

Aspetti Idraulici e Idrologici della normativa Regionale sull'Invarianza



Supplemento n. 48 - Lunedì 27 novembre 2017

Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7
Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)

Marco Pilotti
Professore di Idraulica, DICATAM,
Università degli Studi di Brescia

marco.pilotti@unibs.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

Il contenuto di questa presentazione

- *Alcune considerazioni sul rapporto tra urbanizzazione e idrologia*
- *Le definizioni del Regolamento Regionale*
- *Il Regolamento Regionale 23 Novembre 2017, N. 7 recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica*
- *Alcuni concetti idraulici/idrologici richiamati nel regolamento*



Alcune considerazioni sul rapporto tra urbanizzazione e idrologia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

Inquadramento del problema

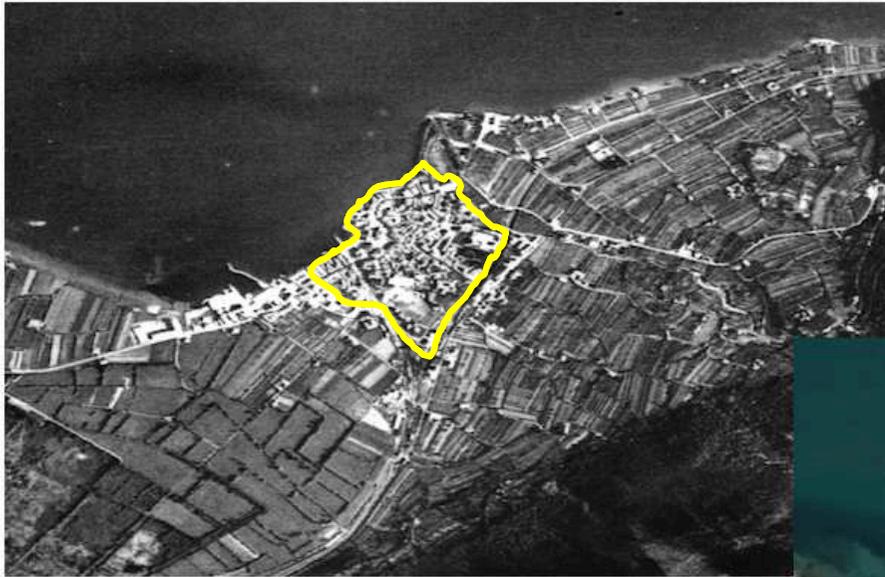


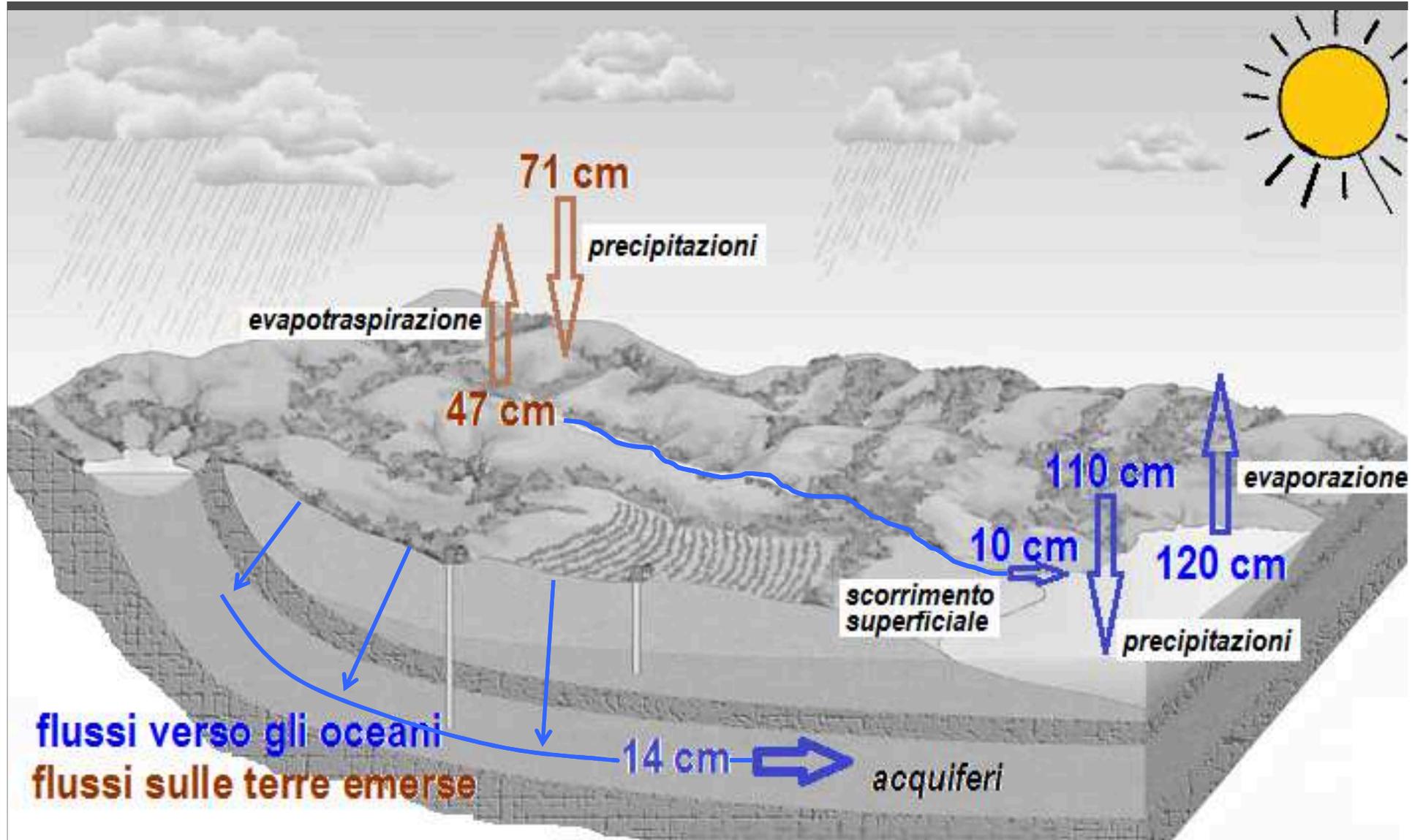
Immagine aerea paese di Iseo, Volo GAI, 1955

Popolazione Italiana $\approx 50 \times 10^6$

Iseo, Google Earth, 2017
Popolazione Italiana $\approx 60 \times 10^6$



Inquadramento del problema: il ciclo idrologico



Inquadramento del problema: l'urbanizzazione vista dal punto di vista Idrologico

Due fasi nel cambiamento storico nell'uso del suolo:

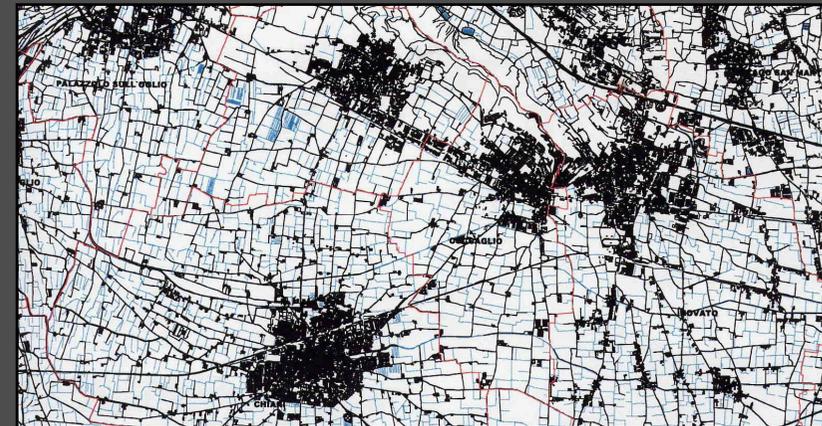
- 1) *conversione da paesaggi nativi all'agricoltura*
- 2) *urbanizzazione dei terreni agricoli.*



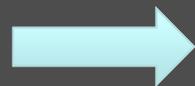
Iseo, 1955

L'urbanizzazione dal punto di visto del ciclo idrologico:

- *Aumento superfici impermeabili (e.g., tetti, parcheggi...)*
- *canalizzazione dei deflussi superficiali*
- *aumento della superficie delle reti stradali*
- *Creazione di una rete di drenaggio urbano*
- *frammentazione e drenaggio delle zone umide*
- *Cancellazione e «razionalizzazione» dei reticolo di bonifica*



Il reticolo di bonifica e irrigazione tra Oglio e Mella



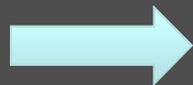
Pesante effetto sul deflusso superficiale e subsuperficiale durante e dopo le precipitazioni



Inquadramento del problema: effetti dell'aumentata "efficienza" idraulica di un bacino idrografico

«Pesante effetto»: come ?

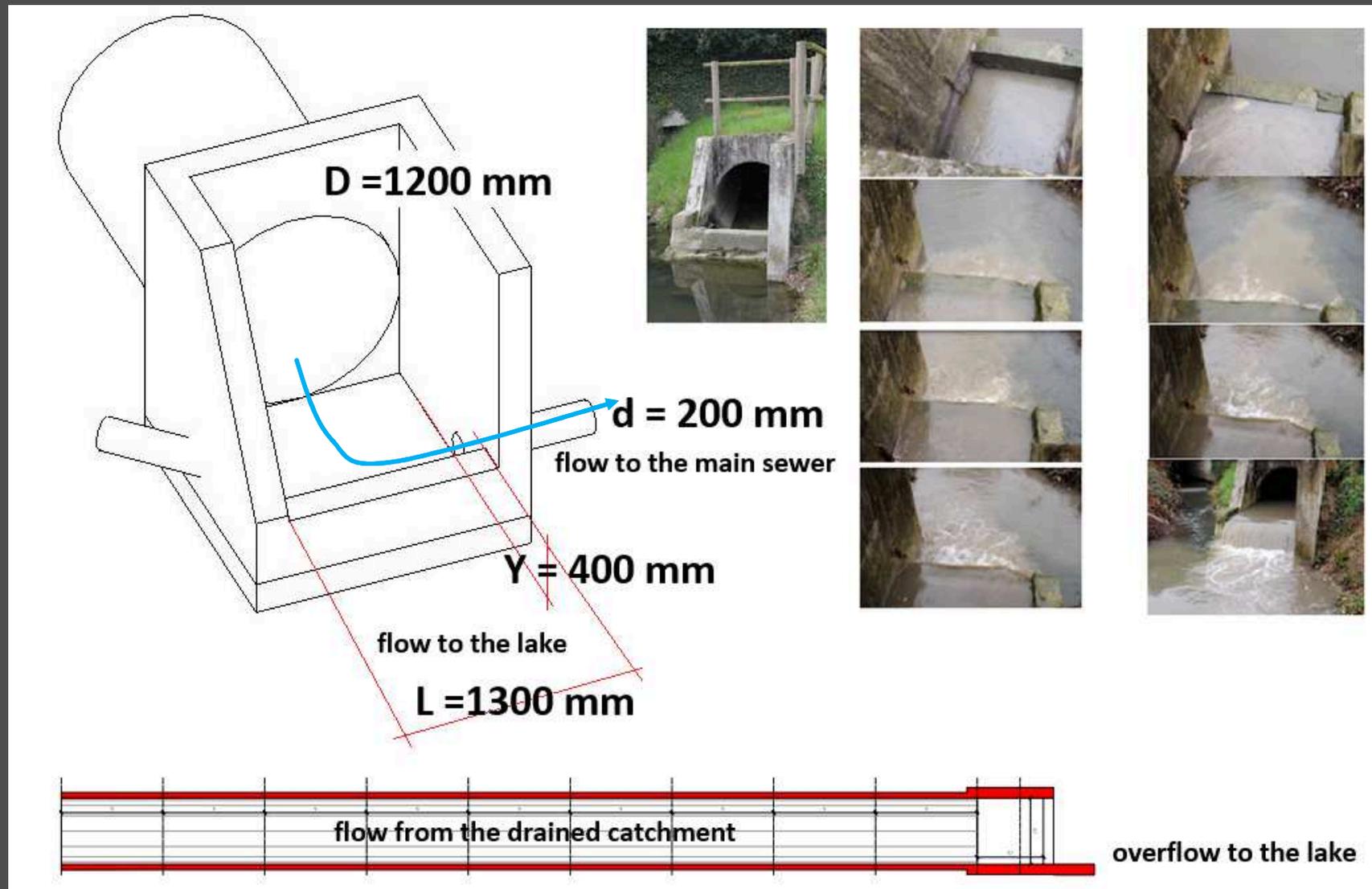
- *Aumento del volume di deflusso superficiale dopo gli eventi piovosi*
- *tempi più brevi di formazione del colmo di piena*
- *Aumento della potenzialità di inondazione locale e a valle*
- *Maggiore sensibilità ad eventi di precipitazione con frequenza relativamente elevata rispetto ad eventi estremi*
- *diminuita capacità di infiltrazione del terreno, con una riduzione del volume d'acqua che si infiltra*
- *Calo del deflusso di base degli acquiferi*
- *Regimi di evapotraspirazione alterato dovuti alla rimozione della vegetazione e minore disponibilità di umidità*
- *"isola di calore"*
- *Alterazione della qualità delle acque rilasciate a valle: superfici dilavate e fognature superficiali*
- *Stravolgimento degli ecosistemi acquatici nei corpi ricettori*



