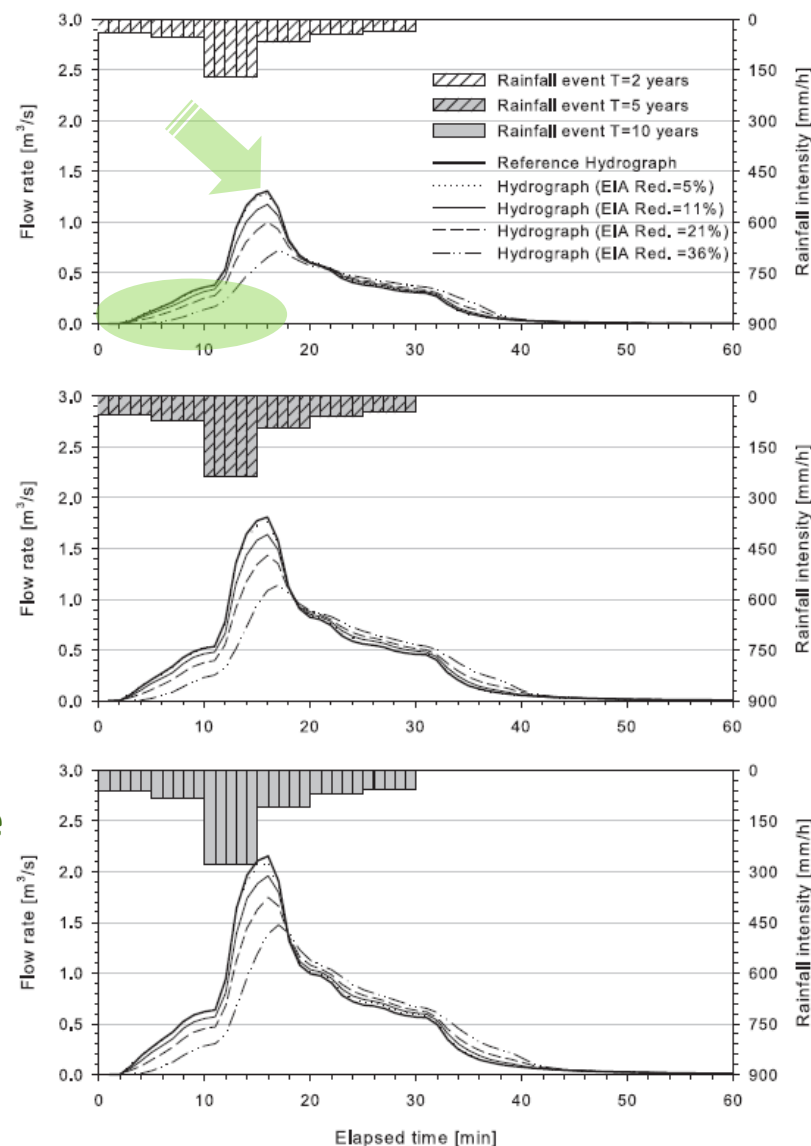
I risultati delle simulazioni forniscono gli *idrogrammi in uscita* per lo scenario di riferimento ed i 4 scenari di conversione

Maggiore è la riduzione delle superfici impermeabili (EIA reduction) minore è il valore del picco di portata

→ Diminuendo le superfici impermeabili del bacino urbano l'idrogramma tende ad avvicinarsi alla risposta idrologica del bacino naturale.

L'impatto della riduzione delle superfici impermeabili influenza significativamente la parte iniziale della risposta idrologica :

- ✓ Il ramo ascendente viene ritardato;
- ✓ Il valore del picco decresce;
- ✓ Il conferimento più lento si osserva nella curva di esaurimento dell'idrogramma.

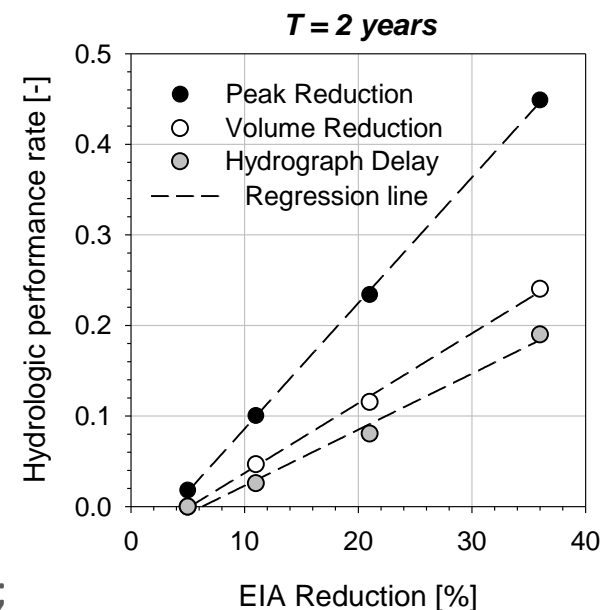


Risultati: influenza scenari di conversione (II)

