*Corso di formazione:*
*Sistemazioni per la ritenzione delle acque*

# *Criteri e metodi di progettazione dei sistemi di gestione sostenibile delle acque di pioggia*

**Prof. Vincenzo D'Agostino**

**vincenzo.dagostino@unipd.it**

Dipartimento Territorio
e Sistemi Agro-Forestali
Università di Padova

# Compatibilità idraulica degli interventi

**Tecniche di trattenuta, gestione e riutilizzo delle acqua piovane**

1 – Aree di invaso e detenzione/ritenzione acque

2 - Tetti verdi

3 - Recupero acque meteoriche e loro riutilizzo

4 - Pavimentazioni drenanti / Zone di infiltrazione

***SFASAMENTO SPAZIO-TEMPORALE DEGLI APPORTI AL RECETTORE (CANALE, FIUME, …) INTERESSATO***

RAPPORTO ISPRA 2020

Tabella 1. Stima del consumo di suolo annuale (nuova superficie a copertura artificiale), del consumo di suolo annuale netto (bilancio tra nuovo consumo e aree rispristinate), della densità del consumo (incremento in metri quadrati per ogni ettaro di territorio) a livello nazionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

| | 2018<br>2019 |
|---|---|
| **Consumo di suolo ($km^2$)** | 57,5 |
| **Consumo di suolo netto ($km^2$)** | 51,9 |
| **Consumo di suolo netto (incr. %)** | 0,21 |
| **Densità del consumo di suolo netto ($m^2$/ha)** | 1,72 |

Tabella 2. Suolo consumato pro capite. Fonte: elaborazioni ISPRA su dati demografici Istat e cartografia SNPA

| | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|
| **Suolo consumato pro capite ($m^2$/ab)** | 351,37 | 352,92 | 354,51 |

Tabella 3. Stima del suolo consumato (superficie a copertura artificiale) a livello nazionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Suolo consumato (%)** | 7,03 | 7,05 | 7,06 | 7,08 | 7,10 |
| **Suolo consumato (% all'interno del suolo utile)** | | | | | 9,12 |

Con *consumo di suolo* si intende l'incremento della copertura artificiale del suolo, elaborata su base annuale, mentre con *suolo consumato* si intende la quantità complessiva di suolo con copertura artificiale esistente nell'anno considerato (mese di riferimento: maggio).

RAPPORTO ISPRA 2020

Tabella 1. Stima del consumo di suolo annuale (nuova superficie a copertura artificiale), del consumo di suolo annuale netto (bilancio tra nuovo consumo e aree rispristinate), della densità del consumo (incremento in metri quadrati per ogni ettaro di territorio) a livello nazionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

| | 2018<br>2019 |
|---|---|
| **Consumo di suolo ($km^2$)** | 57,5 |
| **Consumo di suolo netto ($km^2$)** | 51,9 |
| **Consumo di suolo netto (incr. %)** | 0,21 |
| **Densità del consumo di suolo netto ($m^2$/ha)** | 1,72 |

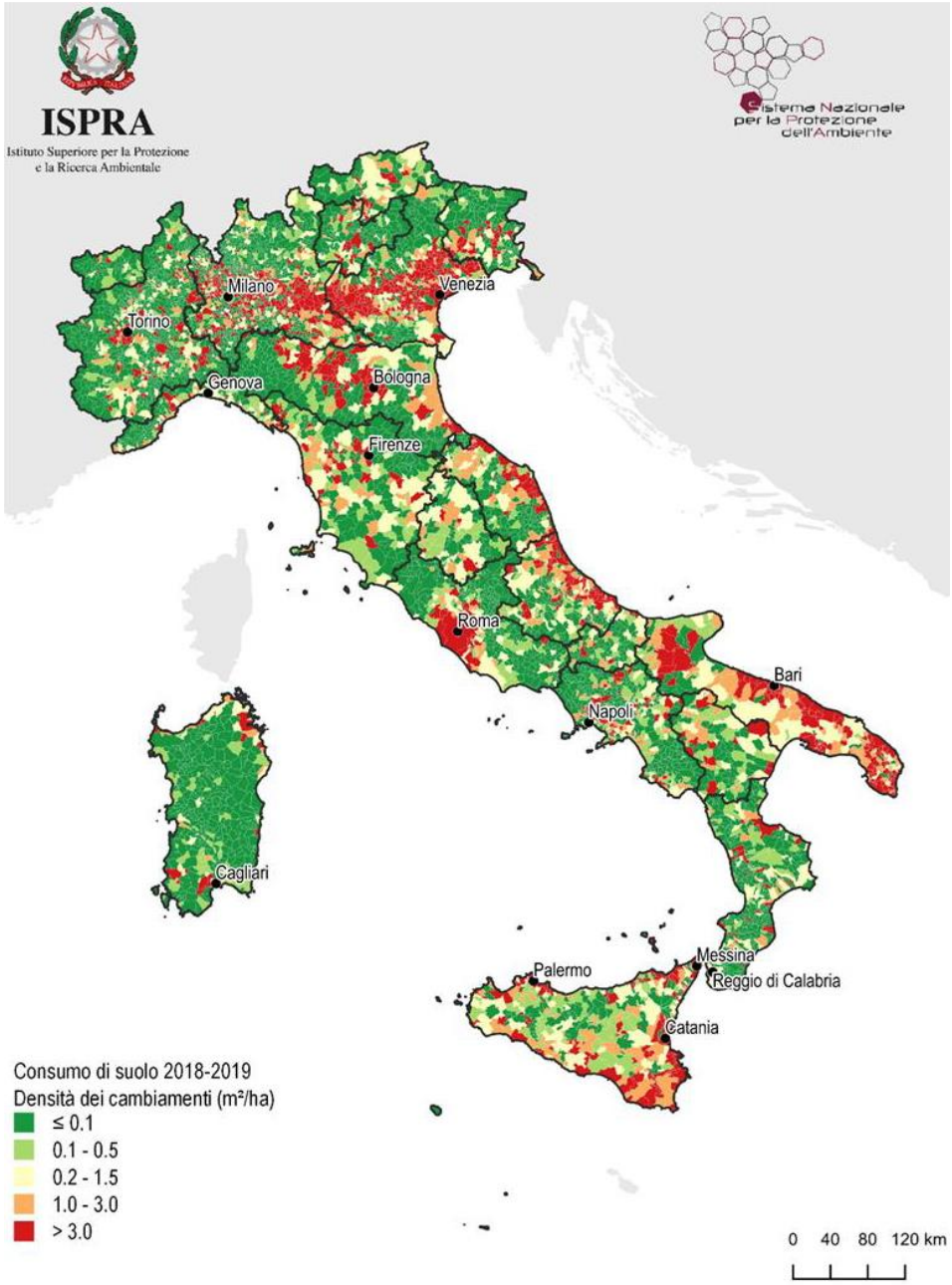
Tabella 2. Suolo consumato pro capite. Fonte: elaborazioni ISPRA su dati demografici Istat e cartografia SNPA

| | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|
| **Suolo consumato pro capite ($m^2$/ab)** | 351,37 | 352,92 | 354,51 |

Tabella 3. Stima del suolo consumato (superficie a copertura artificiale) a livello nazionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Suolo consumato (%)** | 7,03 | 7,05 | 7,06 | 7,08 | 7,10 |
| **Suolo consumato (% all'interno del suolo utile)** | | | | | 9,12 |

Con *consumo di suolo* si intende l'incremento della copertura artificiale del suolo, elaborata su base annuale, mentre con *suolo consumato* si intende la quantità complessiva di suolo con copertura artificiale esistente nell'anno considerato (mese di riferimento: maggio).


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Milano
Venezia
Torino
Genova
Bologna
Firenze
Roma
Bari
Napoli
Cagliari
Messina
Palermo
Reggio di Calabria
Catania
Consumo di suolo 2018-2019
Densità dei cambiamenti (m²/ha)
≤ 0.1
0.1 - 0.5
0.2 - 1.5
1.0 - 3.0
> 3.0
0 40 80 120 km

$m^2/ha$

# COMPATIBILITA' IDRAULICA

D.G.R. n. 3637 del 13.12.2002

D.G.R. n. 1322 del 10.05.2006

D.G.R. n. 1841 del 19.06.2007

D.G.R. n. 2948 del 6.10.2009

O.P.C.M. 3621 del 18.10.2007 - Ordinanze Commissariali

A livello regionale: Delibere della Giunta Regionale del Veneto 3637/02, 1322/06 e 1841/07. Nel **DGR del 2002:** al fine di evitare l'aggravio delle condizioni di dissesto idraulico e quando si causa alterazione del regime idraulico per nuovi sviluppi urbanistici si devono predisporre idonee misure compensative, regolamentare con normativa urbanistica le attività consentite, indicare opere di mitigazione da porre in essere.

Allegato A al **DGR n. 1322** del 10 maggio 2006: delinea caratteristiche generali e i principali contenuti dello studio di compatibilità idraulica, necessario ogni qualvolta vengano modificati o elaborati nuovi piani d'assetto del territorio; impone la previsione di misure compensative secondo il principio dell'invarianza idraulica, come la predisposizione dei volumi d'invaso che consentano la laminazione delle piene.

Tra le indicazioni operative nell'allegato si legge: "**In relazione all'applicazione del principio dell'invarianza idraulica lo studio dovrà essere corredato di analisi pluviometrica con ricerca delle curve di possibilità climatica per durate di precipitazione corrispondenti al tempo di corrivazione critico per le nuove aree da trasformare**." Esso indica di fare riferimento ad un tempo di ritorno di 50 anni; ai coefficienti di deflusso convenzionalmente assunti; ai metodi di calcolo delle portate di progetto da adottare cioè, il *Metodo Razionale*, il *metodo Curve Number* e il *Metodo dell'Invaso*.

## D.G.R. n. 1322 del 10.05.2006 - Allegato A -

Trasformazione a invarianza idraulica: tale che non provoca un aggravio - dopo la trasform. - della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi originati dall'area stessa

**Introduce il concetto di "invarianza idraulica"**

**Definisce i principali contenuti dello studio:**

**descrizione della variante oggetto di studio**
- individuazione e descrizione degli interventi urbanistici

**descrizione delle caratteristiche dei luoghi**
- caratteristiche idrografiche ed idrologiche
- caratteristiche delle reti fognarie
- descrizione della rete idraulica ricettrice
- caratteristiche geomorfologiche, geotecniche e geologiche con individuazione della permeabilità dei terreni (laddove tali caratteristiche possano essere significative ai fini della compatibilità idraulica)

**valutazione delle caratteristiche sopra descritte in riferimento ai contenuti della Variante**
- analisi delle trasformazioni delle superfici delle aree interessate in termini di impermeabilizzazione
- valutazione della criticità idraulica del territorio
- valutazione del rischio e della pericolosità idraulica

**proposta di misure compensative e/o di mitigazione del rischio**
- indicazioni di piano per l'attenuazione del rischio idraulico
- valutazione ed indicazione degli interventi compensativi

# VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

## *LINEE GUIDA*

*Venezia, 3 agosto 2009*

**Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto**

Presidenza del Consiglio dei Ministri

Dipartimento della Protezione Civile

Commissario Delegato per l'Emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto. OPCM n.3621 del 18/10/2007

# Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici

## Modalità operative e indicazioni tecniche

### Premesse

La creazione di strumenti per una gestione più razionale del rischio da alluvione e per il supporto alle decisioni per prevenire le situazioni di crisi, costituisce presupposto essenziale e pregiudiziale per garantire uno sviluppo sostenibile, in assenza del quale l'acqua continuerà a rappresentare una seria minaccia per le popolazioni e l'economia.

L'accresciuta pressione antropica sulle risorse naturali costringe spesso a prevedere le ipotesi di sviluppo urbanistico anche in aree a forte rischio idrogeologico, costringendo dunque ad assumere rischi sempre più elevati. In tal senso si avverte sempre più l'esigenza di incorporare nei processi di pianificazione e programmazione il concetto del Risk management inteso come "processo sistematico, organizzazione e capacità operative per implementare politiche, strategie e capacità di risposta della società finalizzate alla diminuzione dell'impatto di eventi negativi e dei correlati disastri ambientali e tecnologici".

I frequenti allagamenti che si verificano ad ogni pioggia appena un po' più intensa portano all'evidenza della pubblica opinione la fragilità del territorio regionale nel legame tra i suoi caratteri fisici e i fenomeni di urbanizzazione, facendo crescere nel comune sentire la domanda di sicurezza, della vita umana come anche dei beni e delle relazioni sociali che questi consentono, e la consapevolezza della necessità di intervenire in maniera organica e complessiva per garantire il mantenimento del corretto regime idraulico.

In quest'ottica la Giunta Regionale, con delibera n. 3637 del 13.12.2002, ha previsto che per tutti gli strumenti urbanistici generali e le varianti, generali o parziali o che, comunque, possano recare trasformazioni del territorio tali da modificare il regime idraulico esistente, sia presentata una "Valutazione di compatibilità idraulica".

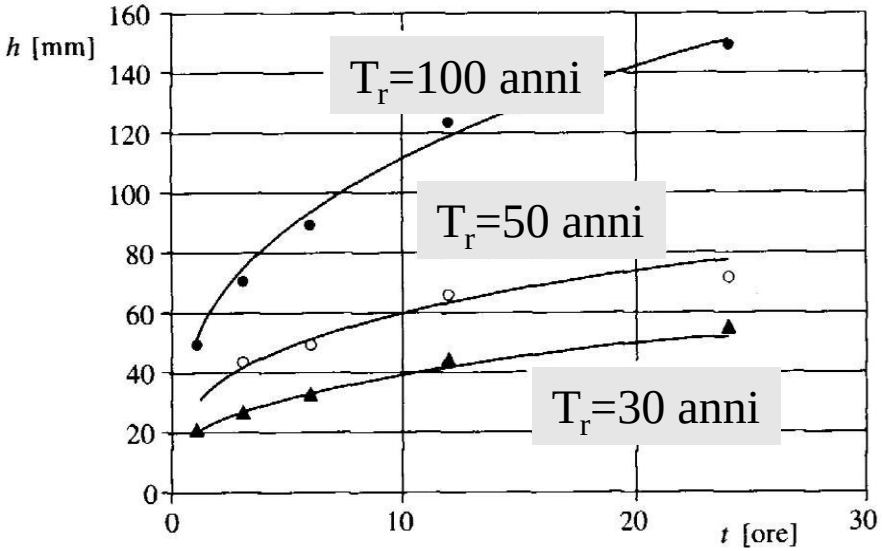
Previsione poi confermata dal Piano di Tutela delle Acque adottato con delibera n. 4453 del 29 dicembre 2004.

Scopo fondamentale dello studio è quello di far si che le valutazioni urbanistiche, sin dalla fase della loro formazione, tengano conto dell'attitudine dei luoghi ad accogliere la nuova edificazione, considerando le interferenze che queste hanno con i dissesti idraulici presenti o potenziali, nonché le possibili alterazione del regime idraulico che le nuove destinazioni o trasformazioni d'uso del suolo possono venire a determinare.

