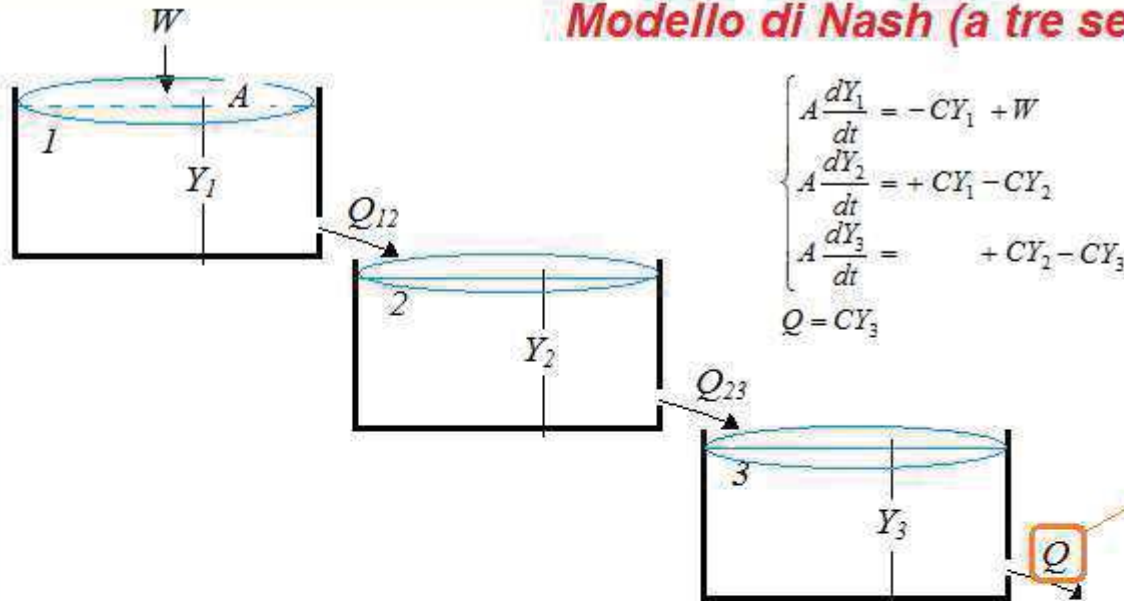


# Trasformazione Afflussi-Deflussi: il modello di Nash

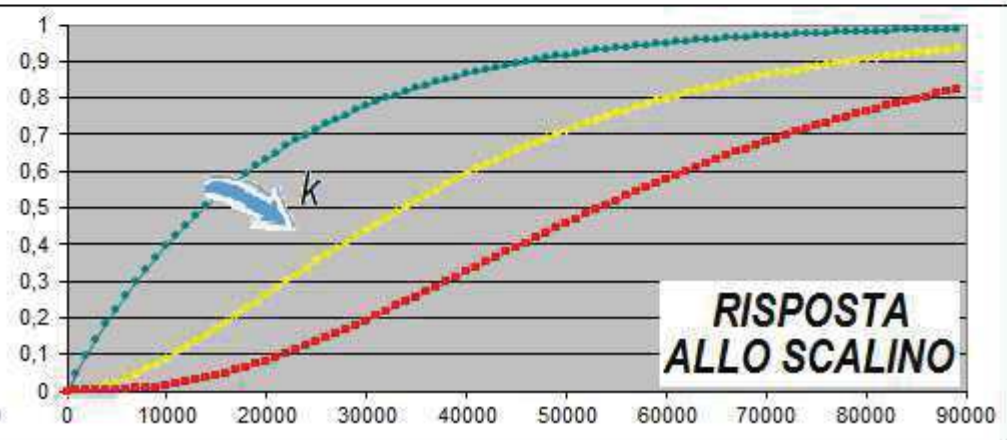
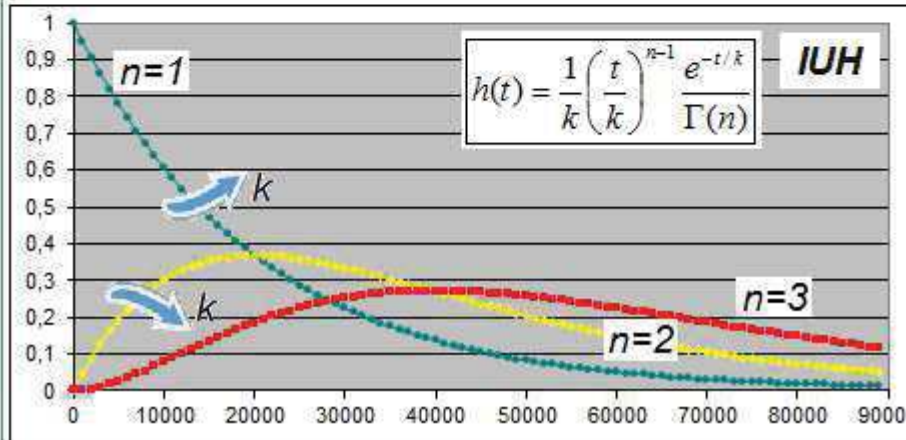
## Modello di Nash (a tre serbatoi)



