

# **Gestione sostenibile delle acque di drenaggio urbano**

## **L'invarianza idraulica e idrologica nella progettazione di nuovi interventi e per l'adeguamento dell'esistente**

**Prof. Ing. Sergio Papiri**

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura**

**Università degli Studi di Pavia**

*Via Ferrata, 1 - 27100 - Pavia*

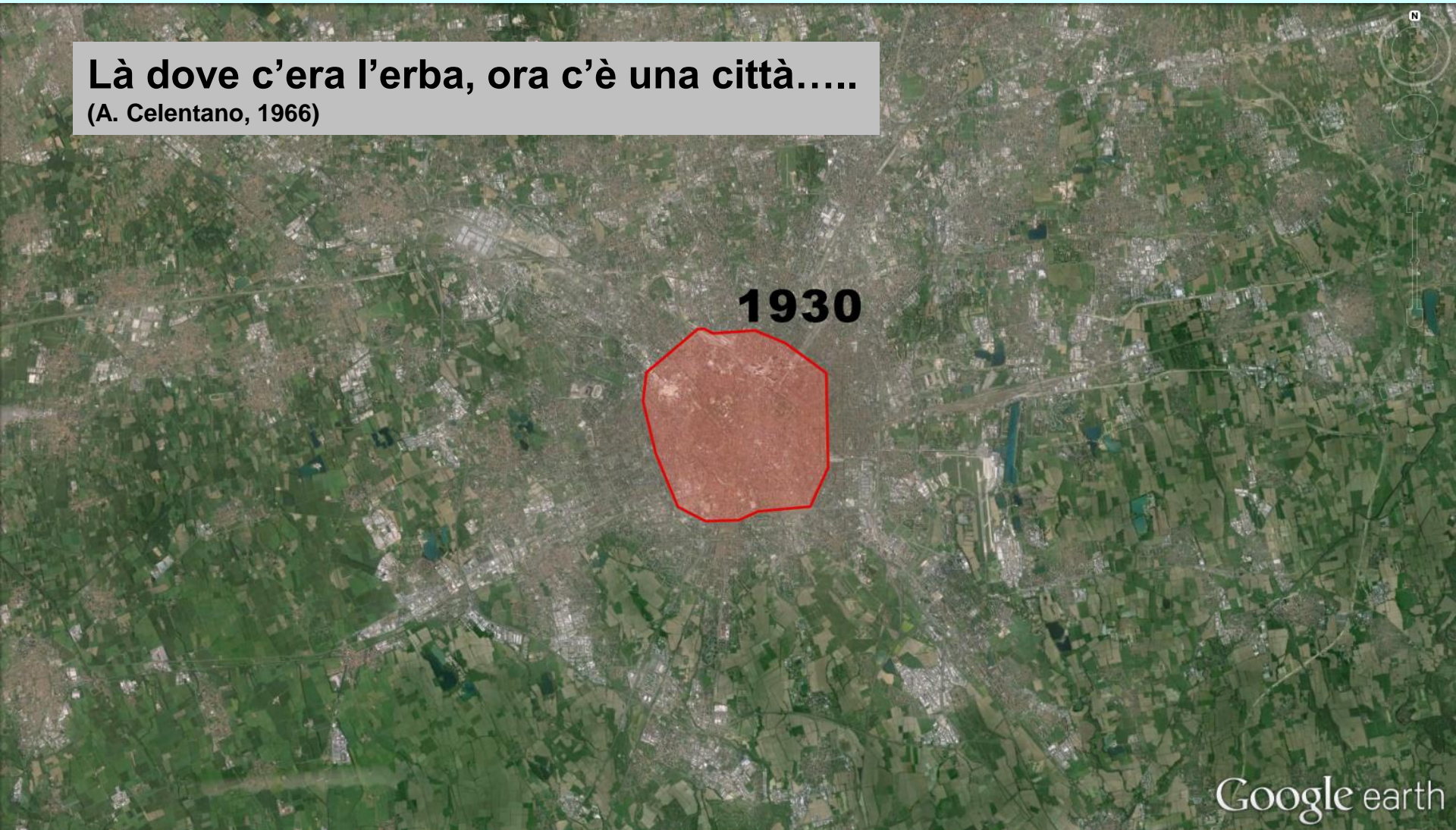
*[papiri@unipv.it](mailto:papiri@unipv.it)*

**(slides presentate dal Prof. Ing. Carlo Ciaponi)**

# Crescita enorme dell'urbanizzazione: il caso di Milano

**Là dove c'era l'erba, ora c'è una città.....**

(A. Celentano, 1966)



