



**UNIVERSITA'
DEL SALENTO**

COSTRUZIONI IDRAULICHE

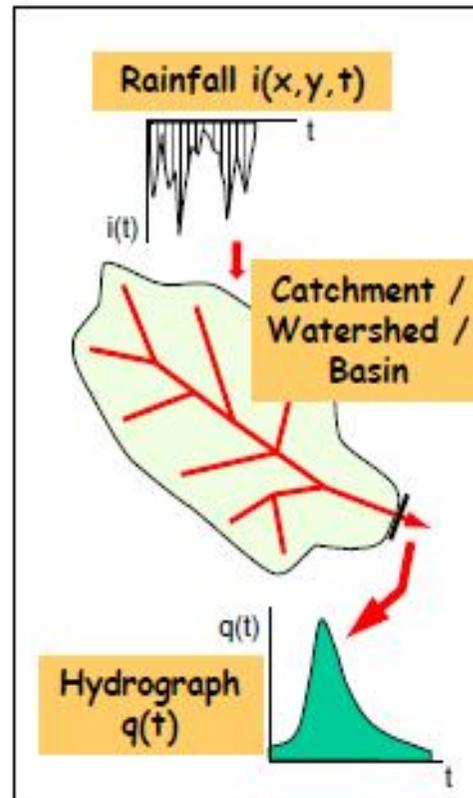


LEZIONE 12. Elementi di IDROLOGIA – parte IV

Felice D'Alessandro

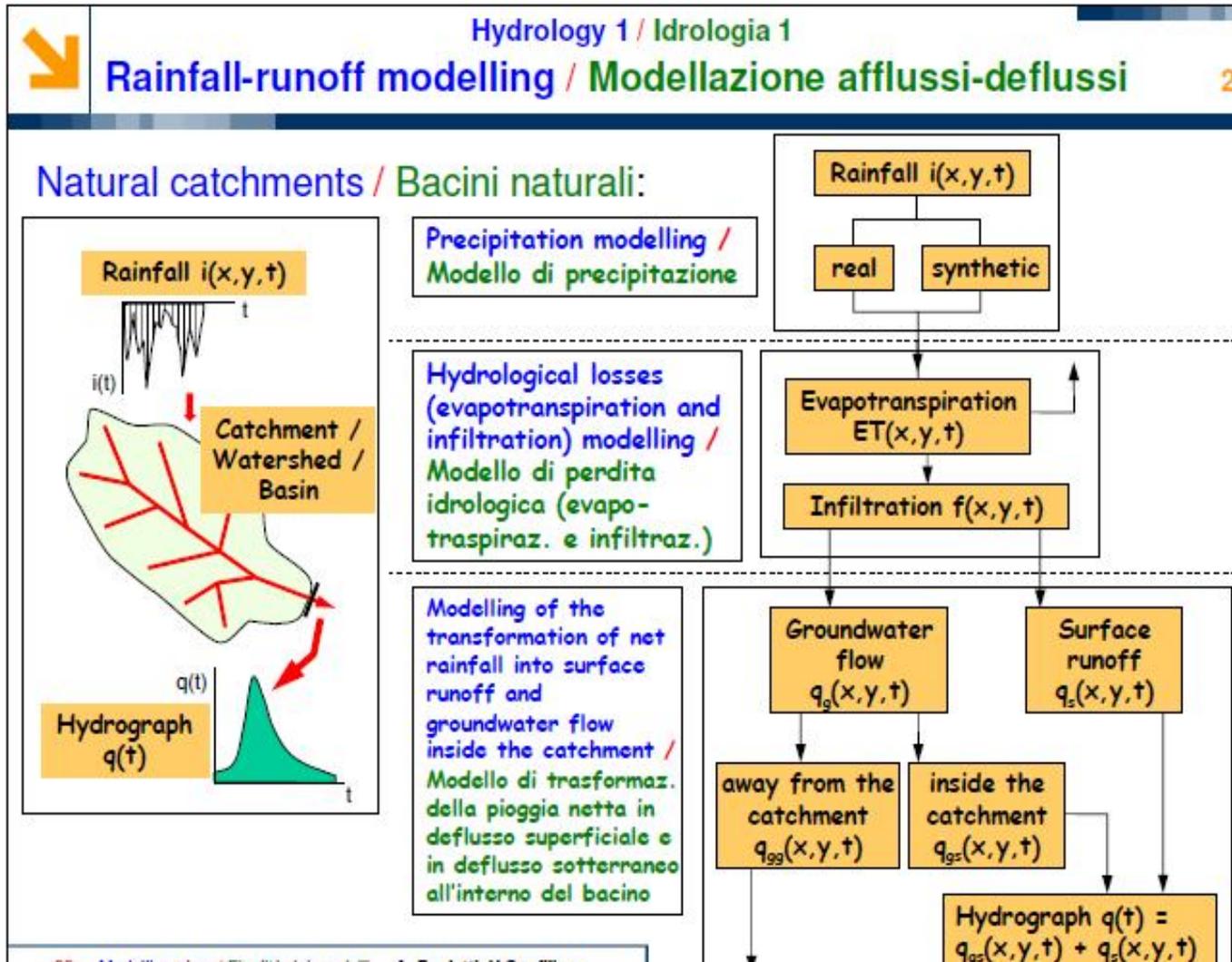


Modelli Afflussi - Deflussi



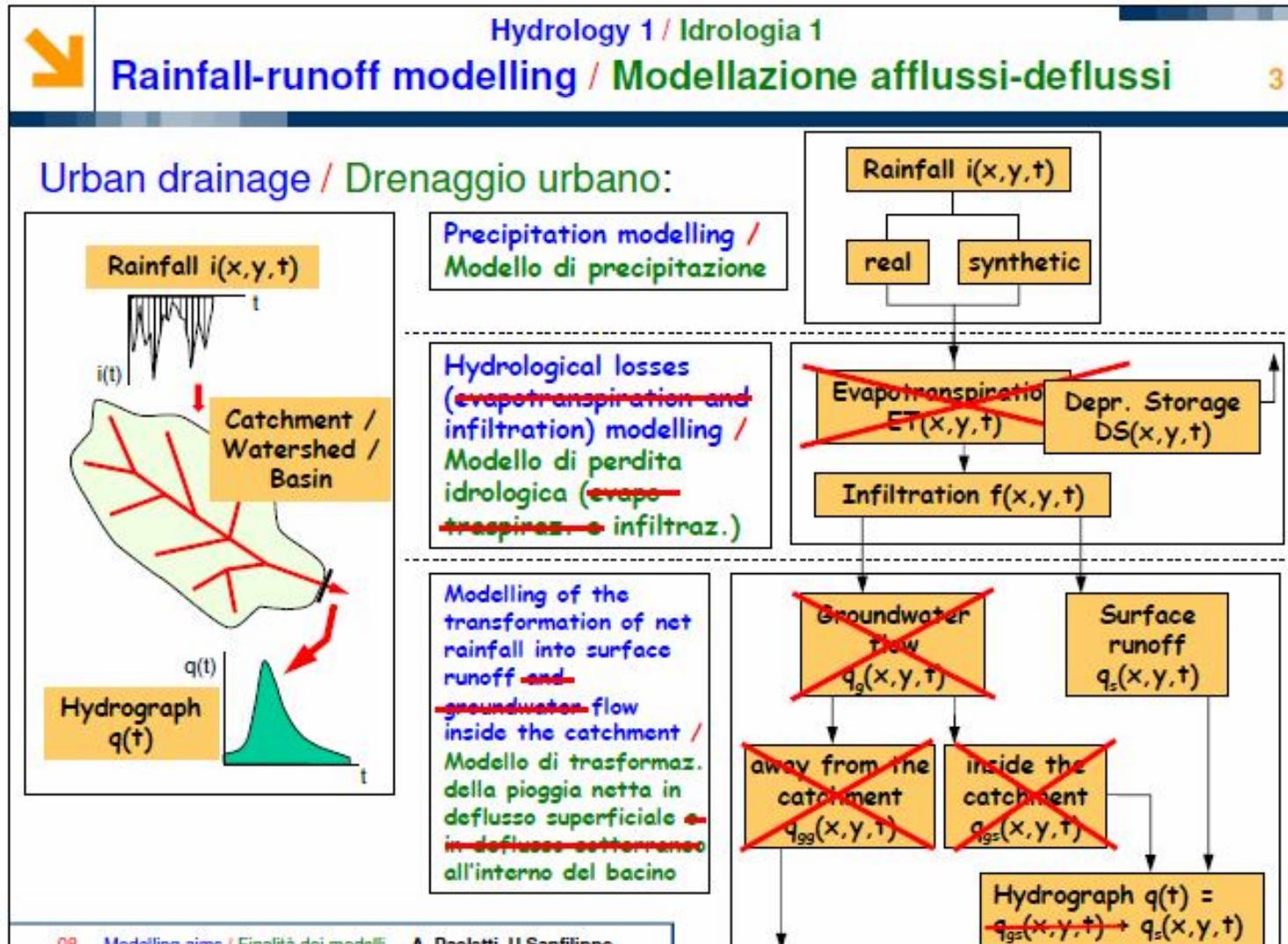


Modelli Afflussi - Deflussi





Modelli Afflussi - Deflussi





Approccio al drenaggio urbano

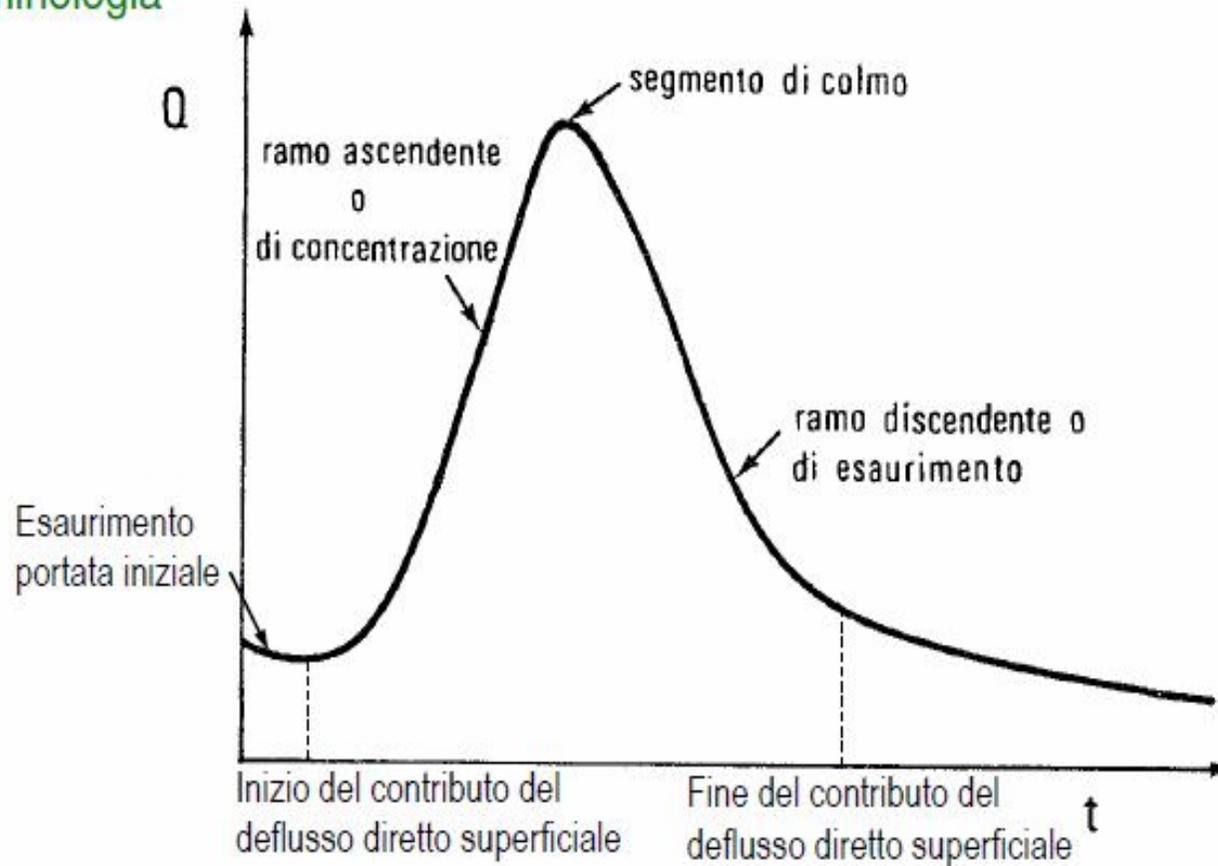
Problema	Grandezze di interesse	Tipo di bacino e di rete	Tipo di modello
Dimensionamento condotti	Portate al colmo di assegnato tempo di ritorno	Reti di piccoli bacini con normali condizioni di deflusso a pelo libero (assenza di entrate in pressione, di condizioni di rigurgito, di fenomeni di invaso in vasche o in allagamenti)	Modelli di dimensionamento (modelli Afflussi – Deflussi di tipo concettuale globale puramente idrologici; formula razionale)
Dimensionamento condotti Dimensionamento vasche volano	Idrogrammi di piena	Reti di bacini con condizioni di deflusso influenzate da entrate in pressione, condizioni di rigurgito, effetti di invaso in vasche volano o in allagamenti	Modelli di simulazione a base fisica (modelli Afflussi – Deflussi di tipo distribuito, con simulazione idrodinamica della rete e degli invasi)
Controllo qualitativo (dell'impatto inquinante) degli scarichi di tempo piovoso nei corpi idrici ricettori (scarichi di piena)	Pollutogrammi Masse inquinanti scaricate	Qualsiasi bacino e rete	Modelli di simulazione a base fisica (modelli Afflussi – Deflussi di tipo distribuito completi di: <ul style="list-style-type: none">▪ simulazione idrodinamica della rete e degli invasi▪ simulazione idrodinamica del trasporto di inquinanti)





Idrogramma di piena $Q(t)$

Terminologia





