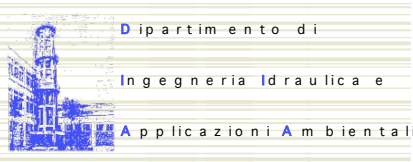


Venezia, 28 Febbraio 2008

## Management and governance of the integrated water service cycle

### Cambiamento climatico e impatto sulle risorse idriche in ambiente urbano

Goffredo **La Loggia**



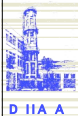
1

## I cambiamenti climatici

**Il cambiamento climatico è la variazione a livello globale del clima del pianeta Terra. Esso, prodotto a diverse scale temporali, è dovuto a cause naturali e, negli ultimi secoli, anche all'azione dell'uomo.**

**Fenomeno a scala globale legato a cause di natura antropogenica** (I.P.C.C., 2007).

Lo **UNFCCC** (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) utilizza il termine **cambiamenti climatici** solo per riferirsi ai cambiamenti climatici prodotti dall'uomo e quello di **variabilità climatica** per quello generato da cause naturali.



2 / 5 2

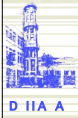
## I cambiamenti climatici

Esiste alta probabilità basata sulla teoria fisica che i cambiamenti climatici e il **global warming** producano un aumento della **evaporazione e della precipitazione causando un'intensificazione del ciclo idrologico.**

(Huntington, 2006; Arnell et al., 2001; Held and Soden, 2000).

La base teorica per tale affermazione sta nella relazione di **Clausius-Clapyeron** che implica che l'**umidità specifica** aumenterebbe quasi esponenzialmente con la **temperatura**.

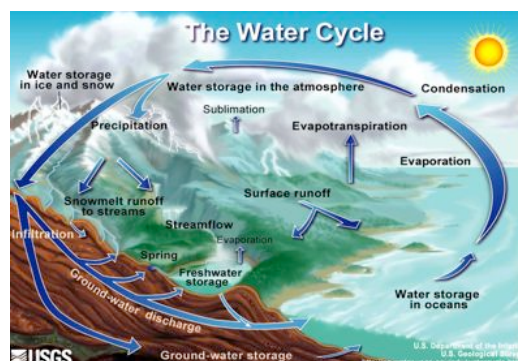
Recenti modelli suggeriscono che come conseguenza di questa relazione, la precipitazione dovrebbe aumentare di circa il 3.4% per ogni Kelvin (Allen e Ingram, 2002).



## I cambiamenti climatici

Molti lavori nel campo dell'idrologia cercano di dare risposta alla domanda:

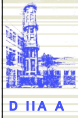
**“se il clima si surriscalderebbe nel futuro, ci sarà un'intensificazione del ciclo idrologico? In caso affermativo quale sarà la natura di questa intensificazione?”**



## I cambiamenti climatici

L'importanza di questa domanda è grandissima perché un'intensificazione del ciclo idrologico può causare:

- 📁 Cambiamenti spazio-temporali della disponibilità della risorsa idrica;
- 📄 Aumento nella frequenza e nell'intensità delle tempeste tropicali;
- 📄 Aumento di estremi come piene e siccità;
- 📄 Amplificazione del riscaldamento attraverso il feedback del vapore acqueo in atmosfera.

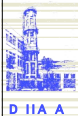


## I cambiamenti climatici: temperatura

Nel *Fourth Assessment Report* (2007) dell'**IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) si trovano le ultime analisi sui trend di temperatura della Terra.

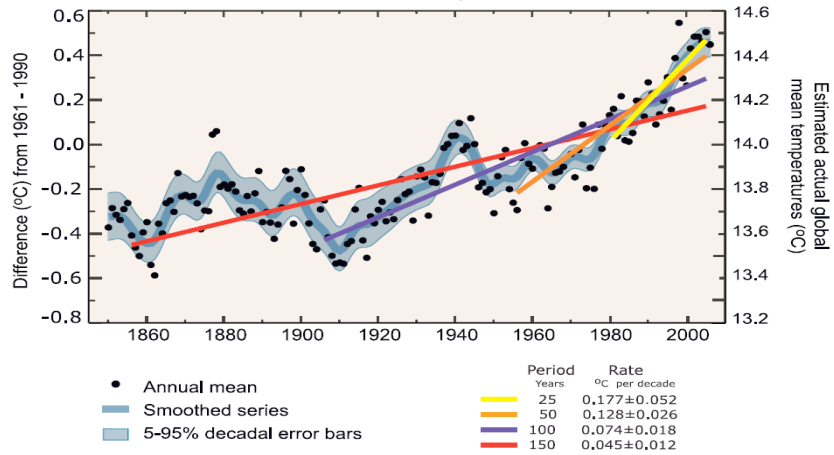
La temperatura media globale in superficie (GST) è cresciuta di  $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$  se stimata con un trend lineare negli ultimi 100 anni (1906–2005).

Se si passa agli ultimi 50 anni, il tasso di aumento della temperatura è circa il doppio rispetto a quello calcolato su 100 anni ( $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$  vs.  $0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$  per decade).



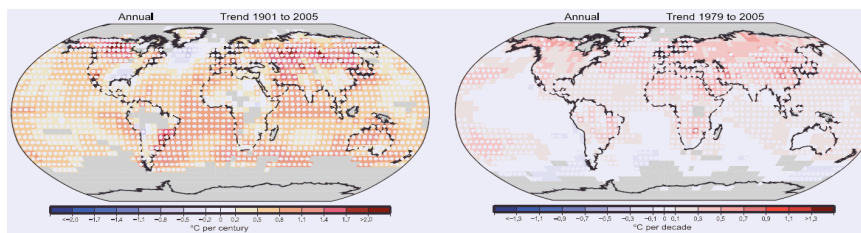
# I cambiamenti climatici: temperatura

## Global Mean Temperature

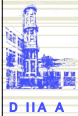


# I cambiamenti climatici: temperatura

## Pattern spaziali dei trend (annuali)



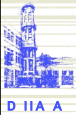
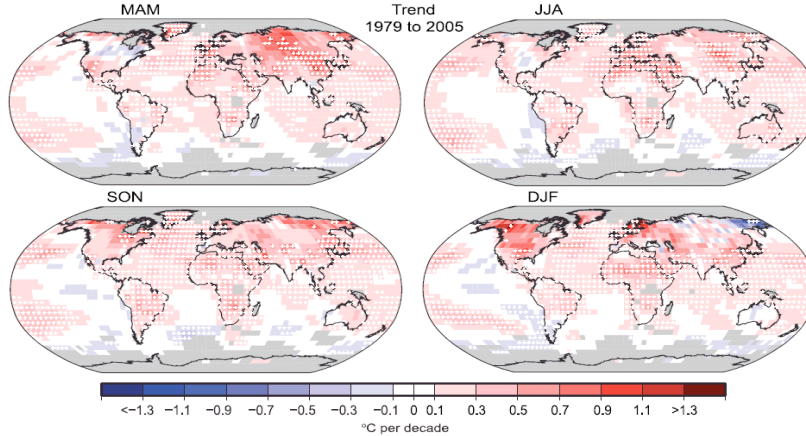
**I punti bianchi indicano trend significativo al 95% ( $\alpha=0.05$ )**



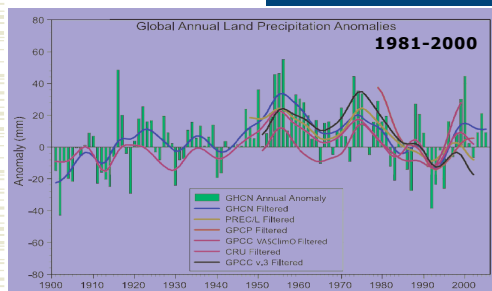


# I cambiamenti climatici: temperatura

## Pattern spaziali dei trend (stagionali)



# I cambiamenti climatici: precipitazione



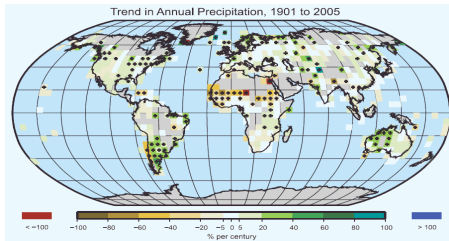
Trend non evidenti  
come per  
temperatura.

**Interpretazioni  
contrastanti**

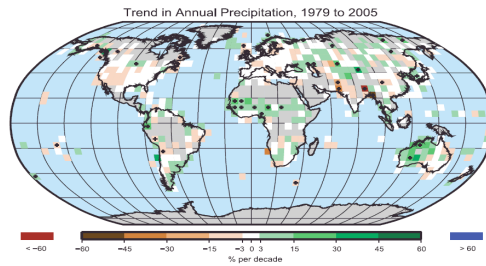
Series	Precipitation Trend (mm per decade)		
	1901-2005	1951-2005	1979-2005
PREC/L		$-5.70 \pm 3.25^a$	$-6.38 \pm 8.78^a$
CRU	$1.10 \pm 1.50^a$	$-3.87 \pm 3.89^a$	$-0.90 \pm 16.24^a$
GHCN	$1.08 \pm 1.87$	$-4.56 \pm 4.34$	$4.16 \pm 12.44$
GPCC VASCLimO		$1.82 \pm 5.32^b$	$12.82 \pm 21.45^b$
GPCC v3		$-6.63 \pm 5.78^a$	$-14.64 \pm 11.67^a$
GPCP			$-15.60 \pm 19.84^a$



# I cambiamenti climatici: precipitazione



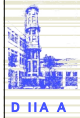
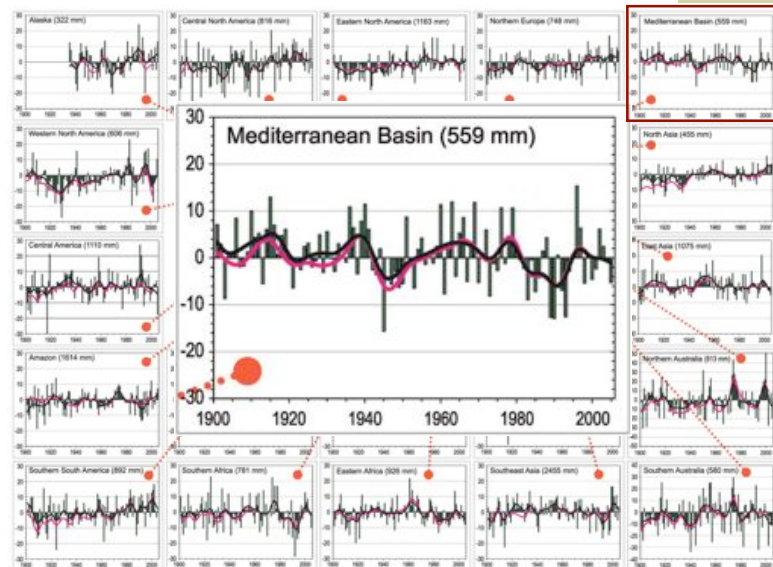
**Trend annuale  
1901-2005**



