

Alcuni concetti idraulici e idrologici richiamati nel regolamento



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

ALLEGATO F

Metodologie di calcolo dei processi di infiltrazione



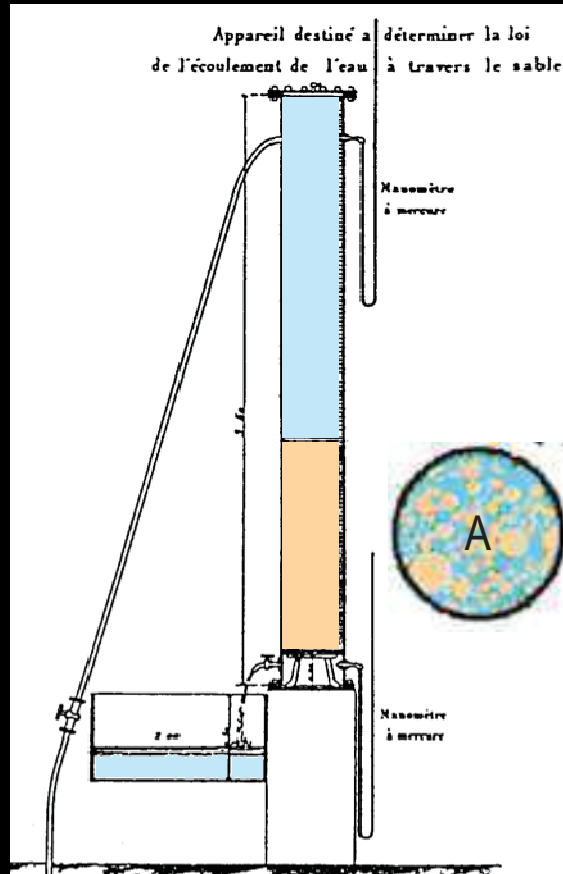
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

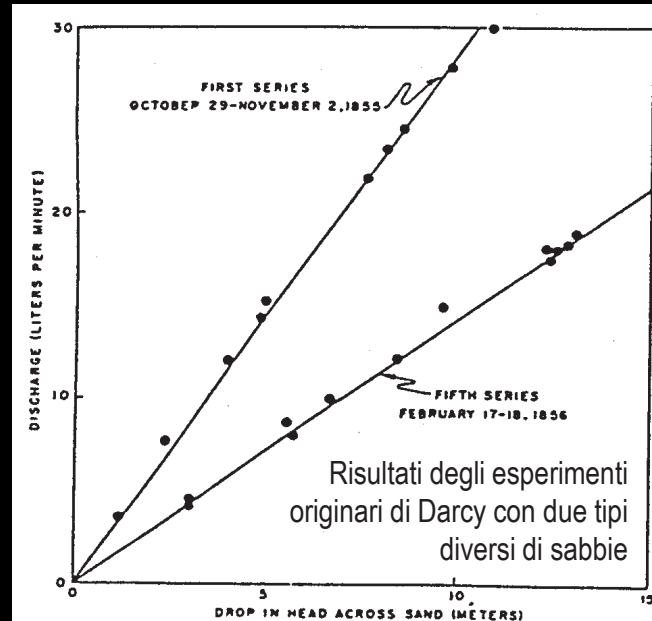
ALLEGATO F: La filtrazione in un mezzo poroso saturo

Relazione di Darcy (1856)

- Hagen (1839), Poiseuille (1846): moto in capillari
- Relazione ottenuta nell'ambito di studi finalizzati alla filtrazione dell'acqua per prevenire epidemie di colera



Apparato sperimentale originario di Darcy (*Les fontaines publiques de la ville de Dijon, Paris, 1856*)



Material	Hydraulic conductivity (m/sec)
SEDIMENTARY	
Gravel	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
Coarse sand	$9 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-3}$
Medium sand	$9 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4}$
Fine sand	$2 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-4}$
Silt, loess	$1 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-5}$
Till	$1 \times 10^{-12} - 2 \times 10^{-6}$
Clay	$1 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$
Unweathered marine clay	$8 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
SEDIMENTARY ROCKS	
Karst and reef limestone	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-2}$
Limestone, dolomite	$1 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-6}$
Sandstone	$3 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-6}$
Siltstone	$1 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Salt	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-10}$
Anhydrite	$4 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-8}$
Shale	$1 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$

