

UTR Città Metropolitana - Coord. UTR - C.R.O.I.L.

“La gestione integrata delle acque”

***Gestione sostenibile delle acque di drenaggio urbano
(novembre 2017)***

***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

Esempio di sviluppo urbanistico



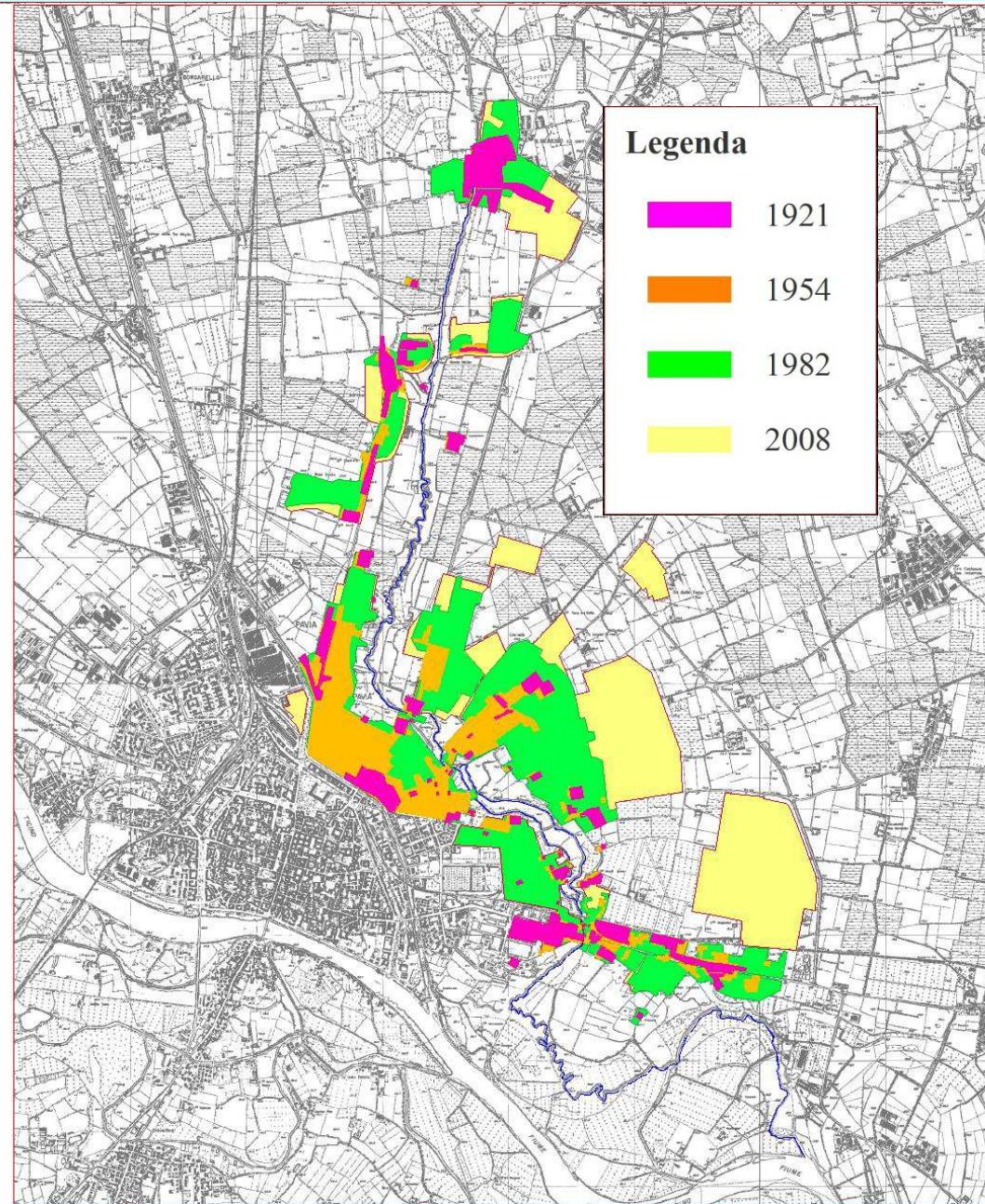
**Area EXPO prima dei lavori
(ISPRA, 2015)**