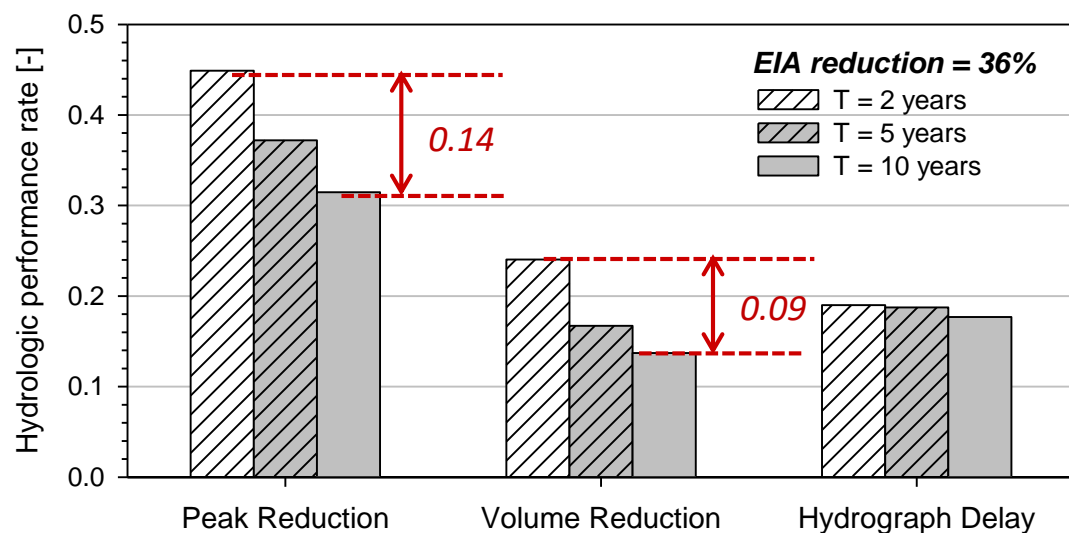
- Le prestazioni idrologiche sono linearmente dipendenti con la riduzione percentuale della superficie impermeabile;
- La riduzione della portata di picco rivela i risultati più significative in termini di prestazioni;
- Risulta necessaria una riduzione della superficie impermeabile superiore al 5% per osservare dei benefici in termini di risposta idrologica.

In riferimento al **periodo di ritorno biennale** le prestazioni idrologiche risultano:

- ✓ La riduzione del picco aumenta da 0.10 a 0.45;
- ✓ La riduzione del volume aumenta da 0.05 a 0.23;
- ✓ Il ritardo dell'idrogramma aumenta da 0.03 a 0.19.



Risultati: influenza scenari di precipitazione



- La riduzione di portata e volume sono influenzati dal tempo di ritorno della precipitazione;
- Il ritardo dell'idrogramma risulta pressochè costante nelle condizioni di precipitazione esaminate.

Le prestazioni idrologiche vs. il tempo di ritorno della precipitazione nello scenario di conversione del **36% di EIA reduction** :