$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = -\frac{Y_1}{k} + w \\ \frac{dY_2}{dt} = +\frac{Y_1}{k} - \frac{Y_2}{k} \\ \frac{dY_3}{dt} = +\frac{Y_2}{k} - \frac{Y_3}{k} \end{cases}$$

$$Q = \frac{AY_3}{k}$$

- $2 \leq n \leq 3$ , crescente con l'area A del bacino
- $k = f(T_c)$ ; per esempio  $k = \frac{(n-1)^{n-1} e^{-(n-1)}}{2\Gamma(n)} T_c$



## Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago

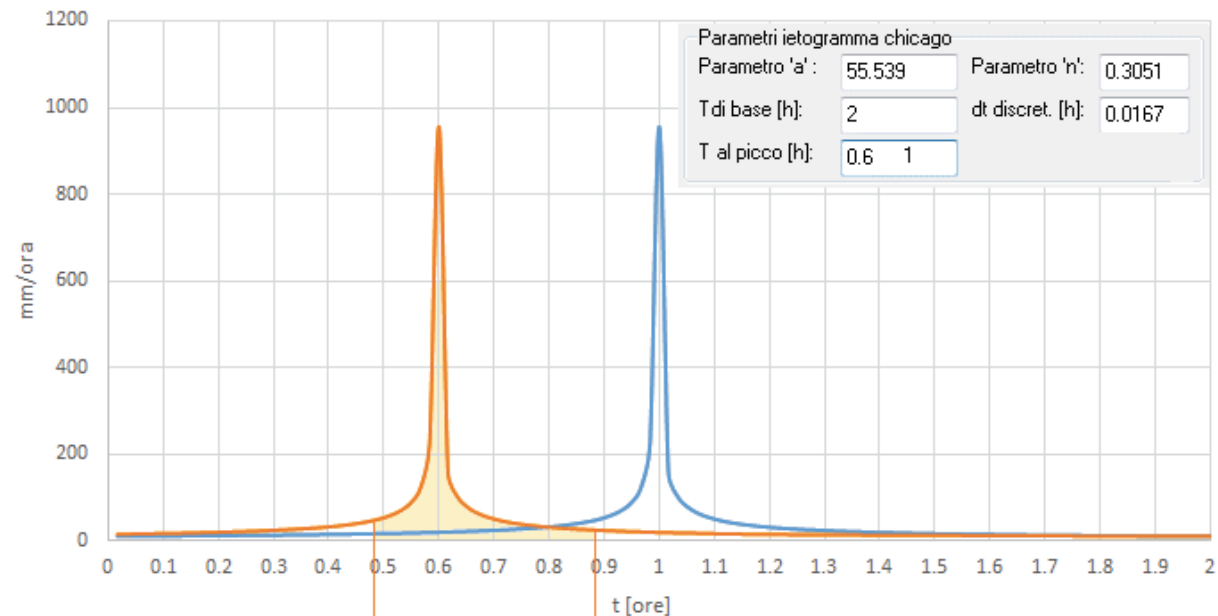
- Vale la proprietà, di verifica immediata:

$$\int_0^{\mathcal{G}_1} na \left( \frac{x}{r} \right)^{n-1} dx + \int_0^{\mathcal{G}_2} na \left( \frac{y}{1-r} \right)^{n-1} dy = a \mathcal{G}^n$$

$$\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}; \quad \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}} = r \quad \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}} = 1 - r;$$

Quindi, in ogni intorno destro e sinistro del massimo che soddisfi la relazione sopra mostrata, l'intensità media è quella della LSPP. Lo ietogramma Chicago contiene al proprio interno tutti gli ietogrammi che soddisfano la LSPP scelta, con durata tra 0 e  $\theta$ .