Area EXPO a fine lavori

Pavia e la roggia Vernavola

EVOLUZIONE URBANISTICA NEL '900

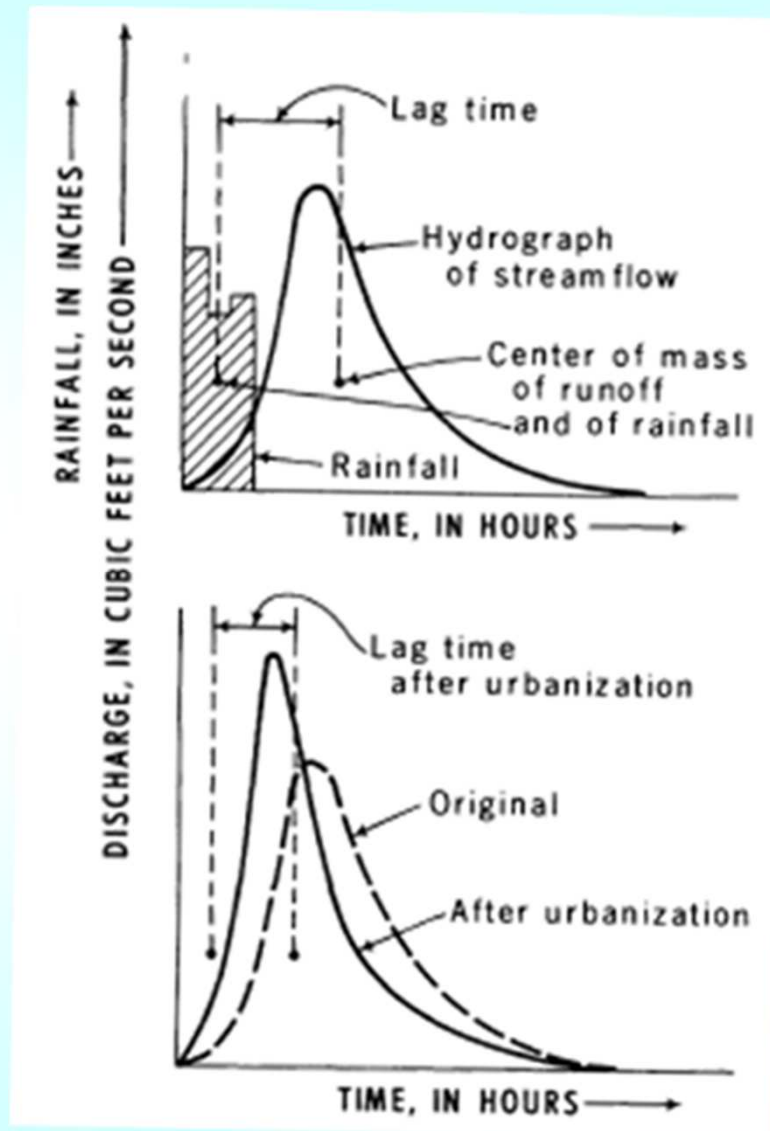


Effetti idrologici e idraulici dello sviluppo urbanistico

- **Impermeabilizzazione del suolo e, quindi, perdita di suolo permeabile disponibile al processo di infiltrazione;**
- **appianamento degli avvallamenti, con riduzione degli immagazzinamenti superficiali;**
- **implementazione di reti drenanti artificiali, con riduzione dei tempi di corrivazione.**

Ne consegue una modificazione dell'idrogramma unitario istantaneo del bacino (IUH), con aumento del picco e diminuzione del ritardo della risposta all'imput (rappresentato da una precipitazione netta di volume unitario) e, ancor più, una modificazione sostanziale dell'idrogramma di piena conseguente ad una precipitazione effettiva, a causa del sostanziale incremento della pioggia netta associata.

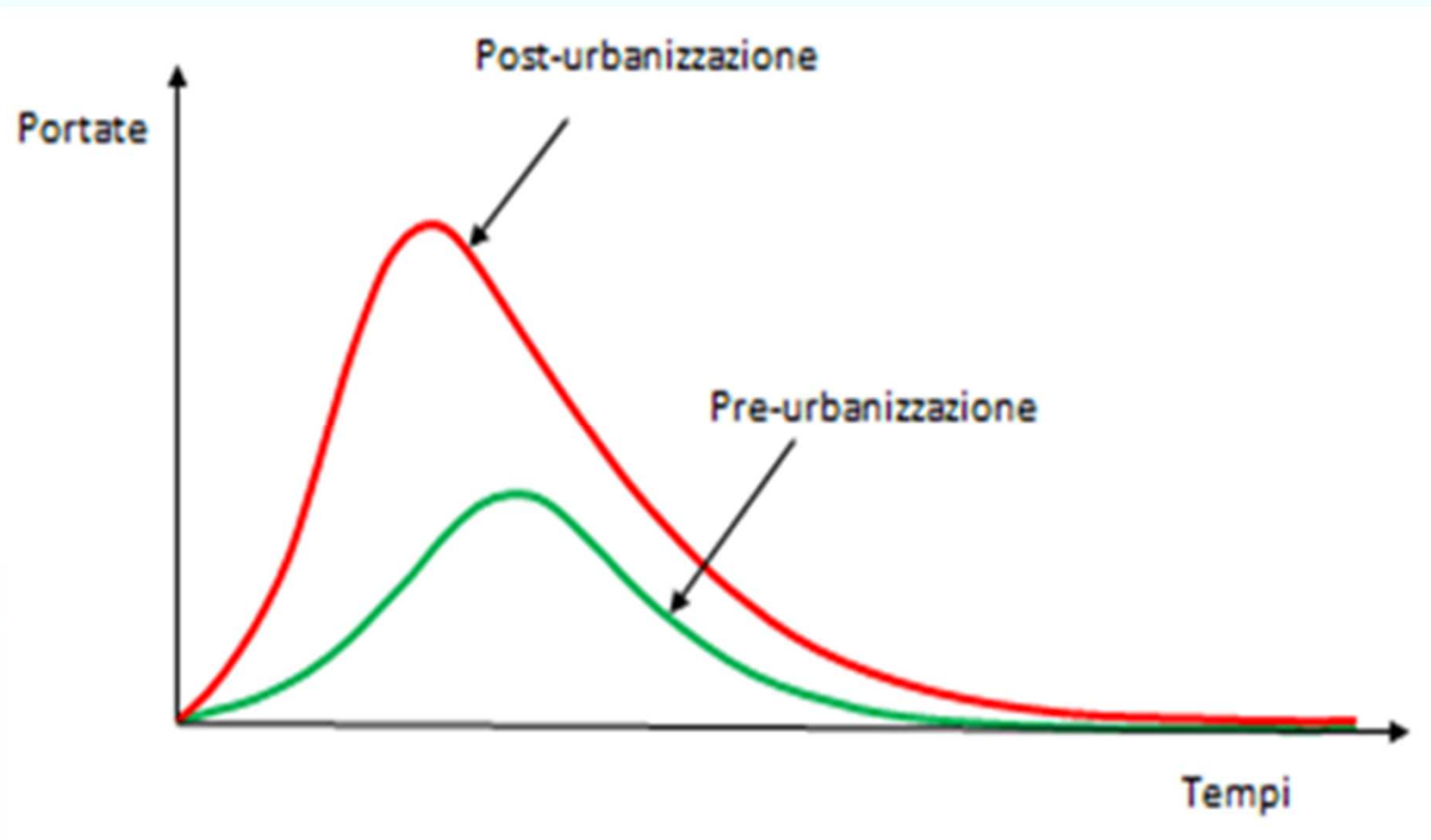
Idrogramma unitario prima e dopo l'urbanizzazione



