

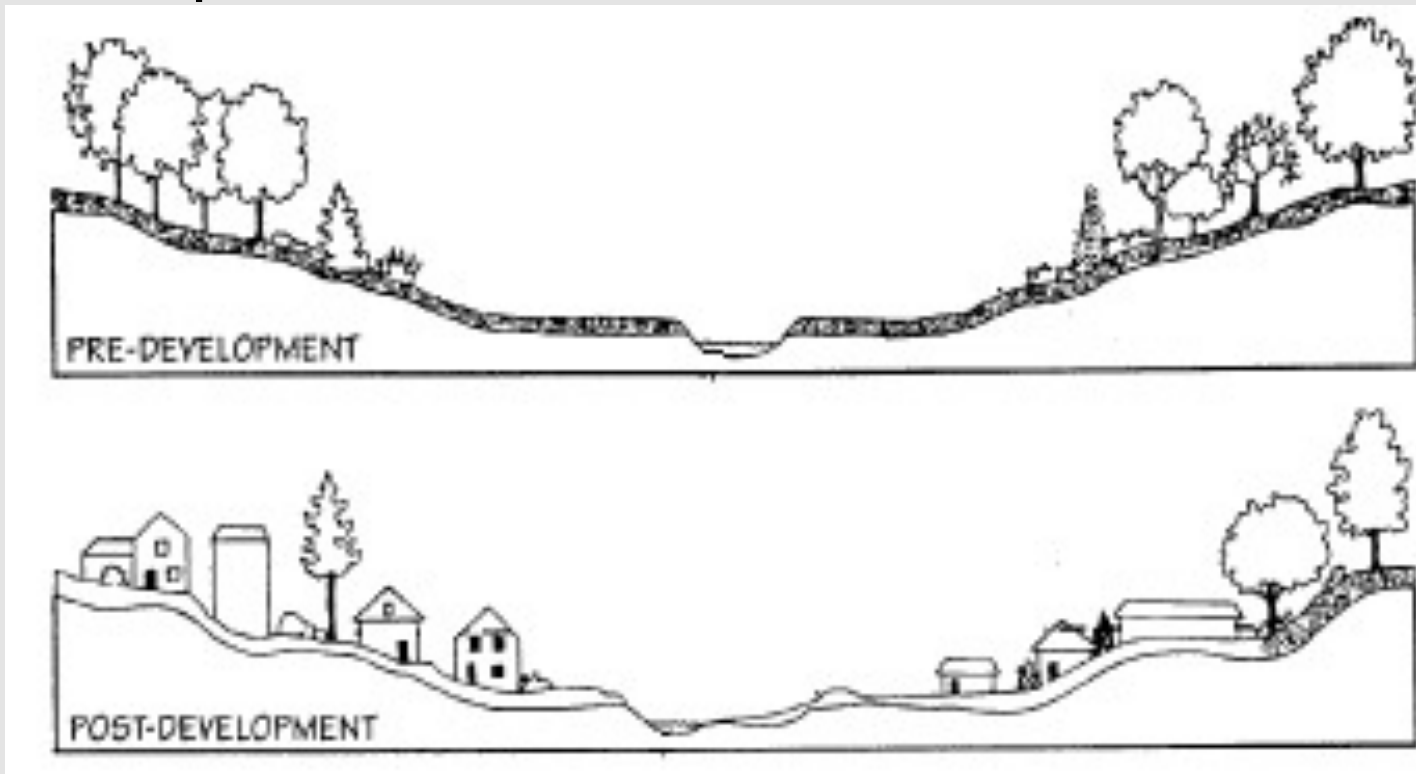
Mitigazione del rischio idraulico nei territori urbanizzati

prof. ing. Goffredo La Loggia

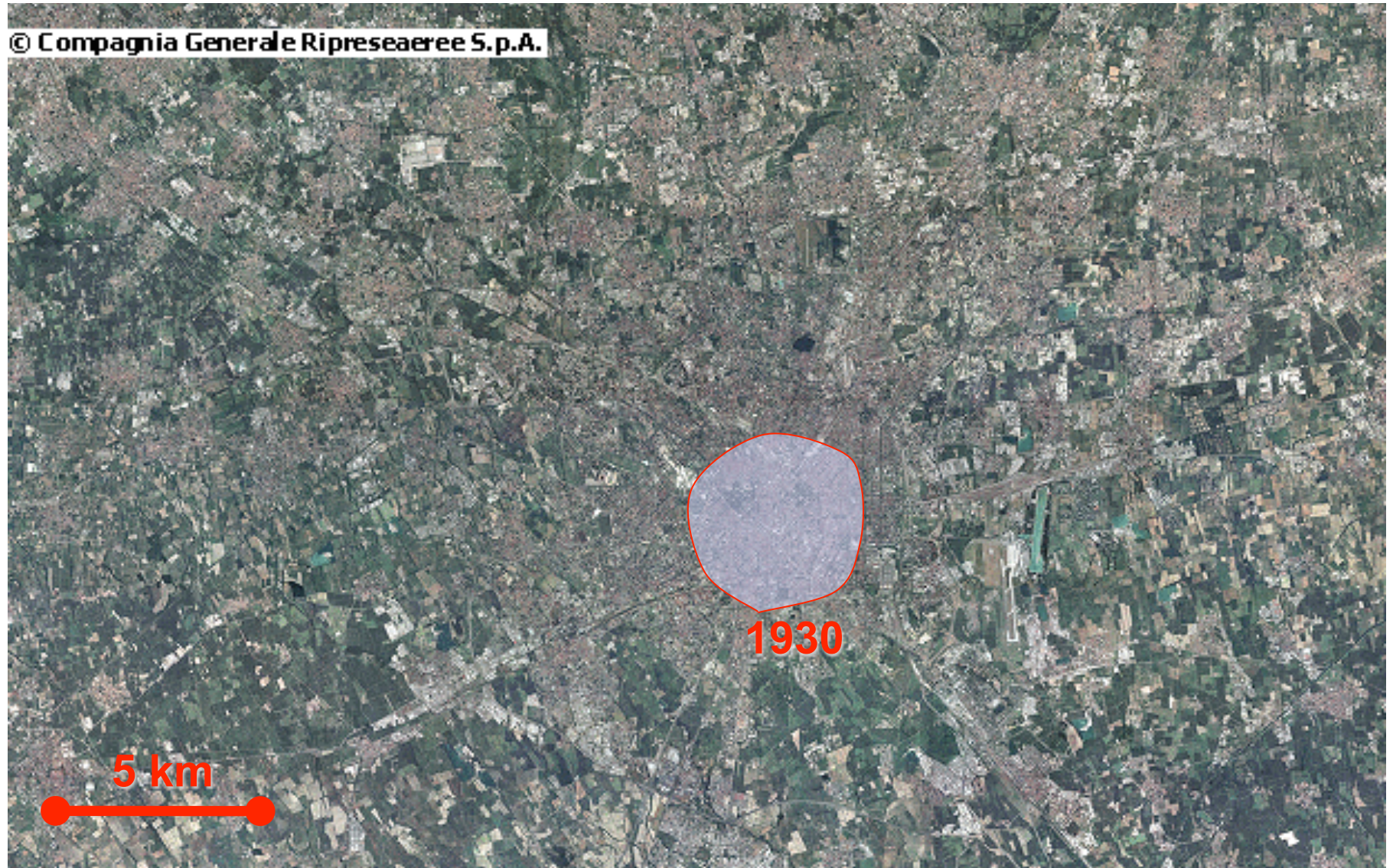
Venezia, 20 maggio 2010

Urbanizzazione

A causa dell'urbanizzazione grandi porzioni di territori vegetati con superfici permeabili sono stati sostituiti da superfici impermeabili.



Area metropolitana di Milano

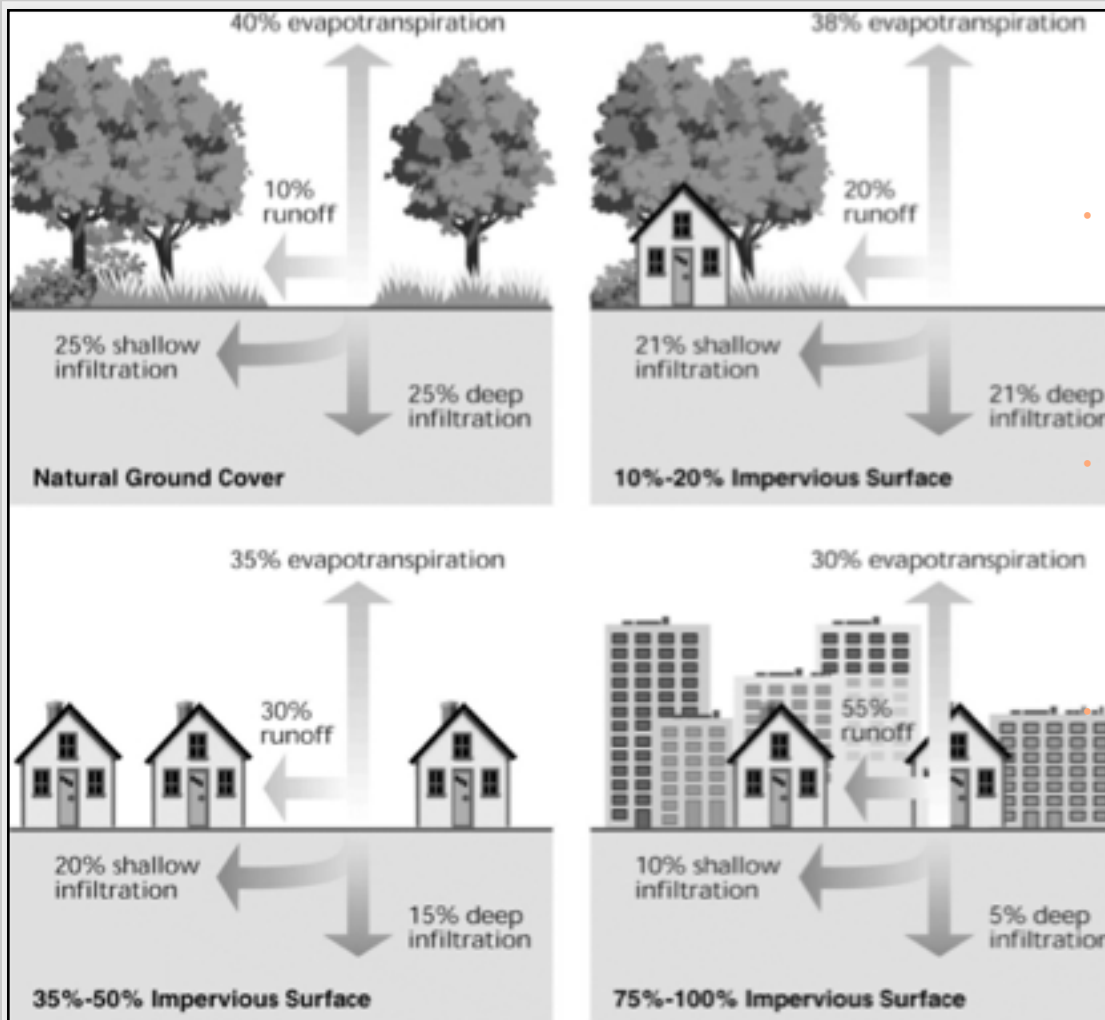


Urbanizzazione

Estratto da ortofotocarta
1:5.000.
Parma, 2000



Effetti dell'urbanizzazione: Impatto sull'idrologia dei bacini



Conseguenze:

Maggiori deflussi
10% → 55%

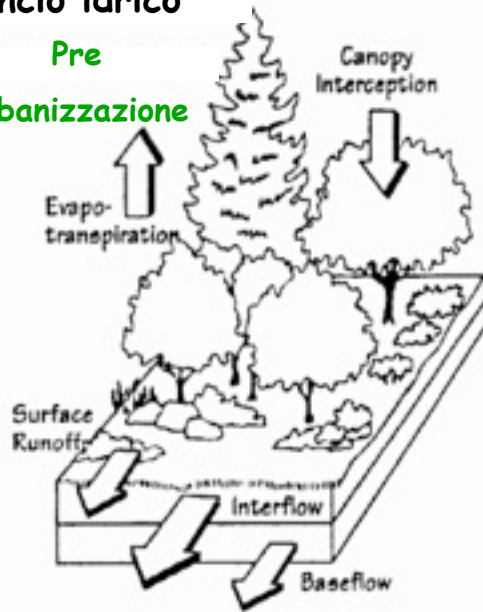
Minore infiltrazione
50% → 15%

Minore
evapotraspirazione
40% → 30%

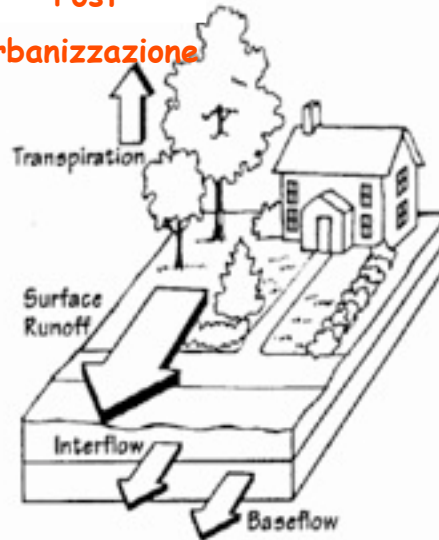
Effetto dell'urbanizzazione: deflussi superficiali

Bilancio idrico

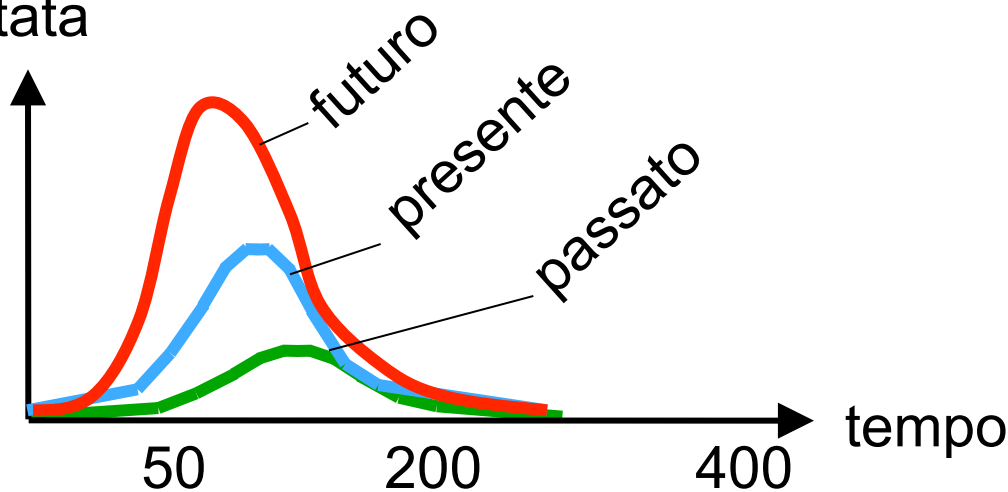
Pre
urbanizzazione



Post
urbanizzazione



Portata



- Aumento della portata al colmo e del volume di deflusso
- Diminuzione del tempo di corrivazione
- Riduzione della ricarica della falda
- Aumento della frequenza e della intensità delle piene fluviali

Effetto dell'urbanizzazione: qualità delle acque



- Deperimento della falda acquifera
- Aumento della portata in tempo di pioggia (rischio di erosione)

- Antropizzazione delle aree golenali
- Scarico di rifiuti solidi urbani
- Inquinamento legato al dilavamento delle superfici urbane



Effetti dell'urbanizzazione: allagamenti



S.Giorgio bridge – Villasanta (27/11/2002)



Merone (26/11/2002)



Effetti dell'urbanizzazione: allagamenti



Monza centro



Cologno Monzese



via Annoni bridge - Monza



Parco Lambro - Milano

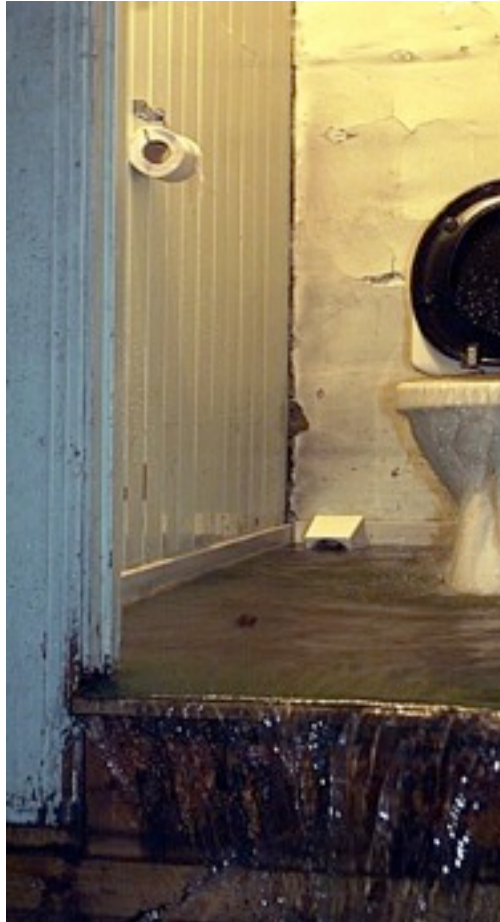
Effetti dell'urbanizzazione: allagamenti



Acqua alta a Milano



Effetti dell'urbanizzazione: allagamenti



The Daily Telegraph
SATURDAY, JUNE 12, 1993



Effetti dell'urbanizzazione: impatto sui corpi idrici



Effetti dell'urbanizzazione: impatto sui corpi idrici



Fonti di inquinamento dei deflussi meteorici

Inquinamento dell'aria

Vento



Pioggia



Inquinamento dei
deflussi
superficiali



Effetti dell'urbanizzazione: inquinamento dei deflussi superficiali

Le superfici impermeabili

- riducono l'opportunità di rimozione dei contaminanti dalle acque di pioggia attraverso processi naturali di infiltrazione ed evaporazione.
- si prestano all'accumulo di inquinanti



Effetti dell'urbanizzazione: inquinamento dei deflussi superficiali

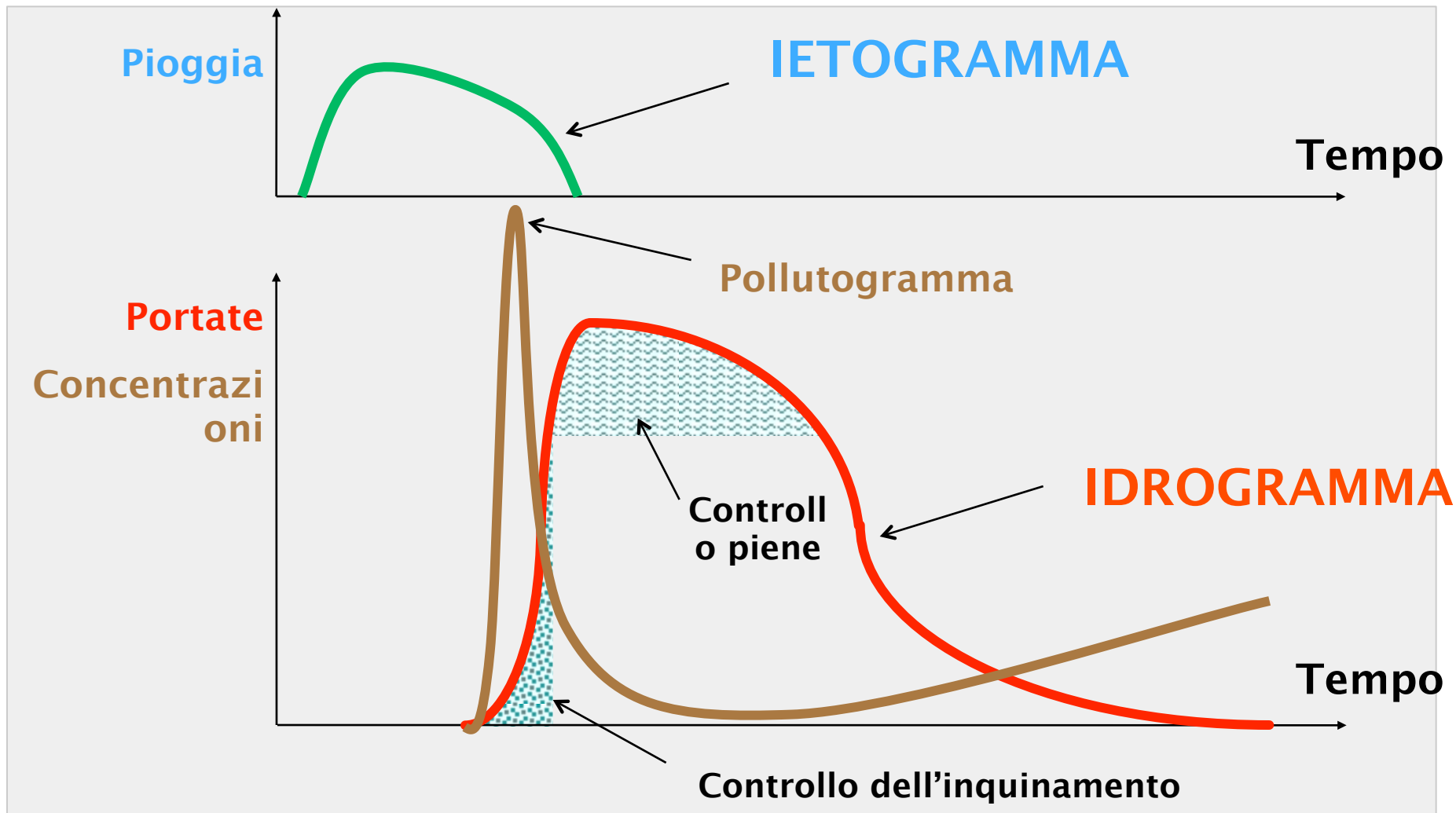
Gli inquinanti si accumulano sulle superfici impermeabili e vengono mandati in sospensione dai deflussi quando piove



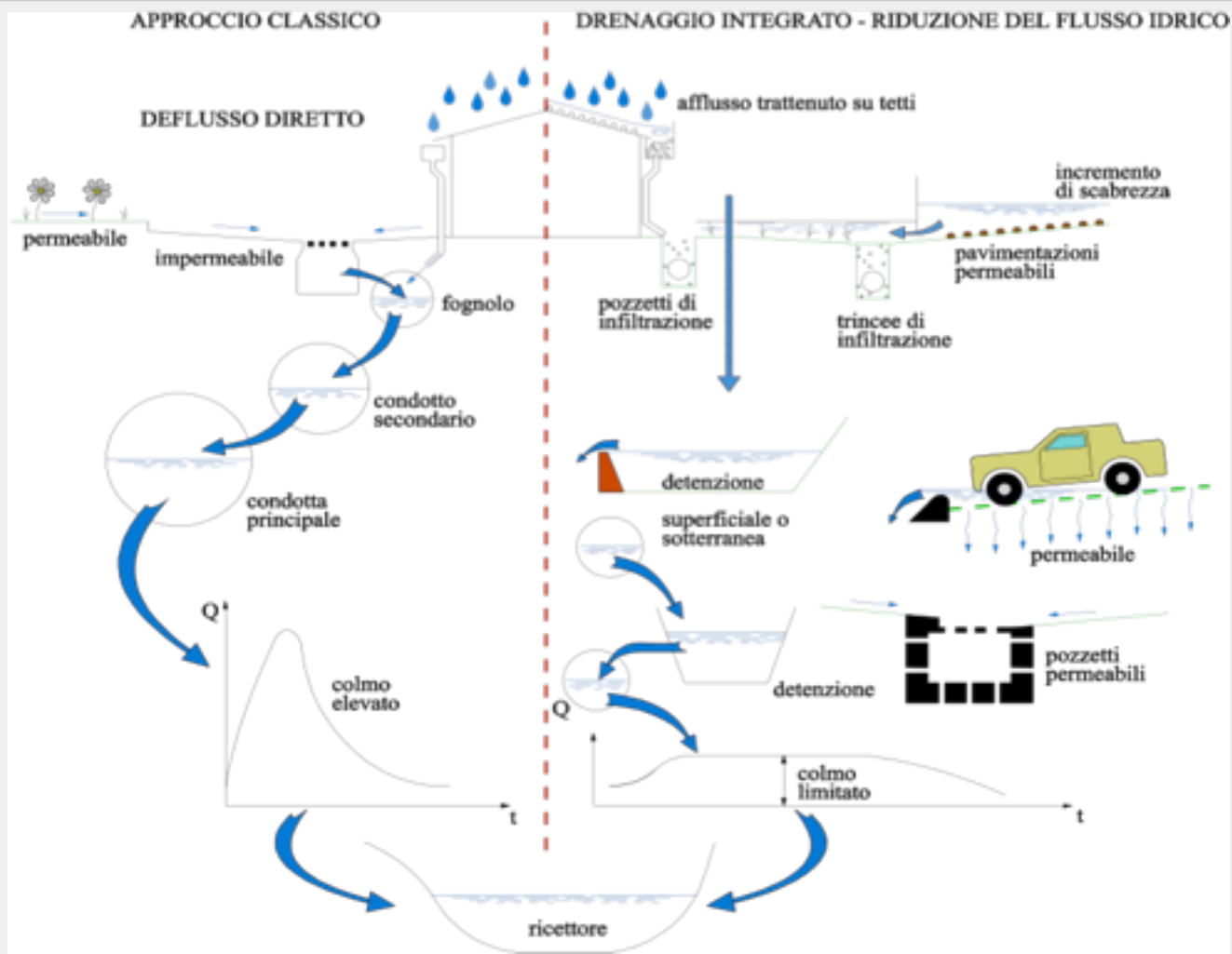
Sistema di drenaggio urbano



Dove intervenire per ridurre l'impatto dei deflussi meteorici



Ripensare la struttura dei sistemi di drenaggio urbano



Approccio classico al drenaggio urbano

- Rapido allontanamento dei deflussi meteorici dalla superficie urbana
- Assicurare il minimo impatto sulle attività antropiche
- Scarico di TUTTI i deflussi meteorici al ricettore più vicino (naturale o artificiale)

PRINCIPALE VANTAGGIO

Riduce i problemi di allagamento locale

PRINCIPALE SVANTAGGIO

Trascura gli effetti della portata al colmo e dell'impatto inquinante sui ricettori (problemi ambientali, allagamenti vallivi)

Gestione dei deflussi meteorici

- Previene la generazione dei deflussi superficiali invertendo l'effetto dell'urbanizzazione
- Considera i deflussi meteorici come una risorsa da gestire e possibilmente utilizzare
- E' finalizzata a minimizzare l'impatto dei deflussi meteorici sull'intero bacino (considerando l'ambiente antropico e quello naturale)

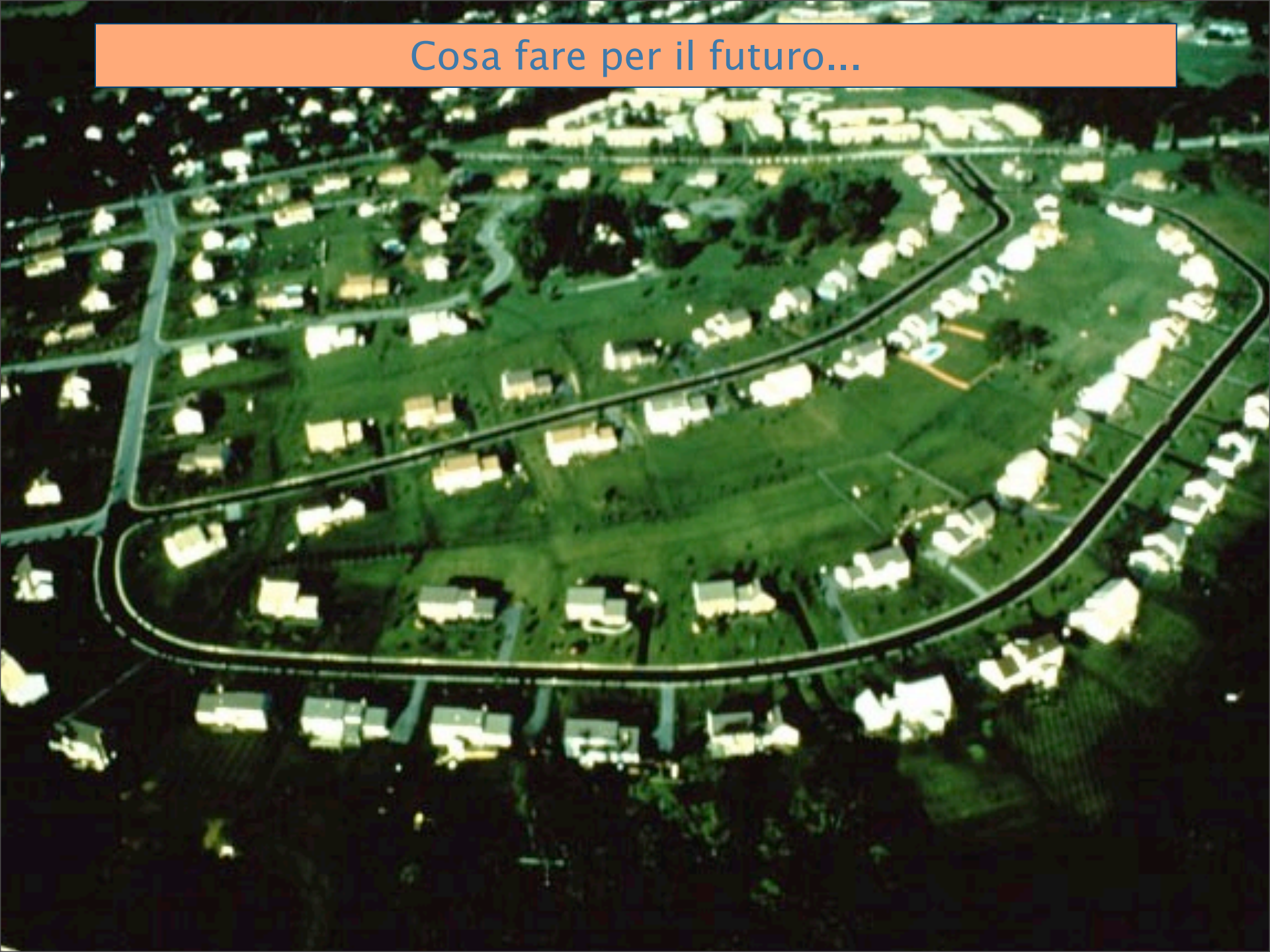
PRINCIPALE VANTAGGIO

Gestione integrata del bacino (area urbana+corpo idrico ricett.)

