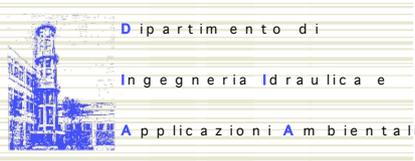


Venezia, 28 Febbraio 2008

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**.

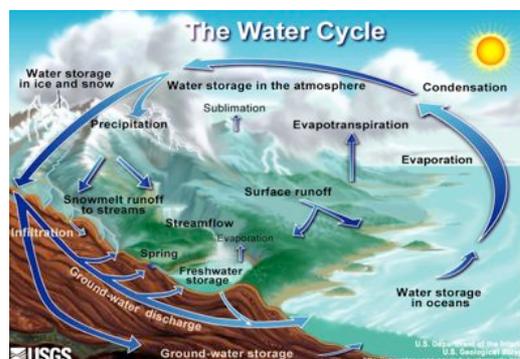
Recenti modelli suggeriscono che come conseguenza di questa relazione, la precipitazione dovrebbe aumentare di circa il 3.4% per ogni Kelvin (Allen e Ingram, 2002).



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.

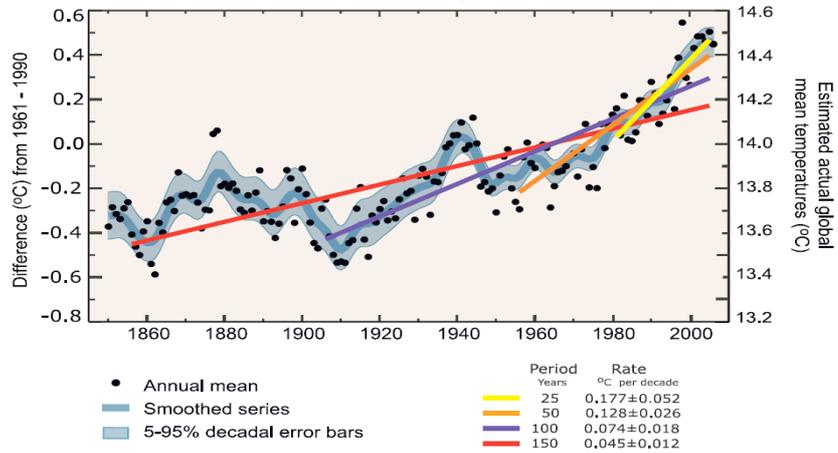
La temperatura media globale in superficie (GST) è cresciuta di $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ se stimata con un trend lineare negli ultimi 100 anni (1906–2005).

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).



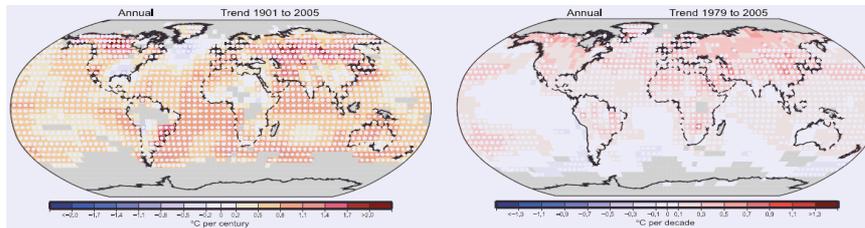
I cambiamenti climatici: temperatura

Global Mean Temperature



I cambiamenti climatici: temperatura

Pattern spaziali dei trend (annuali)

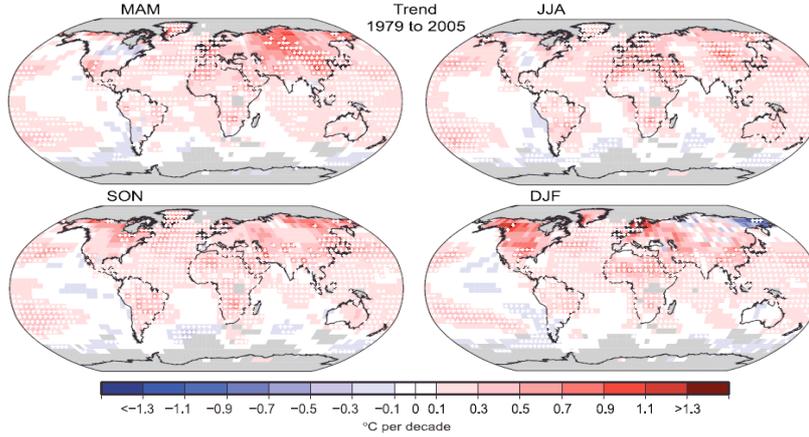


I punti bianchi indicano trend significativo al 95% ($\alpha=0.05$)

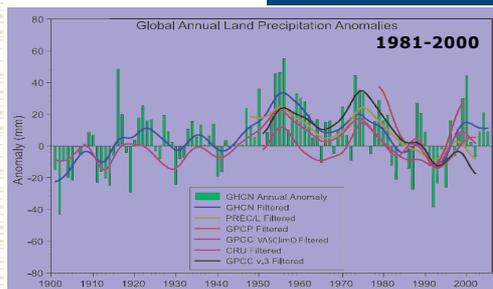


I cambiamenti climatici: temperatura

Pattern spaziali dei trend (stagionali)



I cambiamenti climatici: precipitazione



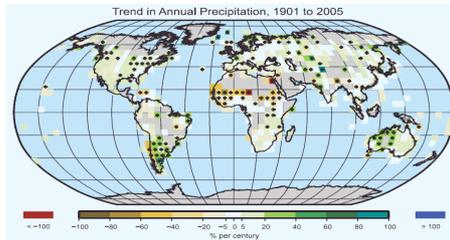
Trend non evidenti
come per
temperatura.

**Interpretazioni
contrastanti**

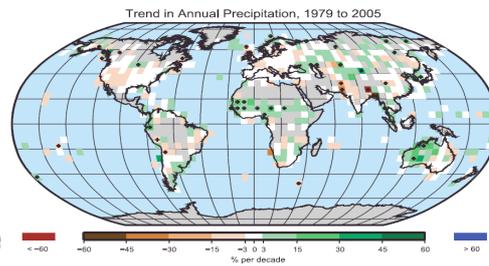
Series	Precipitation Trend (mm per decade)		
	1901-2005	1951-2005	1979-2005
PREC/L		-5.70 ± 3.25^a	-6.38 ± 8.78^a
CRU	1.10 ± 1.50^a	-3.87 ± 3.89^a	-0.90 ± 16.24^a
GHCN	1.08 ± 1.87	-4.56 ± 4.34	4.16 ± 12.44
GPCC VASCLimO		1.82 ± 5.32^b	12.82 ± 21.45^b
GPCC v3		-6.63 ± 5.78^a	-14.64 ± 11.67^a
GPCP			-15.60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