In definitiva: sbilanciamento dei flussi idrici a favore del deflusso superficiale



Inquadramento del problema: stravolgimento degli ecosistemi acquatici nei corpi ricettori



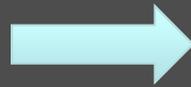
Una nuova classe di problemi di flusso ambientale

L'impermeabilizzazione si deve misurare alla luce di due indicatori: estensione totale (superficie totale impermeabile) e grado di connessione al reticolo idraulico di drenaggio (connettività).

Connettività: reti di drenaggio urbano (fognature unitarie o separate) e reti stradali

Connettività: ruolo fondamentale nel bypassare le aree di invaso e infiltrazione e nell'accelerare il trasferimento

Meccanismi locali e diffusi da implementare per limitare gli eventi di inondazione locale e mantenere l'integrità ecologica



limitazione della impermeabilizzazione, accumulo locale e riuso, Infiltrazione ed evapotraspirazione



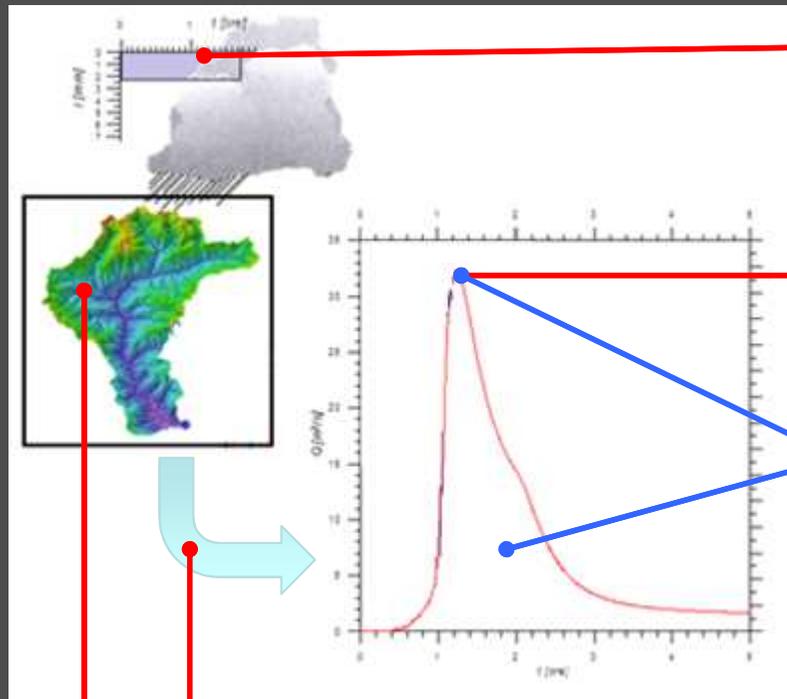
Le definizioni del Regolamento Regionale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

Alcune Definizioni (art. 2)



Evento meteorico: una o più precipitazioni atmosferiche che scarichino almeno 5 mm in non più di 6 ore, con distanza di almeno 48 ore da un altro evento;

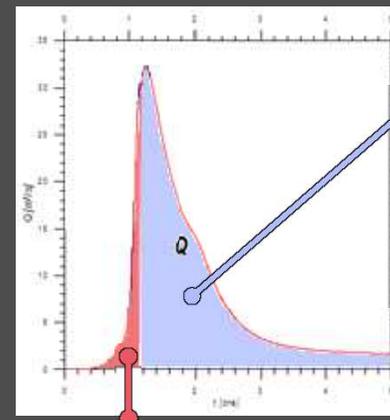
invarianza idraulica: le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.

Invarianza idrologica sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione

acque meteoriche di dilavamento: la parte delle acque di una precipitazione atmosferica che, non assorbita o evaporata, dilava le superfici scolanti;

superficie scolante totale: la superficie sottesa dalla sezione presa in considerazione;

superficie scolante impermeabile: prodotto tra la superficie scolante totale per il suo coefficiente di deflusso medio ponderale;



acque di seconda pioggia: la parte rimanente delle acque meteoriche di dilavamento

acque di prima pioggia: il volume corrispondente ai primi 5 mm delle acque meteoriche di dilavamento uniformemente distribuite sull'intera superficie scolante sottesa;



Il Coefficiente di Deflusso

- Il **coefficiente di deflusso** riassume nel suo valore la propensione del bacino a formare deflusso superficiale. Dipenderà quindi dal tipo di suolo, dall'uso del suolo, dalla pendenza e dallo stato di umidità precedente all'evento. Esistono diverse tabelle che possono aiutare nella scelta. Quella seguente è tratta dalla normativa americana, citata da Chow. L'effetto delle condizioni iniziali del bacino è in questo caso espresso tramite il tempo di ritorno dell'evento meteorico.

Tipo di superficie	Tempo di ritorno T [a]						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Calcestruzzo, tetti	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Coltivazioni ($i=0+2\%$)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Coltivazioni ($i=2+7\%$)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Coltivazioni ($i>7\%$)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pascoli ($i=0+2\%$)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pascoli ($i=2+7\%$)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pascoli ($i>7\%$)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Boschi ($i=0+2\%$)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Boschi ($i=2+7\%$)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Boschi ($i>7\%$)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

(Chow *et al.*, 1988)

- **valori standard del coefficiente di deflusso (Art. 11):**

1 : tetti, coperture, tetti verdi e giardini pensili sovrapposti a solette, strade, vialetti, parcheggi;

0,7 : pavimentazioni drenanti o semi- permeabili, quali strade, vialetti, parcheggi;

0,3 : sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo,

0 : escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo;



Alcune Definizioni

$$R = P \times V \times E$$



moltiplicazione logica

P, Pericolosità: *probabilità di occorrenza di un certo fenomeno di una certa intensità in un determinato intervallo di tempo ed in una certa area.*

Elemento a rischio: *popolazione, proprietà, attività economica, ecc. esposta a rischio in una determinata area.*

V, Vulnerabilità: *attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento*

R, Rischio: *entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento.*

Varnes, D. J. (1984), Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices. UNESCO Natural Hazard Series, No.3, UNESCO, Paris, 63pp.



DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616 Aggiornamento dei «Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT)»

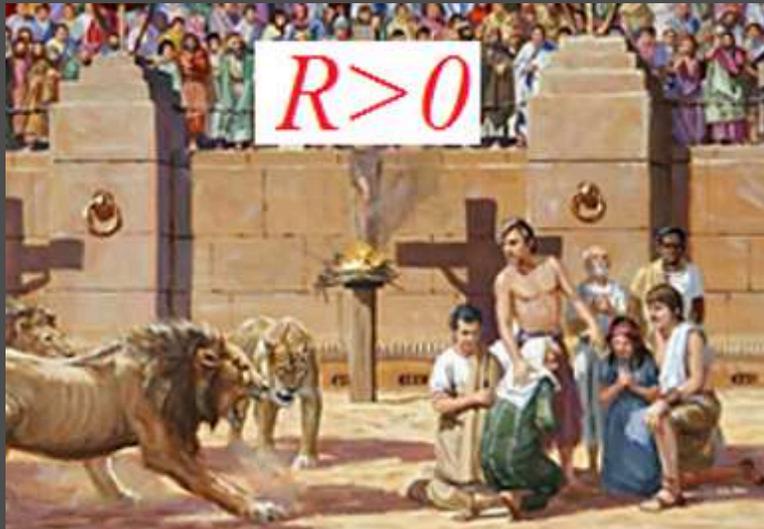


Il ruolo della Vulnerabilità?

Pericolosità: presenza dei leoni
Esposizione: presenza delle persone

Vulnerabilità: > 0

Vulnerabilità: $= 0$



Alcune Definizioni

Tempo di ritorno:

il numero di anni in cui mediamente un valore di una grandezza idrologica, viene superato o eguagliato una sola volta. Se si indica con $P(x)$ la probabilità di non superamento della variabile X , che sia un massimo annuale, il tempo di ritorno, T , del valore x di X , per valori di P superiori a 0,9, è praticamente pari a $T(x)=1/(1-P(x))$.

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica:

Sono le relazioni che, a fissata probabilità (o a fissato "tempo di ritorno) e in un dato punto del territorio, forniscono il valore massimo di pioggia che si può verificare in una data durata.

Modello afflussi-deflussi:

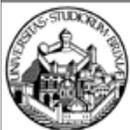
Modello matematico del processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, basato sulla rappresentazione semplificata della fenomenologia fisica in atto nel bacino idrografico. L'informazione fondamentale fornita dal modello è l'idrogramma di piena nelle diverse sezioni del reticolo idrografico di interesse e, in particolare, alla sezione di chiusura del bacino.

Tempo di corrivazione di un bacino

tempo necessario affinché la pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura.

Schematizzazione di un processo complesso che dipende, tra l'altro, dal livello di saturazione iniziale del suolo.

Nello schema semplificato, in un bacino in cui piova uniformemente, la portata alla sezione di chiusura è crescente e raggiunge il suo massimo in corrispondenza di $t= T_c$, quando tutto il bacino è a regime.