Ietogrammi Chicago (r=0.3 e r=0.5)



$$\int_0^{0.12} na \left( \frac{x}{r} \right)^{n-1} dx + \int_0^{28} na \left( \frac{y}{1-r} \right)^{n-1} dy = 55.539(0.4)^{0.3051}$$



## Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago

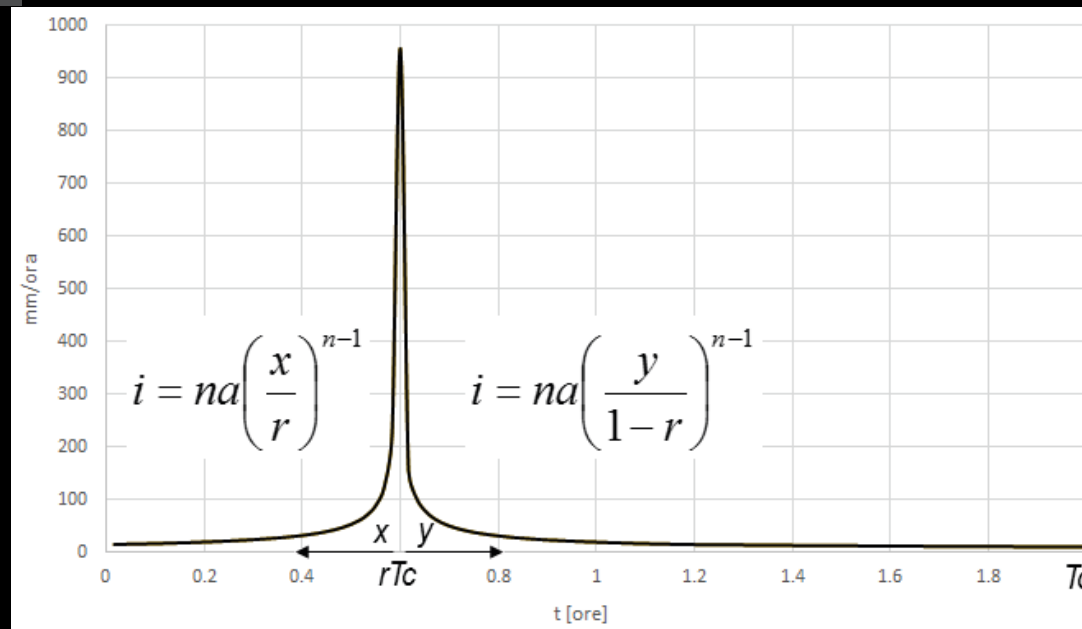
- Per superare questo ostacolo, si può costruire uno ietogramma con tempo di base pari al tempo di corrivazione e picco in posizione intermedia, al tempo  $rT_c$ . Lo ietogramma è definito da due curve