Velocità alla Darcy

coeff. di filtrazione, conducibilità idraulica satura

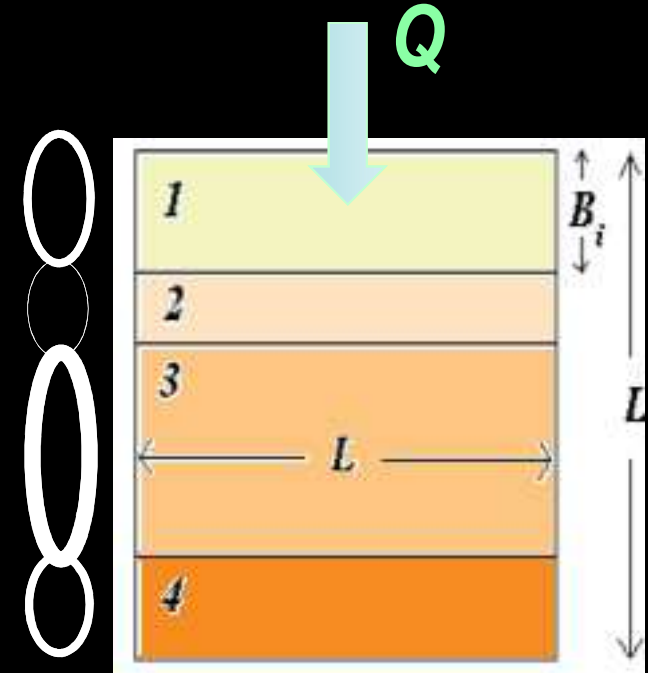
$$Q = AU = Aki = -A \frac{\gamma}{\mu} K \frac{\Delta h}{\Delta x}$$



ALLEGATO F: La filtrazione in un mezzo poroso saturo disomogeneo

Disomogeneità del mezzo poroso. Quale permeabilità ?

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = k_1 A \frac{\Delta h_1}{B_1} = k_2 A \frac{\Delta h_2}{B_2} = k_3 A \frac{\Delta h_3}{B_3} = k_4 A \frac{\Delta h_4}{B_4} = k_{eq} A \frac{\Delta h}{L} \\ \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 = \Delta h \\ B_1 + B_2 + B_3 + B_4 = L \\ \text{Conductività idraulica} \\ \text{equivalente} \\ \text{(Media Armonica)} \quad k_{eq} = \frac{L}{\sum_i B_i / k_i} \end{array} \right.$$



e.g.: $k_1=0.001$, $k_2=0.0001$, $k_3=0.003$, $k_4=0.002$;
 $B_1=0.2$, $B_2=0.1$, $B_3=0.4$, $B_4=0.2$;



$k_{eq_serie} = 0.000628$

- variabilità della permeabilità dei suoli naturali
- progressiva riduzione della capacità di infiltrazione nelle pavimentazioni permeabili causata dall'occlusione indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno.