[Leopold, "A Guidebook on the Hydrologic Effect of Urban Land Use", 1968].

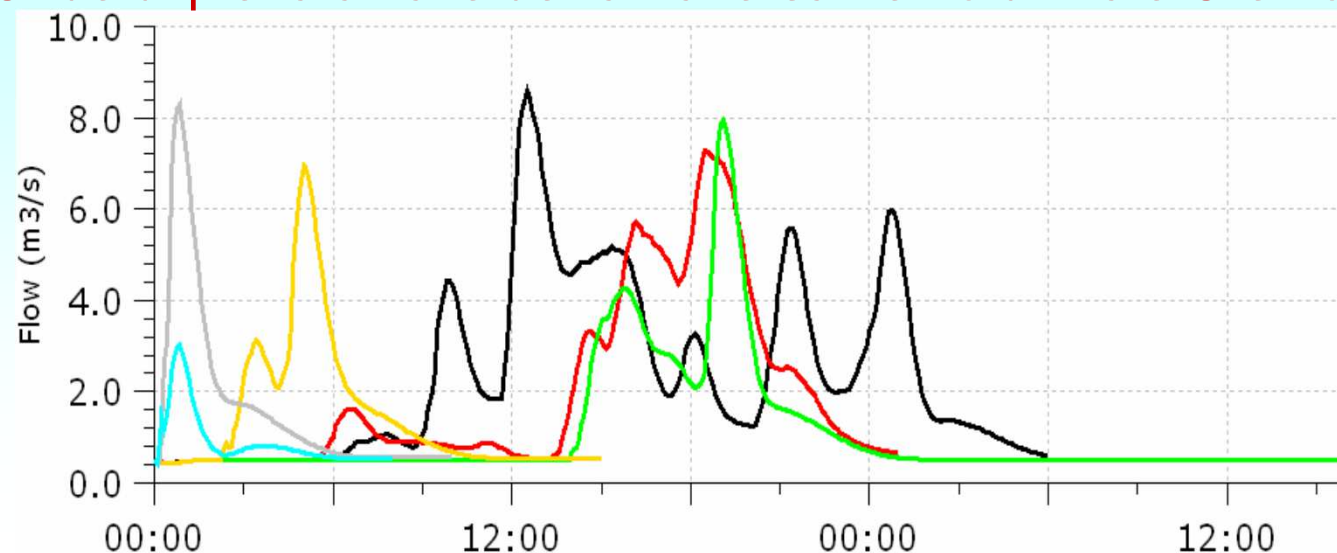
Effetti idrologici e idraulici dell'urbanizzazione

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.



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 ³ /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

Cav. Campari (1896), Nelle massime piene la Vernaola può raggiungere 30 moduli italiani (3 m³/s)

Variazione dei deflussi di piena conseguente all'urbanizzazione

In risposta ad un dato evento meteorico, **i deflussi di piena variano in funzione:**

- del grado di impermeabilizzazione del bacino, definibile come rapporto tra area impermeabile e area totale (IMP),
- delle caratteristiche di permeabilità del suolo,
- della pendenza della superficie del bacino.