Antiche formule empiriche

They are the “forefathers” of the modern regionalisation techniques /
Sono le “antenate” delle moderne tecniche di regionalizzazione:

- Very commonly used till the '80s of last century (before PCs spread) because of their simplicity of implementation in practice /
Usatissime fino agli anni '80 del secolo scorso (prima della rivoluzione informatica) per la loro semplicità d'implementazione nella pratica
- Anyway, nowadays they can be used for first approximation assessments /
Ad ogni modo oggi possono essere usate per stime di prima approssimazione
- However attention must be paid to the fact that the catchments have become more impervious than in the decades when the data applied for their calibration were recorded, so they can be underestimating /
Occorre però porre attenzione al fatto che i bacini sono diventati più impermeabili rispetto a quando esse vennero elaborate, e quindi sono oggi tendenzialmente sottostimanti





Antiche formule empiriche

The most common in Italy are /

I tipi più comunemente noti e applicati in Italia:

- Fuller formula / Formula di Fuller } From international literature / Dalla letteratura internaz
- Tonini formula / Formula di Tonini } Adaptation of Fuller formula to Italian catchments /
Adattamento della formula di Fuller ai bacini italiani
- Gherardelli-Marchetti formula / Formula di Gherardelli-Marchetti
- Mongiardini formula / Formula di Mongiardini } Refinement of Gherardelli-Marchetti
formula / Affinamento della formula
di Gherardelli-Marchetti
- Forti formula / Formula di Forti
- De Marchi formula / formula di De Marchi
- Pagliaro formula / formula di Pagliaro } Less commonly used /
Meno comunemente utilizzate
- Giandotti formula / formula di Giandotti
- ...