$$i = na \left( \frac{x}{r} \right)^{n-1}$$

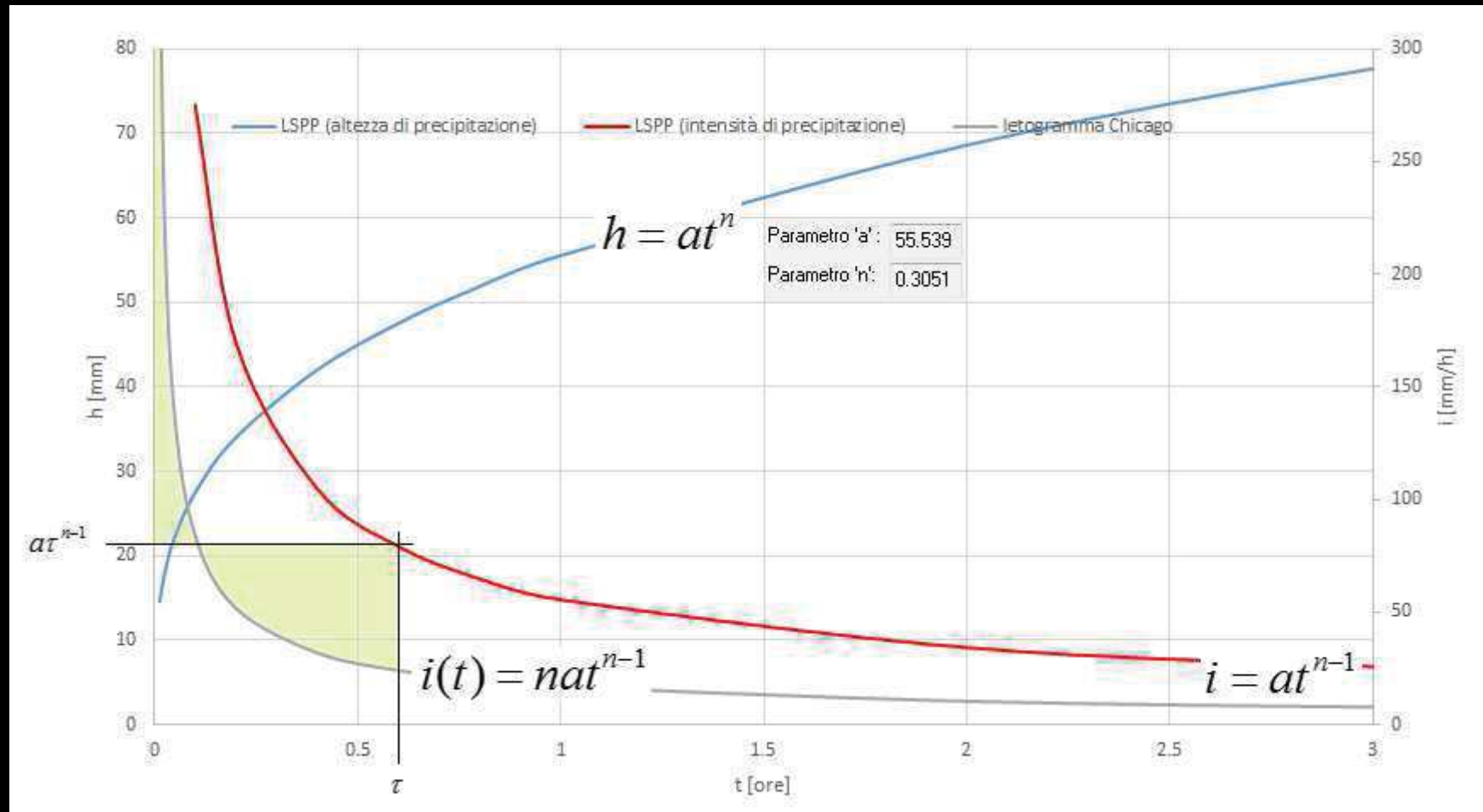
con  $x$  tempo misurato da  $rT_c$  e positivo verso 0

$$i = na \left( \frac{y}{1-r} \right)^{n-1}$$

con  $y$  tempo misurato da  $rT_c$  e positivo verso  $T_c$



## Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago



## Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago

- Dalle LSPP, scelto il tempo di ritorno e determinata la durata dell'evento critico, resta da determinare la distribuzione nel tempo della precipitazione

$$h = at^n$$

$$i = at^{n-1}$$

- Lo ietogramma Chicago (Keifer e Chu, 1957, ASCE) con massimo nell'origine ha una intensità media nell'intervallo tra 0 e la durata  $d$  pari a quella fornita dalla curva di intensità della LSPP, per ogni  $d$ .

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i(t) dt = a\tau^{n-1}$$

$$i(t) = na\tau^{n-1}$$

- D'altro canto, è improbabile che il massimo di precipitazione sia all'inizio della stessa e la severità dell'evento sarebbe molto penalizzata da alcuni metodi di calcolo dell'infiltrazione nel terreno



# ALLEGATO G: calcolo della precipitazione intense con le curve di possibilità pluviometrica

## Art 11:

- i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto da assumere sono quelli riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale;
- possono essere assunti valori diversi solo nel caso si disponga di dati ufficiali più specifici

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	28.059999
N - Coefficiente di scala	0.30509999
GEV - parametro alpha	0.29570001
GEV - parametro kappa	-0.0005000002
GEV - parametro epsilon	0.82889998

### Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: \_\_\_\_\_  
 Coordinate: \_\_\_\_\_