# Esempio di sviluppo urbanistico



**Area EXPO prima dei lavori  
(ISPRA, 2015)**



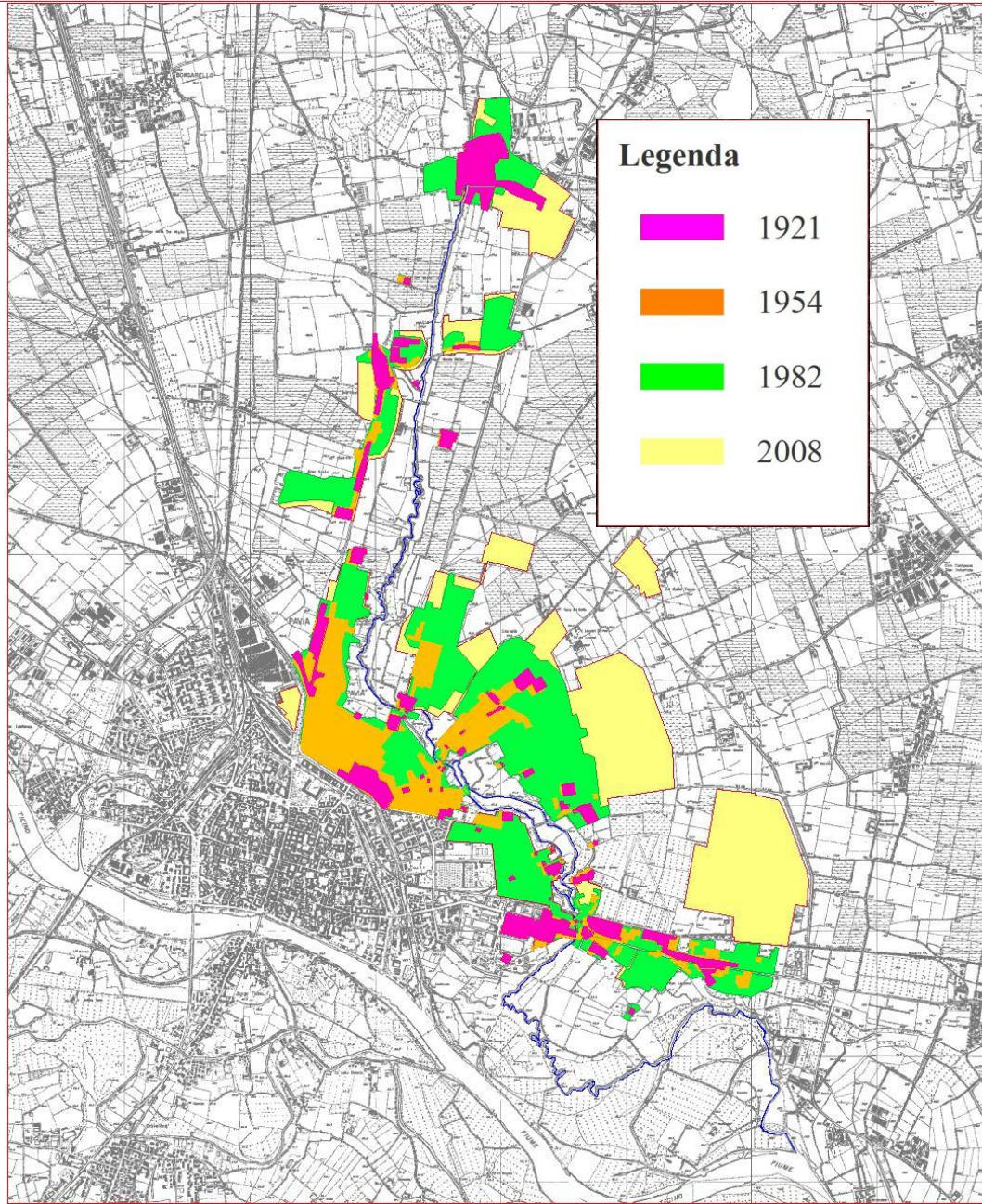
**Area EXPO a fine lavori**

## **Estensione dell'urbanizzazione nel quartiere Arcella di Padova dal 1945 al 2000**



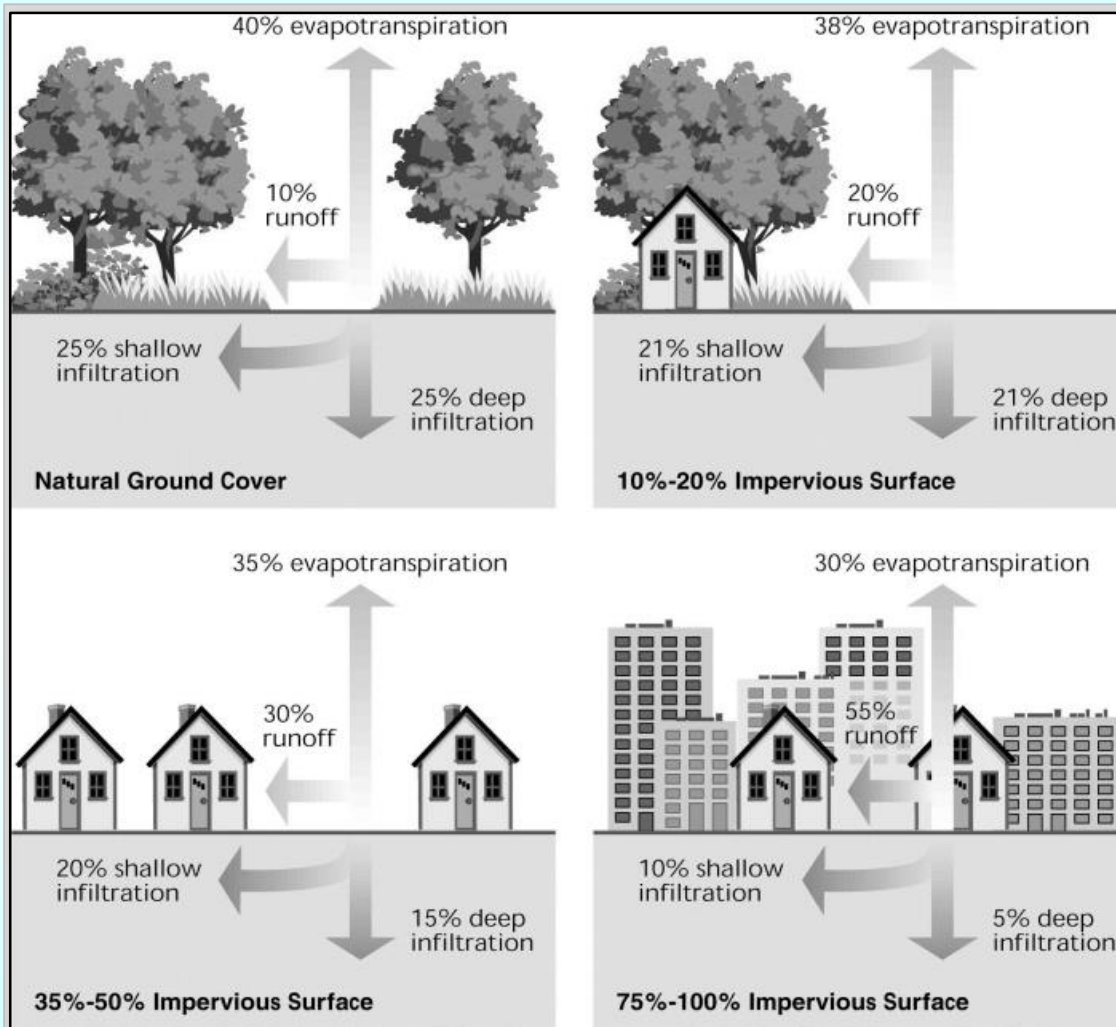
# Pavia e la roggia Vernavola

## EVOLUZIONE URBANISTICA



# Effetti dell'urbanizzazione sull'idrologia dei bacini

## Alterazione dell'idrologia naturale



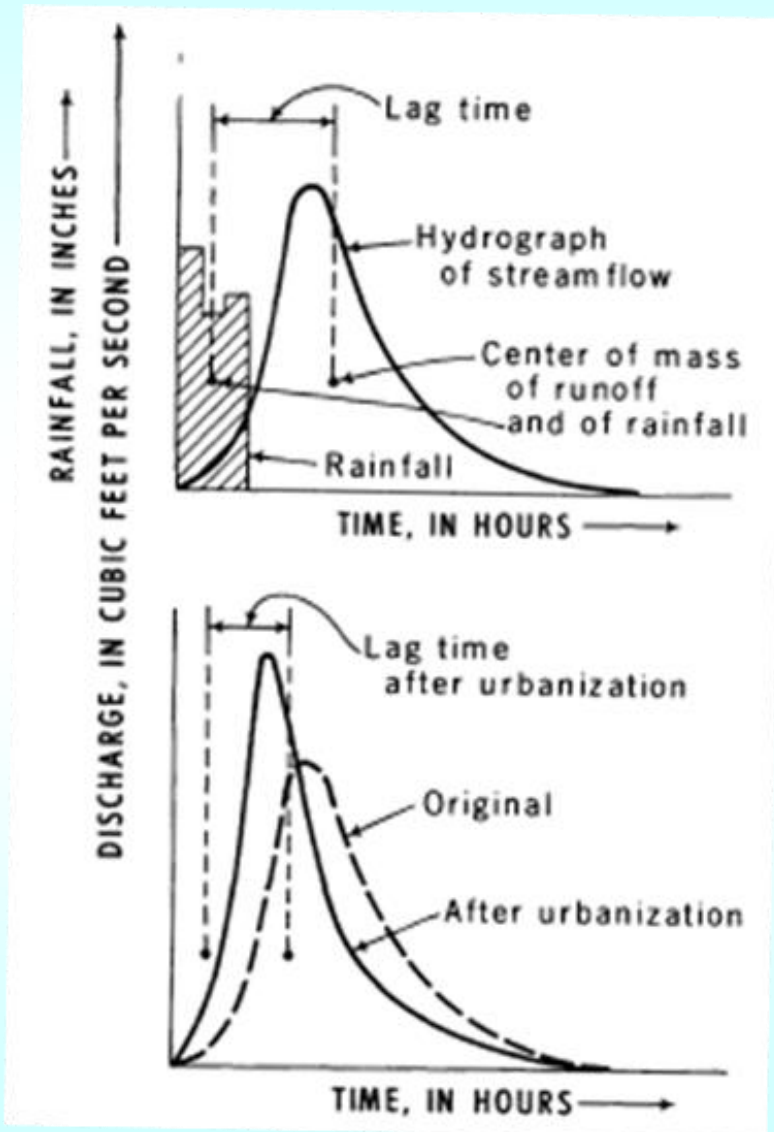
Ripreso da una slide di G. La Loggia (2012)