Regolamento Regionale 23/11/2017, N. 7

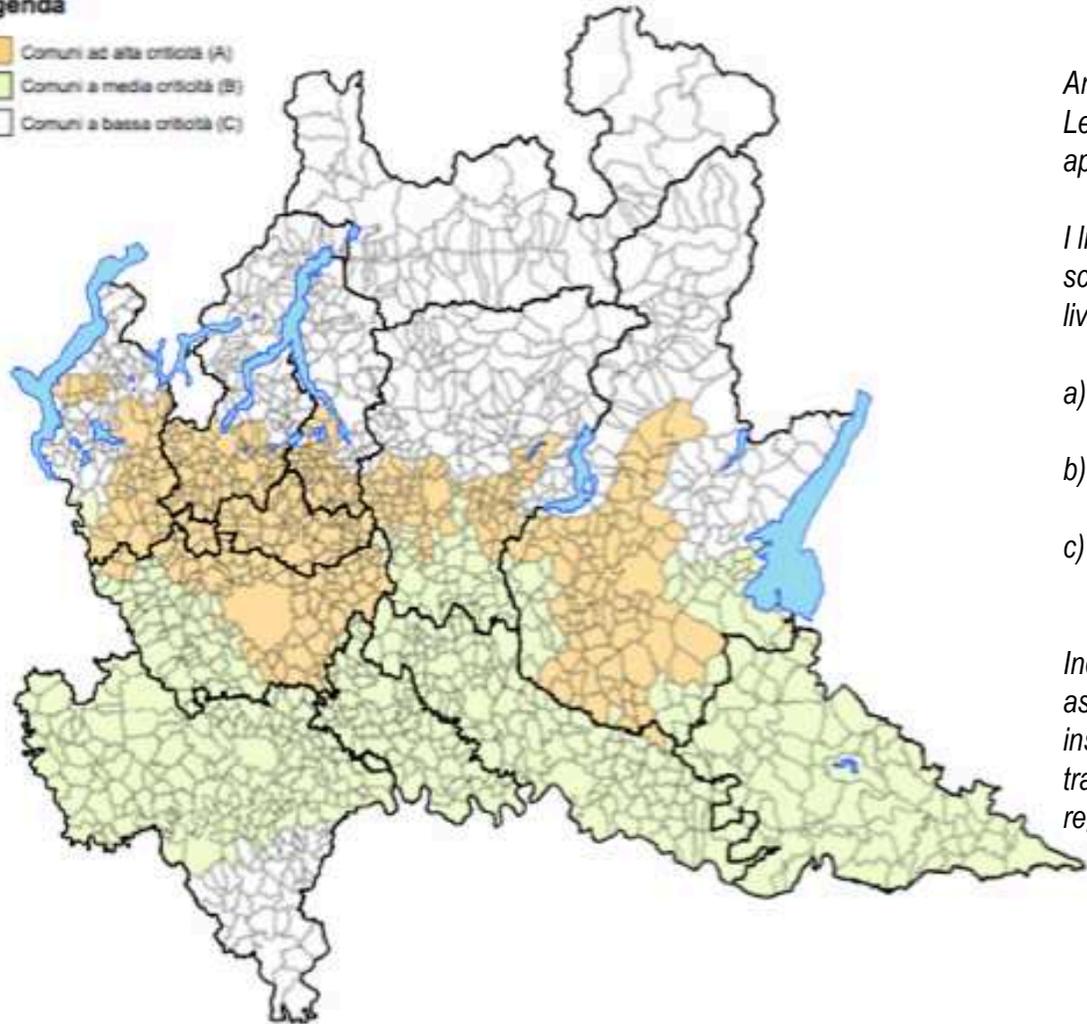
***recante criteri e metodi per il rispetto
del principio dell'invarianza idraulica
ed idrologica***



Chi è coinvolto in Regione Lombardia ?

Legenda

-  Comuni ad alta criticità (A)
-  Comuni a media criticità (B)
-  Comuni a bassa criticità (C)



Art. 7

Le misure di invarianza idraulica ed idrologica si applicano a tutto il territorio regionale...

I limiti allo scarico devono essere diversificate a tale scopo il territorio regionale è suddiviso in funzione del livello di criticità idraulica dei corsi d'acqua ricettori:

a) aree A: alta criticità idraulica:

b) aree B: media criticità idraulica

c) aree C: bassa criticità idraulica:

Indipendentemente dall'ubicazione territoriale, sono assoggettate ai limiti per le aree A anche le aree inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione o piani attuativi previsti nel piano delle regole.



Chi è coinvolto ? Liberi Professionisti (Art. 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12...)

Professionisti: sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica gli interventi di:

- a) nuova costruzione, compresi gli ampliamenti;
- b) demolizione, totale o parziale fino al piano terra, e ricostruzione
- c) ristrutturazione urbanistica comportanti un ampliamento della superficie edificata o una variazione della permeabilità rispetto alla condizione preesistente all'urbanizzazione.



3. interventi relativi alle infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi,



Chi è coinvolto ? Comuni e Gestore Servizio Idrico Integrato (Art. 6, 7, 14...)

Art. 6: Disciplina del principio di invarianza idraulica e idrologica nel regolamento edilizio comunale

- *Inclusione nel regolamento edilizio comunale dei contenuti della normativa, prescrivendo la necessità di un progetto di invarianza idraulica e idrologica, firmato da un tecnico abilitato, qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici per la maggior parte degli interventi edilizi.*
- *In caso di progetto che preveda scarico in rete fognaria, possibilità di chiedere il parere preventivo del gestore del servizio idrico integrato*
- *Il gestore del servizio idrico integrato è chiamato a effettuare i controlli della conformità quantitativa dello scarico*
- *Il Comune valuta la dichiarazione motivata di impossibilità a realizzare le misure di invarianza idraulica, firmata dal progettista dell'intervento.*
- *Il Comune effettua il calcolo della monetizzazione*
- *...*



Chi è coinvolto ? Comuni e Gestore Servizio Idrico Integrato (Art. 6, 7, 14...)

Art. 14: Modalità di integrazione tra pianificazione urbanistica comunale e previsioni del piano d'ambito

Si deve redigere uno studio che contenga la rappresentazione delle attuali condizioni di rischio idraulico presenti nel territorio comunale e delle conseguenti misure strutturali e non strutturali. Gli esiti dello studio relativamente alla delimitazione delle aree allagabili e alle misure strutturali vengono recepiti nel PGT;

documento semplificato del rischio idraulico comunale

- *I comuni in area C sono tenuti a redigerlo entro fine agosto 2018*

studio comunale di gestione del rischio idraulico

- *1. I comuni ricadenti nelle aree A e B, sono tenuti a redigerlo. Nelle more della redazione redigono il documento semplificato del rischio idraulico comunale entro fine agosto 2018*



Chi è coinvolto ? Pubbliche Amministrazioni e Gestore Servizio Idrico Integrato (Art. 6, 7, 14...)

Contenuti dello studio comunale di gestione del rischio idraulico

- *Contiene le condizioni di pericolosità da utilizzare per il calcolo del rischio. In particolare lo studio contiene:*
- *evento meteorico di riferimento per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni;*
- *l'individuazione dei ricettori che ricevono le acque meteoriche di dilavamento;*
- *la delimitazione delle aree soggette ad allagamento per effetto della conformazione morfologica del territorio e/o per insufficienza delle rete fognaria, effettuata mediante studio idraulico relativo all'intero territorio comunale per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni e facendo utilizzo del rilievo Lidar o di un altro adeguato DEM; A tale scopo il comune può avvalersi del gestore del servizio idrico integrato.*
- *valuta la capacità di smaltimento dei reticoli fognari presenti sul territorio. A tal fine, il gestore del servizio idrico integrato fornisce il rilievo di dettaglio della rete stessa e, se disponibile, fornisce anche lo studio idraulico dettagliato della rete fognaria;*
- *l'indicazione di massima delle misure strutturali (vasche di laminazione, vie d'acqua superficiali per il drenaggio delle acque meteoriche), e non strutturali (gestione delle aree agricole, estensione delle misure di invarianza idraulica e idrologica anche sul tessuto edilizio esistente, difese passive attivabili in tempo reale...);*
- *l'individuazione delle aree da riservare per l'attuazione delle misure strutturali;*



Art. 5: Le parole d'ordine del Regolamento Regionale

Riuso, Infiltrazione, evapotraspirazione, laminazione...

Il controllo e la gestione delle **acque pluviali** è effettuato, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono

- Riuso dei volumi stoccati
- **l'infiltrazione** e l'evapotraspirazione

Se la capacità di infiltrazione dei suoli inferiore rispetto all'intensità delle piogge più intense, allora si può prevedere lo scarico in corpo idrico superficiale e, in seconda battuta, in fognatura, ma

- a valle di **invasi di laminazione** dimensionati per rispettare le portate massime ammissibili di cui all'articolo 8 e foggiate secondo quanto descritti all'articolo 11, comma 2, lettera g)...

Art. 8: Portate limite scaricabili

a) aree A: $\min(10 \text{ l/s/ha}_{\text{scolante_impermeabile}}, Q_{\text{limite_gestore}})$

b) aree B, C: $\min(20 \text{ l/s/ha}_{\text{scolante_impermeabile}}, Q_{\text{limite_gestore}})$

sfioratori di piena delle reti fognarie unitarie aree A e B, sono limitate entro valori :

$\min(40 \text{ l/s/ha}_{\text{scolante_impermeabile}}, Q_{\text{limite_ricettore}})$



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



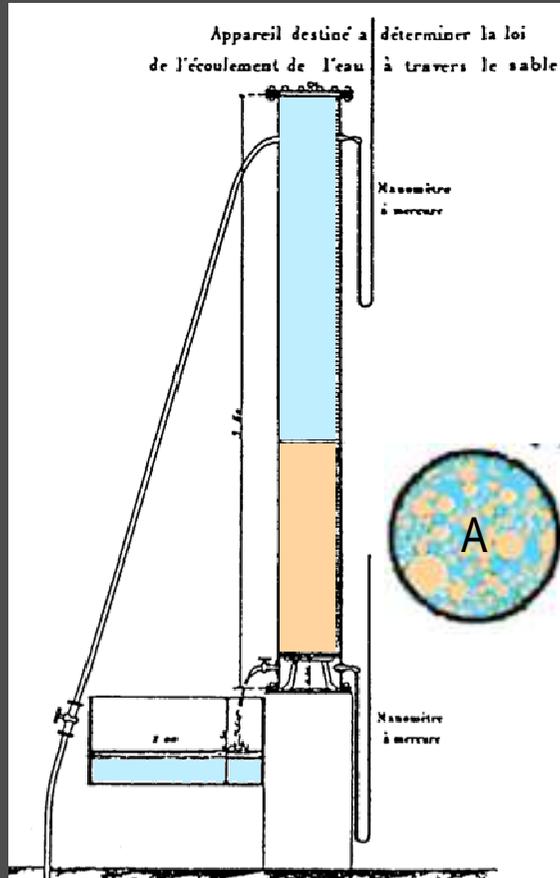
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

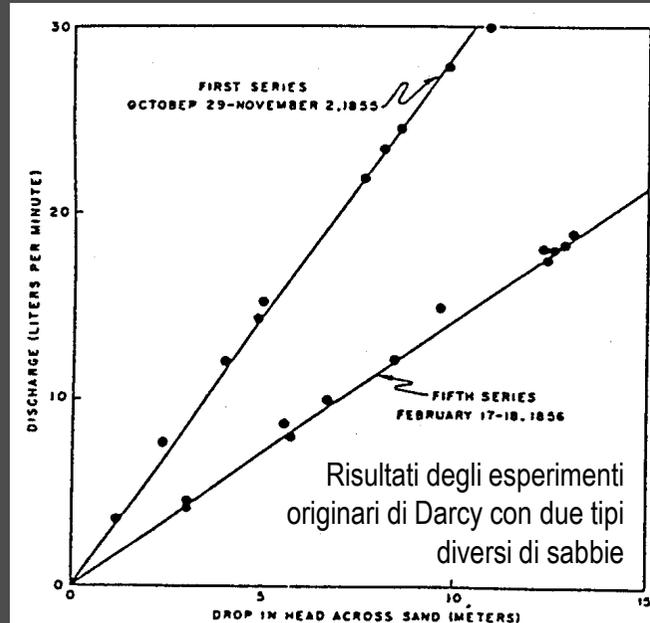
ALLEGATO F: La filtrazione in un mezzo poroso saturo

