

Seminario aggiornamento
Ancona, 22 novembre 2018

Con il Patrocinio



Comune di Fano

Compatibilità
e invarianza idraulica

Aspetti idraulici per la verifica di compatibilità idraulica

Dott. Ing. Luciano Soldini



Con la collaborazione incondizionata di:



Italcementi
HEIDELBERGCEMENT Group



www.italcementi.it



Calcestruzzi
HEIDELBERGCEMENT Group



www.calcestruzzi.it



Cambiamenti climatici



Urbanizzazione

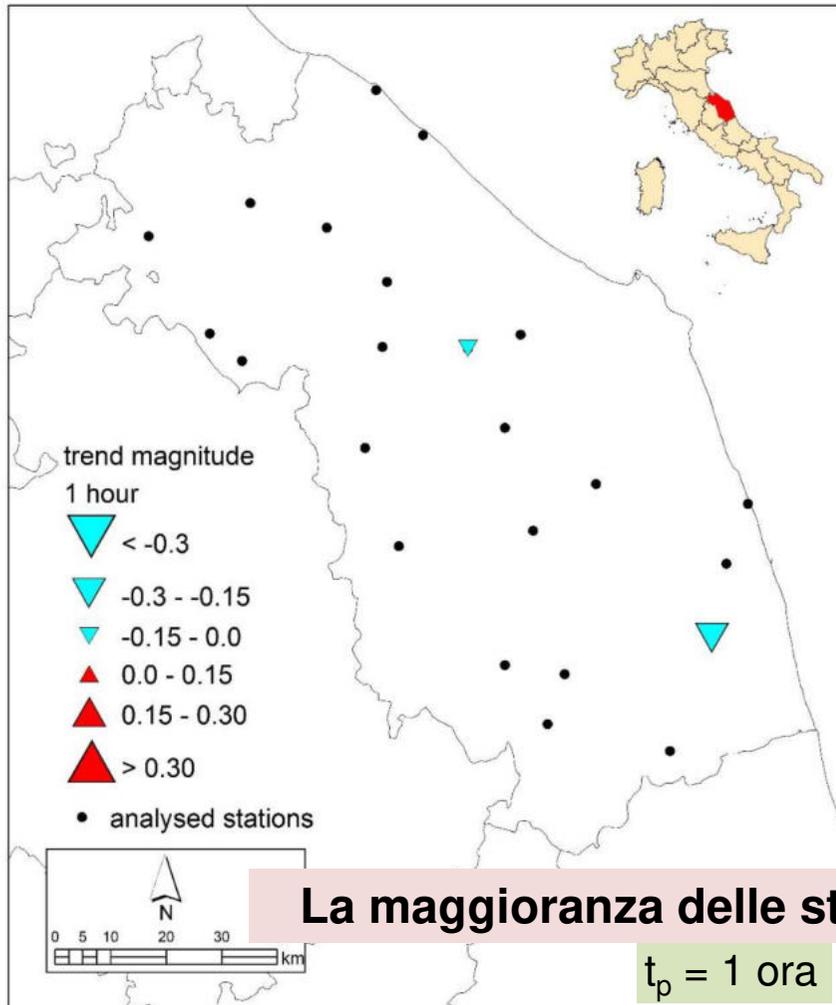


Carenze strutturali

CAMBIAMENTI CLIMATICI

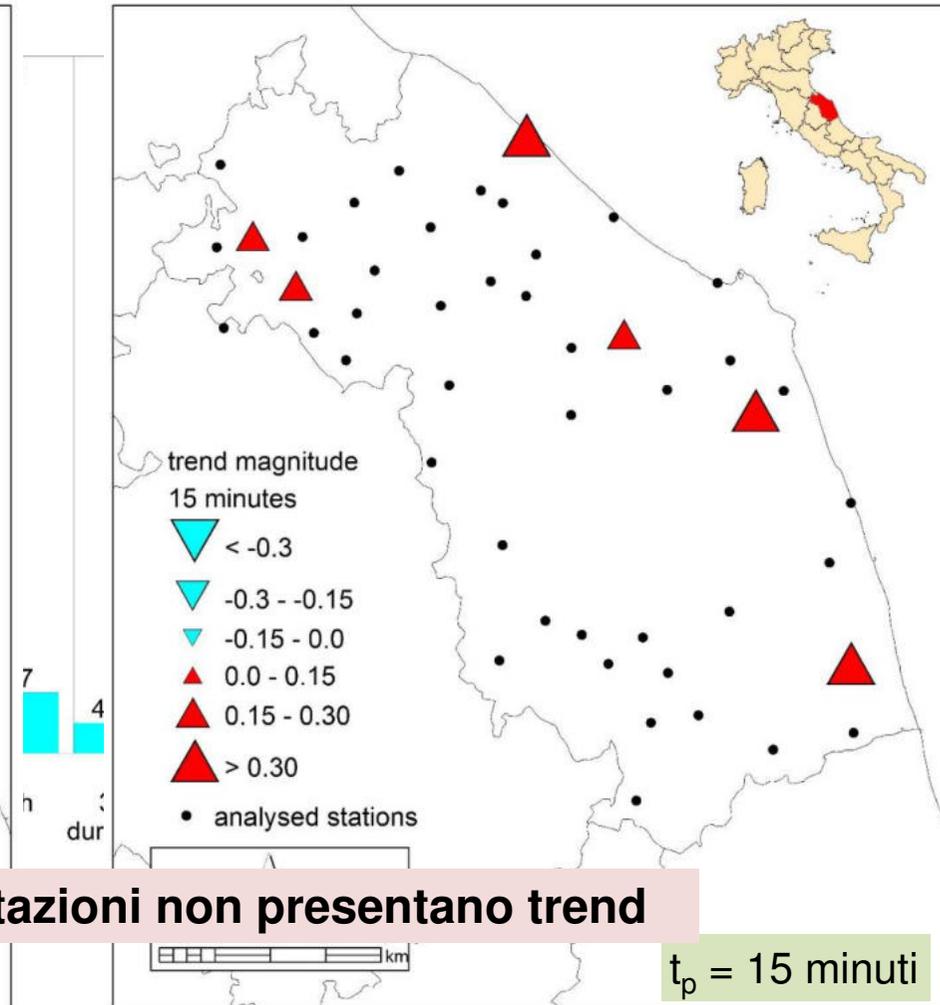
Piogge di massima intensità (orarie)

- Stazioni analizzate: 23
- Periodo di funzionamento: 1951-2013
- Numero medio anni funzionamento: 59,8



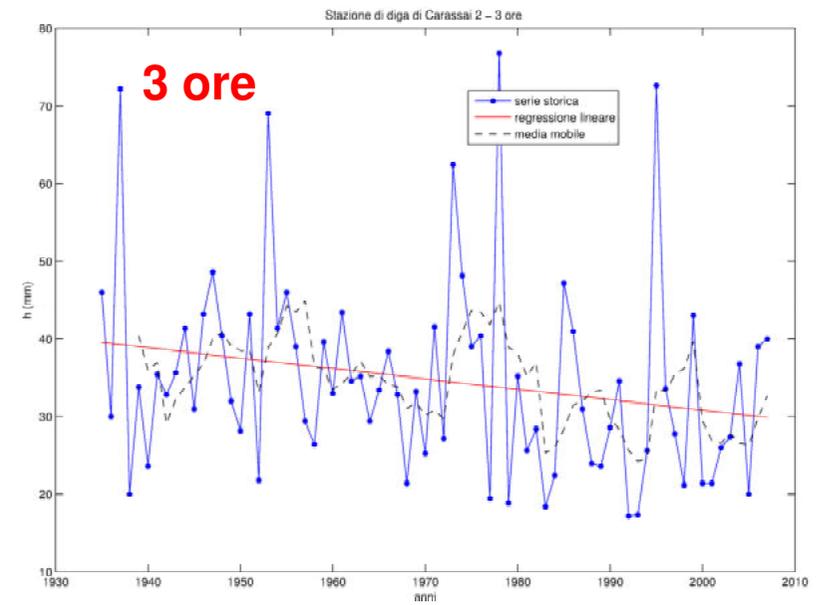
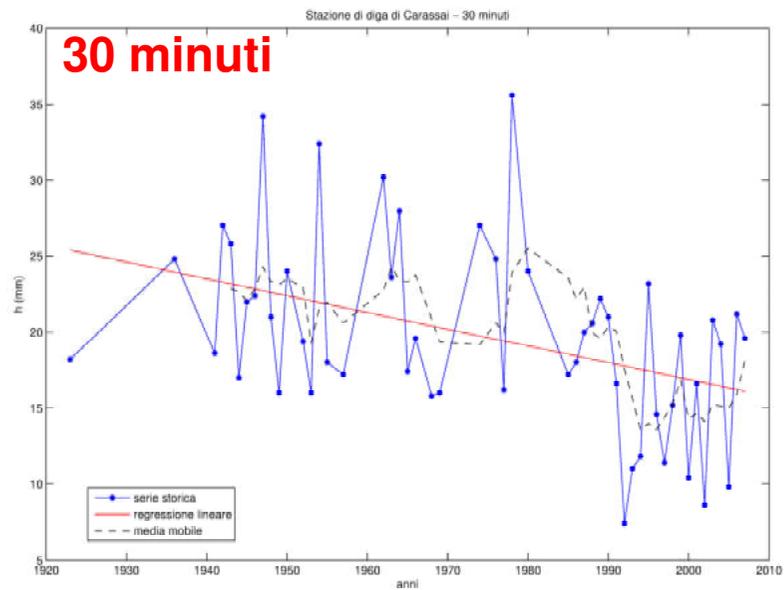
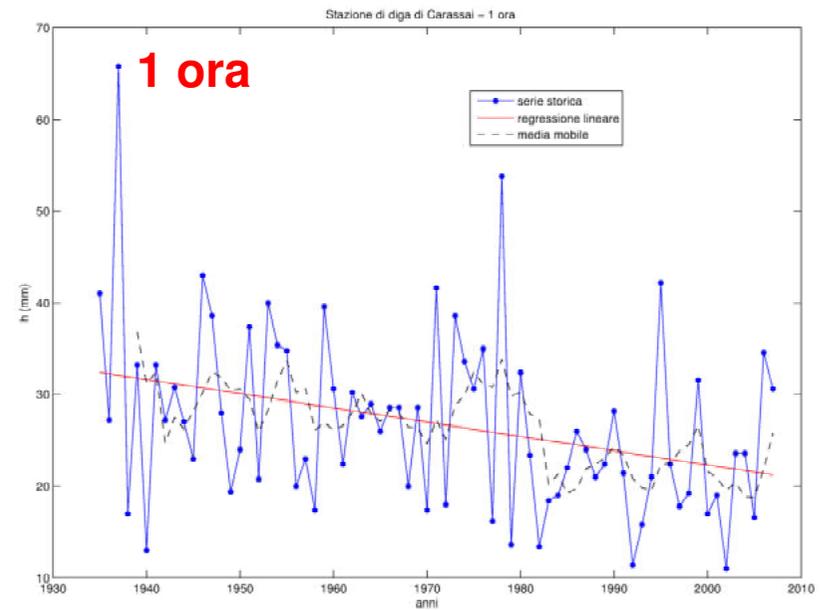
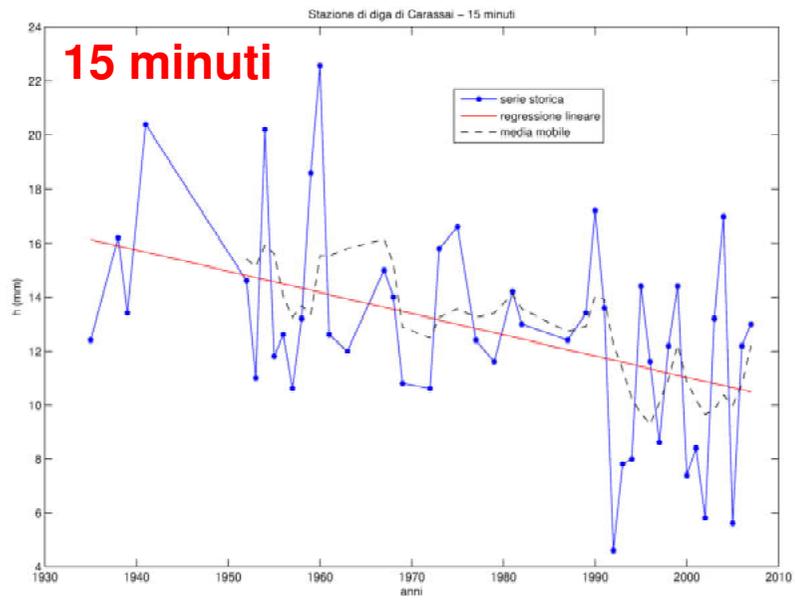
Piogge di notevole intensità e breve durata

- Stazioni analizzate: 48
- Periodo di funzionamento: 1990-2013
- Numero medio anni funzionamento: 22,7



La maggioranza delle stazioni non presentano trend

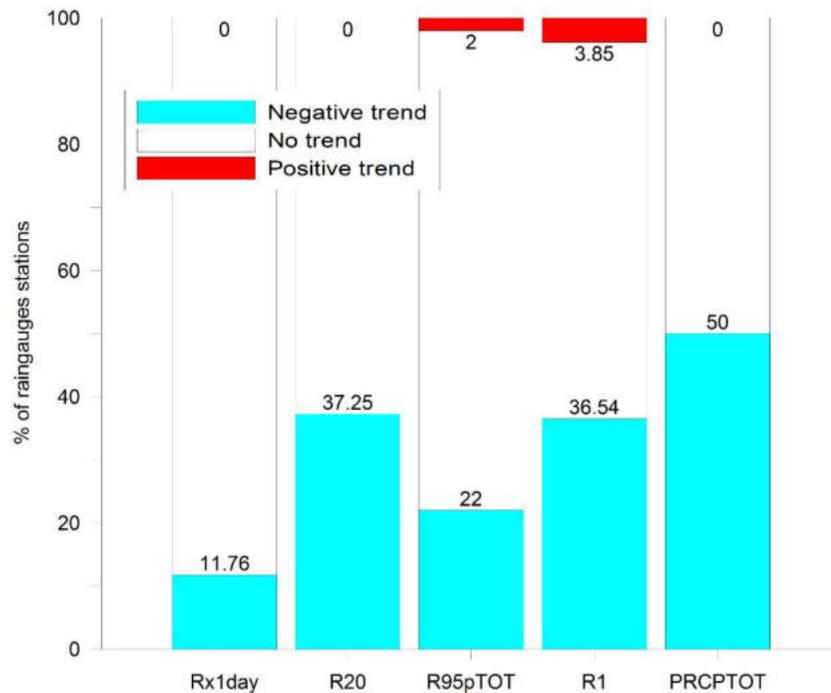
CAMBIAMENTI CLIMATICI



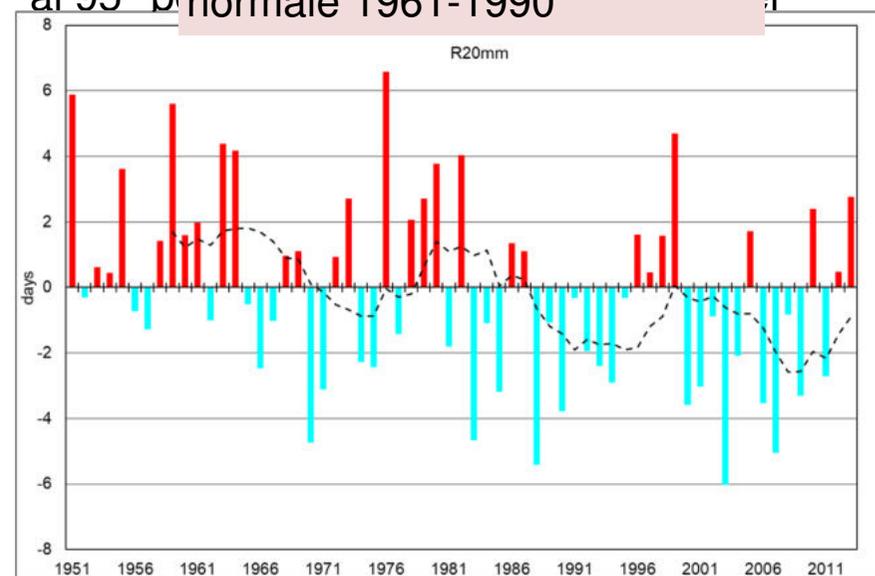
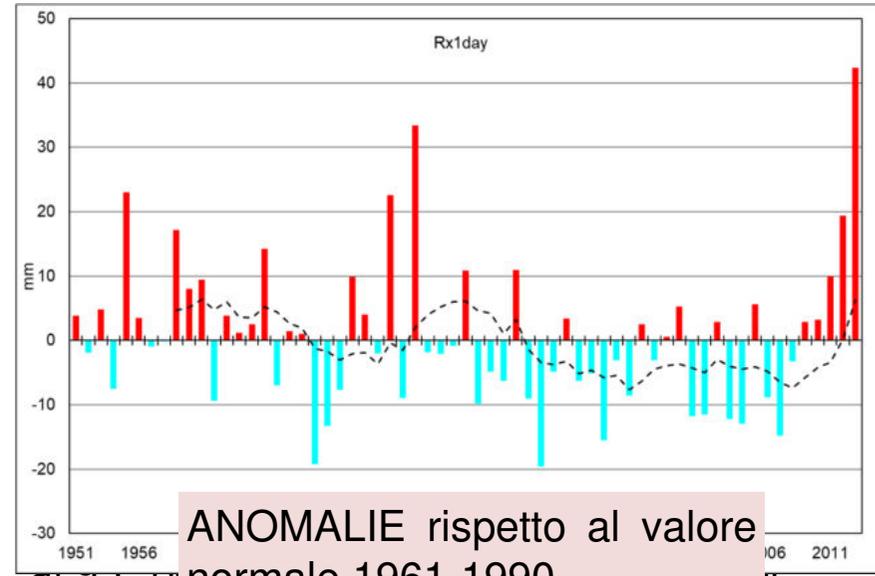
CAMBIAMENTI CLIMATICI

Indici ETCCDI sulle piogge giornaliere (Expert Team on Climate Change Detection and Indices)