**N.B. I numeri riportati nelle figure sono da intendersi puramente indicativi**

## Impatto negativo dell'urbanizzazione:

- Riduzione aree permeabili
  - Riduzione aree vegetate
  - Riduzione invasi superficiali
- ↓
- **Minore infiltrazione**
  - **Minore evapotraspirazione**
  - **Maggiori deflussi superficiali**
  - **Minore ricarica delle falde**
  - **Maggiore inquinamento dei deflussi**
- ↓
- Superfici artificiali regolari
  - Implementazione di reti drenanti artificiali
- ↓
- **Riduzione dei tempi di corrivazione**
  - **Aumento delle portate al colmo**

# Effetti dell'urbanizzazione sui deflussi superficiali (alterazione della risposta del bacino)



## Cause:

Riduzione tempi di corrivazione  
Riduzione invasi

## Effetti:

Alterazione idrogramma  
- innalzamento picco  
- riduzione «lag time»

# Effetti dell'urbanizzazione sui deflussi superficiali (riduzione delle perdite idrologiche)

A parità di sollecitazione meteorica effettiva, si ha un incremento (rispetto alla situazione pre-esistente) dei volumi di deflusso e delle portate al colmo di piena nella sezione di chiusura.

## Cause:

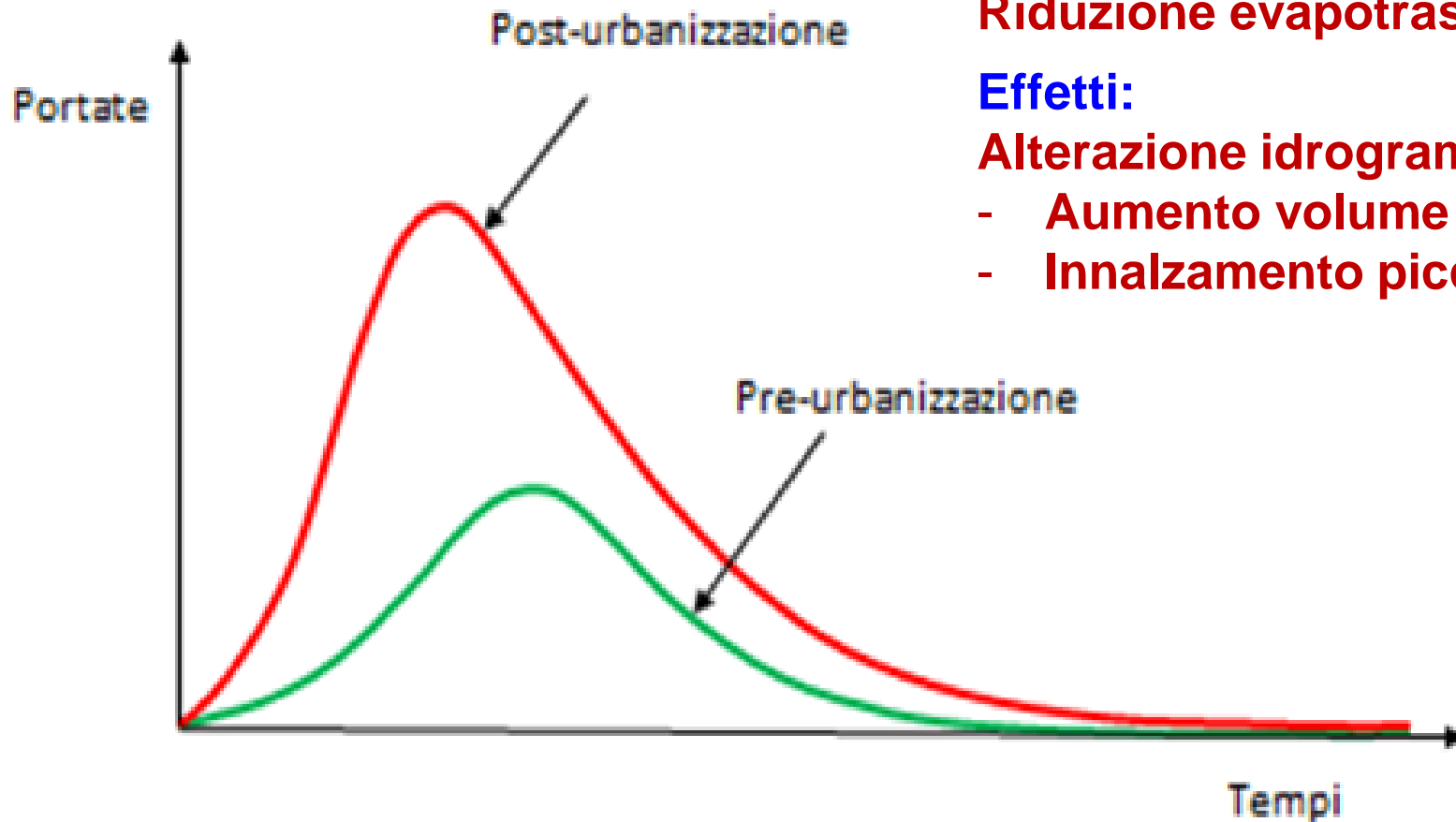
**Riduzione infiltrazione**

**Riduzione evapotraspirazione**

## Effetti:

**Alterazione idrogramma**

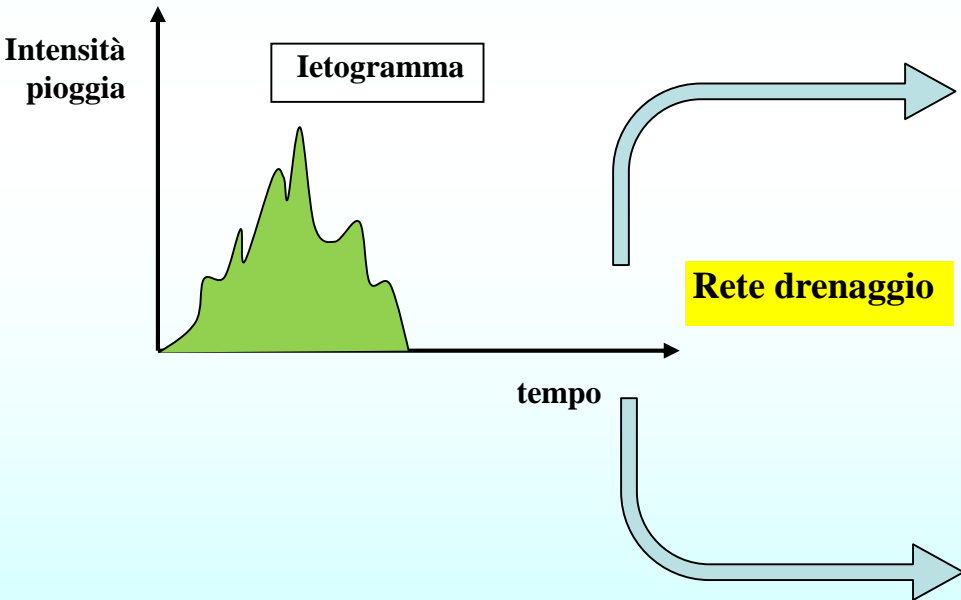
- **Aumento volume**
- **Innalzamento picco**