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

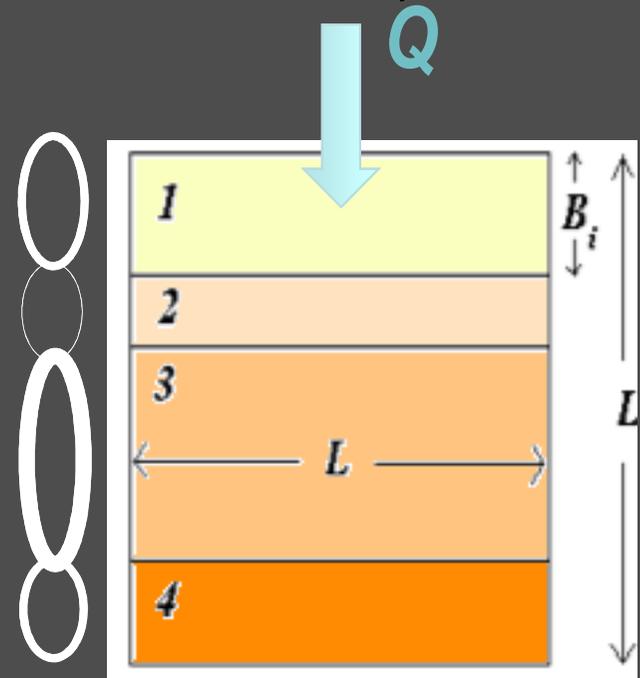
$$Q = AU = Aki = -A \frac{\gamma}{\mu} K \frac{\Delta h}{\Delta x}$$



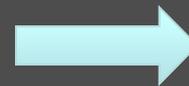
ALLEGATO F: La filtrazione in un mezzo poroso saturo disomogeneo

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

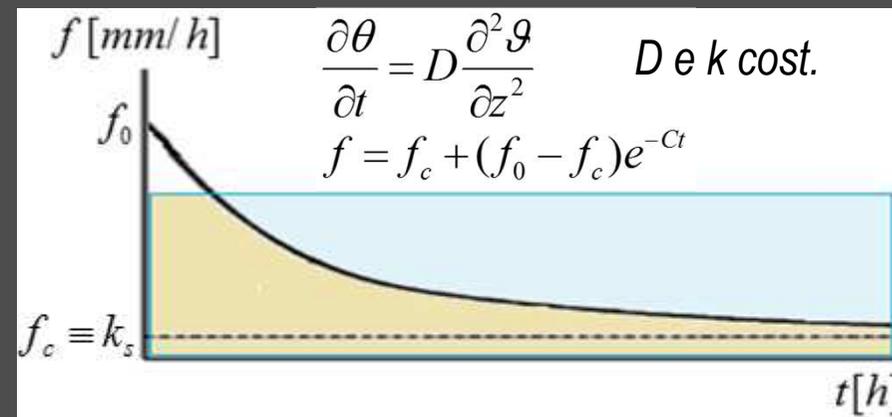
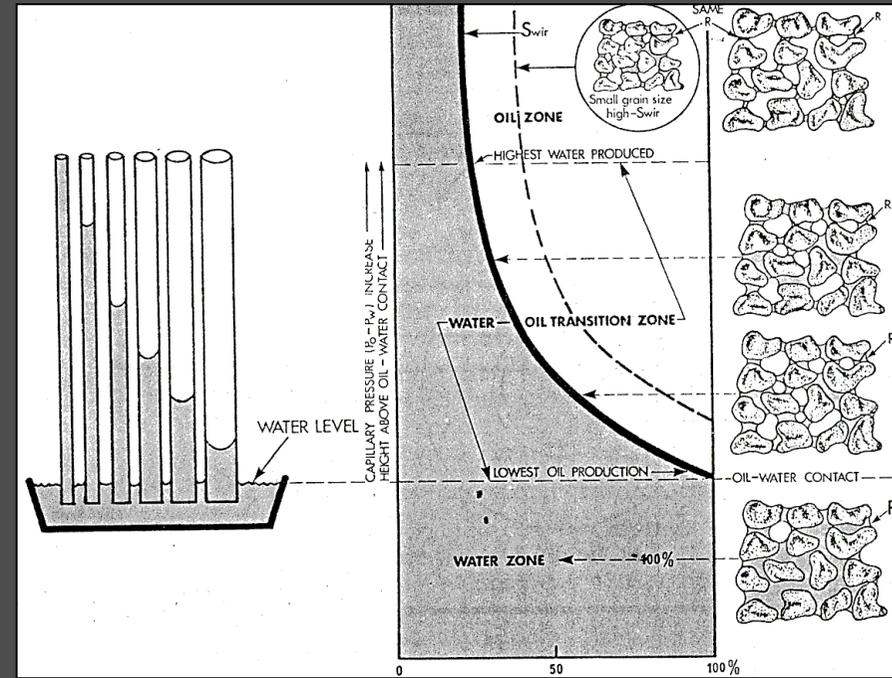
L'acqua che arriva sulla superficie del suolo sotto forma di pioggia penetra nel terreno con una velocità pari alla capacità di infiltrazione.

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

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



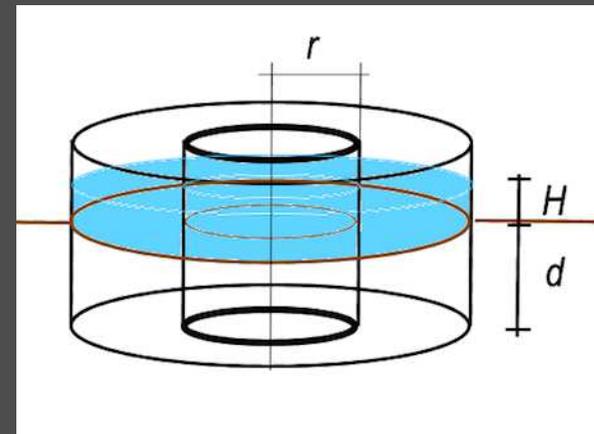
ALLEGATO F: Misura della permeabilità in campo con permeametro a cilindro singolo o doppio

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

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

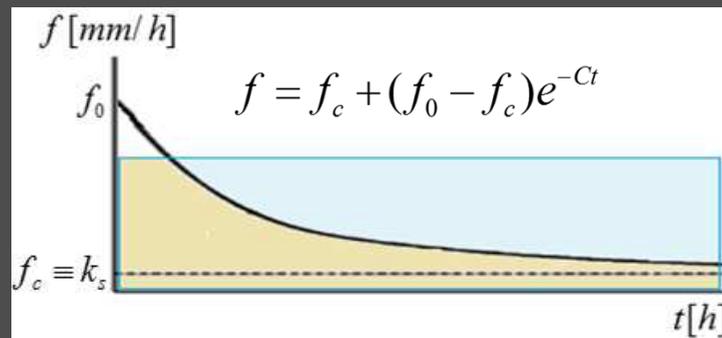


ALLEGATO F: Calcolo dei processi di infiltrazione

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

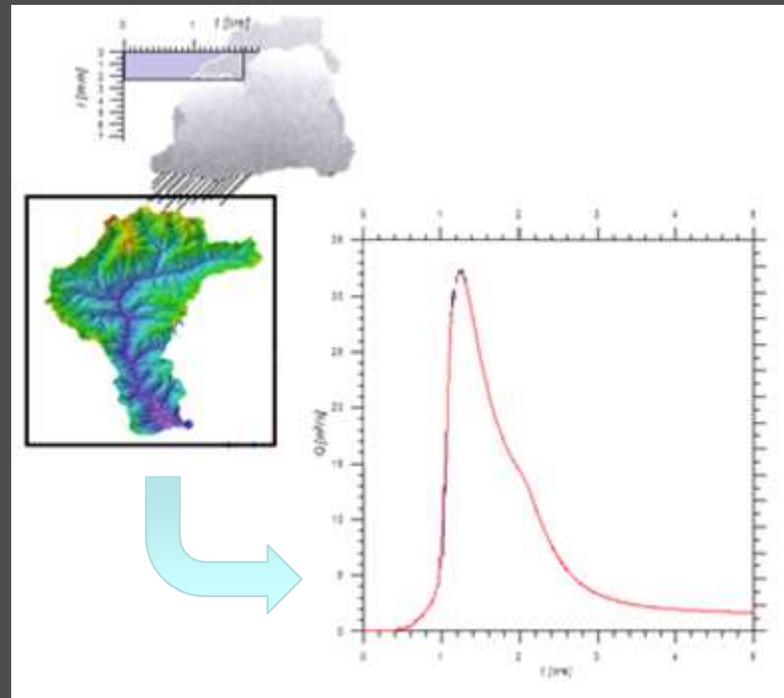


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia

Comune (sultano) Ricerca

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

Esporta risultato come

Scarica tabella

Principali corsi d'acqua lombardi

Principali laghi lombardi

Calcolo della linea segnalatrice 1-24 ore

Località: _____

Coordinate: _____

Tempo di ritorno (anni)

Linea segnalatrice

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

pluviometrico orario 28.059999
 coefficiente di scala 0.30509999
 parametro alpha 0.29570001
 parametro kappa -0.0005
 parametro epsilon 0.82889998

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

Bibliografia ARPA Lombardia:

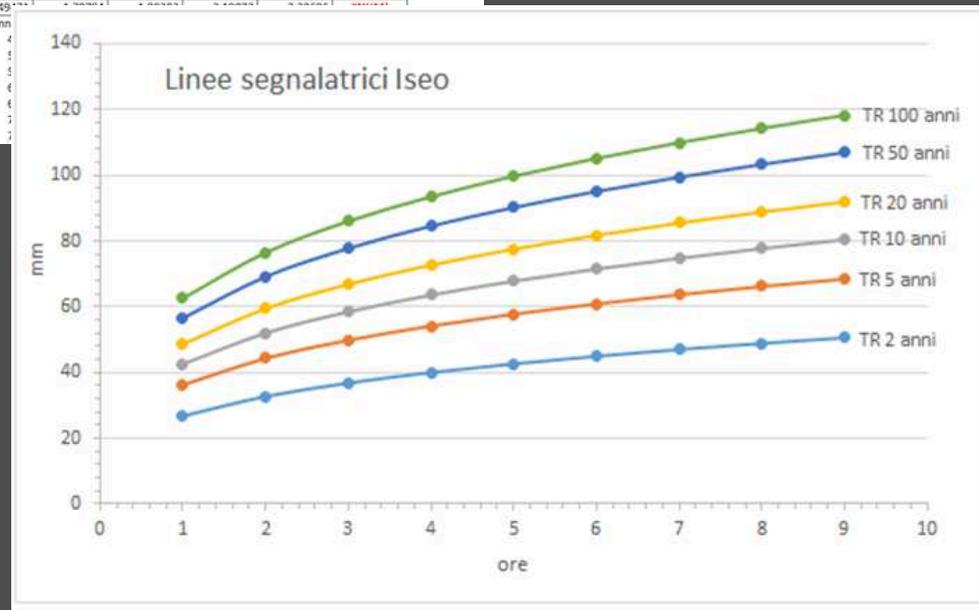
<http://idro.arpalombardia.it/manual/10ppp.pdf>

http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

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	40.8	49.9	56.1	61.7	64.7
3	34.5	44.1	54.5	61.7	67.3	70.3
4	36.5	46.1	56.1	64.7	70.3	73.3
5	37.5	47.1	57.1	66.1	71.3	74.3
6	38.5	48.1	58.1	67.1	72.3	75.3
7	39.5	49.1	59.1	68.1	73.3	76.3
8	40.5	50.1	60.1	69.1	74.3	77.3
9	41.5	51.1	61.1	70.1	75.3	78.3

- 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

$$h = at^n \quad i = at^{n-1}$$

- 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 .