Antiche formule empiriche

- Fuller formula / Formula di Fuller

- Elaborated from the annual maximum values of the mean daily flows in 300 catchments all over the world, made adimensional dividing them for the mean of the corresponding historical series /

Elaborata a partire dai massimi annuali delle portate medie giornaliere di 300 bacini di tutto il mondo, rese adimensionali dividendole per il valore medio della corrispondente serie storica

$$\bar{Q}_{max} = Q_{max} / S = C_p \cdot S^{-0.2} \cdot (1 + 2.66 \cdot S^{-0.3}) \cdot (1 + 0.8 \cdot \text{Log}_{10} T)$$

being / essendo:

- \bar{Q}_{max} the contribute to the peak flow per unitary area of catchment [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$] / il contributo di piena per unità di superficie del bacino [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]
- Q_{max} the peak flow [m^3/s] / la portata al colmo [m^3/s]
- S the catchment area [km^2] / l'area sottesa [km^2]
- T the return period [years] / il tempo di ritorno [anni]
- C_p the peak coefficient, reported by tables for different hydrologically homogeneous regions [adimensional number] / il coefficiente di piena, tabellato per le varie regioni idrologicamente omogenee [numero adimensionale]





Antiche formule empiriche

- Tonini formula / Formula di Tonini

- Similar to the Fuller formula, but calibrated on Italian catchements /
Simile a quella di Fuller, ma calibrata su bacini italiani

$$\bar{Q}_{max} = Q_{max}/S = C_p \cdot S^{0.2} \cdot (1+68 \cdot S^{0.5}) \cdot (1+1.18 \cdot \text{Log}_{10} T)$$

- the peak coefficient is reported by tables for different hydrologically homogeneous regions /
il coefficiente di piena è tabellato per le varie regioni idrologicamente omogenee (si veda ad es. U. Maione, Le piene fluviali, vol. 3, cap. 3)





Antiche formule empiriche

- Gherardelli-Marchetti formula / Formula di Gherardelli-Marchetti

- Proposed in 1938, calibrated on Italian catchments /
Proposta nel 1938, calibrata sui bacini italiani
- It is not referred to a specific return period T , but later validations have shown that for most basins it might be referred to $T \cong 100$ years /
Non è riferita a uno specifico calore del tempo di ritorno T , ma successive validazioni hanno mostrato che per la maggior parte dei bacini potrebbe essere riferita a $T \cong 100$ anni

$$\bar{Q}_{max} = \bar{Q}_{100} \cdot (S/100)^{-2/3} \quad \text{then being / essendo poi} \quad Q_{max} = \bar{Q}_{max} \cdot S$$

being / essendo :

- Q_{max} the contribute to the peak flow per unitary area of catchment [$m^3/s/km^2$] /
il contributo di piena per unità di superficie del bacino [$m^3/s/km^2$]
- \bar{Q}_{100} the contribute to the peak flow per 100 Km^2 of catchment [$m^3/s/km^2$] /
il contributo di piena per 100 km^2 di superficie del bacino [$m^3/s/km^2$]
» it varies from 0.4 to 20 $m^3/s/km^2$ / varia da 0.4 a 20 $m^3/s/km^2$
- Q_{max} the peak flow [m^3/s] / la portata al colmo [m^3/s]
- S the catchment area [km^2] / l'area sottesa [km^2]





Antiche formule empiriche

- **Mongiardini formula / Formula di Mongiardini**
 - Proposed in 1953 as an update of the Gherardelli-Marchetti formula, calibrated by means of longer series of recorded data and on further Italian catchments /
Proposta nel 1953 quale aggiornamento della formula di Gherardelli-Marchetti, calibrata per mezzo di sui bacini italiani
 - It is not referred to a specific return period T , but later validations have shown that for most basins it might be referred to $T \cong 100$ years, too /
Pure essa non è riferita a uno specifico calore del tempo di ritorno T , ma successive validazioni hanno mostrato che per la maggior parte dei bacini potrebbe essere riferita a $T \cong 100$ anni
- $$\bar{Q}_{max} = \bar{Q}_{100} \cdot (S/100)^{-1/2} \quad \text{then being / essendo poi} \quad Q_{max} = \bar{Q}_{max} \cdot S$$
- In comparison to the Gherardelli-Marchetti formula the differencies are /
Rispetto alla formula di Gherardelli-Marchetti le differenze riguardano:
 - the values of \bar{Q}_{100} / i valori del \bar{Q}_{100}
 - the smoother exponent (-1/2 instead of -2/3) /
l'esponente più blando (-1/2 instead of -2/3)





Simulazioni per mezzo di modelli idrologici

Simulations by means of hydrologic models /
Simulazioni per mezzo di modelli idrologici

FLORA [release prev.] - Bacino idrografico del Torrente Sarsobbia

Opzioni Calcolo

BACINO PRINCIPALE: SARSOBBIA

Litologia Uso suolo CN-SCS Idrografia

SEZIONE:

Latitudine: 44° 19' 32.5" N

Longitudine: 8° 30' 20" E

Quota: 5 m s.l.m.

Litologia: Sedimenti

Uso del Suolo: Area residenziale

CN (II): 84 S (mm): 48.4

BACINO SOTTESO:

Area: 72.3 Km² Pendenza(°): 24.0

Lung. asta: 21.8 Km

CN (II) medio: 85 S medio (mm): 44

Tempo di Lag (ore): 1.7 k: 0.66

CALCOLO DELLE PORTATE DI RISCHIO Curva Involupe 953 mc/sec Tempo di ritorno?

Sezione: Sarsobbia

Modello probabilistico (Gestor/climatico)

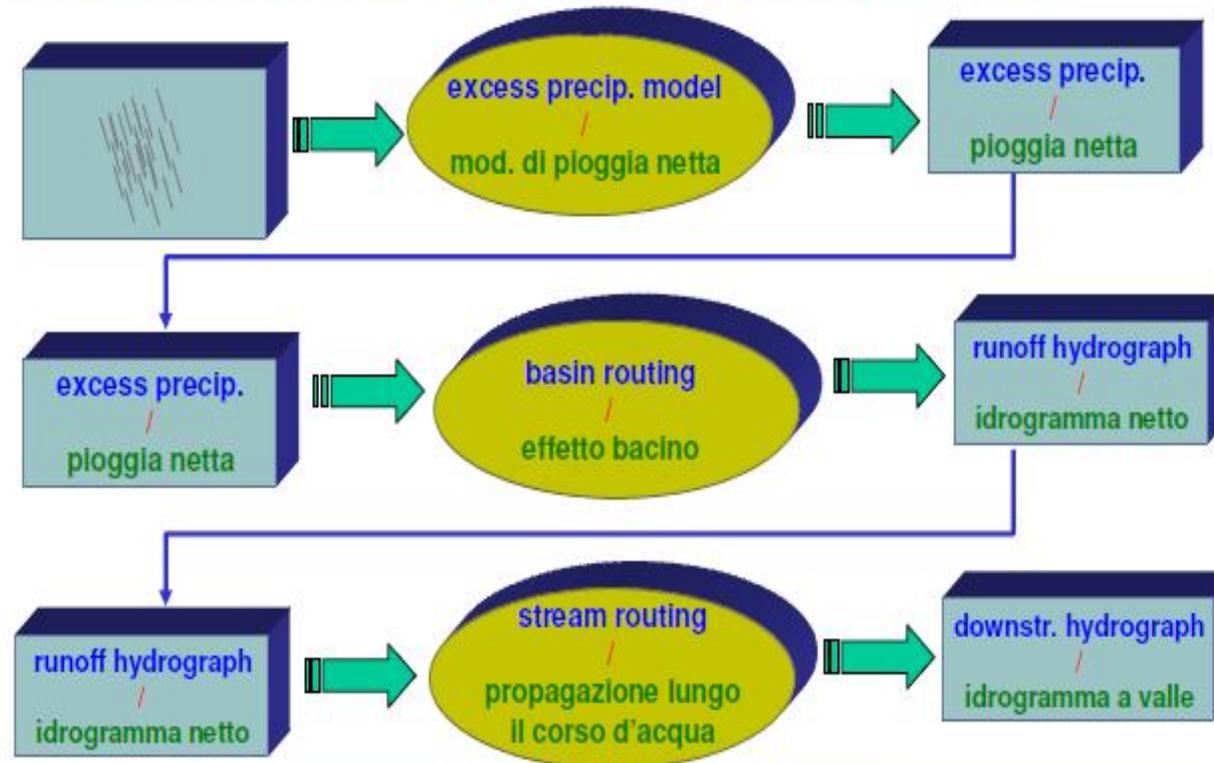
T (anni)	10	30	50	100	200
Q (mc/sec)	352	580	729	991	1347