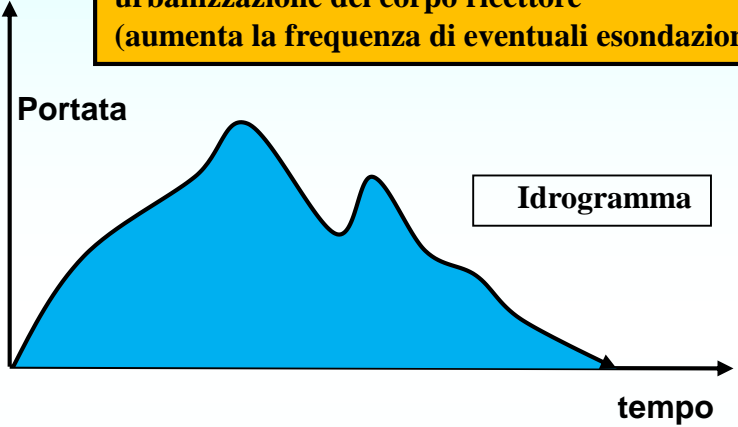
# Dupliche impatto sui corpi idrici ricettori fluenti creato dal deflusso meteorico di un'area urbanizzata

Precipitazione sul bacino urbanizzato

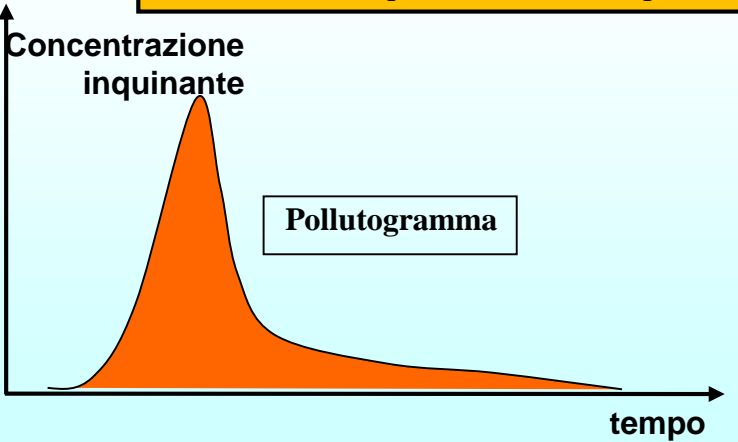


Nella sezione di scarico

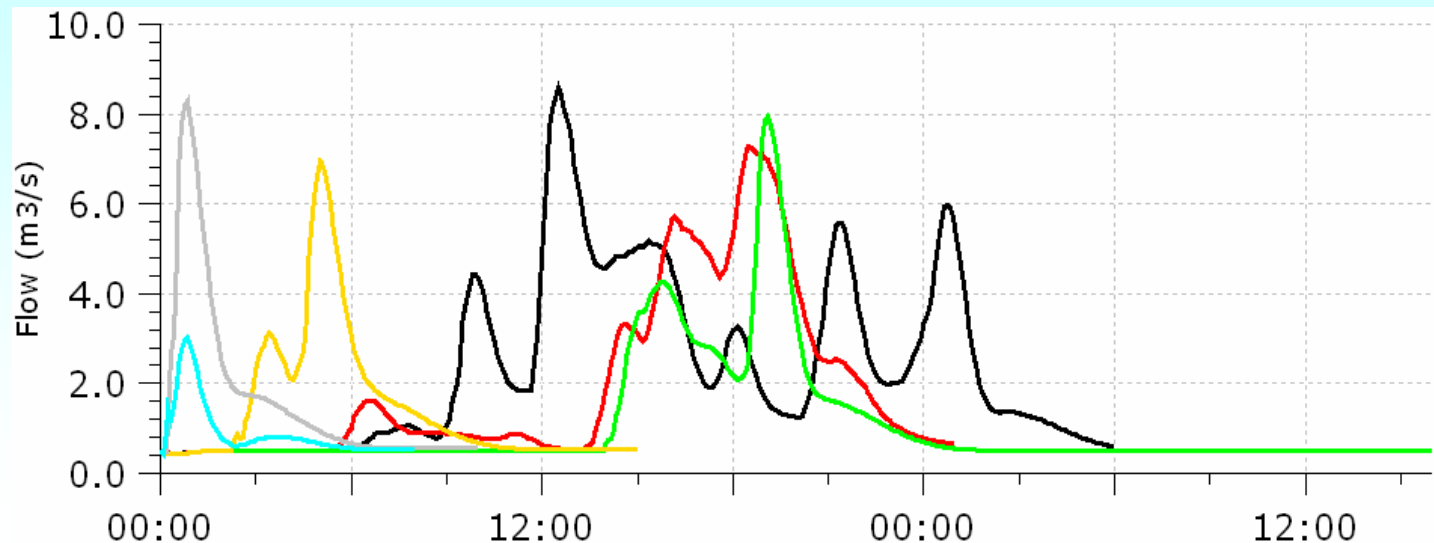
Altera la distribuzione delle portate pre-urbanizzazione del corpo ricettore (aumenta la frequenza di eventuali esondazioni)



Aumenta l'inquinamento del corpo ricettore



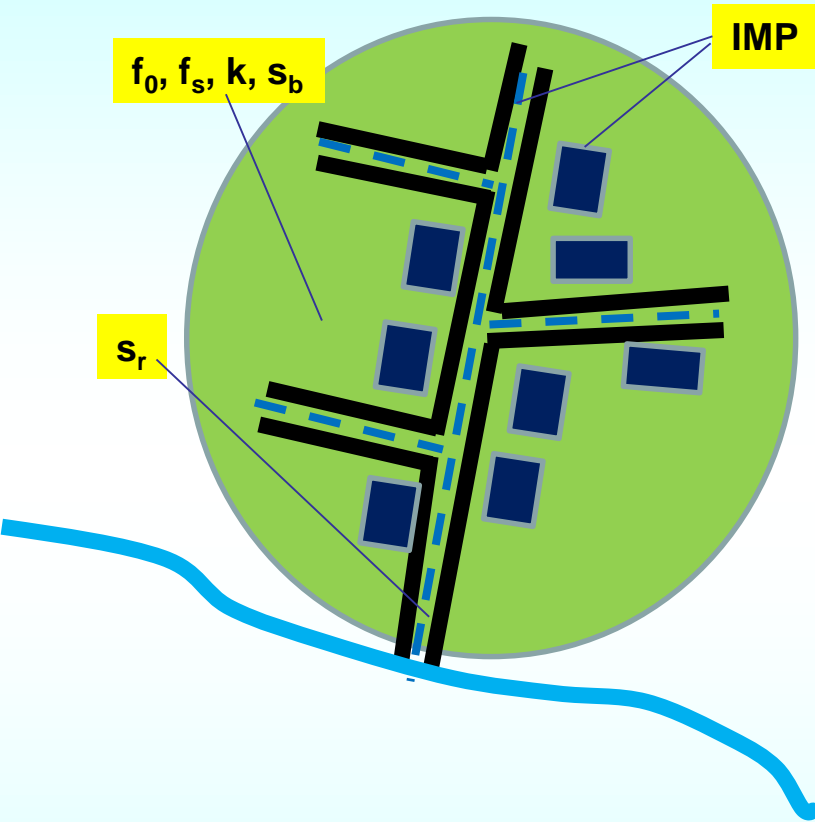
## ESEMPIO di impatto quantitativo: Roggia Vernavola (Pavia) Onde di piena a valle dell'attraversamento di Viale Cremona