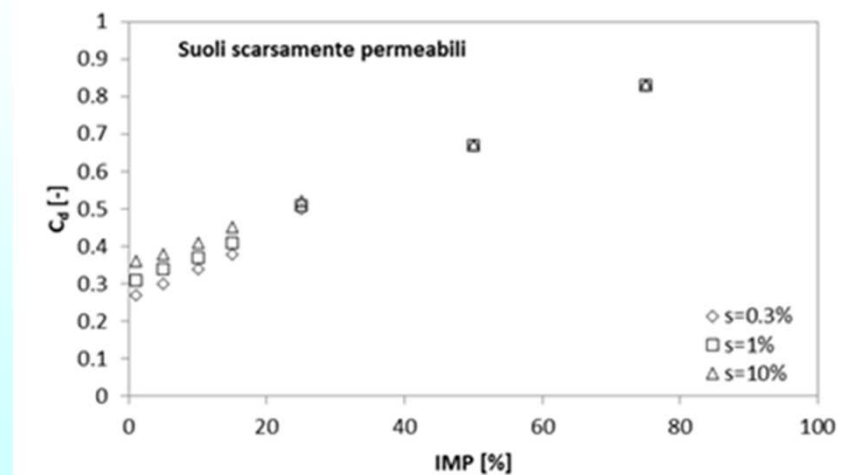
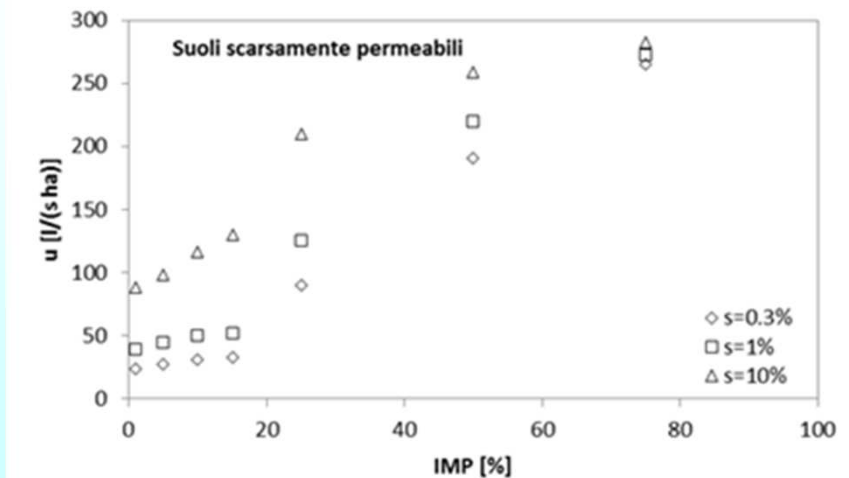
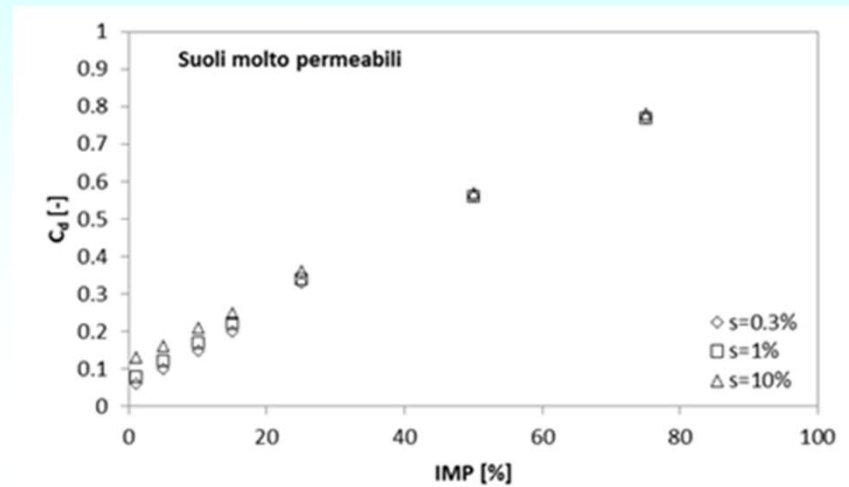
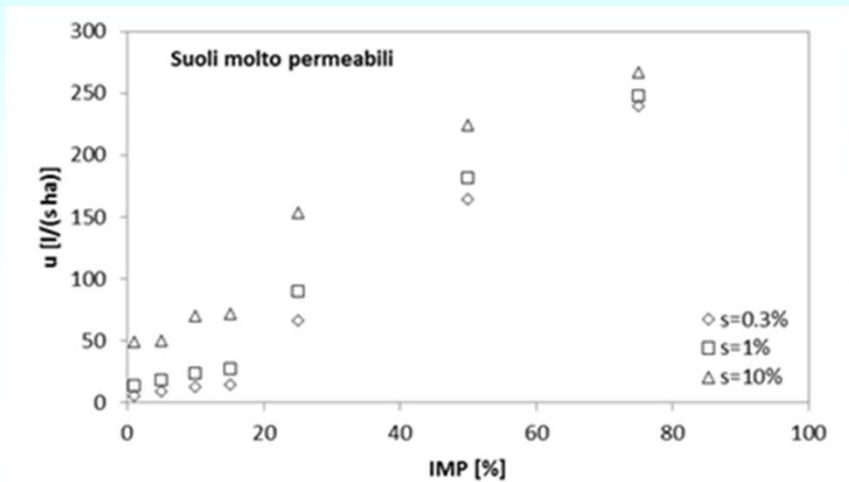
L'entità della modificazione della risposta idrologica e idraulica prodotta dall'urbanizzazione dipende:

- dall'incremento del grado di impermeabilizzazione del suolo,
- dalla permeabilità del suolo originario,
- dalla pendenza della superficie del bacino interessato,
- dal tempo di ritorno dell'evento di progetto.