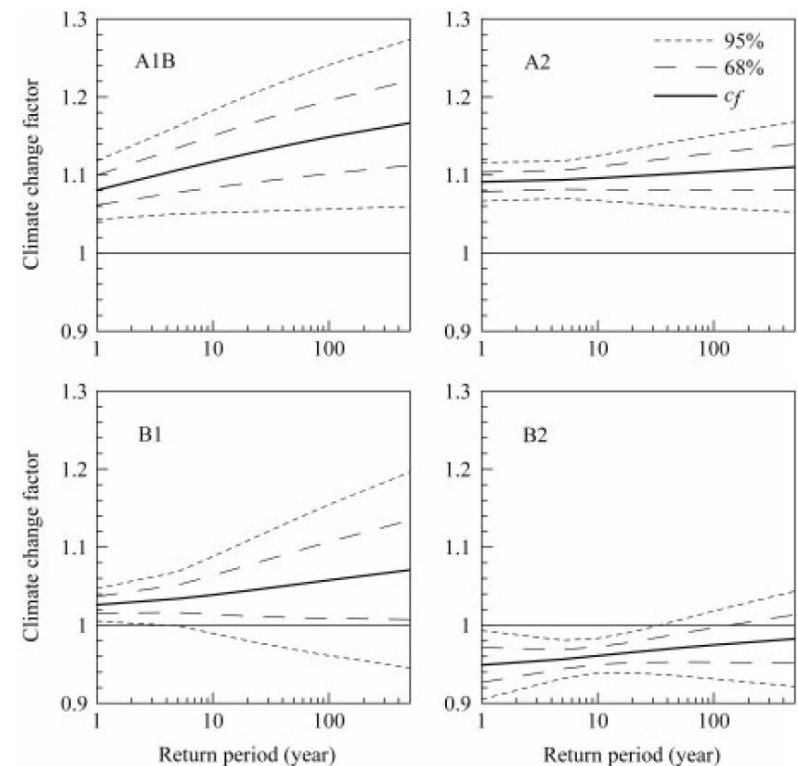
- ✓ Muovendosi da un tempo di ritorno biennale a quello decennale, la riduzione del picco diminuisce di 0.14 rispetto a 0.45;
- ✓ La riduzione del volume diminuisce di 0.09 rispetto a 0.23.

Scenari di simulazione: il cambiamento climatico (I)

L'area Mediterranea è caratterizzata da una **limitata capacità di adattamento** agli effetti del cambio climatico a causa della elevata densità di popolazione e dell'eccessivo sfruttamento delle risorse naturali (*Paxian et al., 2015*)

- ✓ Diminuzione del numero di giorni piovosi e/o del altezza di precipitazione totale annua (e.g. *Willems et al., 2011*);
- ✓ Aumento della frequenza degli eventi estremi (*Kostopoulou & Jones, 2005*)

Fattore di cambio climatico (CCF) → rapporto tra l'intensità di precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno in uno scenario futuro e il corrispondente valore dell'intensità di precipitazione nelle condizioni attuali (*Arnbjerg-Nielsen, 2012*).



(Rodríguez et al., 2014)

Ai fini della definizione degli scenari di cambio climatico (IPCC – A1b) si è assunto un fattore di cambio climatico (CCF) variabile tra 1.05 e 1.20 con passo di 0.05

Scenari di simulazione: il cambiamento climatico (II)

I risultati del modello consistono in **Idrogrammi per lo scenario attuale e per i 4 scenari di conversione:**

- Scenario attuale

- 1 Idrogramma (di riferimento)

- 1 simulazione relativa alla configurazione attuale con input di pioggia in assenza di cambio climatico CCF=1.0

- Scenari di conversione

- 16 Idogrammi

- 4 simulazioni per ognuno dei 4 scenari di conversione con input di pioggia in previsione di cambio climatico CCF=1.05; 1.1; 1.15; 1.2

La resilienza del sistema di drenaggio al cambiamento climatico è analizzata mediante tre indici **di resilienza idrologica: Indice di resilienza al picco; al volume; al tempo di risposta;**

I 3 indici **di resilienza idrologica** sono definiti per le tre variabili idrologiche (picco, volume e baricentro dell'idrogramma)



$$\text{Indice Resilienza}_{S_i, P_j} = \frac{V_{\text{Controllo}} - V_{S_i, P_j}}{V_{\text{Controllo}}}$$

dove $V_{\text{controllo}}$ è la variabile stimata per l'idrogramma di riferimento

V_{S_i, P_j} è la variabile stimata per l'idrogramma relativo allo Scenario di Conversione S_i ed allo scenario di precipitazione P_j

Risultati (I)