PRINCIPALE SVANTAGGIO

Fallanze locali del sistema possono essere accettabili (piccoli allagamenti locali, moderati disagi per la popolazione)

Cosa fare per il futuro...





... e cosa evitare!



... e cosa evitare!



... e cosa evitare!

Best Management Practices : classificazione secondo l'ubicazione

■ **Interventi distribuiti o controlli alla fonte**

i deflussi vengono immagazzinati, trattati o dispersi in prossimità delle superfici su cui si sono generate, prima del loro ingresso nella rete drenante

■ **Interventi concentrati**

i deflussi vengono gestiti all'interno del sistema drenante (anche a notevole distanza dal loro punto d'origine) riducendo così il numero delle strutture di controllo disposte nel bacino

■ **Interventi IN-LINE**

sono dimensionate per intercettare tutti i deflussi corrispondenti all'evento di progetto; in tempo secco la struttura è attraversata da portate

■ **Interventi OFF-LINE**

intercettano parte dei deflussi, escludendola dal sistema di drenaggio; durante il tempo secco la struttura non è attraversata da portate

BMPs classificazione

- **Interventi Strutturali:**

comportano la costruzione di strutture per il controllo dei deflussi

- **Interventi Non Strutturali:**

includono procedure, attività e regolamenti

BMPs: interventi strutturali

STRUTTURE DI INVASO

- Bacini di detenzione superficiale
- Vasche interrato di detenzione
- Bacini di ritenzione

SISTEMI VEGETATI

- Wetlands
- Cunette vegetate
- Filter strips

SISTEMI DI FILTRAZIONE

- Filtri superficiali di sabbia
- Filtri organici (prefabbricati)

STRUTTURE DI INFILTRAZIONE

- Trincee di infiltrazione
- Pozzi drenanti
- Pavimentazioni permeabili

BMPs: interventi non strutturali

- Regolamentazione, attraverso Normativa o Piani Regolatori
 - Politica delle tariffe e politica della tassazione
 - Campagne divulgative
 - Osservazione e manutenzione del sistema di drenaggio
-



Strutture di invaso

CLASSIFICAZIONE SULLA BASE DELLA

- **funzione assoluta: DETENZIONE o RITENZIONE**
- **posizione rispetto alla rete drenante: CATTURA o TRANSITO**
- **posizione rispetto al terreno: SUPERFICIALI o SOTTERRANEE**

Esistono numerose possibilità di installazione: Schilling ed altri ne hanno identificate ben 48 differenti tipologie.

Di pratica applicazione se ne possono considerare meno di una decina.

Stutture di invaso: Definizioni

Detenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono temporaneamente (breve tempo) invasati e poi gradualmente rilasciati nel sistema di drenaggio

Ritenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono invasati, generalmente per un lungo periodo, e non vengono rilasciati nel sistema di drenaggio o nel corpo idrico ricettore (infiltrazione, evaporazione, riuso)

Trattamento: tutti i deflussi o parte di essi vengono trattati per ridurre il loro carico inquinante, generalmente prima che vengano rilasciati nel corpo idrico ricettore (sedimentazione, trattamento biologico)

Bacini di cattura (vasche di prima pioggia): la prima parte dei deflussi viene intercettata e invasata per separare il “first flush” (ad alta concentr. di inquinanti) dal resto dei deflussi

Bacini di transito (bacini di sedimentazione): tutti i deflussi derivati passano attraverso il bacino con velocità ridotta per consentire la sedimentazione

Bacino sotterraneo: serbatoi chiusi costruiti in situ o prefabbricati

Bacino superficiale: aree aperte ,svacate o sbancate ad esempio serbatoi **31**

Strutture di invaso

- **Bacini di “detenzione”**: i deflussi sono parzialmente o totalmente immagazzinati e gradualmente rilasciati nel sistema di drenaggio;
- **Bacini di “ritenzione”**, in cui i deflussi invasati sono trattenuti per un periodo più lungo, in modo da consentirne la dispersione per evaporazione o infiltrazione attraverso il fondo drenante, stante l’origine esclusivamente meteorica delle acque invasate.

Nel caso in cui non siano disponibili sufficienti superfici libere, tali interventi possono essere realizzati con vasche interrato poste sotto parcheggi, piazzali di stoccaggio o sotto la viabilità secondaria (tipo “**strutture serbatoio**”).

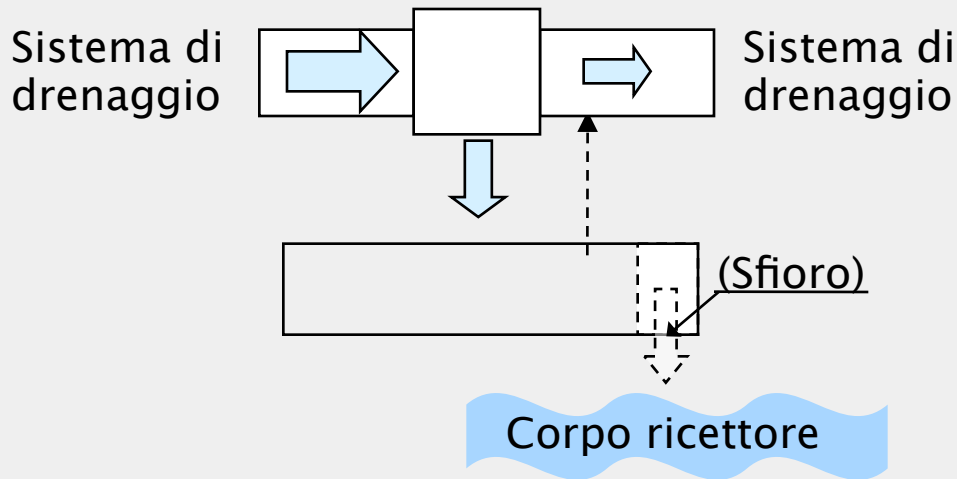
Bacini di detenzione

- Accumulano temporaneamente l'acqua piovana abbattendo le portate al colmo dell'idrogramma di piena (**Flood control**).
- Consentono la rimozione dei contaminanti per sedimentazione (**quality control**)

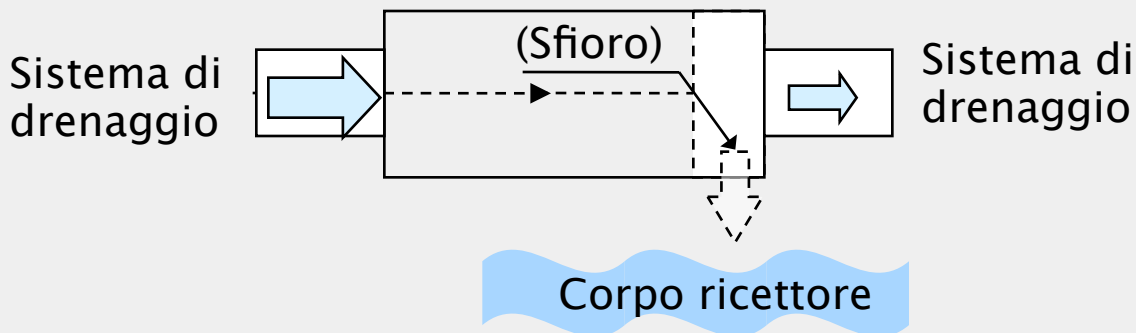


Bacini di detenzione

OFF - LINE



IN - LINE



- Strutture centralizzate sotterranee/superficiali
- Bacini di transito

Usi:

- Flood Control
- Water quality Control

Bacini di detenzione superficiale



Bacini di detenzione superficiale

Tempo di ritorno

50-100 anni

Tempo di detenzione

40 ore

$h_{optimal}$

0,6 - 1,5 m

Superficie

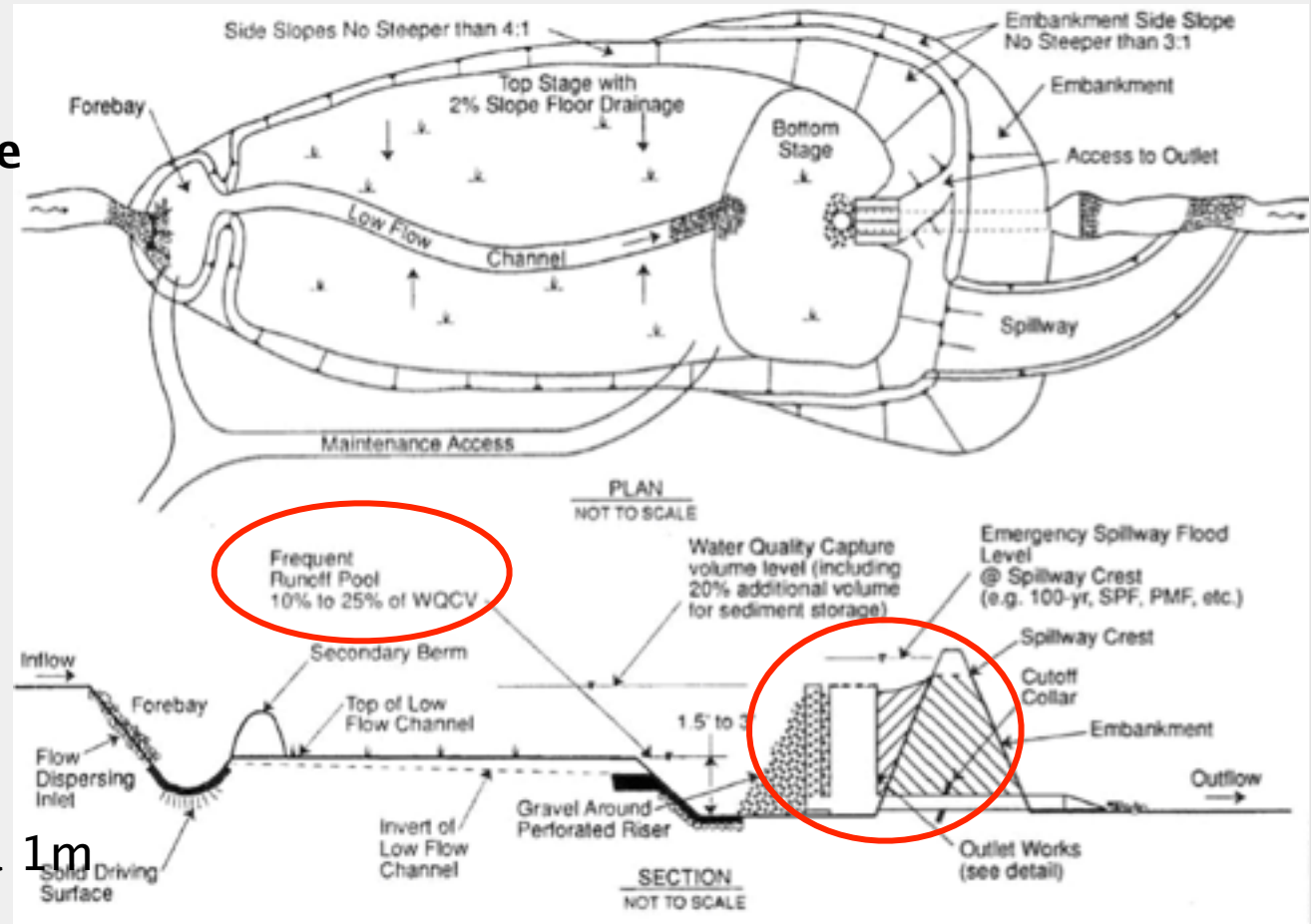
0,5-2% area drenata

**Vasca per piogge
frequent**

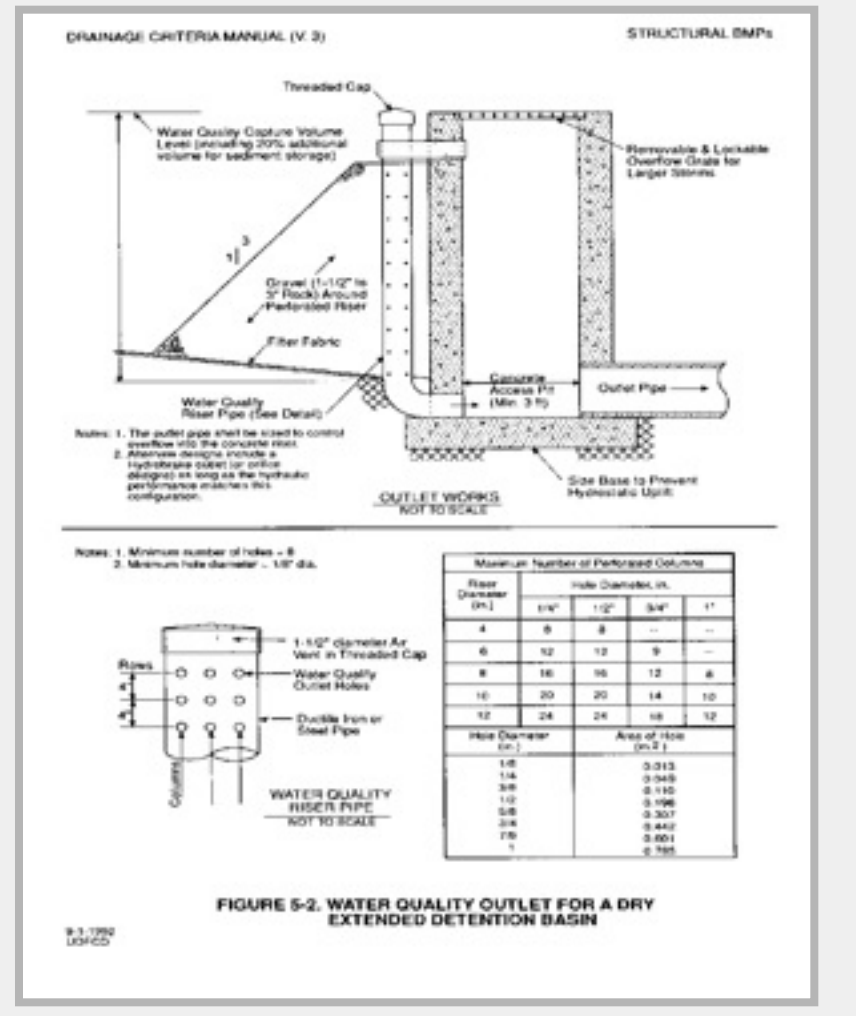
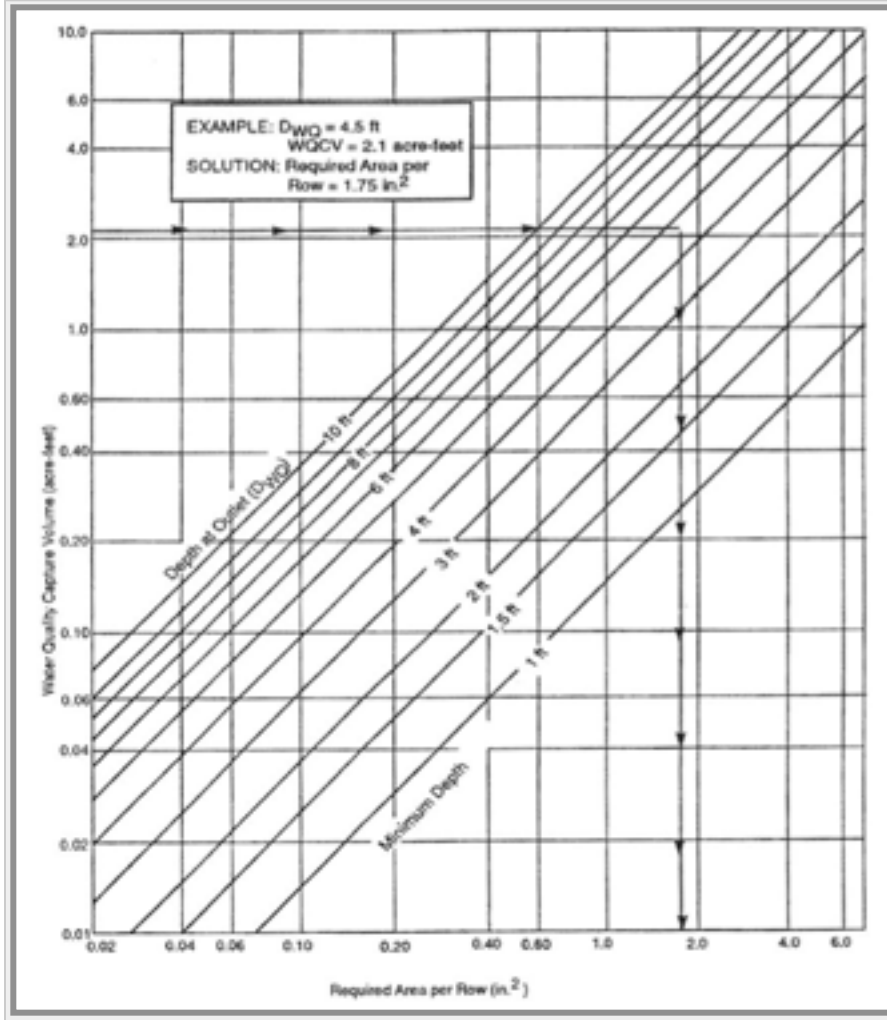
10-25% W_{tot}

Scarico

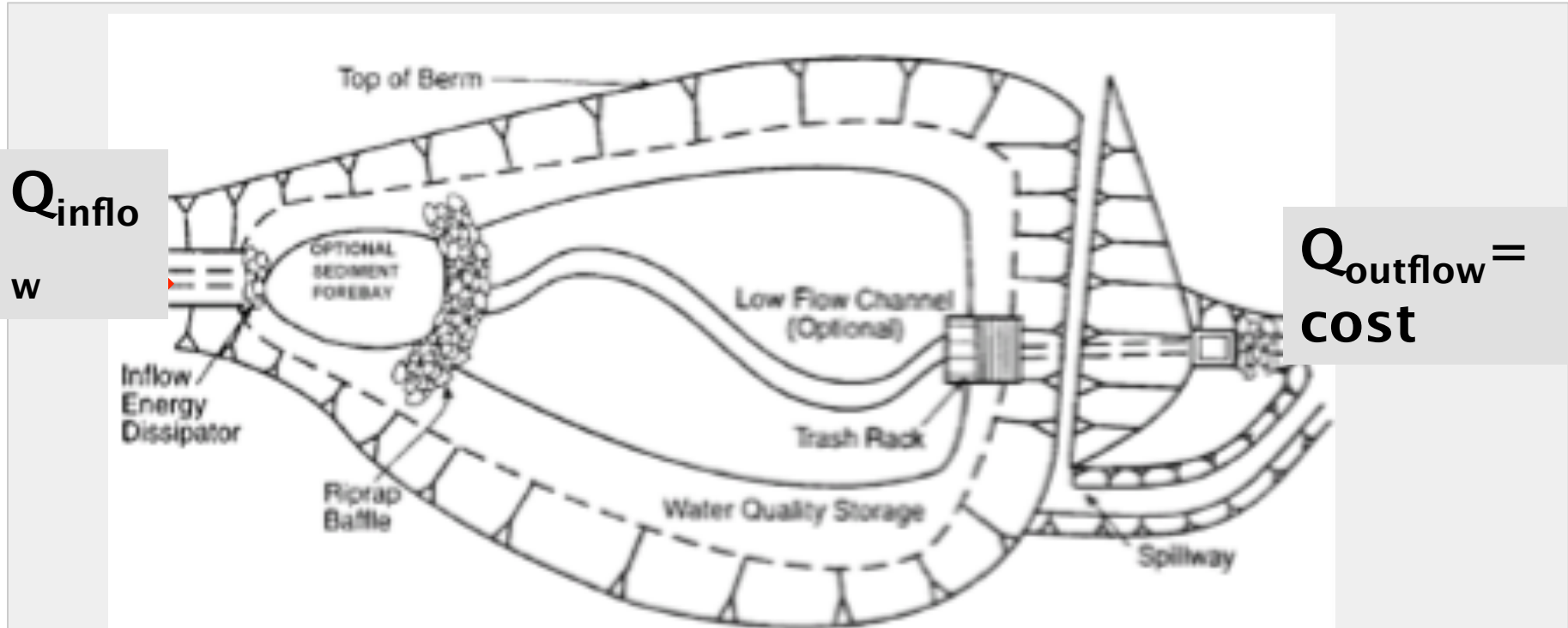
Struttura in c.a. Larga 1m



Bacini di detenzione Superficiale: struttura di sbocco



Bacini di detenzione superficiale:



In grado di raccogliere le acque di pioggia scolanti e rilasciarle attraverso un **sistema d'uscita a portata fissa**

Sono progettati per non avere acqua che ristagni all'interno, per cui sono asciutti per la maggior parte del tempo

Bacini di detenzione superficiale: Extended detention basins



Struttura di sbocco



Bacini di detenzione superficiale:

Scarico



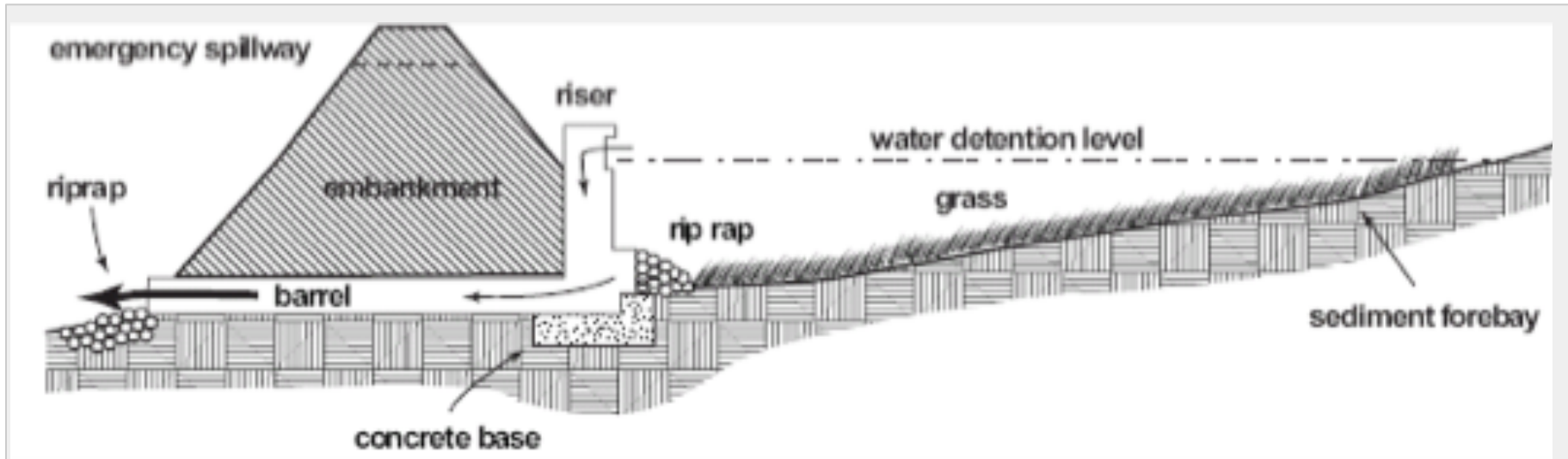
Bacini di detenzione superficiale: SCARICO