In sintesi, lo studio idraulico deve verificare l'ammissibilità delle previsioni contenute nello strumento urbanistico, prospettando soluzioni corrette dal punto di vista dell'assetto idraulica del territorio.

# Elementi base di idrologia

# Curva di possibilità pluviometrica o linea segnalatrice di possibilità pluviometrica (LSPP)




$$h = a\,t^{n}$$

**h (mm)**

**t (ore)**

$$n < 1$$
$$n = 0.2 \div 0.6$$

$$j = \frac{h}{t} = a\,t^{n-1}$$

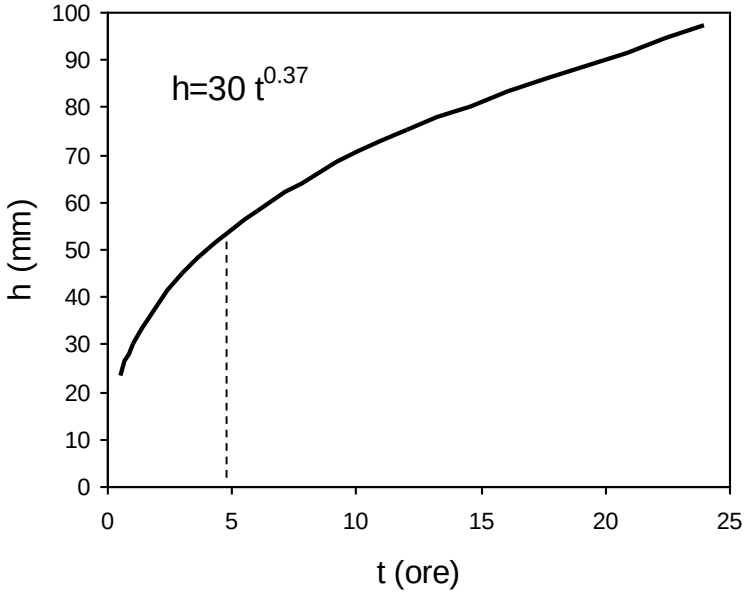
**L'intensità j (mm/h) decresce con la durata**

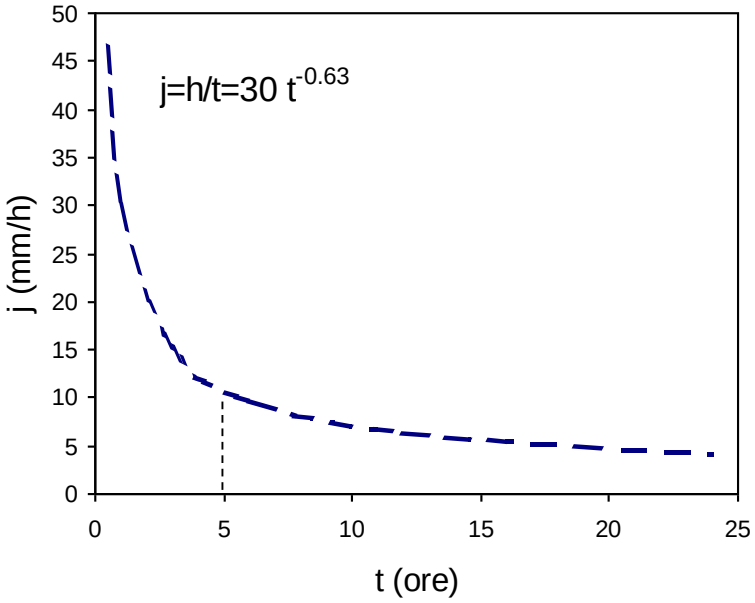
**a**: coefficiente (più legato alla frequenza); altezza di pioggia per la durata t = 1 ora;

**n**: coefficiente (quasi costante per una data stazione).

Al crescere della durata t:

1. L'altezza h cumulata cresce sempre
2. L' intensità j diminuisce sempre



# Coefficiente di deflusso: le perdite sono una percentuale costante della pioggia caduta (simbolo P oppure h)

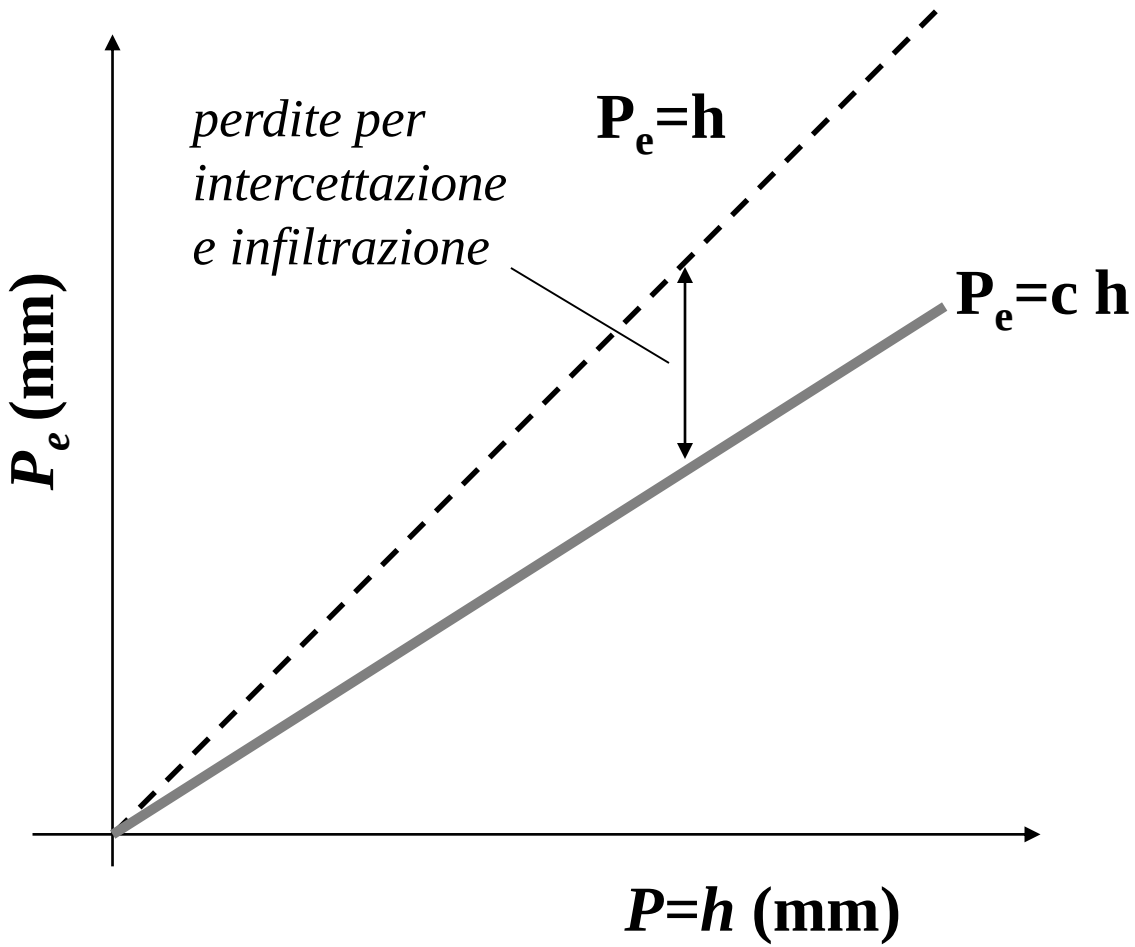
P=h
simboli con lo stesso significato

$$P_e(t) = c\ h(t)$$

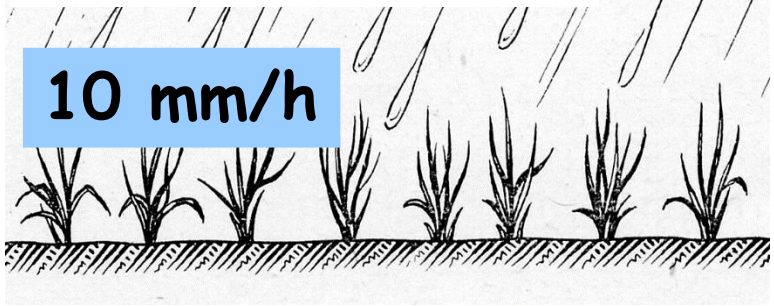
$$P_e(t) = c\ P(t)$$

$$c < 1$$

$$c = \frac{P_e}{P}$$



# Pioggia efficace ?




**Velocità di infiltrazione**

**Suolo sabbioso: 12-25 mm/h**
**Suolo limoso: 2.5 – 12 mm/h**
**Suolo argilloso: 0.2 – 2.5 mm/h**

**1 ha = 10000 m² di superficie** → **c × 100 m³/h**

| Fao, 1980: valori di **c in %** | Coltivi | Prati | Boschi |
|---|---|---|---|
| 1. velocità di infiltrazione alta (suoli sabbiosi o ghiaiosi) | 20% | 15% | 10% |
| 2. velocità di infiltrazione media (non presenti orizzonti argillosi) | 40% | 35% | 30% |
| 3. velocità di infiltrazione bassa (suoli argillo-limosi e argillosi; suoli poco profondi) | **50%** | 45% | 40% |

# Coefficienti di deflusso c proposti dalla F.A.O

| Tipo di suolo | Copertura del bacino | | |
|---|---|---|---|
| | Coltivazioni | Pascoli | Boschi |
| Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso) | 0.20 | 0.15 | 0.10 |
| Mediamente permeabile (Terreni di medio impasto, Terreni senza strati di argilla) | 0.40 | 0.35 | 0.30 |
| Poco Permeabili (Suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su sub-strato roccioso impermeabile) | 0.50 | 0.45 | 0.40 |

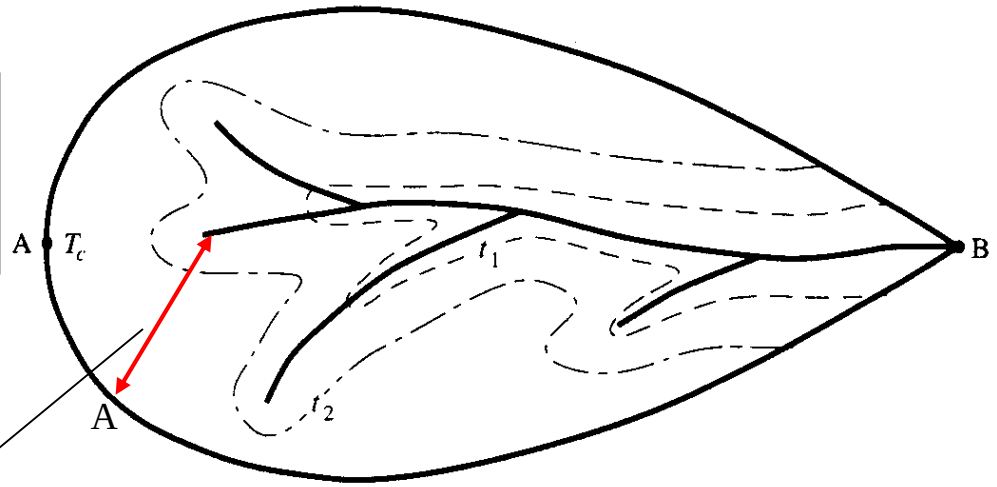
**Roccia, superfici pavimentate, strade asfaltate, tetti,…**
**c = 0.95 – 1**
**Ghiacciai su roccia compatta: c = 0.7**
**Nevai/ghiacciai crepacciati su roccia fratt.: c = 0.3-0.5**

**Uso del suolo diverso nel bacino** ⟶ $c = \sum \frac{c_i \; A_i}{A}$

## Tempo di corrivazione (concentrazione) $T_c$ del bacino

$T_c$: tempo impiegato dalla particella d'acqua caduta sul punto "idraulicamente" (A) più lontano del bacino per giungere alla sezione di chiusura (B)

*Nella figura si indicano due possibili punti A da valutare come 'idraulicamente' più lontani*




lunghezza versante $L_V$

Si sceglie $L_{V\,n}$ considerando il percorso cinematicamente più lento (in genere il più lungo), che congiunge la linea di spartiacque (in genere in testata) con il punto di inizio del reticolo

**E' la somma di un tempo di versante e di un tempo di rete**

$$T_c = T_V + T_R$$

Velocità di movimento dell'acqua in condizioni di "*overland flow*" (sottile lamina d'acqua in scorrimento su terreno saturo)

Terreni naturali: V=0,01-0,2 m/s

Superfici lisce artificiali: V=0,1-1 m/s

**Variano in funzione di pendenza, scabrezza, profondità della corrente**

$$V = K_s \; R_h^{2/3} \; i^{1/2}$$

$K_s$ = coefficiente di scabrezza di Strickler

$R_h$ = raggio idraulico

i = pendenza

**Nel reticolo si assume in genere, <u>come valore spazialmente mediato</u>: V=1 - 2 m/s**

può essere troppo ridotto per torrenti montani a forte pendenza

$$V_R \approx (5-10)\, i^{1/2} \longrightarrow \boxed{T_R = \frac{L_R}{V_R}}$$

Maggiore difficoltà nella stima della velocità su versante dell'acqua quando l'overland flow non è sviluppato e/o si hanno terreni macro-porosi (lettiera-sottobosco) che inibiscono la sua formazione.