**Trend annuale  
1979-2005**



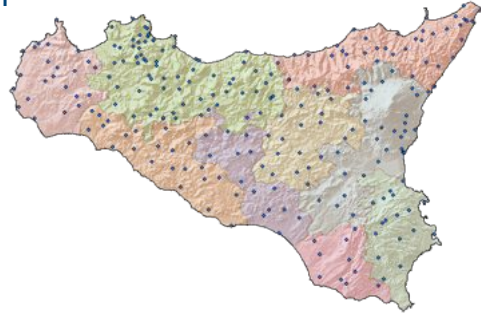
# I cambiamenti climatici: precipitazione



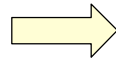
## Precipitazioni in Sicilia

Dati di pioggia mensili relativi a 247 stazioni su tutto il territorio siciliano

Periodo  
analizzato:  
1921-2000



Dataset incompleto



Metodi di interpolazione spaziale (Bono et al., 2005)



13 / 52

## Precipitazioni in Sicilia

L'analisi dei trend a scala locale e regionale è stata condotta su:

- 1. afflussi totali annui
- 2. afflussi di ciascun mese
- 3. afflussi stagionali
- 4. P.C.I. (*Precipitation Concentration Index*)

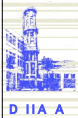
- a. Test at site MK
- b. Test MK-Areale
- c. Test Bootstrap

Livelli di  
significatività:

$\alpha$

0,1 ,05

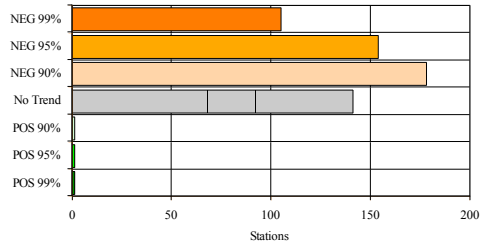
0,01



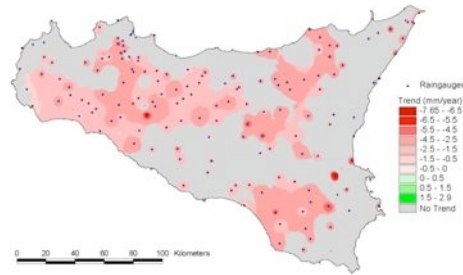
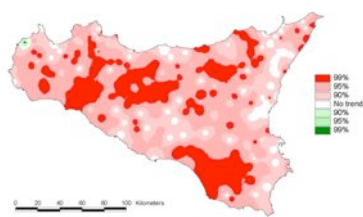
14 / 52

# Precipitazioni in Sicilia

ANNUAL RAINFALL



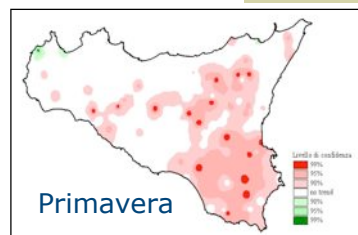
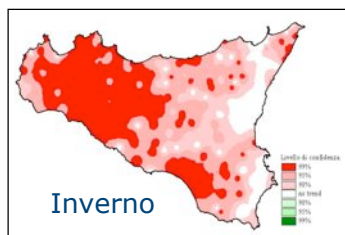
## TREND A SCALA ANNUALE



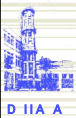
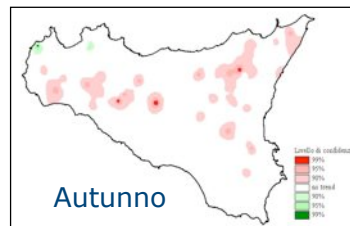
Annual precipitation trend at 95% confidence level



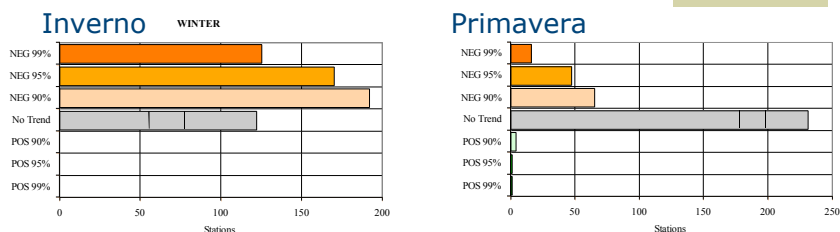
# Precipitazioni in Sicilia



## Afflussi stagionali



## Precipitazioni in Sicilia

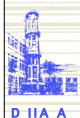
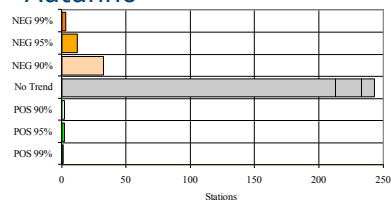


### Afflussi stagionali

Estate

**A c.l. 90% solo 2 stazioni con trend positivo e 1 con trend negativo**

Autunno

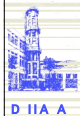


17 / 52

## Precipitazioni in Sicilia

### Osservazioni su precipitazioni

- Diminuzione generale degli afflussi annui e invernali;
- Piogge mensili sempre più uniformi;
- Assenza di *pattern spaziali* ben definiti;
- Presenza di trend a scala regionale;
- P.C.I. non mostra trend positivi ossia non c'è tendenza a maggiore concentrazione della precipitazione.



18 / 52

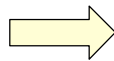
## Temperatura in Sicilia

Dati di temperature medie mensili mensili relativi a 84 stazioni termometriche.

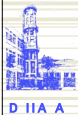
Periodo  
analizzato:  
1925-2005



Dataset incompleto

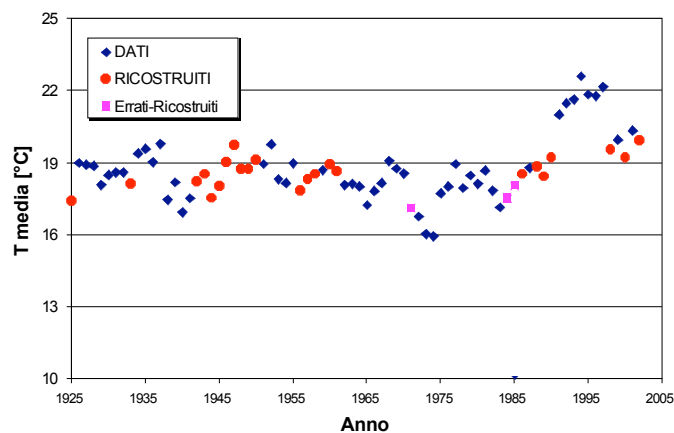


Metodi di interpolazione spaziale (Bono et al., 2005)

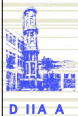


19 / 52

## Temperatura in Sicilia

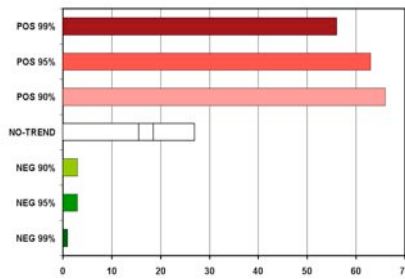


Stazione di Palermo – Piazza Verdi

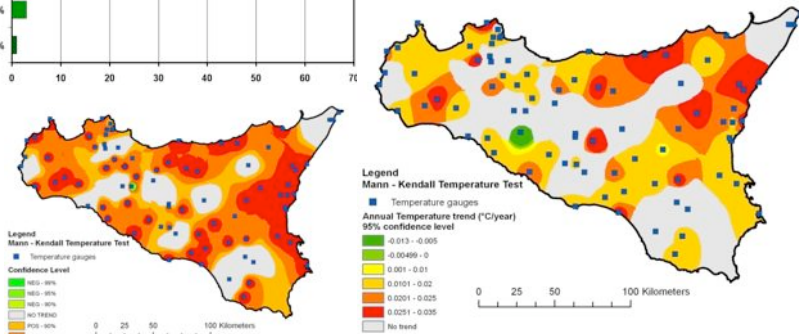


20 / 52

# Temperatura in Sicilia



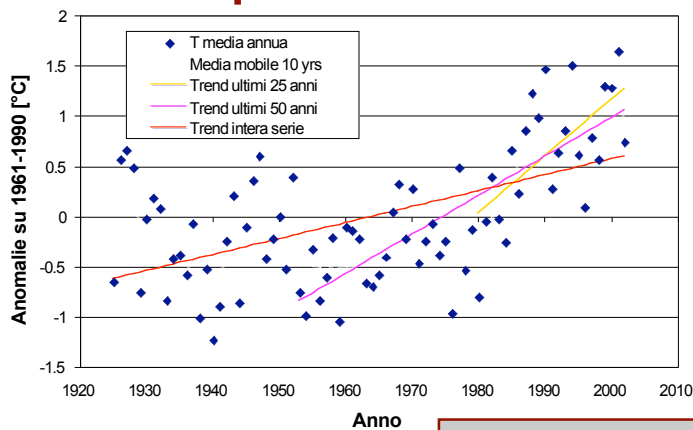
## TREND A SCALA ANNUALE



Mean annual temperature trend at 95% confids level

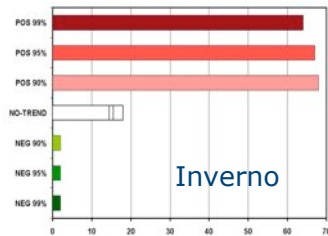
# Temperatura in Sicilia

## Temperatura media della Sicilia

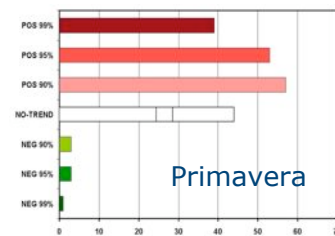


<b>Intera serie</b>	- 0.14 °C/decade
<b>Ultimi 50 anni</b>	- 0.35 °C/decade
<b>Ultimi 25 anni</b>	- 0.52 °C/decade

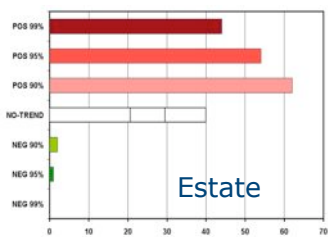
## Temperatura in Sicilia



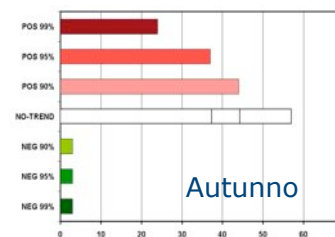
Inverno



Primavera



Estate



Autunno

## Temperatura in Sicilia

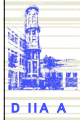
### Osservazioni su temperatura

- Aumento generalizzato delle temperature;
- Assenza di *pattern spaziali* ben definiti;
- Trend positivo presente in ogni stagione
- Presenza di trend positivo a scala regionale;
- Minore stagionalità dei trend rispetto che nella precipitazione.