Propagazione delle piene

Precipitation, basin routing and stream routing /
Precipitazione, generazione della piena e sua propagazione

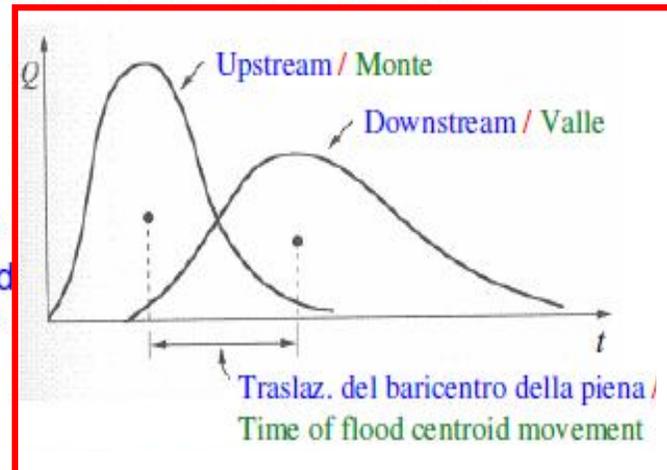




Definizione di propagazione della portata

The flow routing assessment is a procedure to determine the flow hydrograph at a point on a watercourse from a known hydrograph(s) upstream / La valutazione della propagazione della portata è una procedura per determinare l'idrogramma in un certo punto di un corso d'acqua a partire da un idrogramma noto in una sezione a monte

- In other words, it is for accounting for changes in a flow hydrograph as a flood wave passes downstream / In altre parole serve a seguire l'evoluzione di un idrogramma via via che prosegue verso valle
- This helps in / Ciò consente di:
 - Studying the progressive attenuation of flood peaks / Studiare la progressiva attenuazione dei picchi di piena
 - Accounting for storages required to control flood waves / Stimare le capacità d'invaso occorrenti per il controllo delle piene





Modelli di propagazione della portata

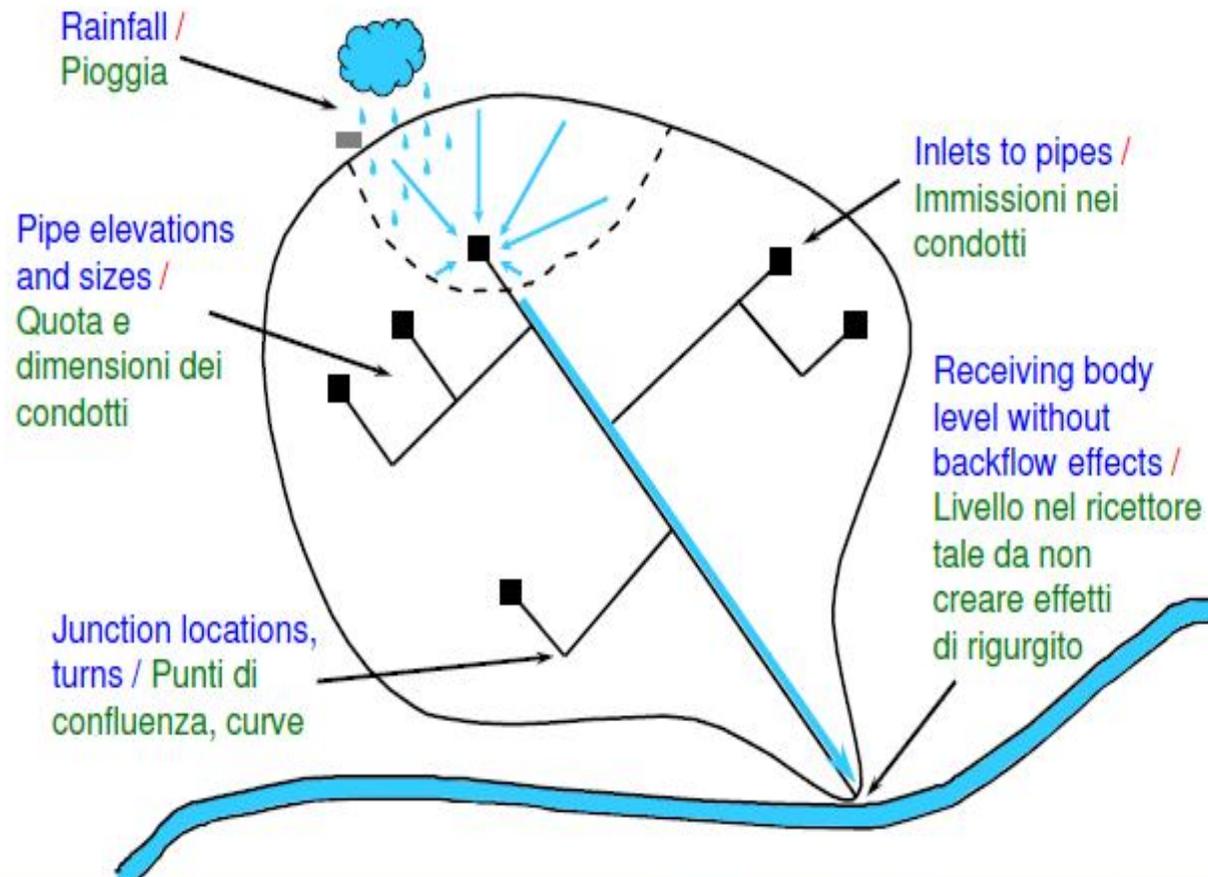
Kind of flow routing models / Tipi di modelli di propagaz. della portata

- Lumped (Hydrologic) / Concettuali (Idrologici)
 - Flow is calculated as function of time, no spatial variability /
Portata calcolata quale funzione del tempo, nessuna variabilità spaziale
 - Governed by continuity equation and flow/storage relationship /
Basati sull'equaz. di continuità e sul legame tra portata e capacità d'invaso
 - Muskingam method / Metodo Muskingam
 - Fantoli - De Marchi method / Metodo Fantoli - De Marchi
- Distributed (Hydraulic) / Distribuiti (Idraulici)
 - Flow is calculated as a function of space and time /
Portata calcolata quale funzione sia dello spazio che del tempo
 - Governed by continuity and momentum equations /
Basati sull'equazione di continuità e sull'equazione del moto
 - De Saint Venant (DSV) equations / Equaz. di De Saint Venant (DSV)
 - » Kinematic wave / Modello cinematico
 - » Diffusion wave / Modello parabolico
 - » Dynamic wave / Modello dinamico
 - » Pure flow translation routing / Pura traslazione dell'onda di portata