L'Infiltrazione in un suolo insaturo

Infiltrazione

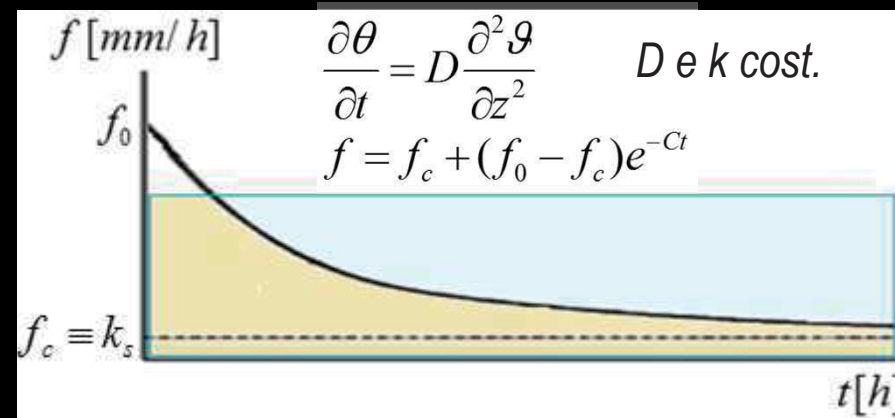
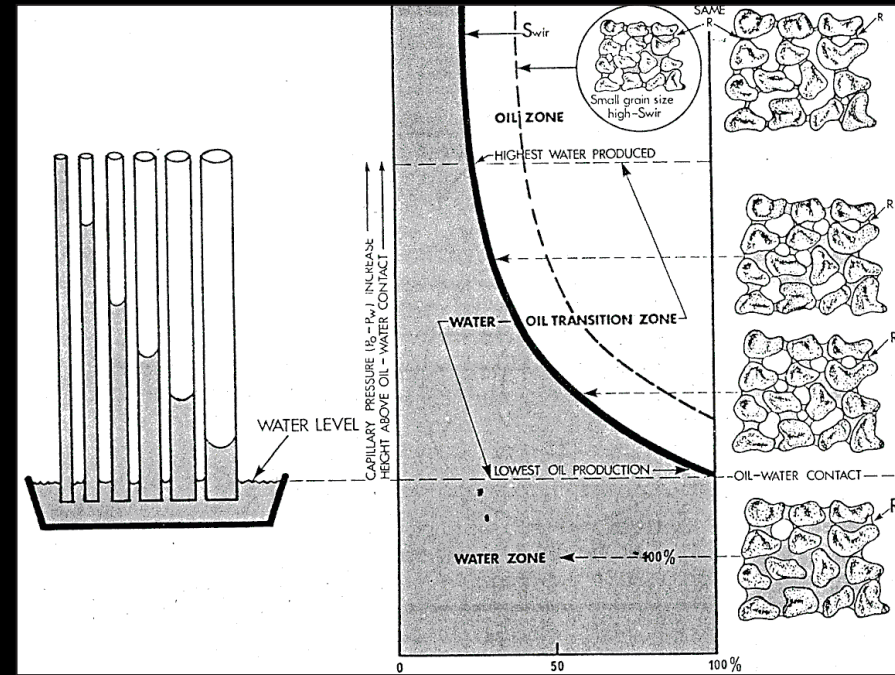
L'acqua che arriva sulla superficie del suolo sotto forma di pioggia penetra nel terreno con una velocità pari alla capacità di infiltrazione.

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

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

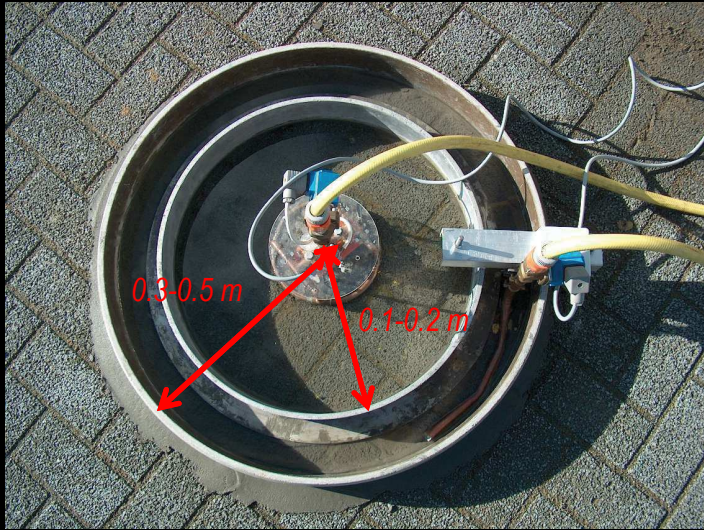
La capacità di infiltrazione diminuisce nel tempo tendendo asintoticamente alla conducibilità idraulica satura, a causa della riduzione del gradiente medio del potenziale di pressione tra strato superficiale saturo e quello sottostante parzialmente saturo.