## Effetti del **cambiamento climatico** e interventi di mitigazione in ambito urbano (verso la **sostenibilità**)

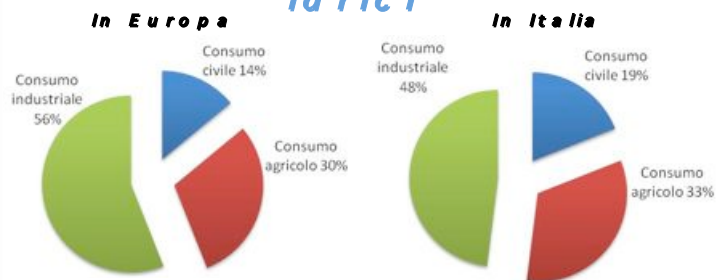
- ☹ Cambiamenti spazio-temporali della disponibilità della risorsa idrica; aumento delle temperature.
- ☺ Uso efficiente delle risorse idriche disponibili; utilizzo di fonti alternative.
- ☹ Aumento nella frequenza e nell'intensità delle tempeste tropicali.
- ☹ Gestione locale dei deflussi meteorici; integrazione con il contesto urbano.



25

## Tipologia dei consumi

### idrici



... **in sintesi**

	Consumo agricolo	Consumo civile	Consumo industriale
Mondo	70 %	8 %	22 %
Europa	30 %	14 %	56 %
Italia	33 %	19 %	48 %

26

## Consumi urbani

Comprensivi dei consumi *domestici e pubblici*:

### Consumi domestici

- cucina 15-25 L/ab/g
- pulizia personale 40-90 L/ab/g
- pulizia domestica 30-60 L/ab/g

### Consumi pubblici

- scuole, caserme, alberghi, ... 50-300 L/ab/g
- ospedali 500-800 L/letto/g
- uffici 50-80 L/addetto/g

I consumi dipendono da:

*abitudini alimentari, igienico/sanitarie, fattori climatici, dimensioni centro abitato, etc.*

**Minimo per la sopravvivenza: 2.5 L/ab/g**

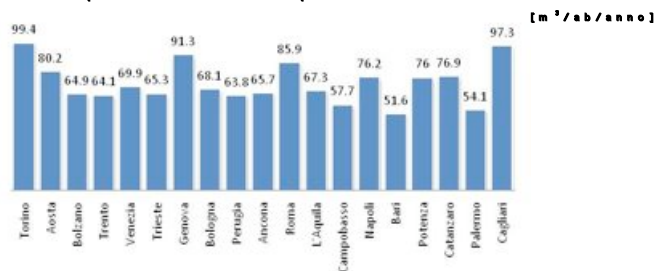
**Intervallo usuale: 200-500 L/ab/g**

27

## Consumi domestici

Ogni giorno ciascuno di noi consuma per usi domestici **213 litri di acqua** di cui:

- ❖ il 39% per bagno e doccia
- ❖ il 12% per il bucato
- ❖ il 10% per il lavaggio delle stoviglie
- ❖ il 6% per usi di cucina
- ❖ il 6% per il lavaggio di auto e per il giardino
- ❖ il 1% per bere e il 6% per altri usi



28

## Consumi domestici

Quanta acqua consumiamo per:

- ✓ un bagno in vasca 150 litri
- ✓ lavarci le mani 1,4 litri
- ✓ lavarci i denti con l'acqua che scorre 10 litri
- ✓ per lavare i piatti a mano 20 litri
- ✓ per lavare l'auto con il tubo di gomma 300 litri

A livello domestico con semplici accorgimenti si può ridurre sensibilmente il consumo di un bene così



29

## Tecniche di risparmio idrico

RIDOTTORI DI FLUSSO



CASSETTE DI SCARICO A DOPPIO FLUSSO



ELETTRODOMESTICI  
CLASSE AA

30



## TECNICHE PER IL RISPARMIO

FASE DI UTILIZZO DELLA RISORSA

### PRATICHE TECNOLOGICHE

Apparecchiatura	Descrizione	Acqua risparmiabile
<b>RUBINETTI</b>		
Rubineti miscelatori ad aria	Introduzione di bolle d'aria nell'acqua ed aumento del volume. Minore flusso ma stesso effetto	Riduzione del flusso di circa 50%
Rubineti con termostato	Mantengono la temperatura selezionata	Riduzione di circa 50% di acqua ed energia
Rubineti con sensori infrarossi	L'acqua è disponibile quando un oggetto è sotto	Riduzione tra il 70% e l'80%
Rubineti elettrici o con dispositivo per flusso a tempo	L'acqua scorre per un tempo limitato	
<b>WC</b>		
Doppi comandi per il wc	Comando per 6 litri/flusso e comando per 3 litri/flusso	Risparmio di circa 40%

Fonte: European Environmental Agency



## TECNICHE PER IL RISPARMIO

FASE DI UTILIZZO DELLA RISORSA

### PRATICHE TECNOLOGICHE

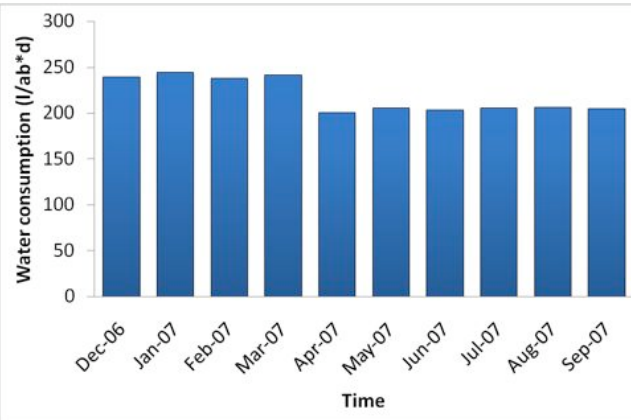
Apparecchiatura	Descrizione	Acqua risparmiabile
<b>DISPOSITIVI PER IL RISPARMIO IDRICO PER VECCHIE APPARECCHIATURE</b>		
Dispositivi per miscelare acqua ed aria per rubinetti	Aumento del volume d'acqua e riduzione del flusso	Riduzione di circa 40%
Dispositivi per interrompere il flusso dei wc		Riduzione di circa 70%
Dispositivo per limitare il flusso delle docce		Riduzione tra il 10% ed il 40%

Fonte: European Environmental Agency



## Valutazioni economiche

### Sostenibilità economica dei filtri rompi-getto (singola utenza - 4 abitanti)

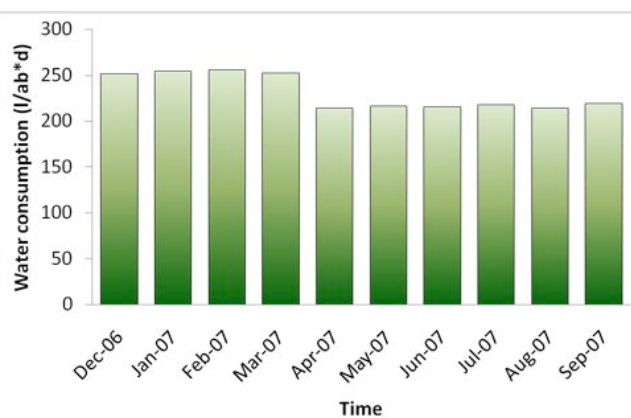


Installazione: **01/04/2007**  
Numero di elementi  
installati: **6 pezzi**  
Costo: **16 Euro**  
Impatto sui consumi:  
**- 15%**  
Recupero costi  
( $1\text{m}^3=1,20\text{€}$ ): **4 mesi**



## Valutazioni economiche

### Sostenibilità economica di una lavatrice Classe A+ (utenza singola - 5 abitanti)



Installazione: **01/04/2007**  
Numero di elementi  
installati: **1 pezzo**  
Costo: **700 Euro**  
Impatto sui consumi:  
**- 14%**  
Recupero dei costi  
( $1\text{m}^3=1,20\text{€}$ ): **10,2 anni**  
(**4,6 anni considerando  
anche il risparmio  
energetico**)

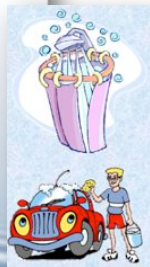


## Valutazioni economiche

### Riassumendo...

<b>DISPOSITIVI A BASSO CONSUMO</b>	<b>RISPARMIO IDRICO</b>	<b>RECUPERO ECONOMICO</b>
<b>Cassetta a doppio flusso</b>	<b>28%</b>	<b>4 anni</b>
<b>Riduttore di flusso (doccia)</b>	<b>20%</b>	<b>meno di 1 anno</b>
<b>Riduttore di flusso (rubinetto)</b>	<b>15%</b>	<b>meno di 1 anno</b>
<b>Lavatrice (classe A+)</b>	<b>14%</b>	<b>circa 10 anni</b>

### Interventi non strutturali



Piccoli accorgimenti per evitare gli sprechi in ambito domestico:

- lavatrice e lavastoviglie a pieno carico
- usare il miscelatore ai rubinetti
- chiudere il rubinetto per lavarsi i denti per radersi
- riparare il rubinetto o il WC che perde
- usare la cassetta per il WC con doppio pulsante
- preferire la doccia al bagno
- lavare le verdure "a mollo" anziché solo in acqua corrente
- lavare l'auto con il secchio e non solo con l'acqua corrente

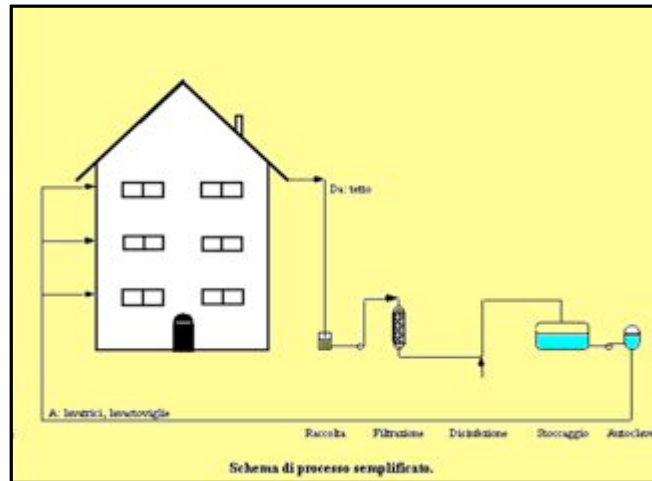




## Recupero di risorse idriche alternative

ACQUE METEORICHE (da tetti e piazzali) O ACQUE GRIGIE  
(da lavandini, vasche, docce, ecc.)