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%)

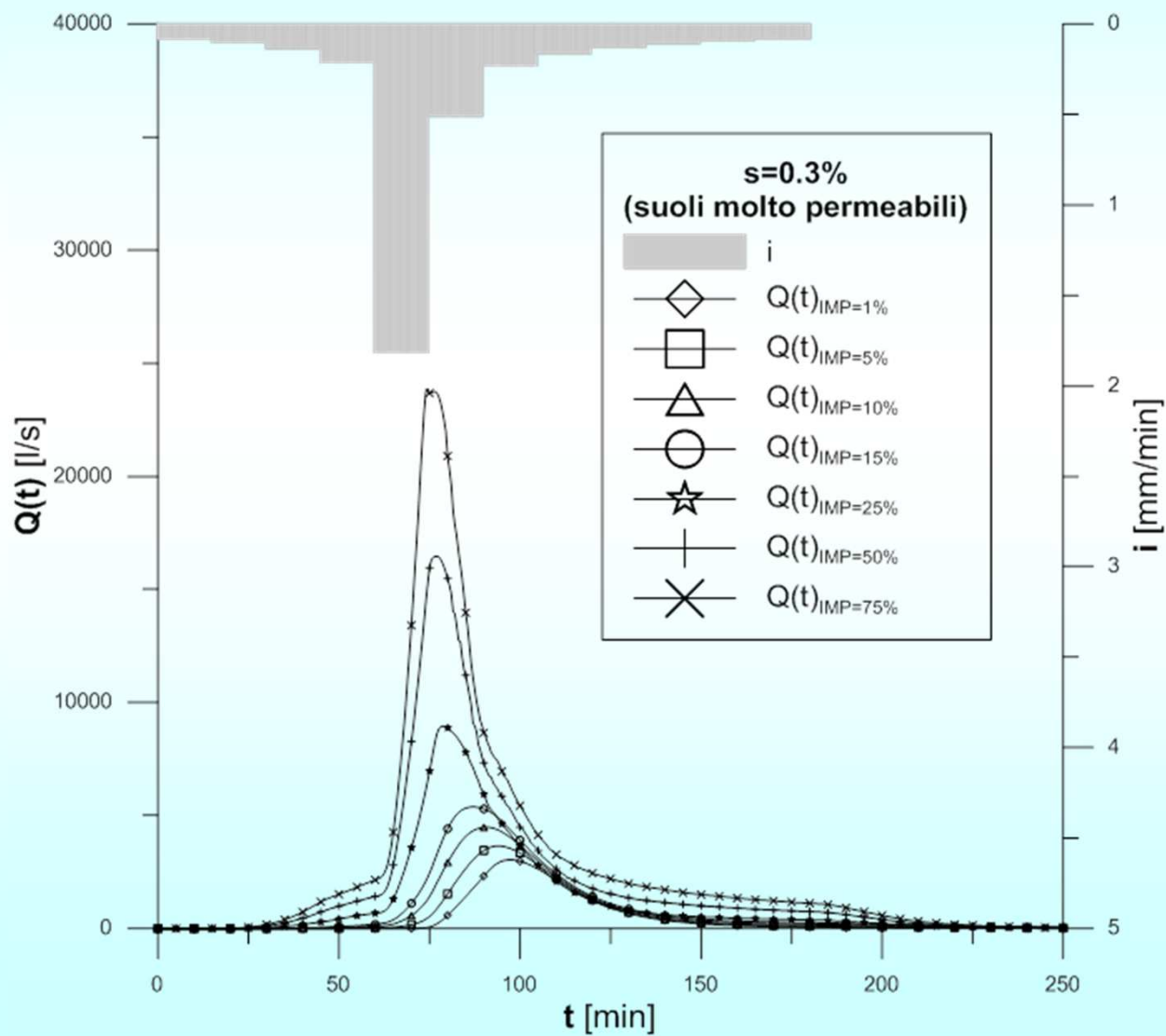
(Tesi di dottorato di G. Anselmo - Relatore S. Papiri)

Coefficienti udometrici normalizzati u_{IMP}/u_{IMP5}

IMP/IMP ₅	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	1.36	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
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

Idrogrammi di piena per suoli molto permeabili e superficie del bacino (100 ha) pianeggiante ($s=0.3\%$); ietogramma Chicago $\Delta t=15\text{min}$.

(Tesi di Laurea Magistrale di M. Rizzo - Relatore S. Papiri)



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)