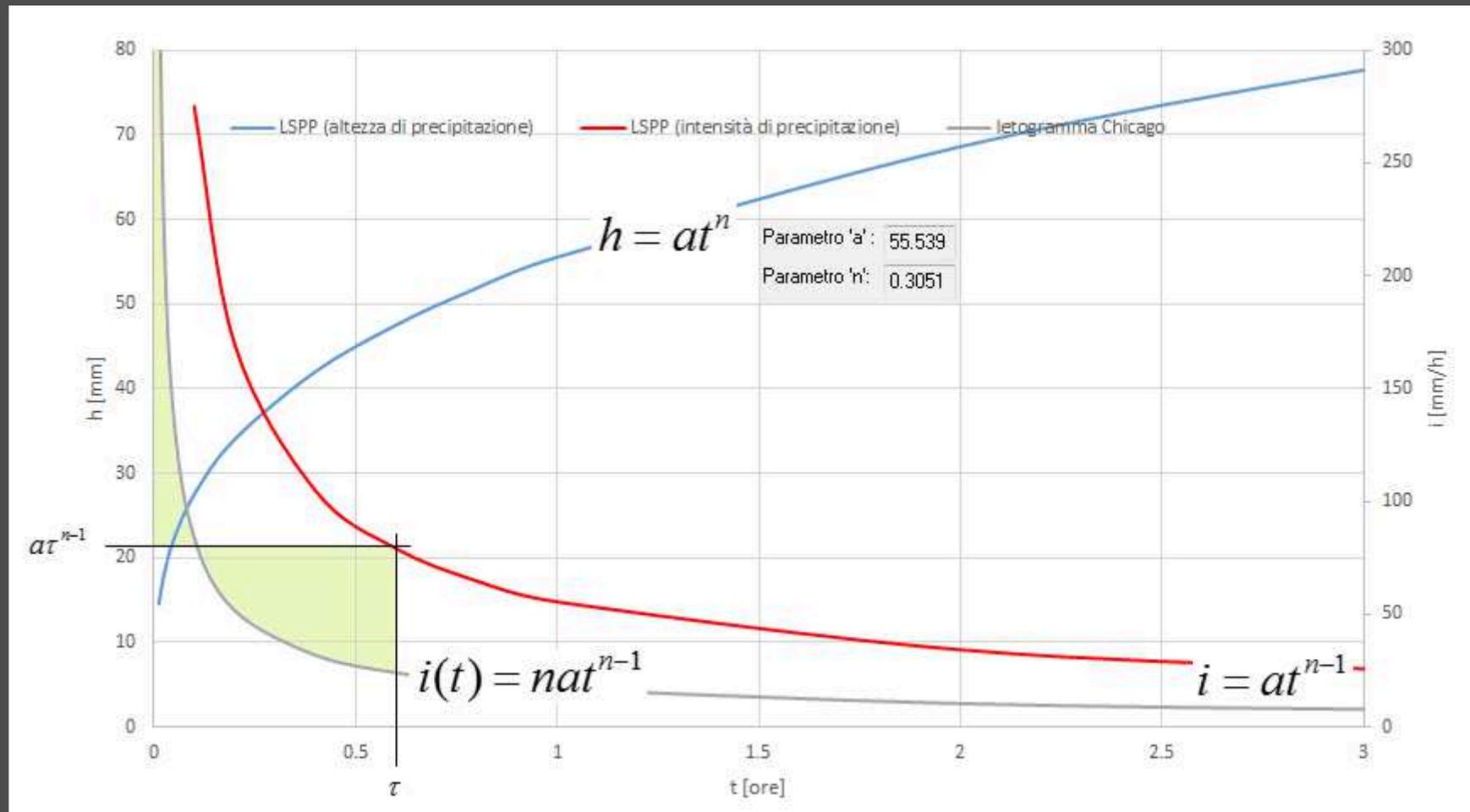
$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i(t) dt = a\tau^{n-1}$$

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

- 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

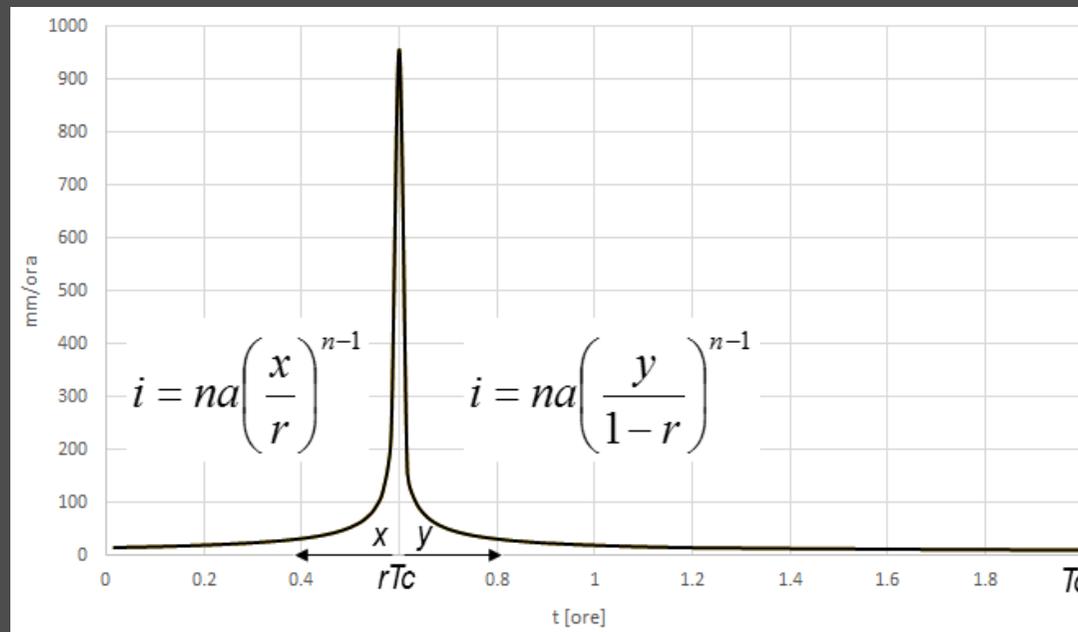
- Per superare questo ostacolo, si può costruire uno ietogramma con tempo di base pari al tempo di corrivazione e picco in posizione intermedia, al tempo rT_c . Lo ietogramma è definito da due curve

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

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



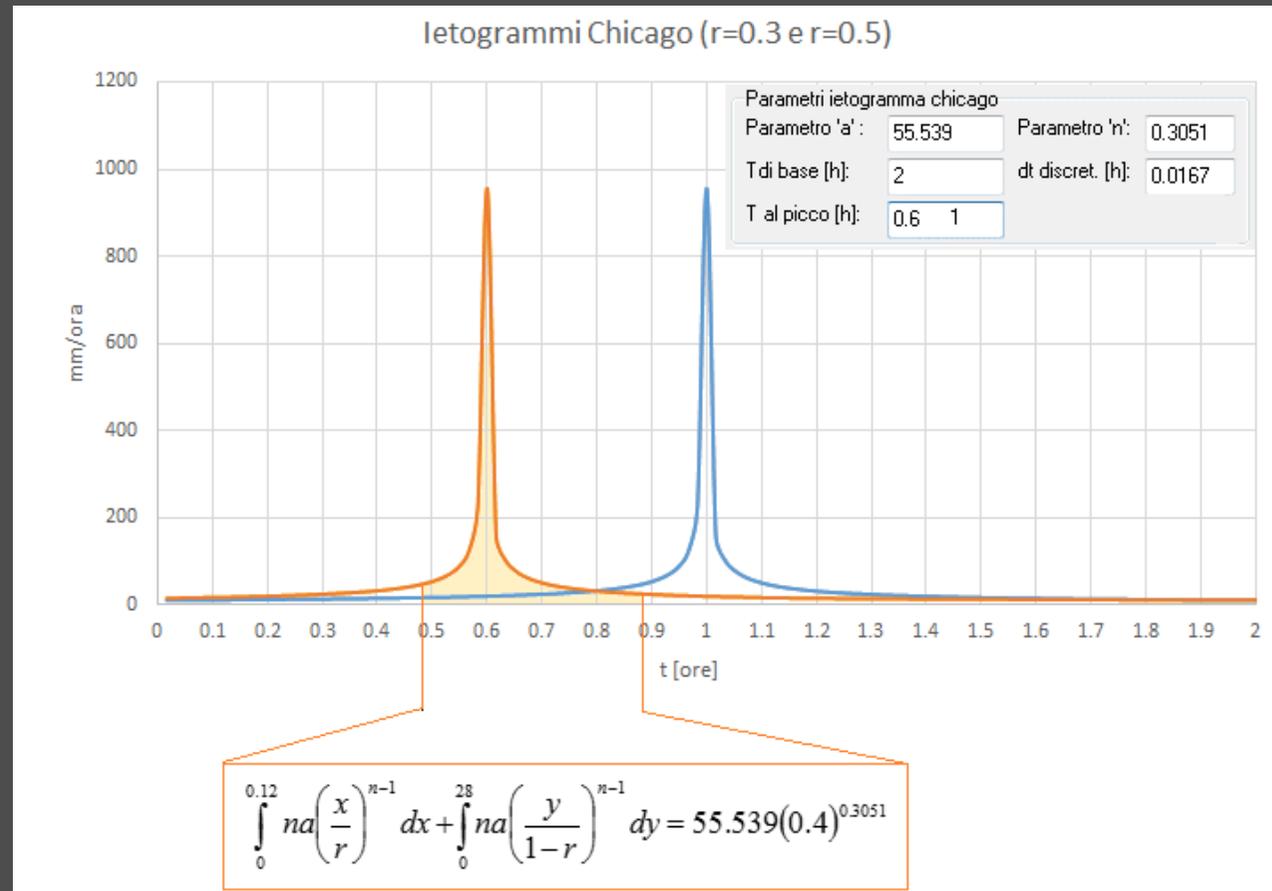
Come distribuire nel tempo la precipitazione ? Ietogramma Chicago

- Vale la proprietà, di verifica immediata:

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

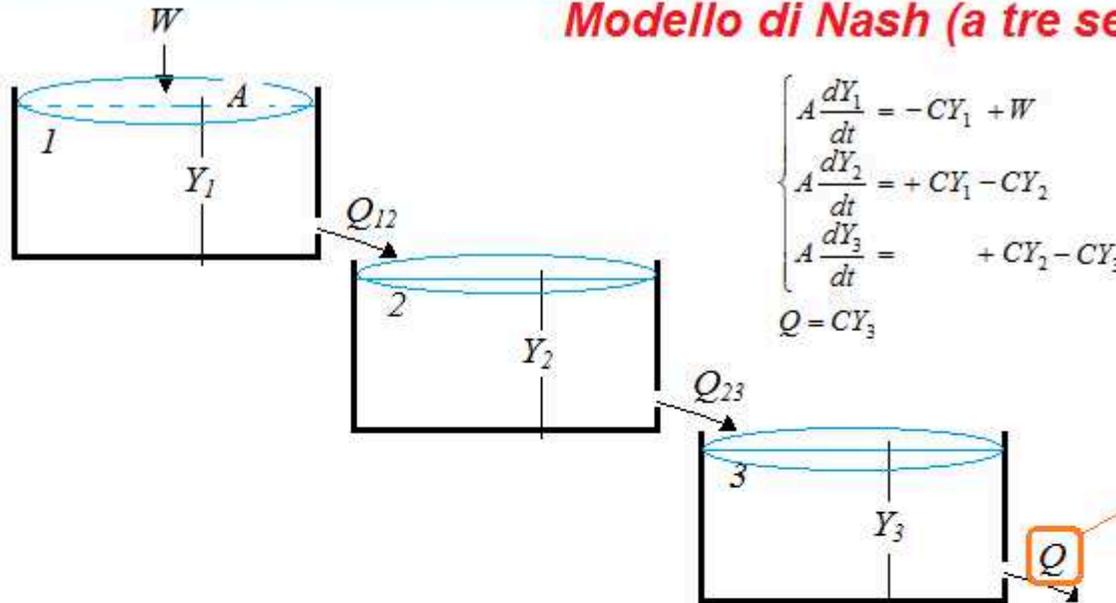
$$\mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}; \quad \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}} = r \quad \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}} = 1 - r;$$

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 θ .



Trasformazione Afflussi-Deflussi: il modello di Nash

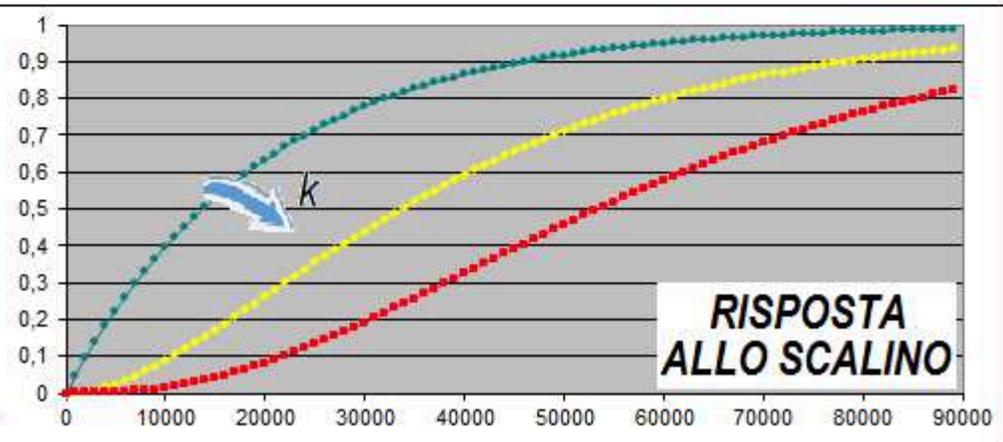
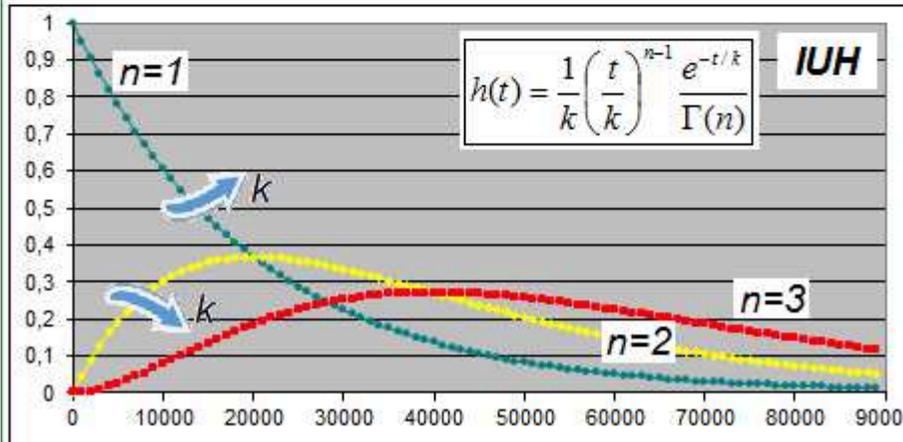
Modello di Nash (a tre serbatoi)



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

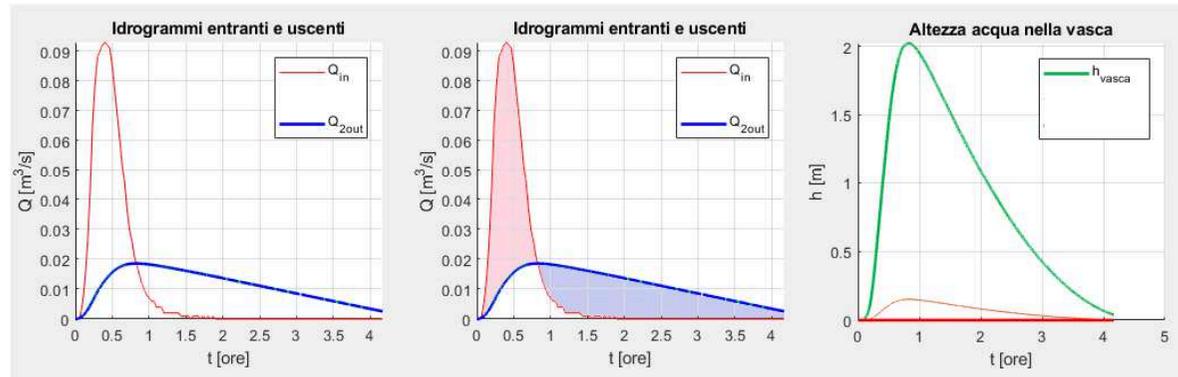
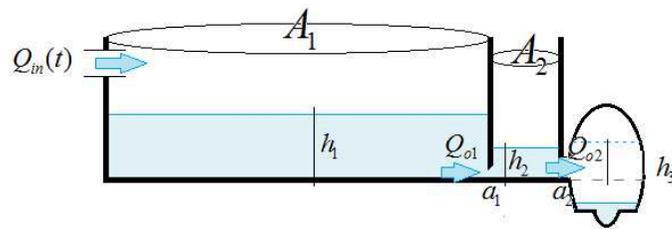
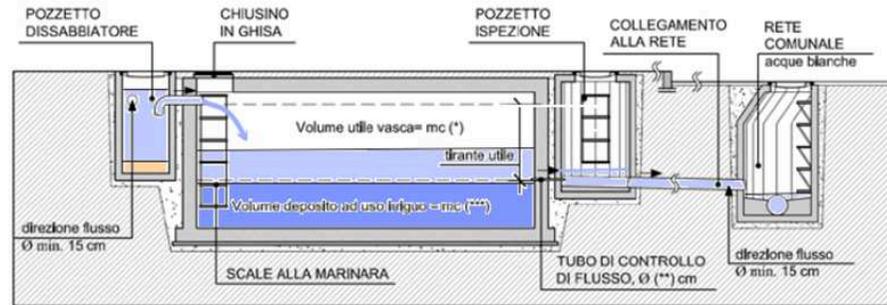
$$Q = \frac{AY_3}{k}$$

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



ALLEGATO G: come calcolare l'effetto di laminazione di un invaso

Particolari vasca di laminazione con scarico a gravità, con deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)



$$V = f(h) \quad + \quad \frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad \Rightarrow \quad \frac{dh}{dt} = \frac{Q_{in}(t) - Q_{out}(h)}{\frac{dV}{dh}} = h(t) \quad Q_{out}(h)$$



ALLEGATO G: calcolo della laminazione effettuata dall'invaso: alcune possibili espressioni per $Q_o(h)$



stramazzo di tipo Thomson

$$Q_o = \frac{8}{15} \mu t g(\alpha) \sqrt{2gh^{2.5}}$$



stramazzo di tipo Bazin

$$Q_o = \frac{2}{3} \mu L \sqrt{2gh^{3/2}}$$



Strumazzo a larga soglia (Crump weir)

$$Q_o = 0.385 C_Q L \sqrt{2gh^{3/2}}$$



Luce a battente circolare

$$Q = \mu A \sqrt{2gh}$$

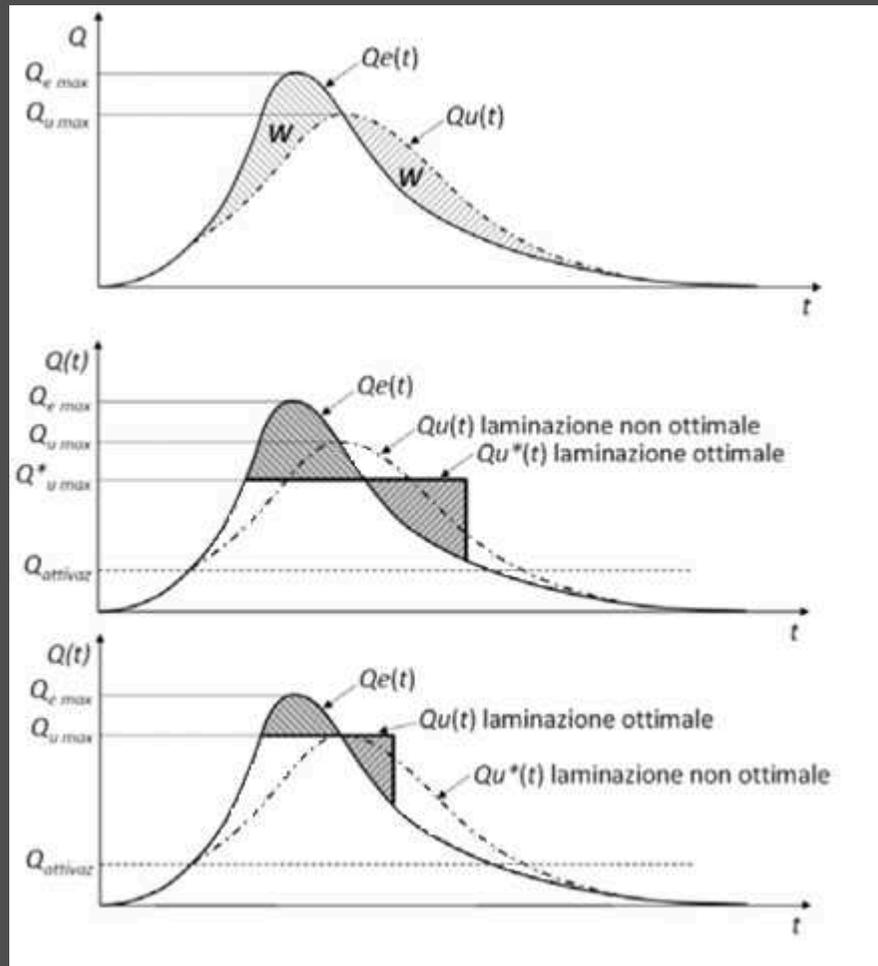


Luce a battente sotto paratoia piana

$$Q = \mu a L \sqrt{2gh}$$



ALLEGATO G: analisi del processo di laminazione



Processo di laminazione per vasca in linea

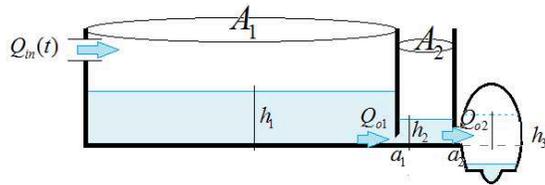
Se l'uscita è governata da un impianto di sollevamento con portata indipendente dal battente nella vasca o se si hanno opportuni automatismi di regolazione degli scarichi in modo da mantenere costante la portata uscente...