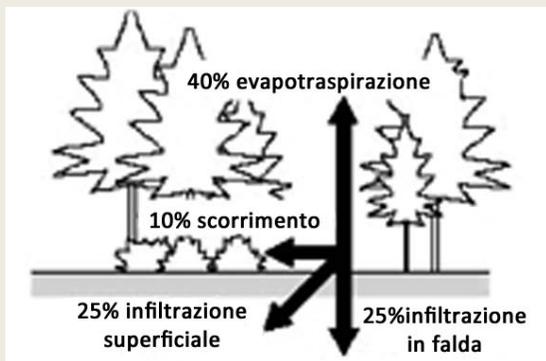
- Stazioni analizzate: 51
- Periodo di funzionamento: 1951-2013
- Numero medio anni funzionamento: 59,6



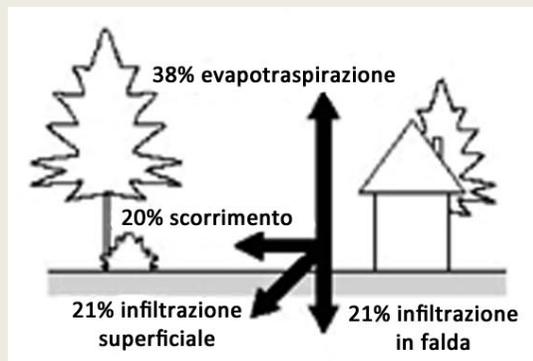
La maggioranza delle stazioni non presentano trend o hanno un trend decrescente



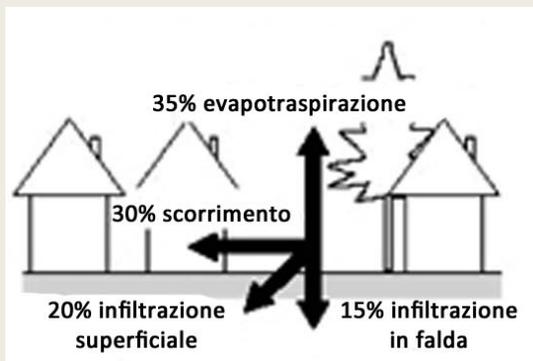
IMPATTO DELL'URBANIZZAZIONE SULL'IDROLOGIA DEI BACINI



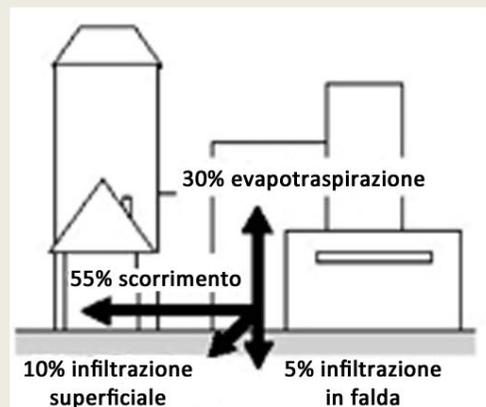
terreno vegetato



10-20% urbanizzazione



30-50% urbanizzazione

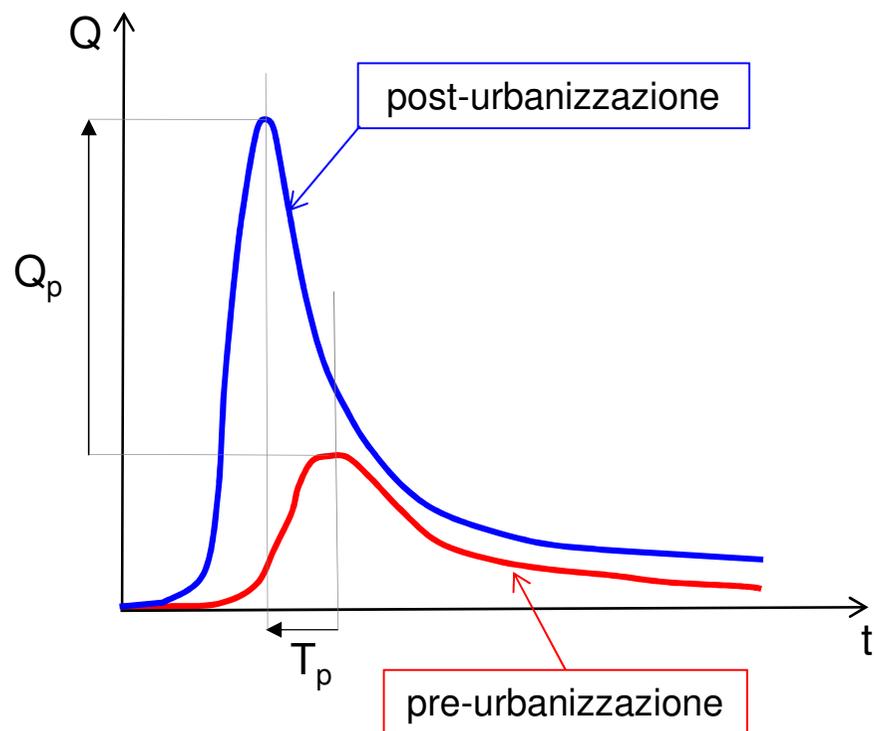


50-75% urbanizzazione

Conseguenze:

- Maggiori deflussi
10% → 55%
- Minore infiltrazione
50% → 15%
- Minore evapotraspirazione
40% → 30%

IMPATTO DELL'URBANIZZAZIONE SULL'IDROLOGIA DEI BACINI



Un bacino naturale ha piene con un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando viene artificializzato e/o canalizzato si ha:

- aumento dei picchi di piena Q_p
- diminuzione del tempo di picco T_p
- aumento dei volumi di deflusso V
- inquinamento acque meteoriche

IMPATTO DELL'URBANIZZAZIONE SULL'IDROLOGIA DEI BACINI

EFFETTI DELL'URBANIZZAZIONE:

- aumento dell'impermeabilizzazione;
- riduzione ricarica degli acquiferi sotterranei;
- diminuzione dei tempi di corrivazione;
- aumento della portata e del volume di piena;
- aumento della gravità e della frequenza degli allagamenti;
- inquinamento acque meteoriche;
- aumento dell'erosione e del trasporto solido;



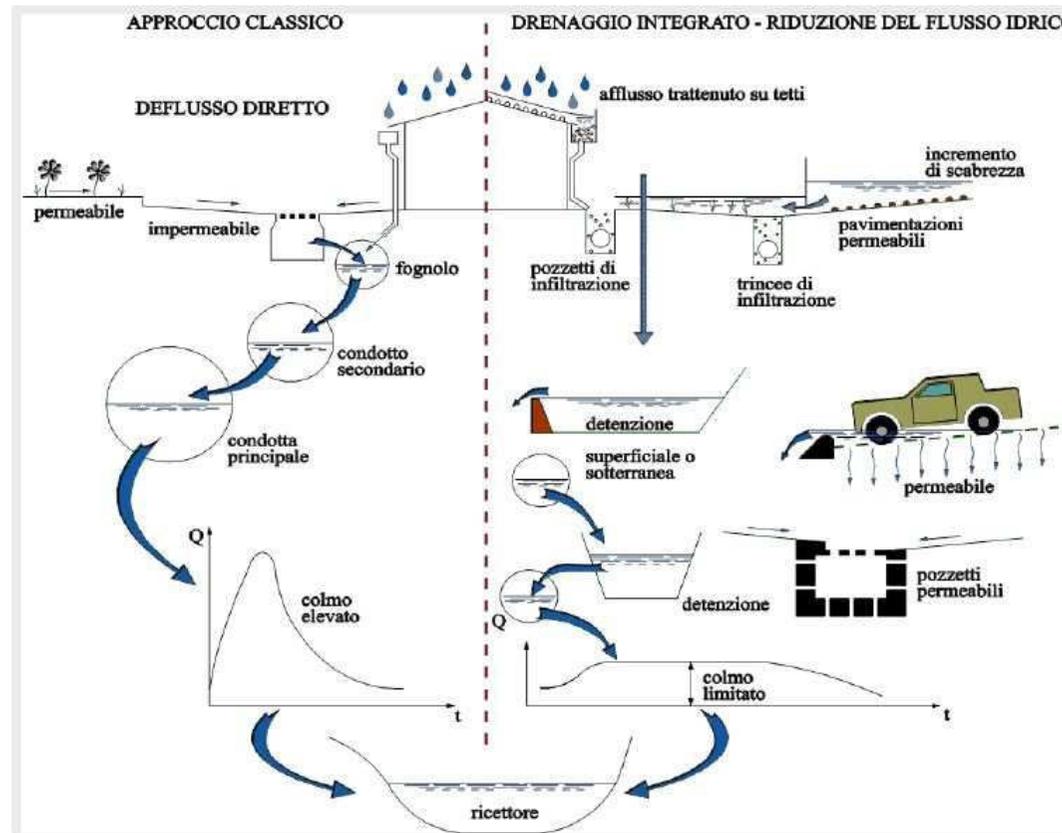
**INADEGUATEZZA
DEI SISTEMI DI
RACCOLTA DELLE
ACQUE URBANE
TRADIZIONALI**



RIPENSARE LA STRUTTURA DEI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO

D
R
E
N
A
G
G
I
O

C
L
A
S
S
I
C
O



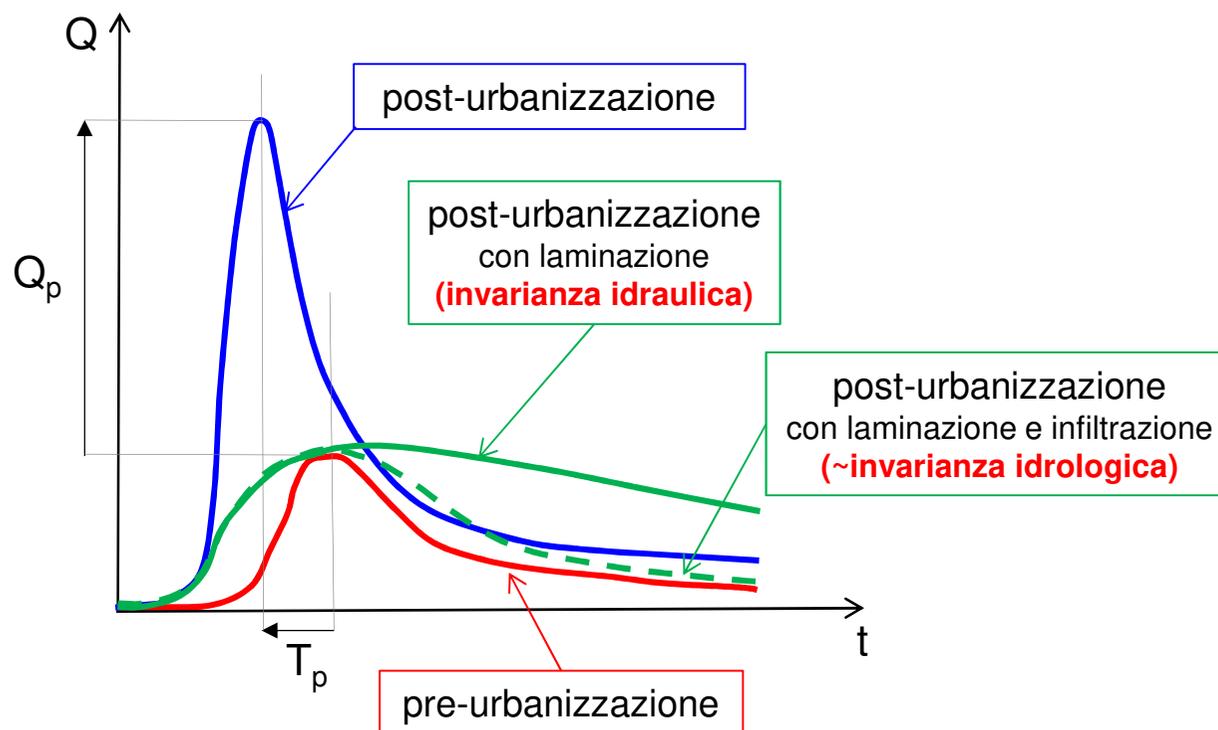
S
O
S
T
E
N
I
B
I
L
E

D
R
E
N
A
G
G
I
O

U
R
B
A
N
O

- 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)
- Previene la generazione dei deflussi superficiali
- Considera i deflussi meteorici come una risorsa da gestire e possibilmente utilizzare
- E' finalizzato a minimizzare l'impatto dei deflussi meteorici sull'intero bacino

IL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA



L'obiettivo diventa quello di ottenere portate e volumi di deflusso minori o non maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione:

- **invarianza idraulica** intesa come invarianza della portata di picco
- **invarianza idrologica** intesa come invarianza della portata di picco e del volume di piena
- **controllo della qualità** delle acque riducendone il contenuto inquinante

ASPETTI IDRAULICI

Protezione idraulica del
territorio urbano
(Dir. UE 2007/60)



LA PIANIFICAZIONE E GESTIONE INTEGRATA DELLE ACQUE METEORICHE URBANE

ASPETTI URBANISTICI

L.R. 22/2011

ASPETTI AMBIENTALI

Qualità ambientale “buona”
(Dir. UE 2000/60,
D. L.vo 152/2006)

BMPs - CLASSIFICAZIONE

Best Management Practice (BMP): a device, practice, or method for removing, reducing, retarding, or preventing targeted stormwater runoff constituents, pollutants, and contaminants from reaching receiving waters. (Some entities use the terms "Stormwater Control Measure," "Stormwater Control," or "Management Practice.")

- **Interventi Strutturali:**
comportano la costruzione di strutture per il controllo dei deflussi
- **Interventi NON Strutturali:**
includono procedure, attività e regolamenti

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 1983. *Results of the Nationwide Urban Runoff Program, Volume 1 – Final Report.* U.S. Environmental Protection Agency, Water Planning Division, Washington D.C.

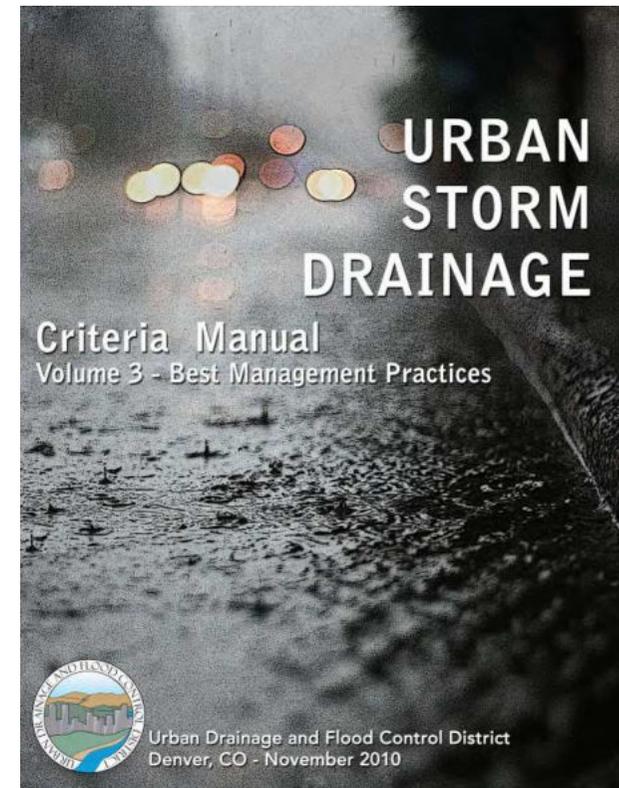
United States
Environmental Protection
Agency

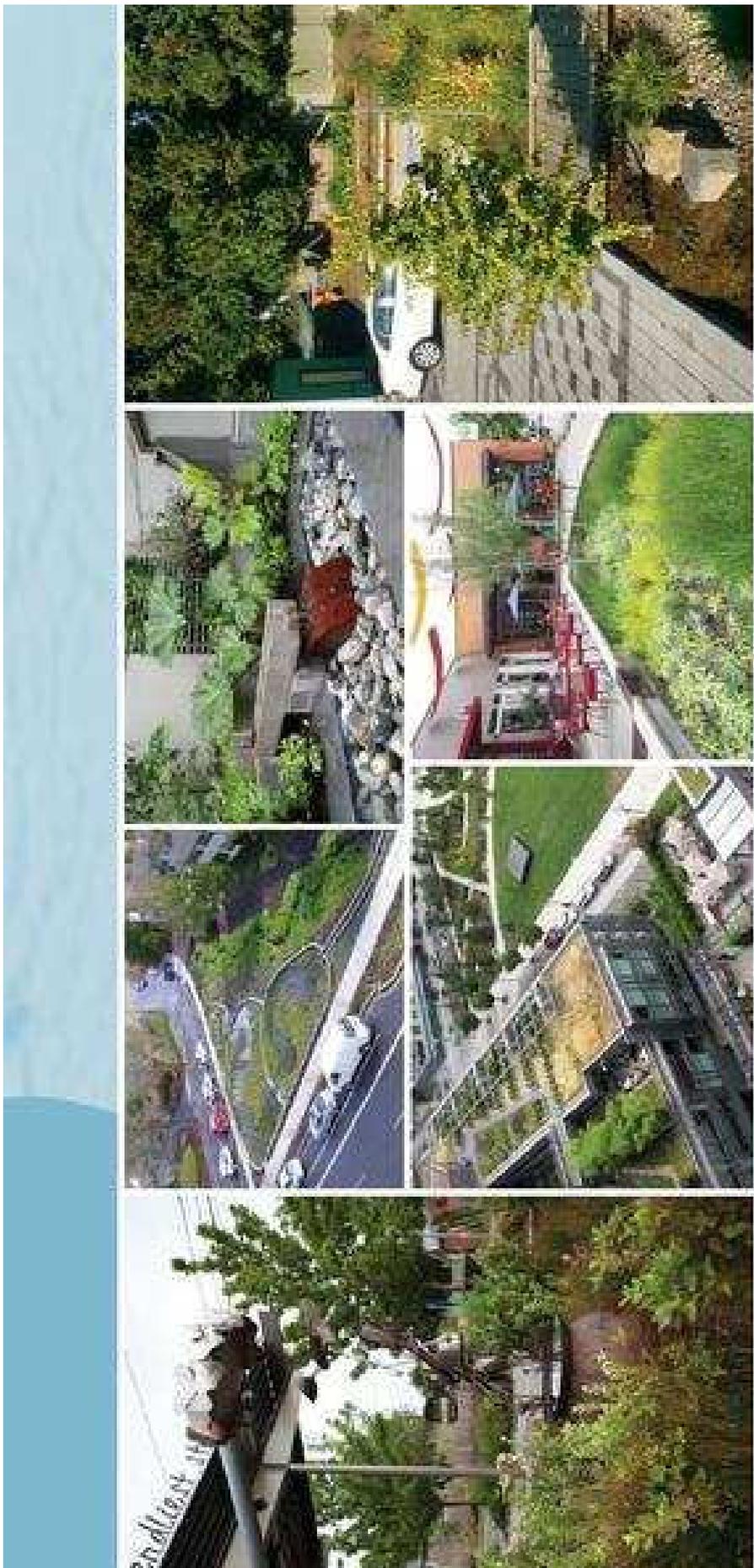
Office of Research
and Development
Washington DC 20460