Bacini di detenzione superficiale: (Extented detention basins)

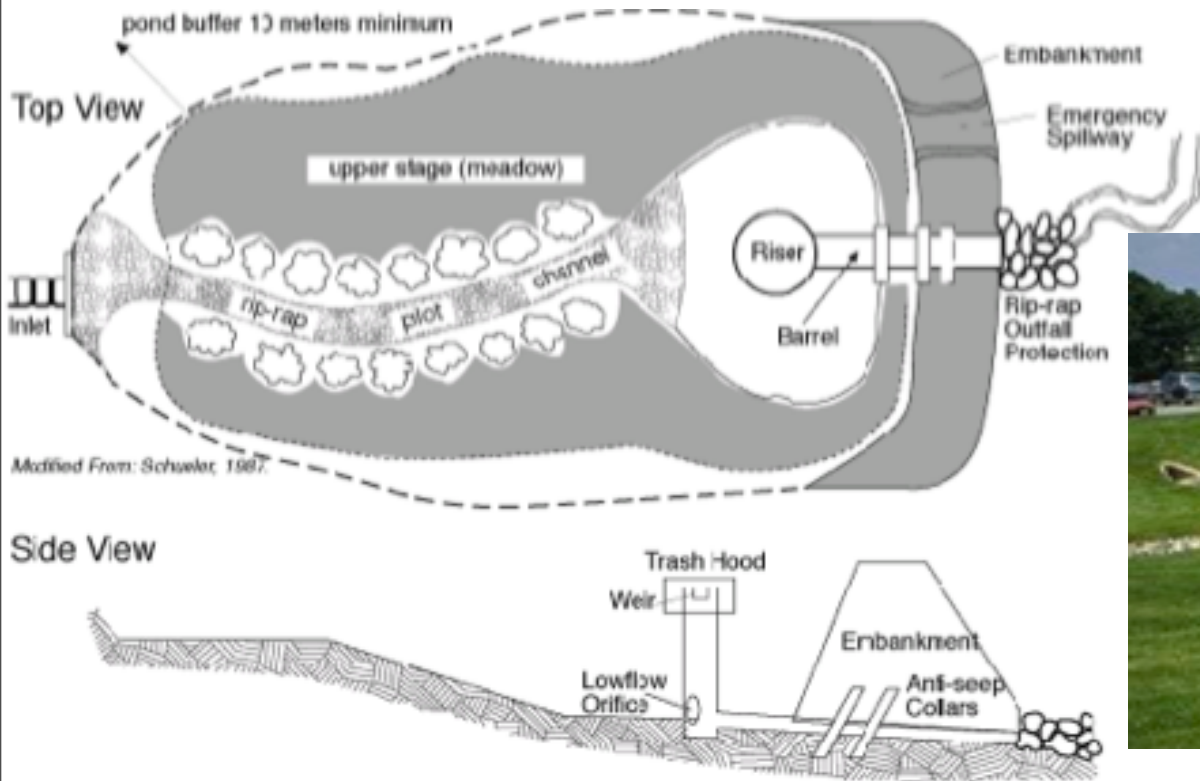


Bacini di detenzione superficiale: (Dry detention basins)



Vengono normalmente utilizzati per rimuovere sostanze inquinanti particolate e nel contempo ridurre le portate meteoriche verso il corpo recettore finale

Bacini di detenzione superficiale:



- **Non hanno una vasca per la ritenzione permanente, ma ricevono le acque di pioggia e le trattengono per un breve periodo per poi rilasciarle lentamente .**
- **Non essendo permanenti possono essere inclusi in aree adibite per altre soluzioni** quali parcheggi, campi sportivi o spazi aperti
- **Tendenza a risospingere i solidi depositatisi all'interno con le**

Strutture di detenzione sotterranea

- In genere, sono pensate per la sola funzione di flood control dato che un'eventuale sedimentazione comporterebbe elevati oneri per la pulizia della vasca
- Sono in genere poste valle di sistemi di trattamento al fine di limitare al minimo l'ingresso nella struttura di solidi sospesi e grossolani



Strutture di detenzione sotterranea

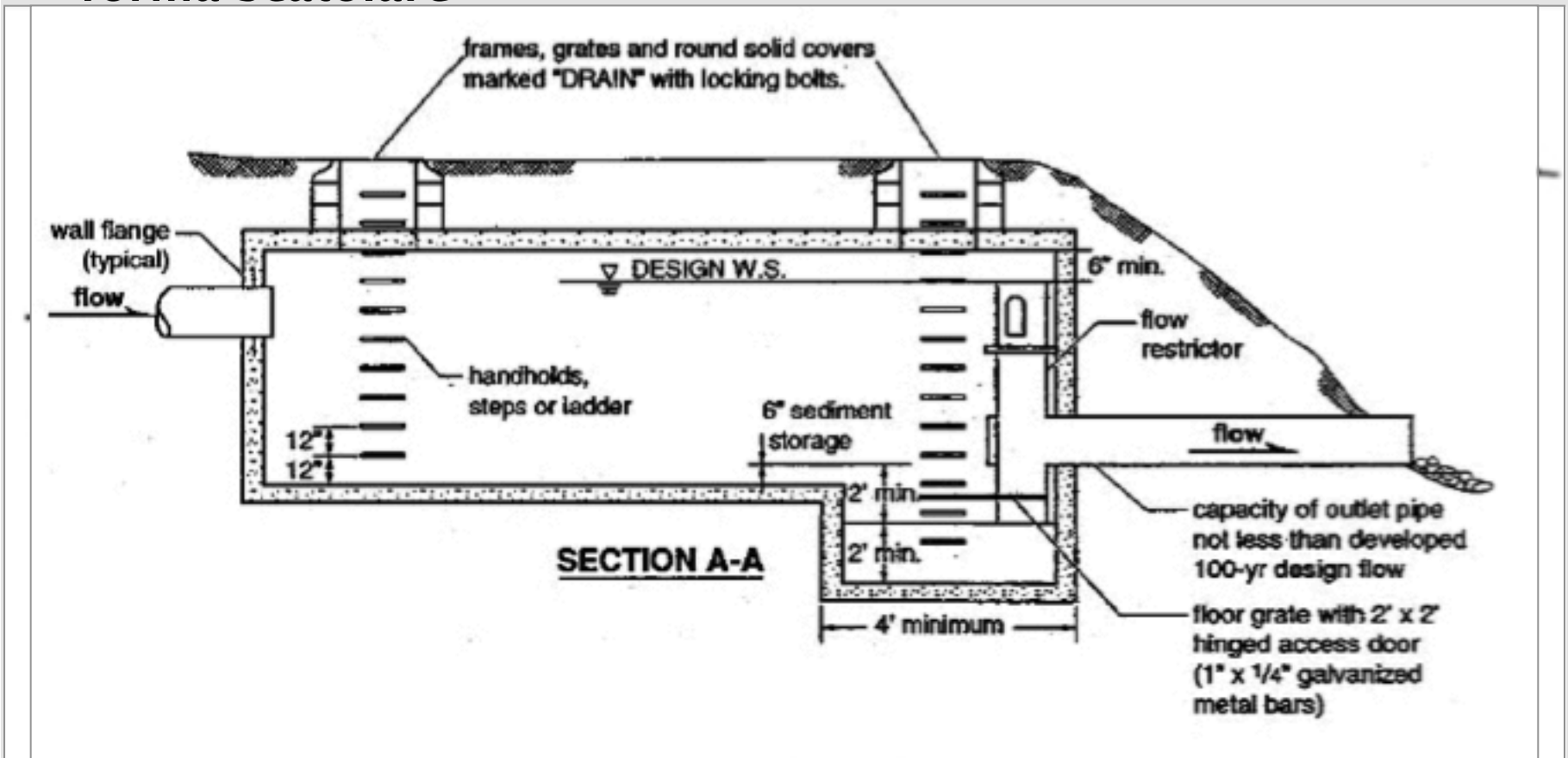
Esistono due tipi di detenzione sotterranea:

- Serbatoi in calcestruzzo di forma scatolare
 - Reti sotterranee costituite da tubi di gran diametro (almeno 1m) in metallo o plastica

 - I sistemi sotterranei seguono gli stessi criteri di dimensionamento dei bacini di detenzione
 - Rappresentano un'alternativa ai bacini di detenzione superficiale laddove non ci siano grosse disponibilità di spazi aperti
-

Strutture di detenzione sotterranea

Strutture di detenzione sotterranea: serbatoi in calcestruzzo di forma scatolare



Strutture di detenzione sotterranea: tipo modulare



- La pavimentazione è impermeabile
- L'alimentazione avviene attraverso caditoie frequentemente corredate da filtri più o meno complessi

Strutture di detenzione sotterranea: tipo modulare

Osservazioni:

- Necessità di interventi di rimozione dei sedimenti depositatisi dopo la fase di riempimento;
- Non dovrebbero sussistere rischi di inquinamento della falda (eventuale impermeabilizzazione del fondo).

Dimensionamento:

RIDUZIONE DEL PICCO DI PORTATA:

volume calcolato sulla base della capacità di laminazione di un evento critico (tempo di ritorno pari a 10 anni);

MITIGAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE:

volume calcolato sulla base della capacità di intercettare un prescelto volume di acque di prima pioggia (comunemente tra 2 e 10 mm), da avviare successivamente al trattamento.

Bacini di ritenzione

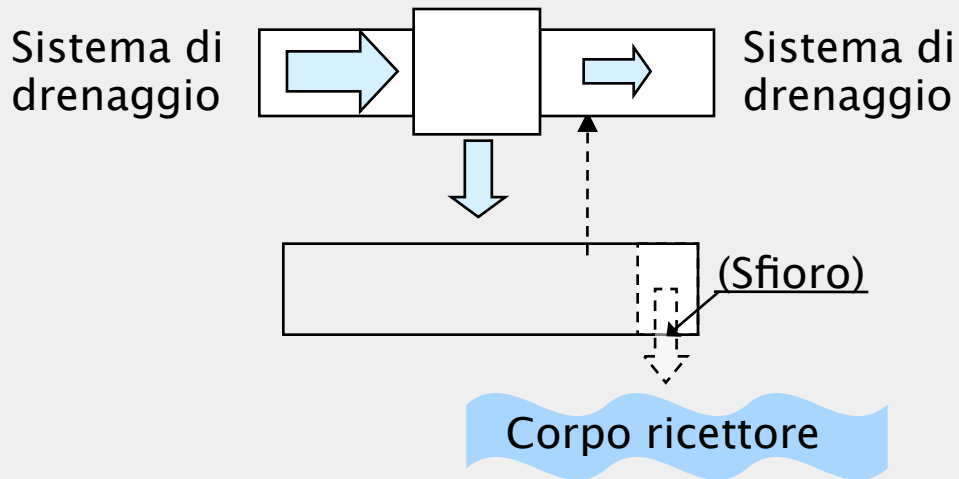
Sono bacini ricavati da una depressione, naturale o artificiale del terreno e sono **strutture progettate per intercettare le acque di prima pioggia, contenerle per tempi prolungati e per poi rilasciarle lentamente tramite infiltrazione ed evaporazione.**

- Permettendo di raggiungere elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti
- L'area in pianta richiesta da tale struttura è di circa 1-3% dell'area da drenare.

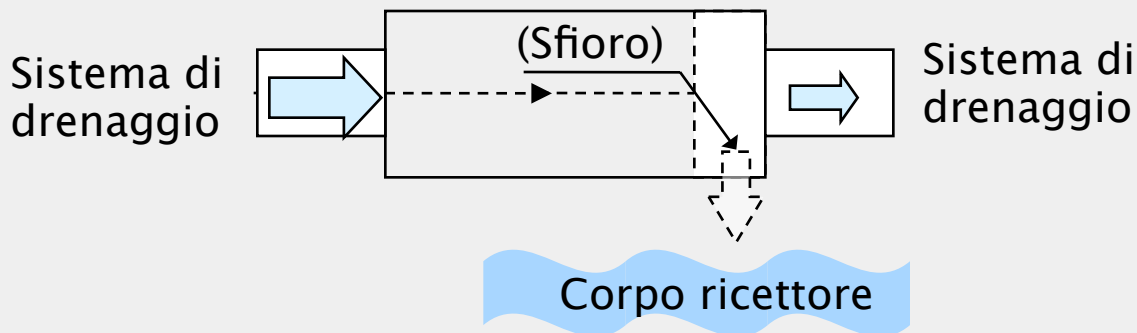


Bacini di detenzione

OFF - LINE



IN - LINE

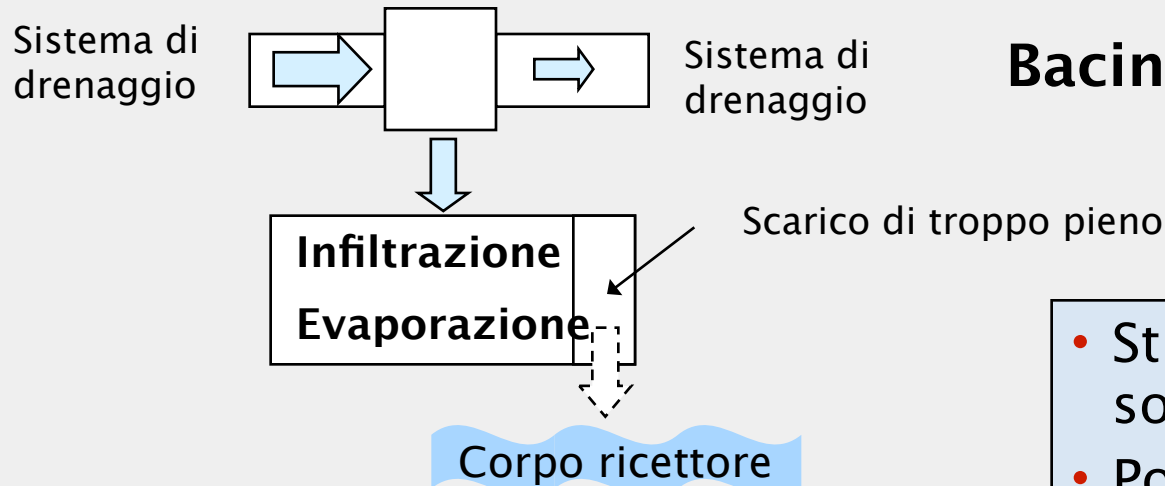


- Strutture centralizzate sotterranee/superficiali
- Bacini di transito

Usi:

- Flood Control
- Water quality Control

Bacini di ritenzione

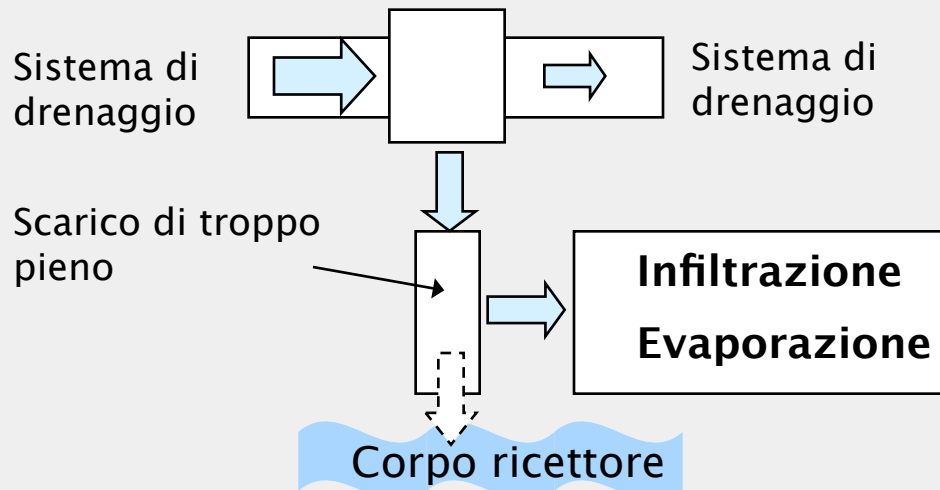


Bacino di transito

- Strutture centralizzate sotterranee/superficiali
- Posizione off-line

Usi:

- Water quality Control

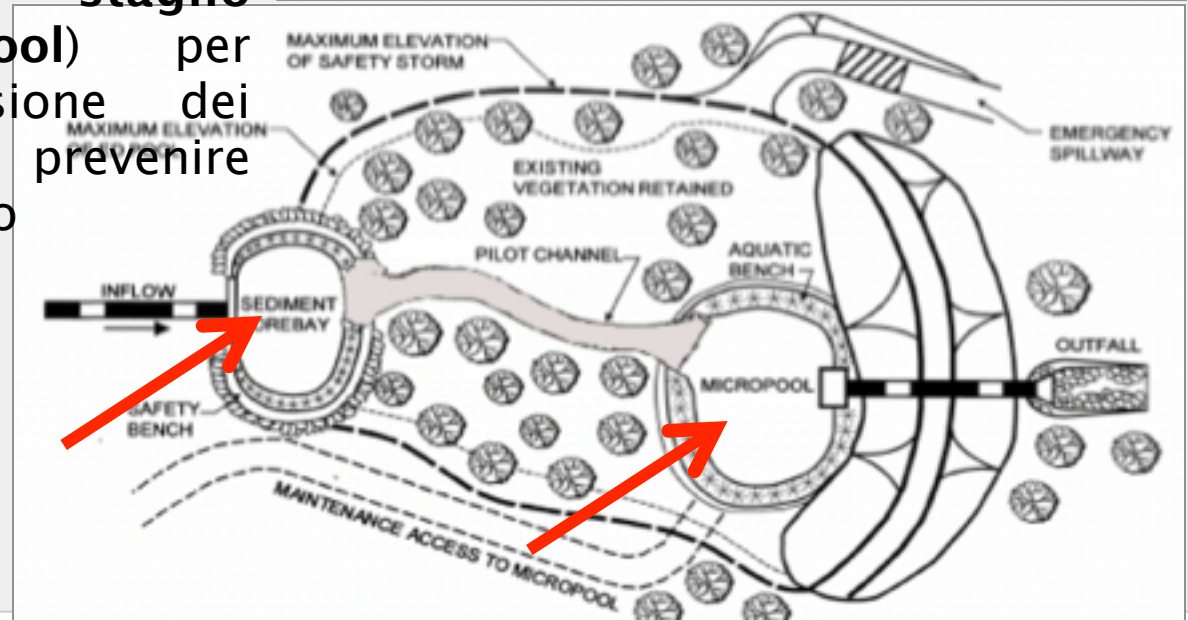
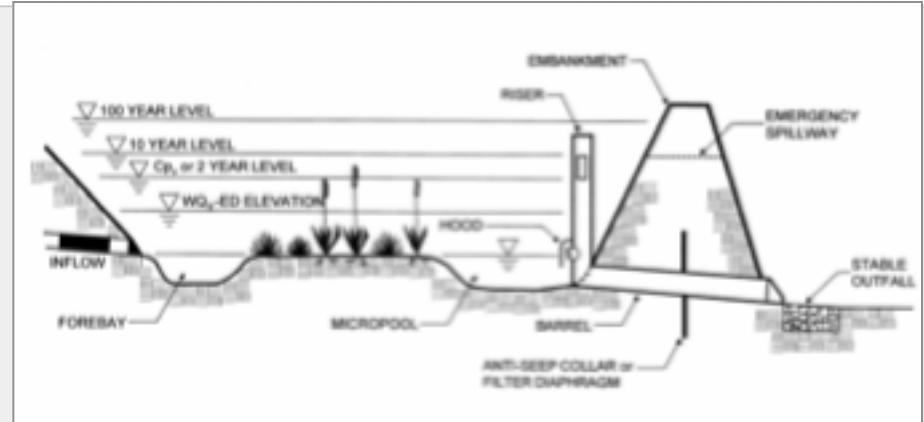


Bacino di cattura

Bacini di ritenzione

L'efficienza di rimozione può essere migliorata inserendo:

- all'ingresso uno stagno (**forebay**) di sedimentazione primaria per favorire l'accumulo dei solidi più grossolani
- all'uscita uno "stagno permanente" (**micropool**) per impedire la risospensione dei sedimenti depositati e prevenire l'intasamento dello scarico

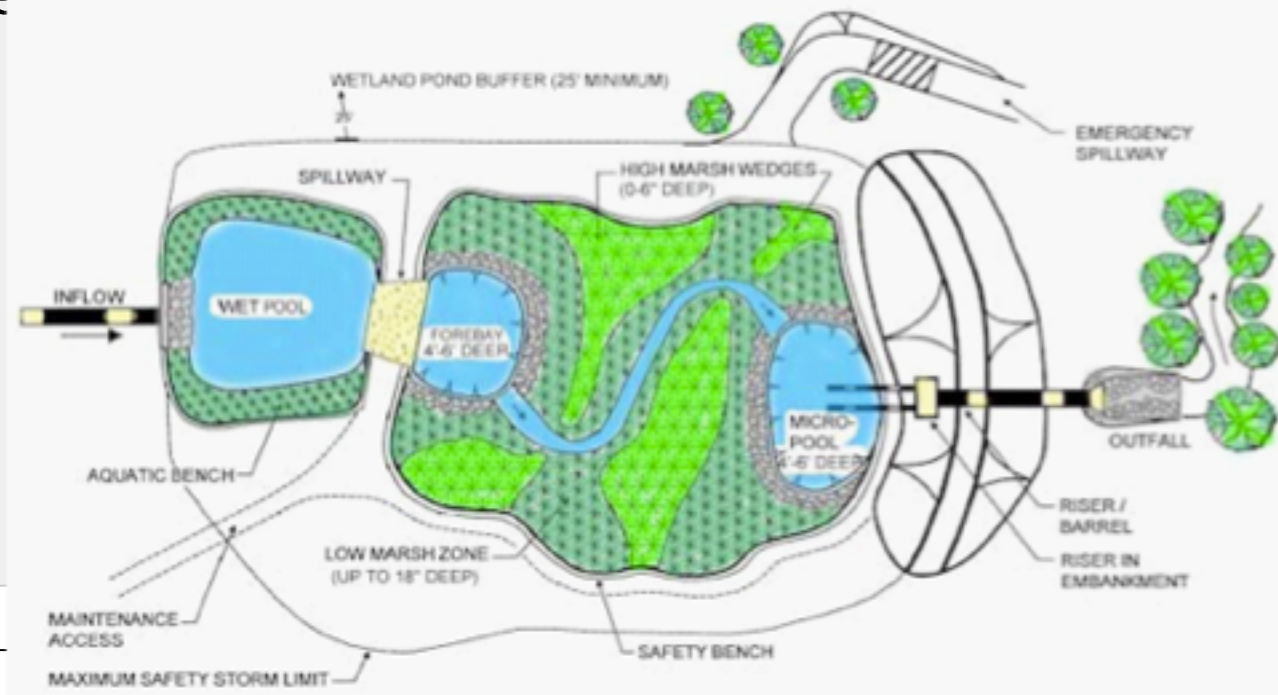



Bacini di ritenzione



Bacini di ritenzione: stagno permanente (Wet pond)

- Bacino permanente allagato soprattutto nei periodi piovosi
- Il volume viene dimensionato in base alla capacità di ritenzione dei particolati inquinanti richiesta
- La profondità dello stagno, solitamente è intorno ai 90 cm per evitare che le perturbazioni generate dal vento determino risospensioni dei sedimenti. Profondità al di sopra dei 2 metri dovrebbero essere evitate per impedire stratificazioni termiche



A photograph of a retention pond (Wet pond) with reeds and a white truck in the background. The pond is surrounded by tall reeds and other vegetation. In the background, a white truck is parked in front of a brick building. The truck has the text "SUPERIOR WOODWORKING INC" and "321-452-7874" on its side. The pond is filled with water, and the reeds are reflected in it. The sky is not visible.

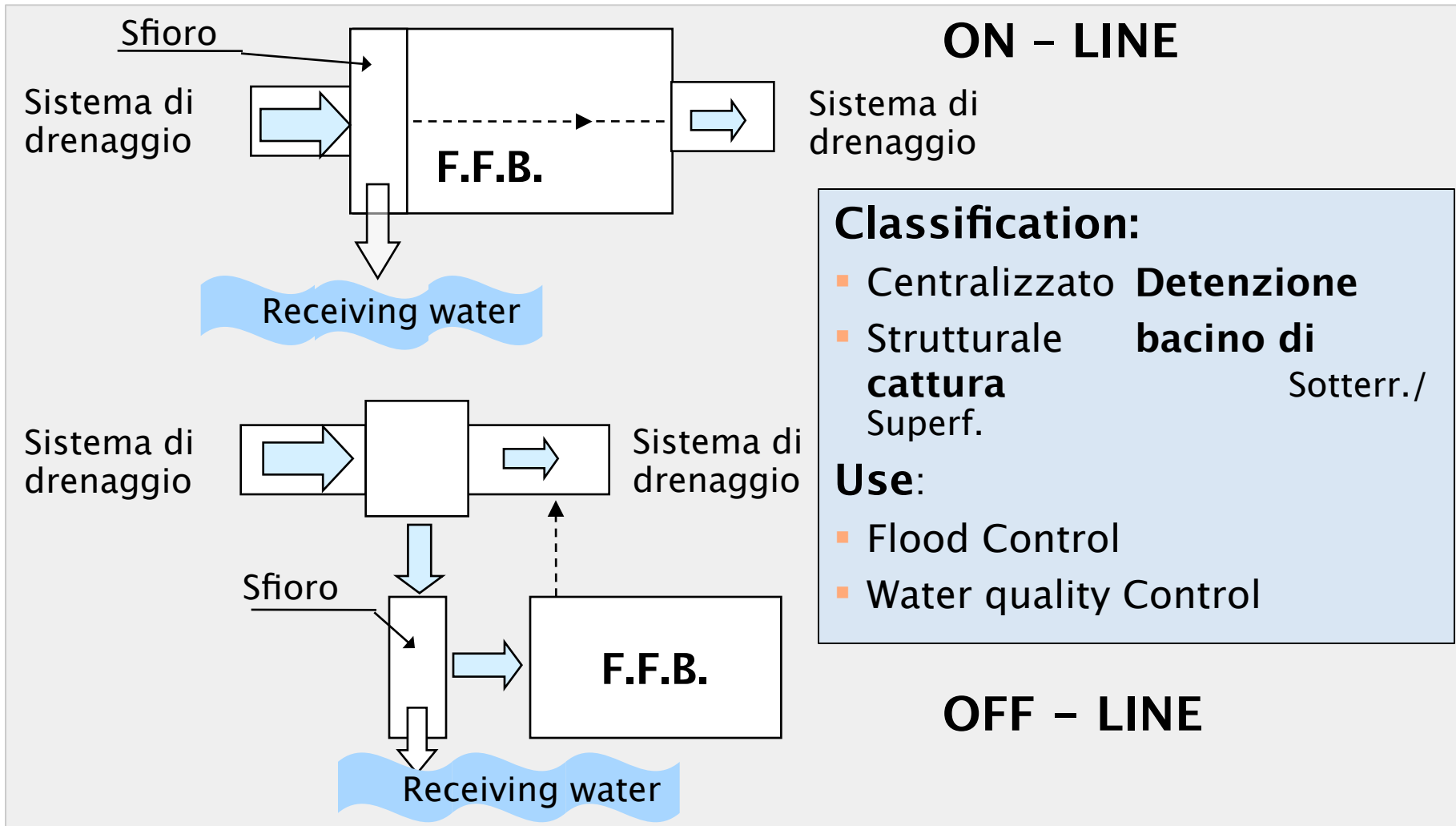
**Bacini di ritenzione:
stagno permanente (Wet
pond)**

I bacini di ritenzione possono combinarsi (volutamente o meno) con altri interventi di mitigazione come, per esempio, la fitodepurazione ottenendo rendimenti di rimozione degli inquinanti difficilmente standardizzabili.