Laminazione ottimale a parità di volume invasato W

e a parità di portata uscente massima $Q_{u \max}$

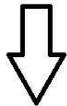


ALLEGATO I: funzionamento di una vasca di laminazione con scarico a gravità

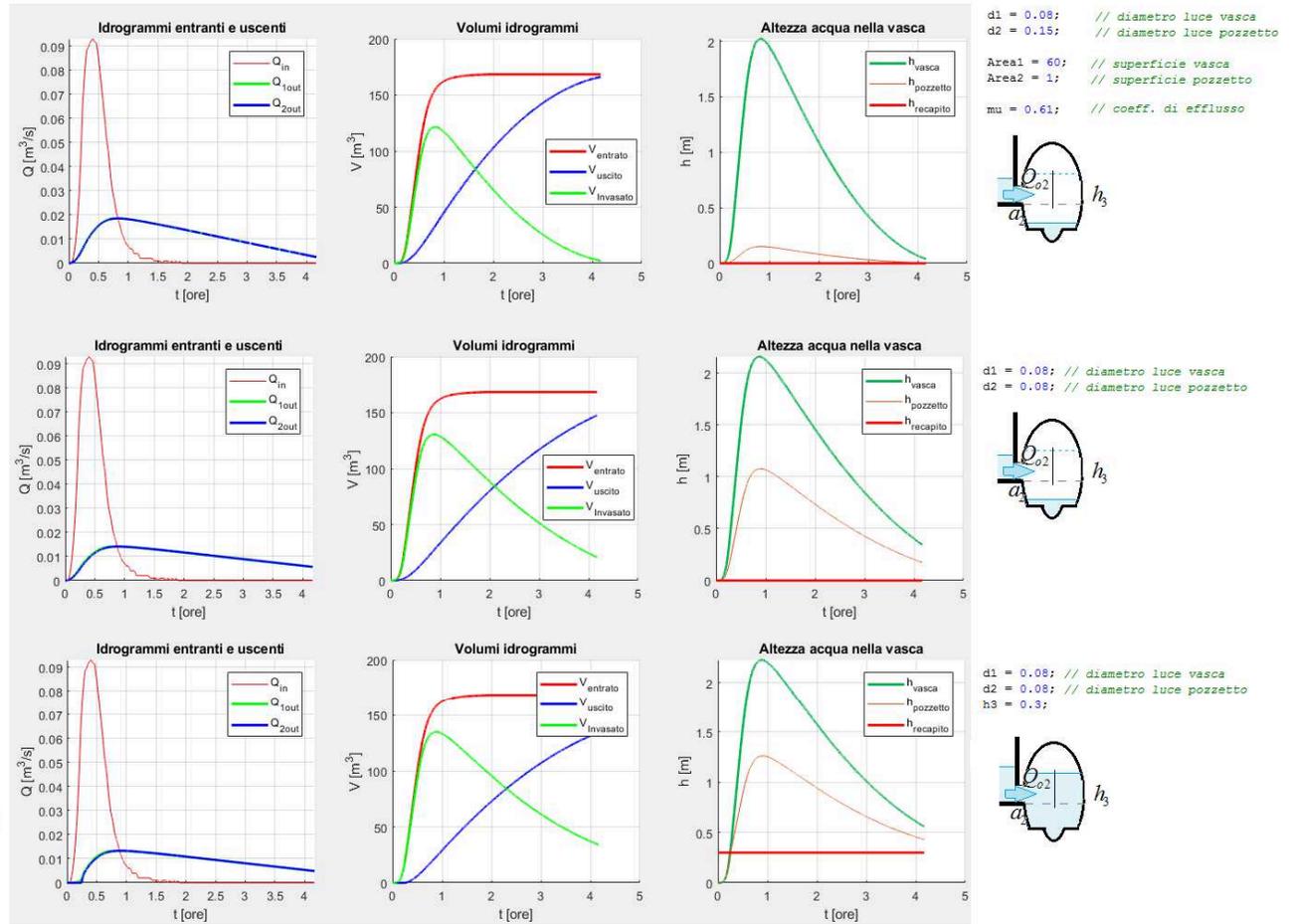


$$\begin{cases} \frac{dh_1}{dt} = \frac{Q_{in}(t) - Q_{o1}}{A_1} \\ \frac{dh_2}{dt} = \frac{Q_{o1} - Q_{o2}}{A_2} \end{cases} + \begin{cases} Q_{in}(t) \\ Q_{o1} = \mu a_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \\ Q_{o2} = \mu a_2 \sqrt{2g(h_2 - h_3)} \end{cases}$$

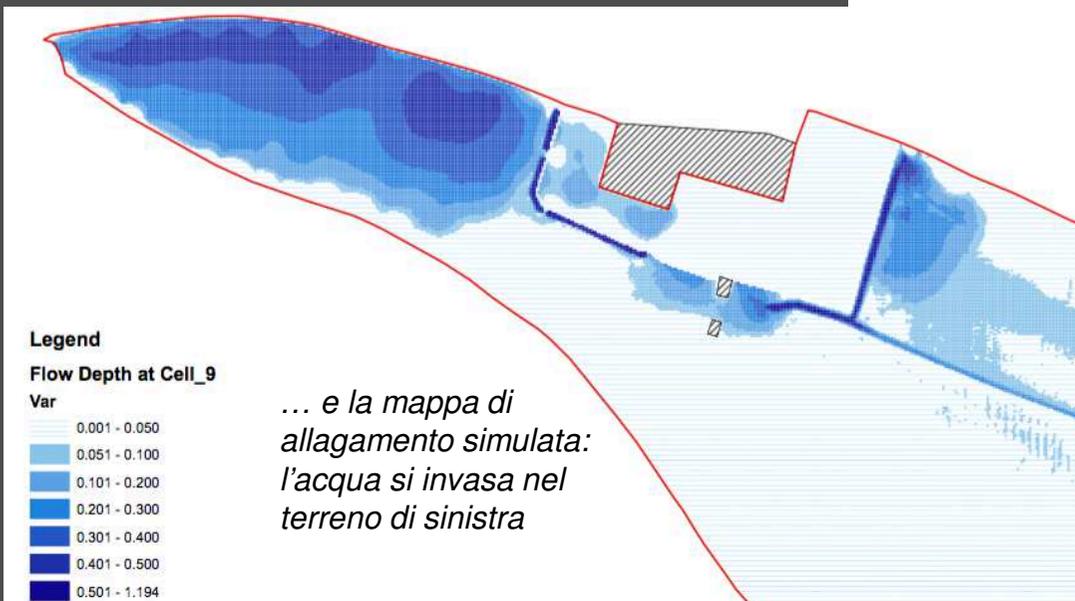
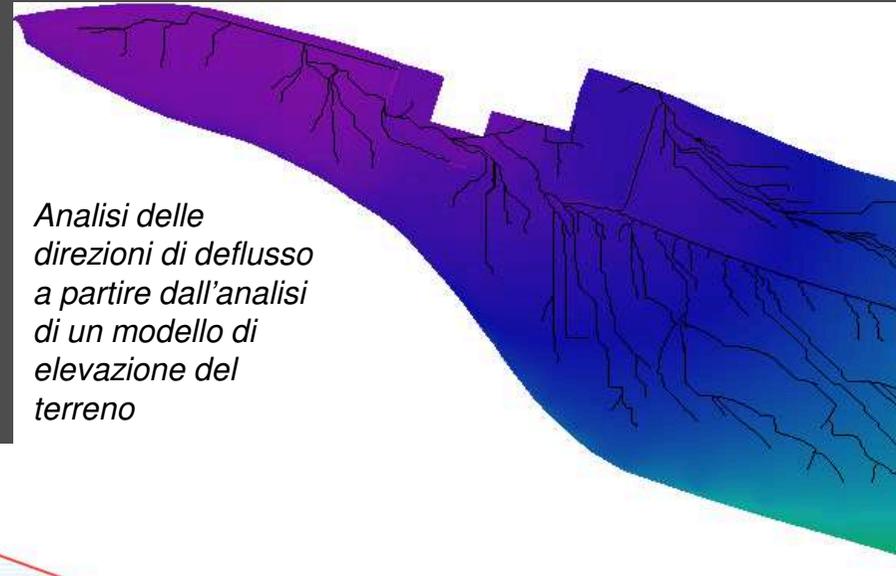
$h_3(0) \quad h_1(0) \quad h_2(0)$



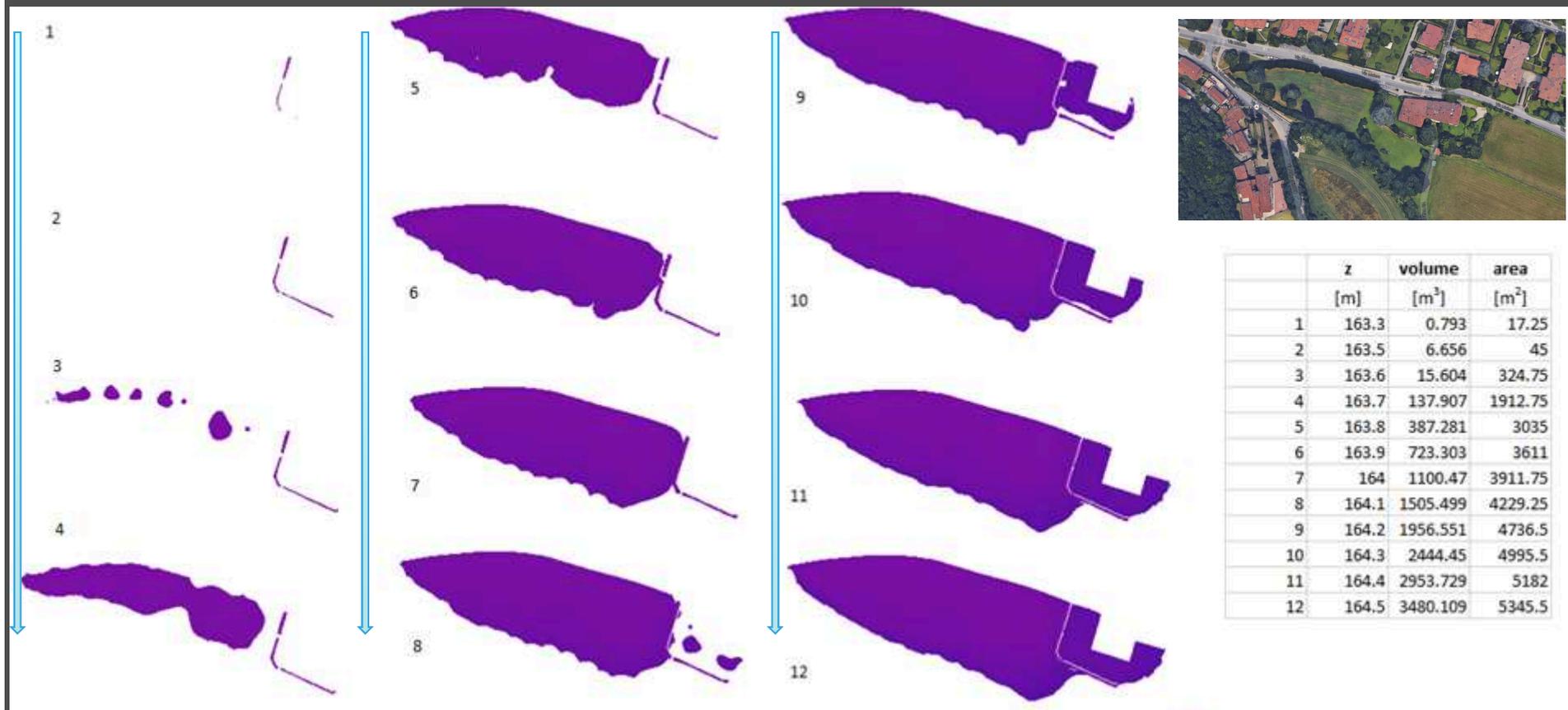
$$\begin{cases} h_1(t + \Delta t) = h_1(t) + \frac{\Delta t}{A_1} (Q_{in}(t) - Q_{o1}(h_1(t), h_2(t))) \\ h_2(t + \Delta t) = h_2(t) + \frac{\Delta t}{A_2} (Q_{o1}(h_1(t), h_2(t)) - Q_{o2}(h_2(t), h_3(t))) \end{cases}$$