EPA/600/R-04/121
September 2004

Stormwater Best Management Practice Design Guide:

Volume 1
General Considerations





CITY OF PORTLAND 2014 Stormwater Management Manual

BMPs – INTERVENTI STRUTTURALI

STRUTTURE DI INVASO

- Bacini di detenzione superficiale
- Vasche interrate di detenzione
- Bacini di ritenzione

SISTEMI VEGETATI

- Wetlands
- Cunette vegetate
- Filter strips
- Tetti verdi

SISTEMI DI FILTRAZIONE

- Filtri superficiali di sabbia
- Filtri organici (prefabbricati)

STRUTTURE DI INFILTRAZIONE

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

BMPs - CLASSIFICAZIONE

- **Interventi distribuiti o controlli alla fonte:**

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

- **Interventi concentrati:**

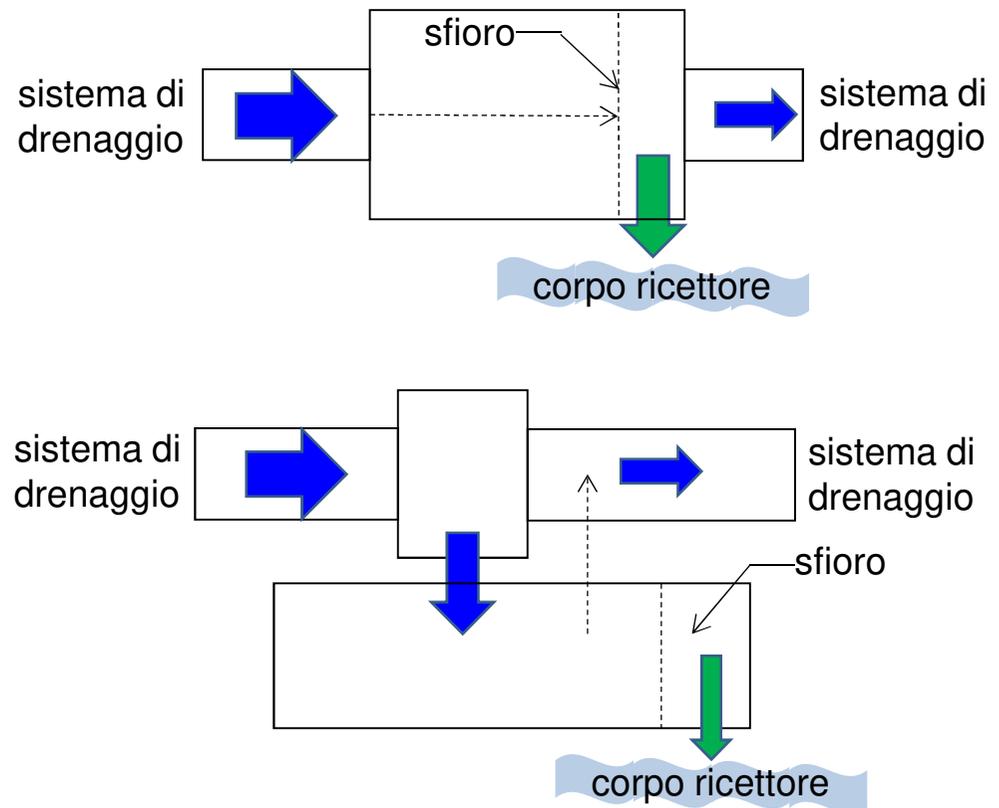
i deflussi vengono gestiti all'interno del sistema drenante (anche a notevole distanza dal loro punto d'origine) riducendo così il numero delle strutture di controllo disposte nel bacino

- **In-line Measure:**

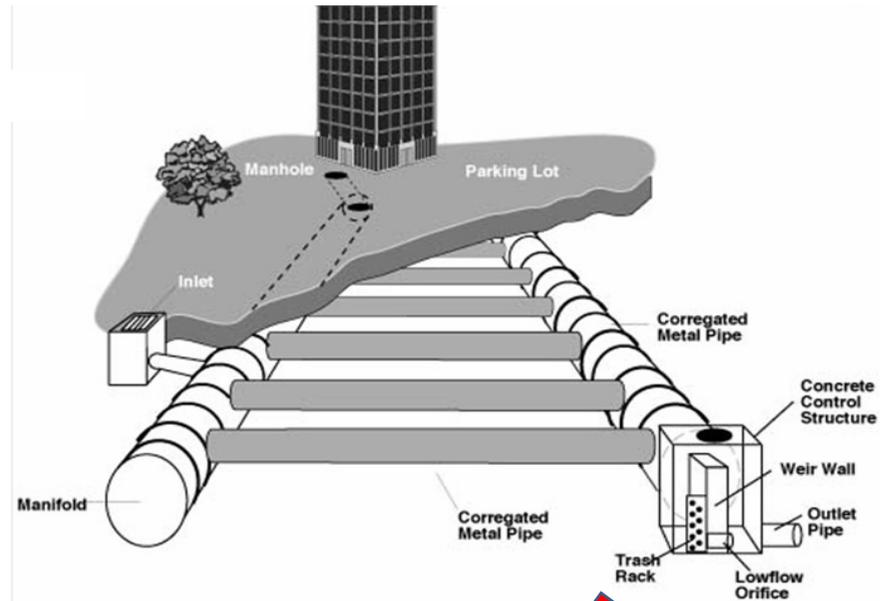
sono dimensionate per intercettare tutti i deflussi corrispondenti all'evento di progetto; in tempo secco la struttura è attraversata da portate

- **Off-line Measure:**

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



AREE DI LAMINAZIONE



AREE DI LAMINAZIONE



$$S = 32,5 \text{ hm}^2$$

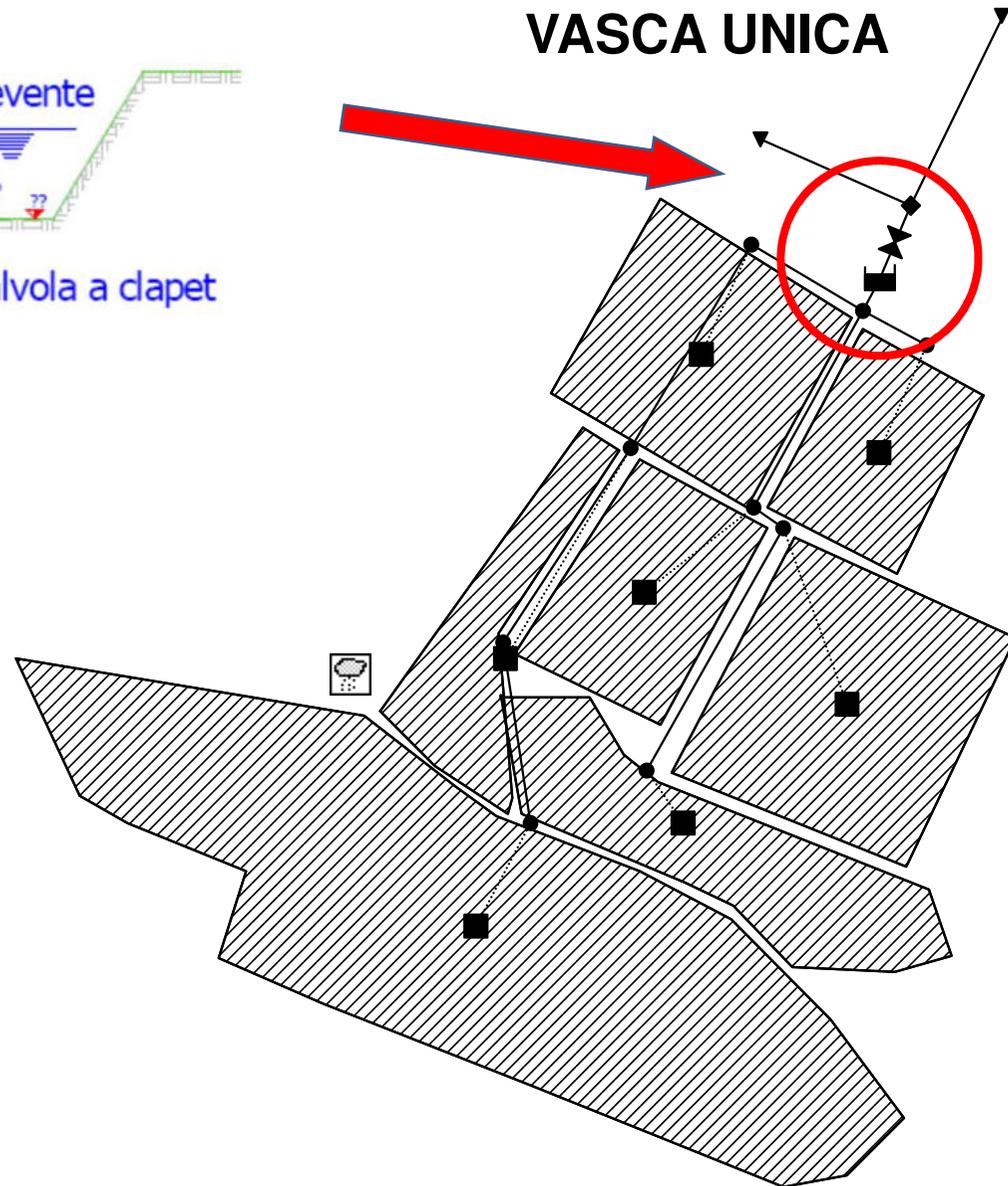
$$h = 36,794t^{0,3341} \text{ (TR 10 anni)}$$

$$Tc = 1 \text{ ora}$$

$$\text{Volume vasca} = 3600 \text{ m}^3$$

$$\text{Collettore finale } (1,4 \times 1,2) \text{ m}$$

$$\text{Emissario vasca DN500}$$



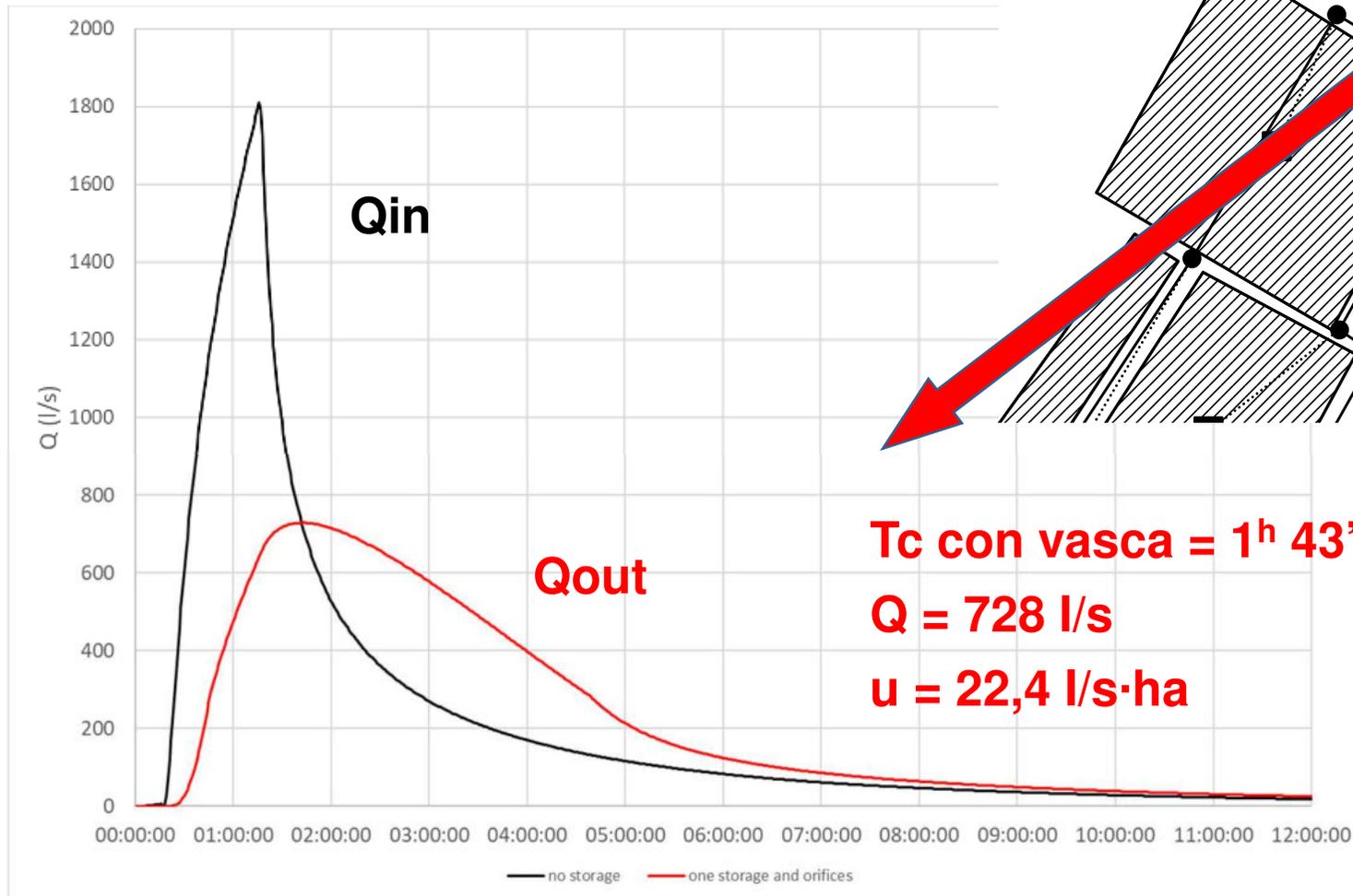
AREE DI LAMINAZIONE

T_c senza vasca = 1^h 16'

$Q = 1808$ l/s

$u = 55,6$ l/s·ha

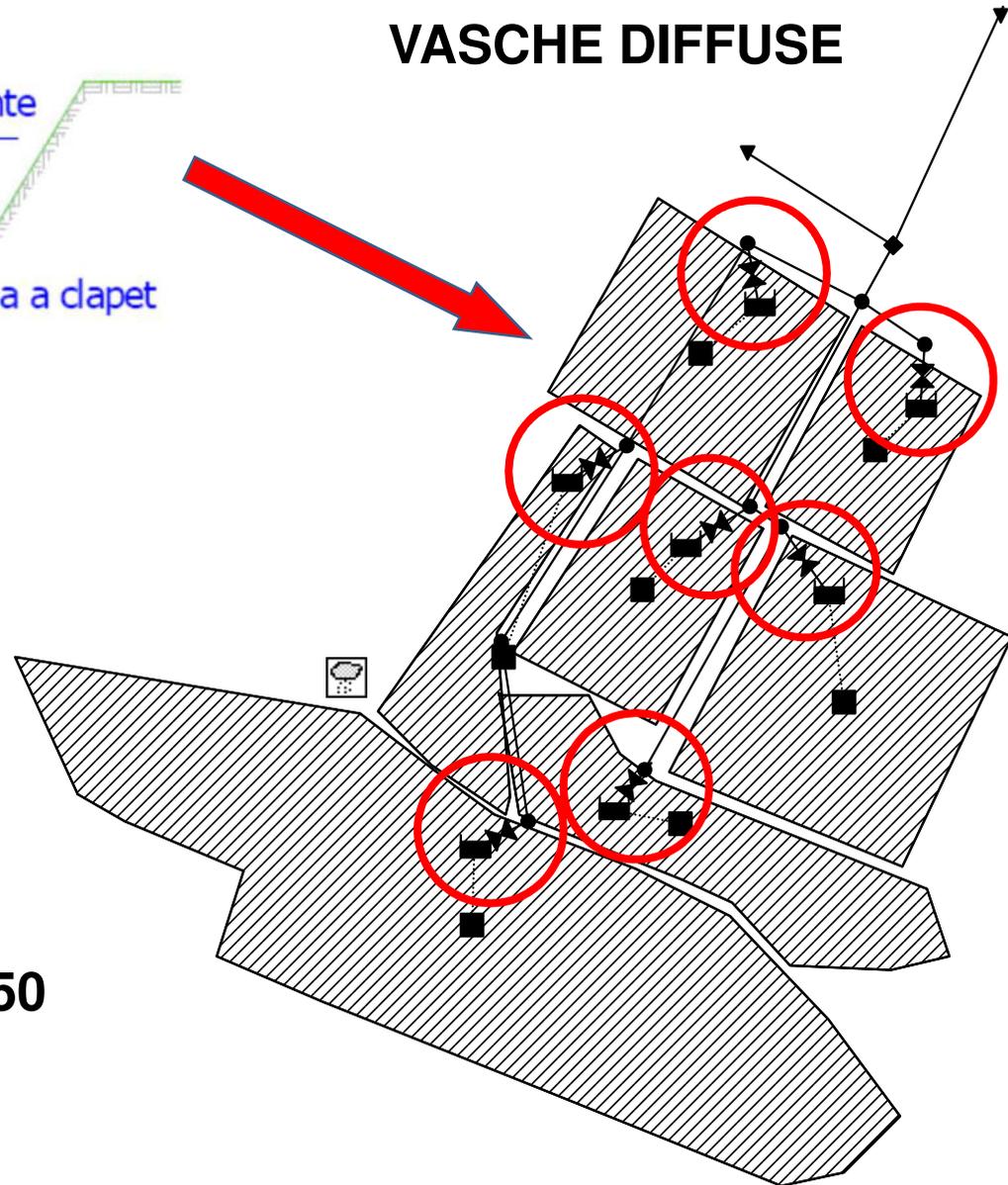
VASCA UNICA



AREE DI LAMINAZIONE



VASCHE DIFFUSE



$$S = 32,5 \text{ hm}^2$$

$$h = 36,794t^{0,3341} \text{ (TR 10 anni)}$$

$$T_c = 1 \text{ ora}$$

Volume vasche 3600 m³
(3x800 m³ 2x400 m³ 2x200 m³)