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



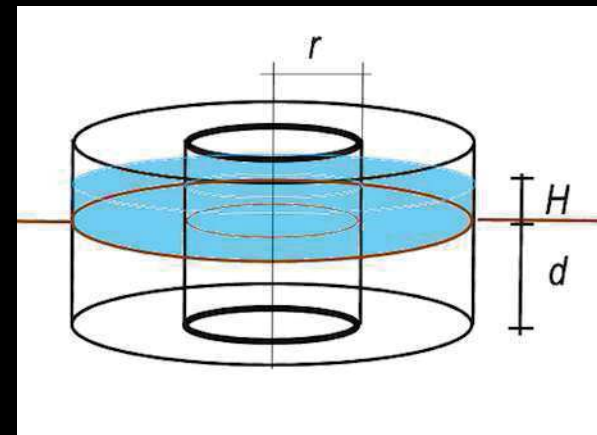
ALLEGATO F: Misura della permeabilità in campo con permeametro a cilindro singolo o doppio

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

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

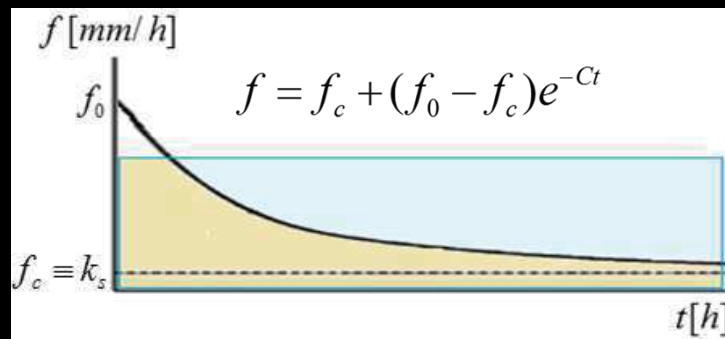


ALLEGATO F: Calcolo dei processi di infiltrazione

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 ⁻¹]
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: 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 G

Metodologie di calcolo dei volumi di laminazione

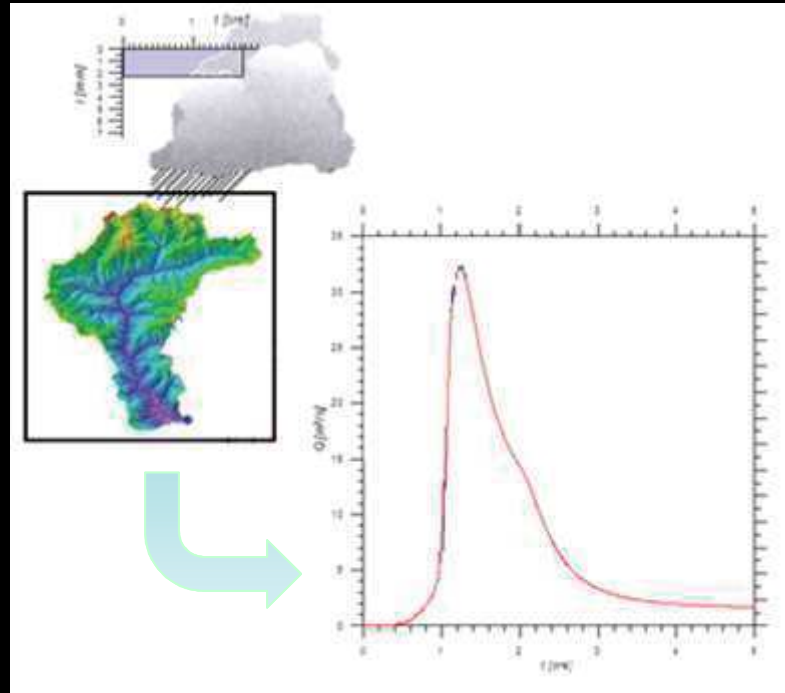


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

ALLEGATO 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: 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: 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): _____