Linea segnatrice  
 Tempo di ritorno (anni): \_\_\_\_\_

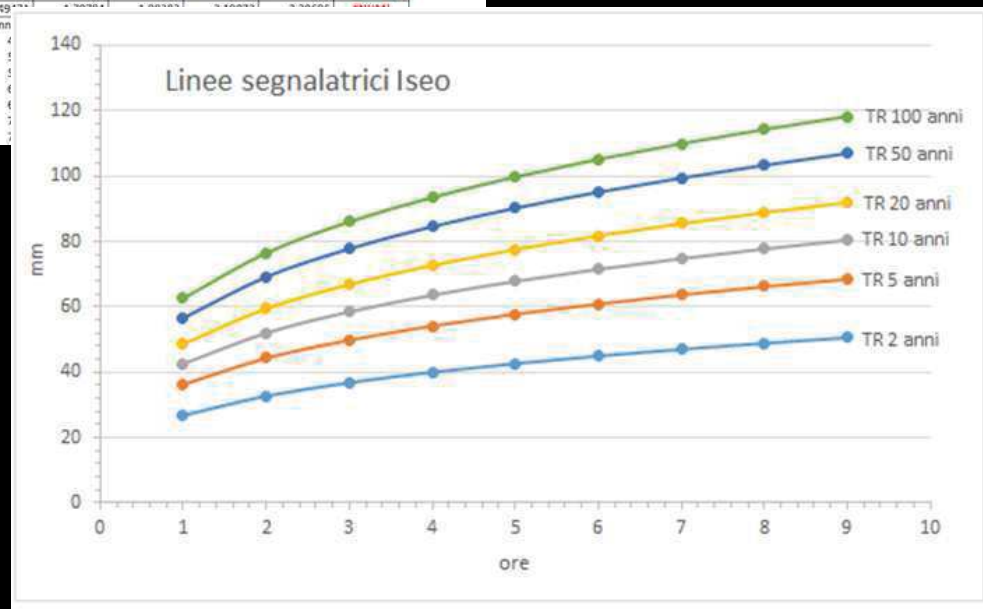
Evento pluviometrico  
 Durata dell'evento [ore]: \_\_\_\_\_  
 Precipitazione cumulata [mm]: \_\_\_\_\_

$$W_y = \epsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:  
<http://idro.arpalombardia.it/manual/10ppp.pdf>  
[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

Durata [ore]	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni
1	27.2	35.7	44.1	49.9	54.5	58.3
2	31.5	40.5	49.9	54.5	58.3	61.7
3	34.5	44.1	54.5	58.3	61.7	64.7
4	36.5	46.5	56.5	61.7	64.7	67.5
5	38.0	48.5	58.5	63.5	66.5	69.0
6	39.0	50.0	60.0	65.0	68.0	70.5
7	40.0	51.0	61.0	66.0	69.0	71.5
8	40.5	51.5	61.5	66.5	69.5	72.0
9	41.0	52.0	62.0	67.0	70.0	72.5

- per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro  $n$  per il quale si indica il valore  $n = 0,5$



## ALLEGATO G: calcolo dello ietogramma di progetto

### *Determinazione del tempo di ritorno dell'evento*

*gli interventi di contenimento e controllo delle acque meteoriche sono dimensionati assumendo i seguenti valori di tempi di ritorno: 50 o 100 anni*

### *Determinazione della durata critica della precipitazione*

*Esiste una durata di precipitazione in corrispondenza della quale la portata scaricata dal bacino è massima. Assumiamo, coerentemente al metodo della corrivazione che questa durata sia pari al tempo di corrivazione*