Collettore finale (1,4x1,2)m

Emissario vasche DN100÷DN350

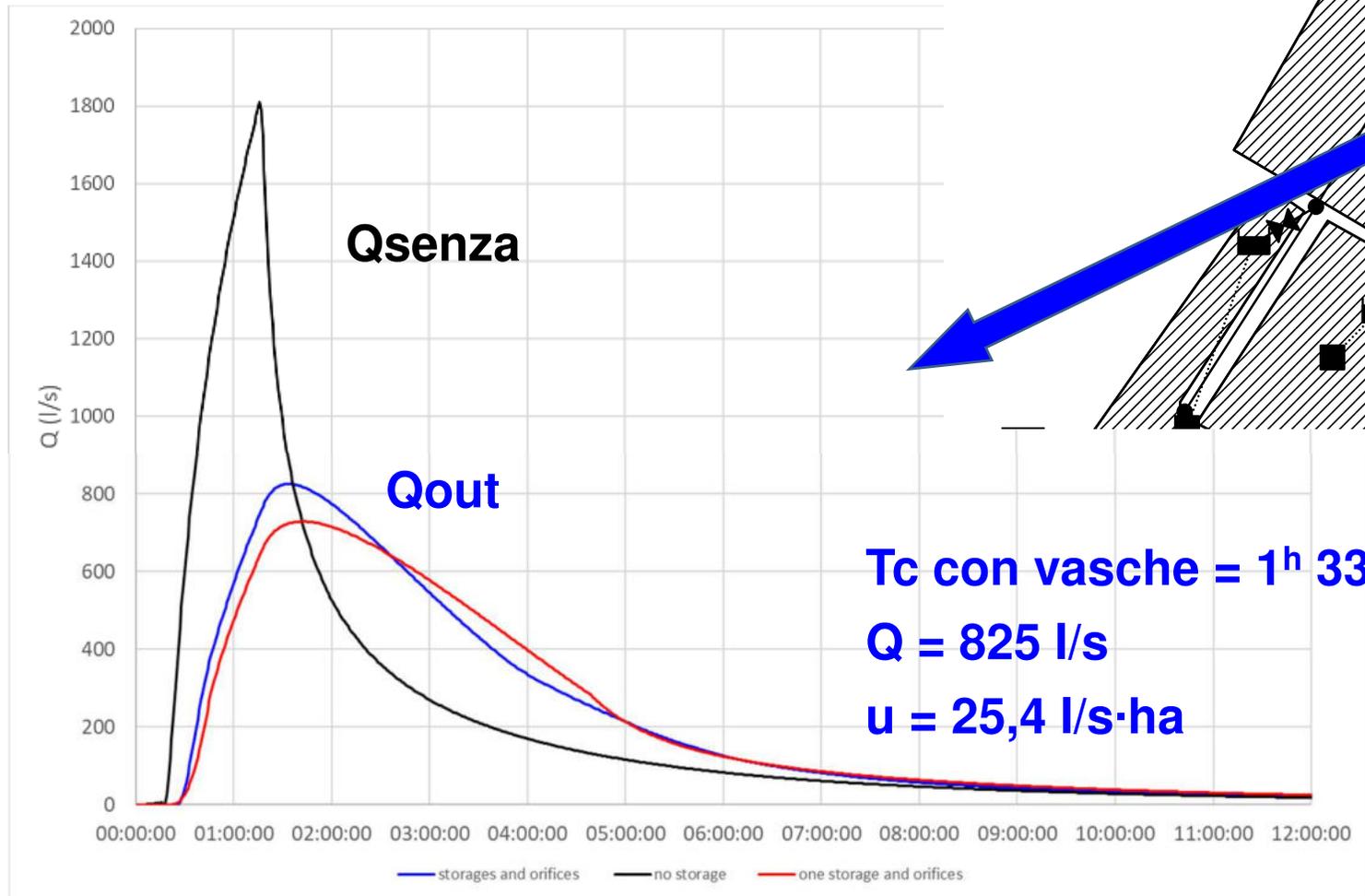
AREE DI LAMINAZIONE

Tc senza vasca = 1^h 16'

Q = 1808 l/s

u = 55,6 l/s·ha

VASCHE DIFFUSE



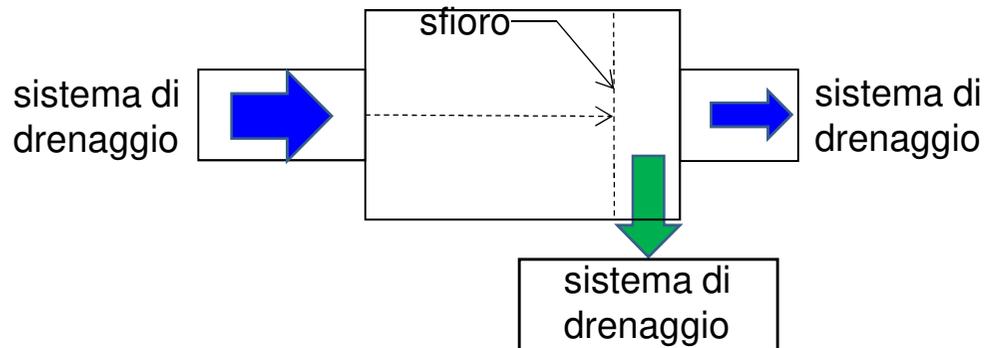
Tc con vasche = 1^h 33'

Q = 825 l/s

u = 25,4 l/s·ha

AREE DI LAMINAZIONE

VASCHE IN LINEA SU RETE UNITARIA



$$S = 32,5 \text{ hm}^2$$

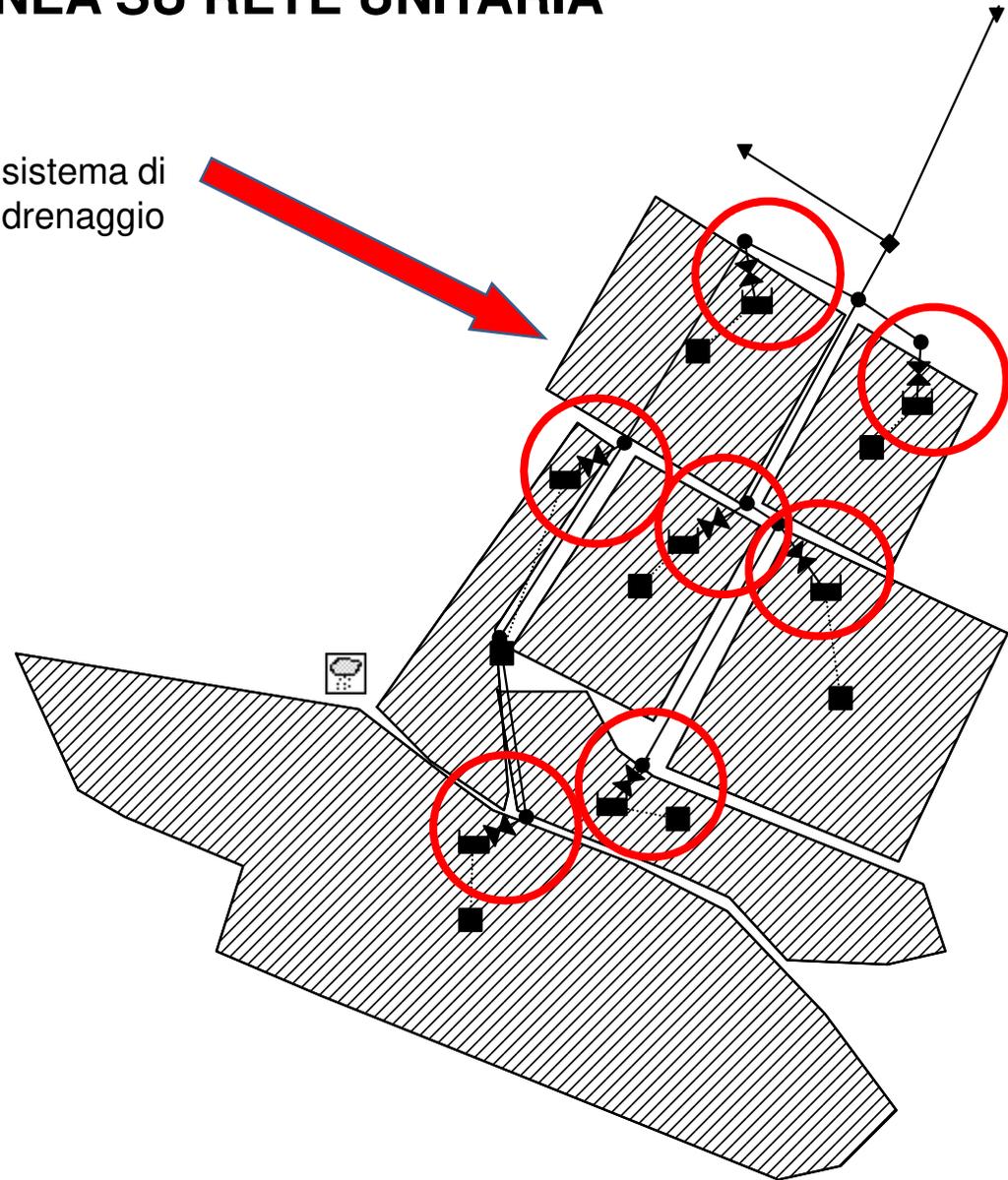
$$h = 36,794t^{0,3341} \text{ (TR 10 anni)}$$

$$Tc = 1 \text{ ora}$$

Volume vasche 3600 m^3
($3 \times 800 \text{ m}^3$ $2 \times 400 \text{ m}^3$ $2 \times 200 \text{ m}^3$)

Collettore finale $(1,4 \times 1,2) \text{ m}$

Scarico vasche:
fondo per αQ_{mn}
sfioro per Q_{max}

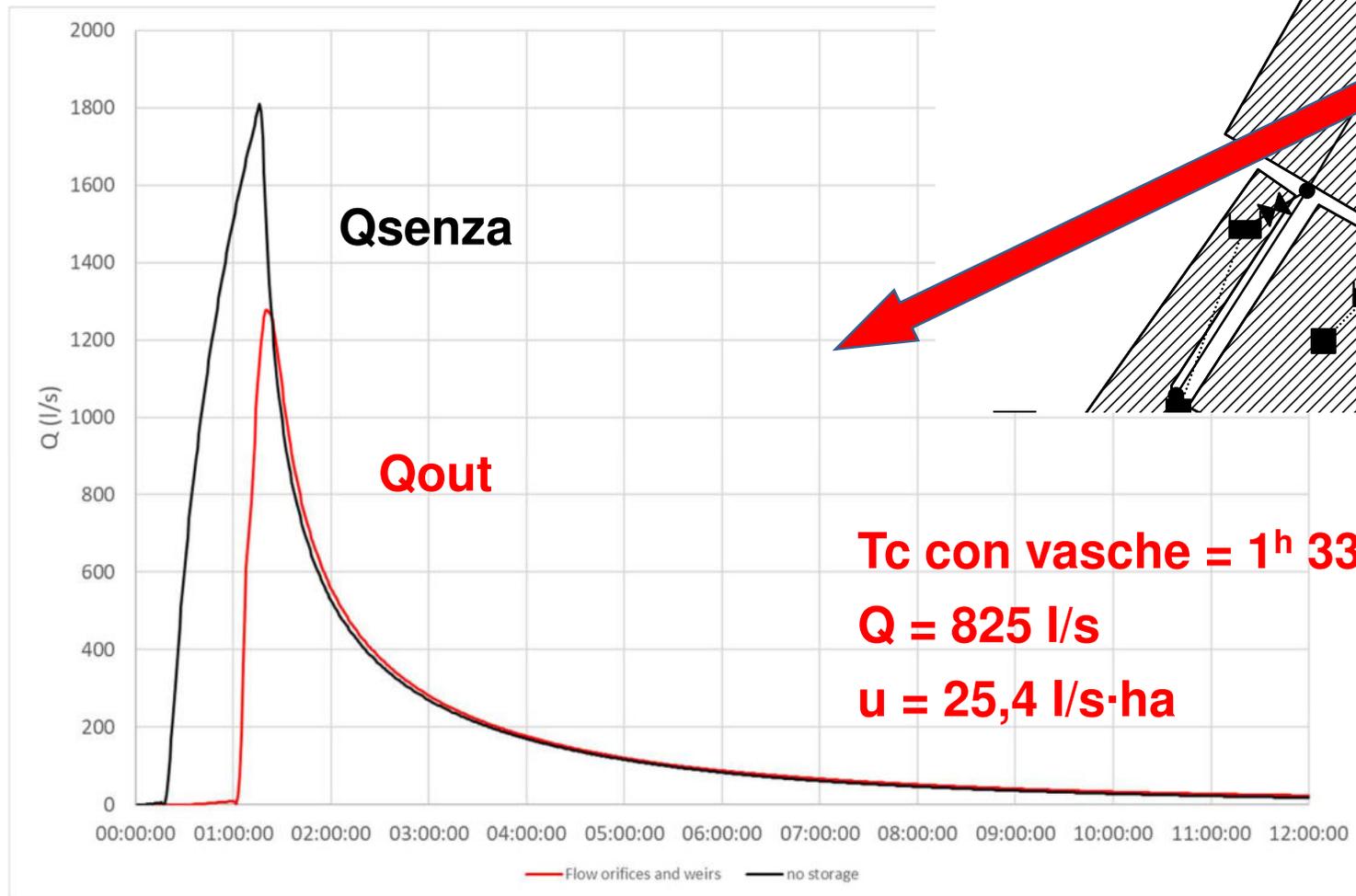


AREE DI LAMINAZIONE

T_c senza vasca = 1^h 16'

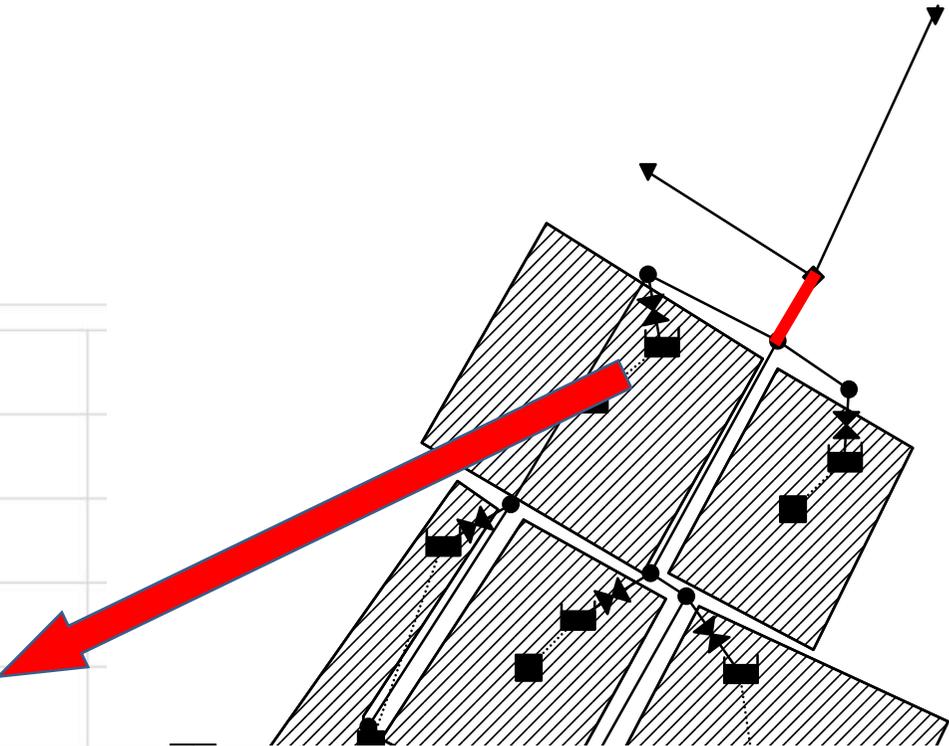
$Q = 1808$ l/s

$u = 55,6$ l/s·ha



Q_{senza}

Q_{out}



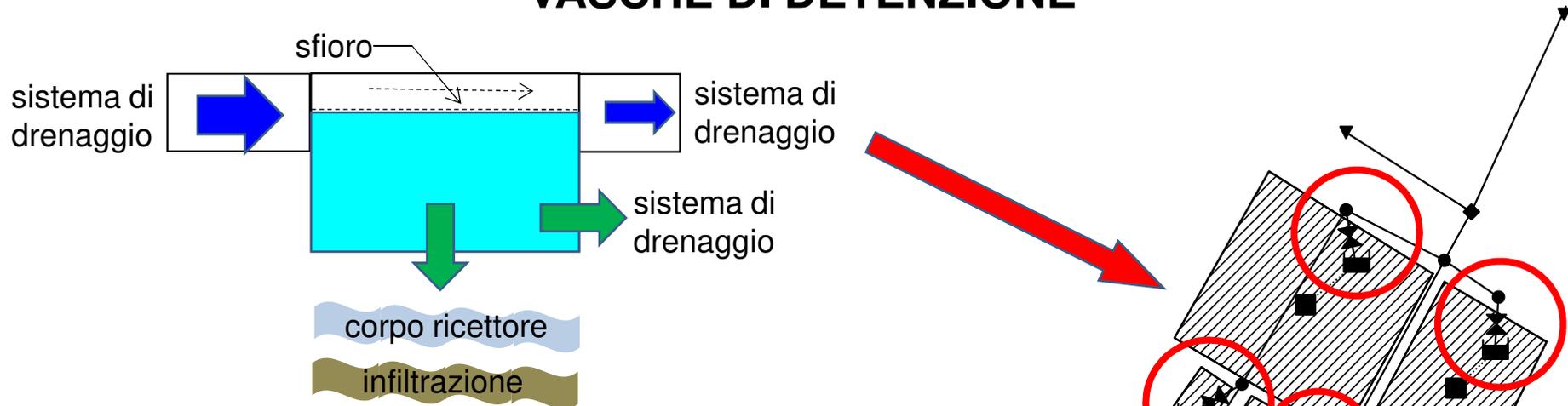
T_c con vasche = 1^h 33'

$Q = 825$ l/s

$u = 25,4$ l/s·ha

AREE DI LAMINAZIONE

VASCHE DI DETENZIONE



$$S = 32,5 \text{ hm}^2$$

$$h = 36,794t^{0,3341} \text{ (TR 10 anni)}$$

$$T_c = 1 \text{ ora}$$

$$\text{Volume vasche } 7200 \text{ m}^3$$

$$(3 \times 1600 \text{ m}^3 \ 2 \times 800 \text{ m}^3 \ 2 \times 400 \text{ m}^3)$$

$$\text{Collettore finale } (1,4 \times 1,2) \text{ m}$$

Emissario vasche:

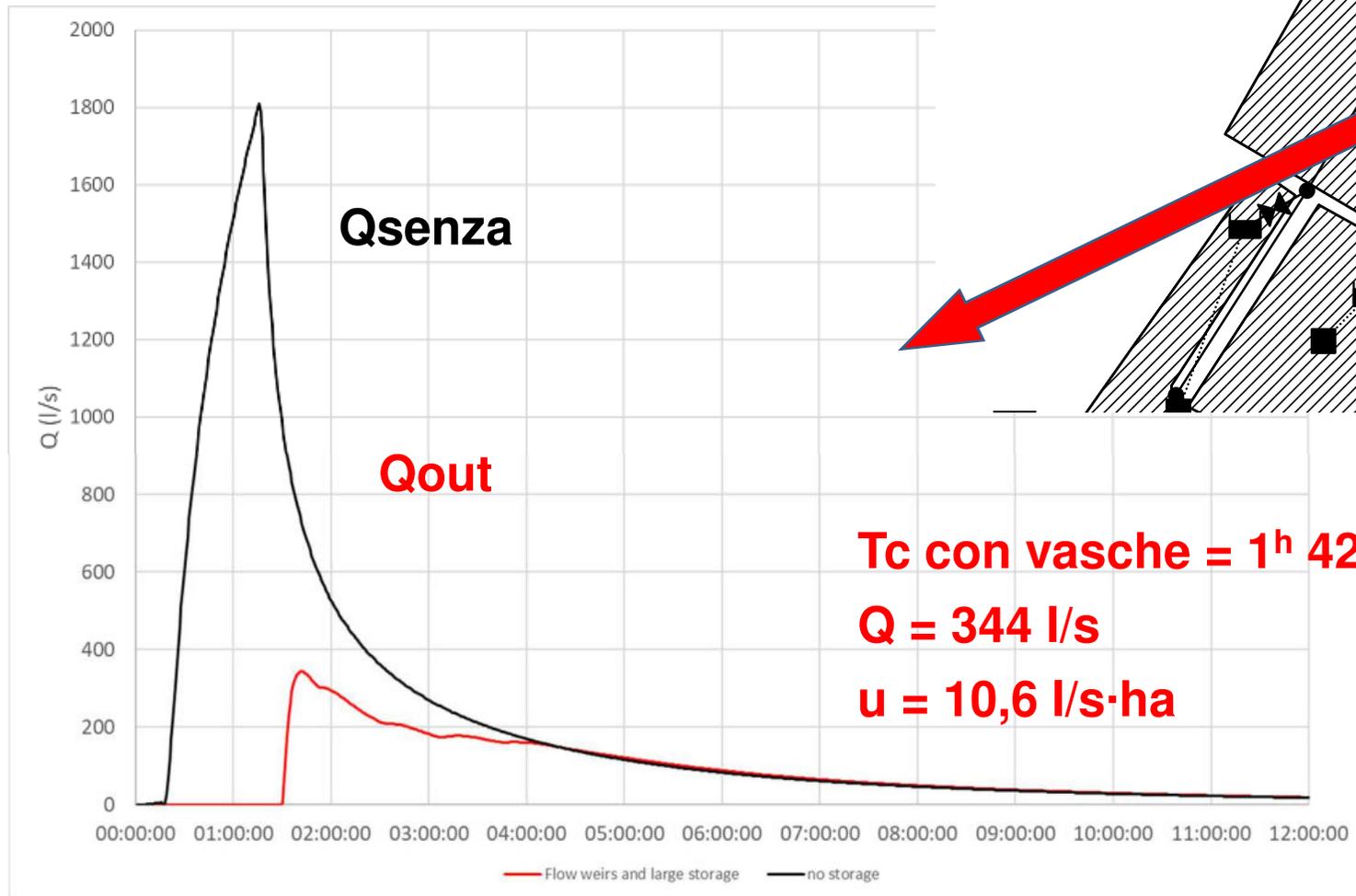
sfioro per Q_{\max}

AREE DI LAMINAZIONE

Tc senza vasca = 1^h 16'

Q = 1808 l/s

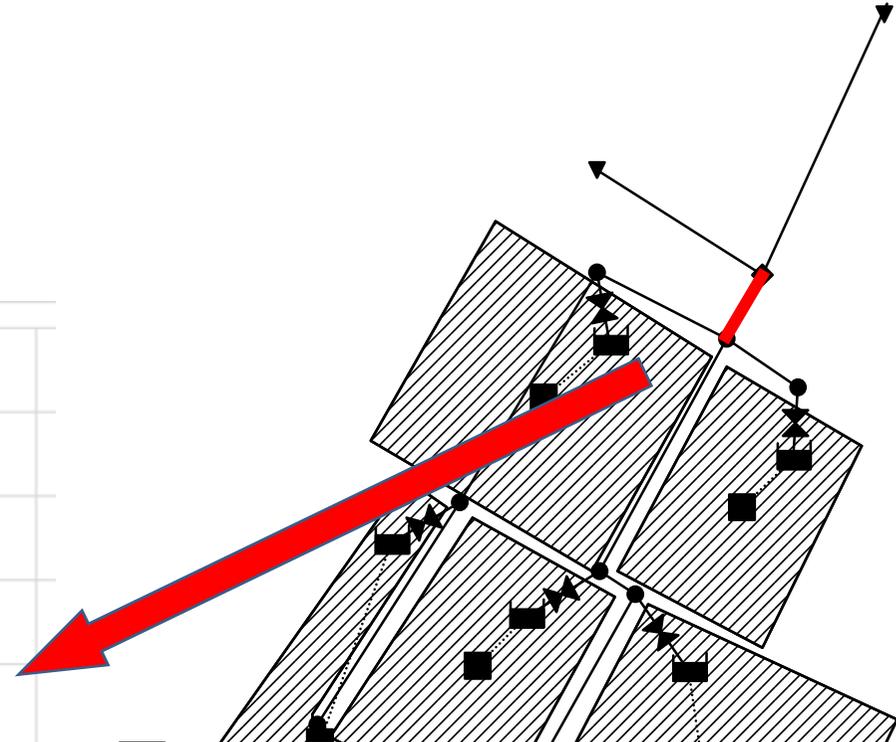
u = 55,6 l/s·ha



Tc con vasche = 1^h 42'

Q = 344 l/s

u = 10,6 l/s·ha



AREE DI LAMINAZIONE ED INFILTRAZIONE



PROTOTYPE STORM WATER MANAGEMENT FACILITY

VEGETATION PLANTED ON
HIGH POINT - 12" BELOW
WATER LEVEL

SEDIMENT DISPOSAL
DUMP
SITE GRADING EXTERIOR
DESIGN FORM
UNDERDRAINS
MAXIMUM DEPTH 24"

2 1/2" MEADOW GRASS FILTER

REGULAR CUP
TURF GRASS

INFLOW DRAINAGE
BASIN CONSIST OF
15,000 SF
FOREBAY MAINTENANCE
AREA PRETREATMENT
VEGETATION FILTERING
VEGETATIVE BUFFER
WATER VOLUME
DRAINAGE BASIN
CONSTRUCTION CONTEXT
ZONE
DEEPWATER
CLEANING AND SETTLEMENT
AREA
FACILITY SIZE
FILTRATION MEDIUM
WATER DEPTH
MONITORING POINT
OUTFALL



BMPs – Misure **diffuse** di riduzione delle portate meteoriche

Le strutture diffuse di laminazione e d'infiltrazione sono composte da:

- un **sistema separato delle acque meteoriche** afferenti alle superfici impermeabili esenti da inquinamento atto ad addurre le stesse verso le opere di infiltrazione/laminazione;
- **una o più opere di infiltrazione e laminazione** tra loro interconnesse e collegate allo scarico finale verso la rete fognaria o il corpo idrico ricevente mediante una **bocca di scarico tarata** nel rispetto della portata massima ammissibile allo scarico (ad esempio $5 \text{ l/s/ha}_{\text{imp}}$);
- un **pozzetto di ispezione** e controllo che consenta l'accesso, il monitoraggio e la manutenzione della detta bocca di scarico tarata.

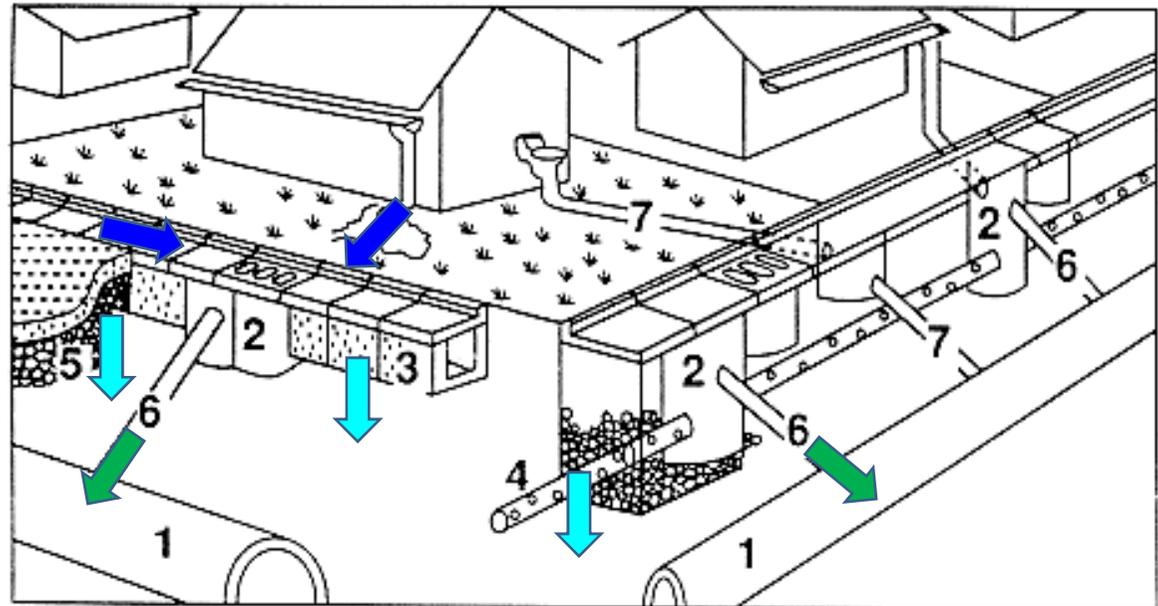


BMPs – Misure **diffuse** di riduzione delle portate meteoriche

L'obiettivo è, come già detto, la riduzione o l'annullamento delle portate meteoriche scaricate in fognatura mediante:

- separazione delle acque meteoriche dei tetti e coperture non inquinate;
- laminazione in invasi superficiali e sotterranei;
- infiltrazione (ove possibile in relazione alla permeabilità dei suoli e alla tutela delle falde);
- limitazione della portata immessa in fogna (con manufatto di controllo pubblico).

1. Sistema di drenaggio
2. Pozzo di infiltrazione
3. Trincea di infiltrazione
4. Condotta infiltrante
5. Pavimentazione porosa
6. Scarico di troppo pieno
7. Allaccio fognario ordinario



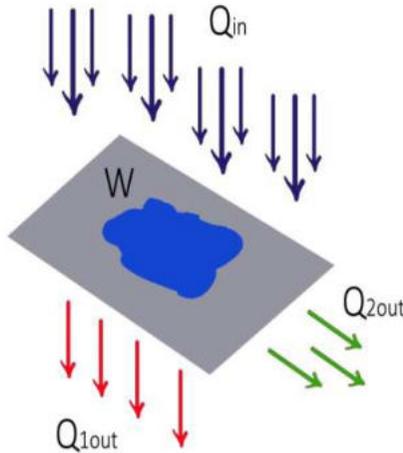
CUNETTE VEGETATE – TRINCEE DI INFILTRAZIONE

▼ Stormwater runoff flows into a green street facility.



PROCESSO DI LAMINAZIONE CON INFILTRAZIONE

Il dimensionamento delle strutture diffuse di laminazione e d'infiltrazione si basa su:



Equazione di continuità dei serbatoi

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

in termini finiti $\Delta W = Q_{in} \cdot \Delta t - Q_{out} \cdot \Delta t$



$$\Delta W = \Delta t \cdot S_{imp} \cdot \varphi \cdot \left[\frac{i \cdot 10^{-3}}{3600} - \left(k_s \cdot \frac{S_{inf}}{S_{imp} \cdot \varphi} - u_{lim} \right) 10^{-7} \right]$$

avendo ammesso che:

- portata di pioggia costante $Q_{in} = \varphi \cdot i \cdot S_{imp}$
- portata di infiltrazione Q_{1out} costante durante l'evento calcolata con la legge di Darcy $Q_{1out} = k_s \cdot J \cdot S_{inf}$ con coefficiente di permeabilità k_s e cadente $J = 1$
- portata di scarico Q_{2out} costante durante l'evento e pari al valore limite ammesso (u_{lim} di norma espresso in $[l/(s \cdot ha_{imp})]$)

MODELLO DI INFILTRAZIONE

Infiltrazione secondo Darcy

$$Q_{\text{inf}} = k_s \cdot J \cdot S_{\text{inf}}$$

Tipo di suolo	k_s [m/s]	permeabilità
Ciottoli, ghiaia senza elementi fini	$> 10^{-2}$	elevata
Sabbia, sabbia e ghiaia	$> 10^{-2} \div 10^{-5}$	buona
Sabbia fine, limo, argilla con limo e sabbia	$> 10^{-5} \div 10^{-9}$	cattiva
Argilla omogenea	$> 10^{-9} \div 10^{-11}$	impermeabile

Infiltrazione secondo Horton

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

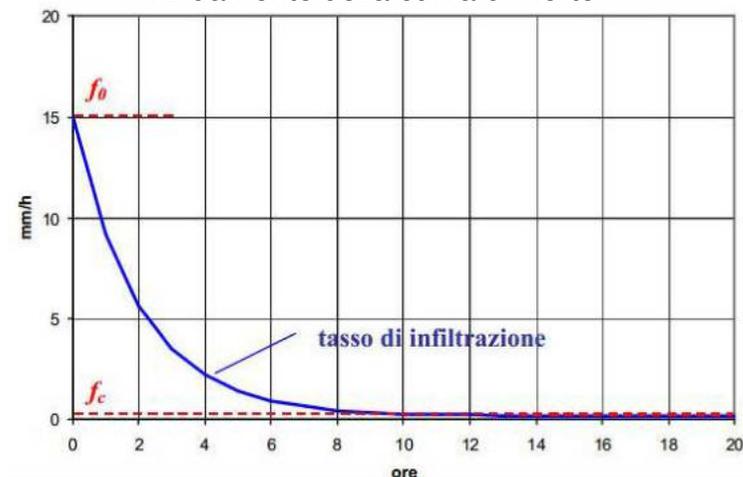
Parametri Horton secondo SCS

classe suolo	tipo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore ⁻¹]
A	Permeabilità elevata. Sabbie e ghiaie pulite e profonde	250	25,4	2
B	Permeabilità discreta. Sabbie e ghiaie poco profonde, con percentuali di argilla	200	12,7	2
C	Permeabilità scarsa. Suoli sottili e contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi	125	6,3	2
D	Permeabilità trascurabile. Argille con alta capacità di rigonfiamento	76	2,5	2

k_s [m/s]	q_{inf} (per J=1)	
	[l/s/ha _{inf}]	[mm/ora]
10^{-4}	10^3	360
10^{-5}	10^2	36
10^{-6}	10	3,6
10^{-7}	1	0,36

classe suolo	q_{inf} (per J=1)	
	f_c [mm/ora]	k_s [m/s]
A	25,4	$\sim 7 \cdot 10^{-6}$
B	12,7	$\sim 3,5 \cdot 10^{-6}$
C	6,3	$\sim 1,7 \cdot 10^{-6}$
D	2,5	$\sim 7 \cdot 10^{-7}$

Andamento della curva di Horton



MODELLO DI INFILTRAZIONE

Infiltrazione secondo Horton

classe suolo	q_{inf} (per $J=1$)	
	f_c [mm/ora]	k_s [m/s]
A	25,4	$\sim 7 \cdot 10^{-6}$
B	12,7	$\sim 3,5 \cdot 10^{-6}$
C	6,3	$\sim 1,7 \cdot 10^{-6}$
D	2,5	$\sim 7 \cdot 10^{-7}$

capacità di infiltrazione a lungo termine f_c
 $(20 \div 2) \text{ mm/ora} = (55 \div 5,5) \text{ l/s} \cdot \text{ha}$

per una pioggia di elevato TR

$$i = 200 \text{ mm/ora}$$



10 per suoli classe A

$$\frac{S_{inf}}{S_{imp}} =$$

100 per suoli classe D

Infiltrazione secondo Darcy

k_s [m/s]	q_{inf} (per $J=1$)	
	[l/s/ha _{inf}]	[mm/ora]
10^{-4}	10^3	360
10^{-5}	10^2	36
10^{-6}	10	3,6
10^{-7}	1	0,36

Ipotizzato

$$\varphi = 1, i = 100 \text{ mm/ora}, \Delta t = 1 \text{ ora}$$

volume di laminazione $w_0 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ha}_{imp}} \right)$

permeabilità k_s (m/s)	$\frac{S_{inf}}{S_{imp}} = 0,5$	$\frac{S_{inf}}{S_{imp}} = 1$
	w_0 (m ³ /ha _{imp})	w_0 (m ³ /ha _{imp})
10^{-5}	802	622
10^{-6}	964	946
10^{-7}	980	978

RECUPERO ACQUE PIOVANE



SANTA MONICA
RAIN BARREL TRUCKLOAD SALE
1-DAY EVENT

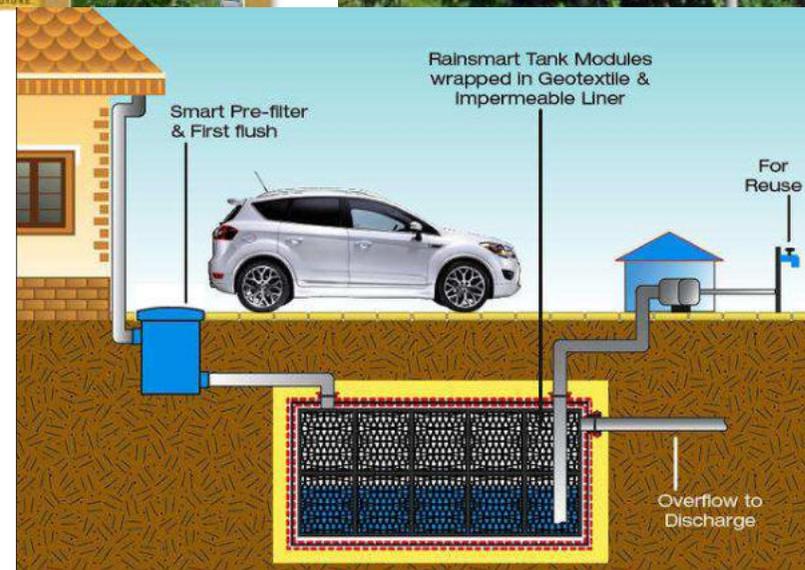
Proceeds support:
SustainableWorks
Environmental Education and Action

50 GALLON SYSTEM
Build-A-Barrel
✓ With Diverter Kit
\$149.99
FREE!
AFTER REBATE

April 12
10am to 2pm
Pick up yours at:
1744 Pearl Street
Santa Monica College
(Parking Lot)

Sponsored by:
RAIN RESERVE
ACCEPTING YOUR RAIN. PRESERVING OUR FUTURE.