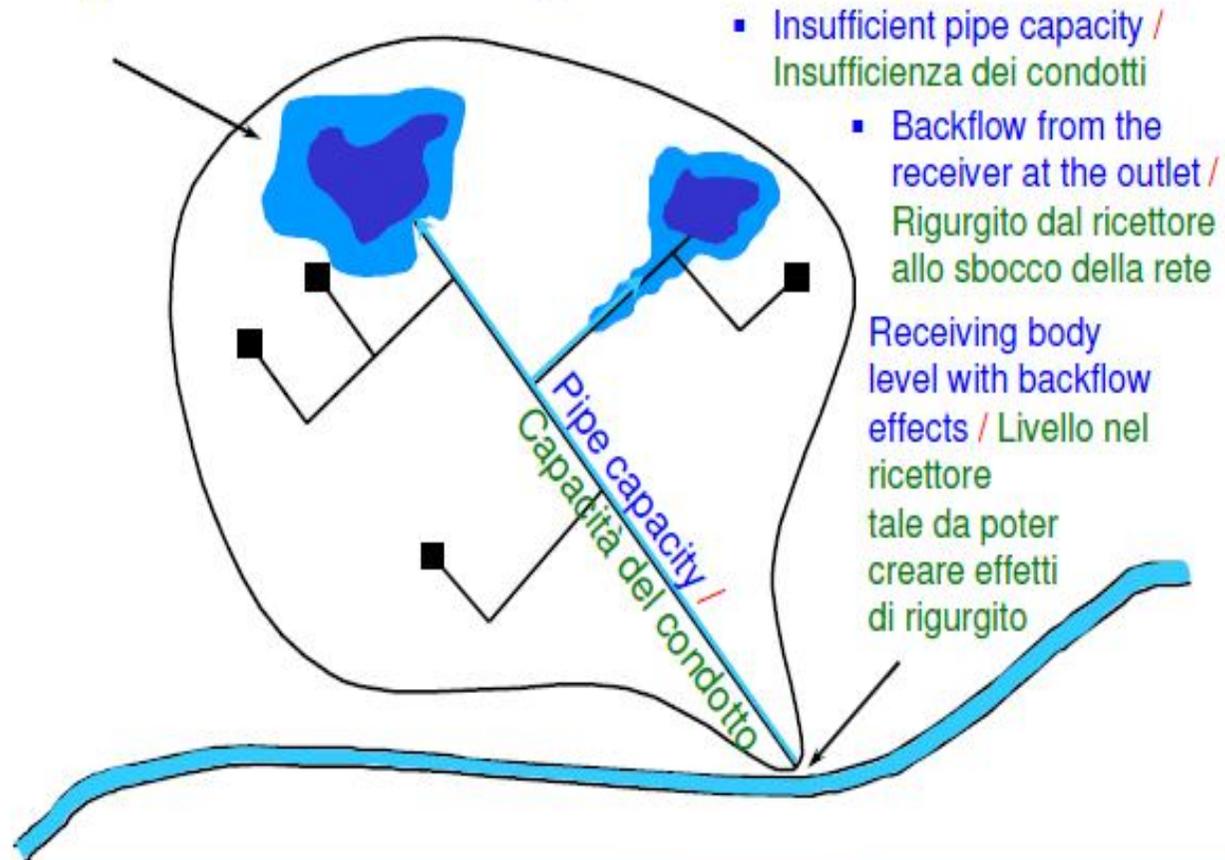
Bacini urbani per basse portate





Bacini urbani con allagamenti

Flooding areas due to / Aree di allagamento dovute a:





Pericoli delle esondazioni

Primary effects / Effetti primari

- With higher velocities, streams are able to transport larger particles as suspended load. Such large particles include not only rocks and sediment, but, during a flood, could include such large objects as automobiles, houses and bridges /

Quando hanno velocità piuttosto alte, le correnti possono trasportare oggetti relativamente grandi. Questi possono essere non solo rocce e sedimenti ma, durante una piena, possono comprendere persino automobili, case e ponti

- Massive amounts of erosion can be accomplished by flood waters. Such erosion can undermine bridge structures, levees, and buildings causing their collapse /

Massicce erosioni possono accompagnarsi alle acque di piena, minando così le strutture di ponti, argini e edifici fino a poterne causar il collasso





Pericoli delle esondazioni

Primary effects / Effetti primari

- Humans that get caught in the high velocity flood waters are often drowned by the water /
Gli esseri umani che vengono investiti dalla corrente durante le piene finiscono spesso annegati
- Floodwaters can concentrate garbage, debris, and toxic pollutants that can cause the secondary effects of health hazards /
Le acque di piena possono concentrare spazzatura, trasporto solido e inquinanti tossici che divengono causa di effetti secondari in termini di rischi per la salute pubblica





Pericoli delle esondazioni

Secondary effects (disruption of services) /

Effetti secondari (interruzioni dei servizi)

- Drinking water supplies may become polluted, especially (but not only) if sewerage treatment plants are flooded. This may result in disease and other health effects, especially in under developed Countries /
Le erogazioni di acqua da parte dell'acquedotto possono venire inquinate, specialmente (ma non solo) se vengono allagati gli impianti di trattamento. Ciò può provocare il diffondersi di malattie e di altri effetti negativi sulla salute, soprattutto in Paesi sottosviluppati
- Gas and electrical service may be disrupted /
Possono venire interrotte le forniture di gas e di energia elettrica
- Transportation systems may be disrupted, resulting in shortages of food and clean-up supplies. In under developed countries food shortages often lead to starvation and public order /
I sistemi di trasporto pubblico e privato possono diventare difficoltosi o addirittura impossibili, il che porta a scarsità di fornitura di cibo e altri generi essenziali, spesso inducendo con ciò problemi di ordine pubblico





Piene e allagamenti





Fiume Po tra Valenza Po (AL) e Torreberetti (PV)
sulla S.S. 494 Vigevanese - Ottobre 2000



Piene e allagamenti (allagamenti che danneggiano ponti e strade)

Floodings damaging bridges and roads /
Allagamenti che danneggiano ponti e strade





Sormonto di un ponte



Collasso di una pila



Le inondazioni delle aree urbane



Acqua alta a Milano



F. Po. Piena dell'ottobre 2000 a Arena Po (PV)



Piene e allagamenti (allagamenti in aree urbane)

Floodings in
urban areas /
Allagamenti
in aree urbane





Damage and prevention / Danni e prevenzione





Le misure di controllo delle piene

- strutturali:
 - sistemazioni d'alveo e delle opere di attraversamento
 - scolmatori
 - laminazioni

- non strutturali:
 - normativa urbanistica
 - regime fiscale e/o assicurativo
 - preannuncio delle piene e protezione civile





Sistemazioni d'alveo e delle opere di attraversamento





Gli allagamenti nei fenomeni alluvionali

Nelle reti idrografiche naturali o artificiali (bonifiche, fognature) gli eventi di piena più critici possono produrre allagamenti talora catastrofici.

Ciò accade quando le insufficienze dell'alveo impediscono alle portate di piena di defluire regolarmente verso valle.

L'equazione di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

mostra che gli allagamenti sono fenomeni di invaso W causati da portate in arrivo Q_e molto maggiori di quelle defluenti verso valle Q_u .