Approssimativamente:

ipotesi di moto turbolento, lama d'acqua di 1-2 cm, $K_s$=2 $m^{1/3}$ $s^{-1}$

$$V_V \approx \left(0.1 \div 0.15\right) i_V^{1/2} \longrightarrow \boxed{T_V = \frac{L_V}{V_V}}$$

$$\boxed{T_c = T_V + T_R} \longrightarrow \boxed{T_c \approx \frac{L_R}{10\ i_R^{1/2}} + \frac{L_V}{0.1\ i_V^{1/2}}}$$

**può essere eccessivo: su versanti boscati $V_V \approx$ 1 - 3 cm/s = 0.01-0.03 m/s**

# Metodo razionale

- affidabile per bacini di superficie ridotta (< 2-3 $km^2$)
- applicabile, a fini progettuali, anche a bacini più grandi (<50 $km^2$)

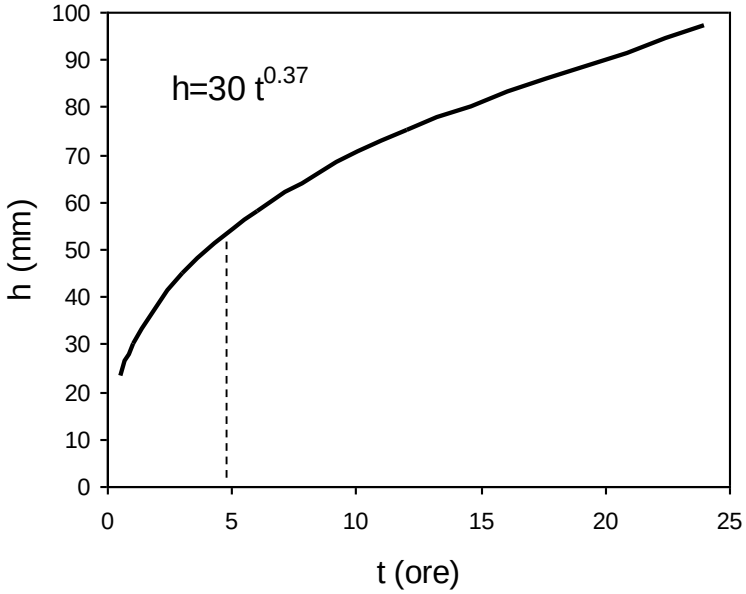
<u>Ipotesi:</u>

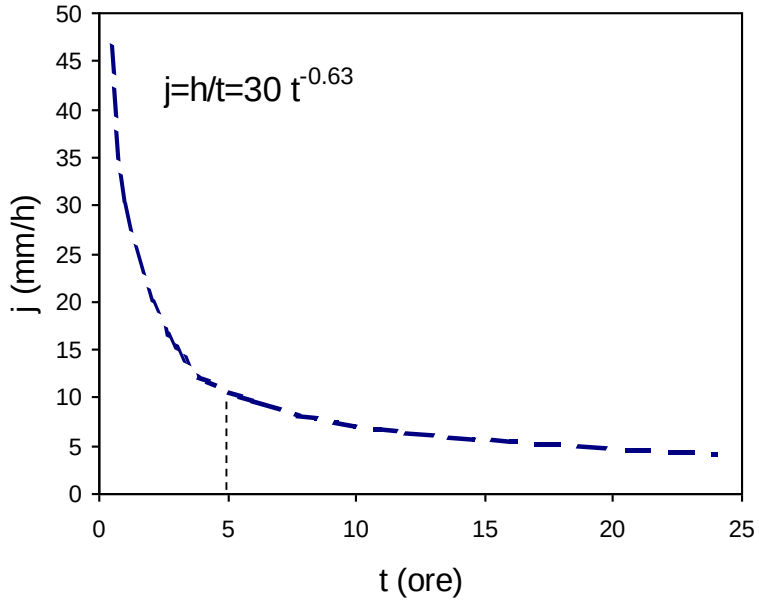
1. pioggia di intensità costante distribuita uniformemente sul bacino;

2. la durata critica della precipitazione è pari al tempo di corrivazione $T_c$ del bacino;

3. l'idrogramma di piena è di forma triangolare isoscele e di durata pari a 2 $T_c$

$T_C$ : essendo la minima durata di pioggia per la quale tutto il bacino risulta contribuente, è anche la condizione per la quale la precipitazione interessa il bacino con la massima intensità



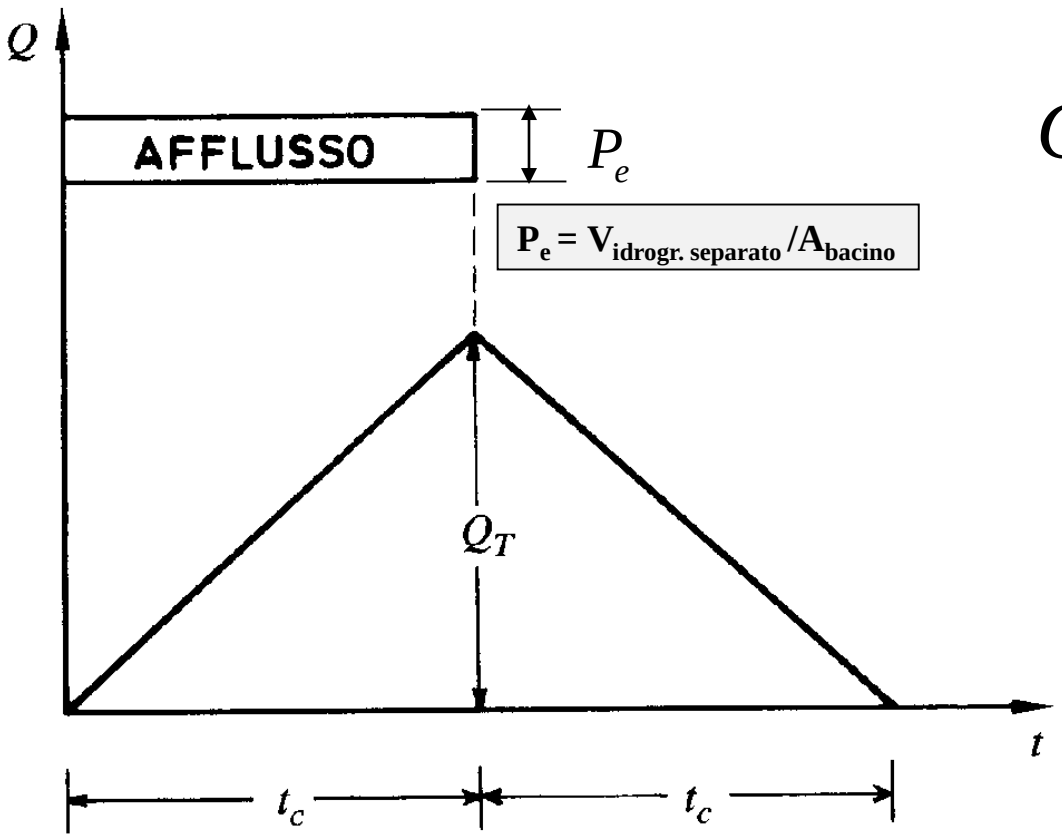




Una precipitazione con $t > T_C$ vede ancora contribuire <u>tutto</u> il bacino ma l'intensità $j$ (attesa dalla linea segnalatrice) è inferiore

$$\mathbf{P_e \ A_{bacino} = V_{idrogr.\ separato}}$$

**Volume efficace d'acqua affluito** = **Volume defluito**

$$\text{pioggia efficace} \times \text{area bacino} = P_e \ A \qquad \text{area idrogramma di piena}$$




$$Q_T \ T_c = P_e \ A$$

$$Q_T = \frac{P_e \ A}{T_c}$$

$$Q_T = j_{e,c} \ A$$

$$Q_T \; T_c = P_e \; A \rightarrow \mathbf{m^3 = m^3}$$

**Se utilizzo le seguenti unità di misura**

| | |
|---|---|
| $Q_T$ : **m³/s** | |
| $T_C$ : **ore** | **(=3600 s)** |
| $P_e$ : **mm** | **(= 10⁻³ m)** |
| $A$ : **km²** | **(= 10⁶ m²)** |

$$Q_T \; T_C \times 3600 = P_e \; 10^{-3} \times A \; 10^6$$

$$Q_T = \frac{P_e \times A \times 10^3}{T_C \times 3600}$$

$$\boxed{Q_T = \frac{P_e \; A}{3.6 \; T_c}} \; \boxed{+ Q_{base}}$$

Stima per difetto di $T_c$ comporta sovrastima di $Q_T$

# Come si applica il metodo razionale per $t_p$ diverso da $T_c$

1. Se $t_p < T_c$

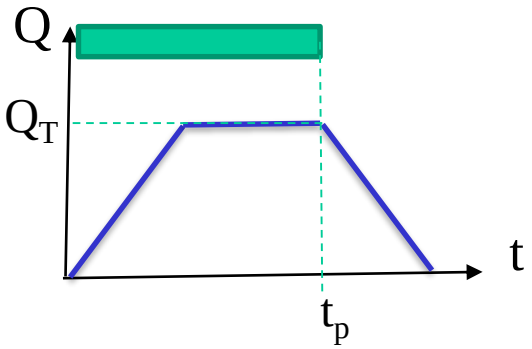
$$Q_T = \frac{P_{e-t_p} \; A'}{3.6 \; t_p}$$

A': è l'area parziale di un sottobacino che ha tempo di contribuzione $t_p$

2. Se $t_p > T_c$

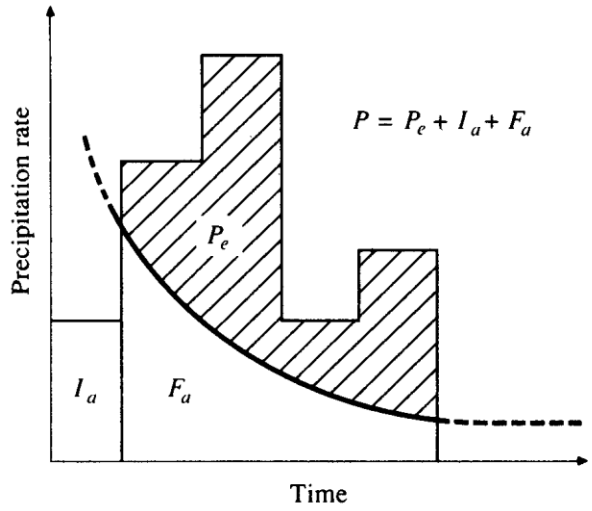
intensità ovviamente più bassa rispetto a quella relativa alla durata $T_c$

$$Q_T = \frac{P_{e-t_p} \; A}{3.6 \; t_p} = \frac{j_{e-t_p} \; A}{3.6}$$




CONDIZIONI MENO CRITICHE di $Q_{max}$ rispetto a $t_p = T_c$

PIOGGIA EFFICACE DETERMINATA CON CN (Curve Number) AL POSTO DI C (coefficiente di deflusso)




**$I_a$ : perdite iniziali, mm**

**$F_a$ : acqua infiltrata, mm**

***P* = *h*: precipitazione** (lorda), **mm**

***S* : contenuto idrico massimo del terreno saturo, mm**

**(S=storage idrico /immagazinamento)**

**Relazione empirica + Continuità**

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F_a}{S}$$

$$P = P_e + I_a + F_a$$

$$I_a = (5 - 10\%)\, S$$

$$I_a = (0 \div 0.2)\, S$$

si può assegnare anche direttamente un valore in funzione del tipo di soprassuolo: p.e. foresta latifoglie densa $I_a$=5 mm

**funzione del tempo**

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

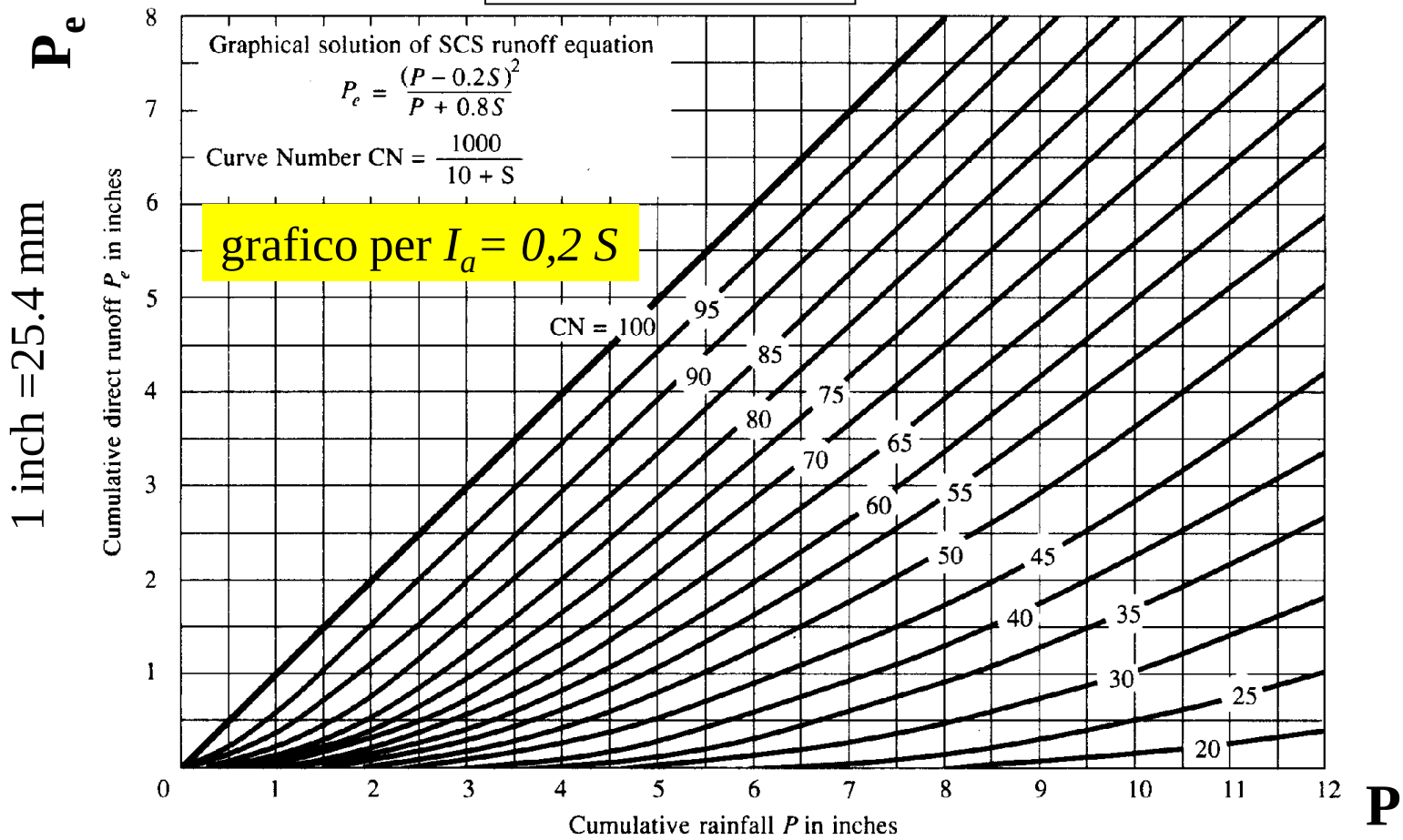
CN=100 superficie tot. impermeabile
CN=0 superficie sempre spugna