110 GALLON SYSTEM
Two 55 Gal. Recycled Barrels
✓ With Diverter Kit
\$199.99
FREE!
AFTER REBATE



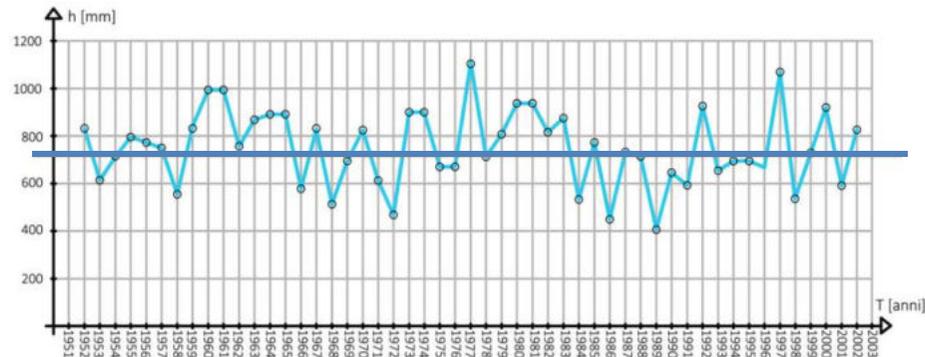
DIMENSIONAMENTO DELLE VASCHE DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

1 - Apporto acqua piovana:

$$V = \varphi \cdot S \cdot p \cdot \eta = 58.8 \text{ m}^3$$

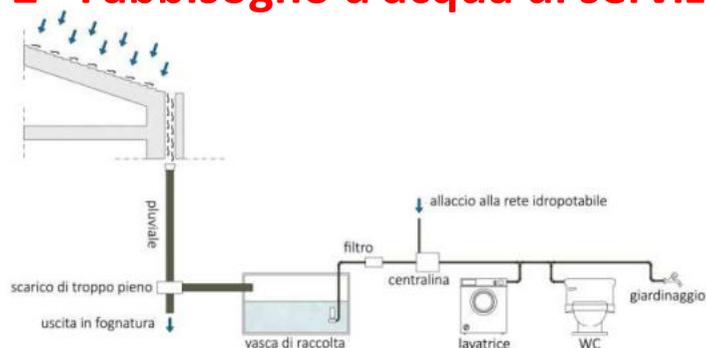
norma E DIN 1989-1: 2000/12

V = massimo volume cumulabile annuo [m^3];
 φ = coefficiente di deflusso;
 S = sommatoria della proiezione orizzontale di tutte le superfici di raccolta [m^2]
 p = precipitazione totale annua media [m]
 η = efficienza del filtro nell'impianto



2 - Fabbisogno d'acqua di servizio:

$$V_{\text{fabbisogno}} = 78.06 \text{ m}^3$$

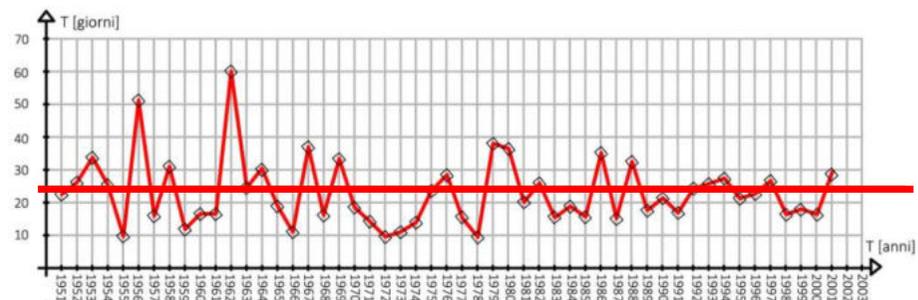


V fabbisogno annuo					
U.M.	utilizzo	fab.	utenza	Periodo [gg]	fab. Annuo [l]
l/(ab gg)	WC	24	4	365	35040
l/(ab gg)	Lavatrice	10	4	365	14600
l/(ab gg)	Pulizie	2	4	365	2920
l/(m ² an)	Irrigazione	200	127,5	1	25500
tot [l] :					78060
tot [m ³] :					78,06

3 - Volume della vasca:

$$V_R = T_{sm} \cdot \frac{\text{Fabbisogno}}{365} = 4.83 \text{ m}^3$$

V_r = volume vasca [m^3];
 T_{sm} = tempo secco medio
 Fabbisogno = media tra V e $V_{\text{fabbisogno}}$



QUADRO NORMATIVO

- DIRETTIVA 2000/60/CE istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, prevedendo il raggiungimento di tale obiettivo entro il 2015.
- DIRETTIVA 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvionali;
- Legge 267/1998 "Legge Sarno" prevede che ogni nuovo strumento di pianificazione urbanistica contenga la **valutazione di compatibilità idraulica**. Istituisce i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), da adottarsi da parte delle Autorità di Bacino e delle Regioni;
- Decreto Legislativo n. 152/2006 demanda la responsabilità di fissare valori limite di emissione delle portate drenate alle Regioni.

- NTA PAI per il bacino del fiume Po
- Regione Lombardia 
- Regione Veneto (**invarianza idraulica**)
- Bacini Regionali Romagnoli
- Provincia e Comune di Bolzano (RIE)
- PTCP Provincia Torino (invarianza idraulica)
- Regolamenti edilizi comunali

Supplemento - Lunedì 27 novembre 2017



Regione
Lombardia

REPUBBLICA ITALIANA

BOLLETTINO UFFICIALE

Regolamento regionale 23/11/2017 n° 7

Coefficiente udometrico limite allo scarico:

- per aree ad alta criticità idraulica

≤ 10 l/s ha_{imp}

- per aree a media/bassa criticità idraulica

≤ 20 l/s ha_{imp}

COEFFICIENTE UDOMETRICO LIMITE ALLO SCARICO

Supplemento - Lunedì 27 novembre 2017



Regione
Lombardia

REPUBBLICA ITALIANA

BOLLETTINO UFFICIALE

Coefficiente udometrico limite allo scarico:

– aree ad alta criticità idraulica

$$\leq 10 \text{ l/s ha}_{\text{imp}}$$

– aree a media/bassa criticità idraulica

$$\leq 20 \text{ l/s ha}_{\text{imp}}$$

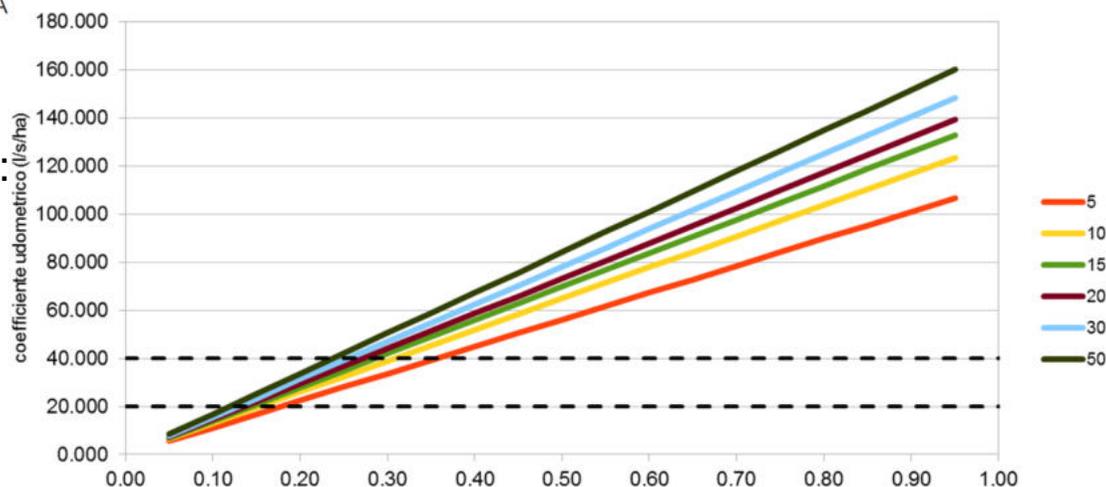
$$u = 2,78 \cdot \varphi \cdot j$$

$$\text{con } j = \frac{h}{t_c}$$

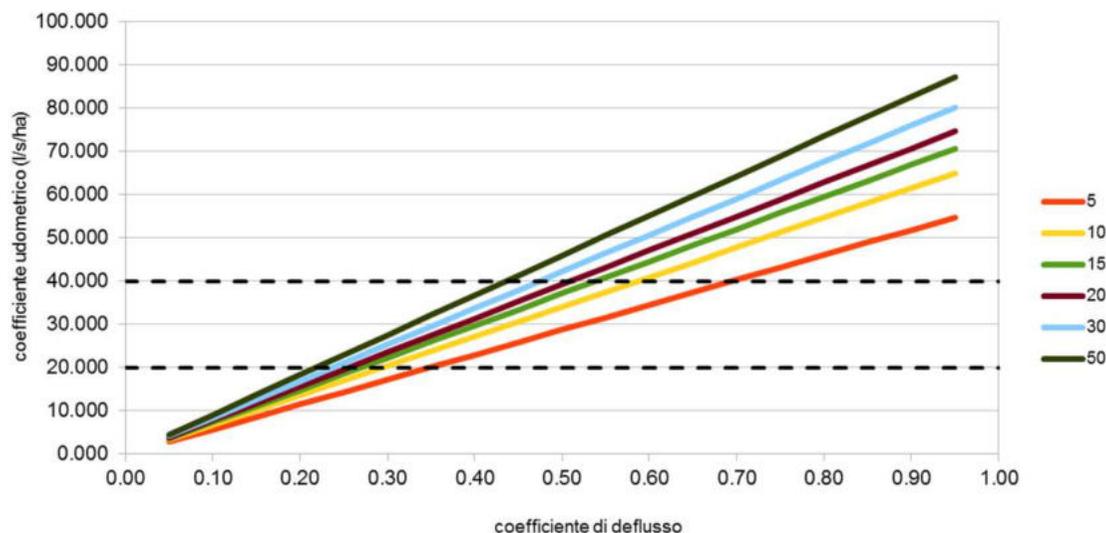
$$\text{essendo } [j] = \frac{\text{mm}}{\text{ora}} \text{ e } [u] = \frac{l}{s \cdot \text{ha}}$$

intensità di pioggia j in funzione di TR calcolata per la stazione di Ascoli Piceno (77 anni di misure)

Coefficiente udometrico al variare del coefficiente di deflusso per ciascun tempo di ritorno (durata $t=0,5$ ore)



Coefficiente udometrico al variare del coefficiente di deflusso per ciascun tempo di ritorno (durata $t=2$ ore)



INVARIANZA IDRAULICA - MISURE COMPENSATIVE – D.G.R. 53/2014

Volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte ad una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) ed in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che I+P=100%) – (D.G.R. n. 53 del 27/01/2014)

$$w = w_0 \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - w_0 \cdot P$$

$$\phi = 0,9 \cdot IMP + 0,2 \cdot (1 - IMP)$$

$$n = 0.48$$

$$w_0 = 50m^3 / hm^2$$

$$con \quad IMP = \frac{S_{IMP}}{S_{TOT}}$$

IMP = coefficiente di impermeabilità

coefficiente di deflusso dipende da TR ed in maniera diversa da aree IMP e aree PERM

$$\phi = \phi_{IMP} \cdot IMP + \phi_{PERM} \cdot (1 - IMP)$$

Tempo di ritorno [anni]	ϕ_{IMP}	ϕ_{PERM}
≤ 2	0.60÷0.75	0.00÷0.15
2÷10	0.65÷0.80	0.10÷0.25
> 10	0.70÷0.90	0.15÷0.30

Tipologia urbana	IMP
Commerciale	
centro	0.70÷0.95
periferia	0.50÷0.70
Residenziale	
unità monofamiliari	0.30÷0.50
unità plurifamiliari isolate	0.40÷0.60
unità plurifamiliari contigue	0.60÷0.75
edifici per appartamenti	0.50÷0.70
extra urbana	0.25÷0.40
Industriale	
industria pesante	0.50÷0.80
industria leggera	0.60÷0.90
Parchi, cimiteri	0.00÷0.35
Parchi giochi	0.20÷0.35
Aree ferroviarie	0.20÷0.35
Non urbanizzate	0.00÷0.30

IMPORTANZA STIMA DEI PARAMETRI

Calcolo della portata di massima piena con il **METODO RAZIONALE**

$$Q = \frac{\varphi S h}{T_C}$$

Tipi di superficie	Coefficiente di deflusso φ
<i>Elementi analitici</i>	
tetti metallici	0,95
tetti a tegole	0,90
tetti piani con rivestimento in calcestruzzo	0,7÷0,8
tetti piani ricoperti di terra	0,3÷0,4
pavimentazioni asfaltate	0,85÷0,90
pavimentazioni in pietra	0,80÷0,85
massicciata in strade ordinarie	0,40÷0,80
strade in terra	0,4÷0,6
zone con ghiaia non compressa	0,15÷0,25
giardini	0÷0,25
boschi	0,1÷0,3
<i>Elementi globali</i>	
parti centrali di città completamente edificate	0,70÷0,90
quartieri con pochi spazi liberi	0,50÷0,70
quartieri con fabbricati radi	0,25÷0,50
tratti scoperti	0,10÷0,30
giardini e cimiteri	0,05÷0,25
terreni coltivati	0,2÷0,6

$$h = a \cdot t^n$$

con $a = f(TR)$

$$T_C = T_S + T_P$$

con $T_S = f(S, TR)$

$$\varphi = 0,9 \cdot IMP + 0,2 \cdot (1 - IMP)$$

$$\varphi = \varphi_{IMP} \cdot IMP + \varphi_{PERM} \cdot (1 - IMP)$$



IMPORTANZA STIMA DEI PARAMETRI

		TR = 5		TR =10		1° C.C.		2° C.C.			
Area 1	Anno	U _{min}	U _{max}	$\Delta_{\text{anno}} (\%)$							
	1984	49.1	85.6	60.8	106.0	63.9	111.3	47.3	82.4		
	1994	50.1	86.4	62.0	107.0	65.1	112.3	48.2	83.2	2.0	1.0
	2000	51.1	87.1	63.2	107.8	66.4	113.2	49.2	83.8	3.9	1.8
	2013	51.1	87.1	63.2	107.8	66.4	113.2	49.2	83.8	3.9	1.8
	$\Delta_{\phi} (\%)$		70.5								
	$\Delta_h (\%)$				23.8		30.0		-3.7		

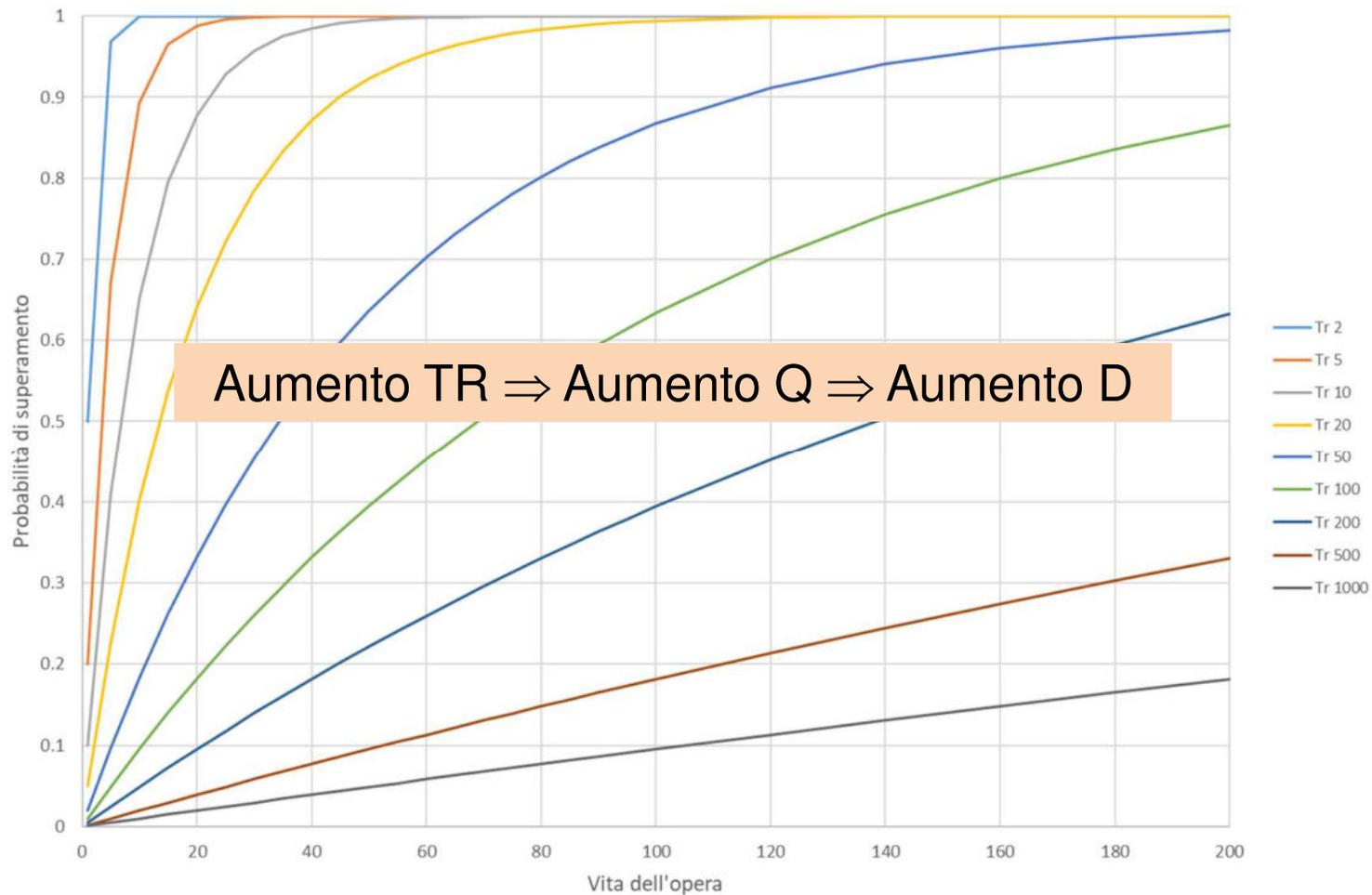
		TR = 5		TR =10		1° C.C.		2° C.C.			
Area 2	Anno	U _{min}	U _{max}	$\Delta_{\text{anno}} (\%)$							
	1984	14.7	43.1	18.0	52.8	20.3	59.7	17.5	51.4		
	1994	14.6	43.0	17.9	52.7	20.2	59.6	17.4	51.2	-0.6	-0.2
	2000	14.9	43.2	18.2	52.9	20.6	59.8	17.7	51.5	1.3	0.2
	2013	15.9	44.1	19.5	54.0	22.0	61.0	18.9	52.5	8.3	2.2
	$\Delta_{\phi} (\%)$		177.1								
	$\Delta_h (\%)$				22.5		38.4		19.1		