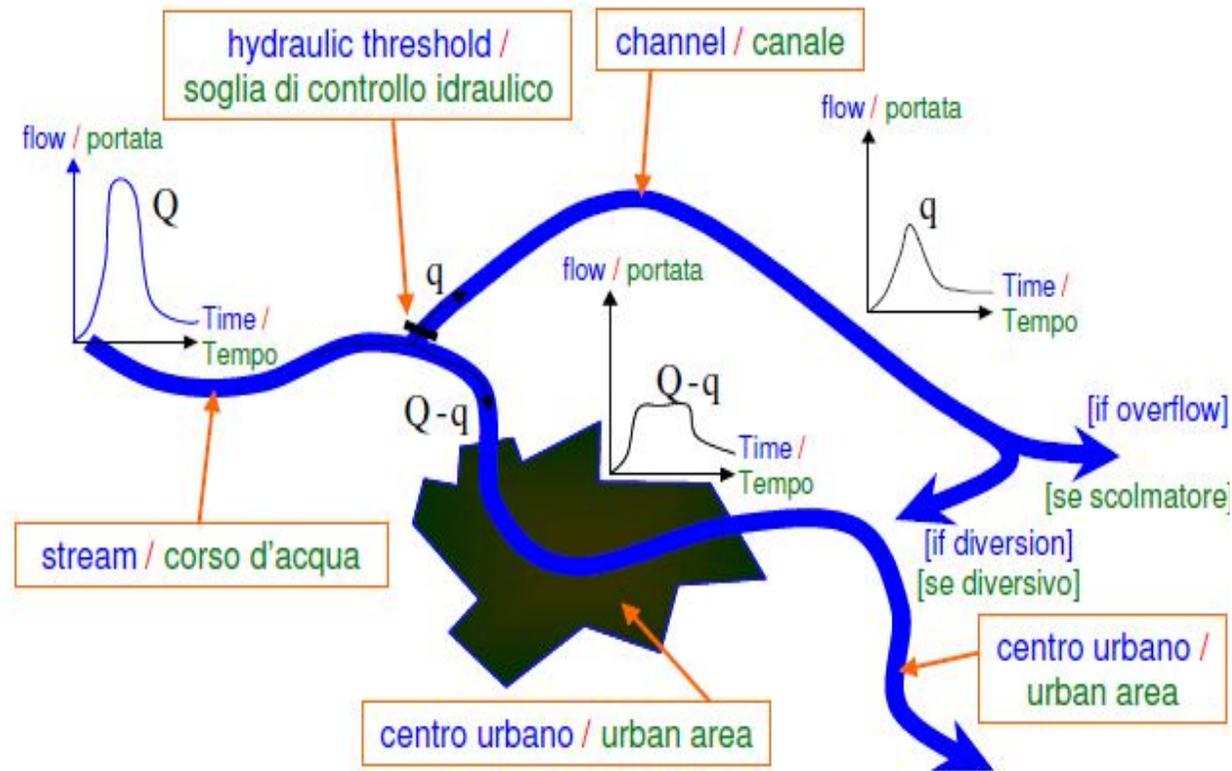
Ma la stessa equazione mostra che, quando la protezione idraulica del territorio richiede di ridurre le portate defluenti verso valle, è possibile pianificare invasi specifici (serbatoi di laminazione) destinati alla ritenuta temporanea delle portate in eccesso in arrivo da monte.