**$S$ (in mm) è <u>parametrizzato</u> attraverso il "curve number" CN (-)**

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \rightleftarrows CN = \frac{1000}{\frac{S}{25.4} + 10}$$

identiche

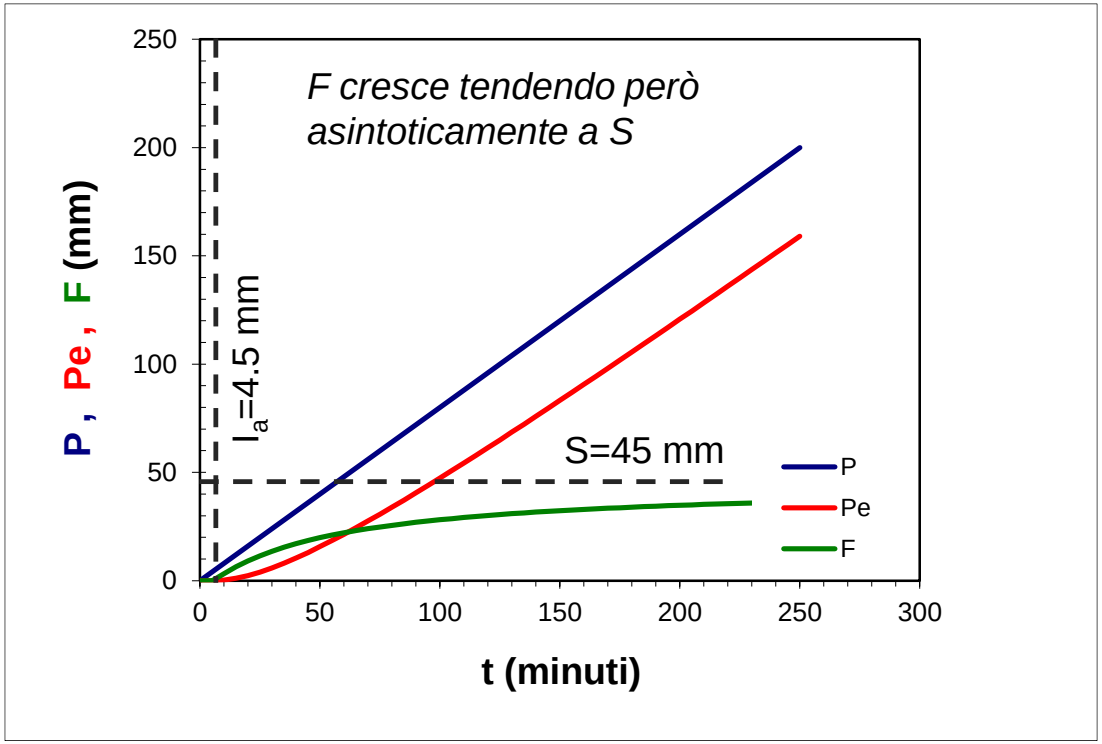
$$S = 254\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$



# Esempio

CN = 85 → S=45 mm
j = 4 mm/5 min=cost=48 mm/h
$I_a$=0.1 S=4.5 mm

P(t=250 min)=200 mm
Pe(t=250 min)=159.1 mm
F(t=250 min)=36,5 mm




$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

## CN si determina incrociando: classi di permeabilità del terreno (suolo) con categorie di uso del suolo (soprassuolo)

peggioramento caratteristiche idrologiche

**Classe A**: bassissima capacità di scorrimento superficiale. Suoli con elevato tasso di infiltrazione anche quando sono completamente bagnati. Suoli con drenaggio molto buono, presenza cospicua di sabbie e ghiaie (detriti di falda, coperture alluvionali incoerenti)

**Classe B**: tasso di infiltrazione moderato. Buon drenaggio. Suoli ancora di un certo spessore con presenza di terreni a grana fine

**Classe C**: tasso di infiltrazione basso. Strato nel suolo che impedisce il movimento discendente dell'acqua oppure suolo con abbondanza di tessiture fini

**Classe D**: tasso di infiltrazione bassissimo, se bagnati. Suoli argillosi, suoli con falda alta, suoli di spessore modesto su strati impermeabili

**Valori di "Curve Number (CN)" in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo (condizioni di umidità antecedente AMC II)**

| Tipologie di uso del suolo | | Gruppi idrologici | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D |
| Suoli coltivati: senza provvedimenti conservativi | | 72 | 81 | 88 | 91 |
| con provvedimento conservativi (p.e. terrazzi) | | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Pascoli o terreni: in cattive condizioni | | 68 | 79 | 86 | 89 |
| in buone condizioni | | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Prato: in buone condizioni | | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Bosco o foresta: scarsa copertura, scarso sottobosco/lettiera | | 45 | 66 | 77 | 83 |
| buona copertura (p.e. fustaia dense) | | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Spazi aperti: prati, parchi, campi da golf, cimiteri, etc. | | | | | |
| buone condizioni: con copertura erbacea superiore al 75% | | 39 | 61 | 74 | 80 |
| con copertura erbacea dal 50 al 75% | | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Aree commerciali (impermeabili per l' 85%) | | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Aree industriali (impermeabili per il 72%) | | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Aree residenziali: | | | | | |
| Dimensione media del lotto | Con % impermeabile | | | | |
| < 0.05 ha | 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 0.10 ha | 38 | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 0.14 ha | 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 0.20 ha | 25 | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 0.40 ha | 20 | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parcheggi, tetti, vialetti, etc. (aree coperte impermeabili) | | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Strade: | | | | | |
| pavimentate con cordoli e tombini | | 98 | 98 | 98 | 98 |
| strade bianche | | 76 | 85 | 89 | 91 |
| strade sterrate secondarie | | 72 | 82 | 87 | 89 |

# Condizioni idrologiche del suolo antecedenti l'evento di pioggia AMC (I), AMC (II), AMC(III)

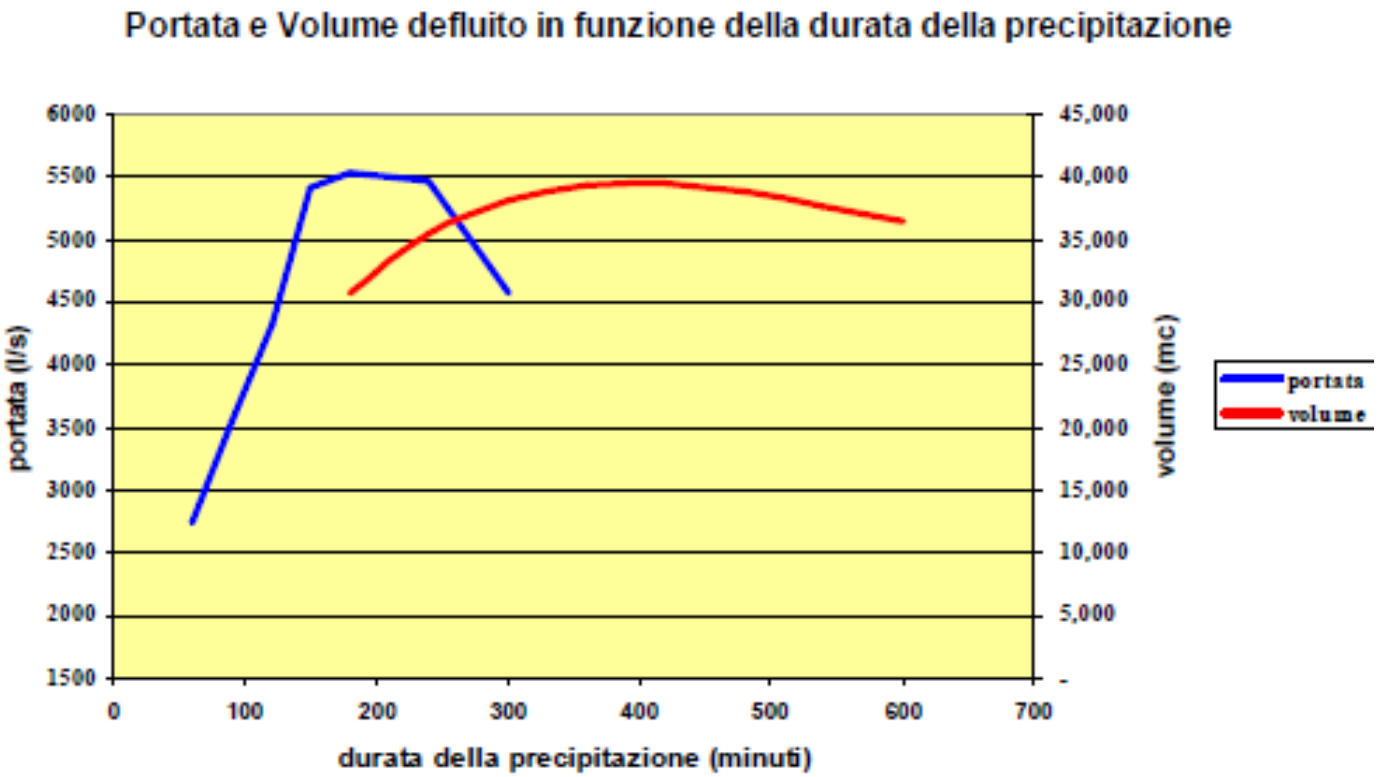
| Periodo vegetativo | Riposo vegetativo | Antecedent Moisture Conditions AMC |
|---|---|---|
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm | Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm | I |
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm | Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm | II |
| Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm | Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm | III |

$$AMC(I) \longrightarrow CN(I) = \frac{4.2\ CN(II)}{10 - 0.058\ CN(II)}$$

$$AMC(III) \longrightarrow \boxed{CN(III) = \frac{23\ CN(II)}{10 + 0.13\ CN(II)}}$$

**da utilizzare in sede di progetto**

Esempio di simulazione idrologica




Come si evince dal diagramma la durata della precipitazione che massimizza il volume defluito è molto maggiore della durata che massimizza la portata di piena (circa 400 minuti contro 150 minuti nell'esempio).

Risulta evidente che la determinazione del tempo di concentrazione (o corrivazione), quindi della durata da assumere per la precipitazione di progetto, risulta essenziale per determinare i **valori massimi di portata e volume probabile**; in particolare si dovrà fare riferimento a tempi di concentrazione differenti dovendosi dimensionare **collettori o volumi di invaso**.

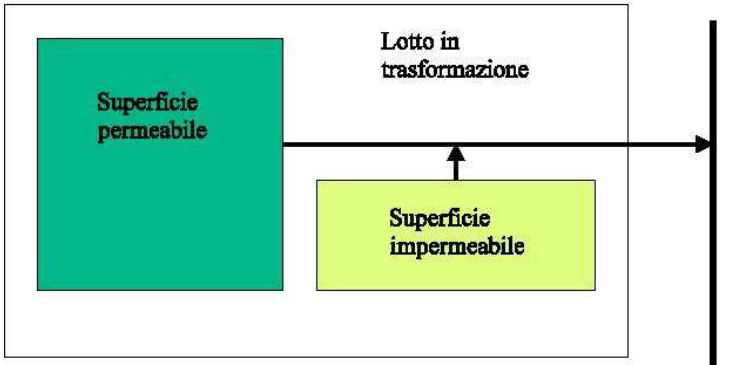
LINEE GUIDA

| Classe di Intervento | Definizione |
|---|---|
| Trascurabile impermeabilizzazione potenziale | intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha |
| Modesta impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha |
| Significativa impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con Imp<0,3 |
| Marcata impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici superiori a 10 ha con Imp>0,3 |

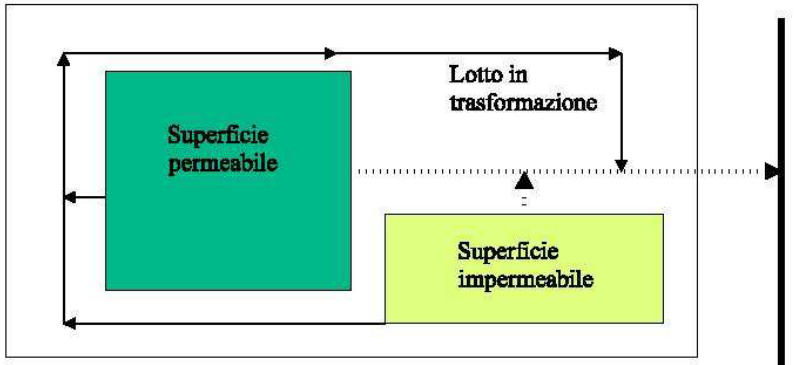
Per la prima classe (trascurabile impermeabilizzazione potenziale per superfici interessate di estensione minore di 1000 mq) la norma consente di produrre una asseverazione nella quale viene dichiarata l'ininfluenza degli effetti ai fini idraulici ed idrologici nel territorio interessato (adottando buoni criteri costruttivi per ridurre le superfici impermeabili, quali le superfici dei parcheggi).

L'approfondimento tecnico che deve essere prodotto è via via crescente con il crescere dell'estensione dell'intervento come segue:

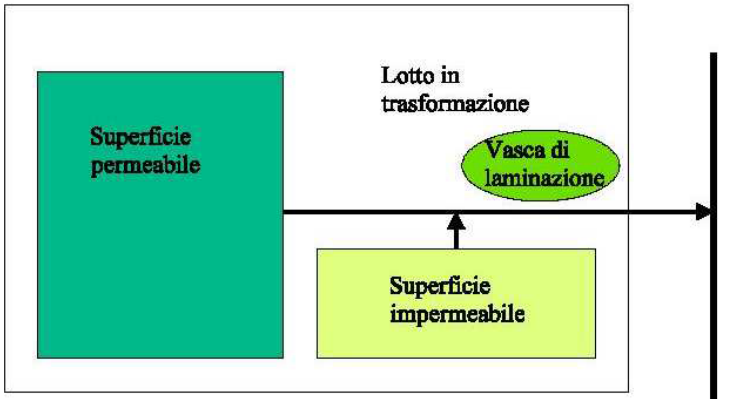
- nel caso di modesta impermeabilizzazione, oltre al dimensionamento dei volumi compensativi cui affidare funzioni di laminazione delle piene è opportuno che le luci di scarico non eccedano le dimensioni di un tubo di diametro 200 mm e che i tiranti idrici ammessi nell'invaso non eccedano il metro;
- nel caso di significativa impermeabilizzazione, andranno dimensionati i tiranti idrici ammessi nell'invaso e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione;
- nel caso di marcata impermeabilizzazione, è richiesta la presentazione di uno studio di dettaglio molto approfondito.