IMPORTANZA STIMA DEI PARAMETRI

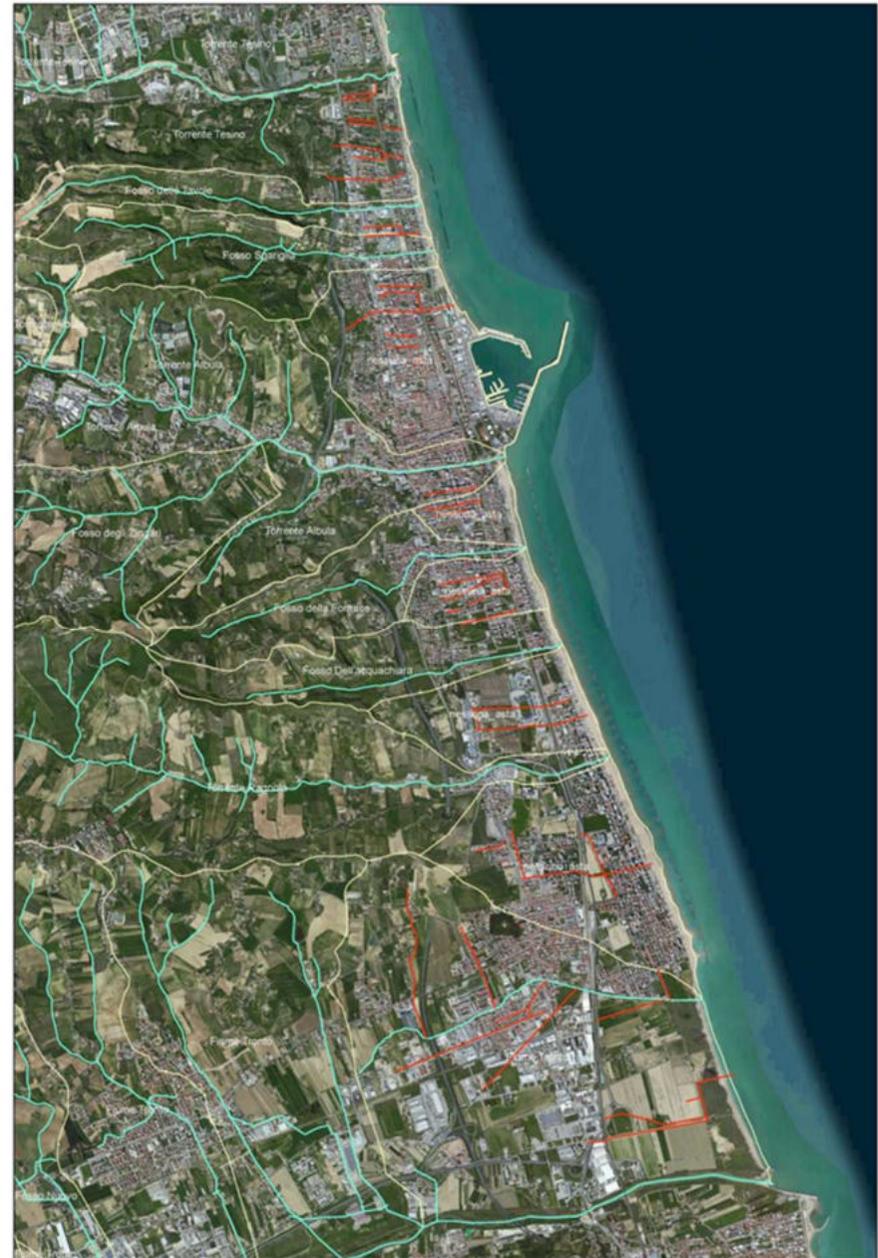
TEMPO DI RITORNO E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

$$P(x > x^*) = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^N$$

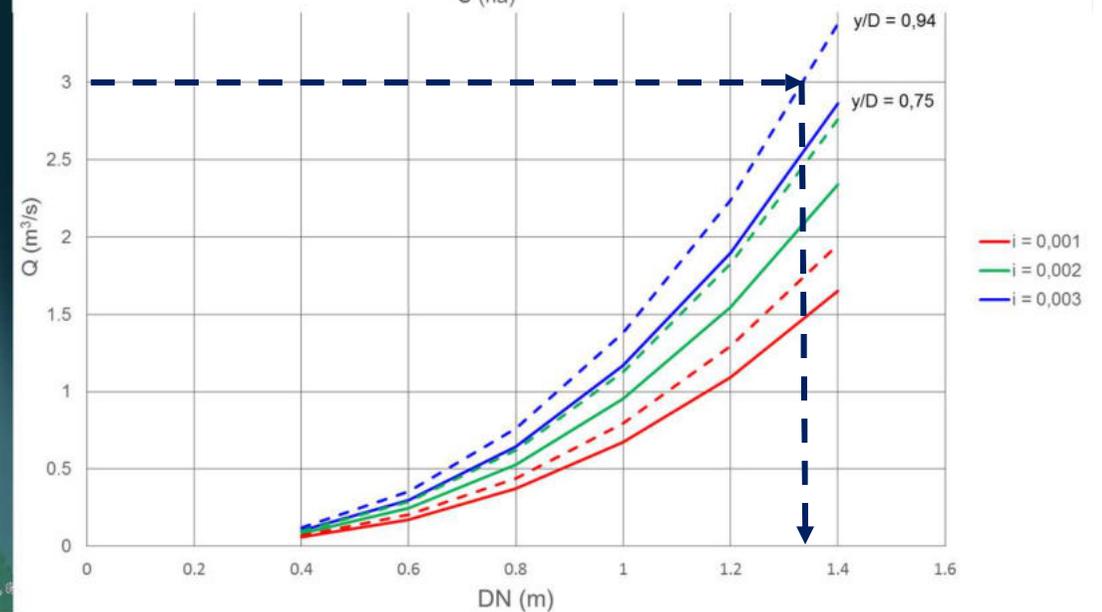
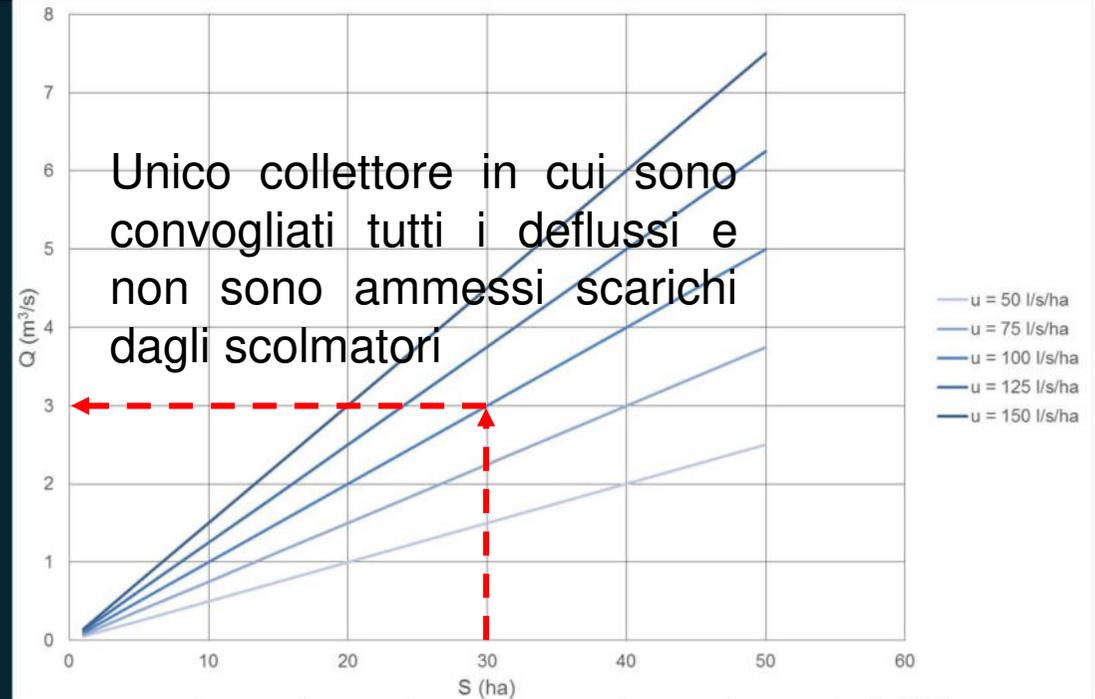
Se TR = 5 anni e N = 50 anni $\Rightarrow P(x) = 0.999985728 \approx$ certezza dell'evento



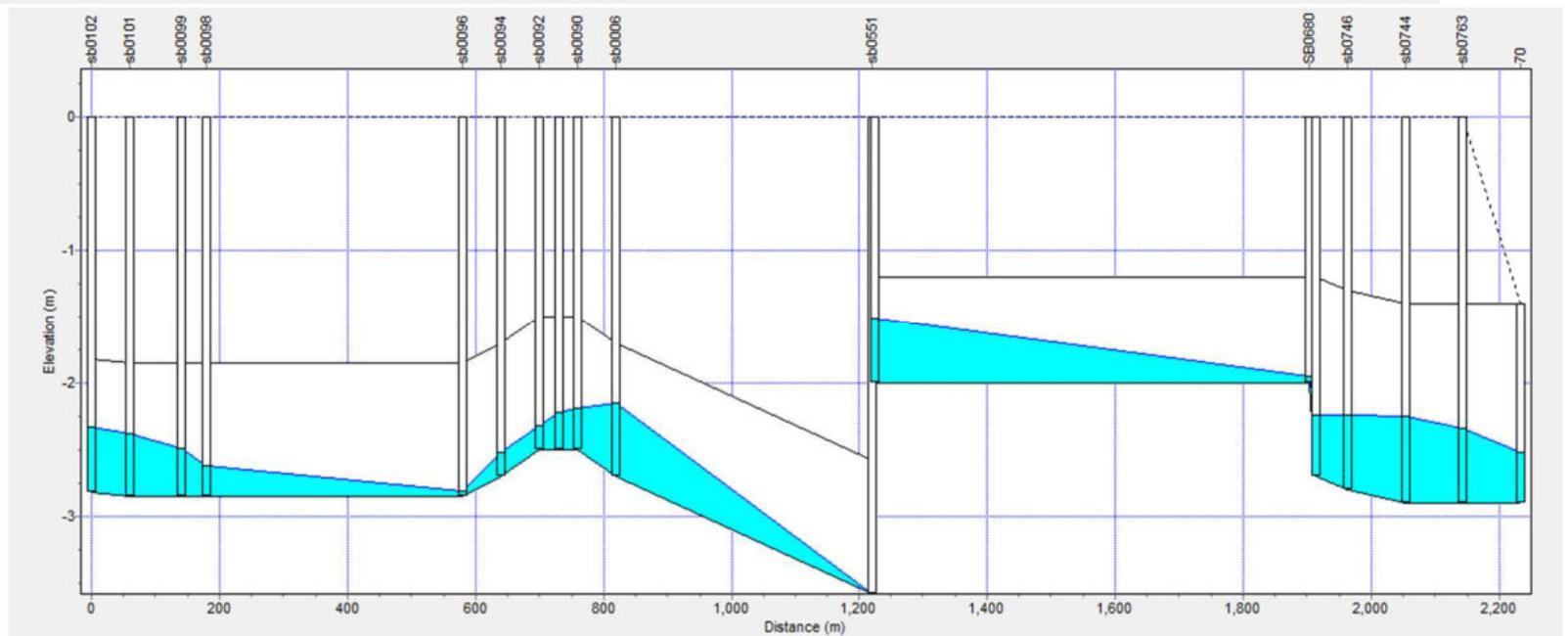
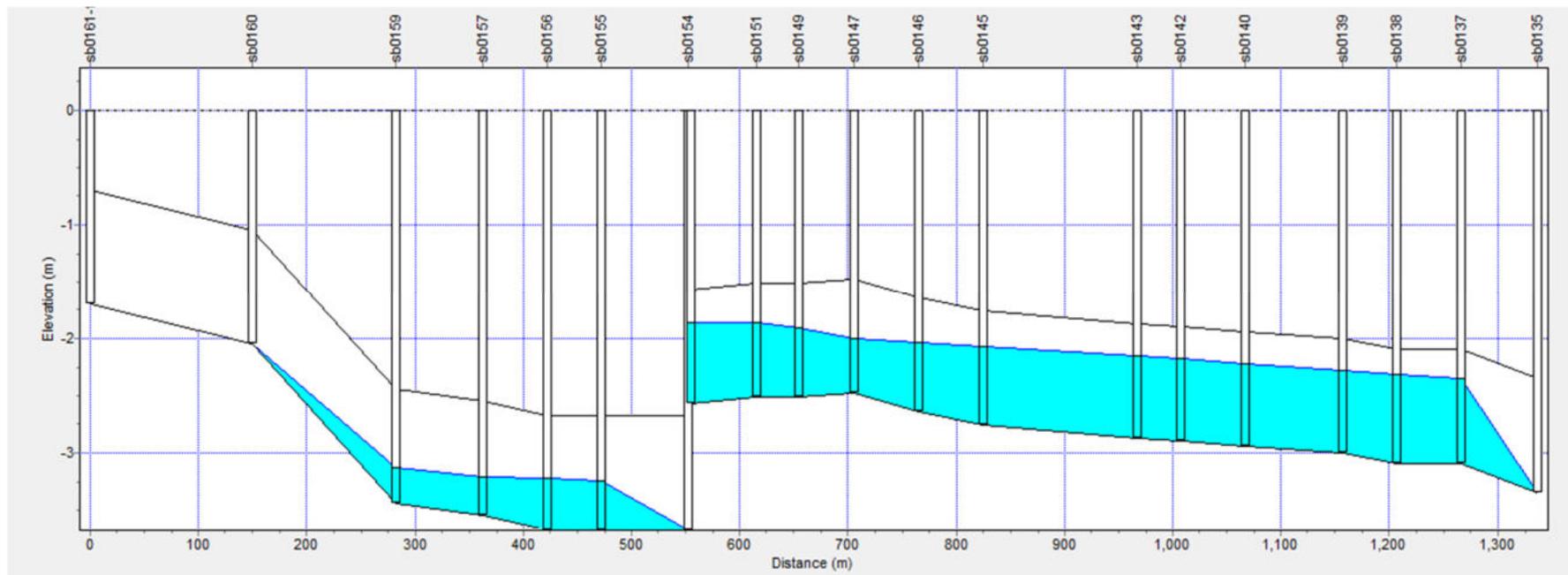
CARENZE STRUTTURALI



CARENZE STRUTTURALI



CARENZE STRUTTURALI



CONCLUSIONI

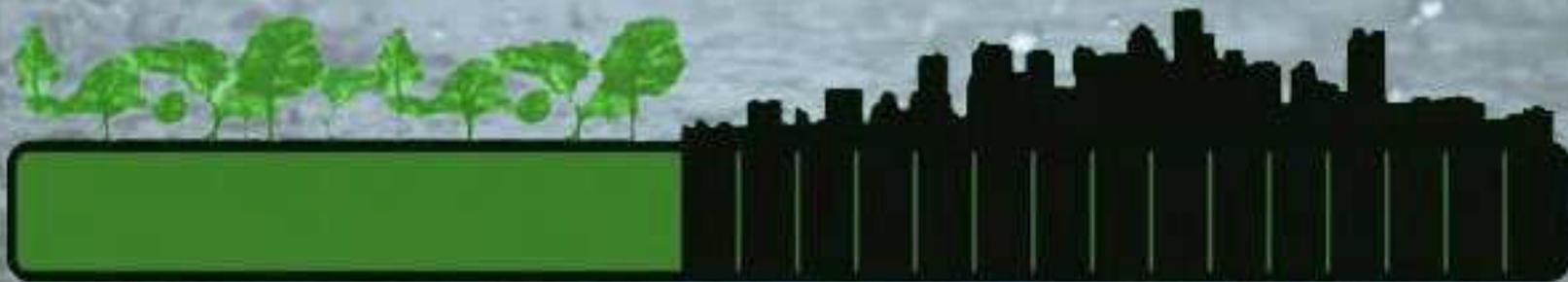
- ✓ Incentivare la cultura degli Enti locali e della cittadinanza in relazione al rischio alluvionale
- ✓ Adottare *tassativamente* le misure di invarianza idraulica per il nuovo ed incentivarle anche per l'esistente mediante l'individuazione di infrastrutture pubbliche/private di infiltrazione e laminazione delle portate meteoriche
- ✓ Le pianificazioni e progettazioni devono considerare che gli eventi di tipo catastrofico ($T \geq 50 - 100$ anni) non possono essere integralmente controllati dalle infrastrutture idrauliche del territorio urbanizzato
- ✓ **Accrescere la conoscenza mediante campagne di misure, indagini sperimentali, ecc.**