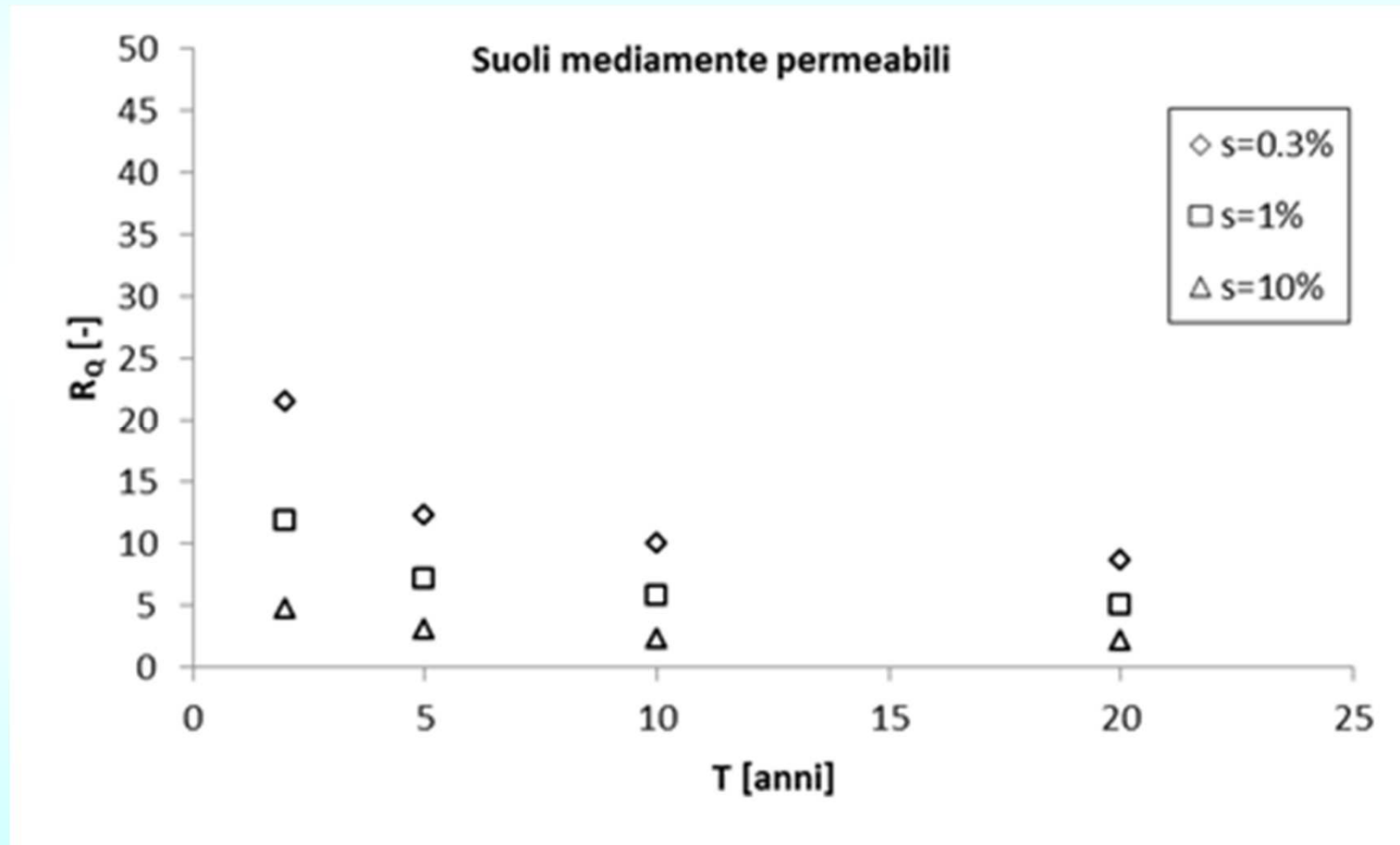
Volumi di deflusso normalizzati V_{IMP}/V_{IMP5}

IMP/IMP ₅	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)



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

Impedire l'incremento del rischio idraulico e, ove possibile, ridurlo

La cronaca ci dice che eventi alluvionali sempre più frequenti e sempre più gravi colpiscono il nostro paese.

Si tenta di attribuirne la causa ai cambiamenti climatici, ma la causa principale è sicuramente da attribuire alla progressiva impermeabilizzazione dei suoli.

Occorre quindi agire:

- per minimizzare il futuro consumo di suolo;**
- per impedire l'incremento del rischio idraulico conseguente all'urbanizzazione e alla trasformazione del suolo;**
- per mitigare le piene pluviali urbane;**
- per ridurre l'alterazione del ciclo idrologico naturale operata dalla trasformazione del suolo.**

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

- **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

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.

La mitigazione delle piene pluviali urbane e dell'alterazione del ciclo idrologico naturale richiede inoltre che nelle trasformazioni territoriali si adottino i principi dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrologica e del drenaggio urbano sostenibile.

Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4

Art. 7

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

- 1. Al fine di prevenire e di mitigare i fenomeni di esondazione e di dissesto idrogeologico provocati dall'incremento dell'impermeabilizzazione dei suoli e, conseguentemente, di contribuire ad assicurare elevati livelli di salvaguardia idraulica e ambientale, gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi comunali recepiscono il principio di invarianza idraulica e idrologica per le trasformazioni di uso del suolo, secondo quanto previsto dal presente articolo.***

Invarianza idraulica, invarianza idrologica e drenaggio urbano sostenibile

Ai fini della presente legge 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 sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;
- c) 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

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



A scala di evento, per ripristinare i processi idrologici alterati dall'urbanizzazione è necessario incentivare i processi di laminazione e di infiltrazione.



Bacino di laminazione



Trincea drenante



Pavimentazione permeabile

Interventi richiedenti le misure di invarianza idraulica

- L'art. 7 comma 2, della LR 4/2016 indica che sono da ricomprendere, ai fini dell'applicazione di principi di invarianza idraulica, solo gli interventi che *“comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione”*.
- Le misure di invarianza idraulica sono da calcolare con riferimento alla *superficie interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione*: una ristrutturazione della superficie parziale di un lotto con aumento del suo grado di impermeabilizzazione deve essere compensata da misure di invarianza idraulica calcolate rispetto alla superficie modificata e non anche rispetto alla restante superficie del lotto che mantiene l'esistente grado di impermeabilizzazione.
- Le misure di invarianza idraulica riguardano anche gli interventi *relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi*.