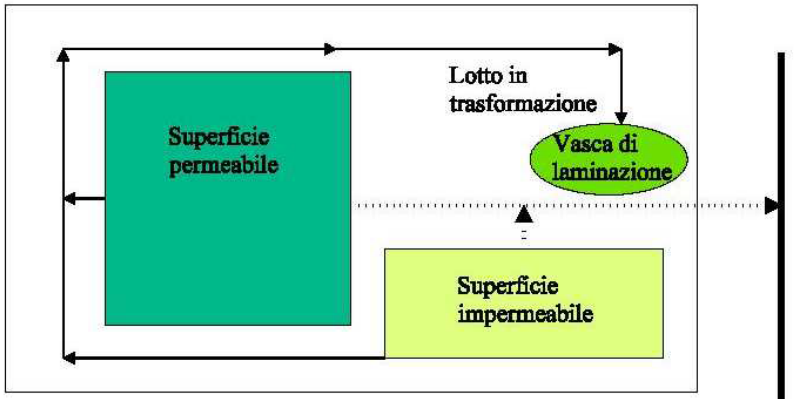

A) schema di drenaggio "tradizionale": le superfici impermeabili vengono drenate con sistemi di fognatura che recapitano al corpo idrico ricevente




C) schema di drenaggio con dispositivo di invarianza costituito da un sovradimensionamento della rete di fognatura: al posto del percorso minimo (tratteggiato) si realizza un percorso più lungo nel quale le piene vengono laminate



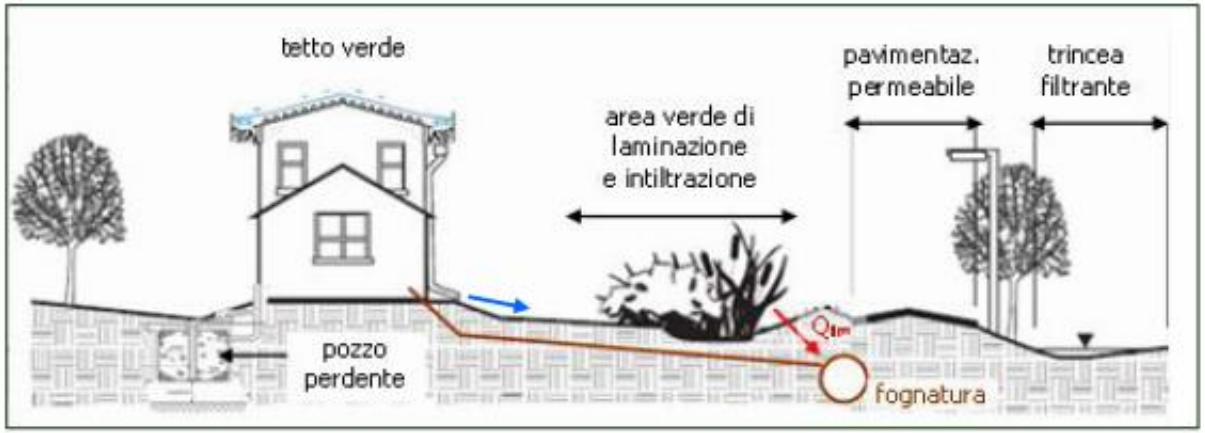

B) schema di drenaggio con dispositivo di invarianza costituito da una vasca di laminazione posta a monte del punto di recapito; il volume di invaso viene calcolato in relazione al tasso di impermeabilizzazione indotto




D) schema di drenaggio con dispositivo di invarianza ibrido (sovradimensionamento della rete di fognatura + vasca di laminazione)

Invarianza idraulica: non aumenta il picco di portata

Invarianza idrologica: non aumentano i volumi di piena
obiettivo più complesso da conseguire



Volumi idrici di DETENZIONE: immagazzinamento e lento rilascio, differimento (accumulo)

Volumi idrici di RITENZIONE: si riduce scorrimento superficiale
(grazie a infiltrazione ed evapotraspirazione)

-Tetti verdi

Accumulo e riutilizzo locale

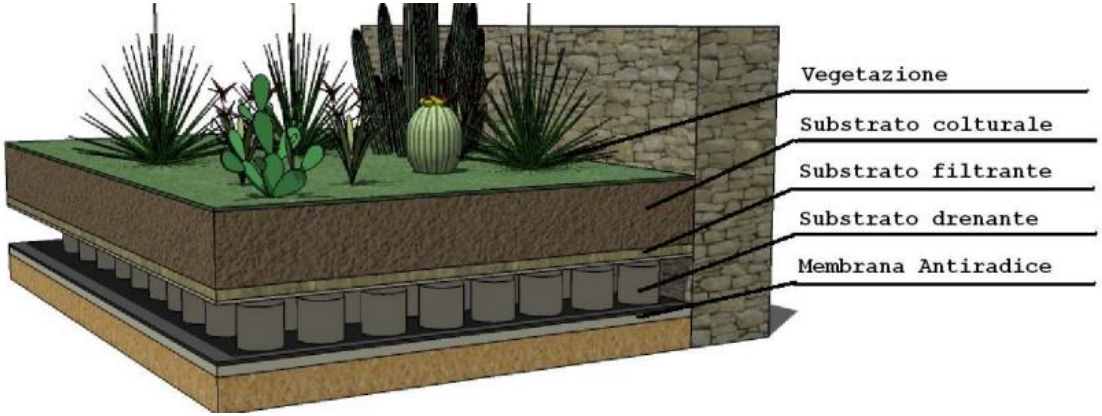
- Barili da pioggia

- Pavimentazioni permeabili

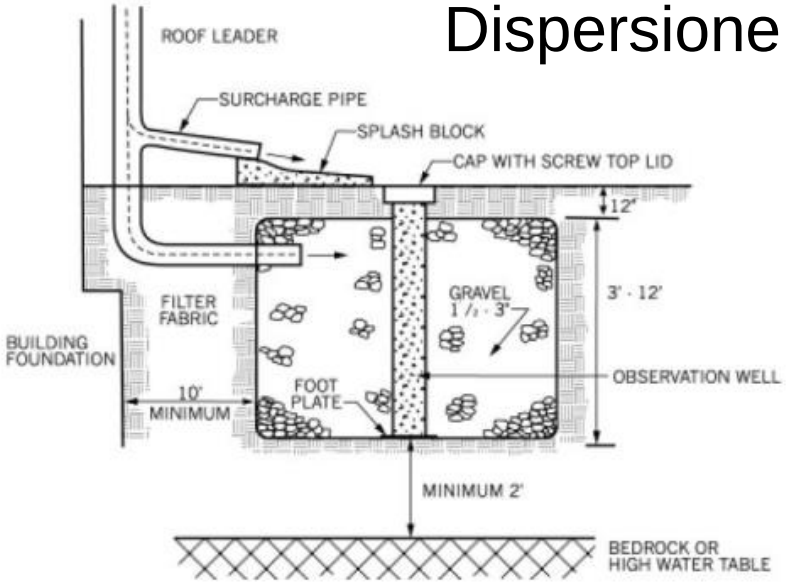
# Tetti verdi

CN = 70 – 95
WRC: water retention capacity ≅ $I_a$
WRC: dichiarata dal fornitore (range 40-80 mm)

Acqua trattenuta al netto dell'acqua gravitazionale



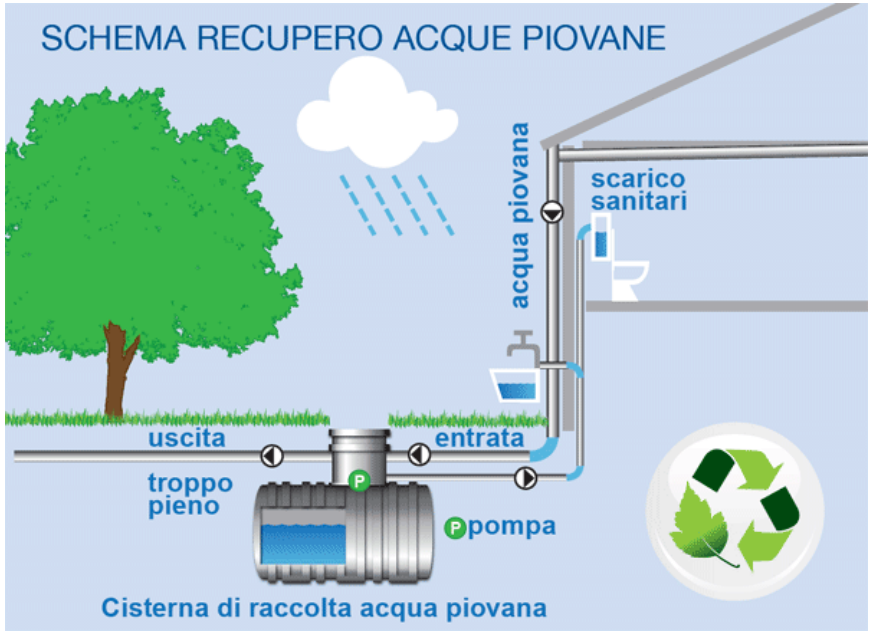
# Dispersione

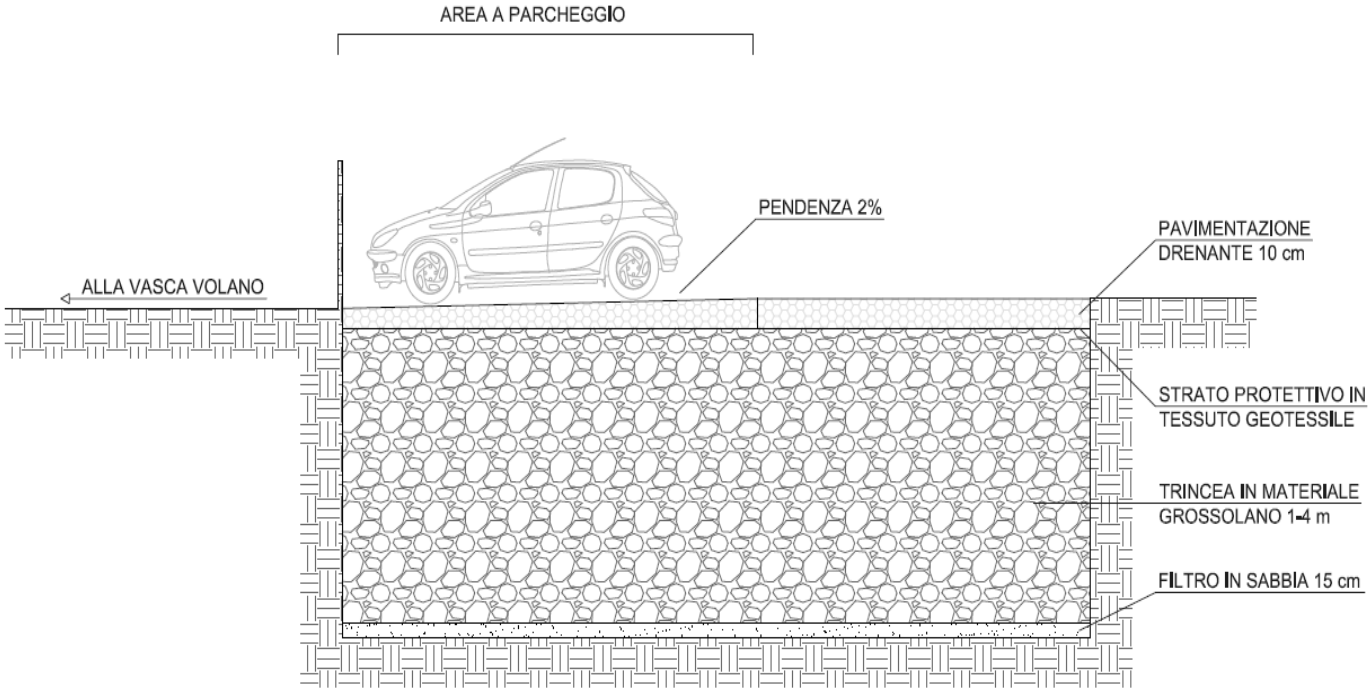



# Trincee di infiltrazione

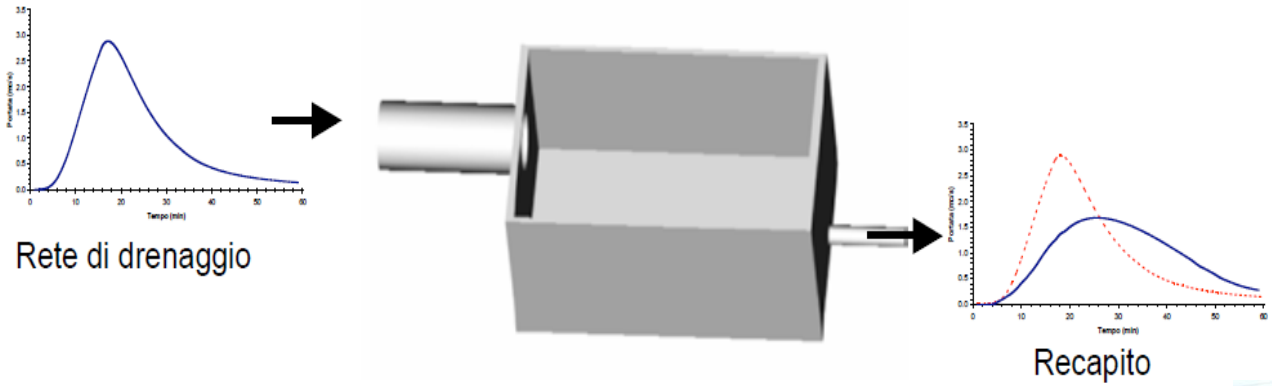
# Pavimento poroso

# Recupero






Valorizzazione dei volumi idrici invasabili dalle aree a parcheggio



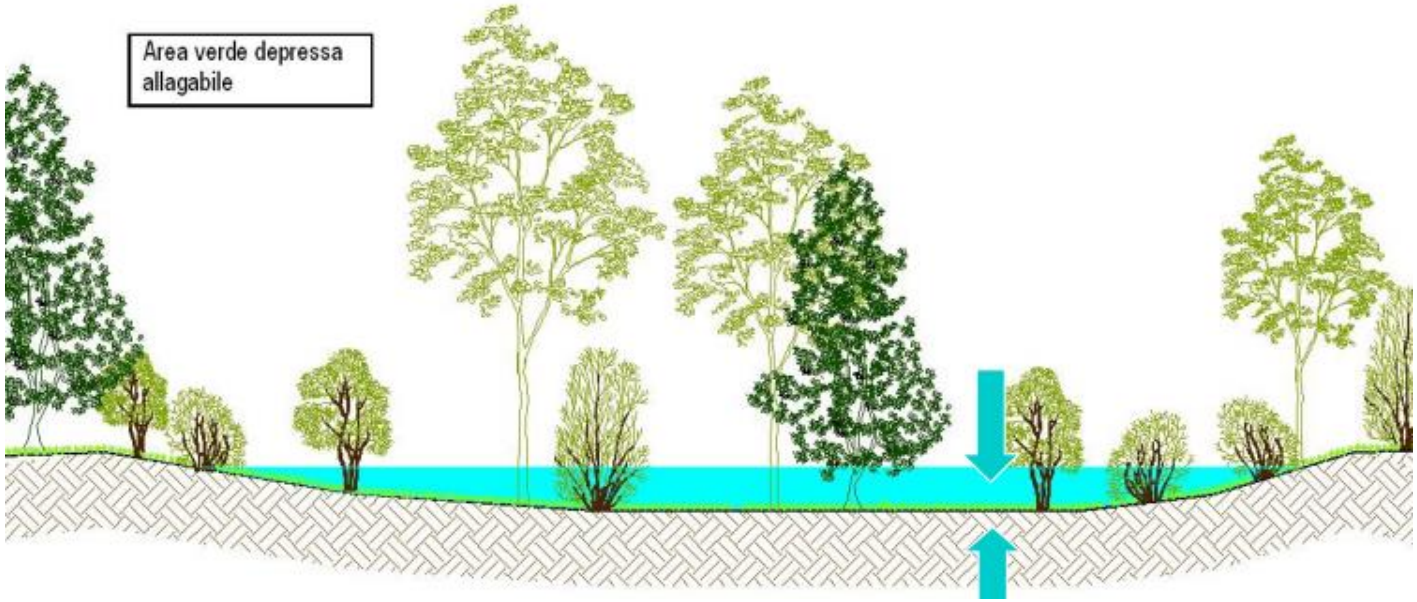

Invasi temporanei: <u>vasche di laminazione</u> (vasche volano) che sfasano temporalmente apporti al recipiente e decapitano il picco di piena

Linee guida per la realizzazione di boschi nella pianura veneta (Regione Veneto 2007): densità d'impianto media, per parchi ed aree verdi attrezzate, almeno 600 piante/ha. Le specie arboree o arbustive - entrambe prescritte - sono quelle caratteristiche del bosco che originariamente occupava i nostri territori: il Querco-carpineto.