Evento	Altezza totale [mm]	Durata [h]	$I_{\max}$ 1' [mm/min]	Picco di Q [m <sup>3</sup> /s]	Colore identificativo dell'evento
02/08/06	69,3	22,6	0,79	6,93	Yellow
12/08/06	8,6	1,5	1,45	8,26	Grey
13/09/06	27,7	8,0	1,23	8,51	Black
24/09/06	22,0	1,5	1,99	7,27	Red
03/05/07	103,6	25,6	1,46	7,93	Green
05/05/07	41,0	20,5	1,21	2,99	Cyan

**Ing. Cav. Campari (1896): «Nelle massime piene la Vernaola può raggiungere 30 moduli italiani (3 m<sup>3</sup>/s) »**

## Principali parametri che condizionano i deflussi ( $Q_{max}$ ; $W$ )



### PARAMETRI:

- **IMP** = Grado di impermeabilizzazione  
 $IMP = A_{imp}/A_{tot}$
- $f_0; f_s; k$  = caratteristiche di permeabilità del suolo naturale (Formola di Horton)
- $s_b$  = pendenza media della superficie del bacino
- $s_r$  = pendenza media della rete di drenaggio

Per un bacino di data forma ed estensione e per un dato evento meteorico:

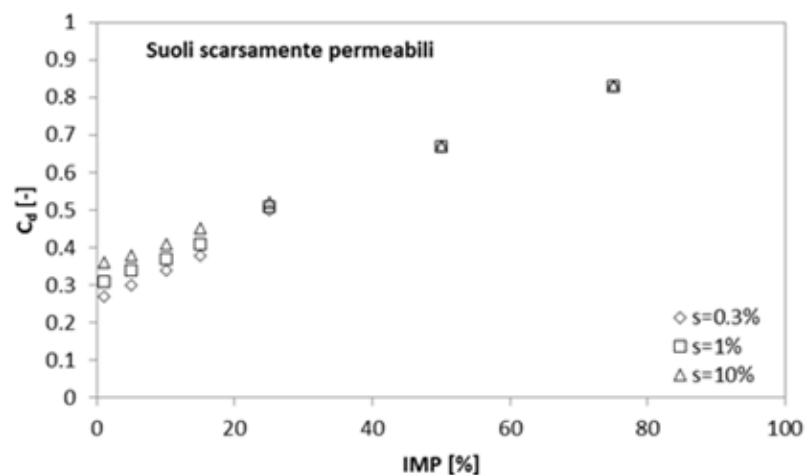
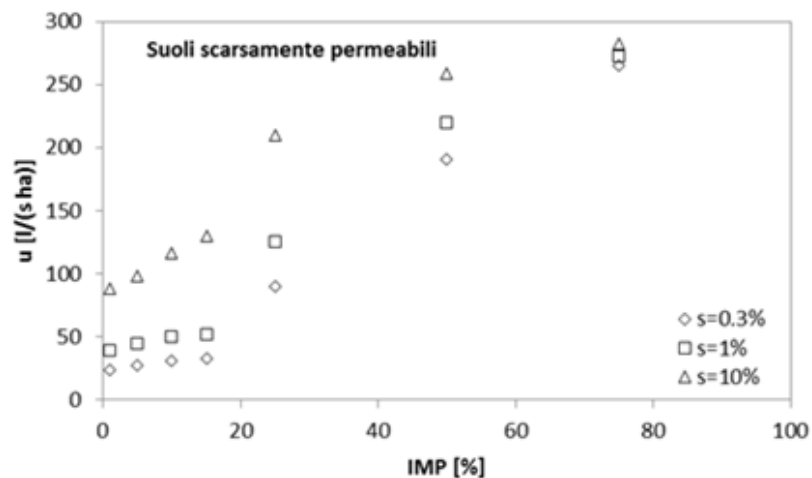
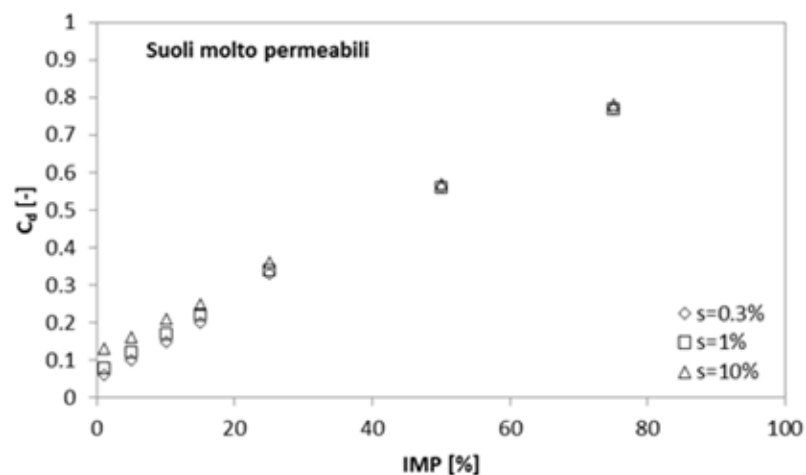
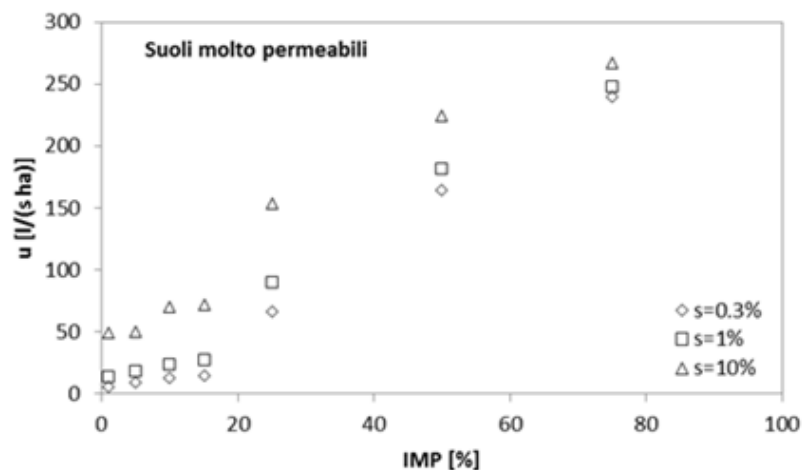
$$W = f (IMP, f_0, f_s, k, s_b)$$

$$Q_{max} = f (IMP, f_0, f_s, k, s_b, s_r)$$

# Coefficienti udometrici e coefficienti di deflusso al variare di IMP, della permeabilità del suolo originario e della pendenza del bacino

Superficie del bacino simulato con lo SWMM: 100 ha

(Tesi di dottorato di G. Anselmo - Relatore S. Papiri)



# Sensibilità di un bacino allo sviluppo urbanistico in termini di portata di picco

(coefficienti udometrici normalizzati rispetto alla situazione originaria assunta caratterizzata da  $IMP=5\%$ )