- ❖ Raccolta
- ❖ Filtrazione
- ❖ Disinfezione
- ❖ Stoccaggio
- ❖ Riuso (per usi non potabili)

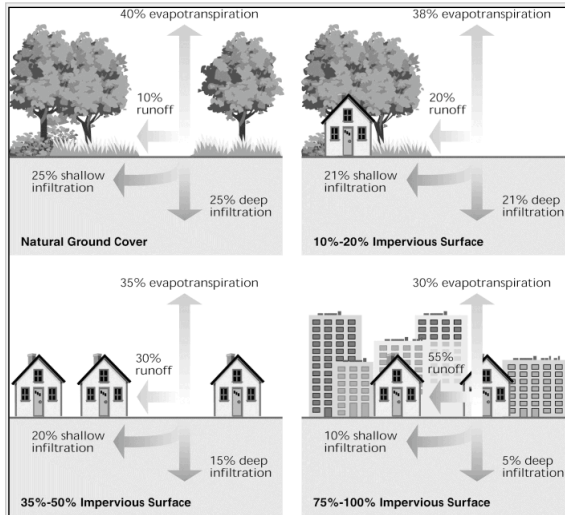


## Effetti del **cambiamento climatico** e interventi di mitigazione in ambito urbano (**verso la sostenibilità**)

- ☹ Cambiamenti spazio-temporali della disponibilità della risorsa idrica; aumento delle temperature.
- ☺ Uso efficiente delle risorse idriche disponibili; utilizzo di fonti alternative.
- ☹ Aumento nella frequenza e nell'intensità delle tempeste tropicali.
- ☹ Gestione locale dei deflussi meteorici; integrazione con il contesto urbano.



## Il cambiamento climatico e l'urbanizzazione



### Conseguenze dell'urbanizzazione:

Maggiori deflussi  
10% → 55%

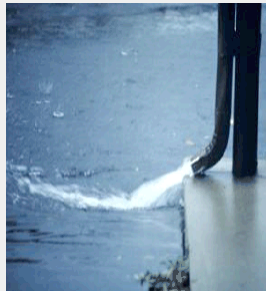
Minore infiltrazione  
50% → 15%

Minore evapotraspirazione  
40% → 30%



## Effetti dell'urbanizzazione: portate di tempo secco dei fiumi

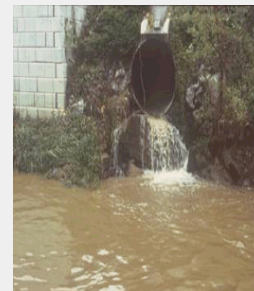
### Quando piove, l'acqua ...



Defluisce sulle superfici impermeabili



Entra nel sistema di drenaggio



Viene scaricata nel corpo idrico ricettore





## Conseguenze: Allagamenti più frequenti



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



Merone (26/11/2002)



## Conseguenze: Allagamenti più frequenti



Monza centre



Cologno Monzese

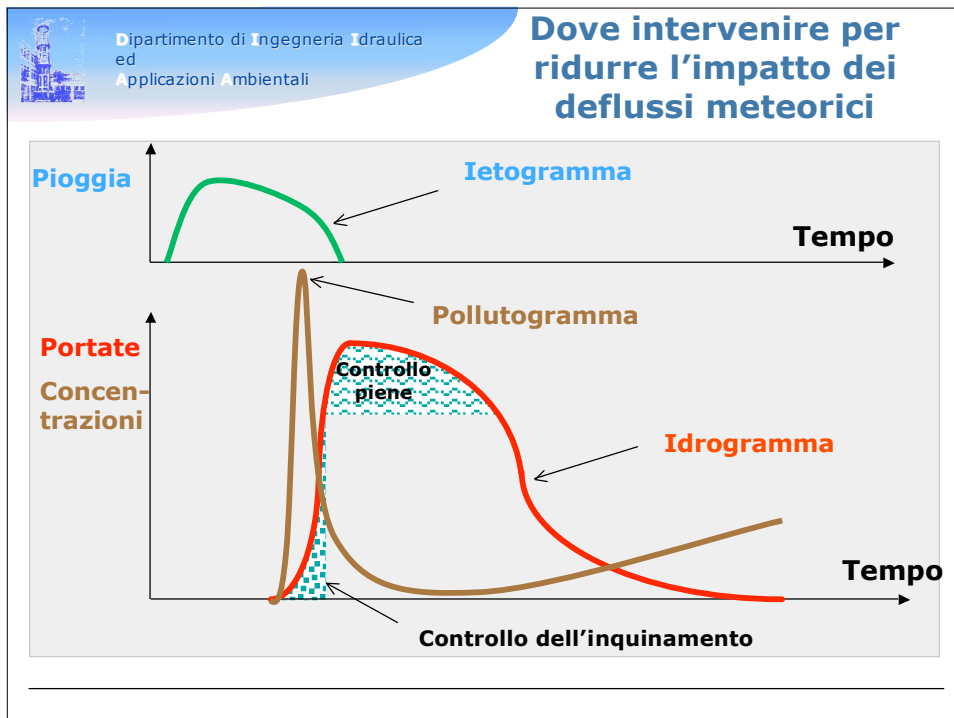


Via Annoni bridge - Monza



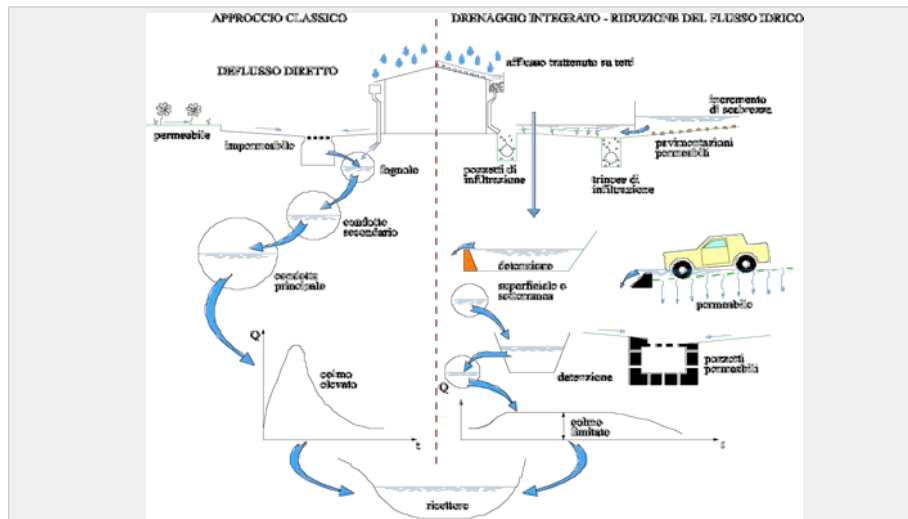
Parco Lambro - Milano

## Conseguenze: degrado dell'ambiente fluviale





## 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)**









 Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali

## BMPs : 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 linea:** sono dimensionate per intercettare tutti i deflussi corrispondenti all'evento di progetto; in tempo secco la struttura è attraversata da portate
- **Interventi fuori linea:** intercettano parte dei deflussi, escludendola dal sistema di drenaggio; durante il tempo secco la struttura non è attraversata da portate

52



### 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



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



## Interventi di detenzione dei deflussi



Copyright 2000, Center for Watershed Protection



## Bacini di detenzione superficiale

### Classificazione:

- Centralizzata **Detenzione**
- Strutturale **Flusso a pistone**  
superficiale

### Uso:

- Controllo delle portate
- Controllo della qualità delle  
acque



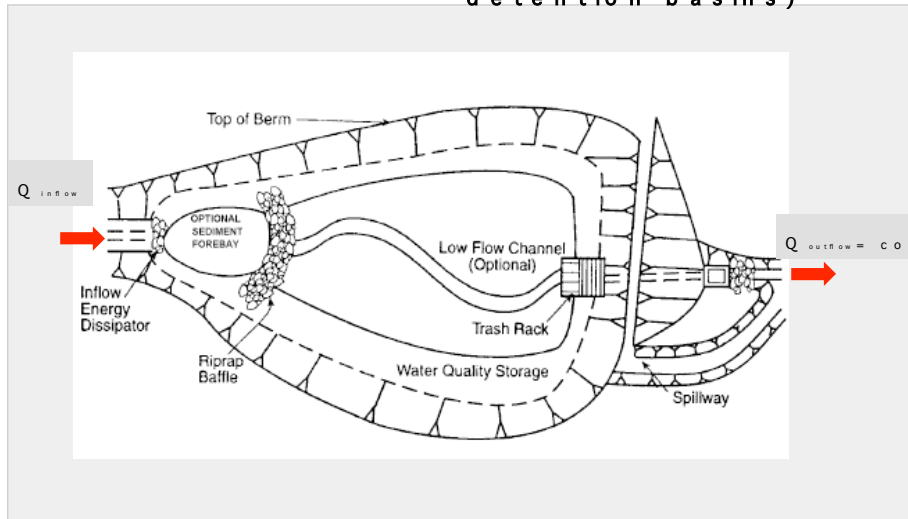
- Rimozione dei contaminanti per sedimentazione.
- Tempo di detenzione > 24 ore, generalmente 40 ore
- Sono usate per drenare superfici > 2 ha