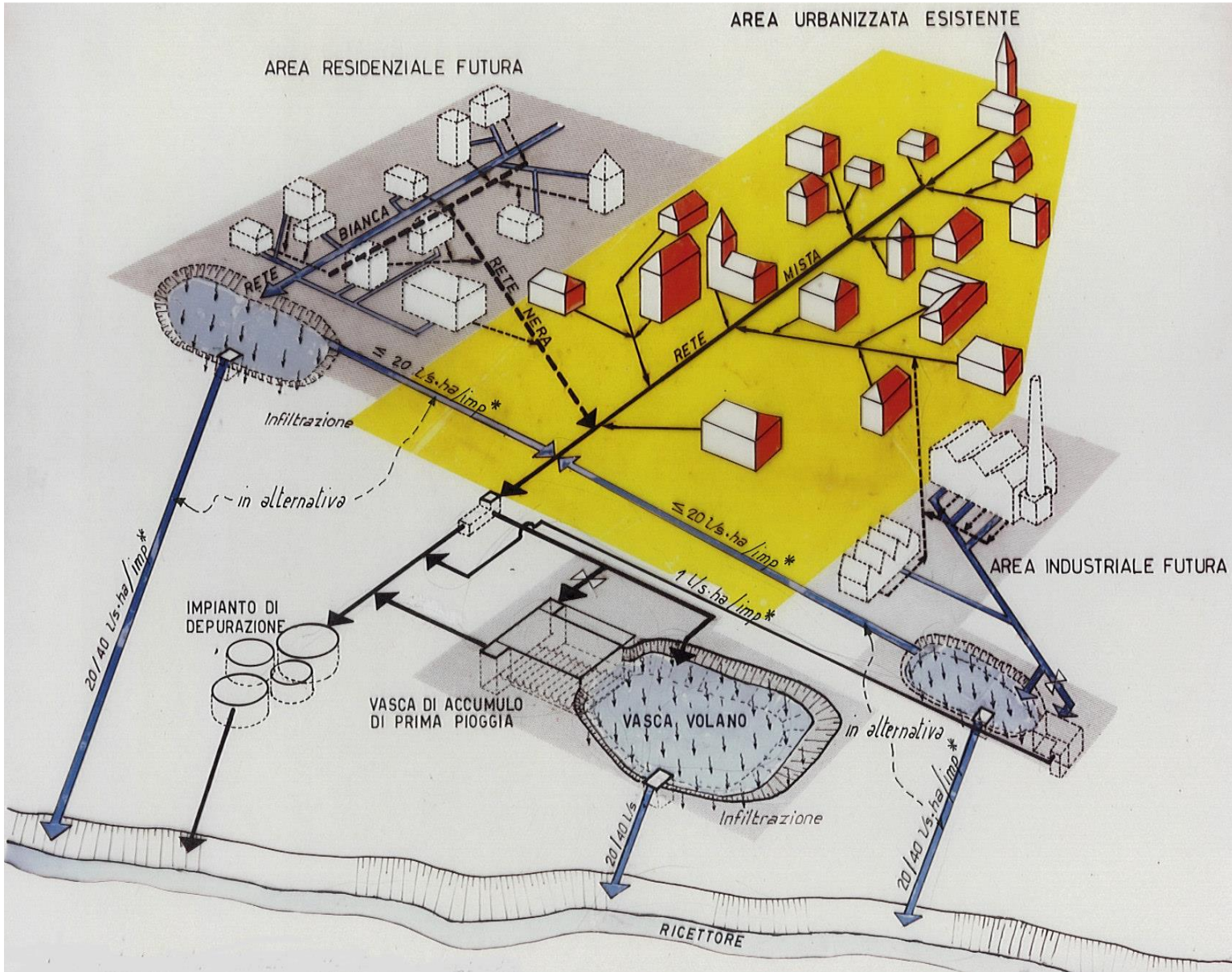
**SPECIE ARBOREE:** *Acer campestre, Carpinus betulus, Fraxinus oxycarpa, Fraxinus excelsior, Quercus robur, Ulmus minor*

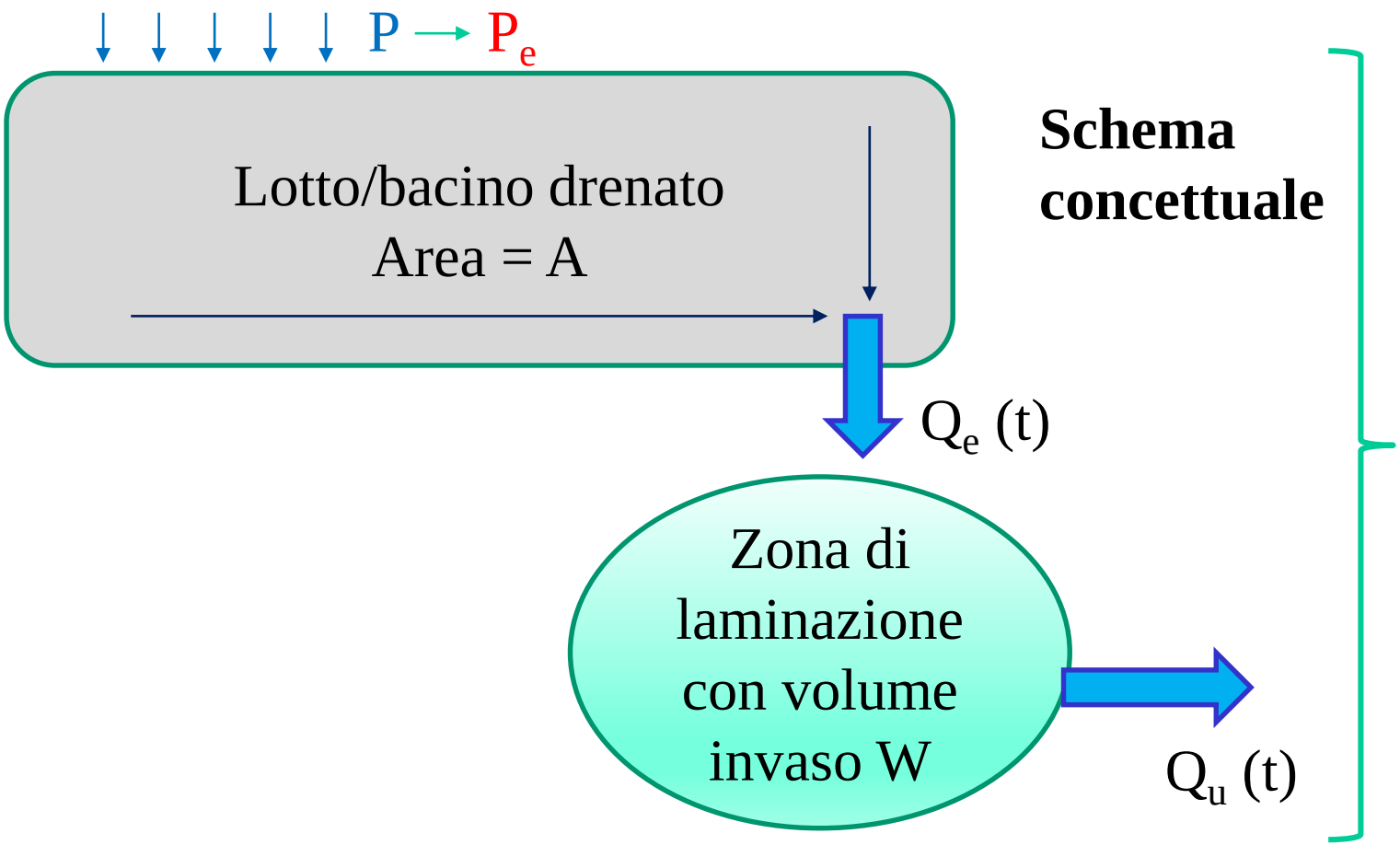
**SPECIE ARBUSTIVE:** *Cornus sanguinea, Corylus avellana, Crataegus monogyna, Crataegus oxyacantha, Euonymus europaeus, Frangula alnus, Ligustrum vulgare, Prunus spinosa, Rhamnus cathartica, Sambucus nigra.*

Uso multiplo:
compatibilità idraulica
funzione ricreativa


Area verde depressa
allagabile

Gli Enti (p.e., Consorzi di bonifica) impongono un contributo specifico (**coefficiente udometrico: q**) massimo ammesso – acque bianche - da ‘consegnare’ al recettore)





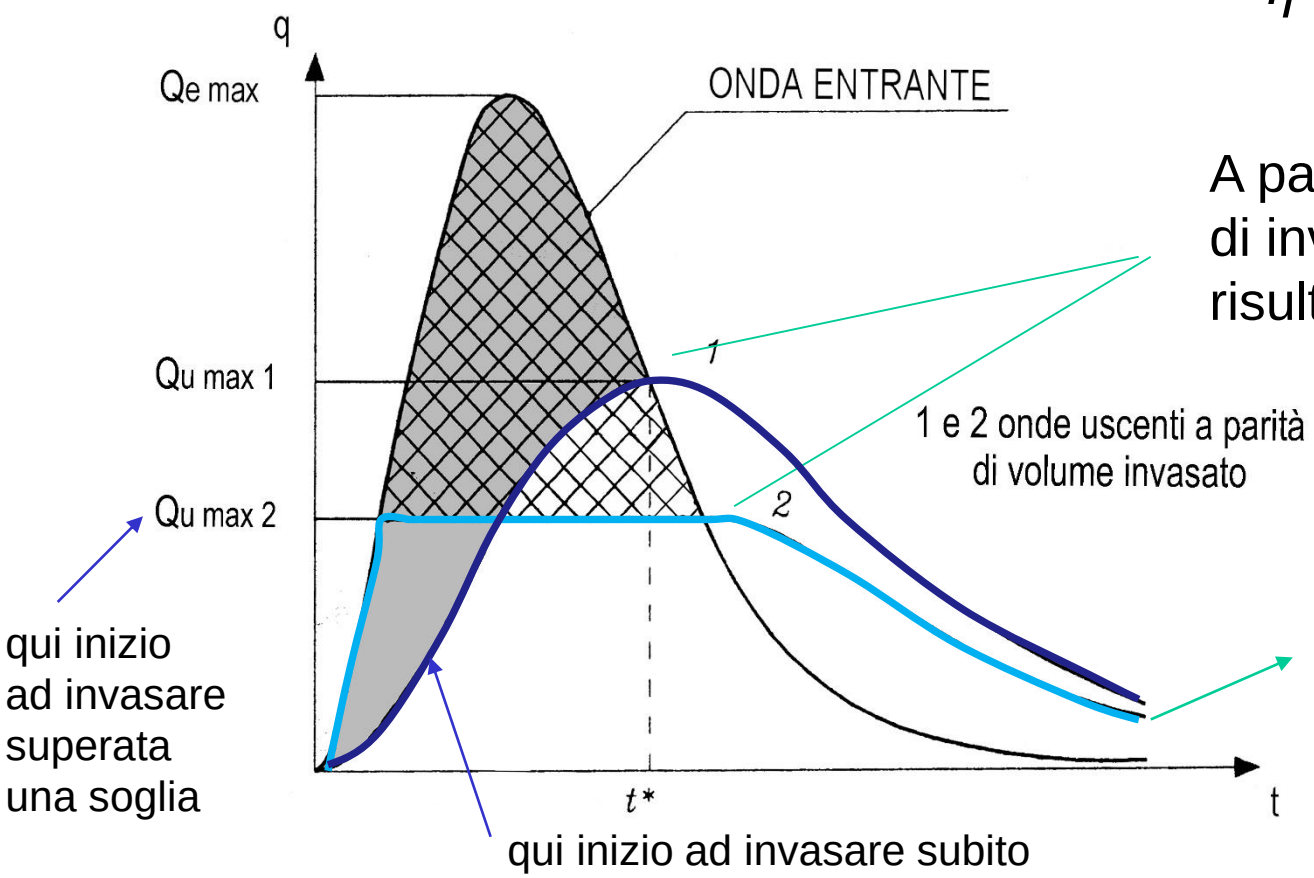

$Q_e$ (t) = portata che uscirebbe dal lotto nel tempo in assenza di zona di invaso: il deflusso, invece, viene gestito dall'invaso nel quale <u>entra</u> temporaneamente

$Q_u$ (t) = portata uscente dal lotto nel tempo dopo che è stata messa in gioco/fatta funzionare la zona (invaso) di laminazione

# Processo di laminazione

Rapporto di laminazione
(più basso = maggiore efficienza)

$$\eta = \frac{Q_{u,max}}{Q_{e,max}}$$




A parità di volume di invaso la laminazione risulta differente

1 e 2 onde uscenti a parità di volume invasato

2: LAMINAZIONE PIU' EFFICIENTE

E' importante la modalità temporale con cui si invasa

DIMENSIONAMENTO DI BACINI DI LAMINAZIONE/RITENZIONE/DETENZIONE

## 1 - METODO DELLE SOLE PIOGGE

- Stima per eccesso del volume dell'invaso.
- Si basa sulla sola curva di possibilità pluviometrica e ipotizza costante la portata massima in uscita dalla vasca.
- La risposta idrologica del sistema semplificata con il metodo del coefficiente di deflusso **C**.
- Volume entrante $W_e$ nell'invaso determinata dalla superficie ***A*** del bacino sotteso per effetto di un evento pluviometrico di durata t viene quindi calcolato:

$$W_e = P_e \ A = A \cdot C \cdot h(t) = A \cdot C \cdot a \cdot t^n$$

N.B.: è implicito nel metodo che la pioggia dura di più del tempo di corrivazione del bacino di area A