Bacini di ritenzione



First flush detention storage:



ON - LINE

Sistema di drenaggio

Sistema di drenaggio

Receiving water

Classification:

- Centralizzato Detenzione
- Strutturale bacino di cattura Sotterr./ Superf.

Use:

- Flood Control
- Water quality Control

OFF - LINE

Sistema di drenaggio

Sistema di drenaggio

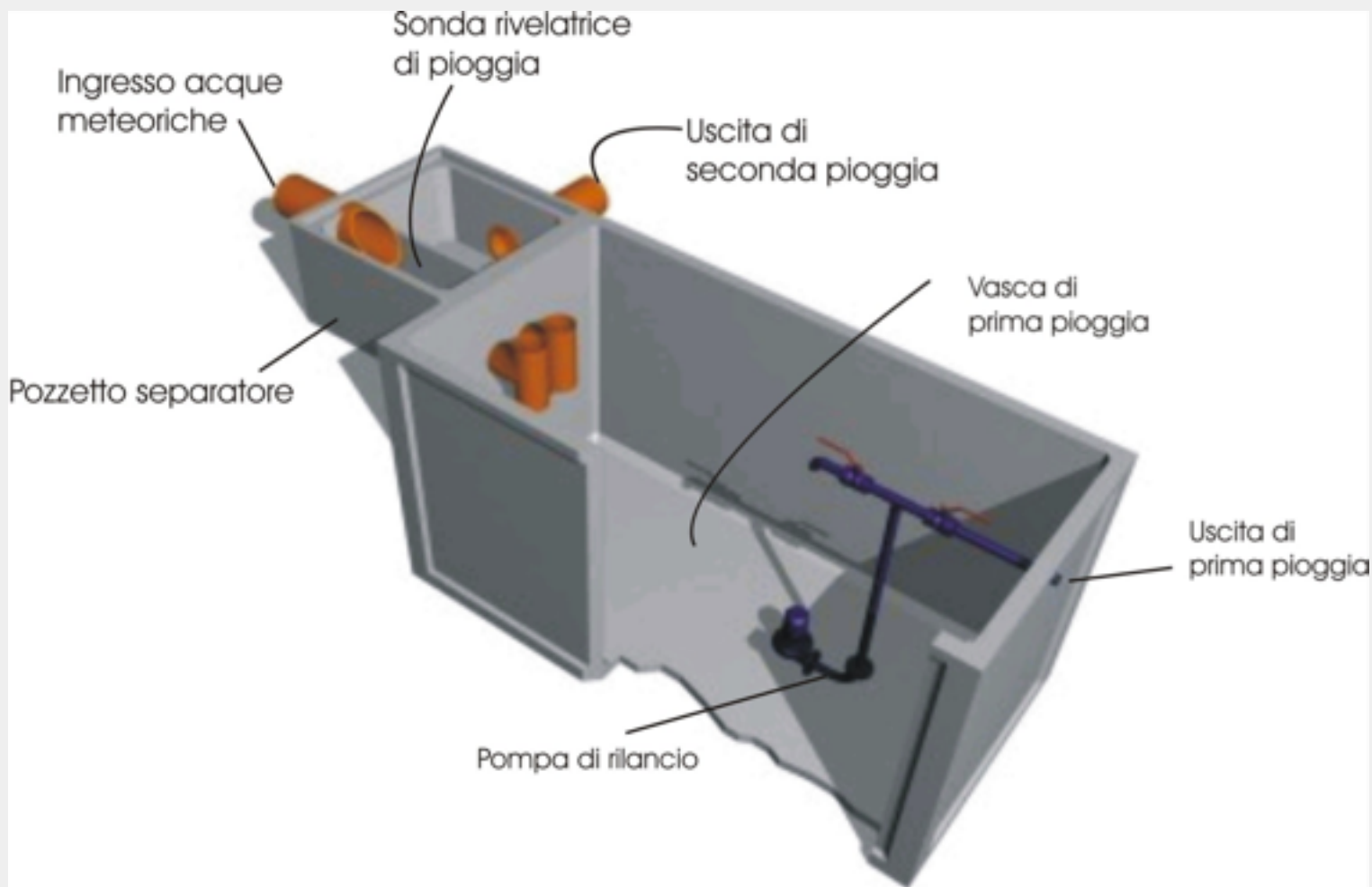
Sfioro

Receiving water

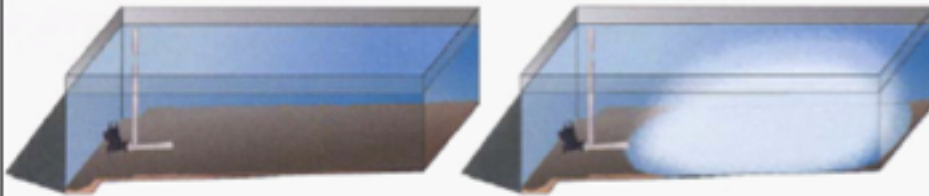
F.F.B.

F.F.B.

Vasche di prime pioggia

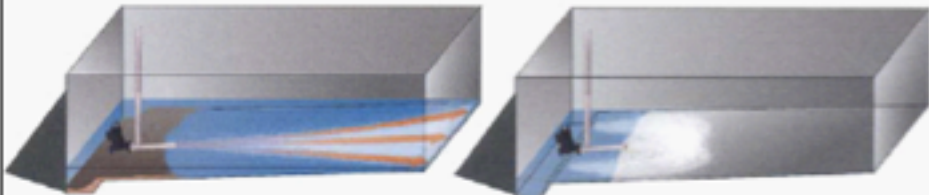


Sistema di lavaggio dei sedimenti con eiettore



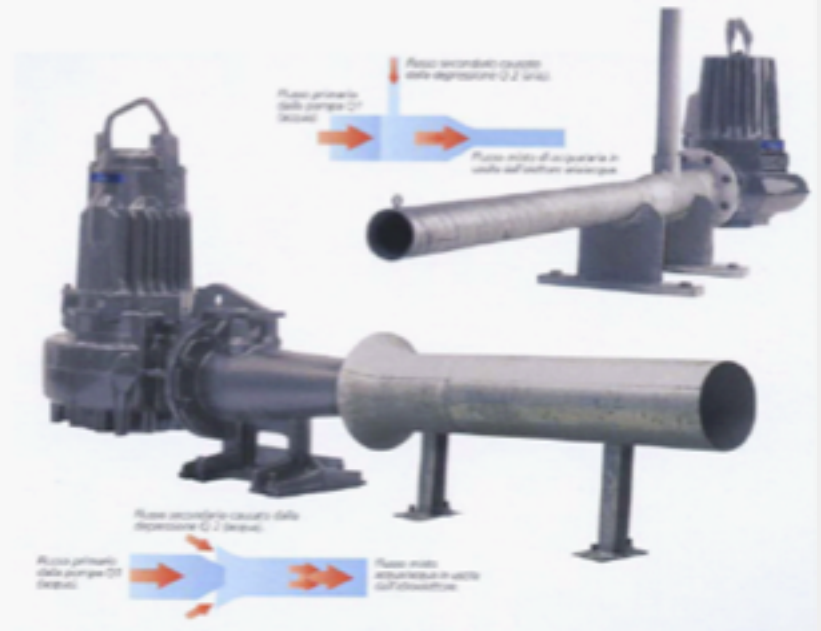
La sequenza di pulizia impiegando un eiettore aria/acqua: questi lavorano in modo analogo agli idroeiettori.

1. I solidi sedimentati sono portati in sospensione dal getto di un eiettore.



2. Con il diminuire del livello dell'acqua, il getto lava le estremità più lontane della vasca.

3. I solidi rimossi sono scaricati con l'acqua residua.

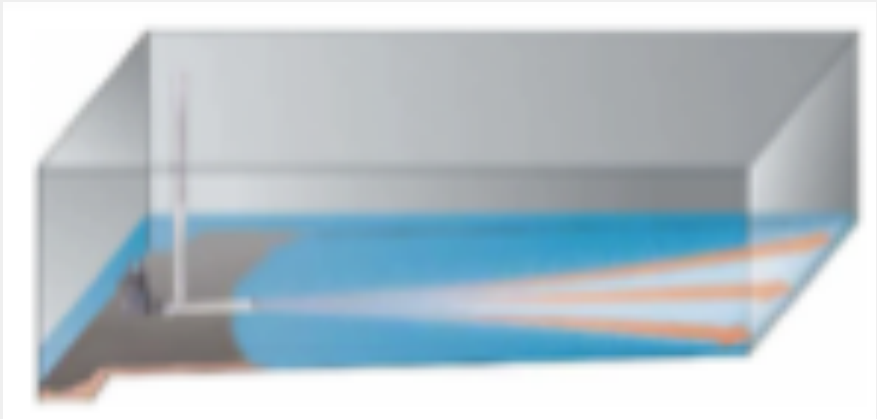


First flush storage: Sistemi di lavaggio

Pump-ejector washing system



1) Bulk-flow

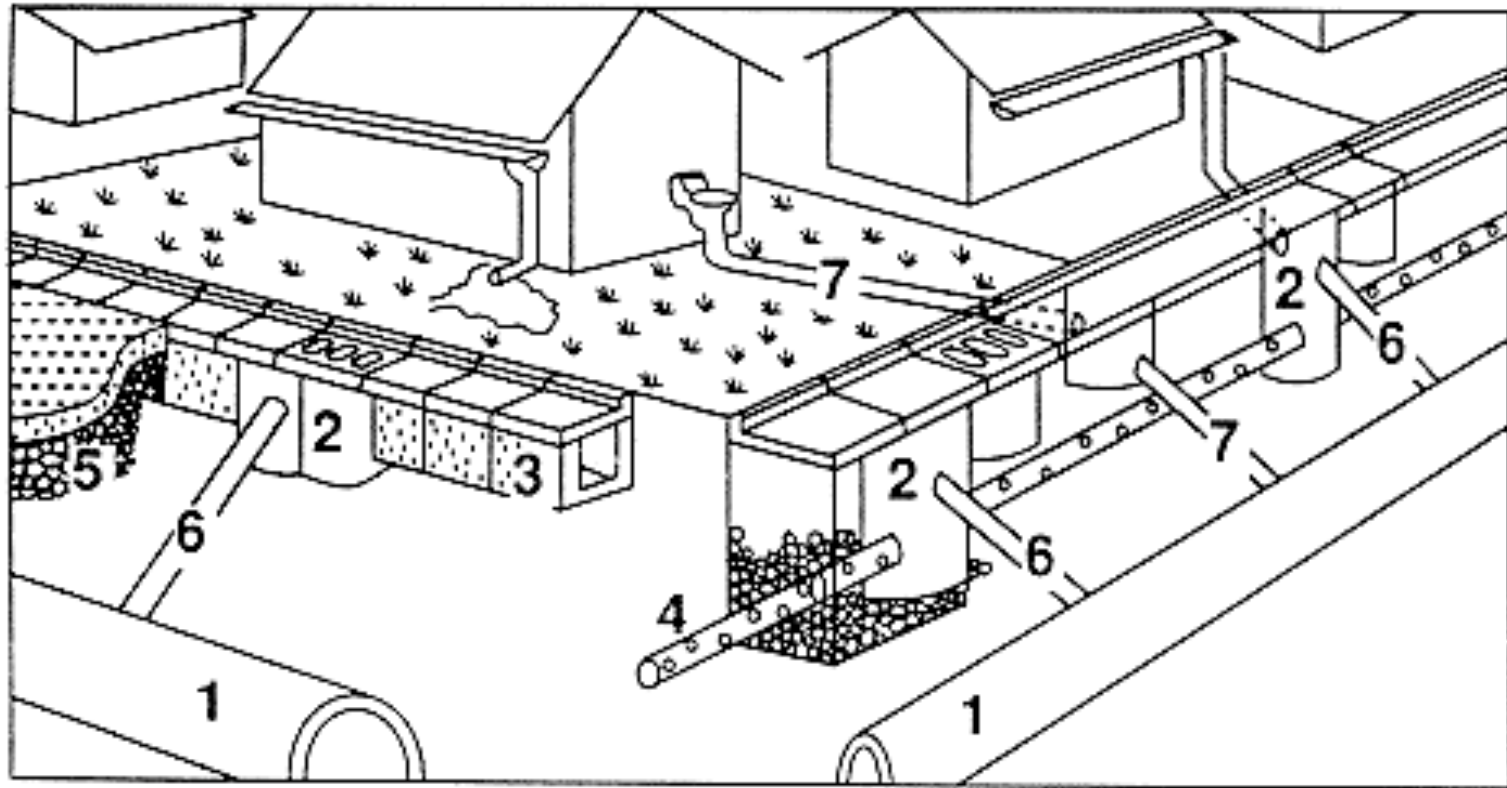


2) Fluxing



3) Final Fluxing

Strutture di infiltrazione



1 Sistema di drenaggio
fognario ordinario

2 Pozzo di infiltrazione

3 Trincea di infiltrazione
pieno

4 Condotta infiltrante

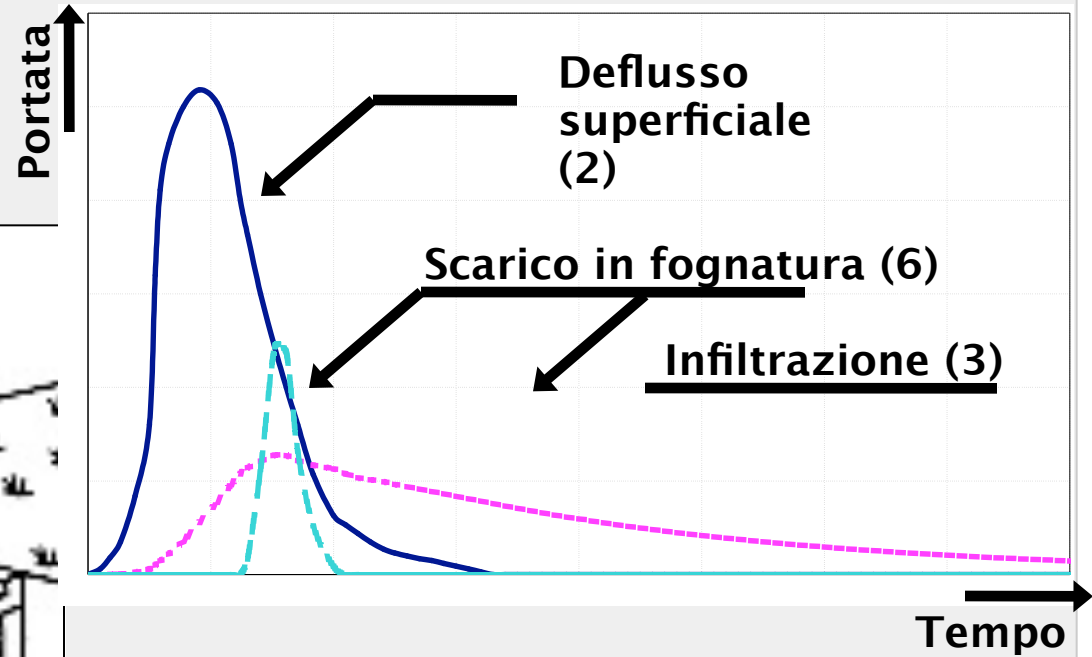
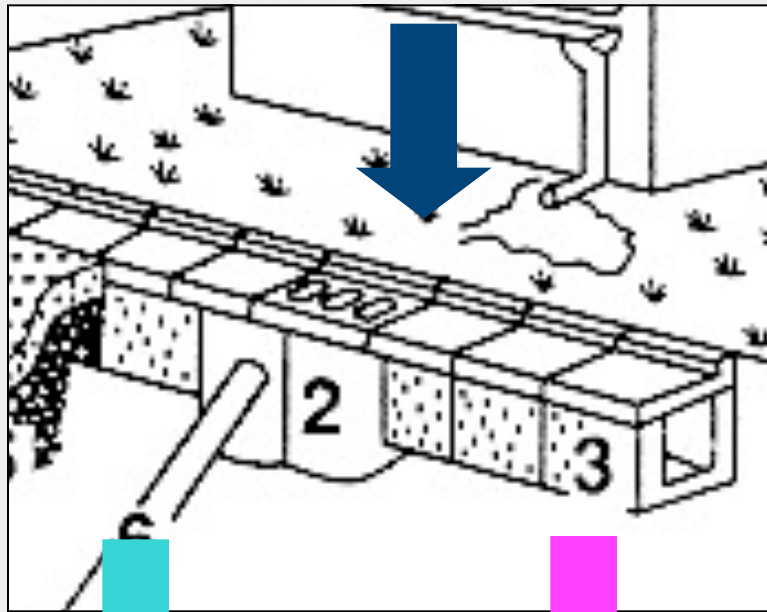
5 Pavimentazione porosa

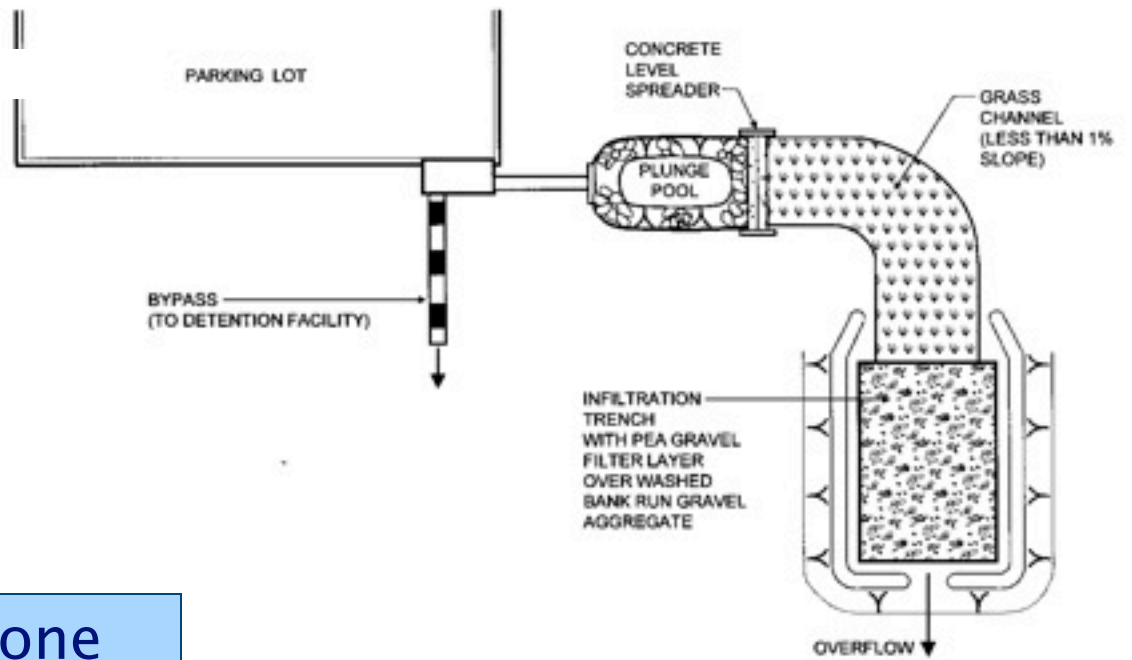
6 Scarico di troppo

7 Allaccio

Strutture di infiltrazione

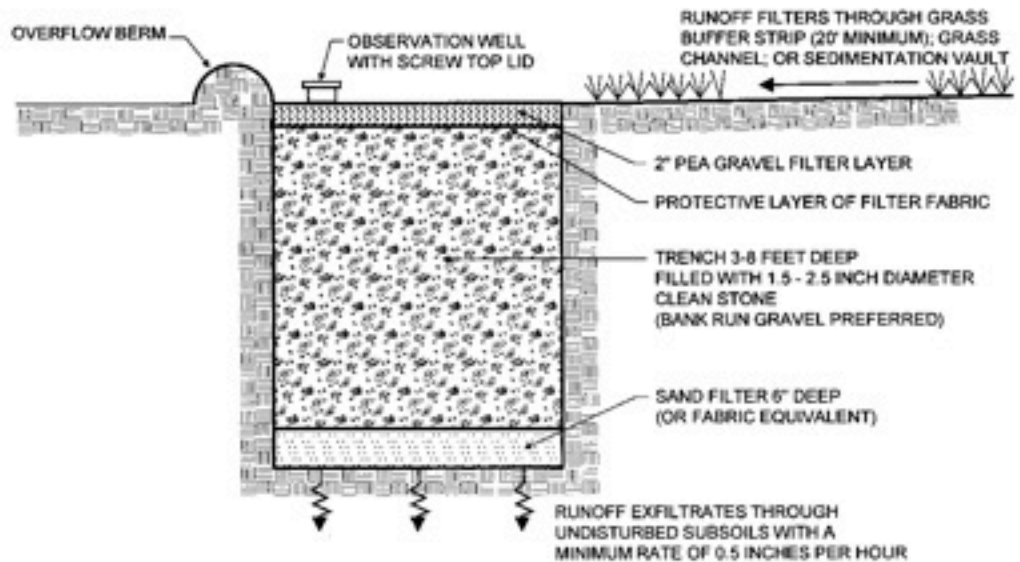
PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO





Trincea di infiltrazione

PLAN VIEW



SECTION

Trincea di infiltrazione



Trincea di infiltrazione



Pre-trattamento su superficie vegetata

Trincea di infiltrazione in Scozia

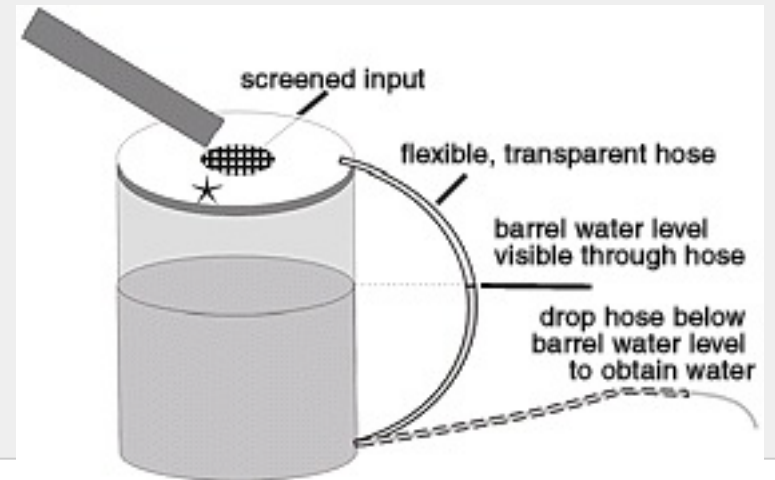
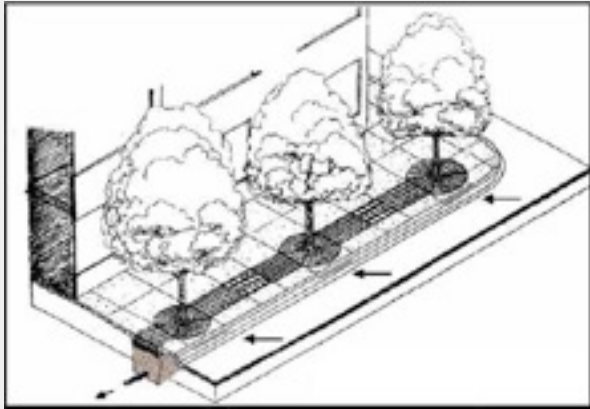


Photos by
Kirsteen McDonald

Retrofitting con Trincee di infiltrazione Emsher River, Germany



Retrofitting con Trincee di infiltrazione e serbatoi pluviali



Retrofitting con serbatoi pluviali



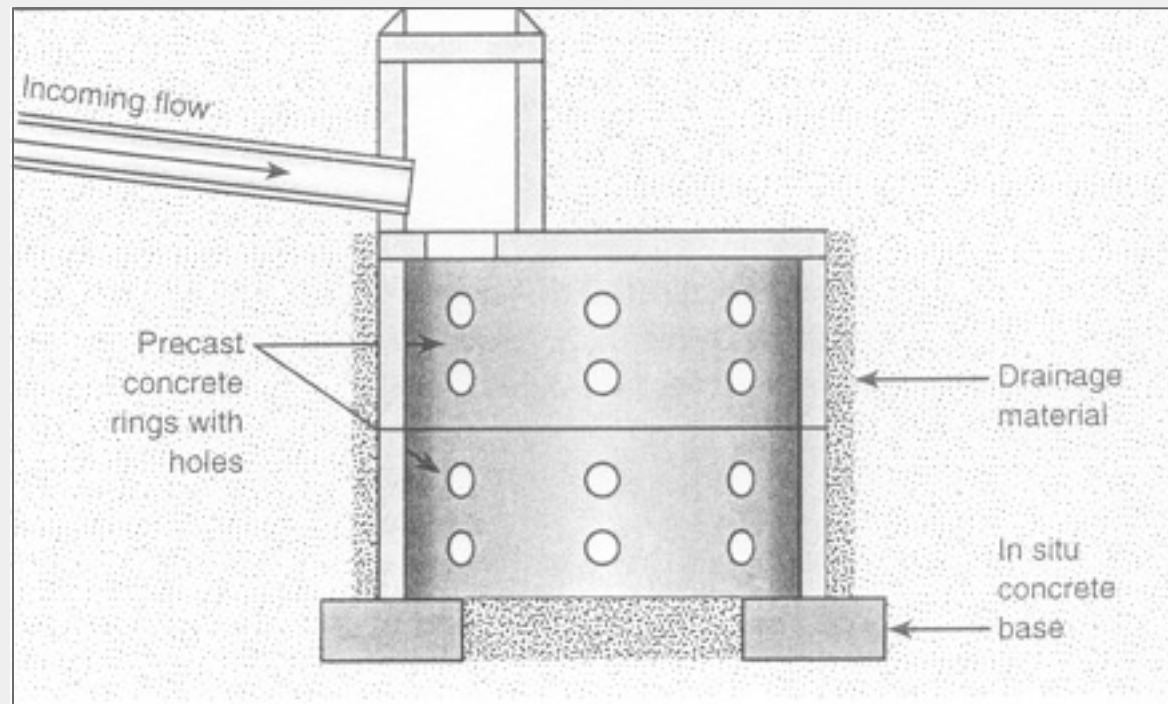
Pozzi drenanti

Classificazione:

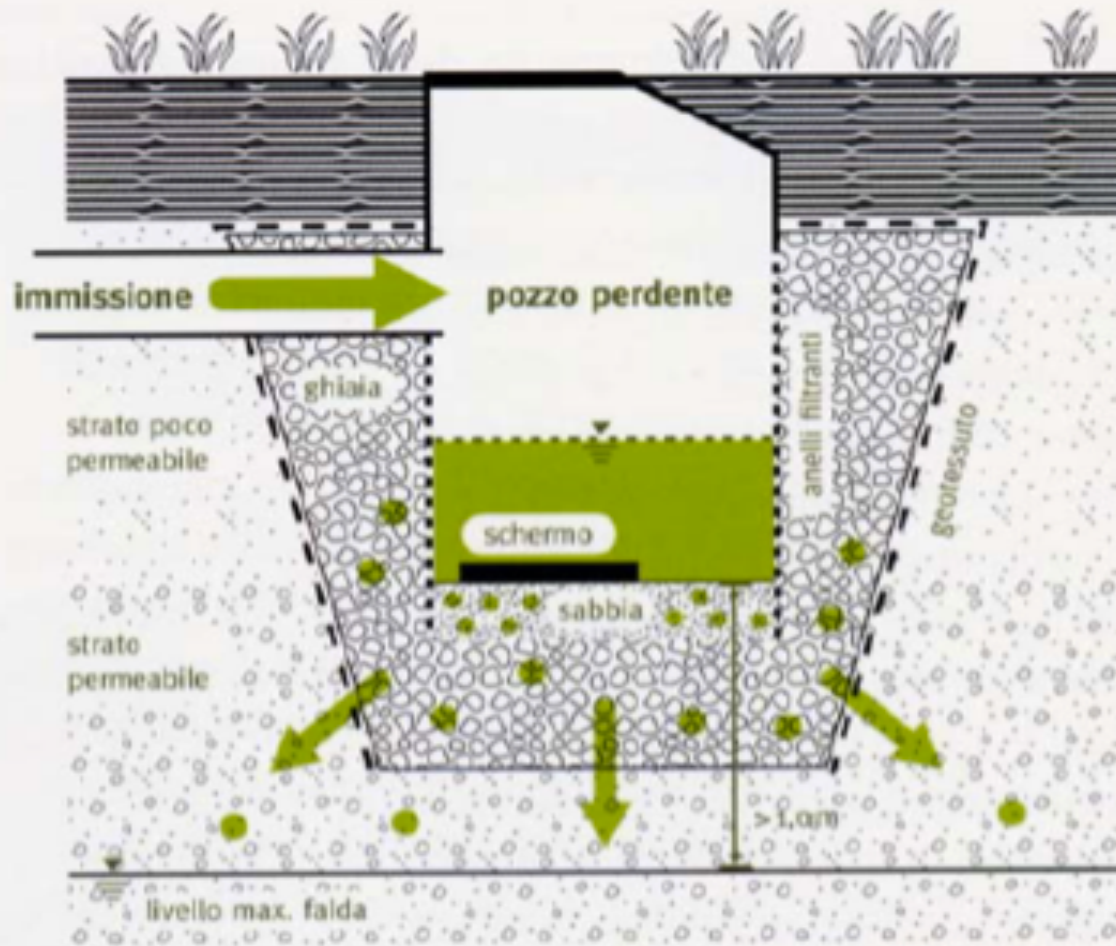
- Centralizzato
- Off-line (On-line: filters, detenzione locale)
- Strutturale

Use:

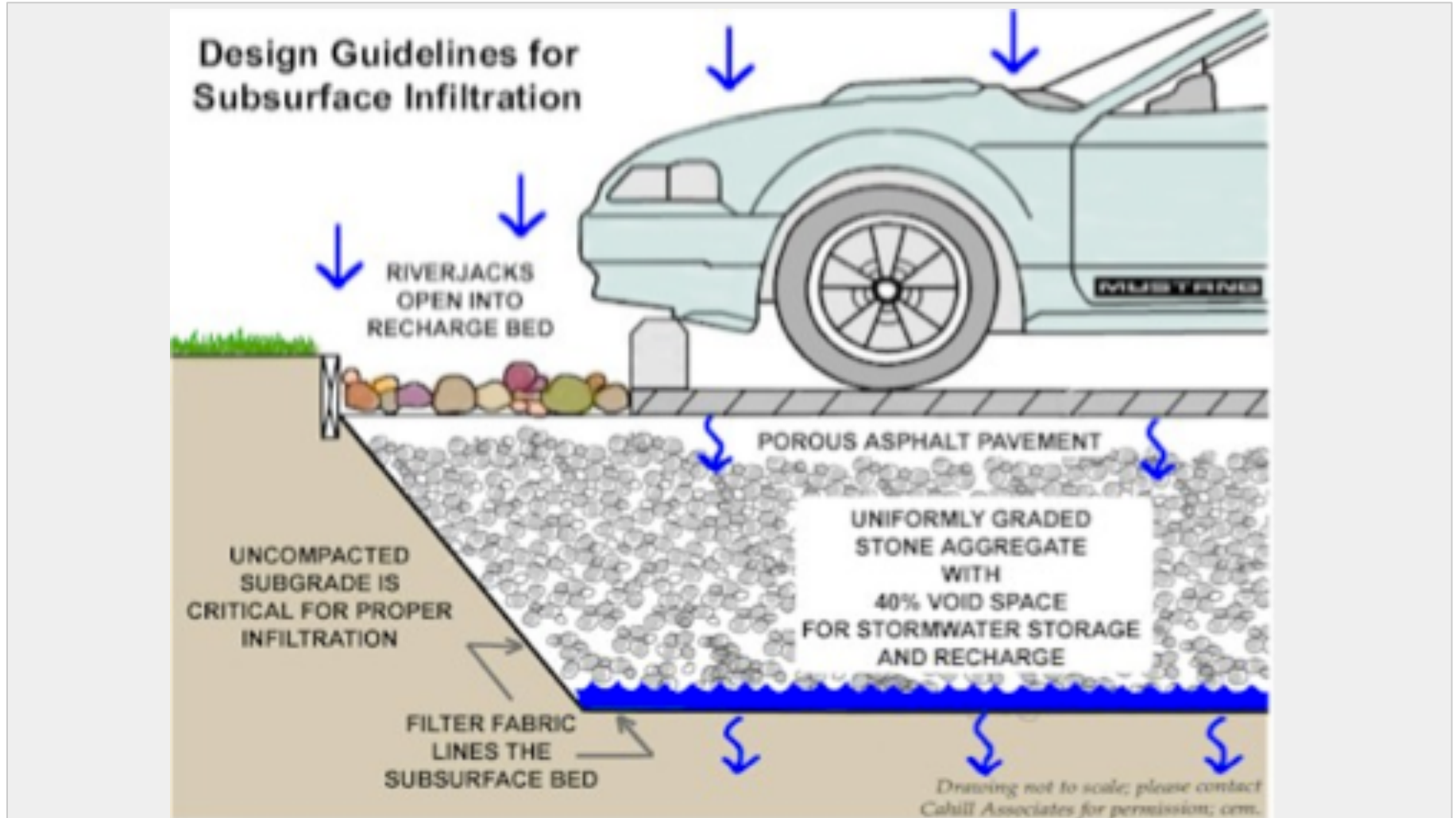
- Flood Control
- Water quality Control



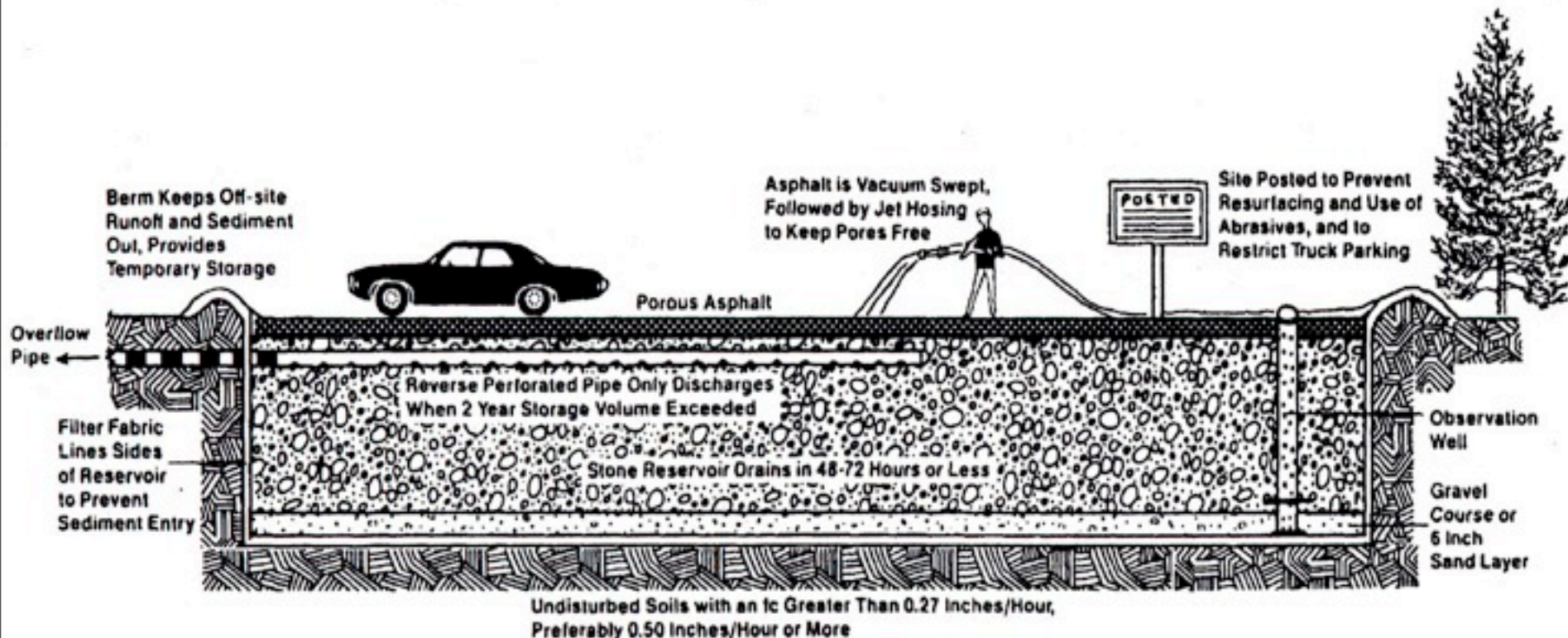
Pozzi drenanti



Pavimentazione porosa



Pavimentazione porosa

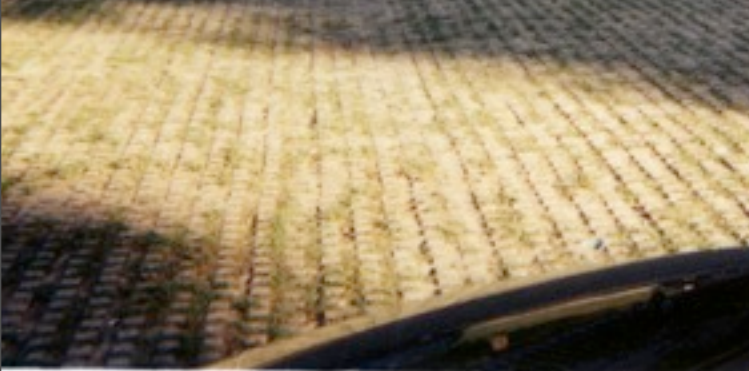


A fondo perpendente (USA)
A fondo impermeabile (EU)

Pavimentazione porosa

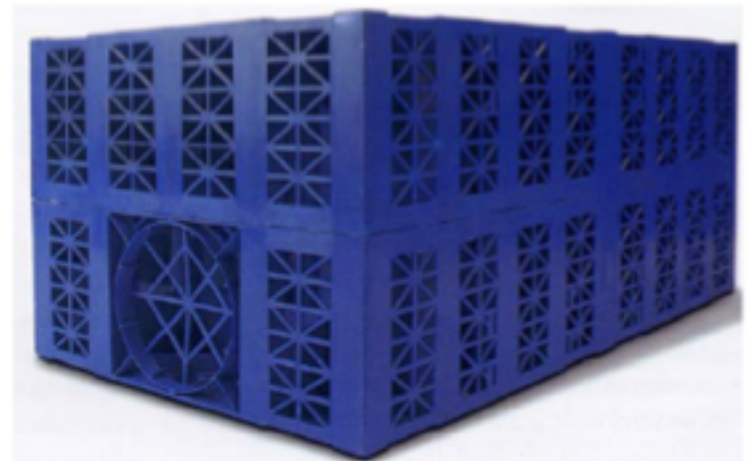


Pavimentazioni permeabili



Strutture serbatoio

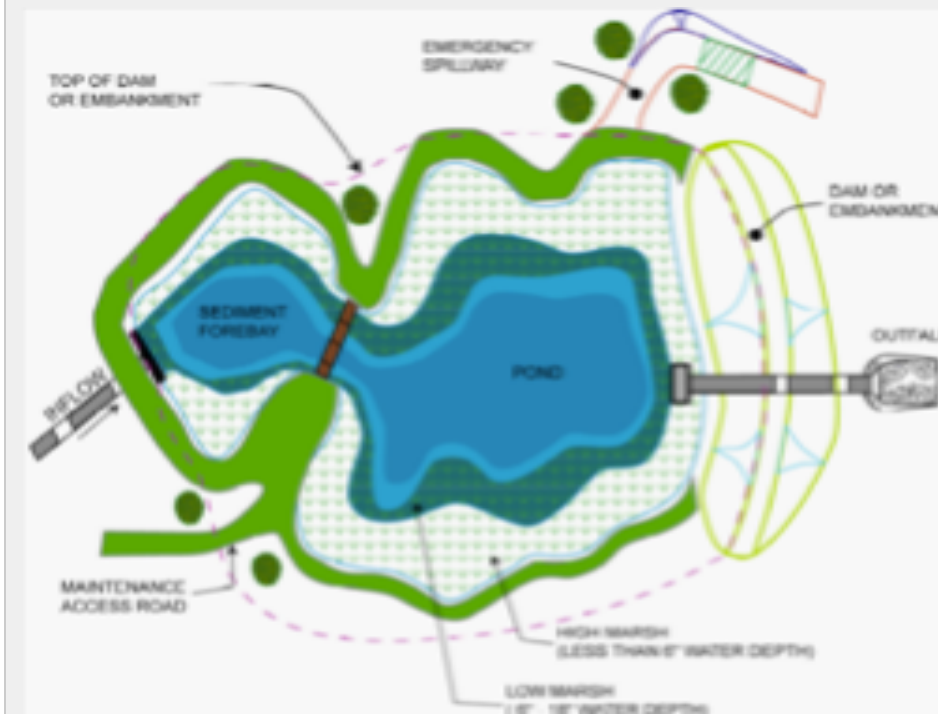
- Idonee nel caso di terreni poco permeabili.
- Strato superficiale permeabile (pavimentazione porosa) e sottostante strato di materiale macroporoso (naturale o sintetico).
- Rilascio dell'acqua per infiltrazione nel sottosuolo.
- **Nel caso di elevati carichi stradali,** impermeabilizzazione in superficie e alimentazione dalle caditoie.
- Nel caso di pericolo d'inquinamento della falda, impermeabilizzazione delle superfici laterali e di fondo, con scarico nel sistema fognario, anche per sollevamento.



SISTEMI VEGETATI: wetlands

Immagazzinamento temporaneo dei deflussi in corpi idrici superficiali poco profondi che supportano condizioni sostenibili per la crescita di piante acquatiche.

Rimuovono un vasto range di inquinanti presenti nei deflussi urbani
Forniscono un habitat ideale per la fauna selvatica



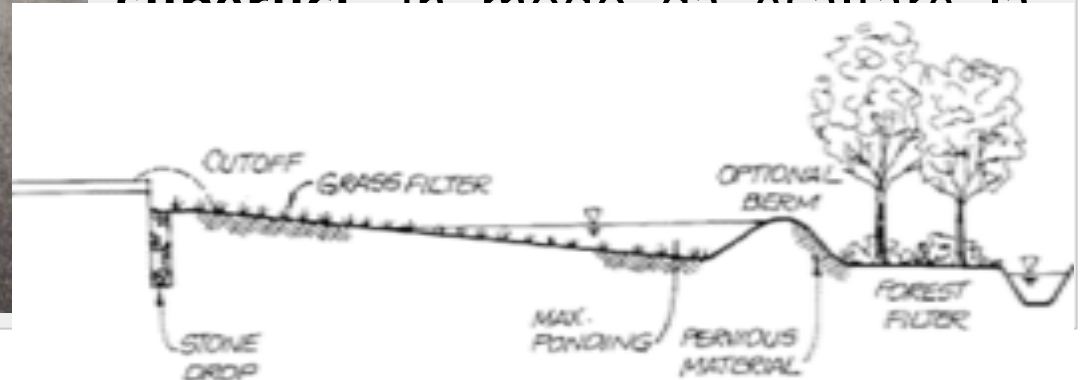
SISTEMI VEGETATI: Filtri vegetali



Integrano l'infiltrazione nel terreno con un processo di filtrazione attraverso la vegetazione.

La filtrazione risulta particolarmente influenzata dalla velocità della corrente nella cunetta che costituisce anche il principale elemento di dimensionamento

Pendenze molto basse ed estese superfici in modo da esaltare la



SISTEMI VEGETATI: Cunette vegetate

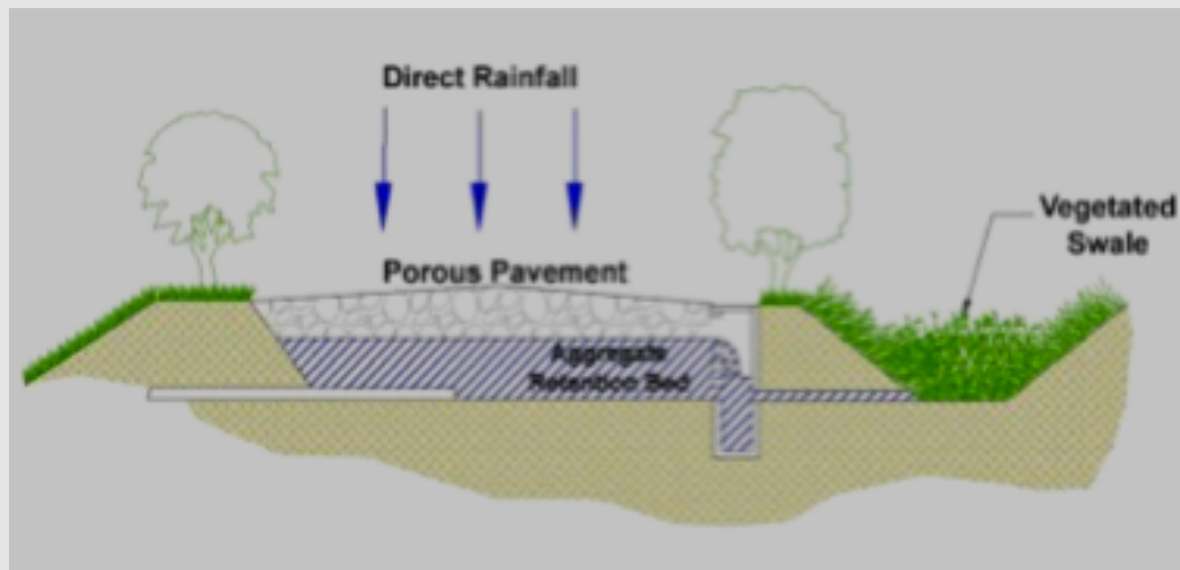
CLASSIFICAZIONE

- Cunette erbose con trincee di infiltrazione
- Canali erbosi
- Canali umidi



Applicazioni delle cunette vegetate

- Parcheggi
- Impianti commerciali o poco industrializzati
- Strade e autostrade
- Aree di sviluppo residenziale
- Zone di pretrattamento per BMPs basate sul volume



Cunette erbose



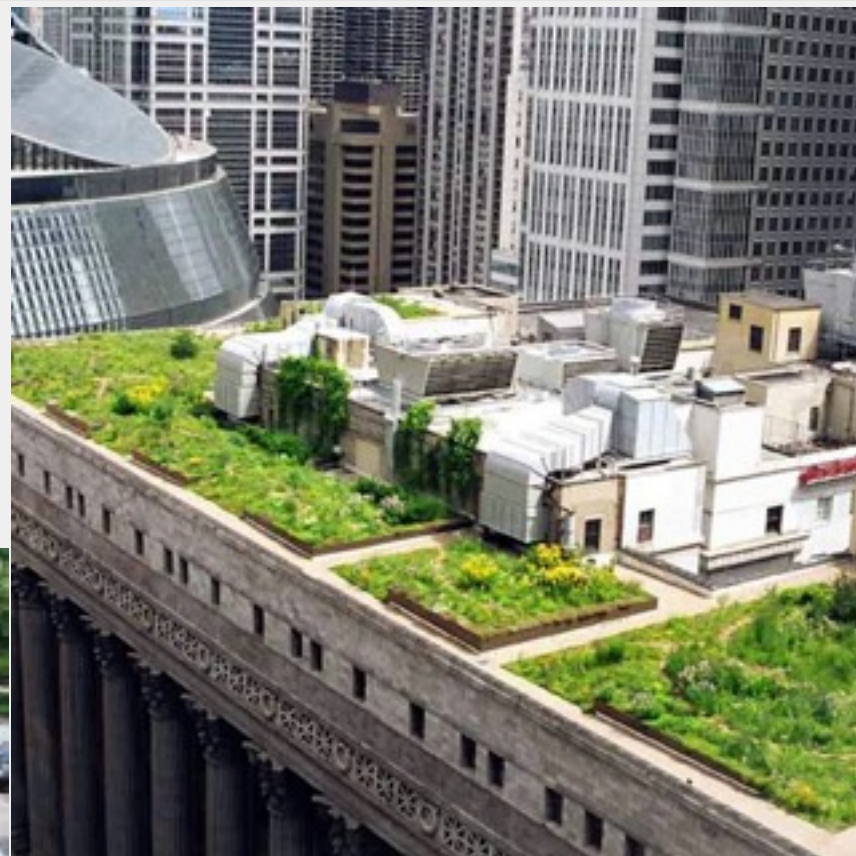
Applicazioni delle cunette vegetate





Disconnessione delle aree impermeabili

Sistemi di disconnessione: Il verde pensile



Tetti e pareti verdi



Photo provided by
Emilio Anaya
Living Roofs, Inc.