## Strutture di detenzione:

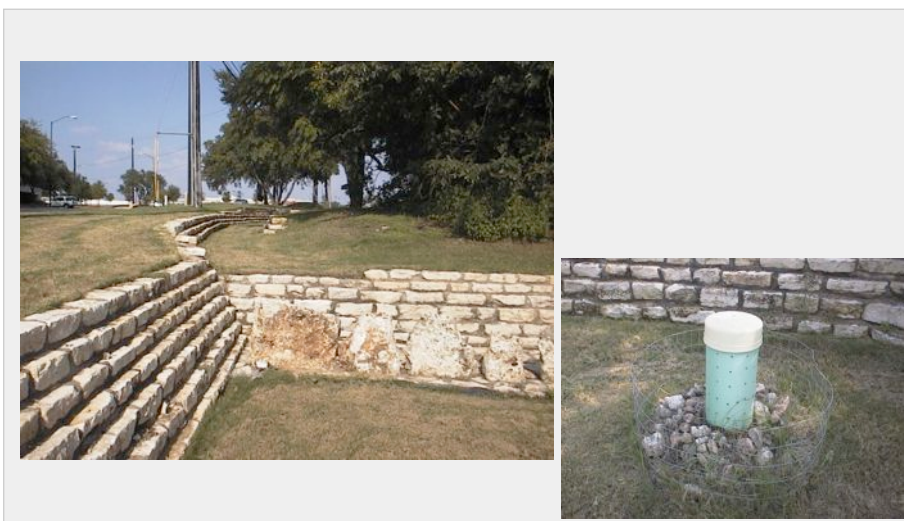
bacini a ritenzione prolungata (Extended detention basins)



57



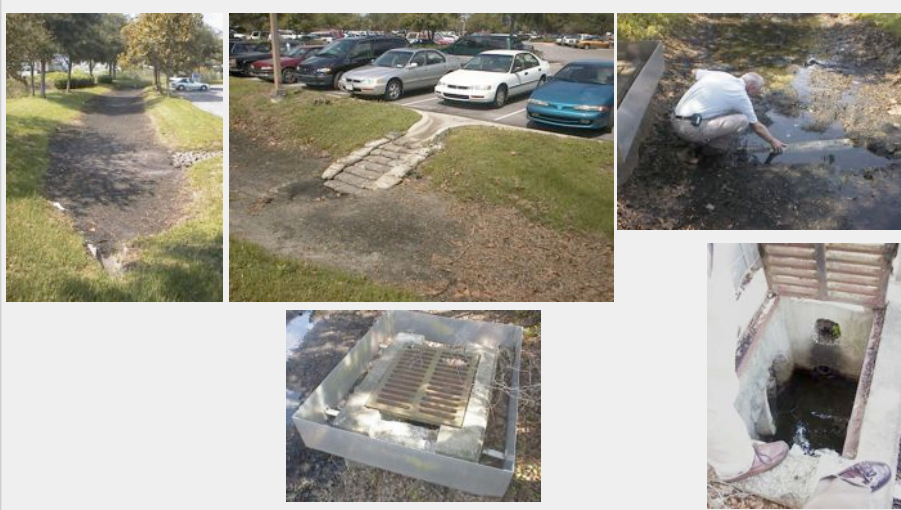
## Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata



58



## Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata



## Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata





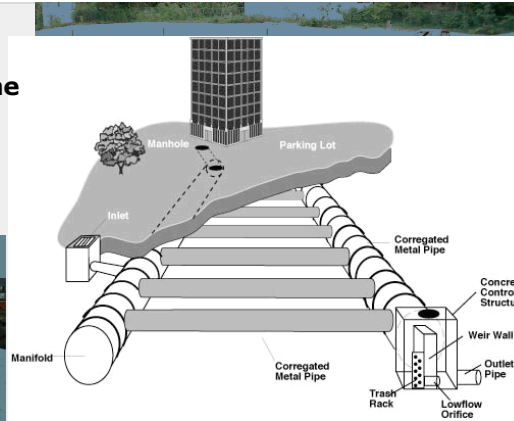
## Strutture di detenzione sotterranea

### Classificazione:

- Centralizzato **Detenzione**
- Strutturale **Flusso a pistone** sotterraneo

### Uso:

- Controllo delle portate

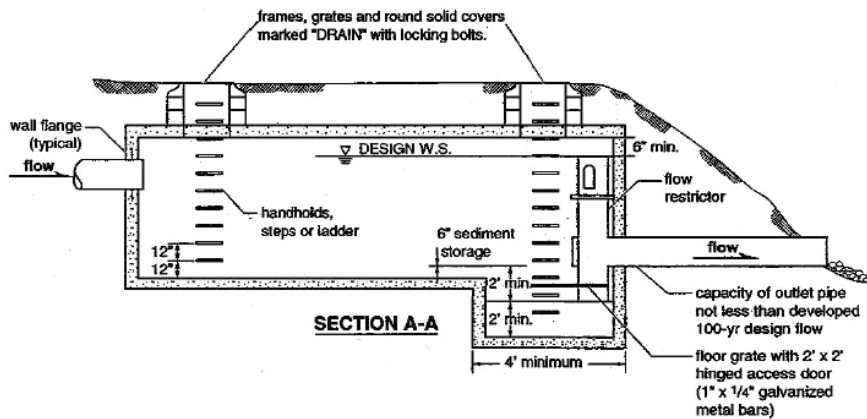


Sono usati per drenare superfici < 25 ha



## Strutture di detenzione sotterranea

**NOTE:** All vault areas must be within 50' of an access point





## Strutture di detenzione sotterranea: tipo modulare



63



## Strutture di detenzione sotterranea: tipo modulare



64





## 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 alla fine dell'evento meteorico.

### Classificatione:

- Centralizzata Ritenzione
- Strutturale Off-line

Sotterranea

/ Superficiale

### Use:

- Controllo delle portate
- Controllo della qualità delle acque

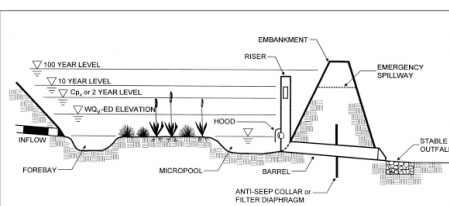
**Surface:** 1-3% sup. drenata



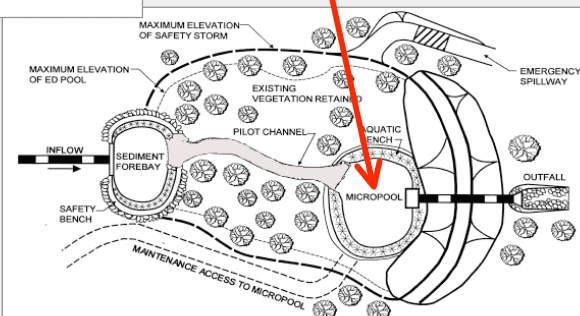
65



## Bacini di ritenzione



Uno "stagno permanente" all'uscita impedisce la risospensione dei sedimenti depositati e previene l'intasamento dello scarico



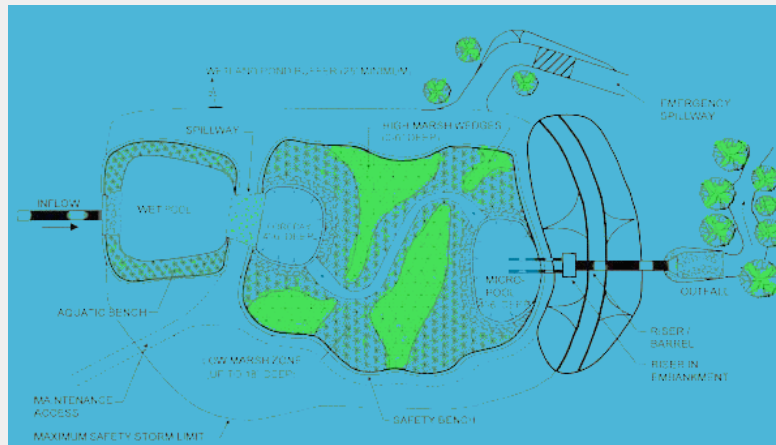
66



## Bacini di ritenzione:

stagno permanente (Wet pond)

Bacino permanente allagato soprattutto nei periodi piovosi



67



## Interventi di immagazzinamento: vantaggi e svantaggi

### VANTAGGI

- Riduzione della portata al picco
- Possibilità di intervenire su eventi meteorici sia con bassa che con alta frequenza di accadimento
- Riduzione del volume di deflusso (soltanto RITENZIONE)

### SVANTAGGI

- Elevati costi d'impianto e di manutenzione
- Possibile impatto sulla salute pubblica (se associate a scarsa manutenzione)
- Talvolta non applicabili in aree densamente urbanizzate con modesti spazi pubblici
- La costruzione di grandi bacini di ritenzione può compromettere ecosistemi sensibili
- Potenziale rischio di inquinamento delle acque sotterranee



## Interventi di immagazzinamento: vantaggi e svantaggi

FONTI: EU DAYWATER Project - EPA-ASCE BMP database

### **Criterio di dimensionamento:**

Intercettazione totale dell'evento critico con  $T_r = 2$  anni

### **Miglioramento della qualità delle acque**

#### **RITENZIONE:**

- Solidi Sospesi: 70% - 90%
- Metalli e micro-inquinanti: 30% - 40% *Maryland Stormwater Design Manual (2000)*

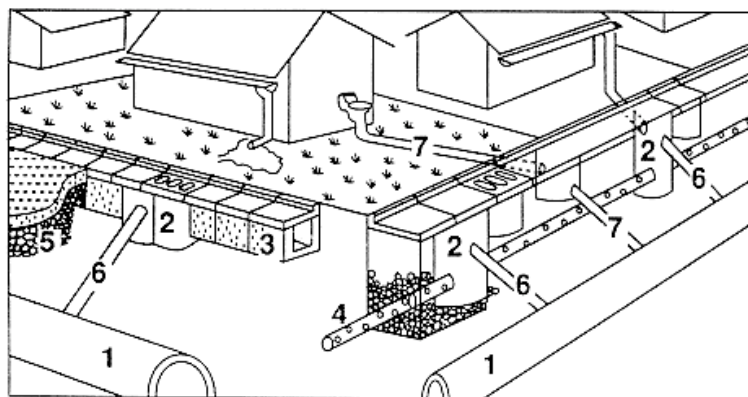
#### **DETEZIONE**

(rendimenti variabili in funzione della geometria e di fenomeni di risospensione)