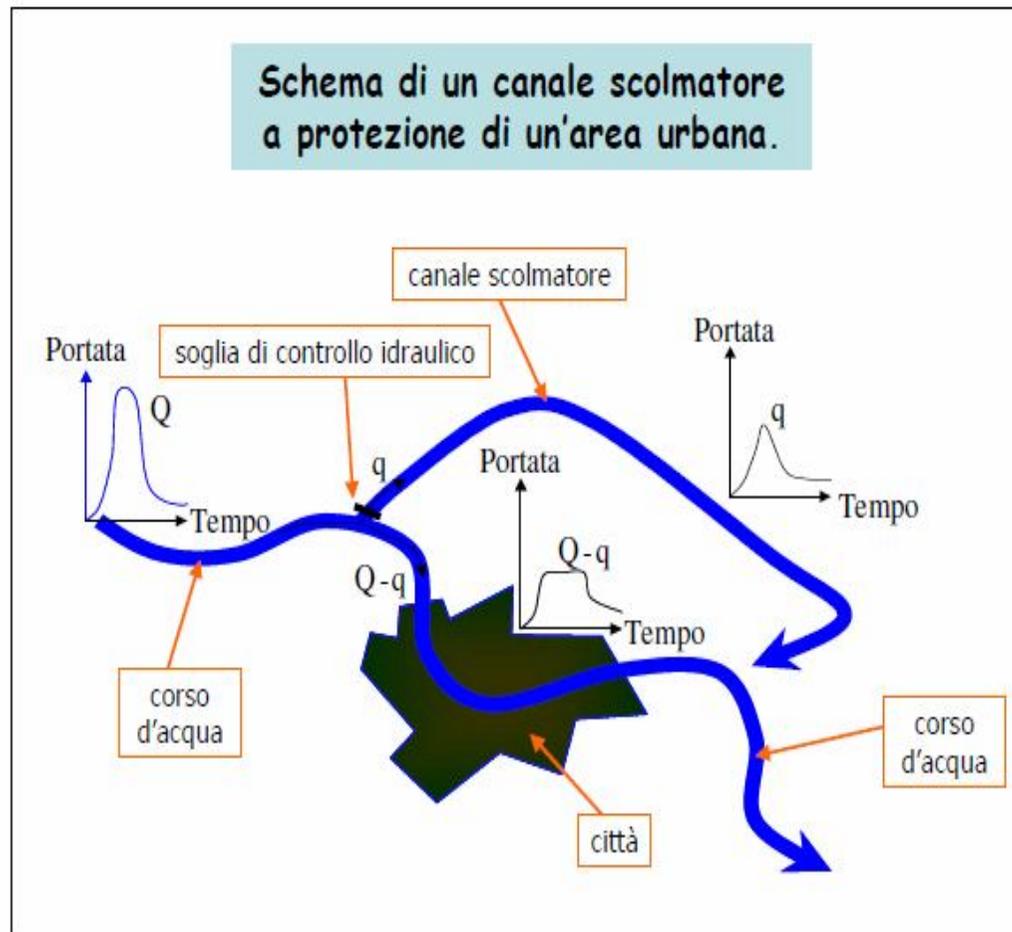


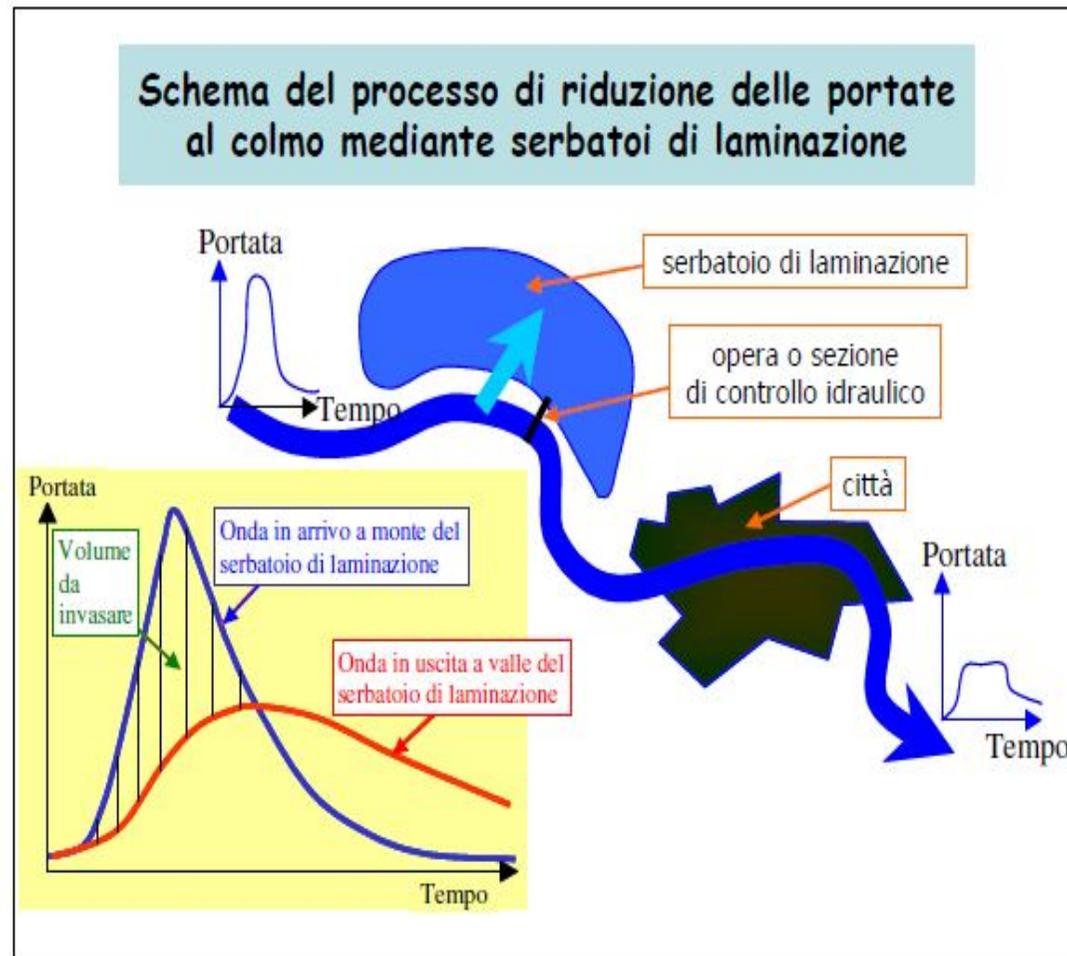


Scolmatore o diversivo

Scheme of an overflow or a diversion protecting an urban area /
Schema di scolmatore o diversivo a protezione di un'area urbana

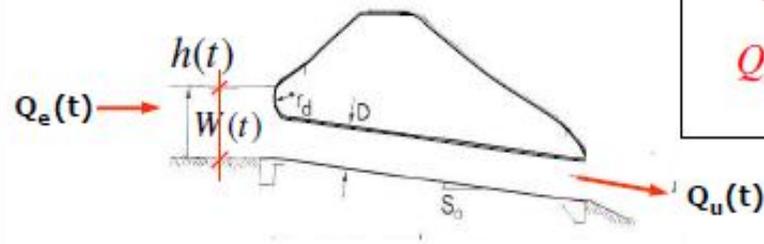








Equazioni generali della laminazione



Equazione di continuità:

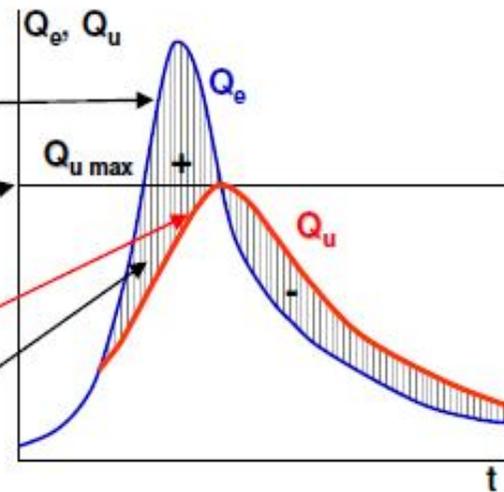
$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

Dati da assegnare per il progetto di un serbatoio di laminazione:

- onda "di progetto" $Q_e(t)$ di assegnato tempo di ritorno da determinare con le leggi dell'idrologia statistica
- $Q_{u \max}$ compatibile a valle

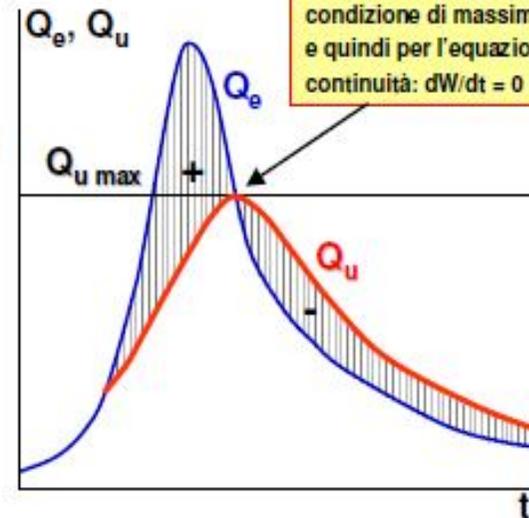
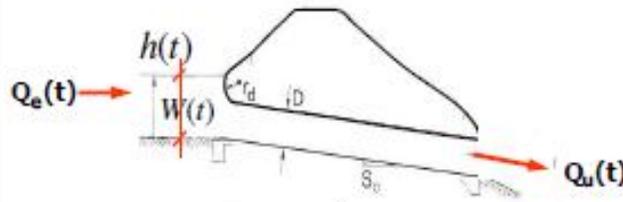
Risultati del calcolo:

- onda uscente $Q_u(t)$
- volume W_{\max} da invasare nel serbatoio





Equazioni generali della laminazione



Il colmo $Q_{u \max}$ si ha sempre nell'istante in cui vale la condizione di massimo $Q_e = Q_u$ e quindi per l'equazione di continuità: $dW/dt = 0$

L'equazione di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

$Q_e(t)$ noto; $Q_u(t)$ e $W(t)$ incogniti.

Legge d'efflusso:

$$Q_u(t) = f[h(t)]$$

L'equazione dell'invaso:

$$h = f[W]$$

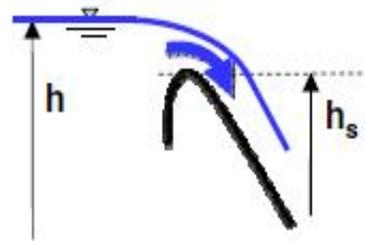
3 equazioni nelle 3 incognite
 $Q_u(t)$, $h(t)$, $W(t)$