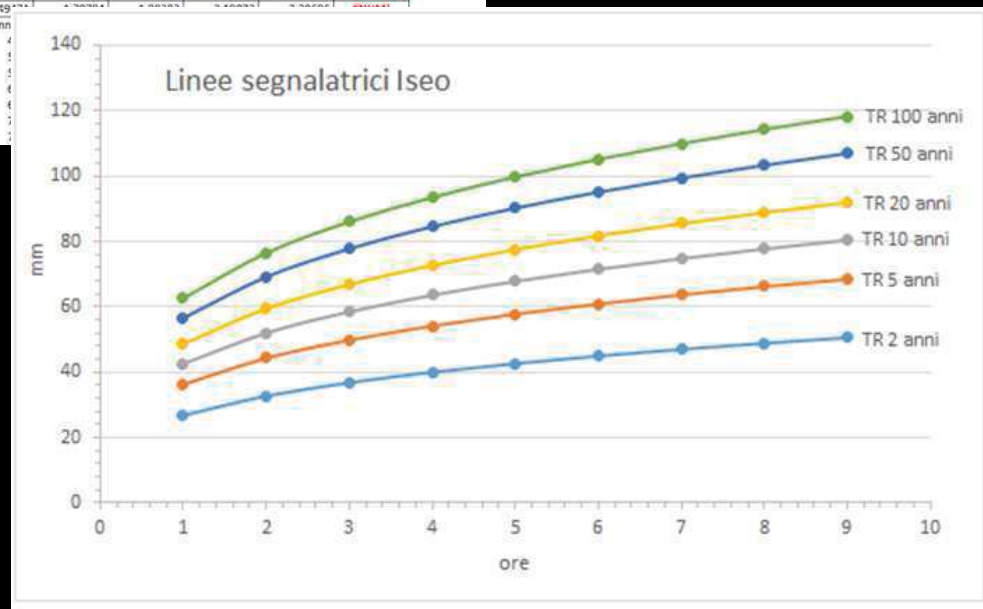
Evento pluviometrico
 Durata dell'evento [ore]: _____
 Precipitazione cumulata [mm]: _____

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

precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

ore	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni
1	35.7	44.1	49.9	54.5	58.3
2	44.1	54.5	61.7	67.4	71.6
3	49.9	61.7	67.4	71.6	75.8
4	54.5	67.4	71.6	75.8	79.9
5	58.3	71.6	75.8	79.9	83.9
6	61.7	75.8	79.9	83.9	87.8
7	64.7	79.9	83.9	87.8	91.6
8	67.4	83.9	87.8	91.6	95.3
9	70.0	87.8	91.6	95.3	98.9
10	72.6	91.6	95.3	98.9	102.5

- 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 $n = 0,5$



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 .