I cambiamenti climatici: precipitazione



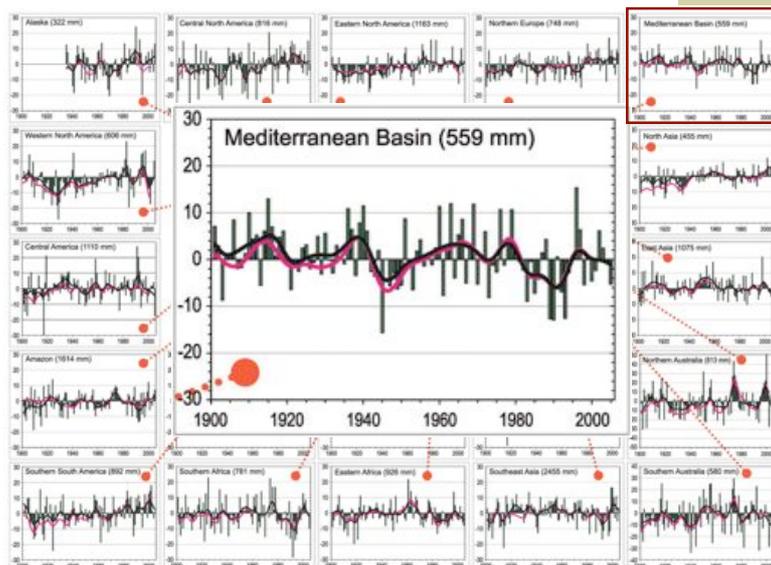
**Trend annuale
1901-2005**



**Trend annuale
1979-2005**



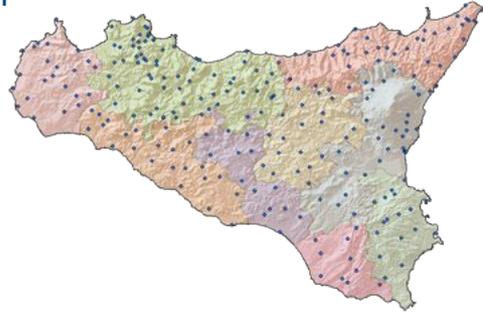
I cambiamenti climatici: precipitazione



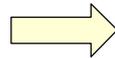
Precipitazioni in Sicilia

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:

α

0,1 ,05

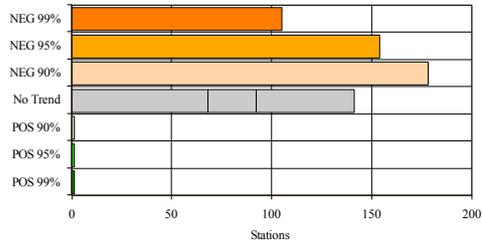
0,01



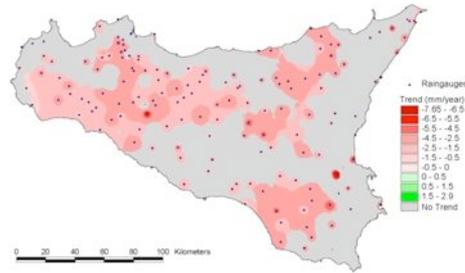
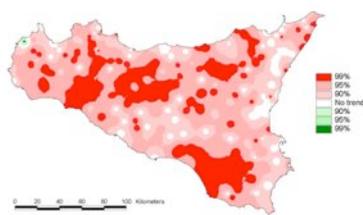
14 / 52

Precipitazioni in Sicilia

ANNUAL RAINFALL



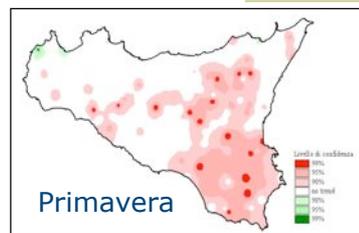
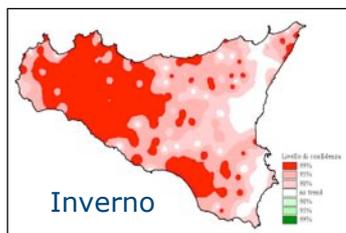
TREND A SCALA ANNUALE



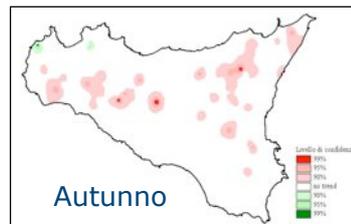
Annual precipitation trend at 95% confidence level



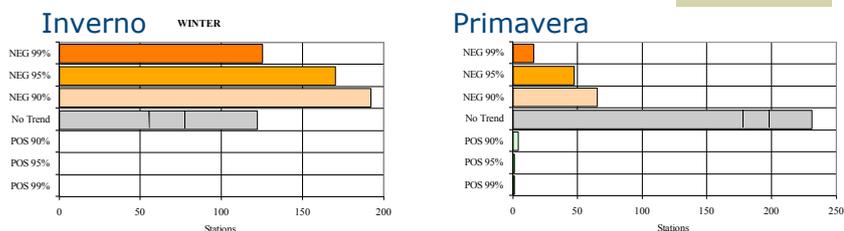
Precipitazioni in Sicilia



Afflussi stagionali



Precipitazioni in Sicilia

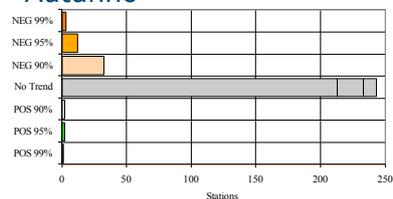


Afflussi stagionali

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.

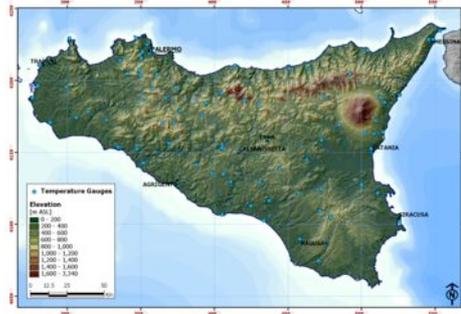


18 / 52

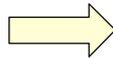
Temperatura in Sicilia

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

Periodo analizzato:
1925-2005



Dataset incompleto

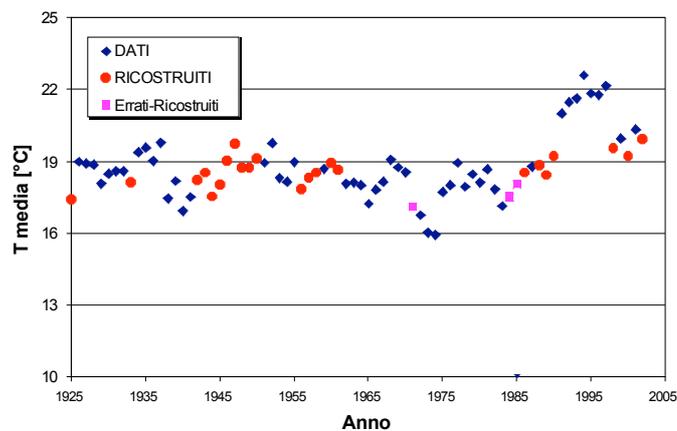


Metodi di interpolazione spaziale (Bono et al., 2005)