SISTEMI DI CONTROLLO E GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

- Per rispettare il principio dell'invarianza idrologica e idraulica, all'interno dell'area in cui avviene una trasformazione di uso del suolo **devono essere distinte le superfici scolanti accessibili a traffico veicolare e le superfici scolanti** di tetti, pensiline, terrazzi, cortili e coperture di edifici e installazioni e di altre aree pedonali o ciclabili, **non accessibili a traffico veicolare e comunque non suscettibili di inquinamento.**
- Le acque pluviali che raggiungono i tetti e le coperture degli edifici e le pavimentazioni esterne **purché collegate a reti rigorosamente separate dalle altre acque meteoriche afferenti alle pavimentazioni stradali o comunque carrabili** suscettibili di inquinamento, **possono essere smaltite senza trattamenti nei ricettori, sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo.**
- Le superfici scolanti di tetti, pensiline, terrazzi, cortili e coperture di edifici e installazioni e di altre aree pedonali o ciclabili, **non accessibili a traffico veicolare** e non suscettibili di inquinamento, **devono essere dotate di sistema separato di raccolta, invaso, infiltrazione, eventuale riuso e scarico delle acque pluviali.**
- Le superfici scolanti di aree esterne **devono essere dotate, in aderenza alle disposizioni del Regolamento n. 4 del 2006, di rete separata di raccolta delle acque meteoriche con separazione delle acque di prima pioggia**, soggette alle disposizioni del suddetto Regolamento n. 4/2006, dalle acque di seconda pioggia soggette alle disposizioni del presente Regolamento.

5. Individuazione degli ambiti territoriali di applicazione differenziati (art. 7, comma 5, lettera a) della L.R. 4/2016)

Nel paragrafo 5.2 il Regolamento parla della «*Differenziazione in funzione del grado di impermeabilizzazione dei suoli (5.2.1), delle condizioni idrogeologiche delle aree (5.2.2) e del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori (5.2.3)*».

Il territorio regionale viene suddiviso in tre tipologie di aree, in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori:

- A. aree ad alta pericolosità idraulica**
- B. aree a media pericolosità idraulica**
- C. aree a bassa pericolosità idraulica**

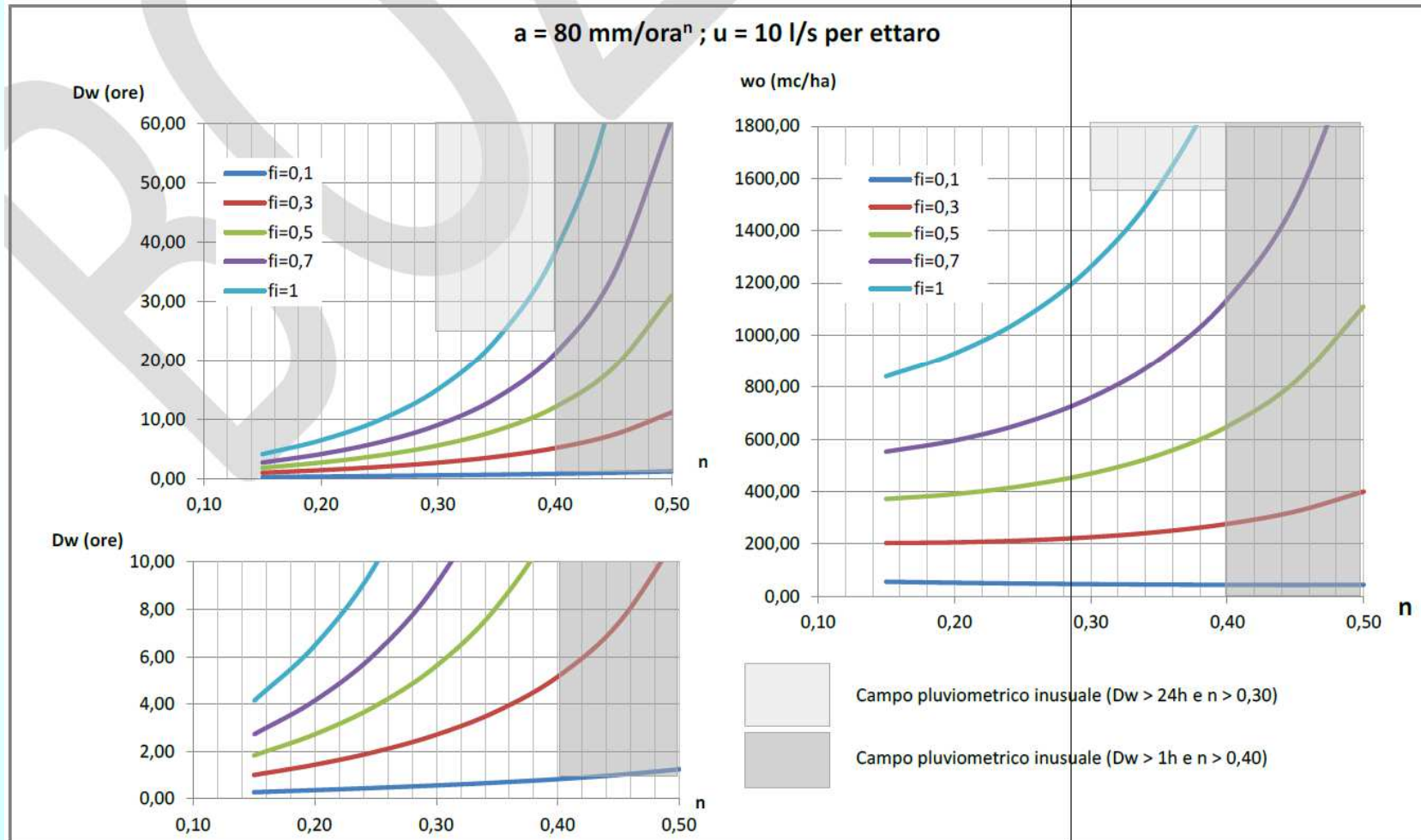
6. Valori massimi ammissibili della portata meteorica scaricabile nei ricettori nei diversi ambiti territoriali individuati (art. 7, comma 5, lettera b) della L.R. 4/2016)