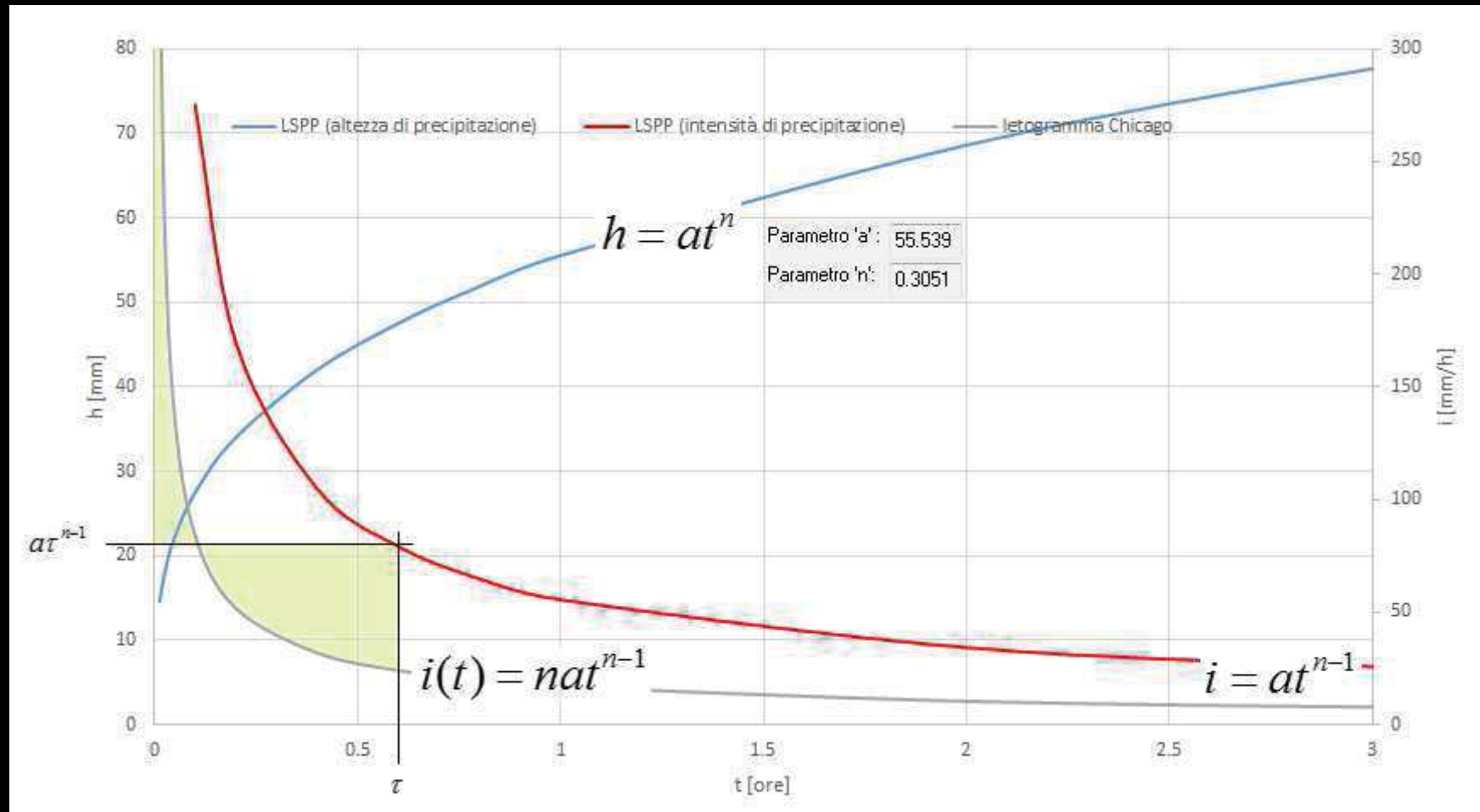
$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i(t) dt = a\tau^{n-1}$$

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

- 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



Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago



Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago

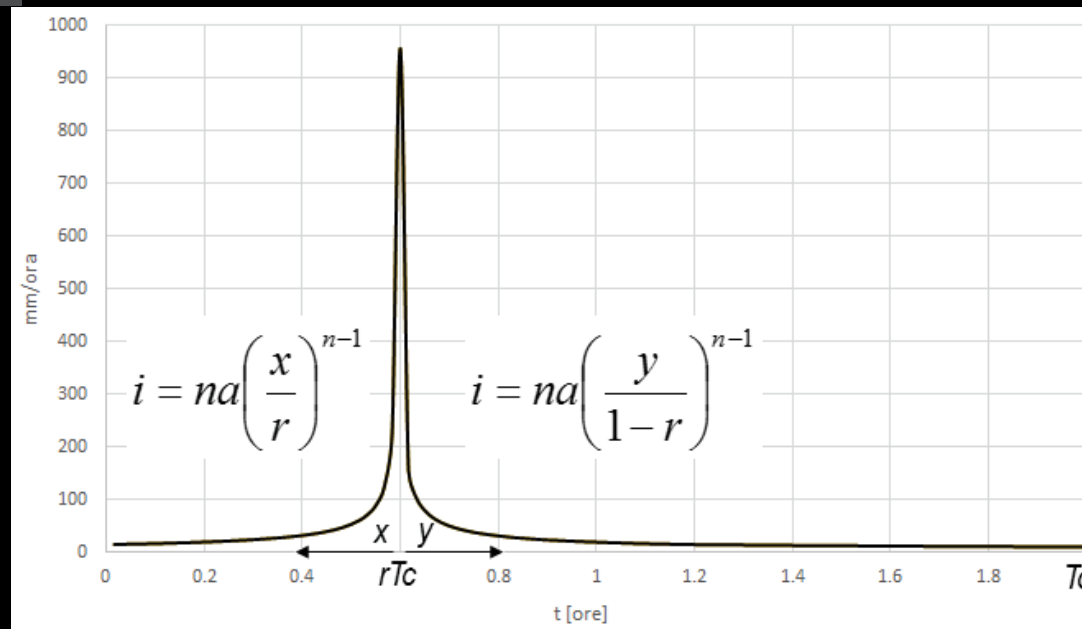
- Per superare questo ostacolo, si può costruire uno ietogramma con tempo di base pari al tempo di corrivazione e picco in posizione intermedia, al tempo rT_c . Lo ietogramma è definito da due curve