- Solidi Sospesi: 40 - 80%
- Materiali disciolti: < 10%
- Metalli e micro-inquinanti: < 20% (adsorbimento)
- BOD: 30% - 60% (*Scheuler,1992*)



## Strutture di infiltrazione



**1** Sistema di drenaggio  
ordinario

**2** Pozzo di infiltrazione  
**3** Trincea di infiltrazione

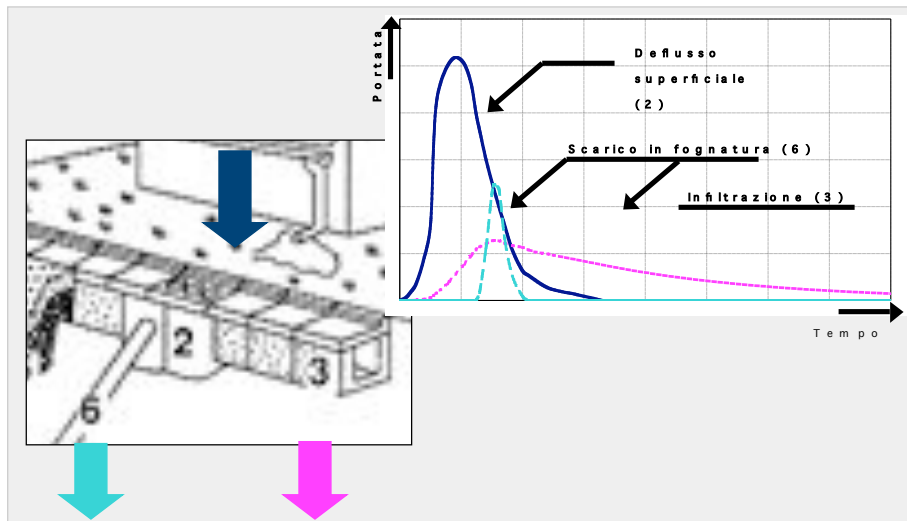
**4** Condotta infiltrante

**5** Pavimentazione porosa  
**6** Scarico di troppo pieno

**7** Allaccio fognario



## Principio di funzionamento delle strutture di infiltrazione



## Tecniche di infiltrazione: Vantaggi e Svantaggi

### **VANTAGGI**

- Riduzione del volume di deflusso
- Riduzione della portata al picco (detenzione locale)
- Miglioramento della qualità delle acque immesse nel sistema drenante

### **SVANTAGGI**

- Elevati costi d'impianto
- Tendenza all'intasamento
- Aumento delle probabilità di fenomeni locali di allagamento
- Possibile inquinamento delle acque di falda
- Recupero e trattamento dei sedimenti raccolti nelle strutture di infiltrazione





# Tecniche di infiltrazione: Impatto sulla qualità dei deflussi

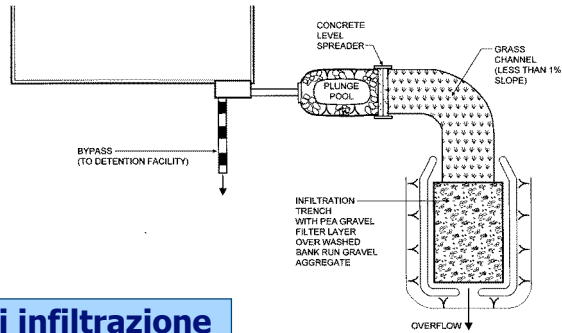
FONTI: EU DAYWATER Project  
EPA-ASCE BMP database

## Criterio di dimensionamento:

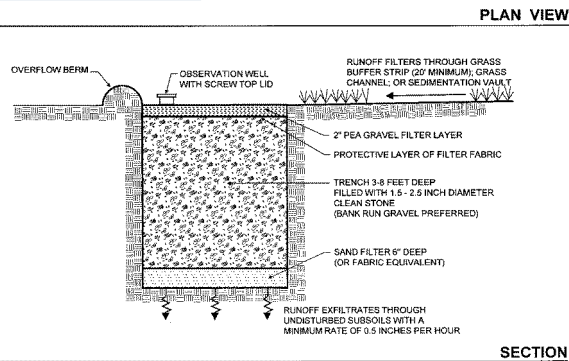
**Intercettazione totale dell'evento critico con  $T_r = 2$  anni**

### Efficienza di intercettazione degli inquinanti (Scadenti) DESTINO DEGLI INQUINANTI INTERCETTATI?

- ✓ SST: 50% - 80%
- ✓ BOD: 60% - 70%
- ✓ Metalli (in forma particolata ed adsorbita): 80% - 90%
- ✓ Inquinanti in soluzione : < 30%



## Trincea di infiltrazione







## Trincea di infiltrazione in Scozia



Photos by  
Kirsteen McDonald



## Interventi su aree urbane esistenti Emscher River, Germany





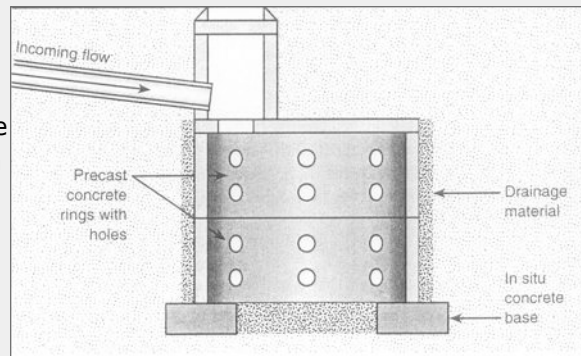
## Pozzi drenanti

### Classificazione:

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

### Use:

- Controllo delle portate
- Controllo della qualità delle acque



79



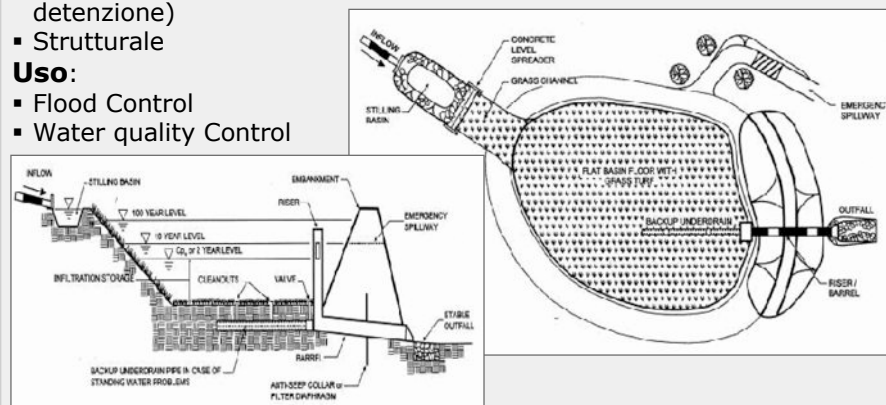
## Bacini di infiltrazione

### Classificazione:

- Centralizzata
- Off-line (possono essere in-line se lavorano anche come bacini di detenzione)
- Strutturale

### Uso:

- Flood Control
- Water quality Control



80





Copyright 2000, Center for Watershed Protection



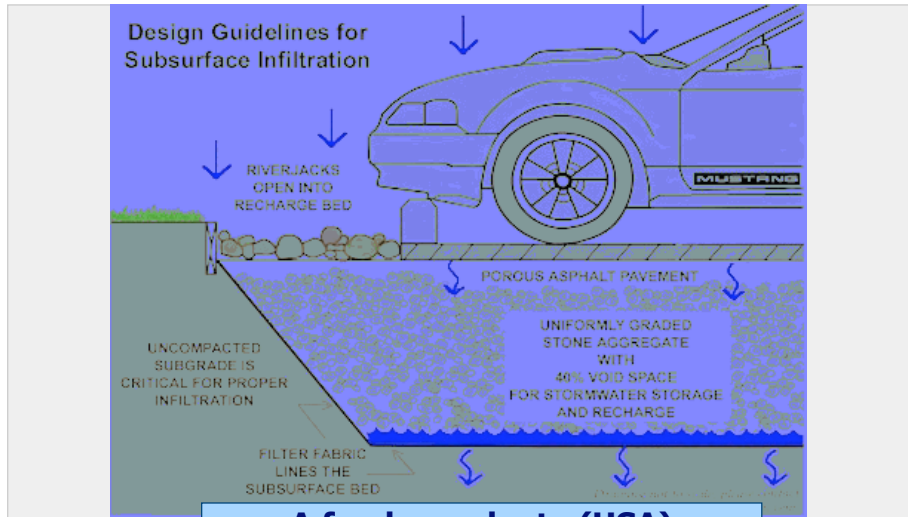
Dipartimento di Ingegneria Idraulica  
ed Applicazioni Ambientali