Le portate massime ammissibili allo scarico in pubblica fognatura o nel ricettore sono così differenziate nelle aree di tipo A, B e C individuate nel par. 5.2.3.

a) Relativamente a interventi di ristrutturazione edilizia, di nuova costruzione e di ristrutturazione urbanistica, **...gli scarichi in corso d'acqua o nelle reti fognarie o di drenaggio sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore e comunque entro i seguenti valori massimi ammissibili:**

- per le aree A ad alta criticità idraulica: **$u_{lim} = 10$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento**
- per le aree B a media criticità idraulica: **$u_{lim} = 20$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento**
- per le aree C a bassa criticità idraulica: **$u_{lim} = 20$ l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento**

Figura 7 – Grafici della durata D_w (eq. 4'') e del volume specifico critico di invaso w_o (eq. 5'') in funzione di n , per $a=80$ mm/oraⁿ e per $u = 10$ l/s per ettaro



Infiltrazione delle acque meteoriche

- **Il principio dell'invarianza idraulica, e auspicabilmente idrologica, richiede che il progetto consideri ogni possibilità di incentivare l'infiltrazione delle acque meteoriche** afferenti da superfici non suscettibili di inquinamento allo scopo di tendere alla completa restituzione delle stesse ai naturali processi di infiltrazione preesistenti all'intervento.
- **Il progetto dovrà considerare, quindi, strutture di infiltrazione (aree verdi di infiltrazione, trincee drenanti, pozzi drenanti, cunette verdi, pavimentazioni permeabili, ecc.)** adeguate a tale obiettivo, adottando valori cautelativi dei coefficienti di permeabilità che tengano conto della progressiva tendenza all'intasamento dei materassi permeabili e conseguente della riduzione dei coefficienti di permeabilità.

CAPACITA' DI INFILTRAZIONE DEI SUOLI

L'**infiltrazione $f(t)$** è definita come la portata per unità di superficie che all'istante t si infila nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore-1]
• A	250	25.4	2
• B	200	12.7	2
• C	125	6.3	2
• D	76	2.5	2

La **capacità di infiltrazione a lungo termine f_c varia** per i diversi tipi di suolo tra **circa 20 mm/ora e circa 2 mm/ora**, valori che, cambiando unità di misura (1,0 mm/ora = 2,778 l/(sha)), corrispondono rispettivamente a **portate di infiltrazione di circa 55 l/(sha) e circa 5,5 l/(sha)**.

L'infiltrazione, a parità di superficie investita dalla pioggia, è atta ad disperdere al più 1/10 della punta di portata di pioggia in arrivo, per i suoli più permeabili di classe A, e al più 1/100 della punta di portata di pioggia in arrivo, per i suoli meno permeabili di classe D.

Infiltrazione delle acque meteoriche: problematiche

- **L'infiltrazione, nella maggioranza dei casi, deve essere accompagnata da opere di laminazione che consentano di accumulare temporaneamente le portate pluviali degli eventi intensi che non riescono ad essere smaltite per infiltrazione.**
- **La progressiva riduzione della capacità di infiltrazione, causata dall'occlusione indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno, può giungere a limitare o vanificare rapidamente gli effetti favorevoli delle strutture di infiltrazione.**
- **Il ripristino della primitiva capacità di infiltrazione può risultare molto difficile, soprattutto se le strutture di infiltrazione sono a carico delle singole lottizzazioni e quindi molto diffuse, di piccola dimensione e di gestione caratterizzata da scarsa affidabilità.**
- **L'infiltrazione di acque meteoriche contenenti carichi inquinanti è da considerarsi inaccettabile.**

Quando infiltrare

- **Se il territorio oggetto di possibile infiltrazione è caratterizzato da traffico automobilistico o da attività commerciali e industriali produttori rilasci sulle superfici pavimentate di metalli pesanti e sostanze tossiche bioaccumulanti, l'infiltrazione non deve essere adottata.**
- **Risulta sicuramente accettabile destinare all'infiltrazione, senza trattamento, solo le acque pluviali provenienti dalle coperture degli edifici residenziali o da superfici non accessibili a veicoli automobilistici né interessate direttamente o indirettamente da attività commerciali, industriali e artigianali.**
- **Le acque meteoriche scolanti da superfici potenzialmente inquinabili possono essere avviate all'infiltrazione solo a valle della separazione delle acque di prima pioggia in aderenza alle prescrizioni del Regolamento regionale n. 4 del 2006.**

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Ticino in piena- maggio 2013