(Tesi di dottorato di G. Anselmo - Relatore S. Papiri)

Coefficienti udometrici normalizzati $u_{IMP}/u_{IMP5}$										
IMP/IMP <sub>5</sub>		Suoli molto permeabili			Suoli mediamente permeabili			Suoli scarsamente permeabili		
		s=0.3%	s=1%	s=10%	s=0.3%	s=1%	s=10%	s=0.3%	s=1%	s=10%
<b>IMP</b>	[-]									
<b>5%</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1.36	1.28	1.41	1.18	1.15	1.24	1.13	1.11	1.18
	3	1.58	1.47	1.43	1.26	1.22	1.39	1.18	1.15	1.33
	5	7.05	4.86	3.08	4.33	3.32	2.31	3.28	2.79	2.14
<b>50%</b>	10	17.40	9.74	4.50	9.67	6.12	2.93	6.92	4.89	2.64
	15	25.33	13.35	5.36	13.19	7.67	3.25	9.64	6.05	2.88

# Sensibilità di un bacino allo sviluppo urbanistico in termini di volume di deflusso

(volumi di deflusso normalizzati rispetto alla situazione originaria assunta caratterizzata da IMP= 5%)

(Tesi di dottorato di G. Anselmo - Relatore S. Papiri)

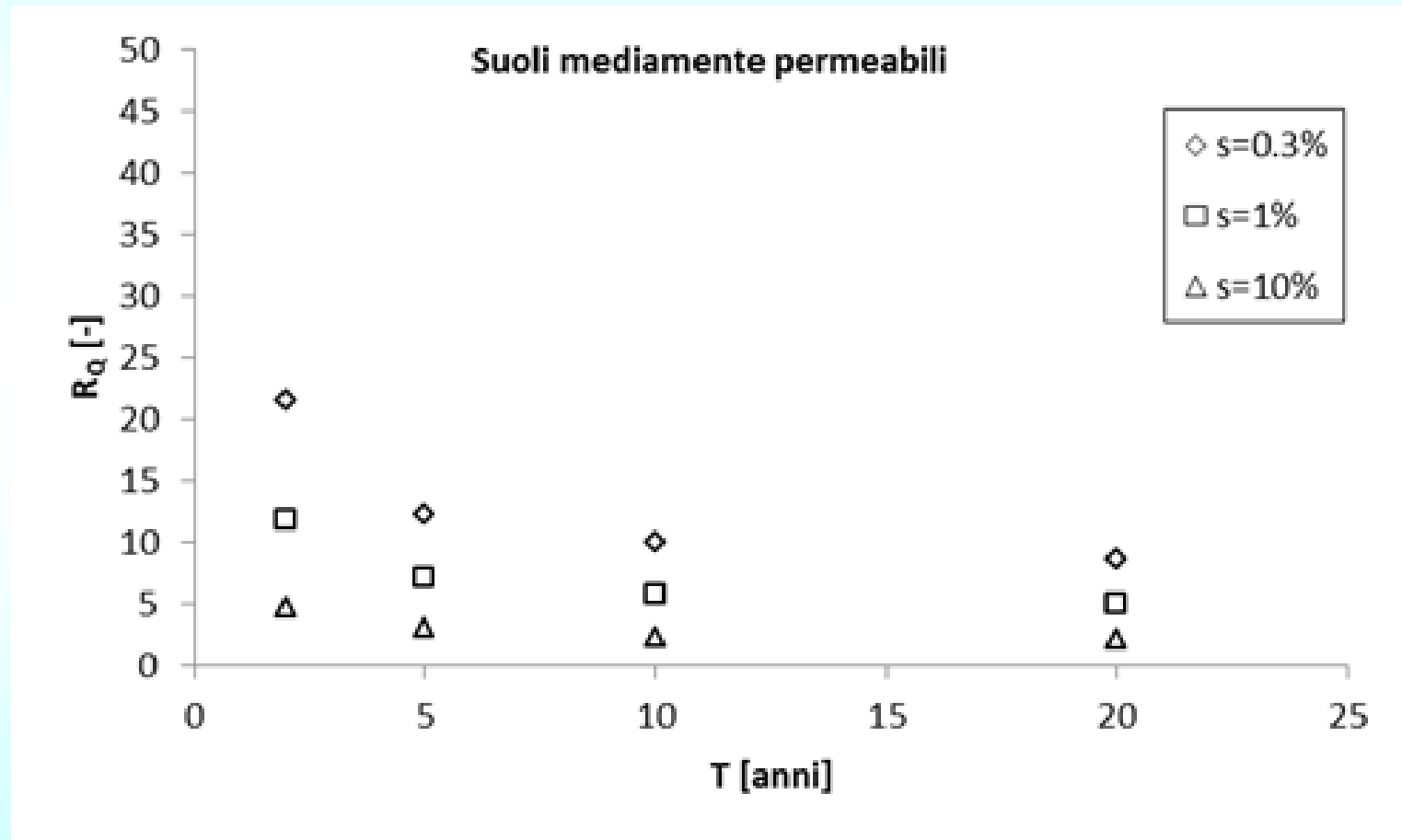
Volumi di deflusso normalizzati  $V_{IMP}/V_{IMP5}$

IMP/IMP <sub>5</sub>	Suoli molto permeabili			Suoli mediamente permeabili			Suoli scarsamente permeabili		
	s=0.3%	s=1%	s=10%	s=0.3%	s=1%	s=10%	s=0.3%	s=1%	s=10%
[-]									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1.49	1.39	1.27	1.26	1.21	1.15	1.13	1.11	1.09
3	1.97	1.78	1.55	1.52	1.41	1.30	1.27	1.22	1.17
5	3.28	2.83	2.22	2.30	2.00	1.67	1.68	1.52	1.36
10	5.61	4.68	3.52	3.48	2.94	2.37	2.24	1.99	1.77
15	7.78	6.42	4.77	4.55	3.81	3.04	2.77	2.45	2.17

# Sensibilità di un bacino allo sviluppo urbanistico

## Dipendenza dal tempo di ritorno dell'evento di progetto

(Tesi di dottorato di G. Anselmo - Relatore S. Papiri)



$$R_v = Q_{\max 75\%} / Q_{\max 5\%}$$

## **NECESSITA'**

**STRATEGIE DI CONTROLLO** per attenuare gli impatti negativi sui corpi ricettori in relazione agli scarichi delle acque meteoriche conseguenti alle nuove urbanizzazioni

### **OBIETTIVI DEL CONTROLLO QUANTITATIVO:**

**Impedire l'incremento del rischio idraulico conseguente all'urbanizzazione (evitare l'alterazione della distribuzione probabilistica delle portate del ricettore rispetto alla situazione pre-urbanizzazione) attraverso:**

- riduzione dei valori massimi delle portate scaricate (anche attraverso la riduzione dei volumi scaricati)

**Attenuare l'alterazione del ciclo idrologico naturale operata dalla trasformazione del suolo** attraverso:

- mantenimento, per quanto possibile, dell'infiltrazione ai valori pre-urbanizzazione



# Le norme della Regione Lombardia

Per conseguire questi obiettivi, la Regione Lombardia ha emanato le seguenti leggi:

- **Legge Regionale 28 novembre 2014, n. 31**

*Disposizioni per la riduzione del consumo di suolo e la riqualificazione del suolo degradato*

L'obiettivo prioritario di riduzione del consumo di suolo si concretizza nell'**orientare le attività di trasformazioni urbanistico-edilizie non più verso le aree libere ma verso le aree già urbanizzate**, degradate o dismesse, da riqualificare o rigenerare.