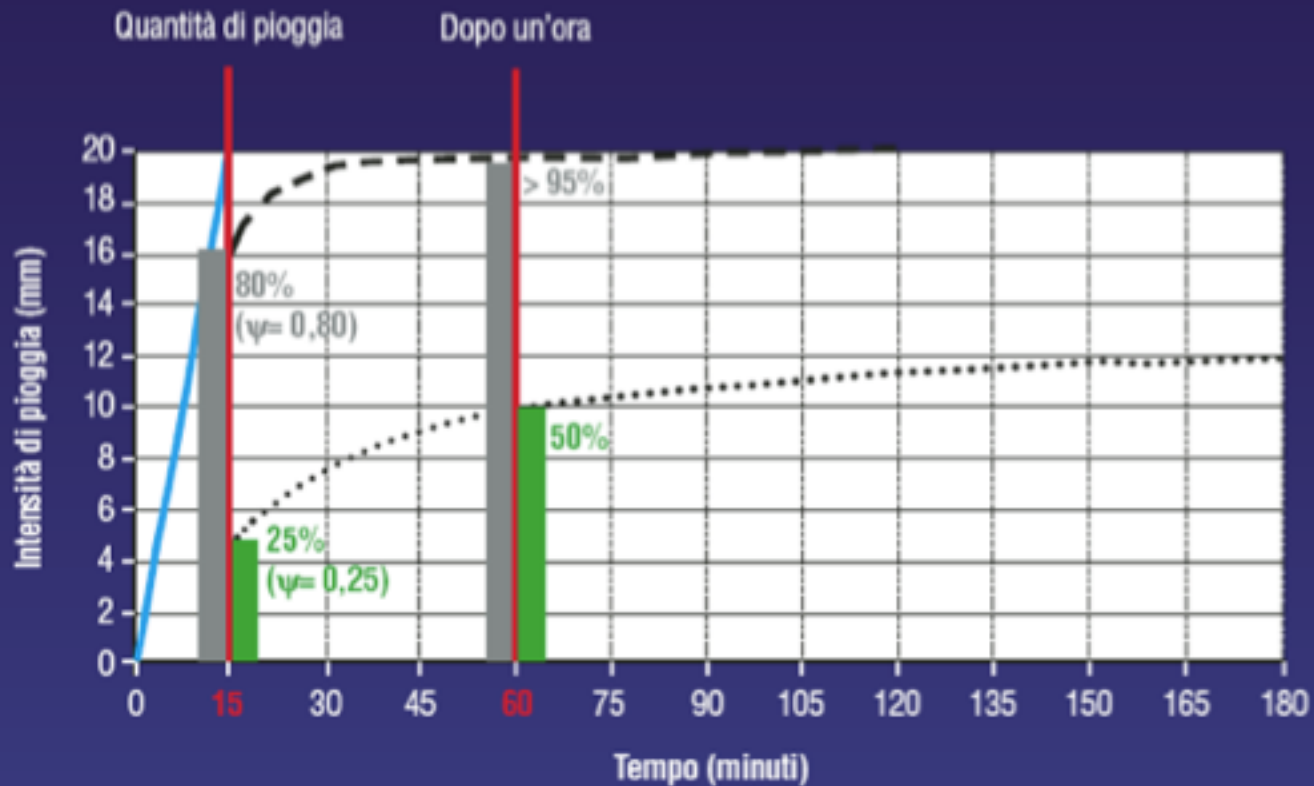


Tetti e pareti verdi



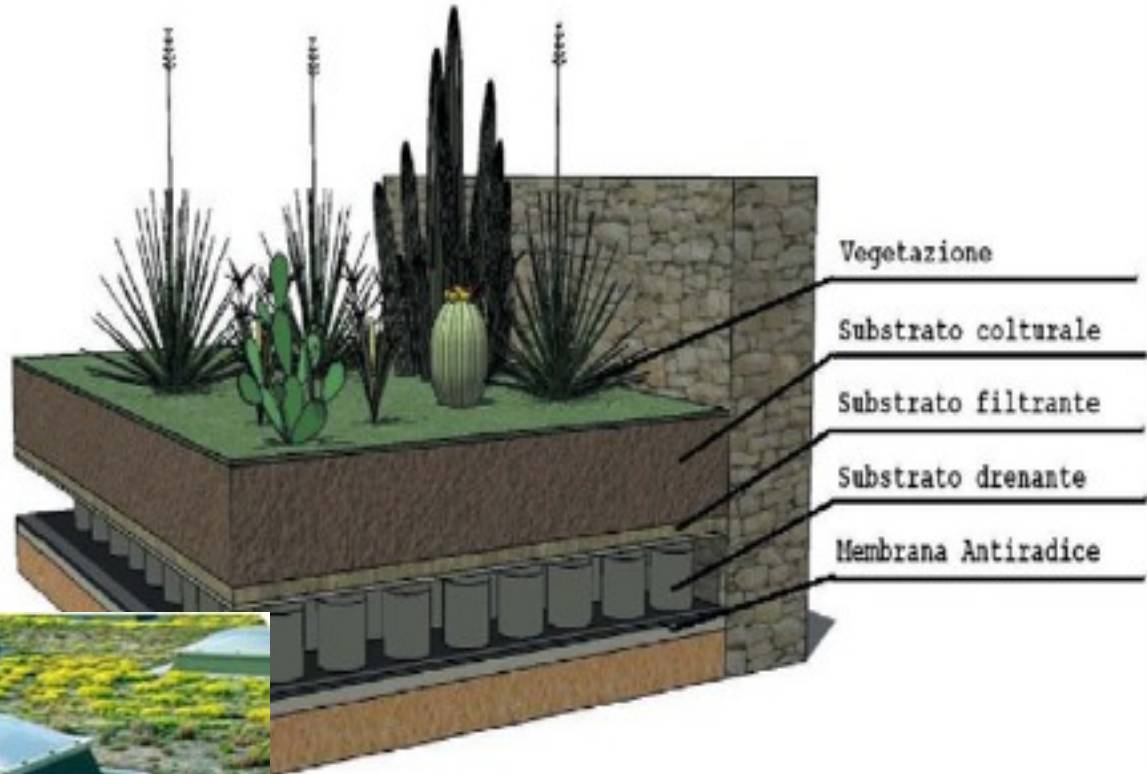
Sistemi di disconnessione: Il verde pensile

Grafico 1 - Confronto tra la capacità di regimazione idrica di una copertura con zavorrata in ghiaia e una copertura a verde pensile estensivo con spessore del substrato di 10 cm (Germania)



Legenda — Pioggia — Copertura zavorrata in ghiaia Copertura a verde

Sistemi di disconnessione: Il verde pensile



Sistemi di disconnessione: Il verde pensile



Sistemi di disconnessione: Il verde pensile



Sistemi di disconnessione: Il verde pensile



Sistemi di disconnessione: Il verde pensile

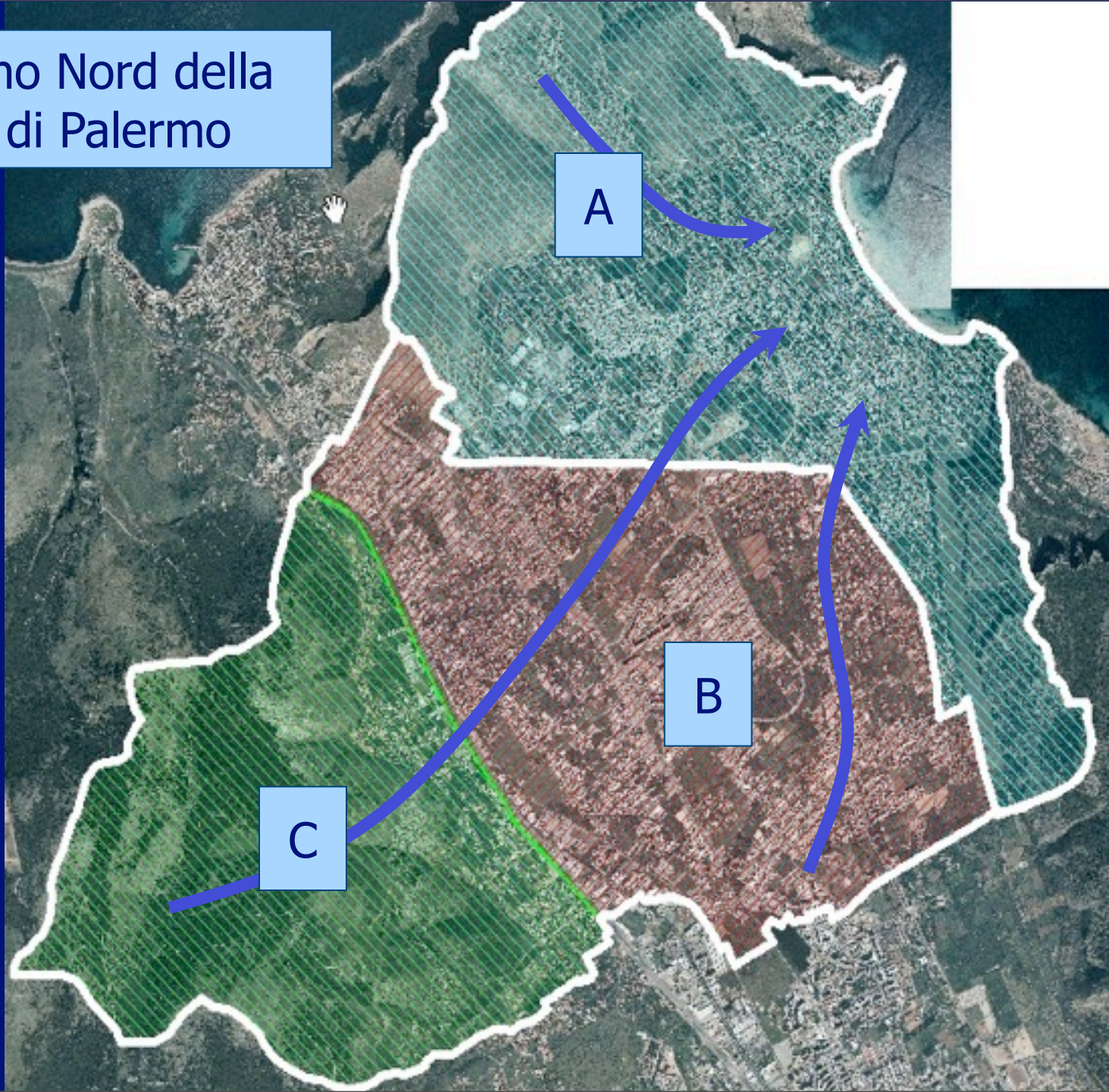
OBIETTIVI

- ✓ ridurre e controllare gli afflussi ai sistemi di drenaggio mediante la ritenzione e la detenzione delle acque meteoriche
- ✓ permette di contenere l'aumento delle temperature, attraverso l'evapotraspirazione e l'assorbimento della radiazione solare incidente
- ✓ abbattere considerevolmente il ricircolo delle polveri inquinanti mediante la capacità di assorbimento e trattenuta delle stesse
- ✓ preservare la biodiversità grazie alla creazione di nuovi ambienti di vita per animali e piante
- ✓ mitigare l'inquinamento acustico con la riduzione della riflessione del suono all'esterno e della diffusione all'interno
- ✓ simulare i processi del ciclo dell'acqua, tramite la ritenzione (immagazzinamento e dispersione) del volume di pioggia

DIMENSIONAMENTO

**CONFRONTO TECNICO – ECONOMICO TRA
STRUTTURE ALTERNATIVE DI LAMINAZIONE E
INFILTRAZIONE DIFFUSA DELLE ACQUE
METEORICHE**

Il bacino Nord della città di Palermo



ZONA A: Il bacino afferente all'abitato di Mondello

Superficie complessiva del bacino idrografico:

24,85 km²

Zona A:

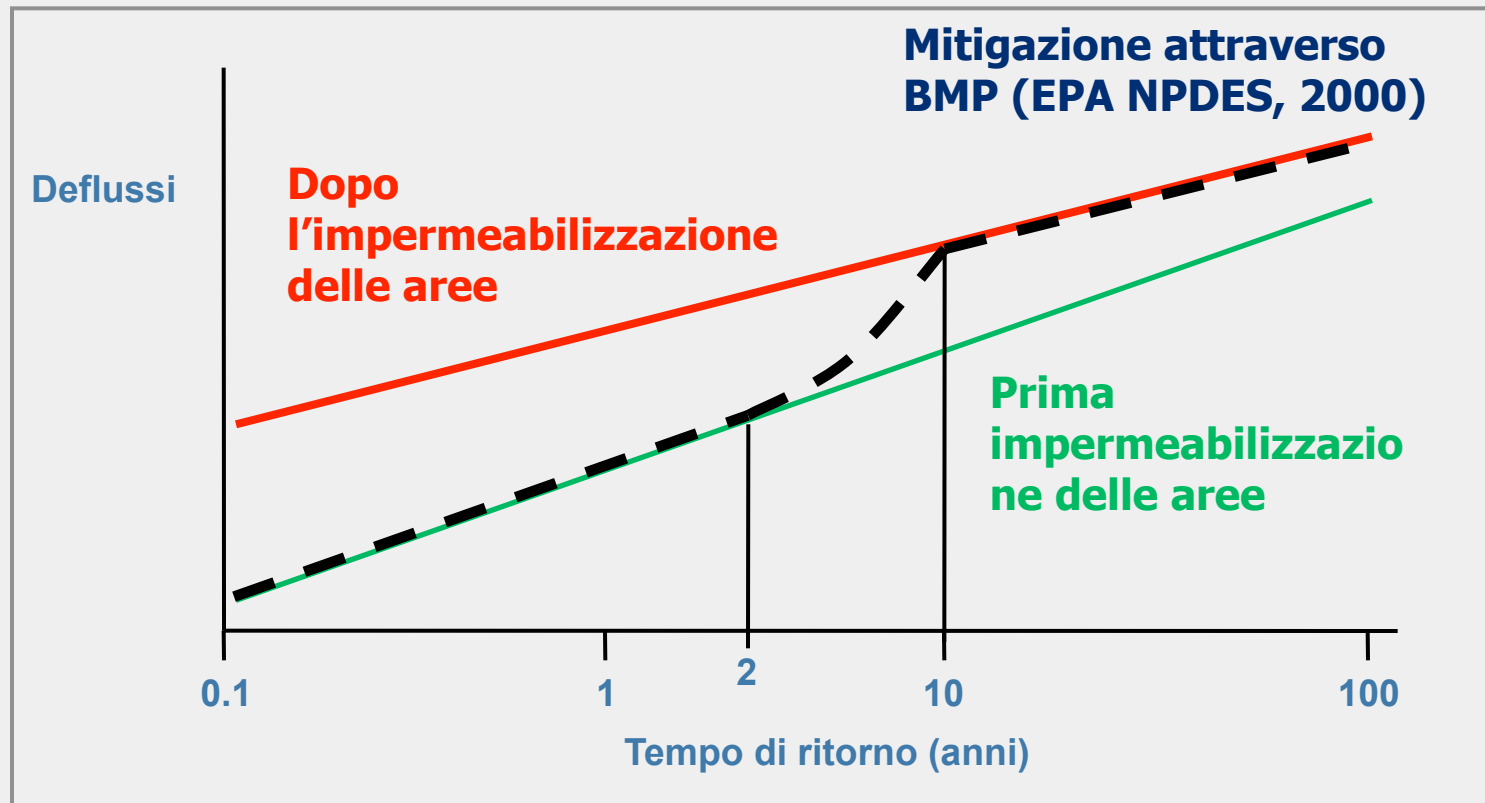
7,95 km²

Principali problemi:

- Rete per acque bianche carente
- Crescente urbanizzazione
- Rilevanza turistica



Effetto dell'urbanizzazione sulla frequenza dei deflussi



BMPs: ***interventi strutturali***

STRUTTURE DI DETENZIONE

- Bacini di detenzione superficiale
- Vasche interrato di detenzione
- Bacini di ritenzione

SISTEMI VEGETATI

- Wetlands
- Cunette vegetate
- Filter strips

SISTEMI DI FILTRAZIONE

- Filtri superficiali di sabbia
- Filtri organici (prefabbricati)

STRUTTURE DI INFILTRAZIONE

- Trincee di infiltrazione
- Pozzi drenanti
- Bacini di infiltrazione
- Pavimentazioni permeabili

Strutture di detenzione Superficiale



G. La Loggia, G. Freni - Predisposizione di un piano per la mitigazione ed il contenimento degli allagamenti nelle aree urbanizzate



Tipo modulare

Relazione tra BMPs ed effetti sui deflussi

BMPs	EFFETTO SUI DEFLUSSI
Pozzi e trincee di infiltrazione Pavimentazioni porose Disconnessione aree imp.	Riduzione della percentuale di area impermeabile connessa alla rete drenante
Vasche di laminazione Controllo degli organi di intercettazione	Aumento del tempo di corrivazione del bacino; riduzione della portata al picco
Serbatoi di accumulo delle acque piovane Vasche di ritenzione Lagune	Separazione delle prime acque di pioggia Riduzione dell'impatto inquinante dei deflussi meteorici
Cunette erbose Filtri vegetali	Riduzione dell'impatto inquinante dei deflussi meteorici Aumento del tempo di corrivazione del bacino

Metodo delle sole piogge (Metodo I.D.F.)

Consente di valutare il volume di invaso della vasca unicamente in base alla conoscenza della **curva di possibilità pluviometrica** e della **massima portata Q_u** , supposta costante, che si desidera in uscita dalla vasca stessa.

Processo di **trasformazione afflussi** - deflussi: totalmente trascurato ad eccezione delle perdite idrologiche

Volume d'acqua W_e che entra nella vasca in seguito ad una pioggia di assegnata durata θ (curva cumulata delle altezze di pioggia netta):

$$W_e = A\phi a\theta^n$$

ϕ = coefficiente di afflusso (costante);

A = area del bacino;

a, n = parametri della curva di possibilità pluviometrica.

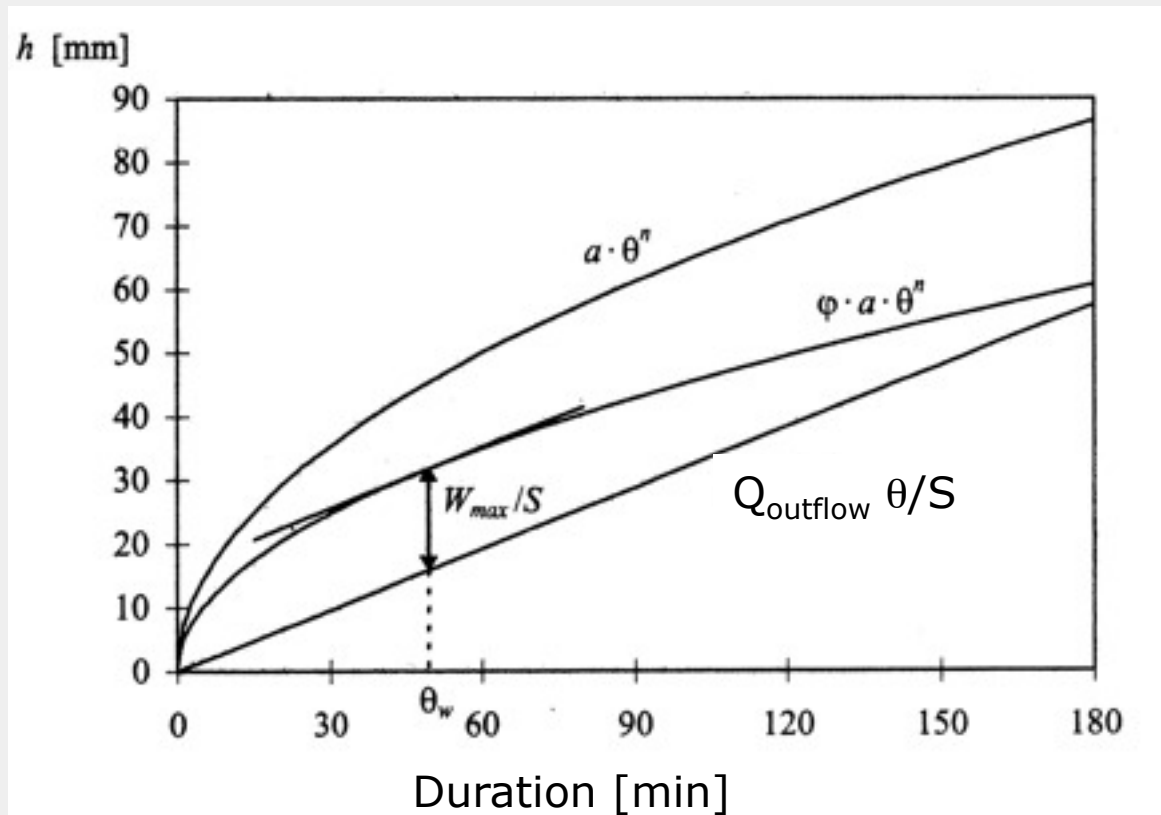
Volume W_u allontanato nello stesso intervallo di tempo:

$$W_u = Q_u\theta$$

Metodo delle sole piogge (Metodo I.D.F o "francese")

Volume W_s da assegnare alla vasca = valore massimo della differenza:

$$W = W_{\text{inflow}} - W_{\text{outflow}} = A\phi a\theta^n - Q_{\text{inflow}}\theta \quad \theta_w = \text{durata critica per la vasca}$$



Metodo delle sole piogge (Metodo I.D.F o "francese")

Espressione matematica della condizione di massima laminazione

$$W_m = A\phi a \left[\frac{Q_u}{A\phi a n} \right]^{\frac{n}{(n-1)}} - Q_u \left[\frac{Q_u}{A\phi a n} \right]^{\frac{1}{(n-1)}}$$

$$\theta_w = \left[\frac{Q_u}{A\phi a n} \right]^{\frac{1}{(n-1)}}$$

Trascurare il processo di trasformazione afflussi - deflussi conduce alla sopravvalutazione delle portate in ingresso e dei volumi di laminazione

Criteri di progetto

1) Scelta del tempo di ritorno: $T_r = 50 \div 100$ anni $T_{r,v}$ non $< T_{r,allag}$

Considerazioni economico-ambientali (insuff. rete, insuff. vasca)

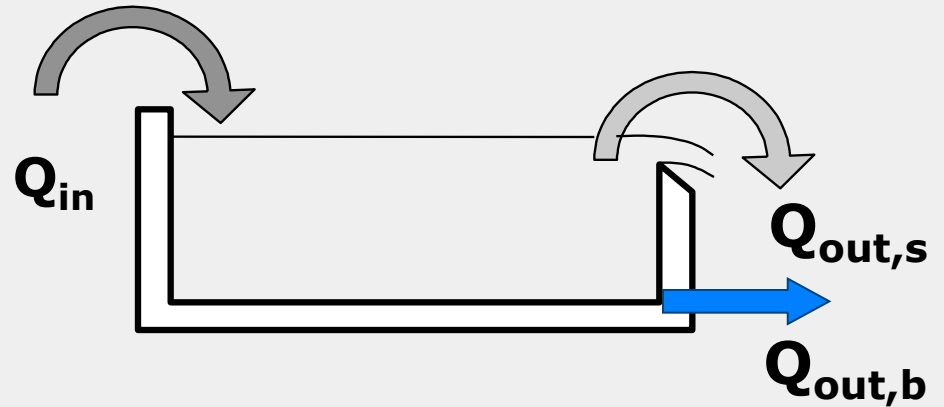
2) Dimensionamento idraulico: W_m

3) SCELTA SUDDIVISIONE IN COMPARTI: **suddivisione tipica**

- **Primo comparto (invaso frequente):** T_r 1 - 2 anni, generalmente impermeabilizzato, coperto e con apparati automatici di lavaggio
- **Secondo comparto:** entra in funzione ogni 1 - 2 anni, dimensionato per T_r 2 - 3 anni, impermeabilizzato, coperto e con apparati automatici di lavaggio
- **Terzo comparto:** entra in funzione ogni 2-3 anni, dimensionato per T_r 5-10 anni
- **Vasca di espansione:** entra in funzione ogni 5 - 10 anni, dimensionato per T_r 50 - 100 anni, realizzato in aree verdi attrezzate (laghetti dei parchi pubblici), o in aree di tipo agricolo

Modellazione delle strutture di accumulo

- Il deflusso superficiale è temporaneamente immagazzinato
- Sistema di controllo dello scarico
- Sistemi di sfioro



$$\frac{dW}{dt} = Q_{in} - Q_{out,s} - Q_{out,b}$$

Equazione di continuità

Rappresentazione matematica della laminazione

Equazione di continuità della vasca:

$$Q_{\text{inflow}}(\mathbf{t}) - Q_{\text{outflow}}(\mathbf{t}) = \frac{dW(\mathbf{t})}{dt}$$

$Q_{\text{inflow}}(\mathbf{t})$ = portata in ingresso alla vasca al generico istante t (caratteristiche evento, caratteristiche bacino, caratteristiche rete a monte);

$Q_{\text{outflow}}(\mathbf{t})$ = portata in uscita dalla vasca (caratteristiche del dispositivo di scarico);

$W(\mathbf{t})$ = volume invasato nella vasca all'istante t .

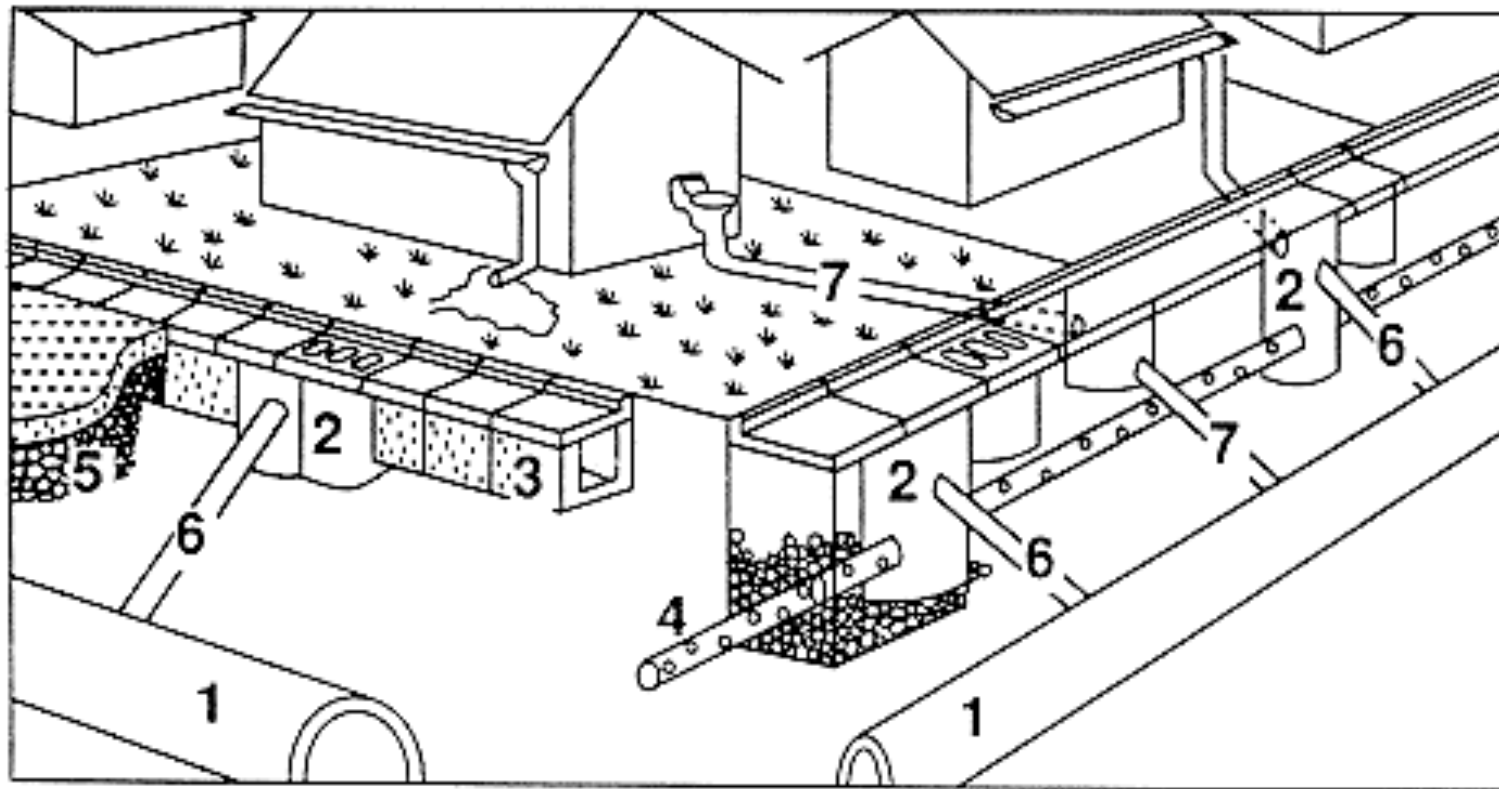
Relazione tra volume invasato e livello idrico h nella vasca:

$$W(t) = W[h(t)] \quad (\text{Geometria della vasca})$$

Legge di efflusso:

$$Q_{\text{outflow}}(\mathbf{t}) = Q_{\text{outflow}}[t, h(\mathbf{t})] \quad (\text{dispositivo che regola la portata in uscita})$$

Strutture di infiltrazione



1 Sistema di drenaggio
2 Pozzo di infiltrazione
3 Trincea di infiltrazione

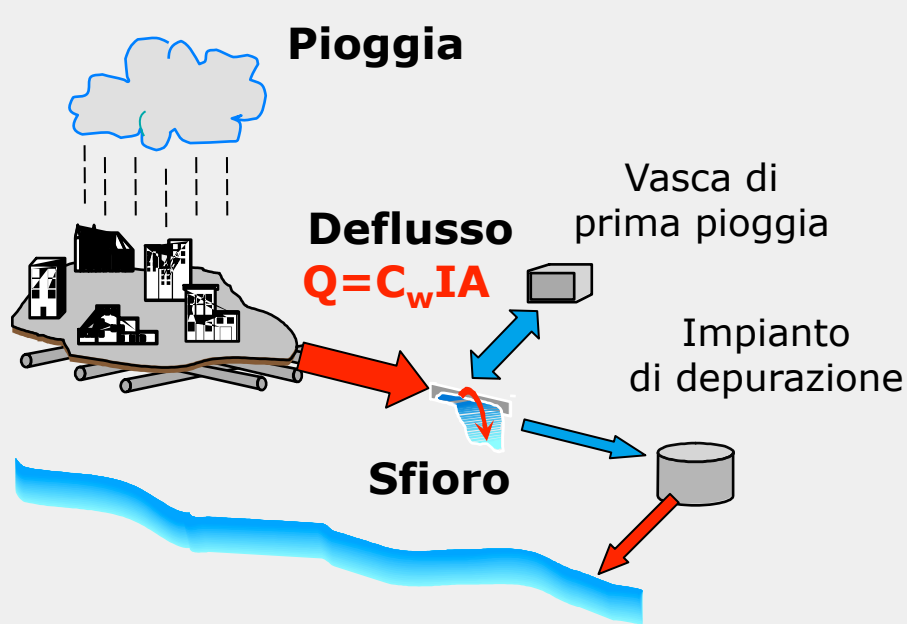
4 Condotta infiltrante
5 Pavimentazione porosa
6 Scarico di troppo pieno