ALLEGATO G: calcolo volume di invaso: un esempio pratico

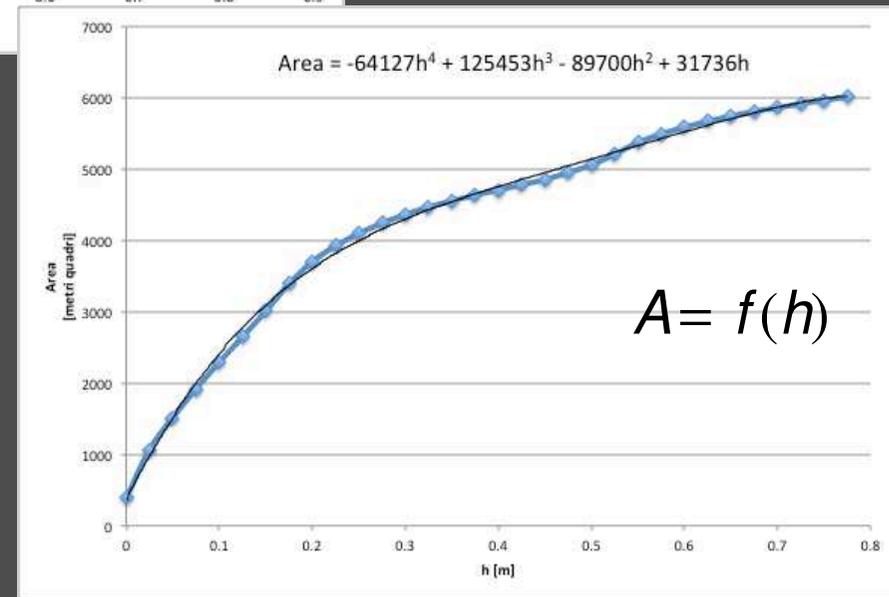
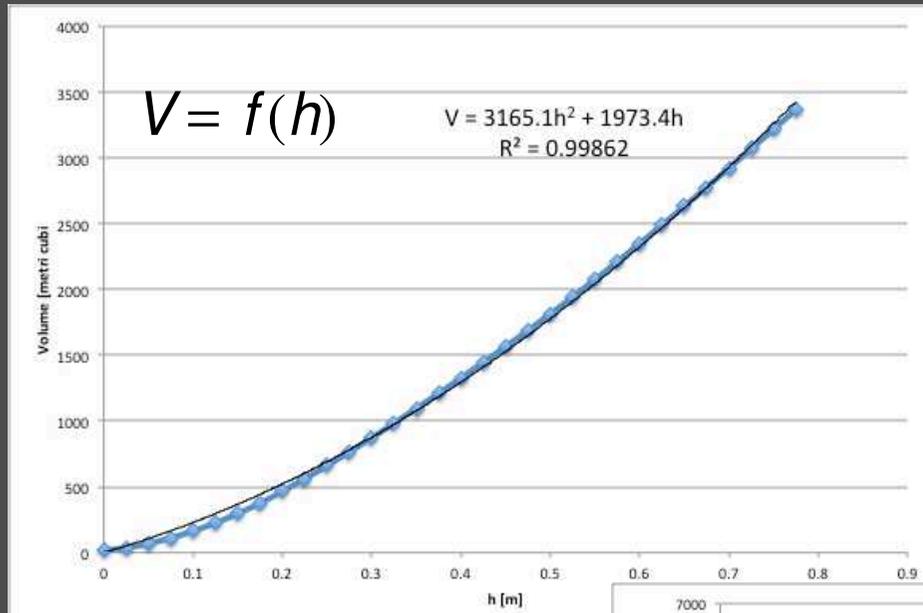


ALLEGATO G: calcolo del volume di invaso: un esempio



ALLEGATO G: calcolo volume di invaso: un esempio

h	volume	Area
0	16.68	395.25
0.025	35.18	1066
0.05	67.58	1515.25
0.075	110.57	1916.75
0.1	163.14	2290.25
0.125	224.8	2646.5
0.15	295.4	3008.25
0.175	375.55	3392
0.2	464.5	3701.25
0.225	559.98	3924.25
0.25	660.27	4095.75
0.275	764.61	4243.25
0.3	872.17	4363
0.325	982.55	4467.75
0.35	1095.35	4554.75
0.375	1210.17	4635.5
0.4	1326.96	4708.5
0.425	1445.51	4778.75
0.45	1565.86	4855.75
0.475	1688.46	4950.25
0.5	1813.52	5060.5
0.525	1941.83	5206.75
0.55	2074.26	5375
0.575	2210.17	5491.75
0.6	2348.61	5587.25
0.625	2489.33	5670.75
0.65	2632.01	5743.5
0.675	2776.43	5809
0.7	2922.27	5861
0.725	3069.5	5917.5
0.75	3218.07	5966.5
0.775	3367.8	6012.5



Il fallimento dell'intervento di contenimento locale dei deflussi e il segno della volontà di risolvere un problema

Tunnel and Reservoir Plan (TARP, 1972)

TARP's main goals:

- 1. to protect Lake Michigan—the region's drinking water supply—from raw sewage pollution;*
- 2. improve water quality of area rivers and streams;*
- 3. and provide an outlet for floodwaters to reduce street and basement sewage backup flooding.*

Phase I: four distinct tunnel systems: Mainstream, Des Plaines, Calumet, and Upper Des Plaines. The separate tunnel systems and their service areas are shown on Figure 1.

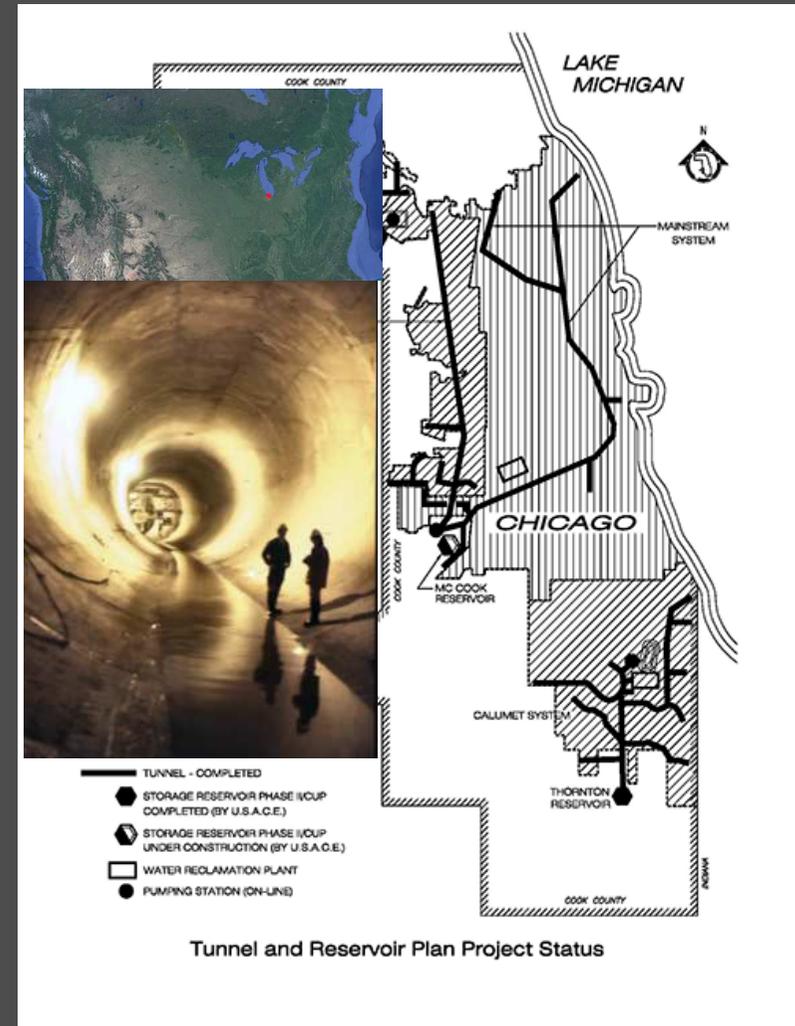
After a storm event, pumping stations dewater the tunnel systems as Water Reclamation Plant (WRP) capacity becomes available, making the tunnel and reservoir capacity available for the next storm event.

All captured combined sewer flow pumped to the WRP receives full secondary treatment prior to being discharged.

By 2006, all of Phase I was completed and in operation.

*The total system consists of **109.4 miles of deep, large diameter, rock tunnels providing 9 million mc of volume to capture CSOs that previously discharged at hundreds of outfall locations.***

Phase II of TARP consists of reservoirs intended primarily for flood control, but it will also considerably enhance pollution control. When all three reservoirs are completed, the reservoirs will increase the TARP system storage volume to 20.55 BG.



Pensare in grande (Chicago, Milwaukee, London ...)

THORNTON RESERVOIR

METROPOLITAN WATER RECLAMATION DISTRICT OF GREATER CHICAGO

In this time-lapse footage, combined sewage and stormwater can be seen entering the reservoir from the 30-foot diameter Thornton Connecting Tunnel.



Thursday night (Nov. 26)



METROPOLITAN WATER RECLAMATION DISTRICT OF GREATER CHICAGO

Friday morning (Nov. 27)

Water continues to flow into the reservoir during steady rainfall throughout the day.



Sunday (Nov. 29)

By the time the reservoir stopped filling on November 27, it was filled to a depth of 17 feet and held 400 million gallons of combined sewage that would otherwise have flowed into Calumet area waterways.



Sunday (Nov. 29)

This is a lot of water, but is only about 5 percent of the 7.9 billion gallon capacity of the reservoir.



Sunday (Nov. 29)

In the coming days, the water will be pumped up to the Calumet Water Reclamation Plant to be cleaned before being released to the Little Calumet River.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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

Grazie per l'attenzione



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

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