- **Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4**

*Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua*

La legge ha come **scopo** la tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di **mettere in sicurezza il territorio e di intervenire sull'attenuazione del livello di rischio idrogeologico**.

# Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4

## Art. 7

*(Invarianza idraulica, invarianza idrologica e drenaggio urbano sostenibile. Modifiche alla l.r. 12/2005)*

### **Stabilisce che**

**al fine di prevenire e di mitigare i fenomeni di esondazione e di dissesto idrogeologico provocati dall'incremento dell'impermeabilizzazione dei suoli nelle trasformazioni territoriali si adottino i principi di:**

- **invarianza idraulica**
- **Invarianza idrologica**
- **drenaggio urbano sostenibile**

-----  
**Operatività della Legge**

**REGOLAMENTO ATTUATIVO** (Criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica .....)

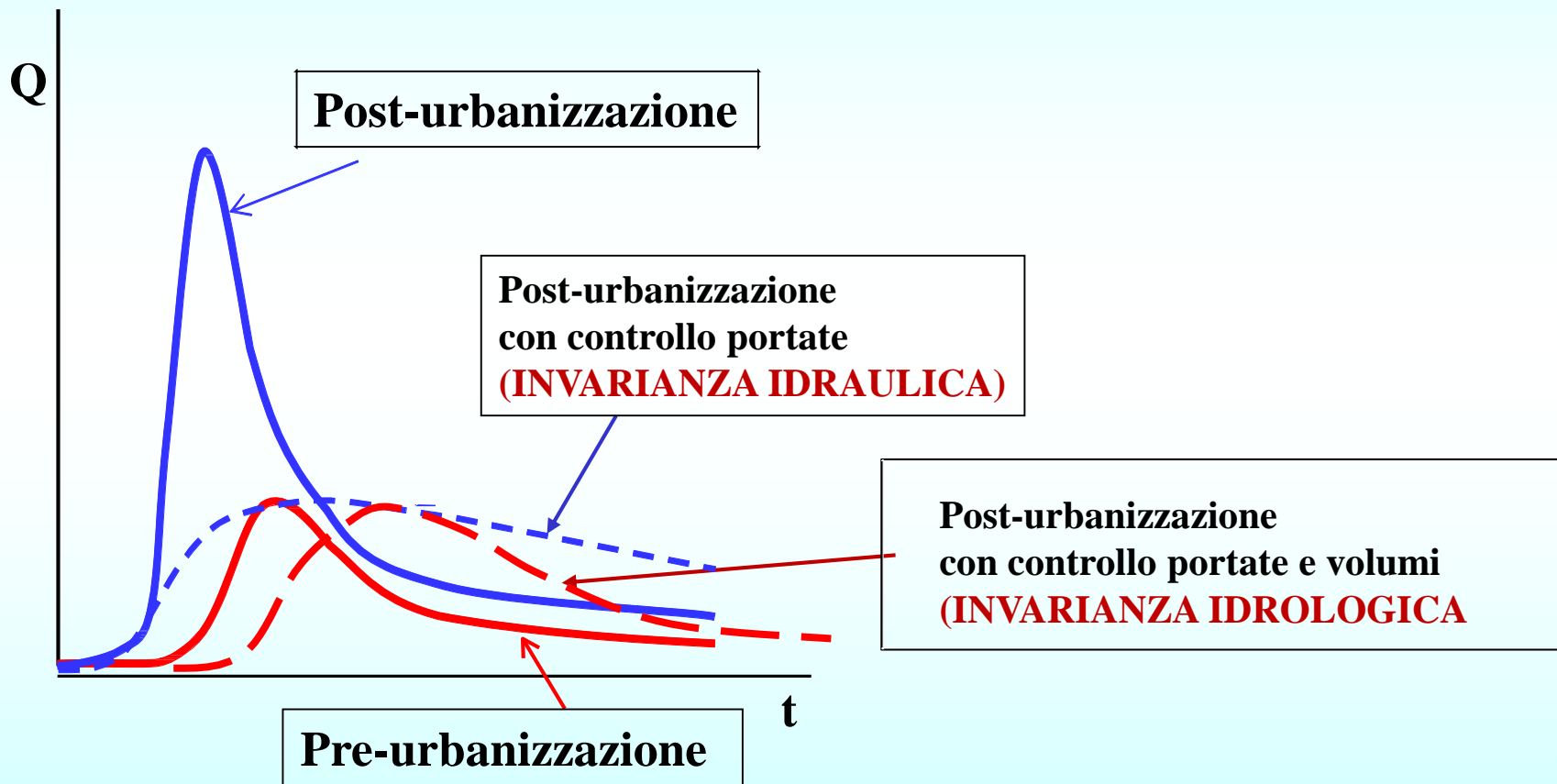
Approvato dalla Giunta Regionale il 30/06/2017

# Invarianza idraulica, invarianza idrologica e drenaggio urbano sostenibile

Ai fini della L.R. n° 4/2016 si intende per:

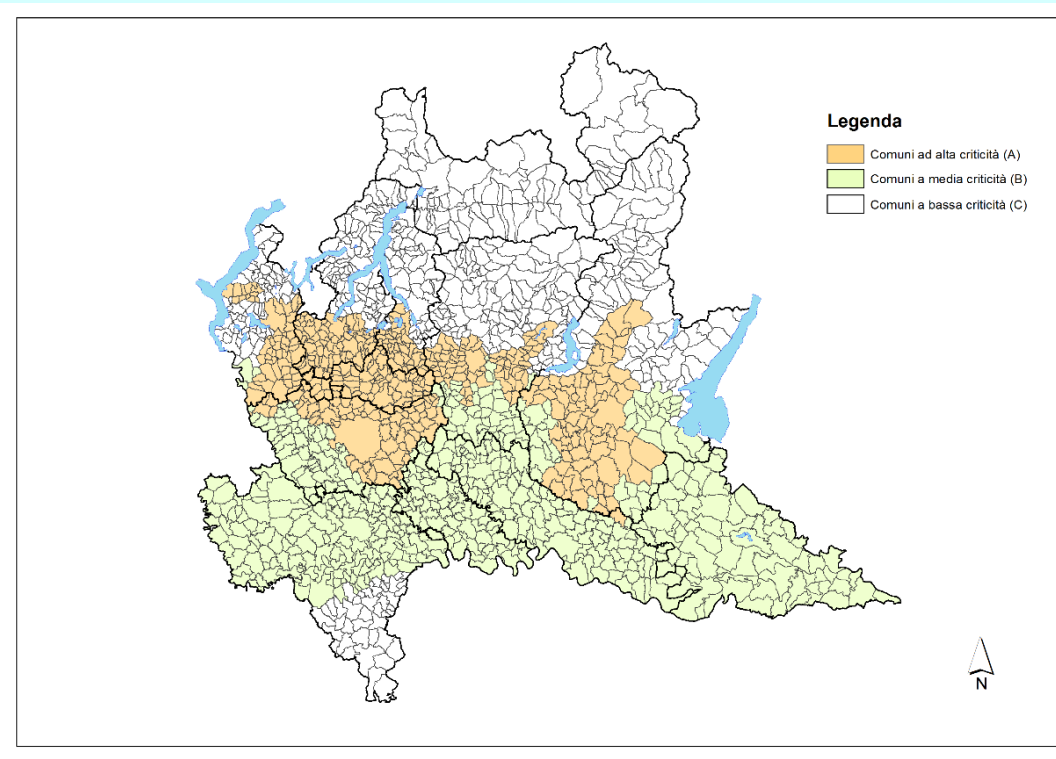
- a) **invarianza idraulica:** principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;
  
- b) **invarianza idrologica:** principio in base al quale non solo le portate, ma anche i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;
  
- a) **drenaggio urbano sostenibile:** sistema di gestione delle acque meteoriche urbane, costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo alla sorgente delle acque meteoriche e a ridurre il degrado qualitativo delle acque.