## Bacini di infiltrazione



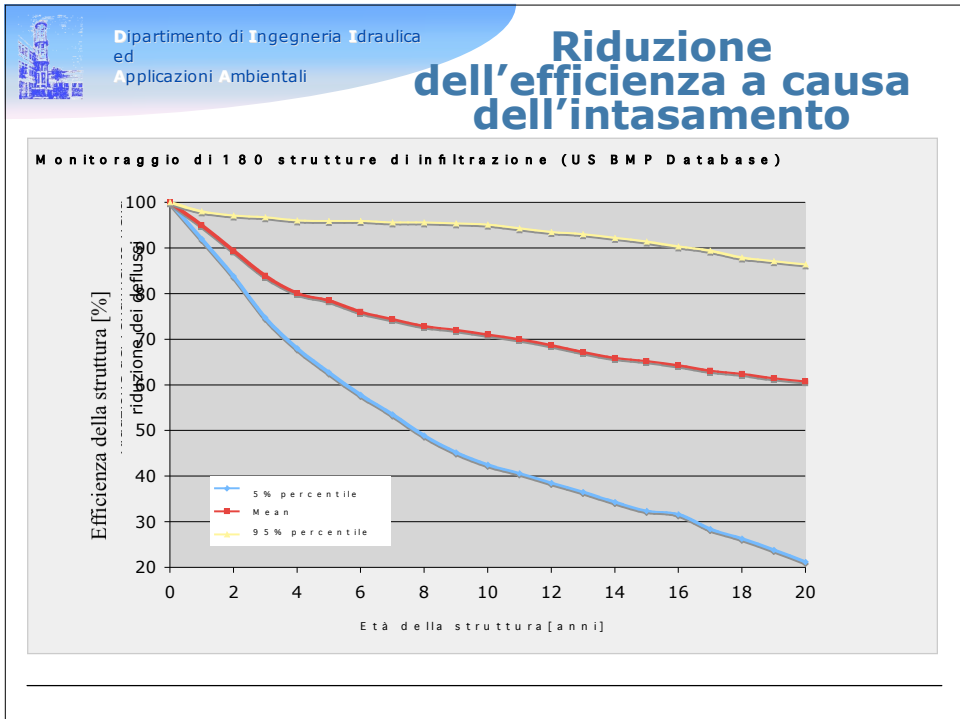


## Pavimentazione porosa



**A fondo pendente (USA)  
A fondo impermeabile (EU)**







## Disconnessione delle aree impermeabili

Copyright 2000, CWP

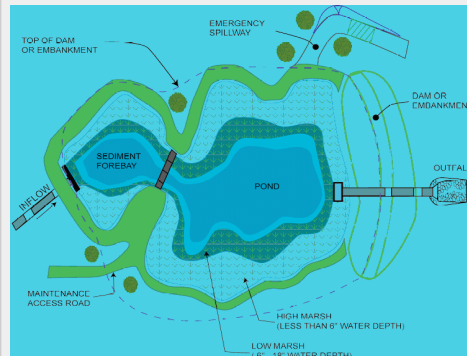


Dipartimento di Ingegneria Idraulica  
ed  
Applicazioni Ambientali

## 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







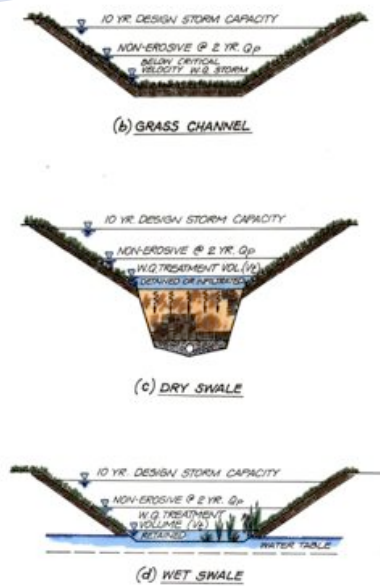
## Filtri vegetali



Il loro principio di funzionamento consiste nell'integrare l'infiltrazione nel terreno con un processo di filtrazione attraverso la vegetazione. Questo ultimo aspetto risulta particolarmente influenzato dalla velocità della corrente nella cunette che costituisce anche il principale elemento di dimensionamento



## Filtri vegetali





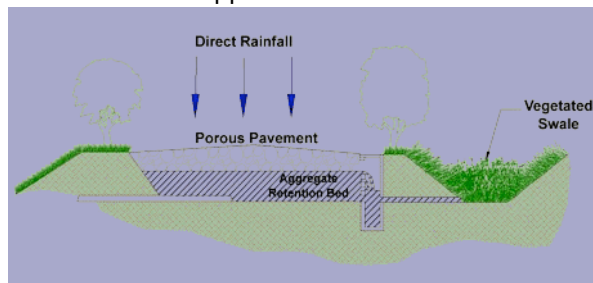
## Cunette erbose

- Cunette erbose con t...
- Canali erbosi



## Applicazioni delle cunette erbose

- Parcheggi
- Impianti commerciali o poco industrializzati
- Strade e autostrade
- Aree di sviluppo residenziale



volume

## Cunette erbose

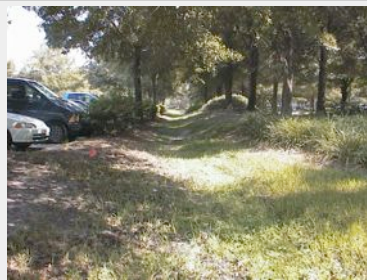


Copyright 2000, CWP



Dipartimento di Ingegneria Idraulica  
ed  
Applicazioni Ambientali

## Applicazioni delle cunette erbose





## Tetti e pareti verdi



## Tetti e pareti verdi





### VANTAGGI

- Miglioramento della qualità delle acque immesse nel sistema drenante (in particolare in occasione di eventi meteorici frequenti)
- Riduzione del volume di deflusso (se le caratteristiche del terreno consentono l'infiltrazione)
- Riduzione della portata al picco

### SVANTAGGI

- Non applicabili nelle aree scoscese, umide o con tendenza all'erosione
- Non realizzabili in zone densamente urbanizzate
- La copertura vegetale deve essere coordinata con le caratteristiche climatiche dell'area
- Distaccamenti della copertura vegetale possono incrementare il carico inquinante dei deflussi
- Il ristagno delle acque può generare possibili rischi per la salute



FONTI: EU DAYWATER Project - EPA-ASCE BMP database

### **Criterio di dimensionamento:**

**$V < 0,5$  m/s per l'evento critico con  $Tr = 2$  anni**

### **Controllo della qualità delle acque:**

#### **•Efficienza media:**

- ✓Solidi sospesi: 60% - 80%
- ✓BOD: 60 - 70%
- ✓Composti azotato: < 40%
- ✓Fosforo: < 10%
- ✓Metalli, idrocarburi: 50 - 60%

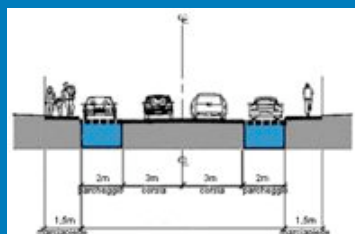
**I rendimenti possono ridursi rapidamente per velocità elevate a causa dei fenomeni di risospensione**



## Relazione tra tecniche di mitigazione ed effetti sui deflussi

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

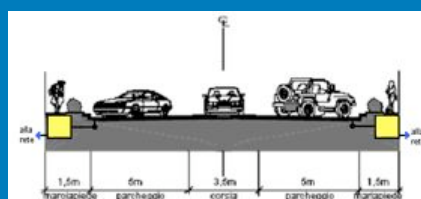
## Schemi di impianto in contesti fortemente urbanizzati



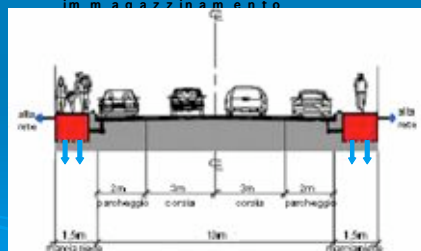
Pavimentazione permeabile



Modifica dell'assetto altimetrico dell'isola



Interventi di immagazzinamento



Trincea d'infiltrazione

# I modelli utilizzati per l'analisi delle superfici scolanti

MODELLO SEMPLIFICATO TIPO "FALDA PIANA - CUNETTA"

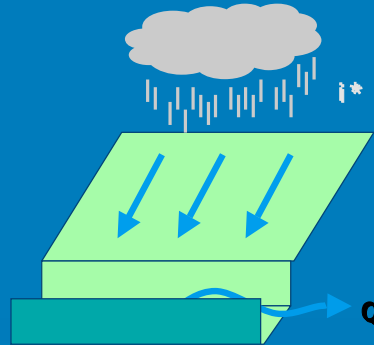
## FORMAZIONE DEI DEFLUSSI:

Serbatoio non lineare (Eq. di Manning + Eq. di continuità)



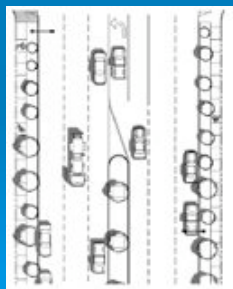
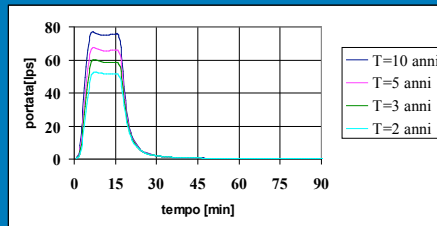
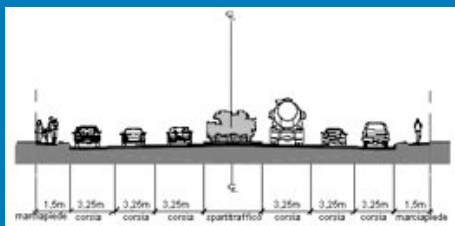
• Ritenzione superficiale: perdita costante e concentrata all'inizio  
 ↓  $\frac{dQ}{dt} = K(H - H_0)^n$  di Horton

## MOTO DELL'ACQUA LUNGO LE CUNETTE: Modello cinematico



La portata  $Q$  in uscita dalla cunetta viene immessa in fognatura o in una struttura di mitigazione ( $Q_{in}$ )

# Esempi di intervento su strade: Categoria D (strade urbane di scorrimento)

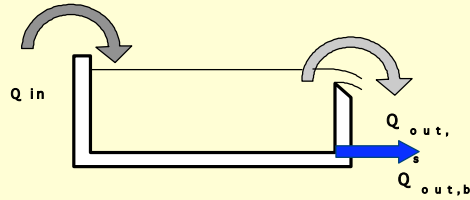


Deflussi generati da 1 m di strada [25]

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s]	51,6	59,6	67,2	76,7

## Il modello delle strutture di immagazzinamento

- Il volume idrico proveniente dal bacino viene temporaneamente immagazzinato
- Esiste uno scarico di fondo a luce controllata
- Esiste uno scarico di superficie per evitare il sovraccarico