19 / 52

Temperatura in Sicilia

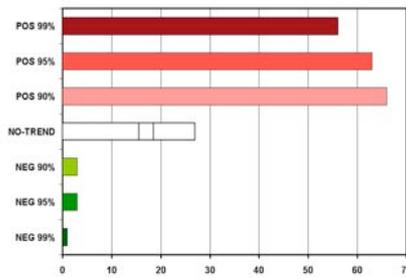


Stazione di Palermo – Piazza Verdi

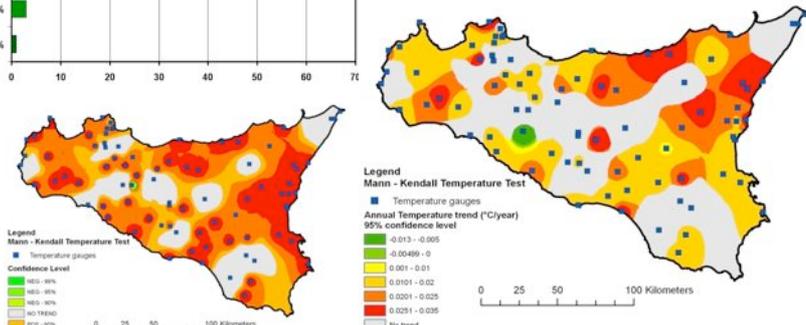


20 / 52

Temperatura in Sicilia



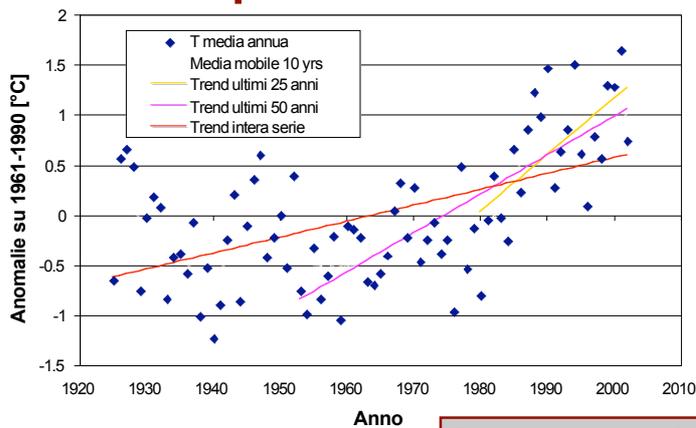
TREND A SCALA ANNUALE



Mean annual temperature trend at 95% confids level

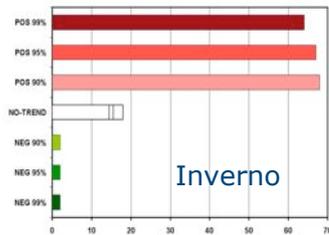
Temperatura in Sicilia

Temperatura media della Sicilia

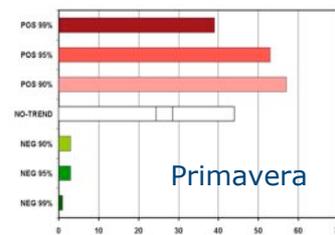


Intera serie	- 0.14 °C/decade
Ultimi 50 anni	- 0.35 °C/decade
Ultimi 25 anni	- 0.52 °C/decade

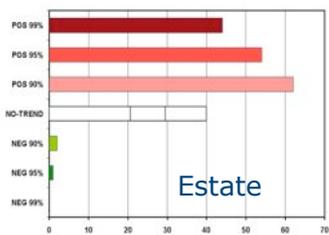
Temperatura in Sicilia



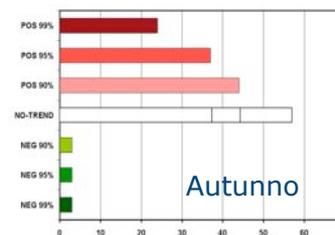
Inverno



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**)

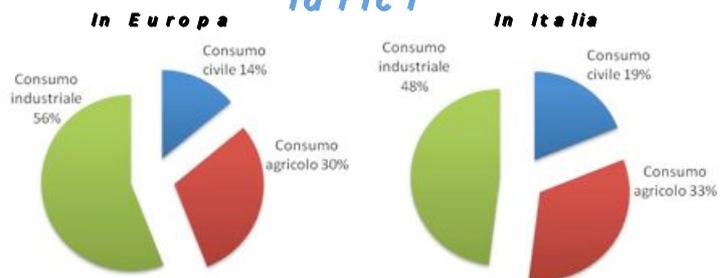
- ☹ Cambiamenti spazio-temporali della disponibilità della risorsa idrica; aumento delle temperature.
- ☺ Uso efficiente delle risorse idriche disponibili; utilizzo di fonti alternative.
- ☹ Aumento nella frequenza e nell'intensità delle tempeste tropicali.
- ☹ Gestione locale dei deflussi meteorici;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

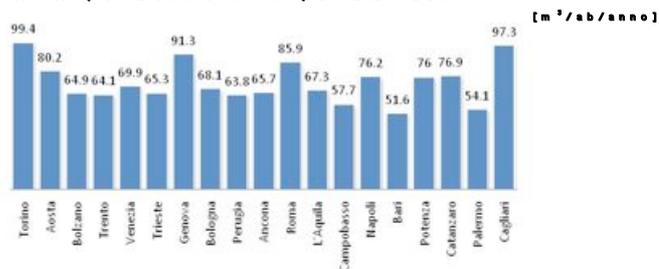
Intervallo usuale: 200-500 L/ab/g

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
RUBINETTI		
Rubinetti 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%
Rubinetti con termostato	Mantengono la temperatura selezionata	Riduzione di circa 50% di acqua ed energia
Rubinetti con sensori infrarossi	L'acqua è disponibile quando un oggetto è sotto	Riduzione tra il 70% e l'80%
Rubinetti elettrici o con dispositivo per flusso a tempo	L'acqua scorre per un tempo limitato	
WC		
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

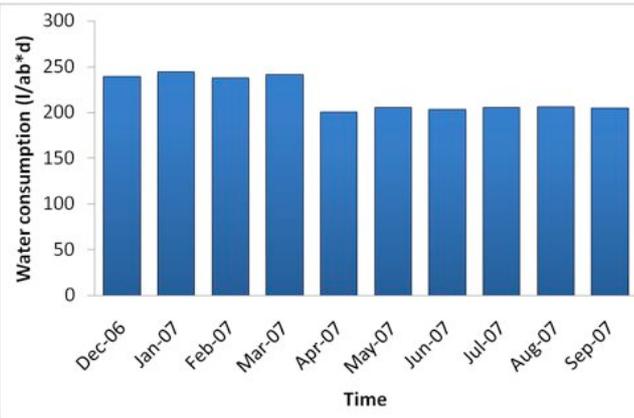
Apparecchiatura	Descrizione	Acqua risparmiabile
DISPOSITIVI PER IL RISPARMIO IDRICO PER VECCHIE APPARECCHIATURE		
Dispositivi per miscelare acqua ed aria per rubinetti	Aumento del volume d'acqua e riduzione del flusso	Riduzione di circa 40%
Dispositivi per interrompere il flusso dei wc		Riduzione di 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)

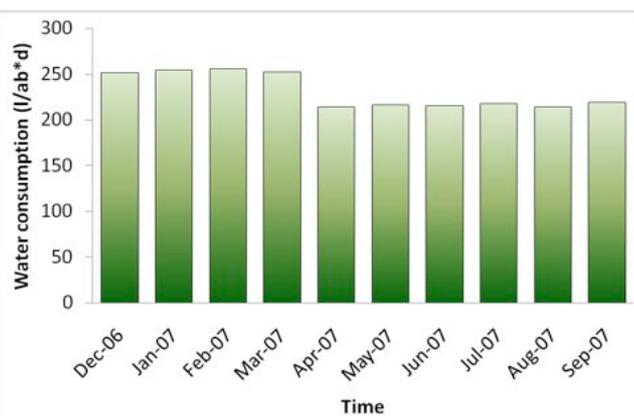


Installazione: **01/04/2007**
Numero di elementi installati: **6 pezzi**
Costo: **16 Euro**
Impatto sui consumi: **- 15%**
Recupero costi (1m³=1,20€): **4 mesi**



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 (1m³=1,20 €): **10,2 anni**
(4,6 anni considerando anche il risparmio energetico)

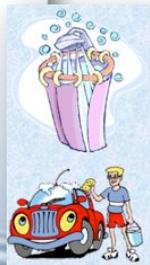


Valutazioni economiche

Riassumendo...