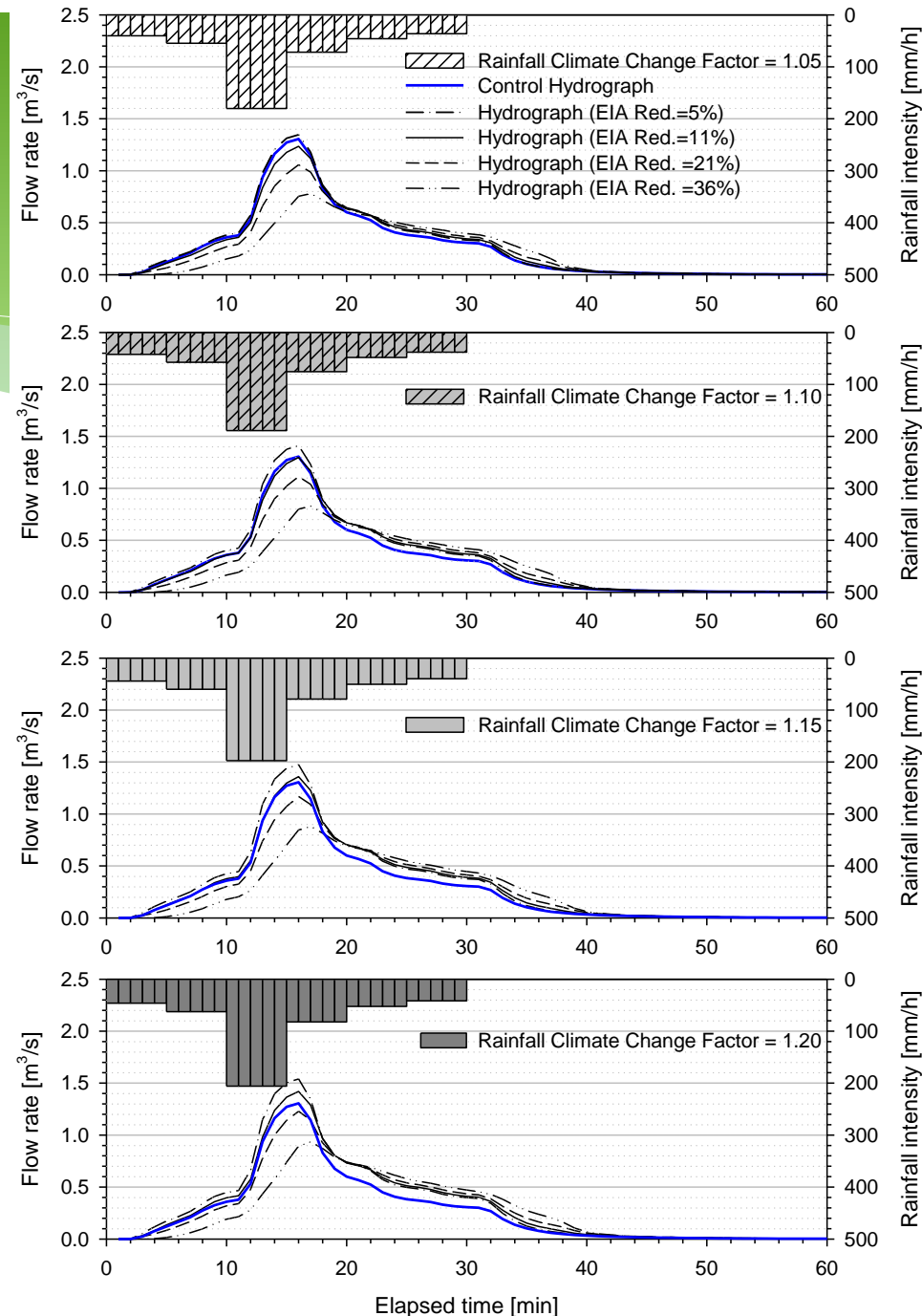
Scenari *di Conversione*:

→ La riduzione della superficie impermeabile (EIA Red.) comporta principalmente una riduzione del valore della portata al colmo;

Scenari *futuri di precipitazione*:

→ Nelle condizioni meno severe (CCF=1.05) anche lo scenario di riduzione di impermeabilità dei suoli si rivela resiliente in termini di portata al colmo;