# Principi di invarianza idraulica e idrologica



# Regolamento Regionale

traduzione dei principi di invarianza idraulica e idrologica in adempimenti operativi



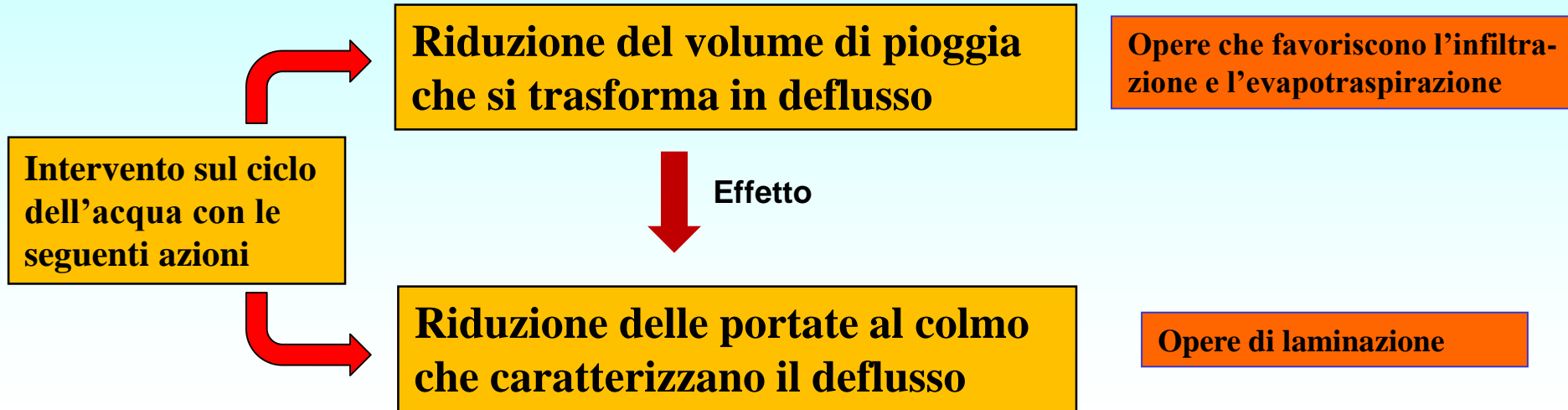
## Valori ammissibili della portata scaricabile nei ricettori

Comuni ad alta criticità idraulica (A) ..... $Q_i = 10 \text{ L/(s ha}_{imp})$

Comuni a media criticità idraulica (B)..... $Q_i = 20 \text{ L/(s ha}_{imp})$

Comuni a bassa criticità idraulica (C) ..... $Q_i = 20 \text{ L/(s ha}_{imp})$

# Come si fa a rispettare i valori limite allo scarico ? (vedi Regolamento regionale)



**OPERE DI LAMINAZIONE**  
semplice spianamento dell'idrogramma



**Riduzione delle portate al colmo**



**INVARIANZA IDRAULICA**

**OPERE DI INFILTRAZIONE**  
ripristino dell'idrologia naturale



**Riduzione volume deflusso**  
(si ottiene anche una riduzione delle portate al colmo)



**INVARIANZA IDROLOGICA**

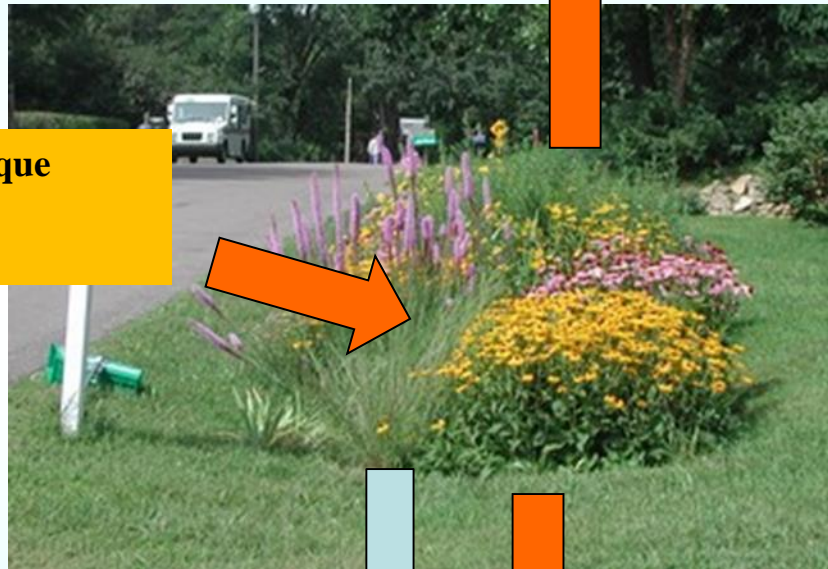
**N.B. alcune opere producono entrambi gli effetti**

# Sistemi di infiltrazione (scarichi sul suolo)

**Scopo:** immissione delle acque meteoriche negli strati superficiali del suolo così da favorire lo smaltimento:

- in atmosfera (evapotraspirazione)
- in profondità (percolazione)

Scarico sul suolo di acque provenienti da aree impermeabili



Smaltimento in atmosfera (evapotraspirazione)

N.B.  
Capacità di infiltrazione:  
2 – 20 mm/h  
  
Intensità di pioggia:  
fino a 200 mm/h

Azione di depurazione naturale (filtrazione, adsorbimento, degradazione biologica)

Smaltimento negli strati profondi del suolo (percolazione)

## ASPETTO CONTROVERSO

Infiltrazione consigliata:

SI: acque relativamente pulite (tetti)

NO: acque cariche (strade alto traffico; parcheggi importanti; aree industriali,..)

NO: in aree di rispetto di fonti di approvvigionamento idropotabile

# Sistemi di infiltrazione (scarichi sul suolo)

## Aspetti problematici

- *L'inquinamento è trasferito dai corpi idrici superficiali al suolo e ai corpi idrici sotterranei. Attenzione alla provenienza delle acque:*
  - *OK per sistemi "on site" adibiti allo smaltimento di acque "sicure"*
  - *cautela per sistemi generalizzati e centralizzati*
- *Capacità di infiltrazione minore dell'intensità di pioggia nei momenti di picco*
- *Talvolta i suoli presentano caratteristiche di scarsa permeabilità che non consentono l'adozione dei sistemi di infiltrazione*
- *Progressiva riduzione dell'efficacia dei sistemi di infiltrazione per via dell'occlusione delle porosità ad opera dei sedimenti veicolati dall'acqua e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno*
- *Aumento della probabilità di fenomeni di allagamento locali*
- *Problemi gestionali: recupero della capacità di infiltrazione e smaltimento dei materiali e sedimenti raccolti nelle strutture di infiltrazione (a cura e a spese dei cittadini)*



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**



**Ticino in piena- maggio 2013**