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

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

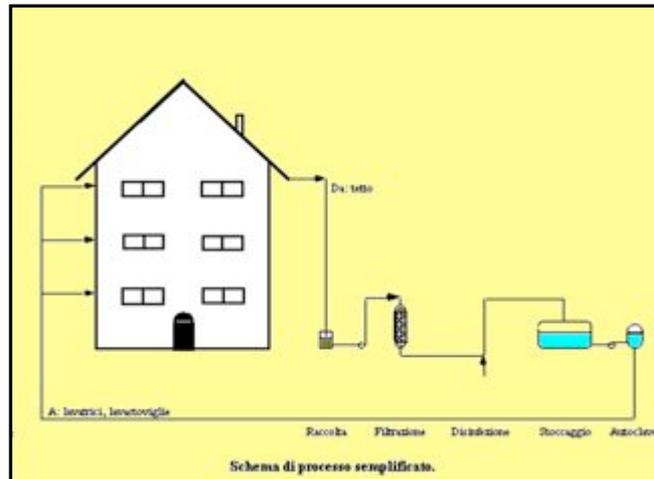




Recupero di risorse idriche alternative

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

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

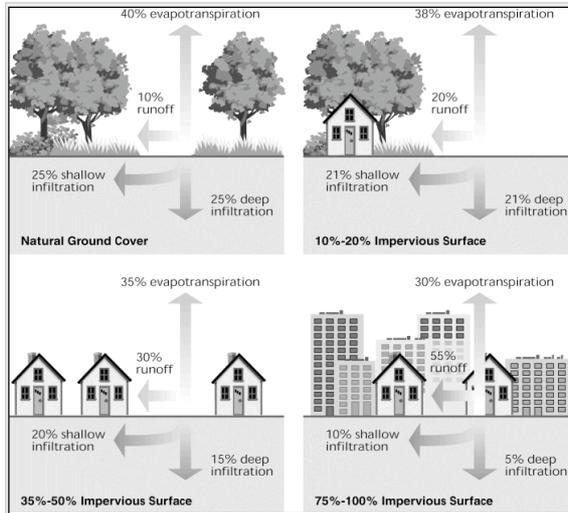


Effetti del **cambiamento climatico** e interventi di mitigazione in ambito urbano (verso la **sostenibilità**)

- ☹ 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

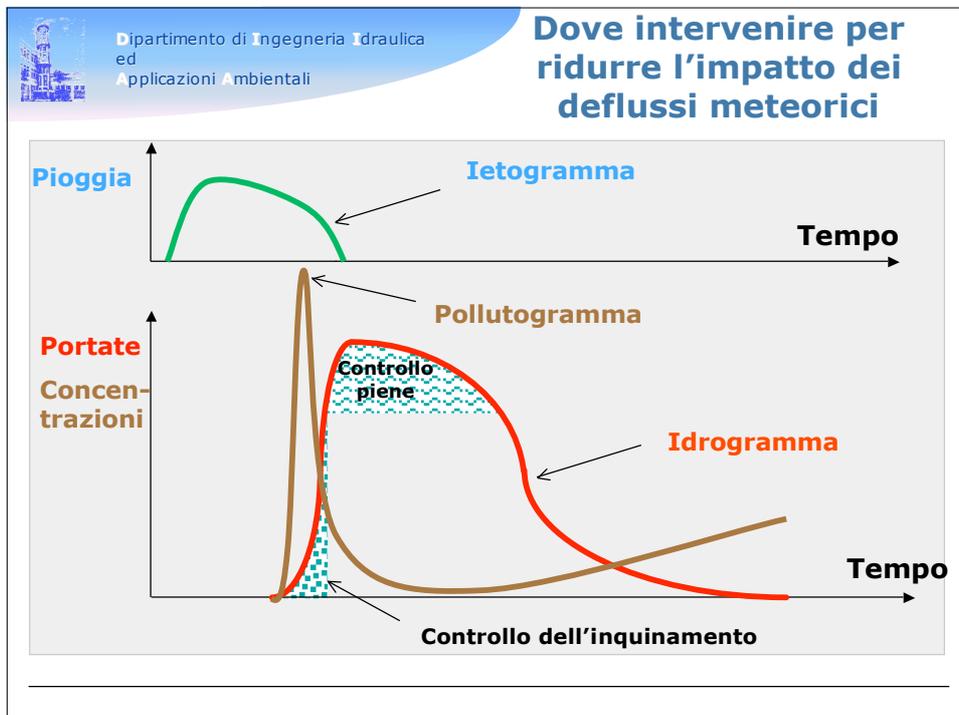


Parco Lambro - Milano

Conseguenze: degrado dell'ambiente fluviale

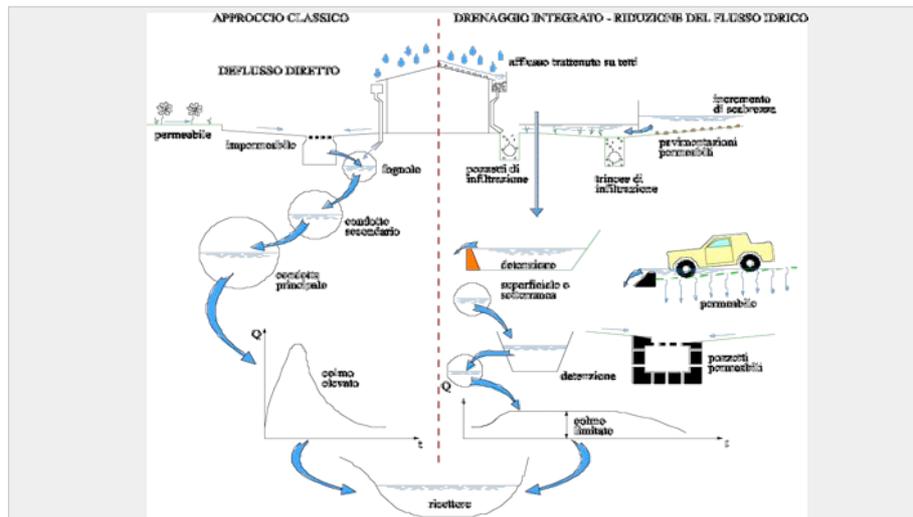


43





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)







- **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



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

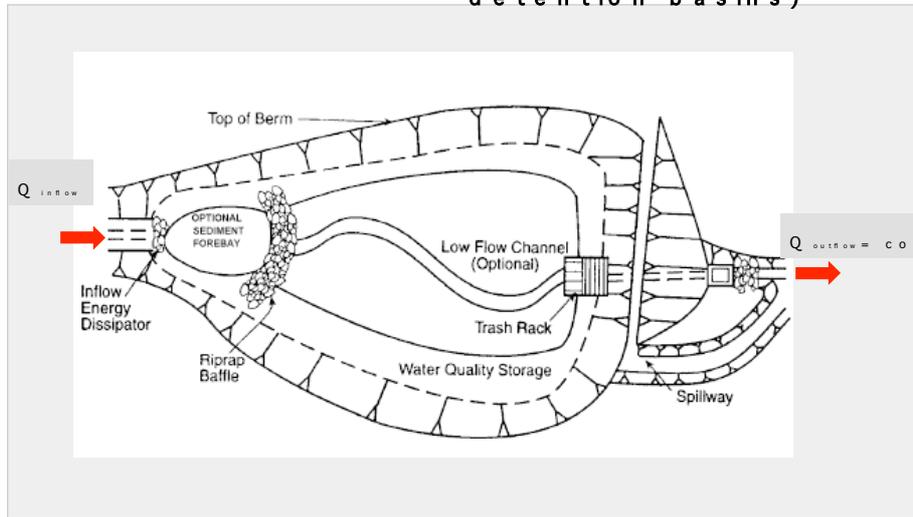


- Rimozione dei contaminanti per sedimentazione.
- Tempo di detenzione > 24 ore, generalmente 40 ore
- Sono usate per drenare superfici > 2 ha



Strutture di detenzione:

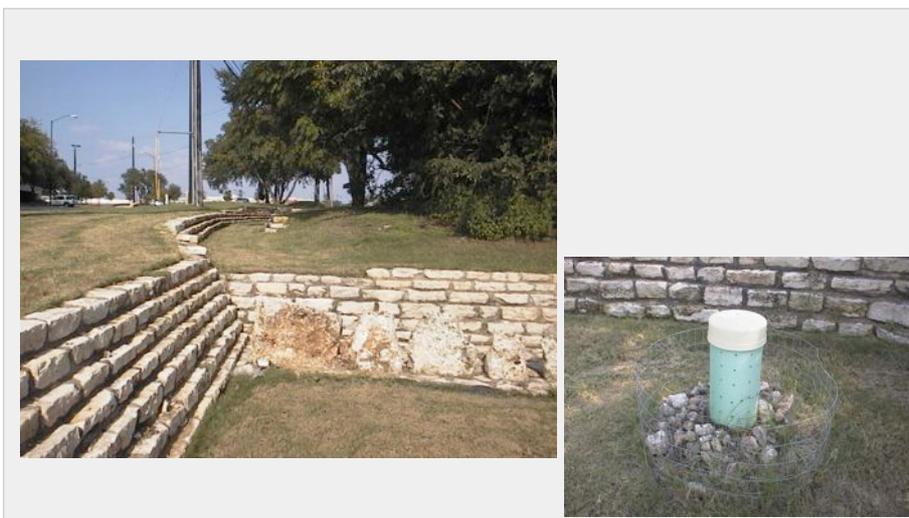
bacini a ritenzione prolungata (Extended detention basins)



57



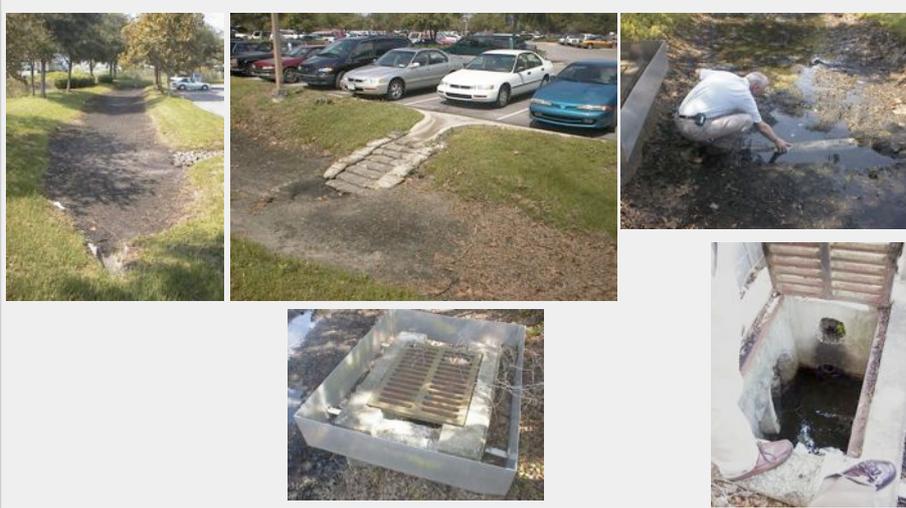
Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata



58



Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata



59



Strutture di detenzione: bacini a ritenzione prolungata



60



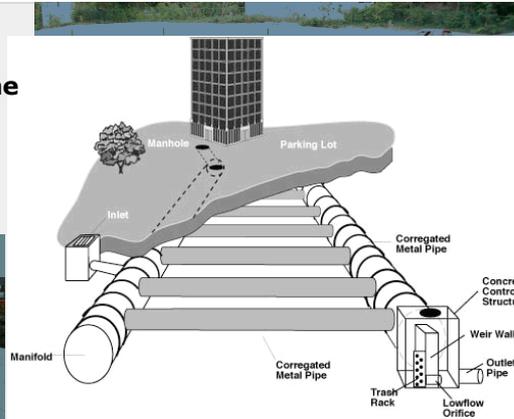
Strutture di detenzione sotterranea

Classificazione:

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

Uso:

- Controllo delle portate

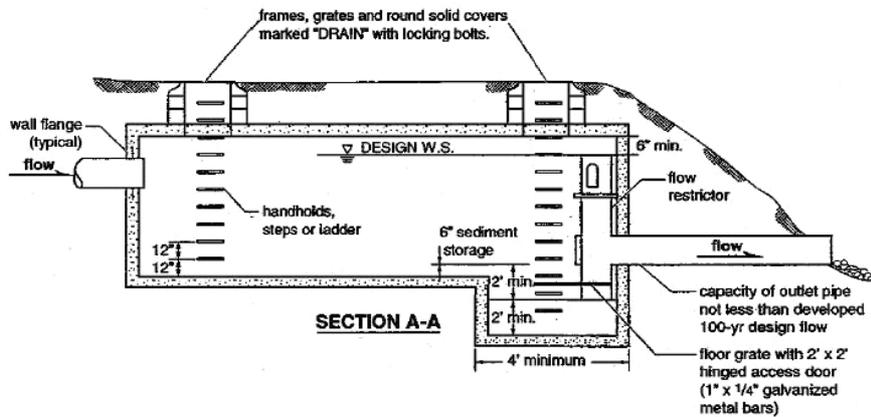


Sono usati per drenare superfici < 25 ha



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

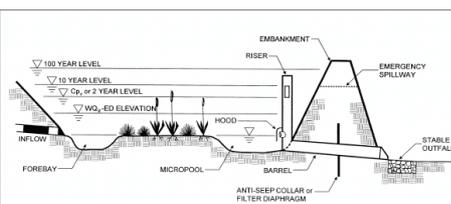
Surface: 1-3% sup. drenata



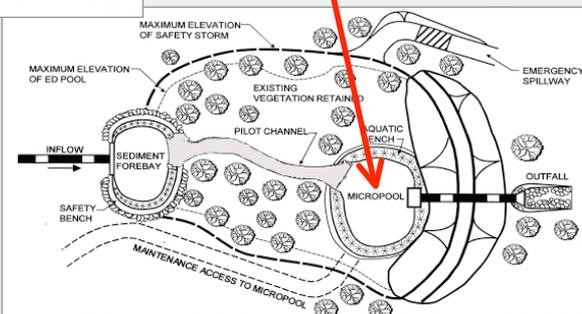
65



Bacini di ritenzione



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



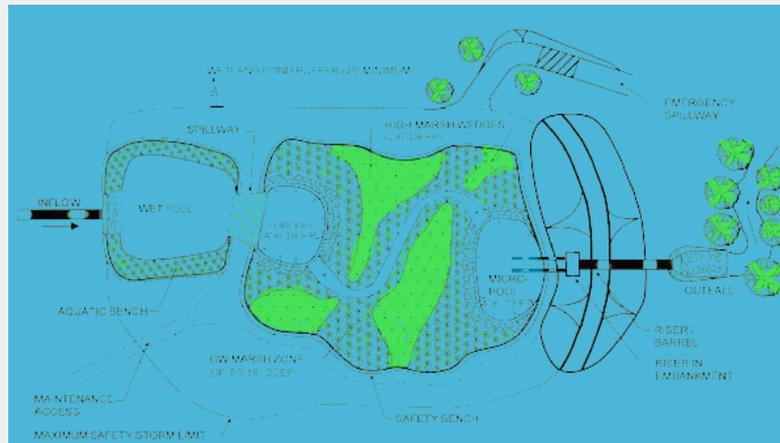
66



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 $Tr = 2$ anni

Miglioramento della qualità delle acque

RITENZIONE:

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

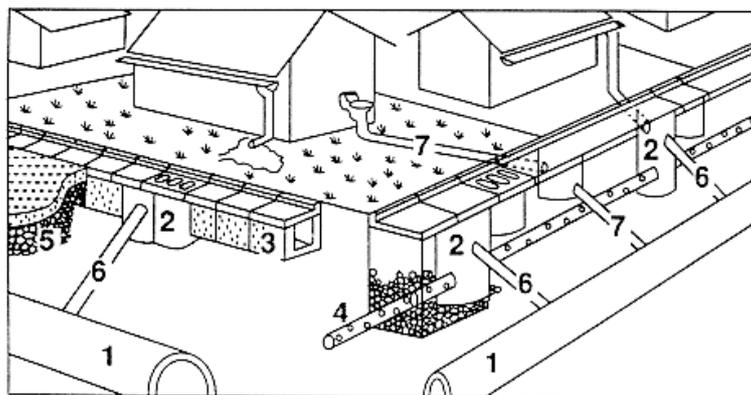
DETEZIONE

(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

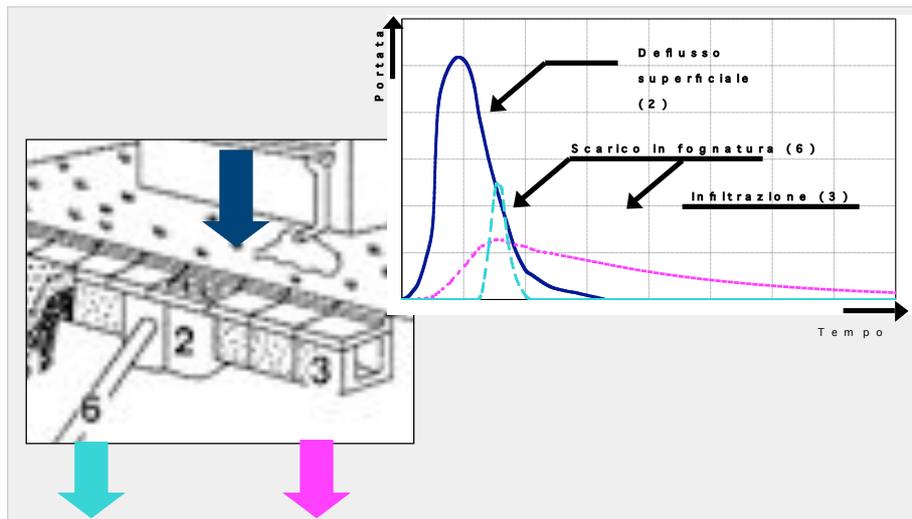
4 Condotta infiltrante

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

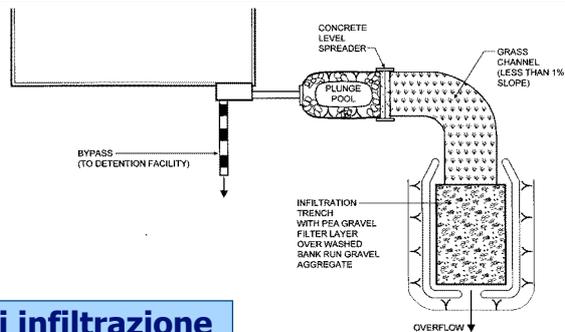
FONTI: EU DAYWATER Project
EPA-ASCE BMP database

Criterio di dimensionamento:

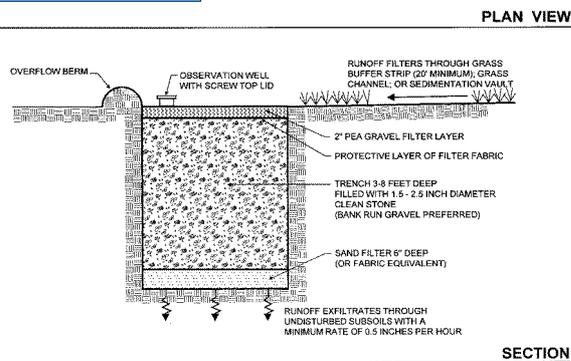
Intercettazione totale dell'evento critico con $T_r = 2$ anni

Efficienza di infiltrazione (Sc) 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 Emsher River, Germany





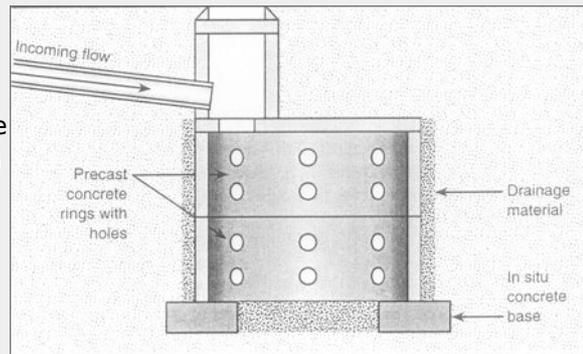
Pozzi drenanti

Classificazione:

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

Use:

- Controllo delle portate
- Controllo della qualità delle acque



79



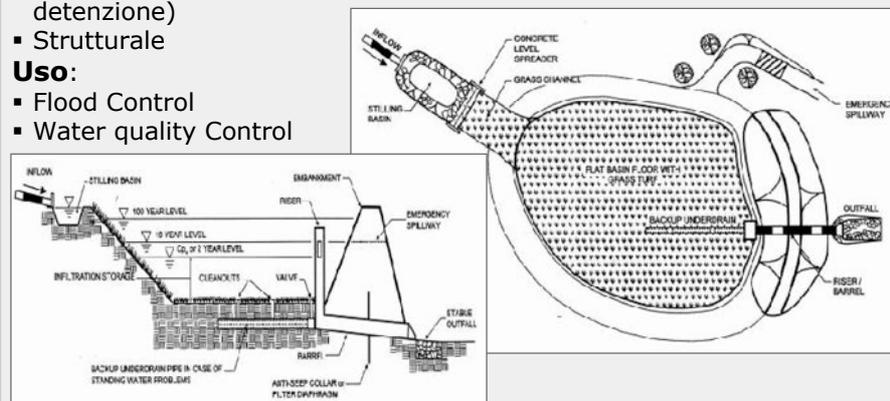
Bacini di infiltrazione

Classificazione:

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

Uso:

- Flood Control
- Water quality Control



80



 Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali

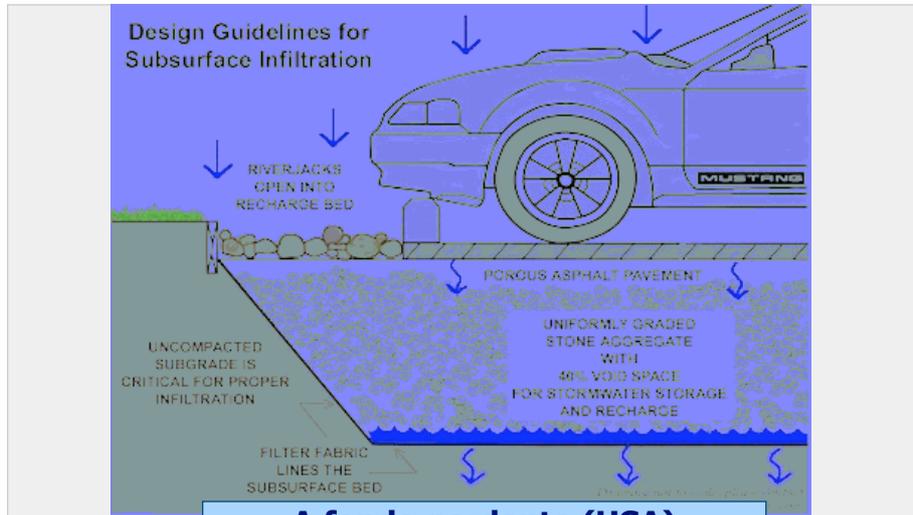
Bacini di infiltrazione



82



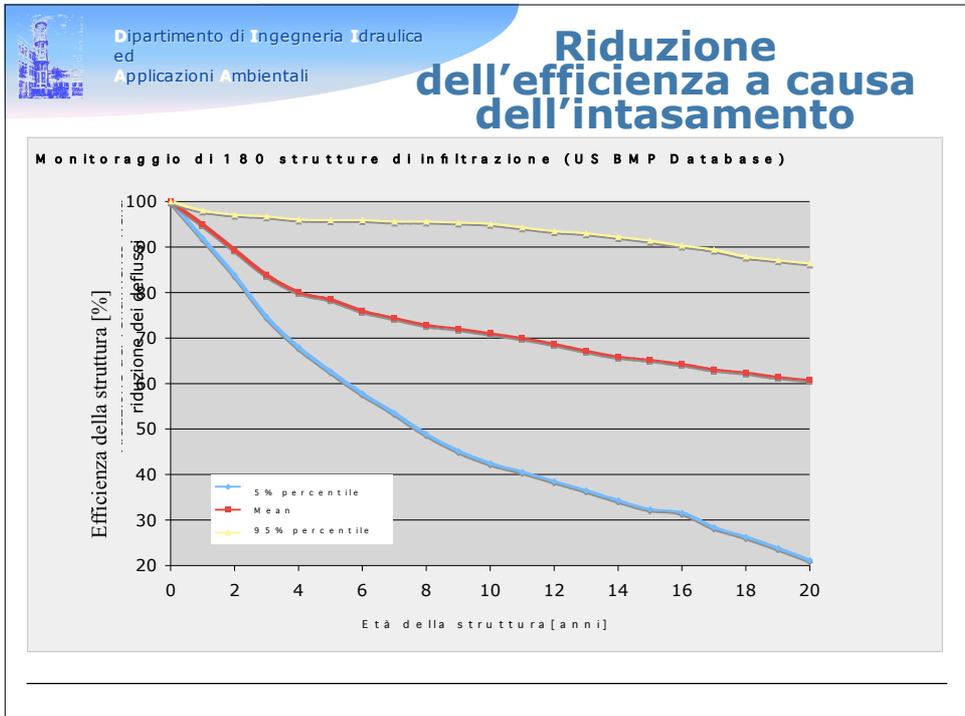
Pavimentazione porosa



A fondo perdente (USA)
A fondo impermeabile (EU)



Pavimentazione porosa





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

88



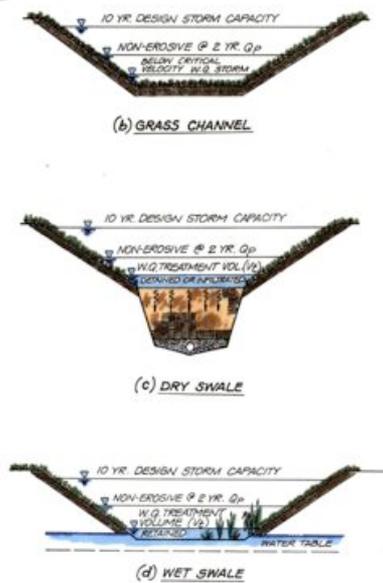
Filtri vegetali



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





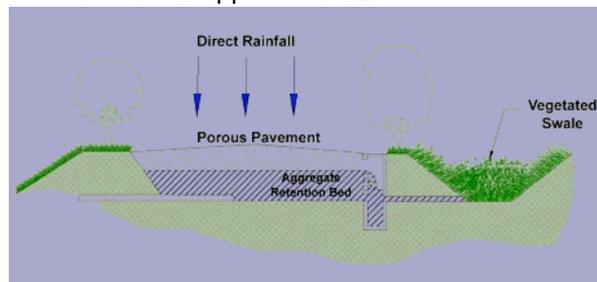
Cunette erbose

- 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



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:

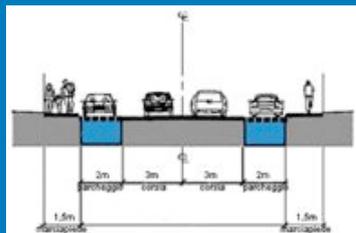
- ✓Solidi sospesi: 60% - 80%
- ✓BOD: 60 - 70%
- ✓Composti azotato: < 40%
- ✓Fosforo: < 10%
- ✓Metalli, idrocarburi: 50 - 60%

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

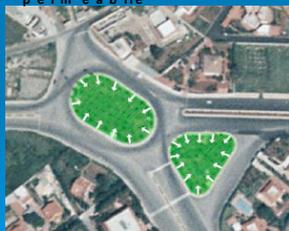
Relazione tra tecniche di mitigazione ed effetti sui deflussi

TECNICHE DI MITIGAZIONE	PRINCIPALE EFFETTO SUI DEFLUSSI
Pozzi e trincee di infiltrazione Pavimentazioni porose Disconnessione delle aree impermeabili	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 met.
Cunette erbose Filtri vegetali	Riduzione dell'impatto inquinante dei deflussi met. Aumento del tempo di corrivazione del bacino

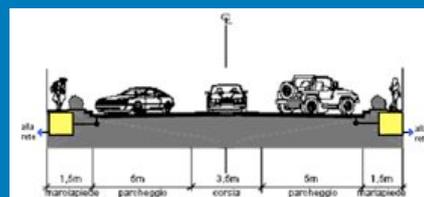
Schemi di impianto in contesti fortemente urbanizzati



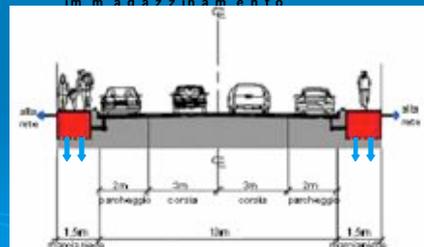
Pavimentazione permeabile



Modifica dell'assetto altimetrico dell'isola



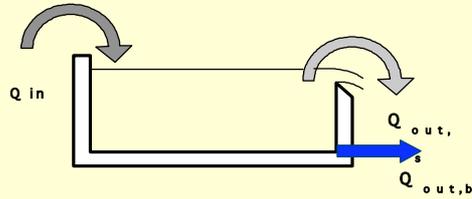
Interventi di immagazzinamento



Trincea d'infiltrazione

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



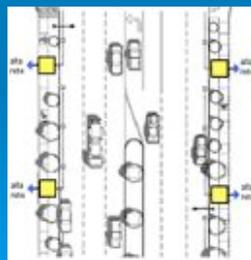
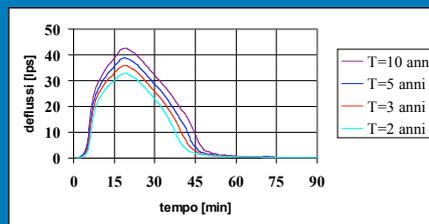
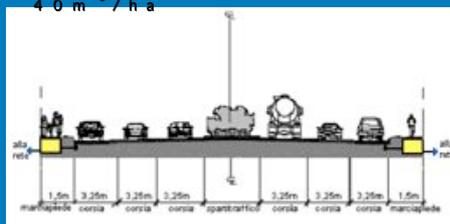
$$\frac{dW}{dt} = Q_{in} - Q_{out,s} - Q_{out,b}$$

Equazione di continuità

Inserimento di interventi di immagazzinamento

Volume delle vasche:

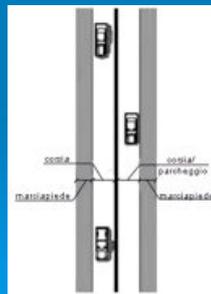
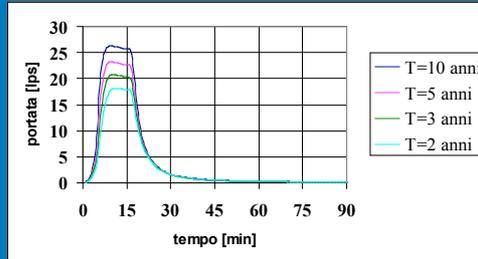
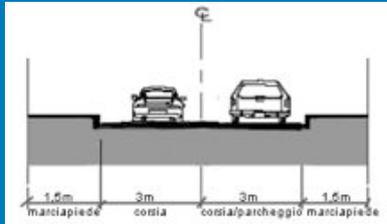
40 m³ / h a



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)



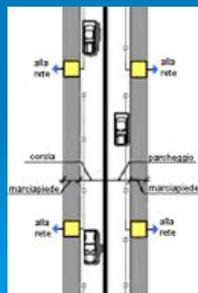
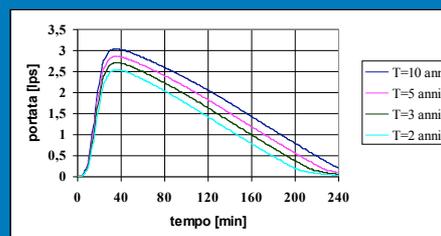
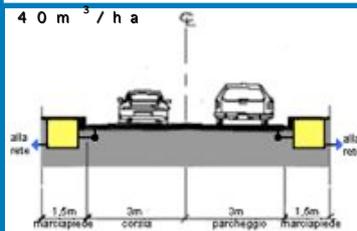
Deflussi generati da 1 m di strada [9

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

Inserimento di interventi di immagazzinamento

VOLUME delle vasche:

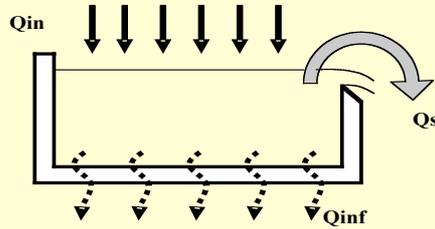
$40 \text{ m}^3 / \text{ha}$



Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	18	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
 μ : coefficiente d'efflusso

Modello di infiltrazione:

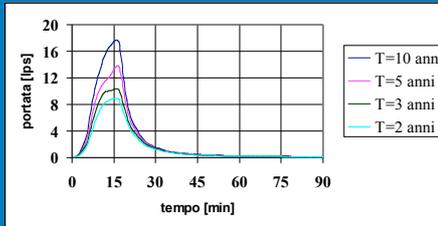
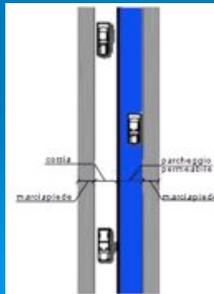
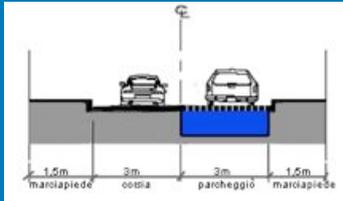
$$Q_{inf}^{max} = K_s \left(1 - \frac{\psi (\theta_s - \theta_0)}{F} \right) A_{eff}$$

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

Inserimento di pavimentazioni permeabili

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

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

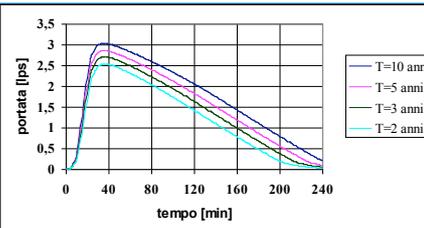
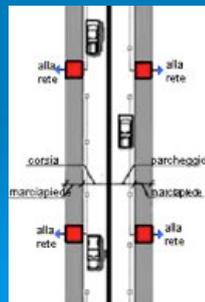
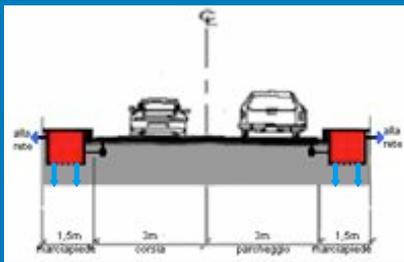


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflussi [l/s] dopo	8,82	10,24	13,64	17,66

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 m di strada)

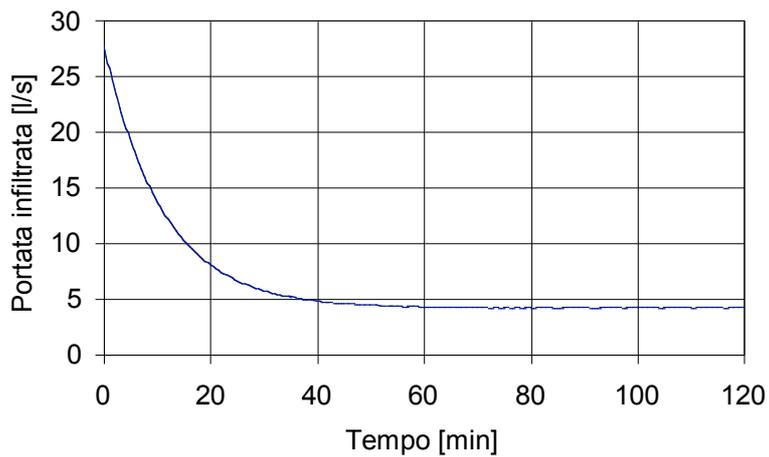


Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	18	20,6	23,12	26,15
Deflussi [l/s] dopo	2,5	2,6	2,83	3,006

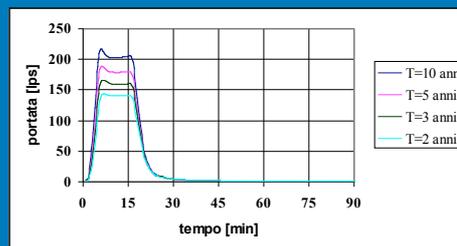
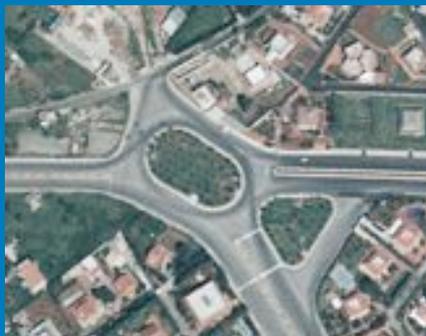
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Percentuale di riduzione dei deflussi	86,1%	87%	87,8%	88,6%

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 m²

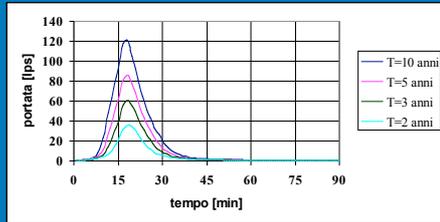
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s]	142,9	164,98	185,85	216,58

Modifica dell'assetto altimetrico dell'isola centrale

35% della superficie

ribassata

Si aumenta il fenomeno della ritenzione superficiale



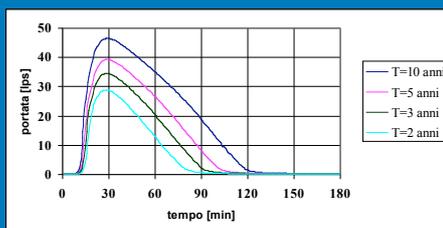
Tempo di ritorno [anni]	2	3	5	10
Deflussi [l/s] prima	142,9	164,98	185,85	216,58
Deflussi [l/s] dopo	35,59	60,01	85,56	120,95

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 m³/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)