7 Allaccio fognario ordinario

Metodo dell'Intensità Uniforme di Pioggia

Metodo per la determinazione della portata di progetto:

Questo criterio di progetto si applica quando l'efficienza dell'intervento di BMP si basa unicamente sulla portata che attraversa la BMP, come accade nei filtri vegetali, nelle strutture di infiltrazione (in cui l'accumulo è trascurabile)



$$Q = C_w I A$$

C_w Coefficiente di afflusso del bacino

I Intensità di pioggia media, generalmente posta pari a 100 mm/ora

A Area del bacino

Metodo dell'Intensità Uniforme di Pioggia

C_w è un coefficiente di deflusso "composito" poichè si basa sulla % di area impermeabile ($N = A/A_{\text{impervious}}$) e sulle % di area dei vari gruppi di suolo presenti nel bacino:

$$C_w = C_A * N_A + C_B * N_B + C_C * N_C + C_D * N_D$$

dove:

N_i per $i = A, B, C, D$ è il rapporto espresso in % tra la superficie totale del bacino e quella di ogni tipologia di suolo (A, B, C, D)

$$N_A = \frac{A_A}{A} \quad N_B = \frac{A_B}{A} \quad N_C = \frac{A_C}{A} \quad N_D = \frac{A_D}{A}$$

Metodo dell'Intensità Uniforme di Pioggia

SOIL CLASSIFICATION (SCS)

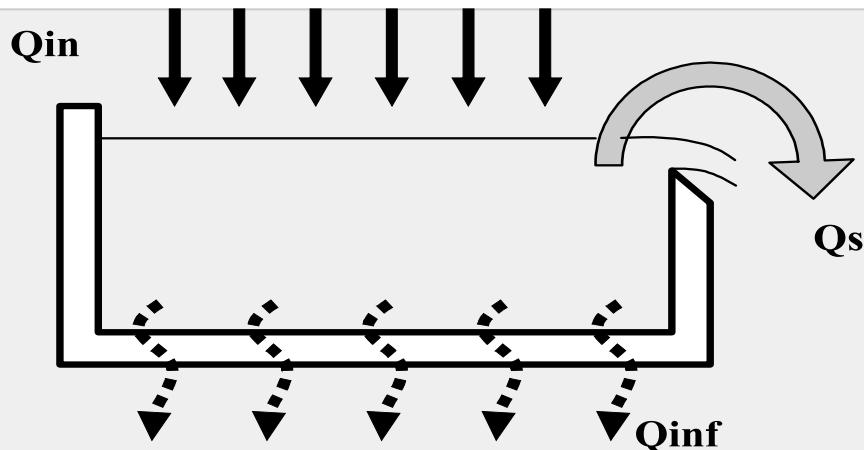
Soils having a high infiltration rate (low runoff potential) when thoroughly wet. These consist mainly of deep, well drained to excessively drained sands or gravelly sands. These soils have a high rate of water transmission.	Group A.
Soils having a moderate infiltration rate when thoroughly wet. These consist chiefly of moderately deep or deep, moderately well drained or well drained soils that have moderately fine texture to moderately coarse texture. These soils have a moderate rate of water transmission.	Group B.
Soils having a slow infiltration rate when thoroughly wet. These consist chiefly of soils having a layer that impedes the downward movement of water or soils of moderately fine texture or fine texture. These soils have a slow rate of water transmission.	Group C.
Soils having a very slow infiltration rate (high runoff potential) when thoroughly wet. These consist chiefly of clays that have high shrink-swell potential, soils that have a permanent high water table, soils that have a claypan or clay layer at or near the surface, and soils that are shallow over nearly impervious material. These soils have a very slow rate of water transmission.	Group D.

Metodo dell'Intensità Uniforme di Pioggia

Area Imp. N [%]	Suolo A	Suolo B	Suolo C	Suolo D
0	0.37	0.59	0.69	0.74
5	0.40	0.61	0.70	0.75
10	0.43	0.62	0.71	0.75
15	0.45	0.64	0.72	0.76
20	0.48	0.65	0.73	0.77
25	0.50	0.67	0.74	0.78
30	0.53	0.68	0.75	0.79
35	0.56	0.70	0.76	0.79
40	0.58	0.71	0.78	0.80
45	0.61	0.73	0.79	0.81
50	0.64	0.75	0.80	0.82
55	0.66	0.76	0.81	0.83
60	0.69	0.78	0.82	0.84
65	0.72	0.79	0.83	0.84
70	0.74	0.81	0.84	0.85
75	0.77	0.82	0.85	0.86
80	0.79	0.84	0.86	0.87
85	0.82	0.85	0.87	0.88
90	0.85	0.87	0.88	0.89
95	0.87	0.88	0.89	0.89
100	0.90	0.90	0.90	0.90

Valori del coefficiente
di afflusso per
 $I=100\text{mm/ora}$

Modellazione delle pavimentazioni porose e delle strutture di infiltrazione



- Le strutture di infiltrazioni sono simulate come un serbatoio lineare
- Ipotesi:
 - Portata in ingresso costante per tutta la lunghezza della struttura (Q_{in})
 - Sfiore tramite soglia direttamente in fognatura per evitare il sovraccarico della struttura (Q_s)

▪ ~~Velocità di infiltrazione secondo Green-Ampt (Q_{inf})~~

Equazioni del modello di infiltrazione

Modulo
idraulico:

$$\begin{cases} Q_{in} - Q_{inf} - Q_s = \frac{dS}{dt} \\ Q_s = \mu_s W h \sqrt{2gh} \end{cases}$$

$$S = n B L h_w$$

n: porosità

h_w : altezza idrica

B: larghezza struttura

L: lunghezza struttura

W: lunghezza soglia

h: carico sulla soglia

μ : coefficiente di efflusso

Modulo di
infiltrazione:

$$Q_{inf} \max = K_s \left(1 - \frac{\psi (S_s - S_0)}{F} \right) A_{eff}$$

Conducibilità idraulica

Suzione fronte umido

Contenuto idrico a saturazione ed iniziale

Area di infiltrazione
efficace

Deflusso superficiale: modello del serbatoio lineare
(Eq. di Manning + Eq. di Continuità)

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = Si^* - Q$$

$$Q = \frac{1}{n} L(h - h')^{5/3} s^{1/2}$$

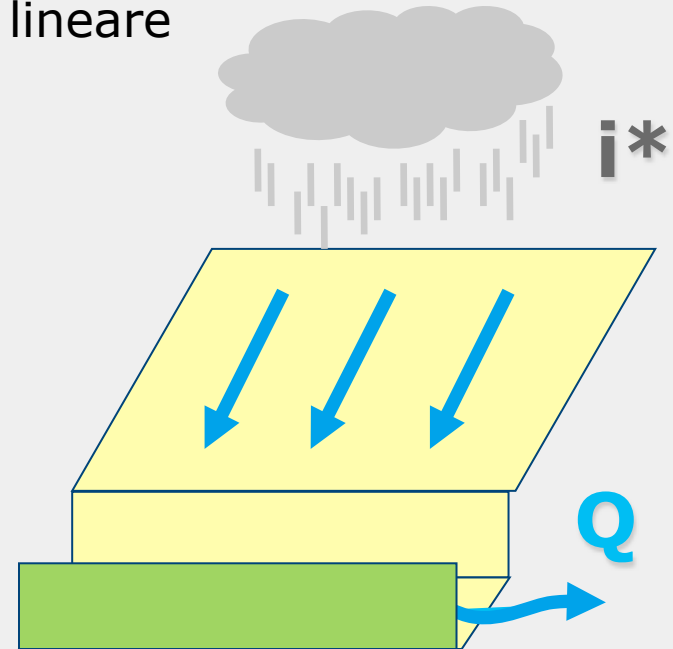
Ritenzione superficiale: costante e concentrata all'inizio della pioggia

Perdite per infiltrazione: Eq. di Horton

Deflusso in cunetta: Modello cinematico

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0$$

$$s = J$$

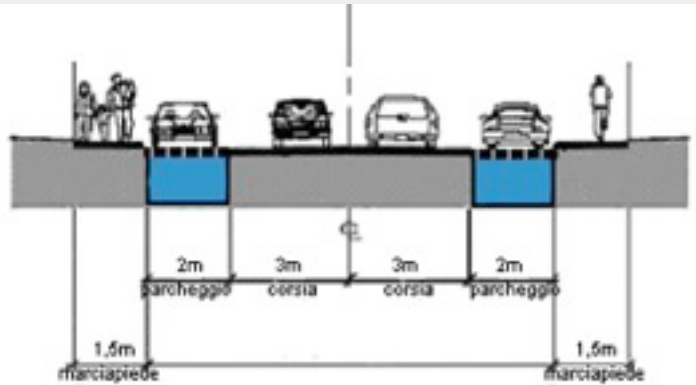


**La portata in uscita dalle
cunette è avviata in
fognatura o verso una
struttura di mitigazione (Q_{in})**

Relazione tra BMPs, effetti sui deflussi e

BMPs	POSSIBILITA' DI ANALISI
Pozzi e trincee di infiltrazione Pavimentazioni porose Disconnessione aree imp.	% di area impermeabile Parametri di infiltrazione
Vasche di laminazione Controllo degli organi di intercettazione	Parametri di ritenzione Nodi di accumulo
Serbatoi di accumulo delle acque piovane Vasche di ritenzione Lagune	Nodi di accumulo
Cunette erbose Filtri vegetali	Parametri di infiltrazione Coefficienti di scabrezza

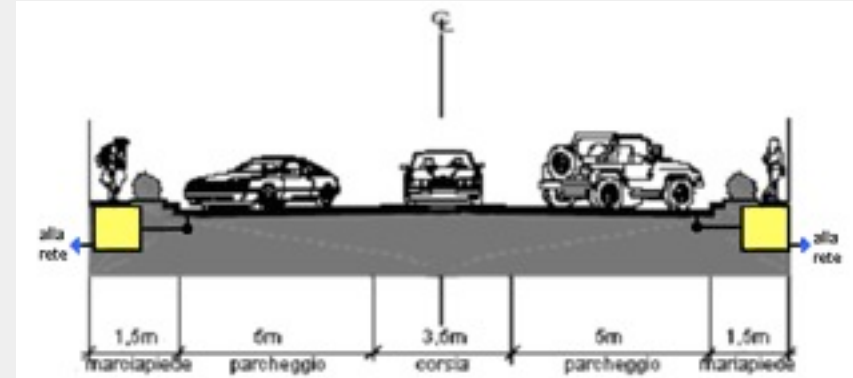
Schemi di BMPs in aree densamente urbanizzate



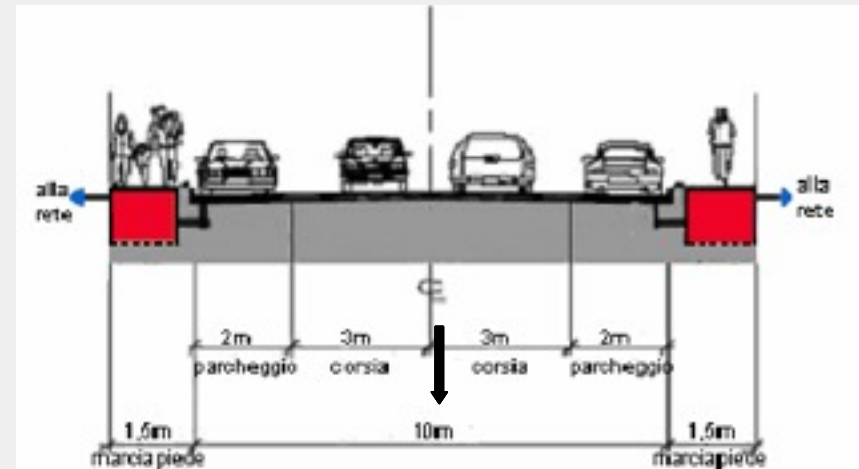
Pavimentazione porosa



Isole centrali



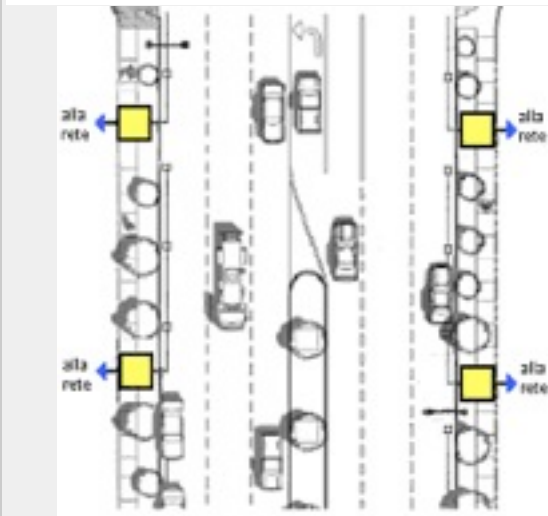
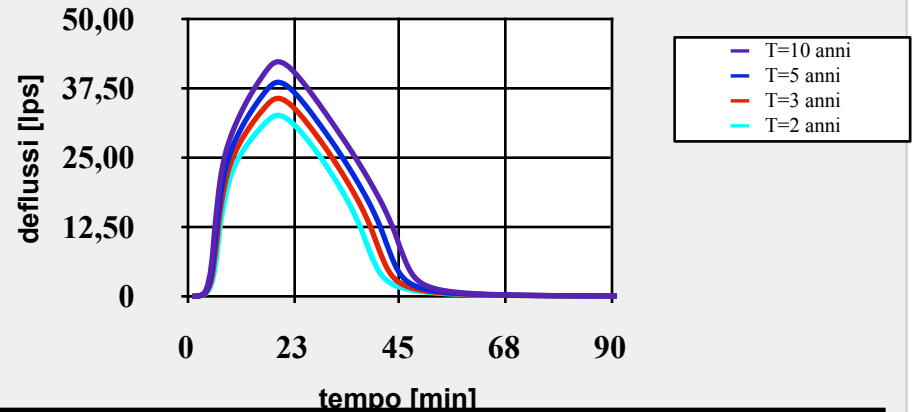
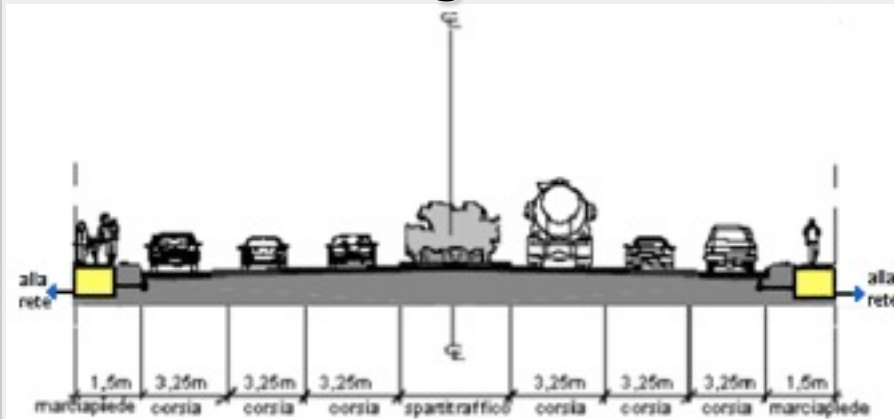
Strutture di immagazzinamento



Trincee di infiltrazione

Applicazione delle strutture di accumulo

Volume immagazzinato: $40\text{m}^3/\text{ha}$



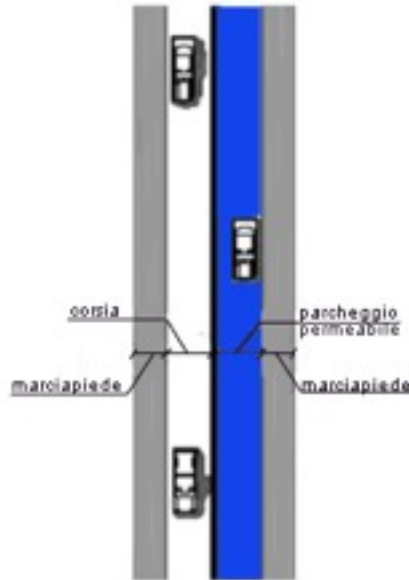
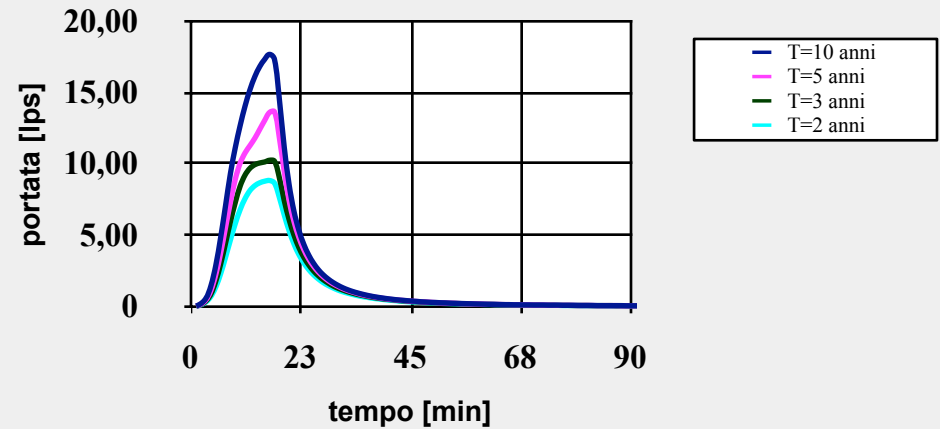
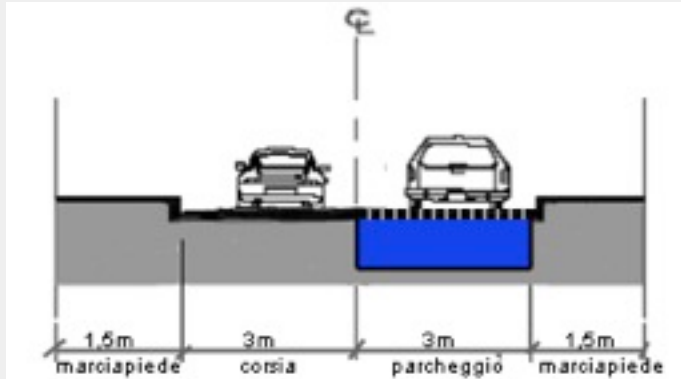
Tempo di ritorno[anni]	2	3	5	10
Deflusso [l/s] prima	51,68	59,69	67,21	76,76
Deflusso [l/s] dopo	32,62	35,68	38,58	42,27

Tempo di ritorno[anni]	2	3	5	10
Riduzione del deflusso [%]	36,9%	40,2%	42,6%	45%

Applicazione delle pavimentazioni porose

$T_{theta s} = 0,005$ $T_{theta zero} = 0,45$

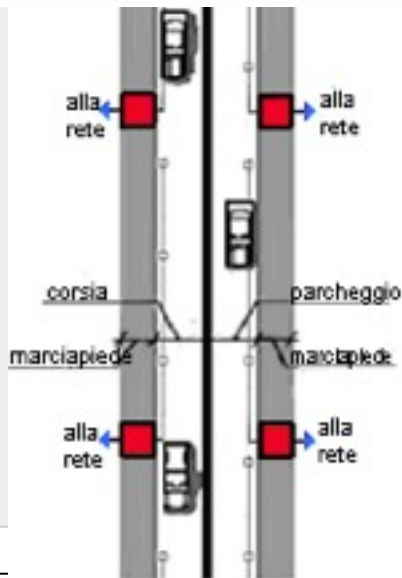
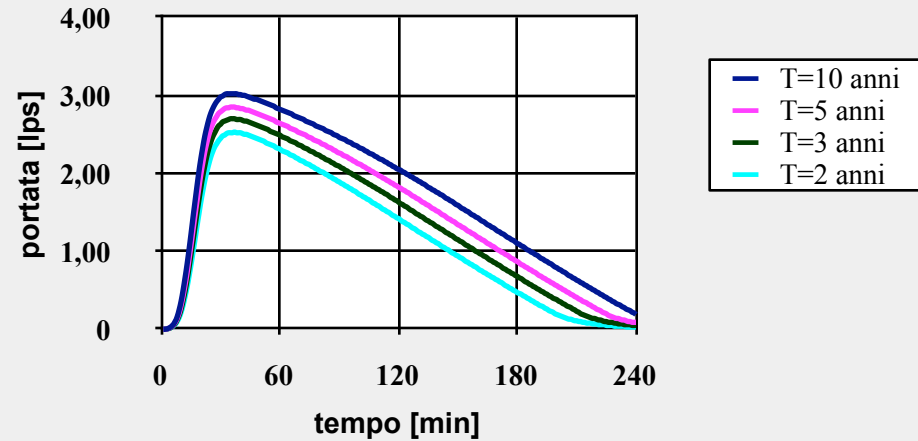
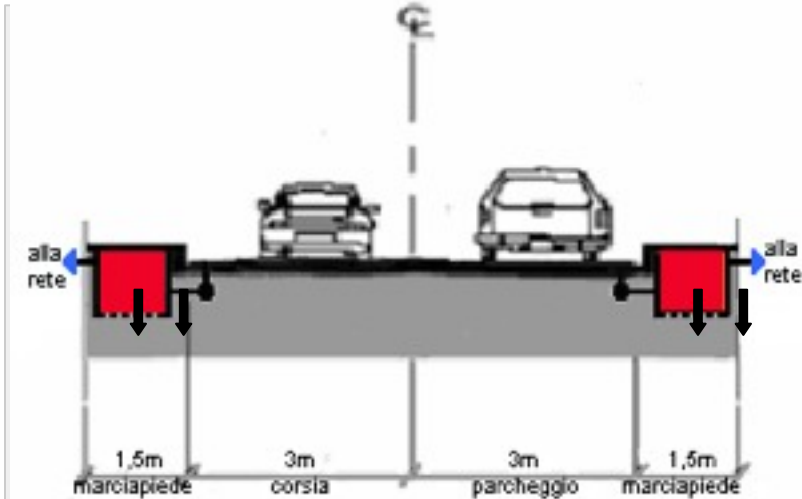
$K_{sat} = 15$ mm/ora



Tempo di ritorno[anni]	2	3	5	10
Deflusso [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflusso [l/s] dopo	8,82	10,24	13,64	17,66
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Riduzione del deflusso [%]	51%	50,3%	41%	32,5%

Applicazione delle trincee di infiltrazione

Volume trincee: $40\text{m}^3/\text{ha}$
($4\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ per 100m di strada)

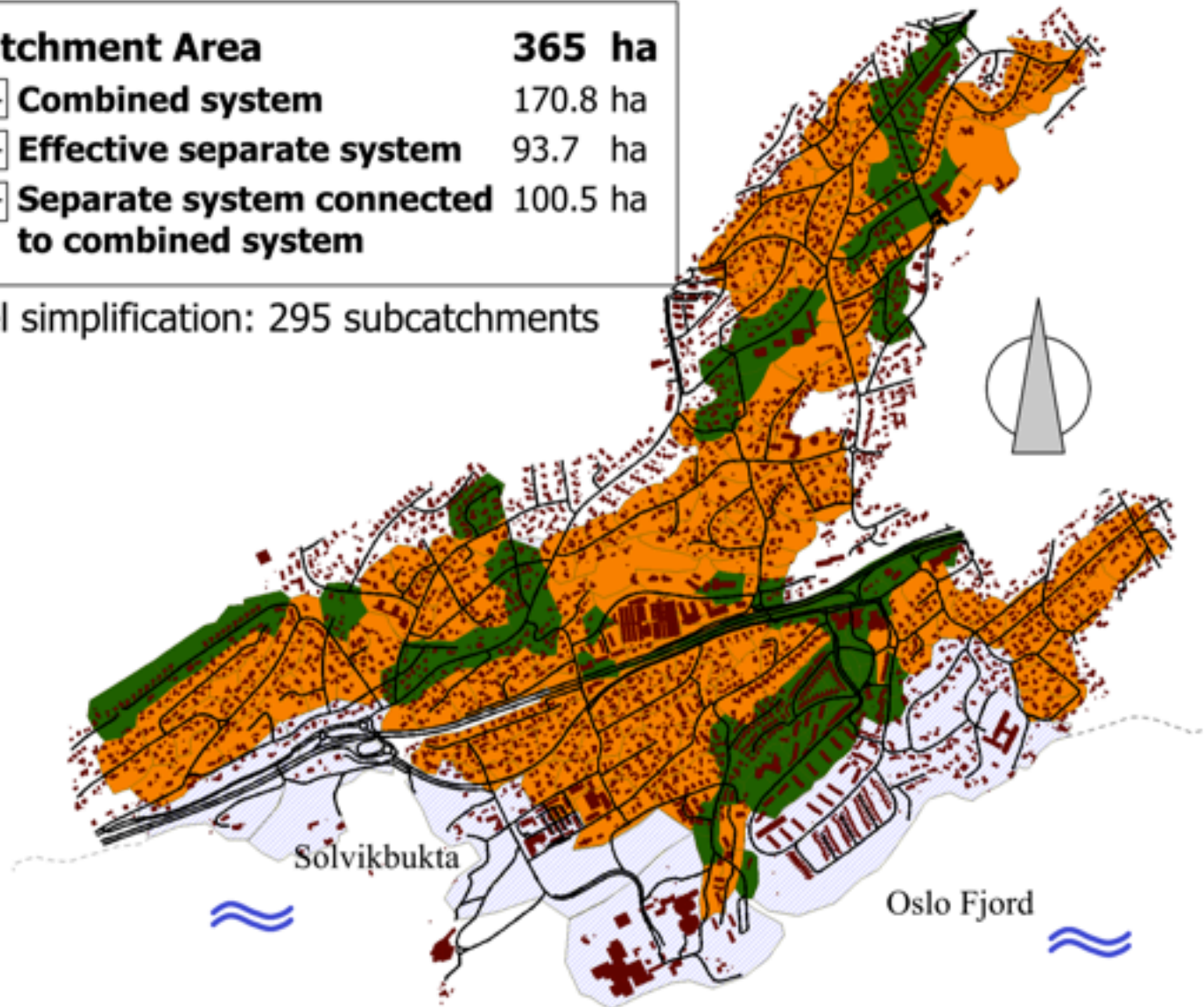


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflusso [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflusso [l/s] dopo	2,5	12,6	18,83	23,006
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Riduzione del deflusso [%]	86,1%	61%	37,8%	11,6%