### *Calcolo della intensità di precipitazione associata a tale durata*

*Linee Segnalatrici di possibilità pluviometrica*

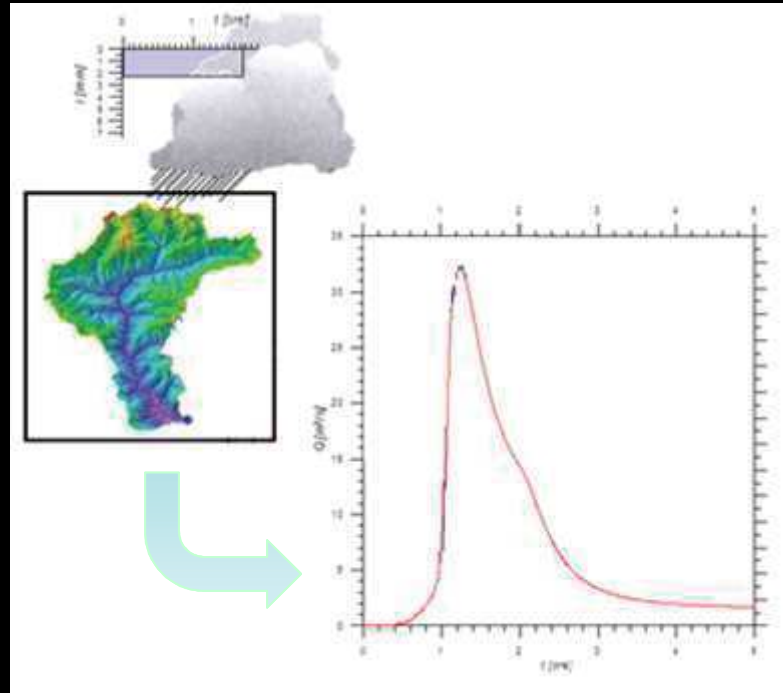
### *Calcolo della distribuzione della precipitazione nella durata*

*Si dovrebbe determinare la distribuzione dell'altezza di pioggia più cautelativa, che cioè determina il massimo picco di portata. Si suggerisce uno ietogramma di progetto tipo Chicago avente una durata poco superiore al tempo di corrivazione del bacino sotteso dall'invaso;*



## ALLEGATO G: trasformazione afflussi - deflussi

In ambiti territoriali A o B, nel caso di “Impermeabilizzazione potenziale alta” si deve **computare in dettaglio la trasformazione afflussi - deflussi del bacino fino alla sezione di ingresso nell’invaso di laminazione in progetto...**



1. **Idrogramma di progetto**
2. **Infiltrazione**
3. **Calcolo dell'Idrogramma netto**
4. **Laminazione**





# **ALLEGATO G**

*Metodologie di calcolo dei volumi di laminazione*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

*M. Pilotti - Hydraulics and Environmental Engineering Research Group - DICATAM*  
Civil Engineering, Architecture, Land, Environment  
and Mathematics

## ALLEGATO F: Calcolo dei processi di infiltrazione

**Considerazioni:** *l'infiltrazione è sempre auspicabile*

*data una determinata superficie impermeabile  $S_{imp}$ , per disperdere con l'infiltrazione l'intera portata di pioggia di arrivo, occorre convogliare la pioggia raccolta su una superficie disperdente pari al minimo a 10 volte la superficie  $S_{imp}$ , per i suoli più permeabili di classe A, e al minimo 100 volte la superficie  $S_{imp}$ , per i suoli meno permeabili di classe D.*

*Da ciò emerge come le prestazioni dei terreni di origine naturale siano, generalmente, inadeguate in termini di capacità di infiltrazione delle punte massime di pioggia.*

*L'infiltrazione deve essere accompagnata nella maggioranza dei casi da opere di laminazione che consentano di accumulare temporaneamente le portate pluviali*

*Attenzione alla posizione della falda !*

*In presenza di sostanze tossiche o inquinanti l'infiltrazione non dovrebbe essere adottata senza vasche di pretrattamento. In casi meno gravi si potrebbe provvedere al periodico rinnovo dello strato superficiale di terreno.*

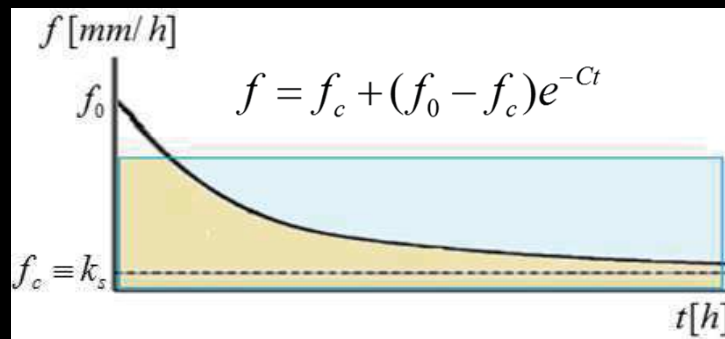


## ALLEGATO F: Calcolo dei processi di infiltrazione

**Infiltrazione:** mm/ora

**Metodi:** possibilità di adottare i metodi di calcolo indicati nella letteratura tecnica che si ritengono adeguati

**Metodi suggeriti:** modelli di Horton con decrescita di tipo esponenziale dell'infiltrazione; si suggerisce prudenzialmente, di riferirsi al valore minimo asintotico  $f_c$