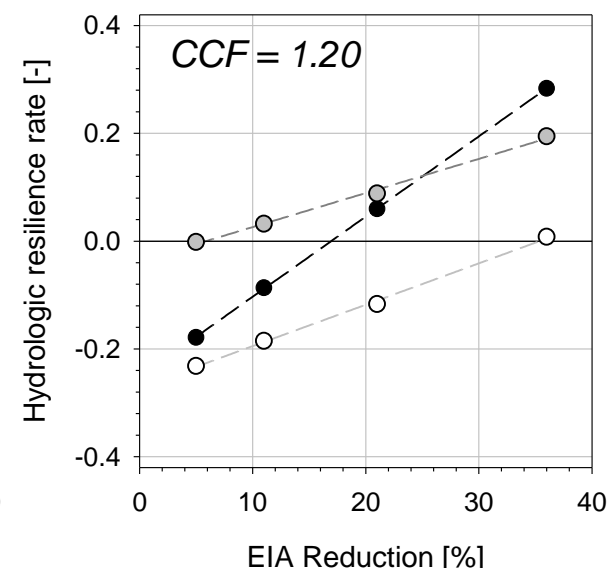
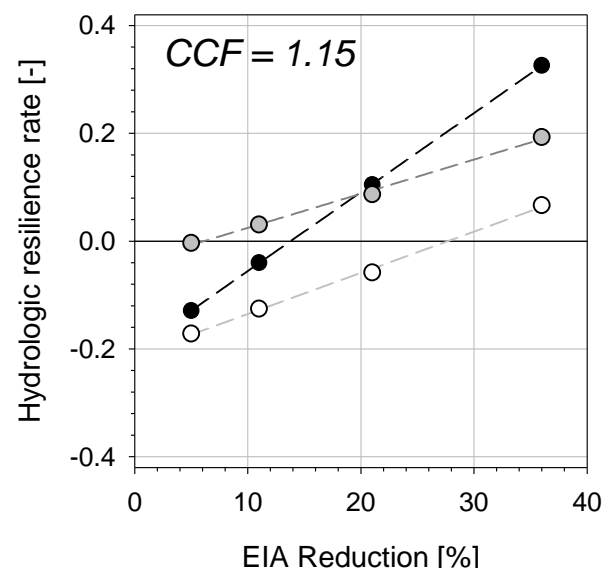
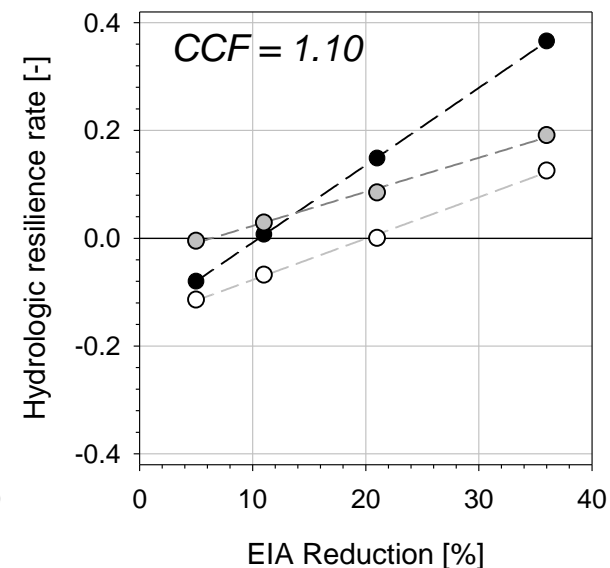
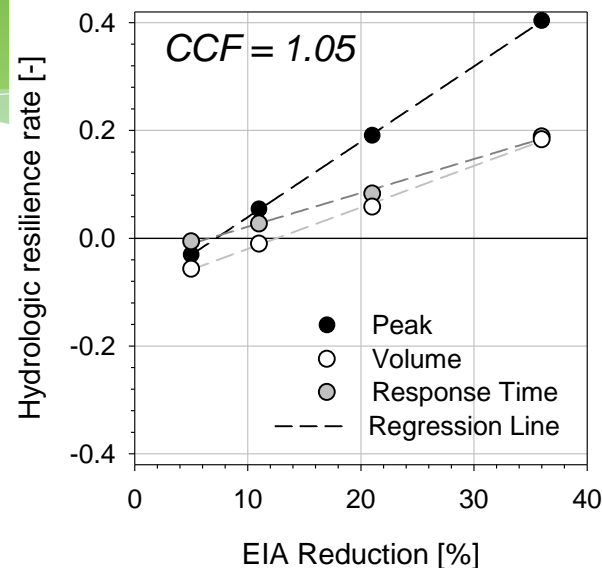
→ Nelle condizioni più severe (CCF=1.2) è necessaria una riduzione della superficie impermeabile del 21% per compensare l'incremento dell'intensità di precipitazione;



Risultati (II)

Gli indici **di resilienza idrologica**:

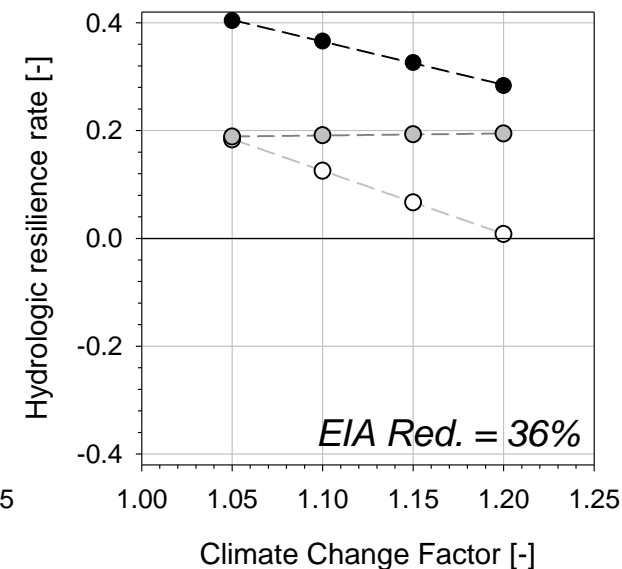
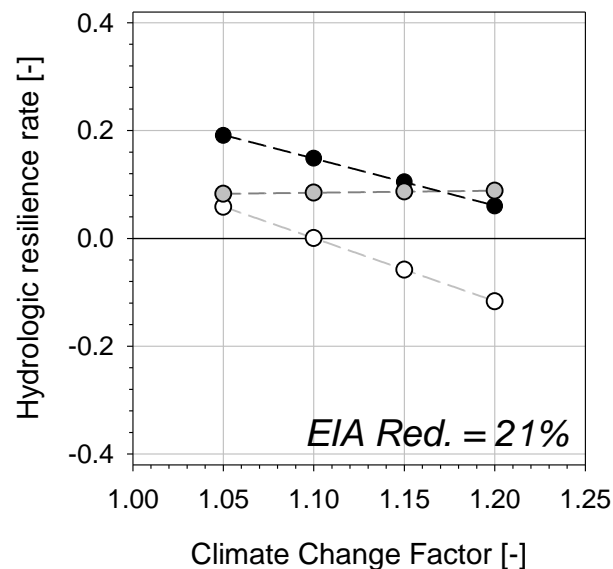
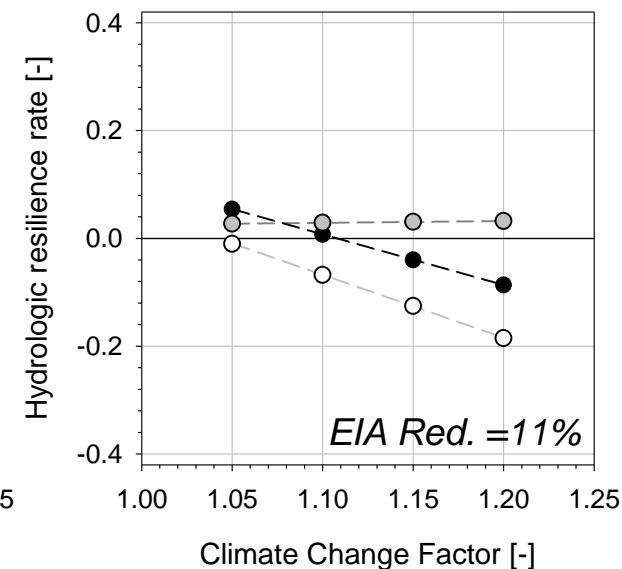
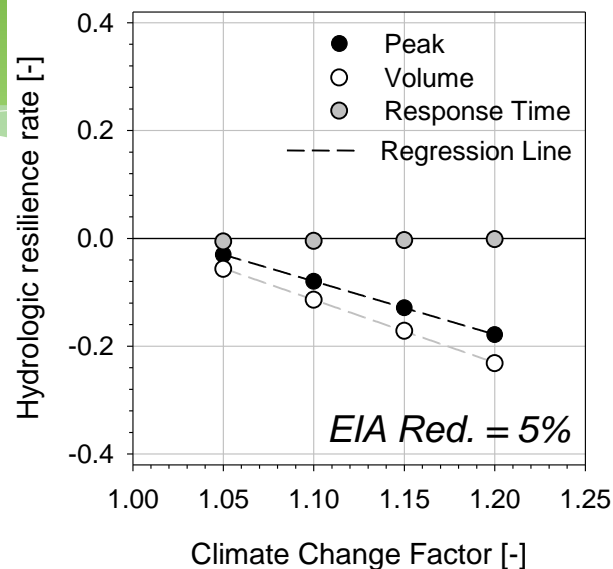
- Sono linearmente dipendenti dalla riduzione di superficie impermeabile;
- L'indice relativo alla **resilienza della portata di picco** rivela le migliori prestazioni;
- I risultati relativi all'indice di **resilienza del volume** evidenziano come la tipologia (caratteristiche tecniche) dei sistemi LID costituisca il fattore limitante
- L'indice di **resilienza del tempo di risposta** è sempre positivo e costante in tutti gli scenari futuri di precipitazione