Bacino Urbano di Solvik (Norvegia)

• Catchment Area	365 ha
– Combined system	170.8 ha
– Effective separate system	93.7 ha
– Separate system connected to combined system	100.5 ha

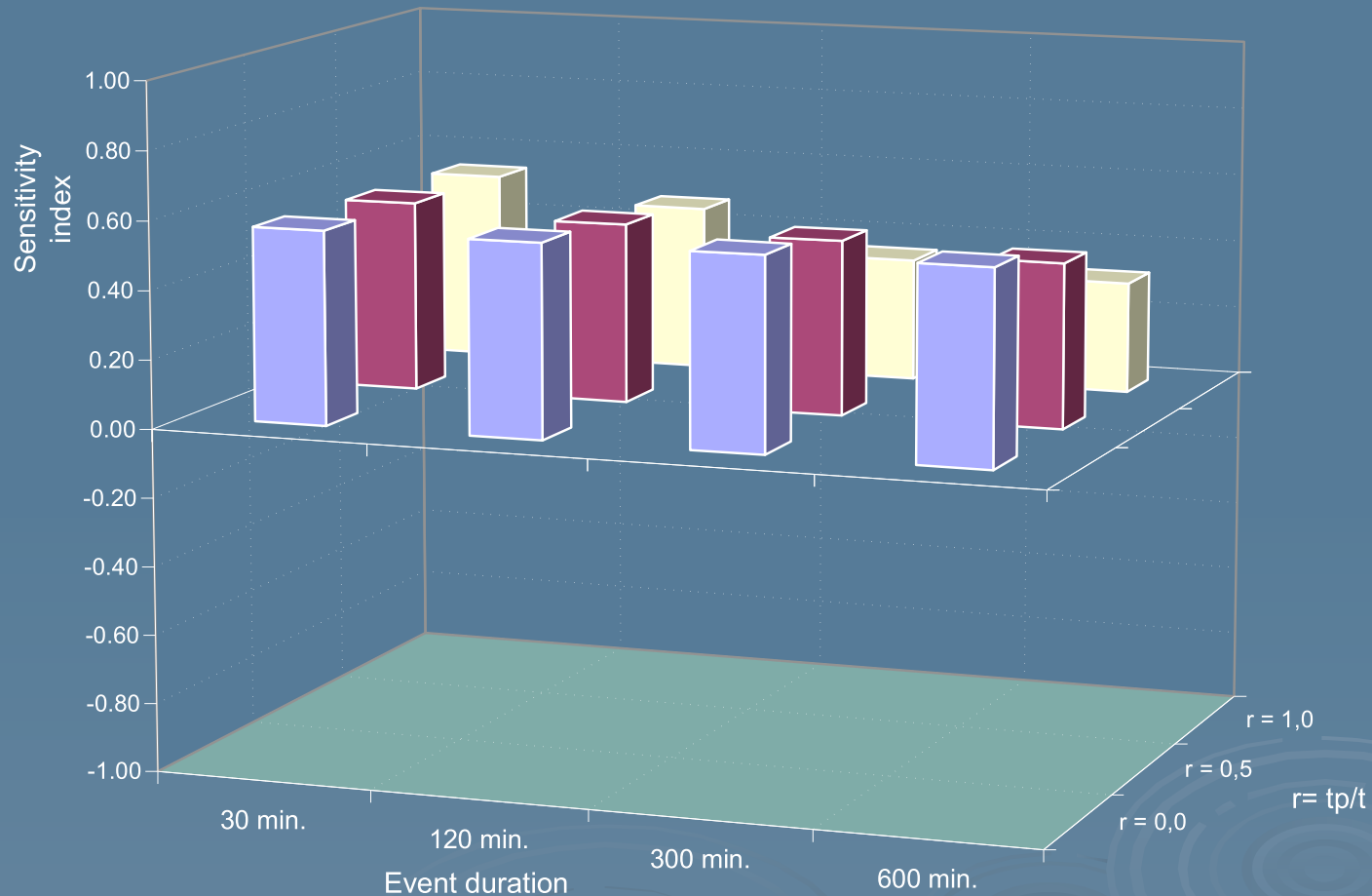
Model simplification: 295 subcatchments



Analisi del volume di allagamento

"Chicago" Hyetograph
Return period = 10 years

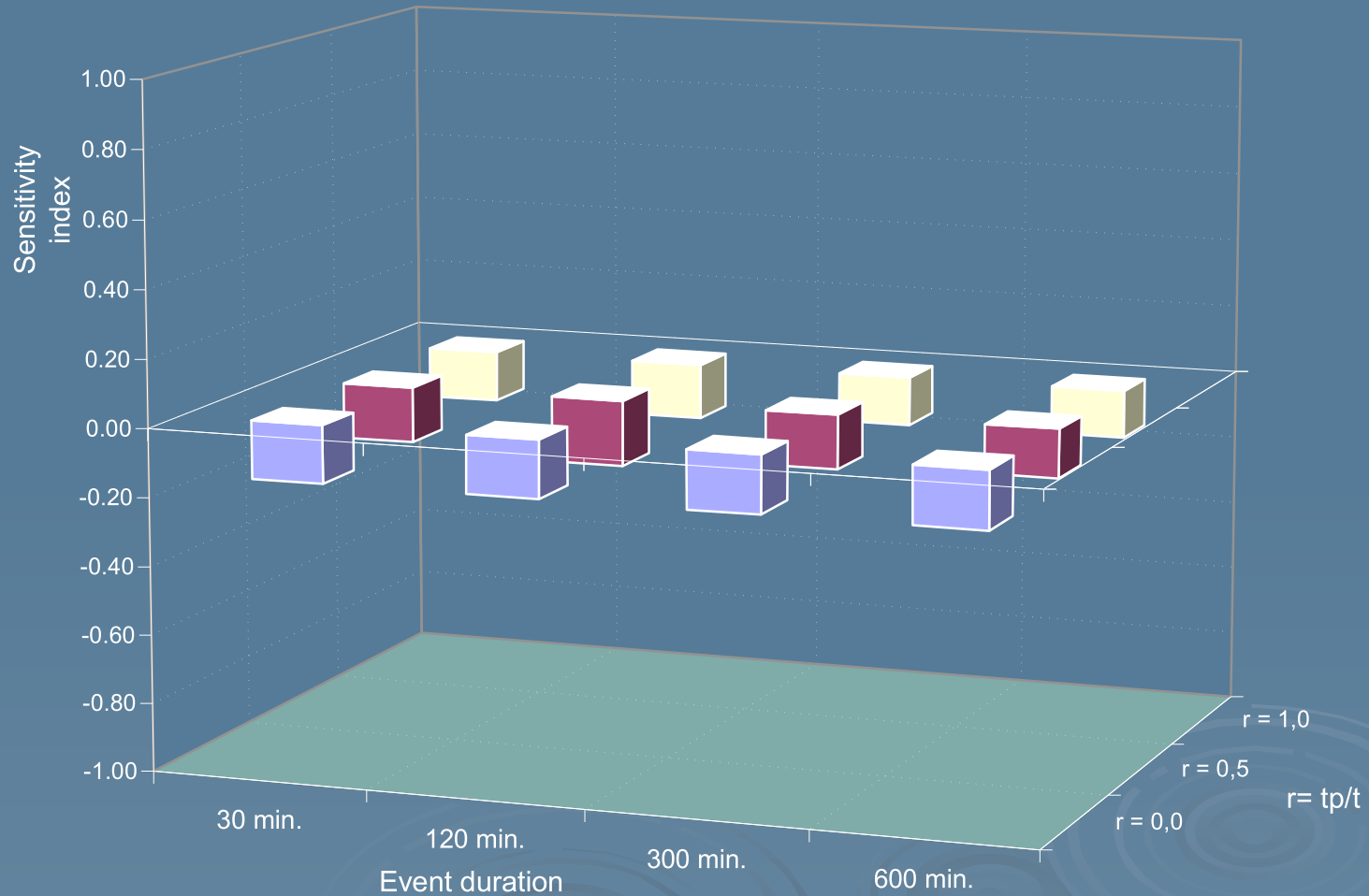
Efficienza degli interventi di disconnessione delle aree impermeabili sul volume di allagamento



Analisi del volume di allagamento

"Chicago" Hyetograph
Return period = 10 years

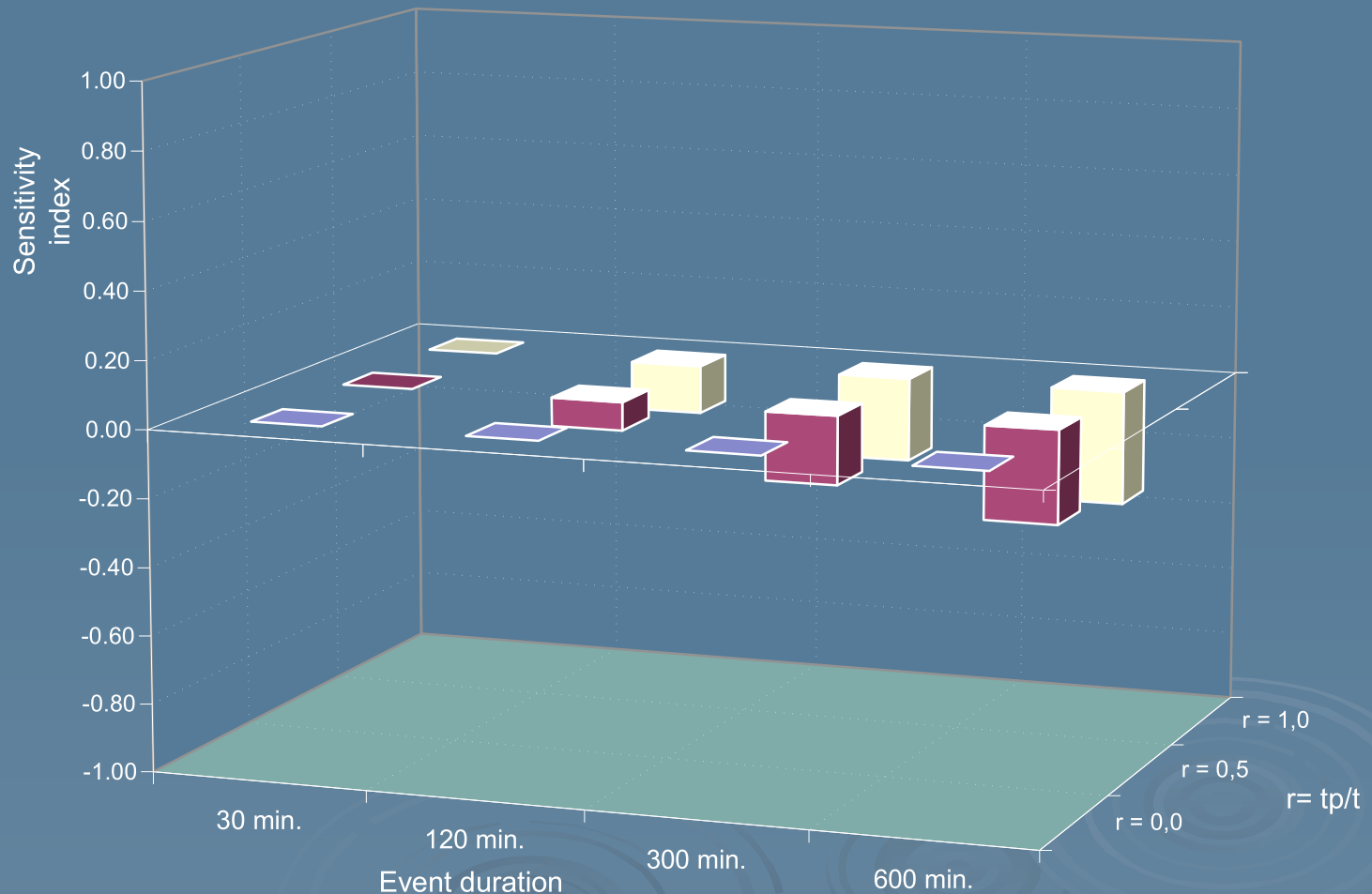
Efficienza degli interventi di detenzione in aree impermeabili sul volume di allagamento



Analisi del volume di allagamento

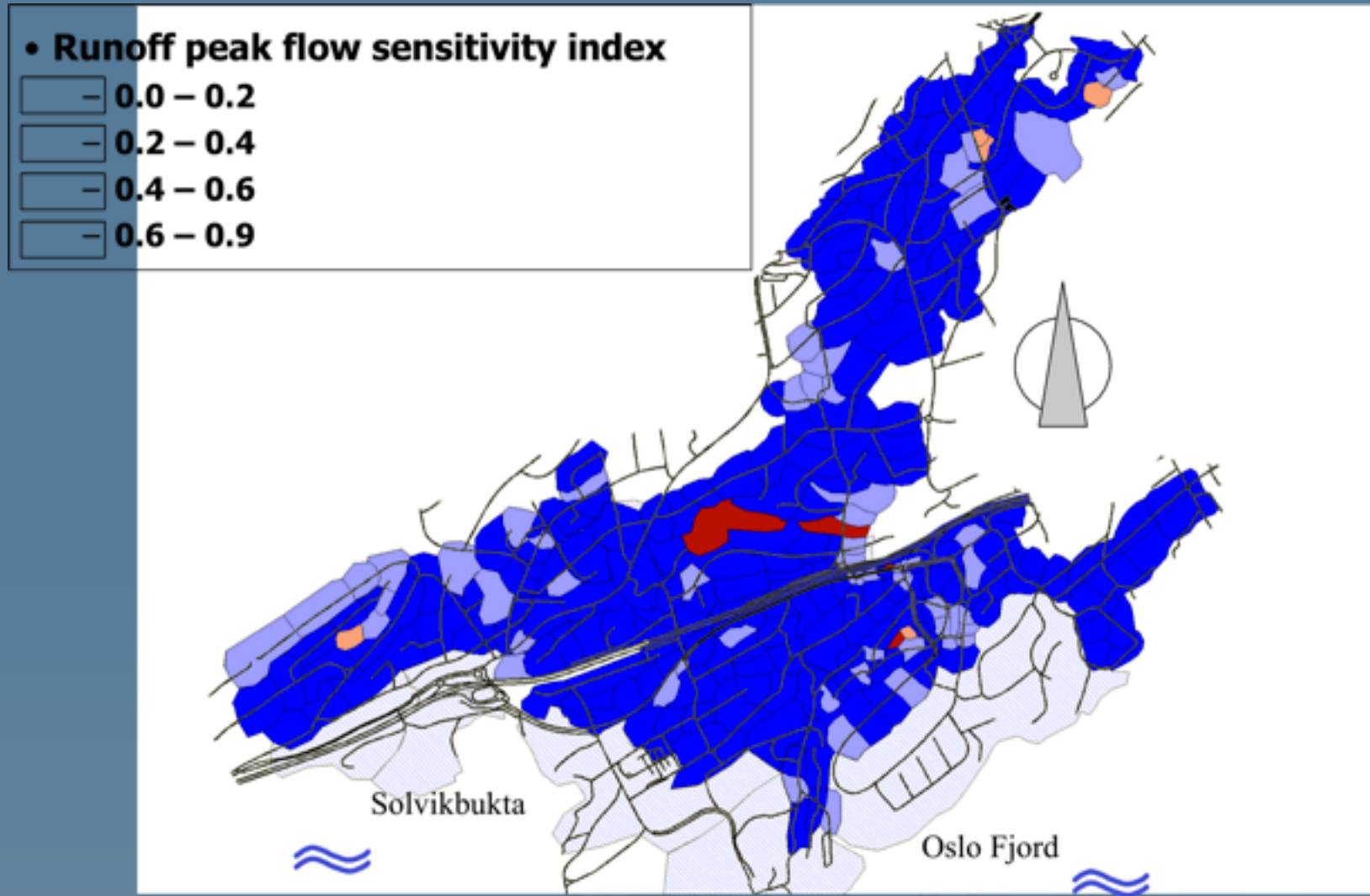
"Chicago" Hyetograph
Return period = 10 years

Efficienza degli interventi di detenzione in aree permeabili sul volume di allagamento



Rappresentazione GIS dei risultati delle analisi

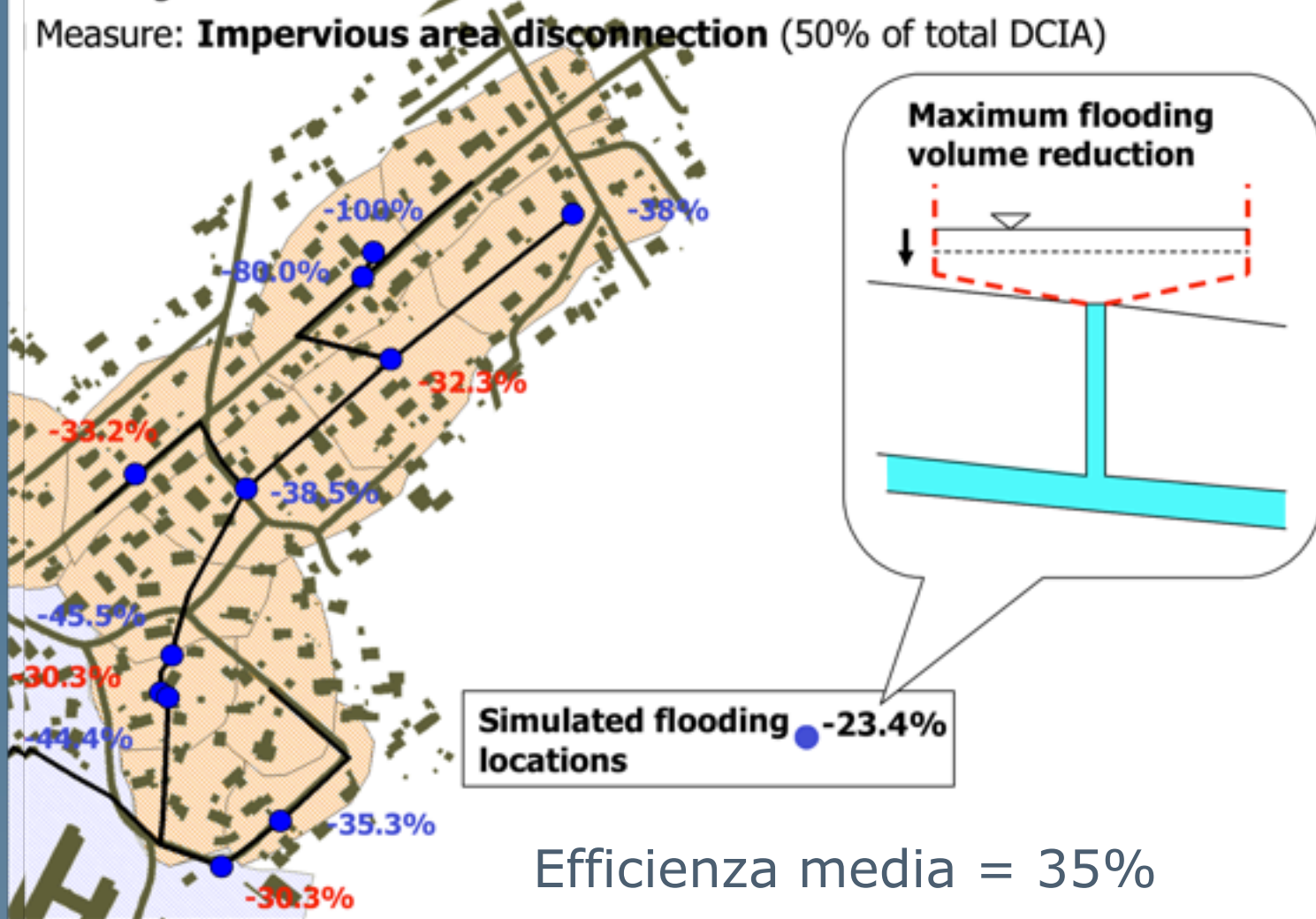
Interventi di ritenzione su area permeabile (Evento sintetico tipo "Chicago": durata pari a 30 minuti, tempo di ritorno pari a 10 anni, picco centrato)



Analisi locale degli allagamenti

Flooding reduction effectiveness

Measure: **Impervious area disconnection** (50% of total DCIA)



Selezione della combinazione di interventi ottimali per



STRUTTURE DI IMMAGAZZINAMENTO:

Sono legati essenzialmente alla determinazione della capacità di invaso, ovvero al volume disponibile per l'accumulo (Wiegand ,1986)

$$C = 168,39 * W * 0.69$$

PAVIMENTAZIONE POROSA :

Sensibilmente più costosa dell'asfalto tradizionale può variare ,secondo la scelta progettuale, da **20 a 30 € /m²**, (CWP, 1998; Schueler, 1987)

TRINCEE DI INFILTRAZIONE:

I costi di immobilizzo tipici unitari utilizzati nella progettazione per le trincee di infiltrazione sono di **140 € / m³ d'acqua trattata** (EPA, 1999)

BACINI DI INFILTRAZIONE:

contro i **45-50 € / m³ d'acqua trattata** dei bacini d'infiltrazione

Analisi dei costi di intervento

Detention on perv. Area

		PEAK POSITION		
		0.0	0.5	1.0
RAINFALL DURATION	30 min.	-6.3%	-10.8%	-21.8%
	120 min.	-6.3%	-23.9%	-36.8%
	300 min.	-6.3%	-41.1%	-44.9%
	600 min.	-6.3%	-45.0%	-51.0%

Detention on imperv. Area

		PEAK POSITION		
		0.0	0.5	1.0
RAINFALL DURATION	30 min.	-68.0%	-61.4%	-56.5%
	120 min.	-68.0%	-55.2%	-49.9%
	300 min.	-68.0%	-47.9%	-40.7%
	600 min.	-68.0%	-40.3%	-32.7%

DCIA disconnection

		PEAK POSITION		
		0.0	0.5	1.0
RAINFALL DURATION	30 min.	-40.6%	-36.1%	-31.7%
	120 min.	-40.6%	-30.8%	-28.3%
	300 min.	-40.6%	-28.2%	-24.9%
	600 min.	-40.6%	-23.5%	-21.6%

Riduzione del volume di allagamento grazie ad un piano d'intervento con investimento finanziario pari a € 500.000

(Evento sintetico tipo "Chicago" con tempo di ritorno = 5 anni)

Table 1: Basic Elements of a Stormwater Retrofitting Implementation Strategy		
Step	Elements	Purpose
1.	Preliminary Watershed Retrofit Inventory	First cut at identifying potential retrofit sites
2.	Field Assessment of Potential Retrofit Sites	To verify that sites are feasible and appropriate
3.	Prioritize Sites for Implementation	To set up a priority for implementing future sites
4.	Public Involvement Process	To solicit comments and input from the public and adjacent residents on potential sites
5.	Retrofit Design	To prepare construction drawings for specific facilities
6.	Permitting	To obtain the necessary approvals and permits for specific facilities
7.	Construction Inspections	To ensure that facilities are constructed properly in accordance with the design plans
8.	Maintenance Plan	To ensure that facilities are adequately maintained

69

Table 2 Some of the Best locations for Stormwater Retrofits

Location	Type of Retrofit	Case Study
Existing stormwater detention facilities.	Usually retrofitted as a wet pond or stormwater wetland capable of multiple storm frequency management	Wheaton Branch, Sligo Creek, Wheaton MD --multi-cell wet pond with extended detention
Immediately upstream of existing road culverts	Often a wet pond, wetland, or extended detention facility capable of multiple storm frequency management	Epsilon Pond, Redland MD --dry extended detention facility
Immediately below or adjacent to existing storm drain outfalls	Usually water quality only practices, such as sand filters, vegetative filters or other small storm treatment facilities	Long Quarter Branch, Towson, MD --gravel based wetland filter
Directly within urban drainage and flood control channels	Usually small scale weirs or other flow attenuation devices to facilitate settling of solids within open channels	Indian Creek, College Park MD --instream concrete weir flow attenuation device
Highway rights-of-way and cloverleaves	Can be a variety of practices, but usually ponds or wetlands	Bear Gutter Creek, Route 22 Armonk, NY --combination wet pond and stormwater wetland
Within large open spaces, such as golf courses and parks.	Can be a variety of practices, but usually ponds or wetlands capable of multiple storm frequency management	Meisner Avenue Retrofit, Staten Island, New York City --micro-pool extended detention facility
Within or adjacent to large parking lots	Usually water quality only facilities such as sand filters or other organic media filters (e.g., bioretention)	Kettering Subdivision, Prince Georges, Co., MD --Bioretention practices

W* 0.69

3. Priorità fra i siti

$$C = 168,39 * W * 0.69$$

site based on a uniform criteria. A typical scoring system might include a score for the following items:

- Pollutant removal capability (storage provided and type of BMP)
- Stream channel protection capability (ability to control subbankful flow events)
- Cost of facility (design, construction and maintenance costs)
- Ability to implement the project (land ownership, construction access, permits)
- Potential for public benefit (education, location within a priority watershed, visible amenity, supports other public involvement initiatives)

5. Il progetto delle BMP

$$**C = 168,39 * W * 0.69**$$

The key to successful retrofit design is the ability to balance the desire to maximize pollutant removal and channel erosion protection while limiting the impacts to adjacent infrastructure, residents or other properties. Designers must consider issues like avoiding relocations of existing utilities, minimizing existing wetland and forest impacts, maintaining existing floodplain elevations, complying with dam safety and dam hazard classification criteria, avoiding maintenance nuisance situations, and providing adequate construction and maintenance access to the site.

Table 1: Basic Elements of a Stormwater Retrofitting Implementation Strategy		
Step	Elements	Purpose
1.	Preliminary Watershed Retrofit Inventory	First cut at identifying potential retrofit sites
2.	Field Assessment of Potential Retrofit Sites	To verify that sites are feasible and appropriate
3.	Prioritize Sites for Implementation	To set up a priority for implementing future sites
4.	Public Involvement Process	To solicit comments and input from the public and adjacent residents on potential sites
5.	Retrofit Design	To prepare construction drawings for specific facilities
6.	Permitting	To obtain the necessary approvals and permits for specific facilities
7.	Construction Inspections	To ensure that facilities are constructed properly in accordance with the design plans
8.	Maintenance Plan	To ensure that facilities are adequately maintained

69

- Step 7: Maintenance Plan
- Always the last element to be discussed, and often the least practiced component of a stormwater management program, maintenance is doubly important in retrofit situations.
- The 5 reasons are simple. Most retrofits are undersized when compared to their new development counterparts and space is at a premium in urban areas where many maintenance provisions such as access roads, stockpiling or staging areas are either absent or woefully undersized.
- Designers again must balance maintenance access and storage volumes (for forebays, catch basins, and debris trapping areas) with water quality, flood control, and the other constraints discussed above.