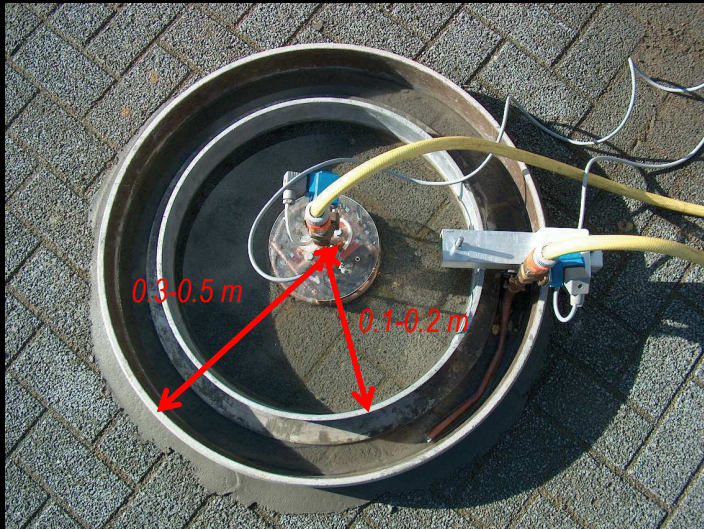


Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_c$ [mm/ora]	$f_c$ [l/(s ha)]	$C$ [ore <sup>-1</sup> ]
A sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.	250	25.4	70.5	2
B suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A	200	12.7	35.3	2
C suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid	125	6.3	17.5	2
D argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.	76	2.5	6.9	2



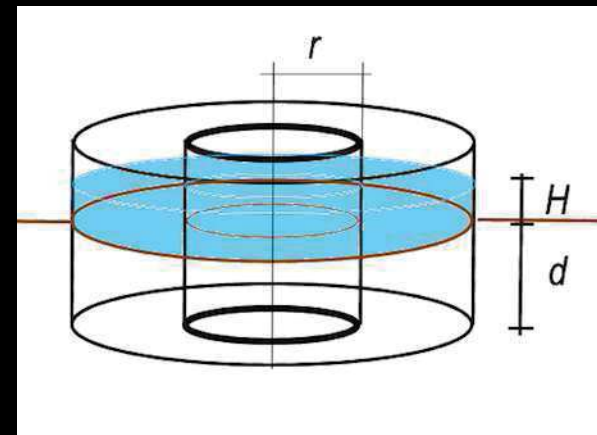
## ALLEGATO F: Misura della permeabilità in campo con permeametro a cilindro singolo o doppio

il dimensionamento delle strutture di infiltrazione deve essere basato sui dati effettivi del sito di interesse ...



- Il suolo è assunto uniforme e dovrebbe venire bagnato il più possibile prima della prova.
- L'anello esterno limita l'effetto della zona insatura esterna sulla zona di propagazione centrale.
- L'anello centrale è utilizzato per la misura della permeabilità
- Il cilindro deve essere conficcato nel terreno
- l'acqua è fornita dall'alto a portata costante
- raggiungimento di una condizione stazionaria del livello

$$K = \frac{Q}{\pi r^2}$$
$$K = \frac{\frac{Q}{\pi r^2}}{\frac{H}{0.316\pi d + 0.184\pi r} + \frac{1}{12(0.316\pi d + 0.184\pi r)} + 1}$$



# L'Infiltrazione in un suolo insaturo

## Infiltrazione

L'acqua che arriva sulla superficie del suolo sotto forma di pioggia penetra nel terreno con una velocità pari alla capacità di infiltrazione.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D \frac{\partial \theta}{\partial z} + k \right]$$

Il suo moto verticale è governato dalla eq.ne di Richards ( $D$  è una diffusività legata alla curva di suzione e  $\theta$  la saturazione)

La capacità di infiltrazione diminuisce nel tempo tendendo asintoticamente alla conducibilità idraulica satura, a causa della riduzione del gradiente medio del potenziale di pressione tra strato superficiale saturo e quello sottostante parzialmente saturo.

Se l'intensità di pioggia è maggiore della conducibilità idraulica satura, dopo una prima fase di totale infiltrazione si raggiunge un istante (tempo di ponding) in cui si ha saturazione dello strato superficiale e parte della precipitazione dà luogo a scorrimento superficiale