- Volume in entrata nell'invaso (proveniente da area lottizzata):

$$W_e = P_e \ A \ = A \cdot C \cdot h(t) = A \cdot C \cdot a \cdot t^n$$

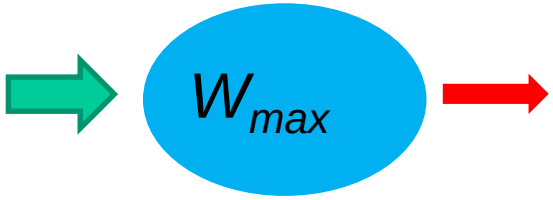
- Volume in uscita dall'invaso (lo impongo con portata costante imposta):

$$W_u = Q_u \cdot t$$

- Altezza lama d'acqua equivalente che corrisponde al volume in uscita dalla vasca:

$$W_u \ /A = Q_u \cdot t \ /A$$

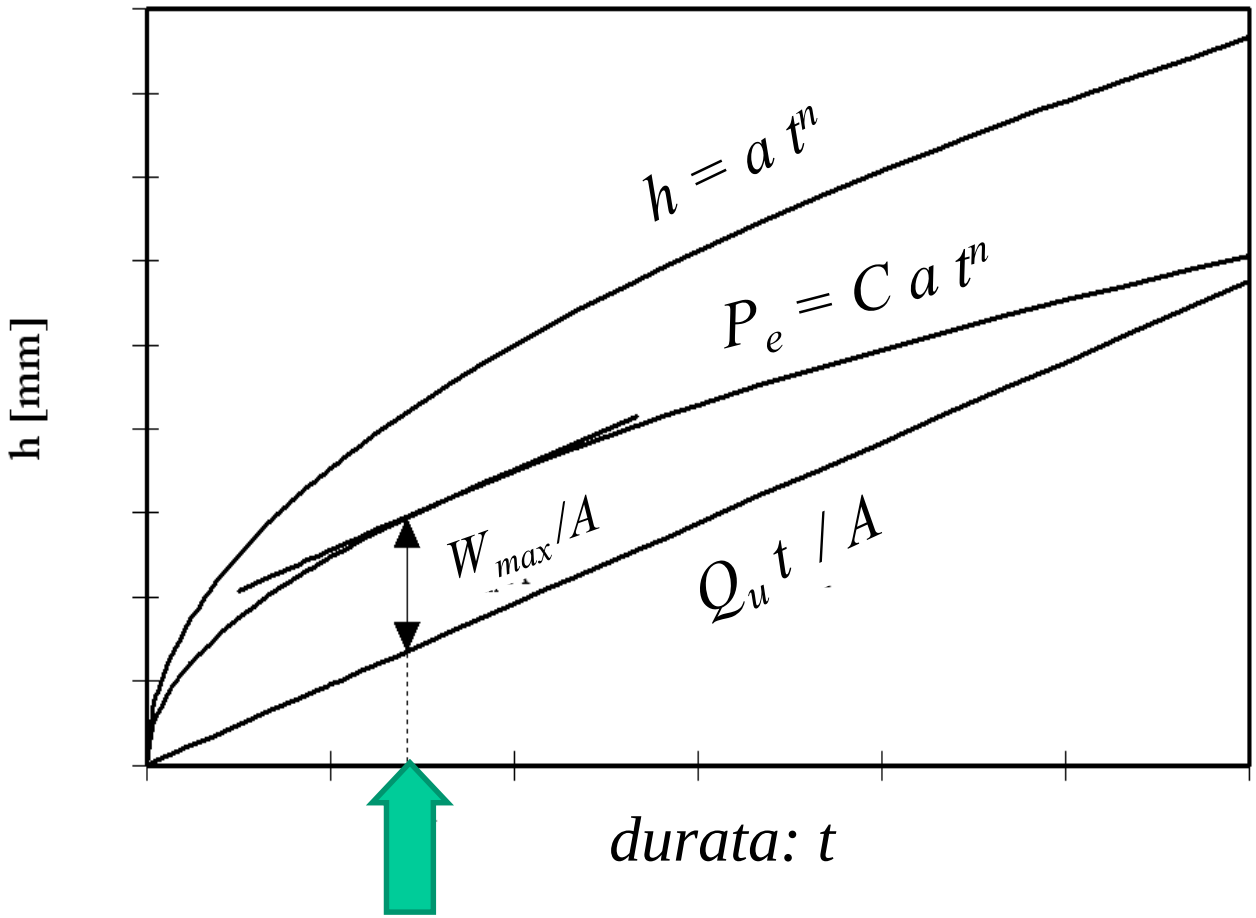
- Volume invasato nel serbatoio:




$$W = W_e - W_u$$

*Si cerca il W massimo:* $W_{max}$

da assegnare
per la compatibilità
idraulica




*durata critica: $t_c$ che genera $W_{max}$*

La condizione di massimo è espressa matematicamente dalla formula:

$$t_c = \left(\frac{Q_{u,max}}{A \cdot C \cdot a \cdot n}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W = W_e - W_u$$

$$W_{max} = A \cdot C \cdot a \cdot {t_c}^n - Q_u \cdot t_c$$

**PARAMETRI IN INGRESSO**

| | | |
|---|---|---|
| SUPERFICIE BACINO | | ***A*** |
| COEFFICIENTE DI DEFLUSSO | | **C** |
| PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE ALL'USCITA | | $Q_{u,max}$ |
| LSPP (T=50): PARAMETRI | $h=a\ t^n$ | ***a*** |
| | | ***n*** |

**PARAMETRI IN USCITA**

| | |
|---|---|
| DURATA CRITICA DI PRECIPITAZIONE | $t_c$ |
| VOLUME DA ASSEGNARE ALL'INVASO | $W_{max}$ |

Definisco quindi topografia dell'invaso (superficie/altezza)

**Metodo invaso cinematico**: introduzione/premessa

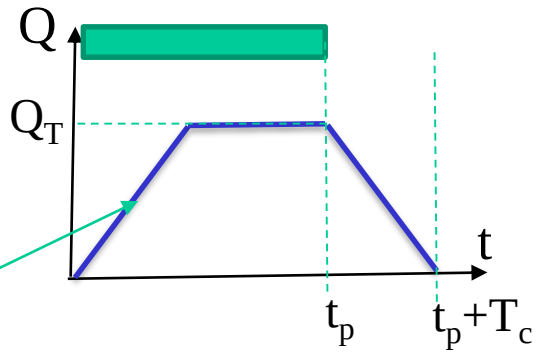
ricorda considerazioni sul metodo razionale per tempo pioggia $t_p > T_c$

$$P_e = C\,P = C\,a\,t_p^{\,n}$$

Se $t_p > T_c$

intensità ovviamente più bassa rispetto a quella relativa alla durata $T_c$

$$Q_T = \frac{P_{e-t_p}\,A}{3.6\,t_p} = \frac{j_{e-t_p}\,A}{3.6}$$




Volume di deflusso = $P_e\,A$ = Area trapezio = $Q_T\;t_p$

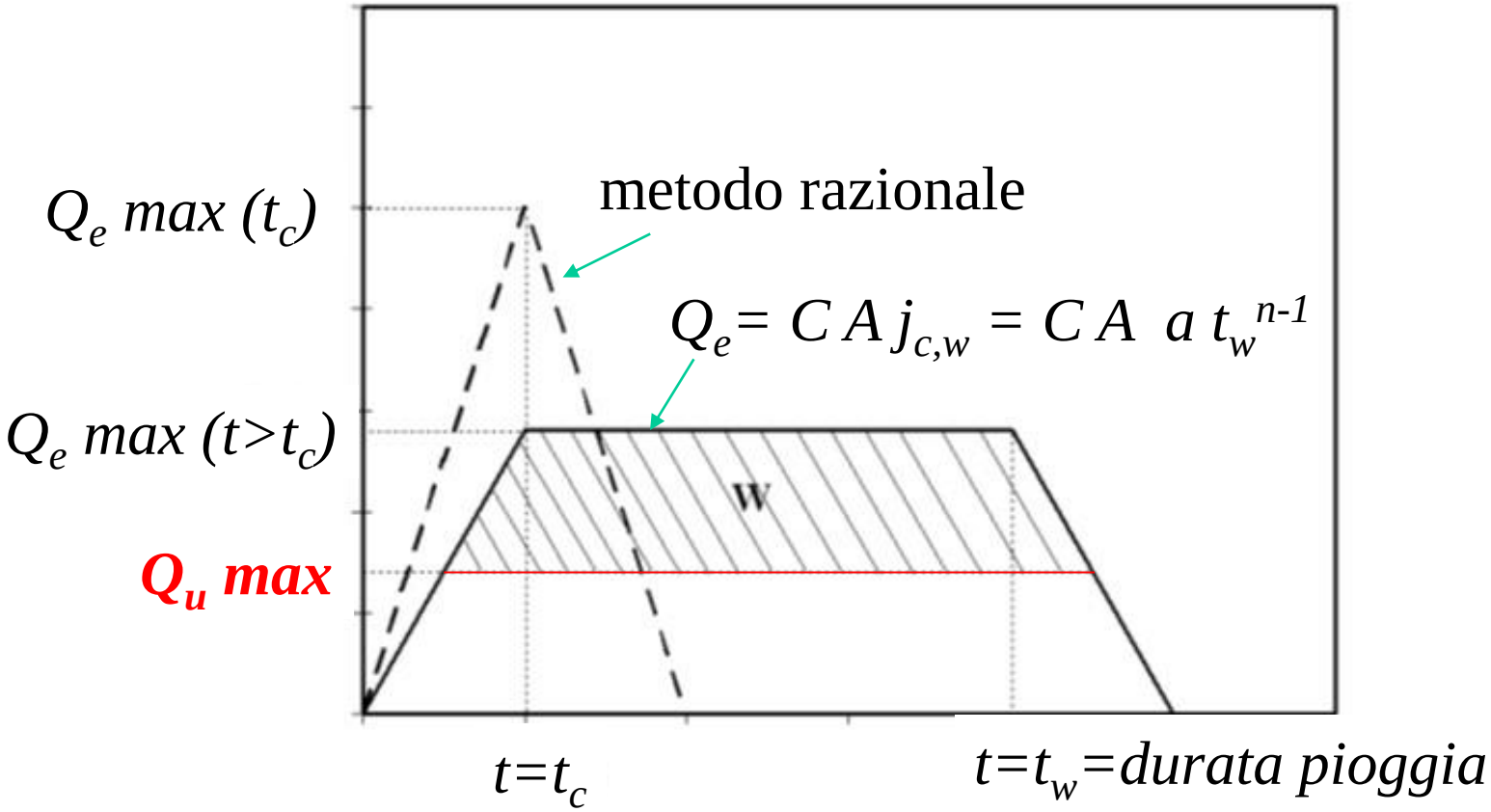
CONDIZIONI ANCHE MENO CRITICHE, come Q al picco, rispetto a $t_p = T_c$ MA IL VOLUME DI DEFLUSSO E' INVECE SUPERIORE

# 2 . METODO DELL'INVASO CINEMATICO

Max volume da invasare = W

Il massimo picco di Q (metodo razionale) non è quello che mette in crisi l'invaso

Ipotesi: pioggia intensità costante; $t_c$= tempo di corrivazione

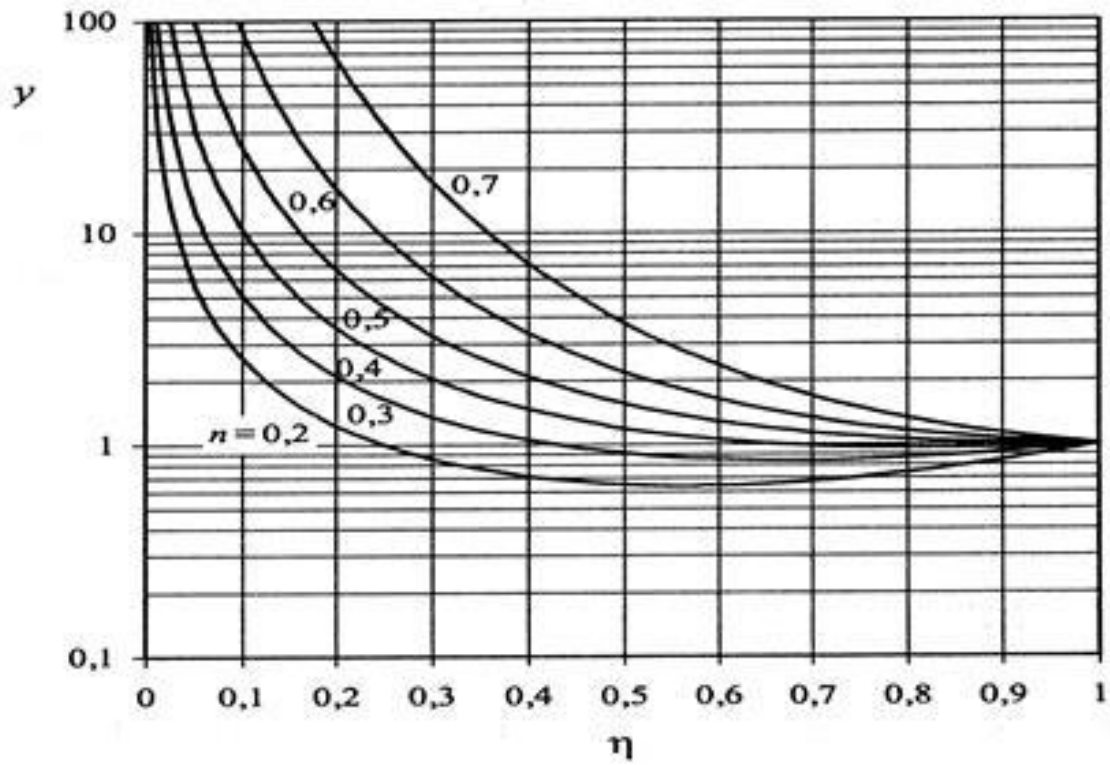



Per piogge che durano un tempo superiore a $t_c$:
si determina durata $t = t_w$ che genera volume da invasare max: **W**

Soluzione del metodo dell'invaso cinematico:

$$W_m = A \cdot C \cdot a \cdot t_w^n + \frac{t_c \cdot Q_u^2 \cdot t_w^{1-n}}{A \cdot C \cdot a} - Q_u \cdot t_w - Q_u \cdot t_c$$

$$t_w = t_c \, y$$

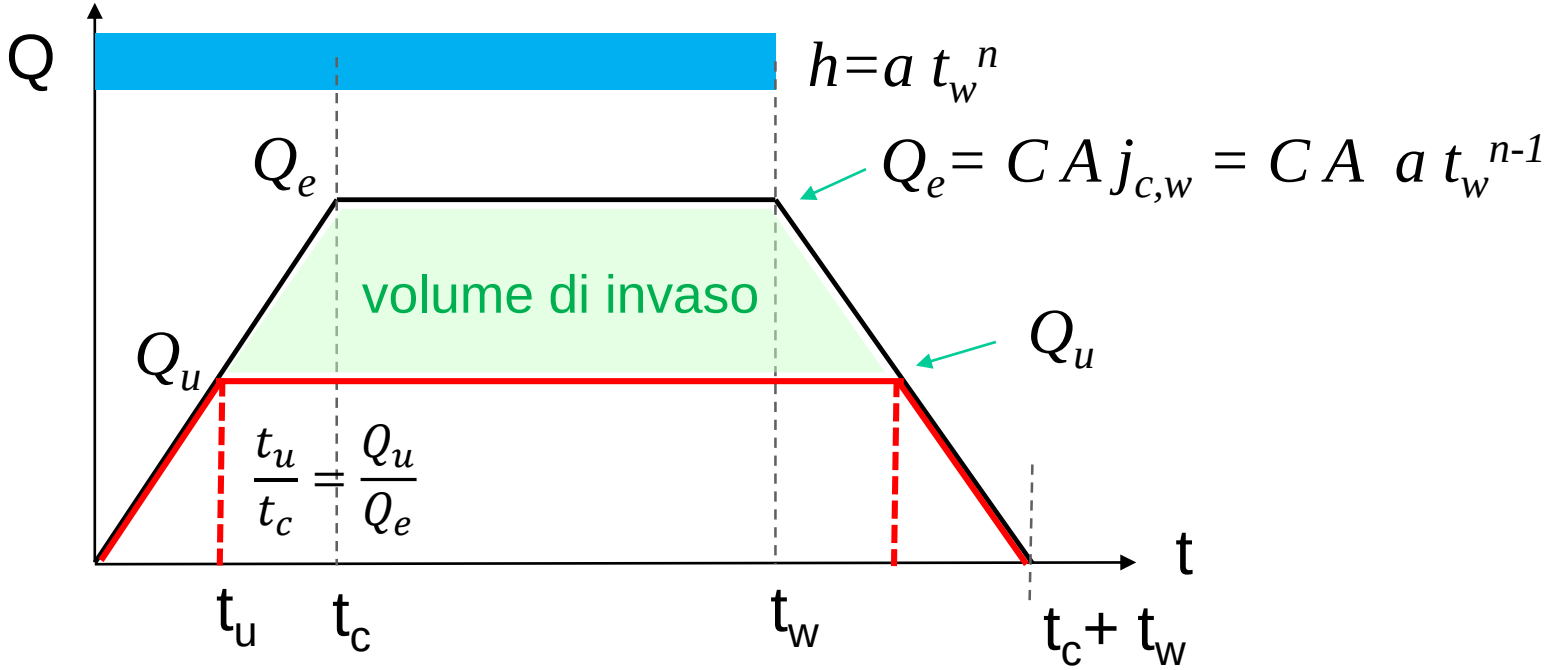



Rispetto al metodo delle piogge si richiede anche:

- $t_c$
- $Q_{e_max}$

$$\eta(raz.) = Q_u / Q_{e_max}$$

**inserire valore da metodo razionale**




Volume entrante $= V_e = Q_e\, t_w = (C\,A\;\; a\, t_w^{\,n-1})\, t_w = C\,A\;\; a\, t_w^{\,n}$

semisomma basi trapezio nero

Volume uscente $= V_u = Q_u\, (\, t_c + t_w - t_u\,) = Q_u\, (\, t_c + t_w - t_c\, Q_u / Q_e\,)$

semisomma basi trapezio rosso

# Uno semplice schema idraulico …

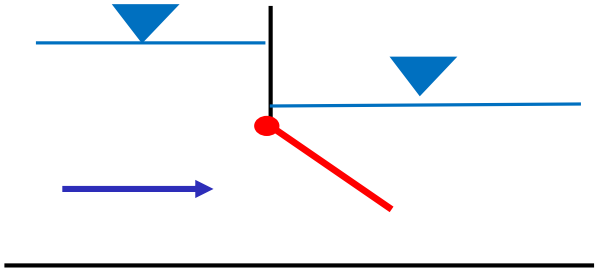
Area di laminazione W

canale recettore

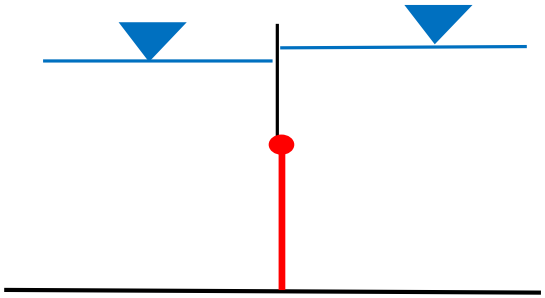
leggera contropendenza

paratoia a ventola (clapet)

collettore acque da area costruita



deflusso verso il recettore

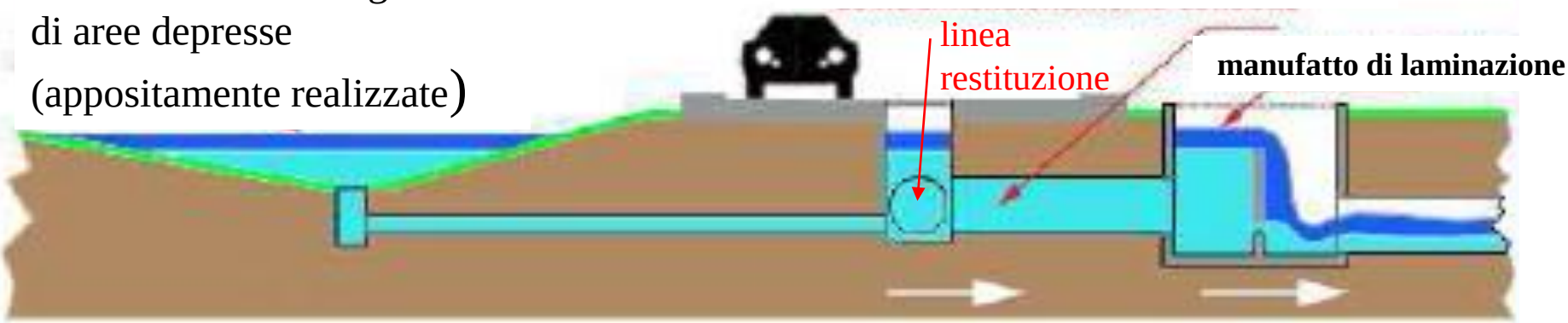


area di laminazione in funzione

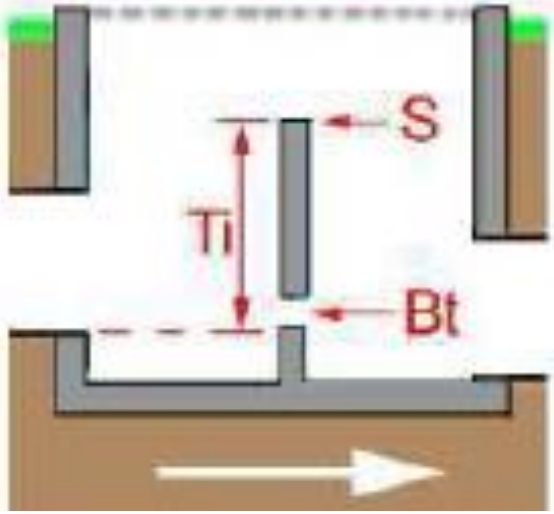
# SISTEMA LAMINAZIONE IDRAULICA

invaso mediante allegamento di aree depresse (appositamente realizzate)

eventuale sovradimens. delle condotte



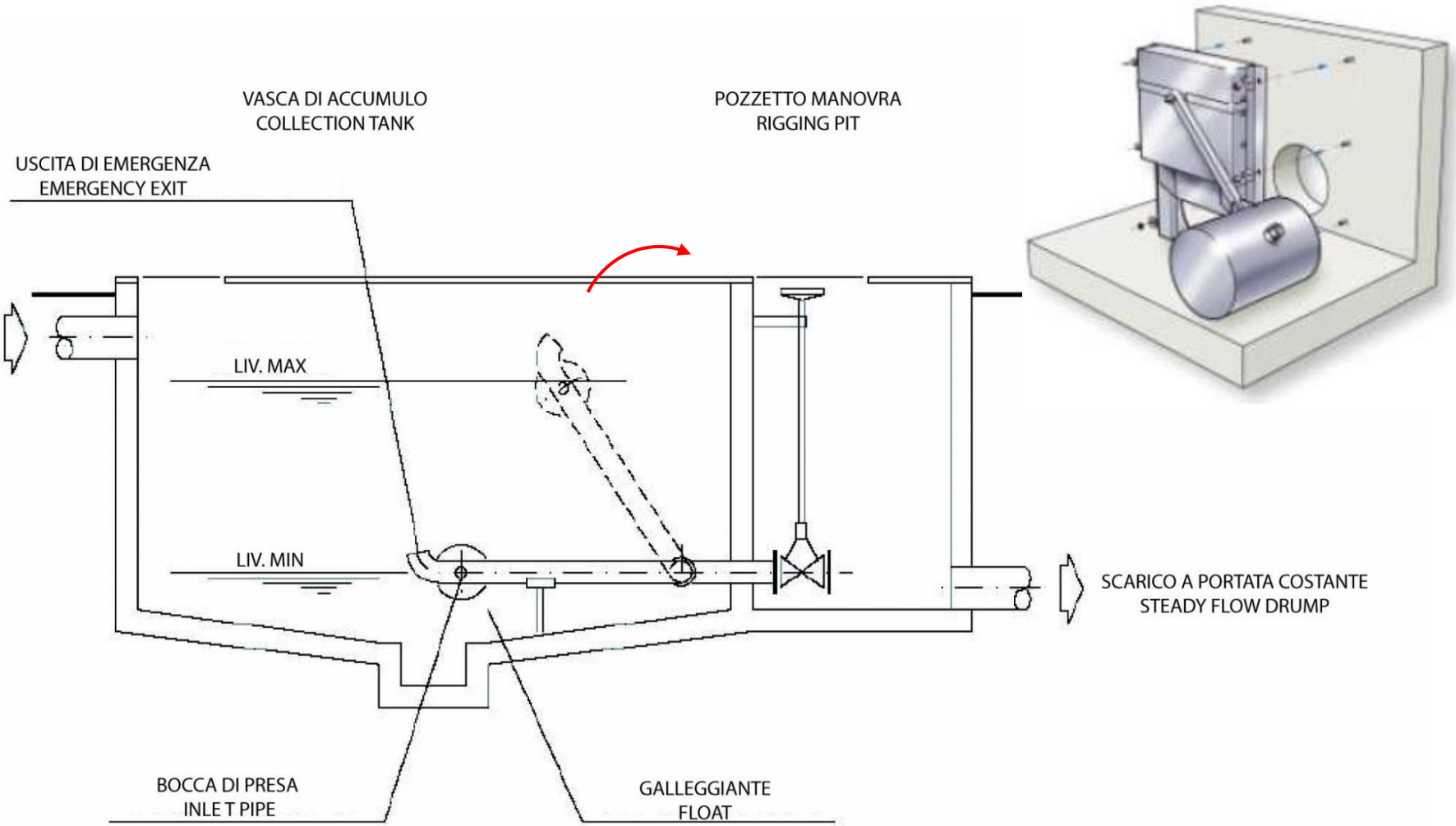

**PARTICOLARE DEL MANUFATTO DI LAMINAZIONE**




Ti = tirante idraulico/dislivello (range altimetrico) entro cui lavora l'invaso

Bt = bocca tarata per il rilascio di una portata imposta (p.e. 10 l/s/ha)

S = stramazzo che entra in gioco per eventi pluviometrici eccezionali (p.e. Tr > 50 anni); per eventi meno gravosi entra in gioco area di invaso




Esempio di bocca tarata: quando il livello si alza la luce di scarico viene strozzata (per mantenere $Q_u$ costante)

# Regolamenti edilizi comunali

- **OBIETTIVO**: introdurre un articolo per la **riduzione dell'impatto edilizio sul consumo del suolo** ad integrazione delle indicazioni regionali in materia di compatibilità idraulica.

- La progettazione degli ***edifici di nuova costruzione*** e gli ***interventi di ampliamento***,e ***ristrutturazione*** e ***demolizione*** e ***ricostruzione***, deve essere orientata al perseguimento di una riduzione degli impatti sul consumo del suolo e delle alterazioni alla naturale circolazione delle acque, mediante:

**1 - il mantenimento di un valore minimo di superficie filtrante**

**2 - l'adozione di sistemi per la gestione sostenibile delle acque di pioggia**

collocati tra la superficie impermeabile in progetto e la rete di drenaggio o collettore in modo da raccogliere l'acqua di deflusso, infiltrarla e/o restituirla laminata al collettore di drenaggio

*Tabella 1. Criteri da adottare ai fini del dimensionamento delle misure per il mantenimento dell'invarianza idraulica. S: superficie di riferimento per la quale è prevista la modificazione di uso del suolo*

| Soglie dimensionali | Criteri da adottare |
|---|---|
| $S \leq 1000\ m^2$ | Modalità di dimensionamento semplificata (descritta nel presente regolamento) |
| $S > 1000\ m^2$ | Predisposizione della verifica di compatibilità idraulica come da normativa regionale |

*Tabella 2. Criteri per il dimensionamento in modalità semplificata dei sistemi per la salvaguardia dell'invarianza idraulica*

| Tipologia | Esempi | Criterio di dimensionamento |
|---|---|---|
| A) Sistemi che garantiscono il processo di infiltrazione | Giardini pluviali, aree di bioritenzione, vasche di laminazione con fondo permeabile, trincee drenanti, pozzi perdenti. | Superficie infiltrante pari ad almeno il 10 % della superficie impermeabile scolante |
| B) Sistemi che garantiscono il solo accumulo | Vasche di laminazione in calcestruzzo, serbatoi interrati o fuori terra, bacini di laminazione con fondo impermeabile. | Volume invasabile pari ad almeno 30 litri per ogni metro quadro di superficie impermeabile scolante |

Nella modalità di dimensionamento semplificata, il verde pensile o tetto verde, permette di applicare un coefficiente di riduzione *K* nel calcolo della superficie impermeabile scolante (solo per la superficie impermeabile coperta dal sistema a verde pensile). *K* è pari a 0.7 nel caso di verde pensile estensivo e pari a 0.5 nel caso di verde pensile intensivo (spessore del substrato di coltivazione maggiore di 20 cm). La superficie impermeabile scolante viene quindi calcolata come la somma della superficie impermeabile non coperta da verde pensile, più la superficie a verde pensile moltiplicata per il coefficiente *K*.

## STRATEGIE VINCENTI/SFIDANTI

- LAVORARE SU CAMBIO DI OPINIONE DI:
  CITTADINI/TECNICI/AMMINISTRATORI/STUDENTI
  Le infrastrutture «verdi» non sono meno efficaci delle «grigie» se si adeguano spazi dedicati all'obiettivo funzionale desiderato

- LE CONDIZIONI DEL TERRITORIO ATTUALE OFFRONO UN NUMERO ELEVATISSIMO DI AREE CHE SONO TRASFORMABILI 'VIRTUOSAMENTE' IN SUDS

- MASSIMIZZARE L'ATTENZIONE VERSO LA CRITICITA' DEL «SOIL SEALING» E DEI SUOI EFFETTI
  Suolo indisturbato, superfici non pavimentate, i terreni non livellati in modo monotono hanno un grande valore per la qualità e sicurezza della vita delle comunità

- GLI INCONTRI INFORMATIVI/PARTECIPATIVI SONO BEN PRESENZIATI DAI CITTADINI
  Il momento è propizio dal punto di vista della pubblica opinione

- MONITORARE GLI INTERVENTI DI SUDS PILOTA HA UNA DOPPIA VALENZA
  1) Scientifico-tecnica
  2) Comunicativa-dimostrativa per indurre all'adozione di infrastrutture verdi con dati oggettivi

RAIN GARDEN SPERIMENTALI

**- CAMPUS DI AGRIPOLIS –**