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

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

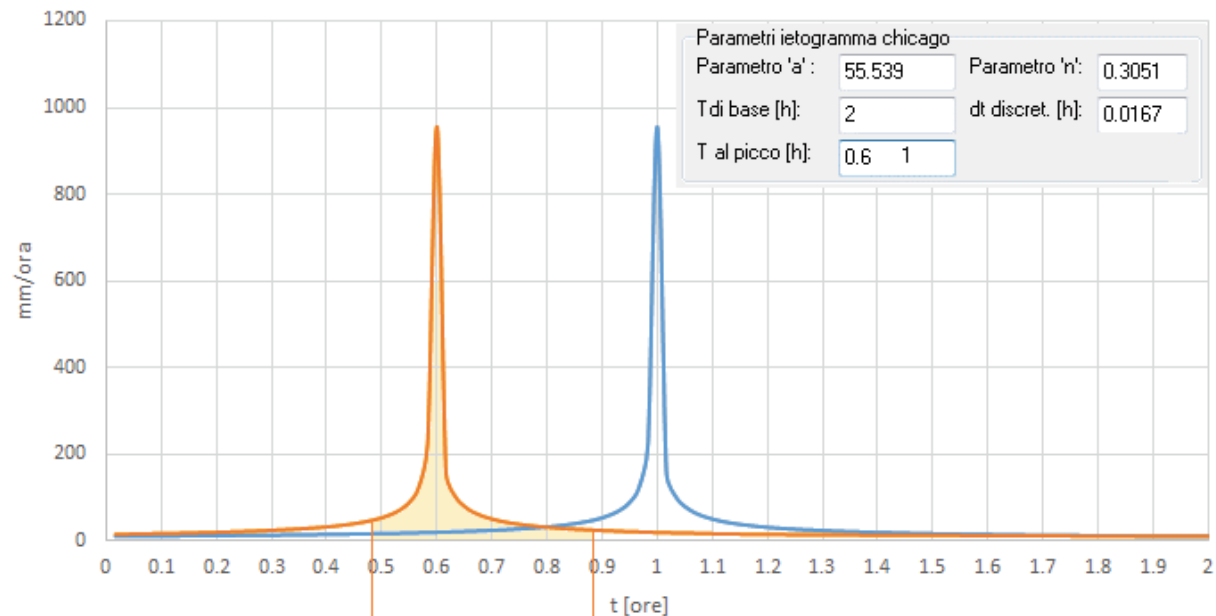
- Vale la proprietà, di verifica immediata:

$$\int_0^{\vartheta_1} na \left(\frac{x}{r} \right)^{n-1} dx + \int_0^{\vartheta_2} na \left(\frac{y}{1-r} \right)^{n-1} dy = a \vartheta^n$$

$$\vartheta_1 + \vartheta_2 = \vartheta; \quad \frac{\vartheta_1}{\vartheta} = r \quad \frac{\vartheta_2}{\vartheta} = 1 - r;$$

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 θ .

Ietogrammi Chicago (r=0.3 e r=0.5)



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