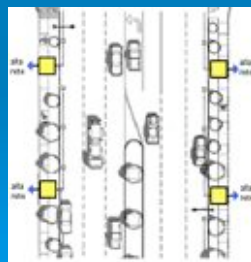
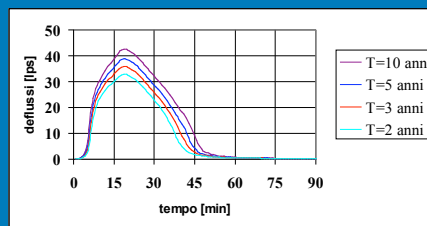
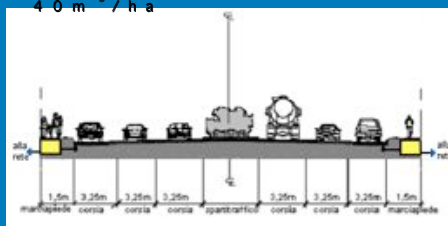
$$\frac{dW}{dt} = Q_{in} - Q_{out,s} - Q_{out,b}$$

Equazione di continuità

## Inserimento di interventi di immagazzinamento

Volume delle vasche:

40 m<sup>3</sup> / h a

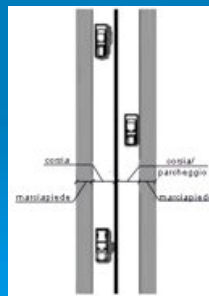
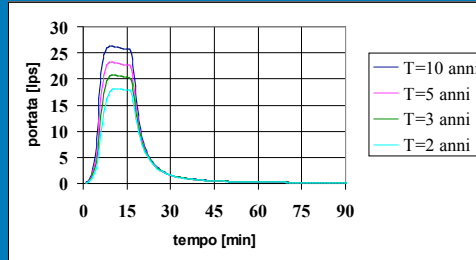
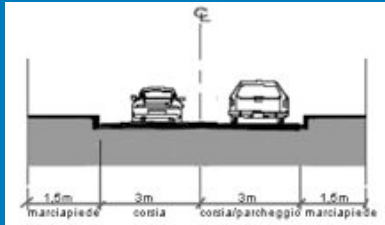


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	51,68	59,6	67,2	76,7
Deflussi [l/s] dopo	32,62	35,6	38,5	42,2

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	36,9%	40,2%	42,6%	45%



## Esempi di intervento su strade: Categoria E (Strade urbane di quartiere)



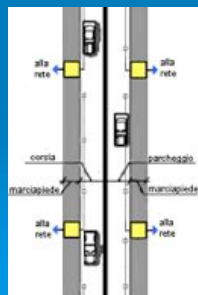
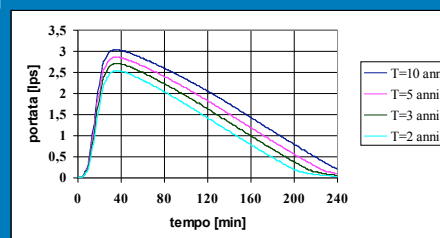
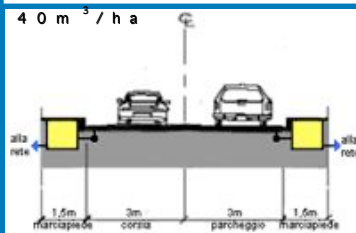
Deflussi generati da 1 m di strada [ l/s ]

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s]	1,8	20,6	23,12	26,15

## Inserimento di interventi di immagazzinamento

VOLUME delle vasche:

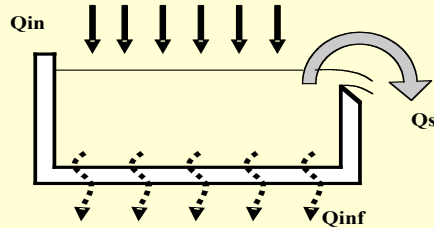
40 m<sup>3</sup> / ha



Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	1,8	20,6	23,12	26,15
Deflussi [l/s] dopo	2,53	2,7	2,85	3,02

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	86%	86,9%	87,7%	88,5%

## Modellazione delle pavimentazioni permeabili e degli interventi di infiltrazione



- Il modello simula la struttura di infiltrazione come un serbatoio non lineare
- La schematizzazione modellistica ipotizza una portata in ingresso omogenea per tutta la lunghezza della struttura e due portate in uscita: **l'efflusso da uno stramazzo** verso la rete drenante per evitare il sovraccarico della struttura e **la portata infiltrata** secondo la legge di Green - Ampt

## 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  
 $h_w$ : tirante idrico  
 $B$ : larghezza della struttura  
 $L$ : lunghezza della struttura

$W$ : lunghezza dello stramazzo  
 $h$ : carico idraulico sullo stramazzo  
 $\mu$ : coefficiente d'efflusso

Modello di infiltrazione:

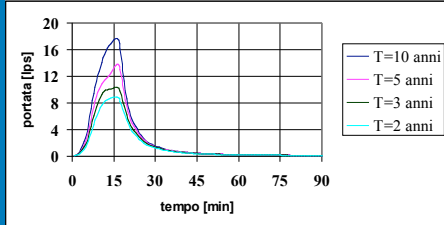
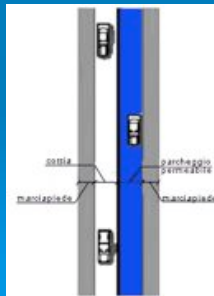
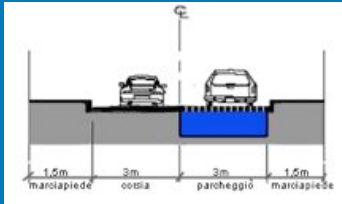
$$Q_{inf}^{max} = K_s \left( 1 - \frac{\psi (\theta_s - \theta_0)}{F} \right) A_{eff}$$

$K_s$ : Conduttività idraulica  
 $\psi$ : Contenuto idrico iniziale ed a saturazione  
 $\theta_s - \theta_0$ : Suzione sul fronte bagnato  
 $A_{eff}$ : Area di infiltrazione efficace

## Inserimento di pavimentazioni permeabili

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

$K_{sat} = 15 \text{ mm/h}$

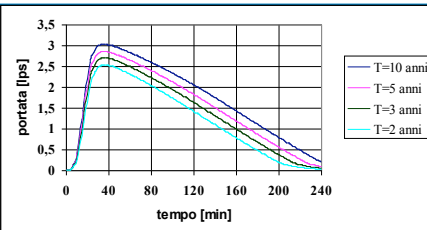
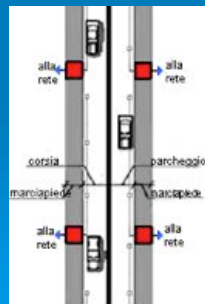
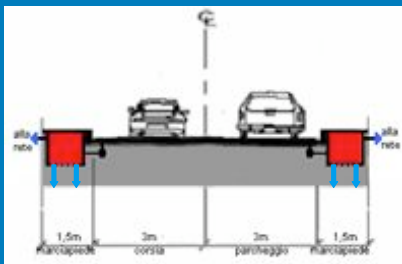


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflussi [l/s] dopo	8,82	10,24	13,64	17,66

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	51%	50,3%	41%	32,5%

## Inserimento di trincee d'infiltrazione

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

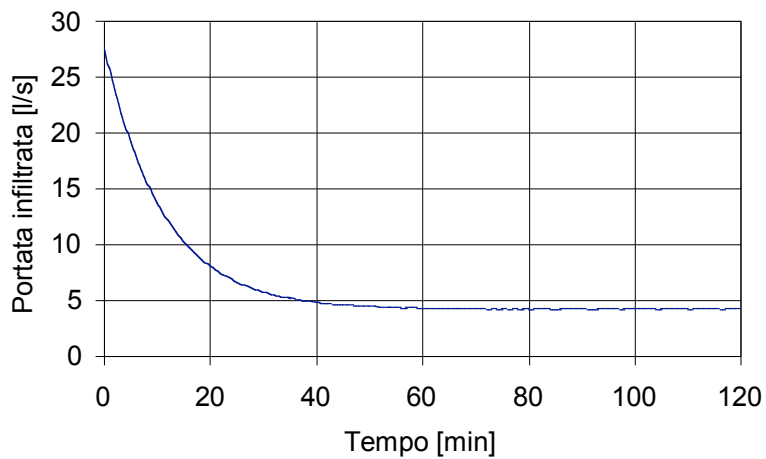


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflussi [l/s] dopo	2,5	2,6	2,83	3,006

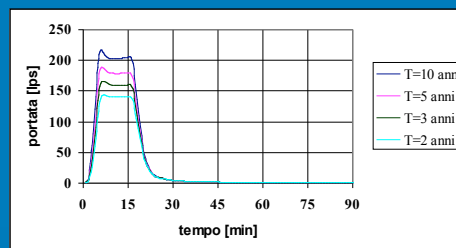
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	86,1%	87%	87,8%	88,6%

## Inserimento di trincee d'infiltrazione: portata infiltrata

Infiltrazione con meccanismo Hortoniano da una trincea di 4 m x 1 m x 1 m  
 Velocità di infiltrazione massima = 100 m/h  
 Velocità di infiltrazione minima = 15 m/h



## Intersezione a rotatoria: piazza Bolivar



Area Drenante: 105 m<sup>2</sup>

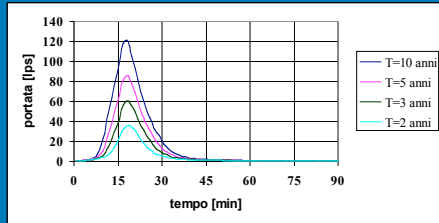
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s]	142,9	164,98	185,85	216,58

## Modifica dell'assetto altimetrico dell'isola centrale

35% della superficie

ribassata

Si aumenta il fenomeno della ritenzione superficiale



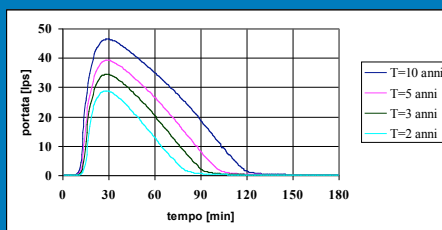
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	142,9	164,98	185,85	216,58
Deflussi [l/s] dopo	35,59	60,01	85,56	120,95

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	75,1%	63,6%	54%	44,2%

## Inserimento di interventi di immagazzinamento

Volume delle vasche:

40 m<sup>3</sup>/ha



Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	142,9	164,98	185,85	216,58
Deflussi [l/s] dopo	28,76	34,36	39,13	46,29

Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	79,9%	79,2%	78,9%	78,6%



Dipartimento di Ingegneria Idraulica  
ed  
Applicazioni Ambientali

## Esempi di integrazione delle BMPs nel contesto urbano

### Augustenborg (Malmoe, Svezia)