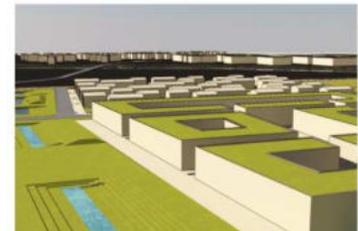
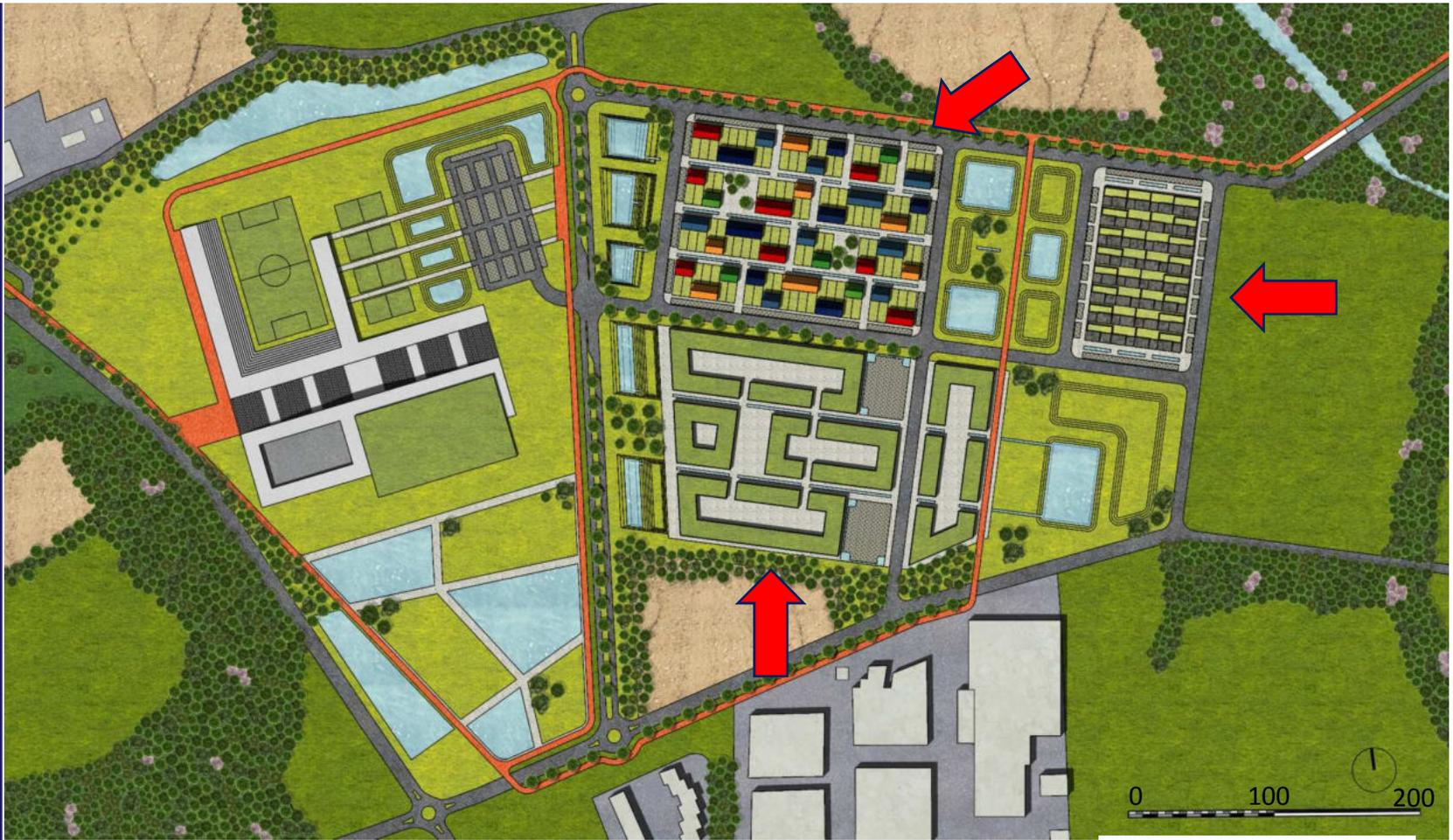
Alcuni riferimenti bibliografici

- Becciu G., Paoletti A., Fondamenti di costruzioni idrauliche, UTET, 2011
- Centro Studi di Idraulica Urbana, Milano, www.csdu.it
- US Environmental Protection Agency (EPA), USA, www.epa.gov
- Center for Watershed Protection Association (CWPA), USA, www.cwp.org
- Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), UK, www.susdrain.org
- American Society of Landscape Architects (ASLA), USA, www.asla.org

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



LOADING
PLEASE WAIT...





PLANIMETRIA GENERALE IMPIANTO DI DRENAGGIO




 110.97-320.9 Lunghezza [m]-
 differenza portata * [l/s]


 Serbatoio recupero
 acque meteoriche


 Sistema caditoie con
 griglia 60x60


 Asse condotta
 fognatura bianca


 Pozzetto d'ispezione
 o di salto

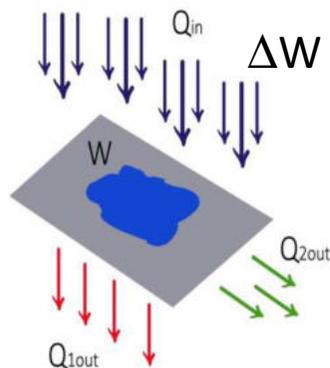
2-CA-800-2014-B
 Pendenza(%)-materiale-
 diametro(mm)- anno di
 nosa- acquebianche


 Superficie permeabili
 parcheggi


 Edifici con tetti
 giardino


 superfici drenate su
 invasi di laminazione


 Asse condotta
 privata



$$\Delta W = Q_{in}(t) \cdot \Delta t - Q_{out1}(t) \cdot \Delta t - Q_{out2}(t) \cdot \Delta t \rightarrow$$

REGIONE LOMBARDIA

ΔW = volume d'acqua che rimane nel bacino;
 $Q_{in}(t)$ = portata afflussi;
 $Q_{out1}(t)$ = portata defluita per infiltrazione;
 $Q_{out2}(t)$ = portata defluita per ruscellamento.

$$\Delta W = \Delta t \cdot S_{imp} \cdot \varphi \cdot \left[\frac{i \cdot 10^{-3}}{3600} - \left(K_s \cdot \frac{S_{inf}}{S_{imp} \cdot \varphi} + U_{lim} \cdot 10^{-7} \right) \right] = 1567.52 m^3$$

$\Delta t=3600s$; $S_{imp}=3936.2m^2$; $S_{perm}=148241.87m^2$; $i=47.1588mm/h$; $K_s=10^{-8}m/s$; $U_{lim}=20l/sha$.
 Δt = intervallo di tempo; S_{imp} = superfici con coeff. deflusso>0.5; S_{perm} = superfici con coeff. deflusso<0.5; i =intensità di pioggia;
 K_s = coefficiente di permeabilità del terreno che nel nostro caso è di natura argillosa; U_{lim} = coefficiente udometrico limite.

$$\varphi = 0.2 \cdot per + 0.9 \cdot imp = 0.347$$

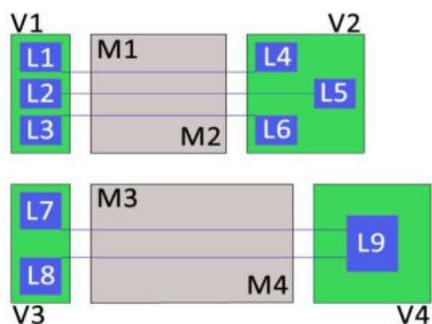
$$\varphi_0 = 0.2 \cdot per_0 + 0.9 \cdot imp_0 = 0.2$$

$$W = W_0 \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - W_0 \cdot P = 119.11 m^3/ha$$

$$W_{tot} = W \cdot Sup_{tot} = 2234.5 m^3$$

AUTORITÀ DEI BACINI ROMAGNOLI

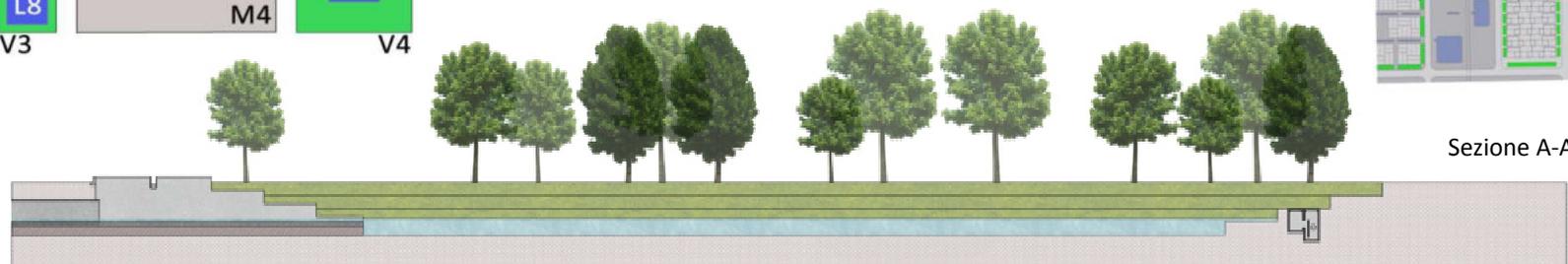
W =volume per ettaro da laminare;
 W_0 =volume invasi specifici ante opera, si assume $50m^3/ha$;
 φ = coefficiente deflusso post opera;
 φ_0 = coefficiente deflusso ante opera; n = si assume 0.48;
 I = % terreno che ha subito trasformazioni;
 P = % terreno che non ha subito trasformazioni;
 per_0 =terreno ante opera, con coeff. deflusso<0.5;
 imp_0 = terreno ante opera, con con coeff. deflusso>0.5;
 per = terreno post opera, con coeff. deflusso<0.5;
 imp = terreno post opera, con con coeff. deflusso>0.5;



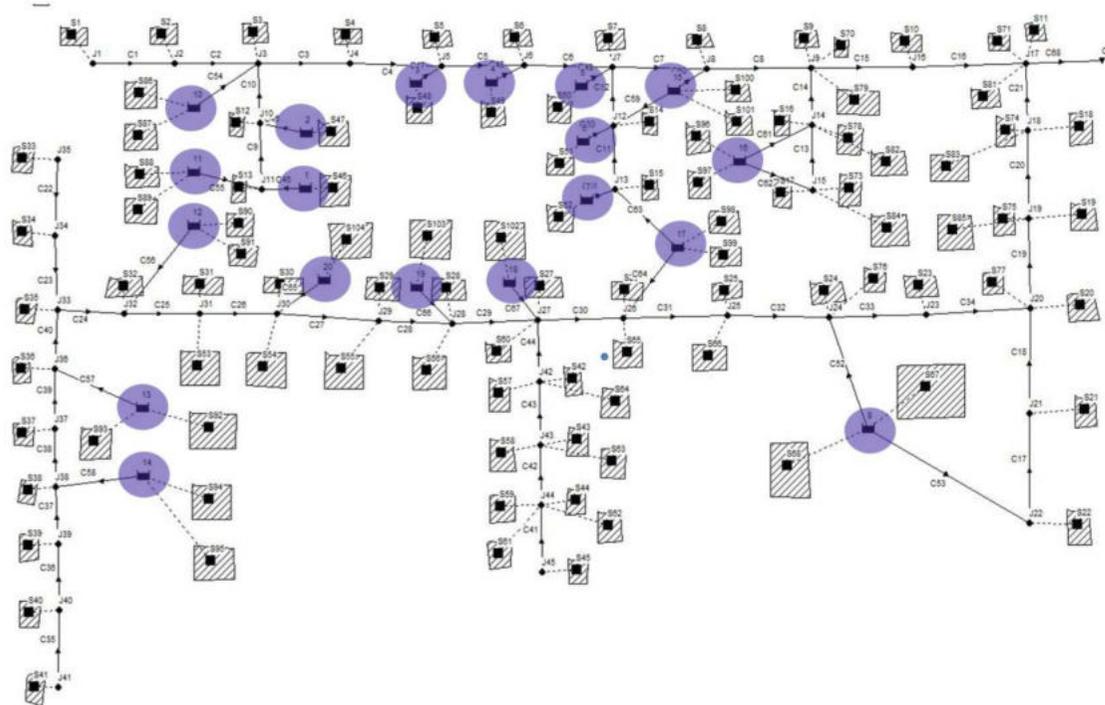
QUADRO RIASSUNTIVO

	V1			V2			V3	V4		
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	tot:
Wtot [m³]:	168,8	169,1	143,7	228,2	211,5	228,2	253,7	245,6	582,8	2232,2

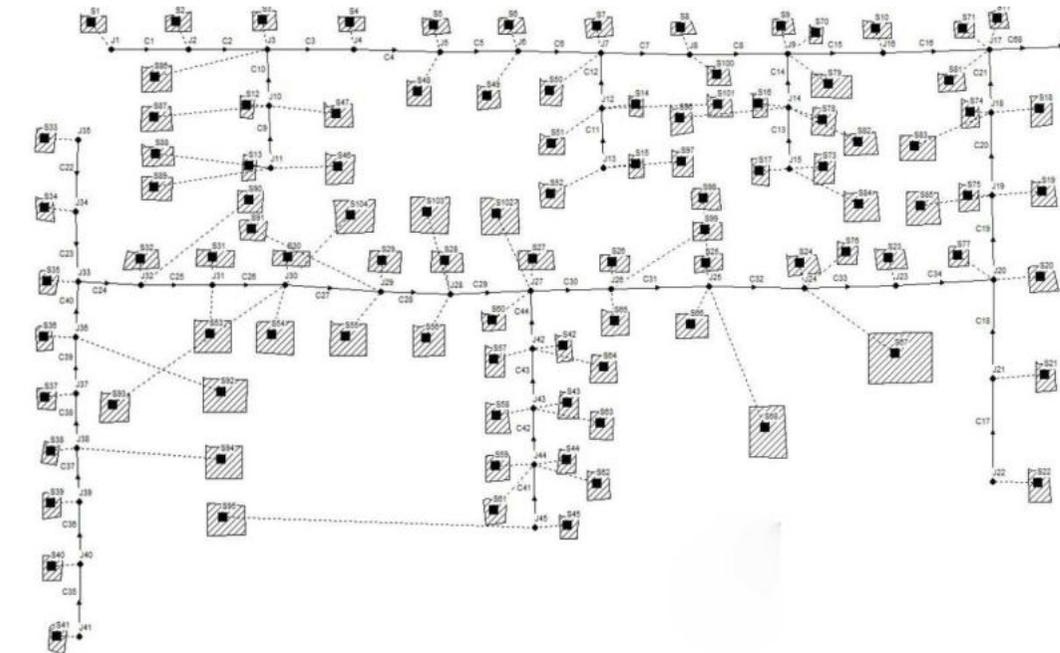
Tabella riassuntiva con distribuzione dei volumi di laminazione.



Sezione A-A'



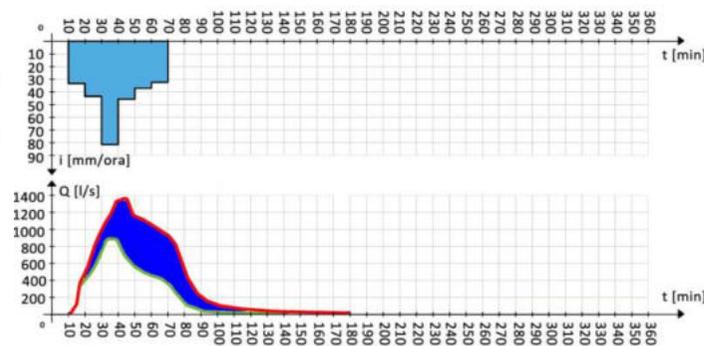
SWMM.5
Modello del progetto con le tecnologie per il perseguimento dell'invarianza idraulica.



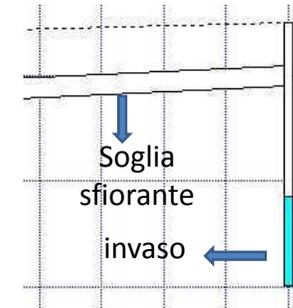
Modello del progetto senza le tecnologie per il perseguimento dell'invarianza idraulica.



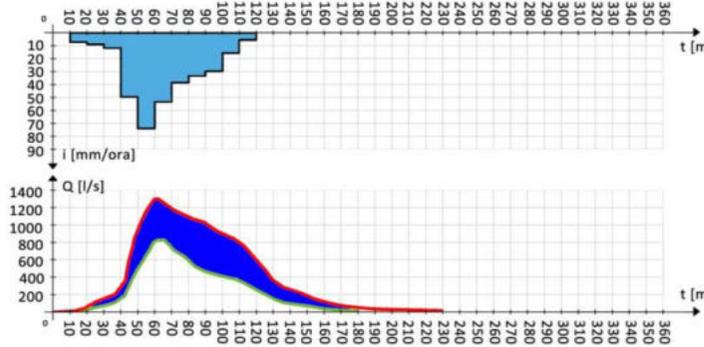
IETOGRAMMA CHICAGO 1 ORA - IDROGRAMMA CANALE EMISSARIO



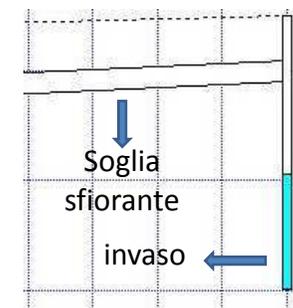
	con laminazione	senza laminazione
t [ore]	Q [l/s]	Q [l/s]
0	0,00	0,00
1	486,05	1043,67
2	8,08	45,05
3	1,23	7,70
4	0,40	2,23
5	0,19	1,02
6	0,10	0,51



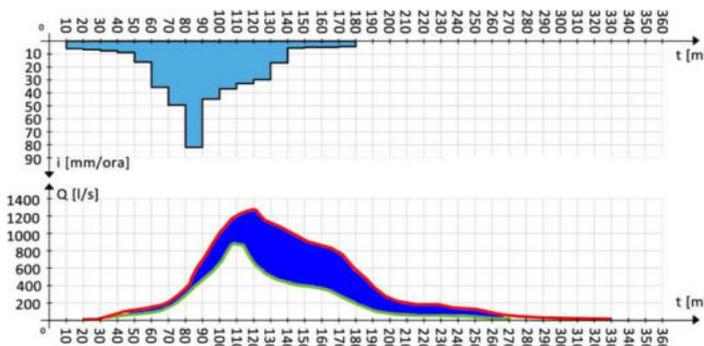
IETOGRAMMA CHICAGO 2 ORE - IDROGRAMMA CANALE EMISSARIO



	con laminazione	senza laminazione
t [ore]	Q [l/s]	Q [l/s]
0	0,00	0,00
1	837,33	1341,21
2	152,01	365,55
3	4,57	29,58
4	1,00	5,07
5	0,35	1,78
6	0,17	0,84



IETOGRAMMA CHICAGO 3 ORE - IDROGRAMMA CANALE EMISSARIO



	con laminazione	senza laminazione
t [ore]	Q [l/s]	Q [l/s]
0	0,00	0,00
1	194,31	262,13
2	384,86	895,05
3	53,66	154,87
4	3,94	19,32
5	0,82	3,64
6	0,00	1,48



- Area ietogramma
- Differenza volume
- Idrogramma senza invarianza
- Idrogramma con invarianza

OSSERVAZIONI SULLE TECNOLOGIE ADOTTATE:

→ FORTE RIDUZIONE VOLUME DI DEFLUSSO

→ NON SI VERIFICA IL FENOMENO DI RALLENTAMENTO DELLA PIENA