Risultati (III)

Gli indici *di resilienza idrologica*:

- Sono linearmente dipendenti dal fattore di cambio climatico;
- Lo scenario che prevede una riduzione del fattore EIA pari al 5% si dimostra non resiliente sia in termini di volume che di portata al picco;
- Al contrario lo scenario che prevede una riduzione del fattore EIA pari al 36% è in grado di compensare gli effetti dell'incremento di precipitazione.
- L'indice di resilienza del tempo di risposta è pressochè costante per ciascun scenario di uso del suolo





Conclusioni

- Le **prestazioni idrauliche** della singola copertura a verde sono significative al fine di un efficace controllo generazione dei deflussi superficiali.
- Le coperture a verde hanno complessivamente un impatto positivo sulla **qualità dei deflussi meteorici** rispetto alle coperture tradizionali.
- Le coperture a verde, risultano ancor più efficaci quando vengono installate in **sinergia con altre soluzioni tecnologiche** (le pavimentazioni permeabili, le fasce filtranti inerbite, gli stagni per la detenzione, etc.) alla scala del comprensorio urbano.
- I risultati delle simulazioni condotte alla scala del bacino urbano evidenziano che le **soluzioni tecniche per il controllo locale delle sorgenti «tipo LID»** :
 - ✓ contribuiscono a ripristinare le componenti del ciclo idrologico naturale con conseguente riduzione nella generazione dei deflussi superficiali;
 - ✓ possono svolgere un ruolo importante nelle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici che possono essere adottate a livello locale.



Alcuni riferimenti bibliografici

Palla A., Gnecco I. (2018) Green Roofs to Improve Water Management. In *Nature based Strategies for Urban building and Sustainability* (edited by Gabriel Perez, University of Lleida, Spain and Katia Perini, University of Genova, Italy) Butterworth-Heinemann Publication, Cap. 3-11, pp. 203-214. ISBN: 978-0-12-812150-4 (invited chapter).

Palla, A., Gnecco, I. (2015). Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. *Journal of Hydrology*, 528, 361-368.

Palla, A., Gnecco, I., Carbone, M., Garofalo, G., Lanza L.G. e Piro, P. (2015). Influence of stratigraphy and slope on the drainage capacity of permeable pavements: laboratory results. *Urban Water Journal*, 12(5), 394-40.

Ciaponi, C., Gnecco, I., Lanza, L.G., Palla A., Papiri, S., Sanfilippo U. e S. Todeschini (2014). Strategie di controllo degli scarichi fognari in tempo di pioggia. In: Ciaponi C., Papiri S., Sanfilippo U. e S. Todeschini (a cura di) *Acque di prima pioggia nei sistemi di fognatura: Manuale di Progettazione*, HOEPLI Editore, Cap. 7, pp. 329-408, ISBN 978-88-203-6322-62

Gnecco, I., Palla A., Lanza, L.G. and La Barbera P. (2013). The Role of Green Roofs as a Source/sink of Pollutants in Storm Water Outflows. *Water Resources Management*, **27** (14) , pp. 4715-4730.2012.

Paxian, A., Hertig, E., Seubert, S., Vogt, G. Jacobeit, J. and Paeth, H. (2015). Present day and future mediterranean precipitation extremes assessed by different statistical approaches. *Clim Dyn*, 44, 845–860.

Rodríguez, R., Navarro, X., Casas, M.C., Ribalaygua, J., Russo, B., Pouget, L. and Redaño, A. (2014). *Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain)*. *International Journal of Climatology*, 34(3), 643-654.

.....**Grazie per l'attenzione**