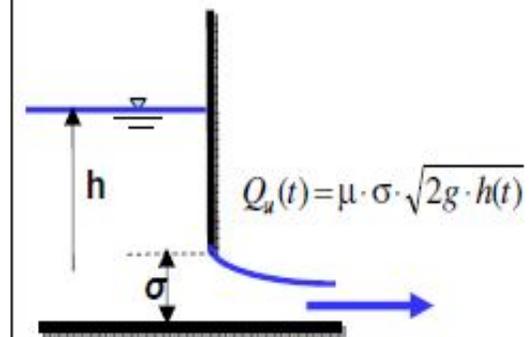
Leggi d'efflusso dal serbatoio

efflusso da luci a stramazzo

$$Q_u(t) = \mu \cdot L \cdot [h(t) - h_s] \cdot \sqrt{2g \cdot [h(t) - h_s]}$$



efflusso da luci a battente

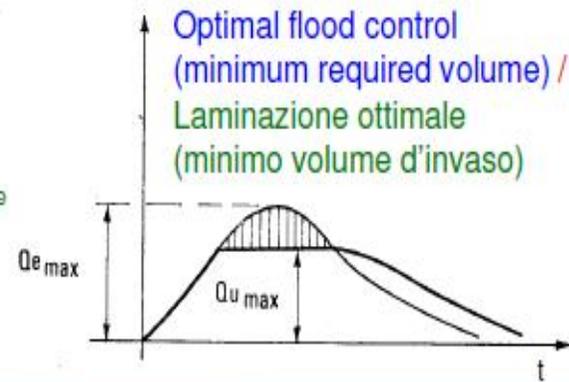
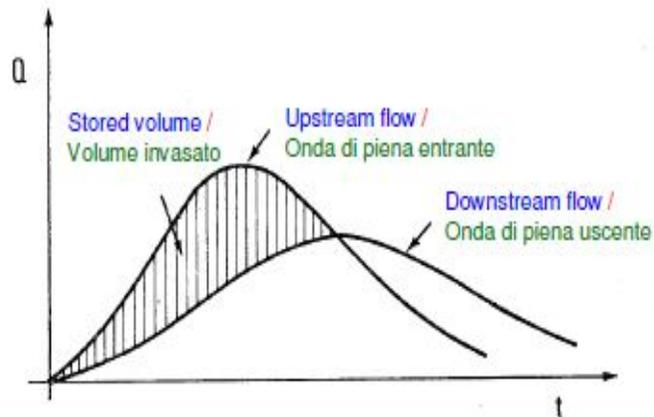
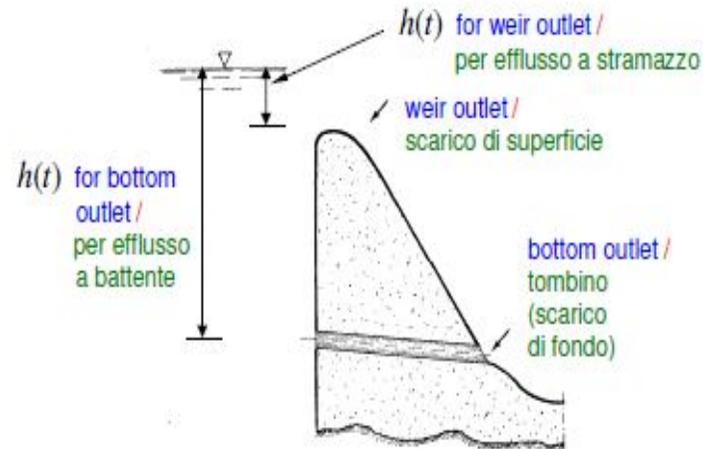




Serbatoi di laminazione

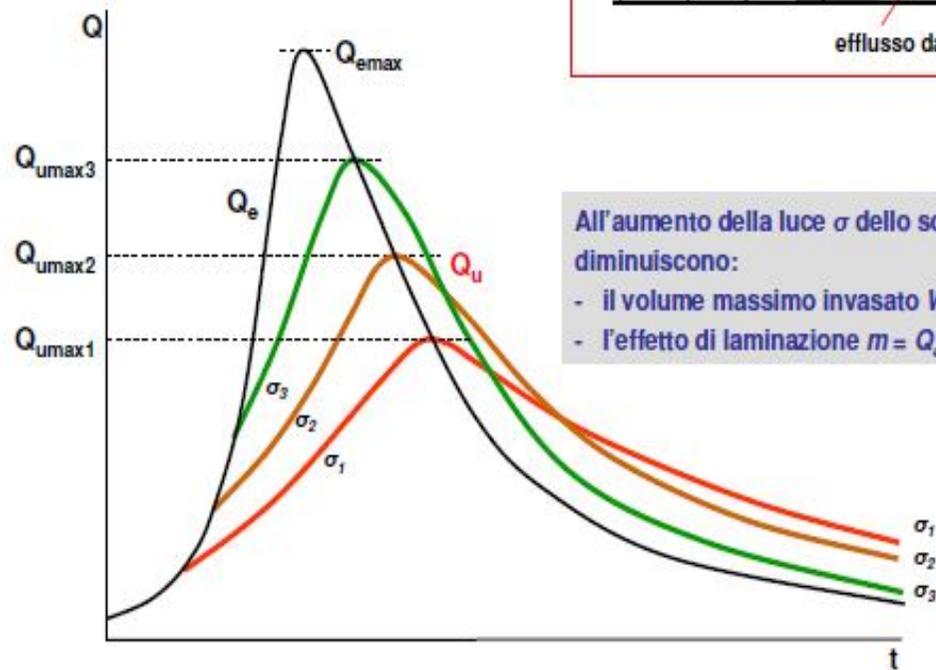
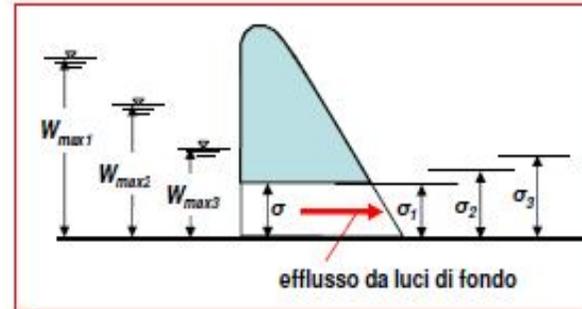
Equations of flood control /
Equazioni della laminazione

$$\begin{cases} Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \\ Q_u(t) = Q_u(h(t)) \\ W(t) = W(h(t)) \end{cases}$$





La laminazione al variare della luce dello scarico di fondo



All'aumento della luce σ dello scarico di fondo diminuiscono:

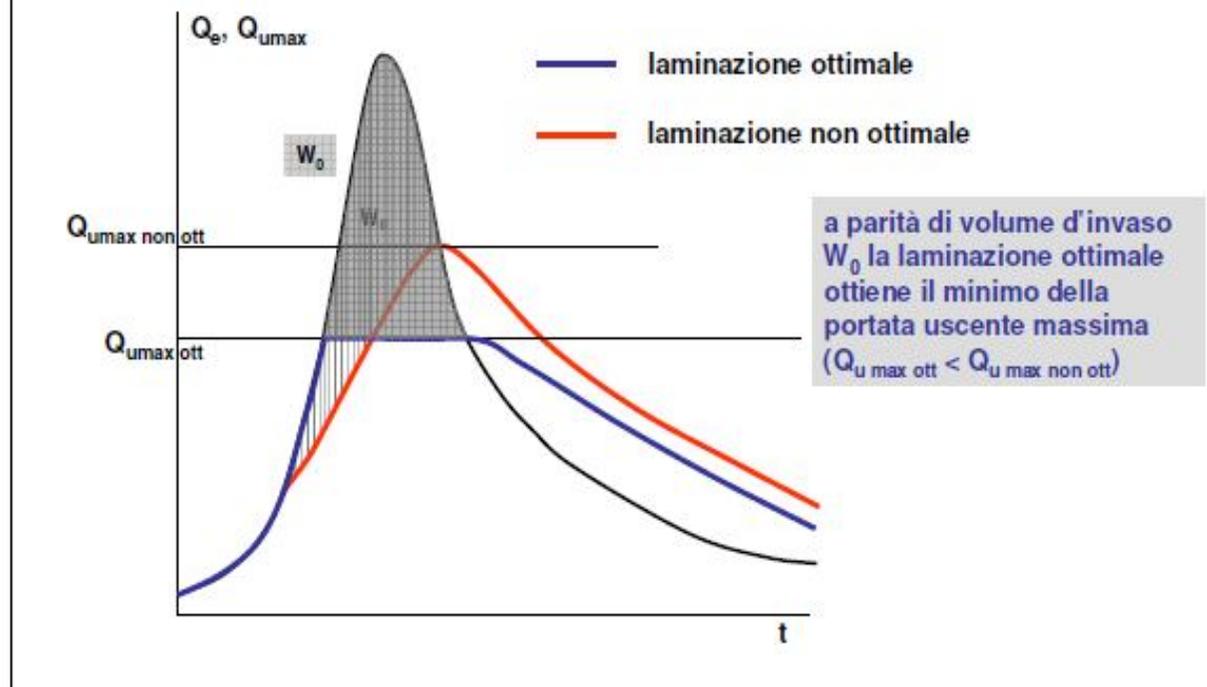
- il volume massimo invasato W_{max}
- l'effetto di laminazione $m = Q_{e max} / Q_{u max}$





La laminazione ottimale

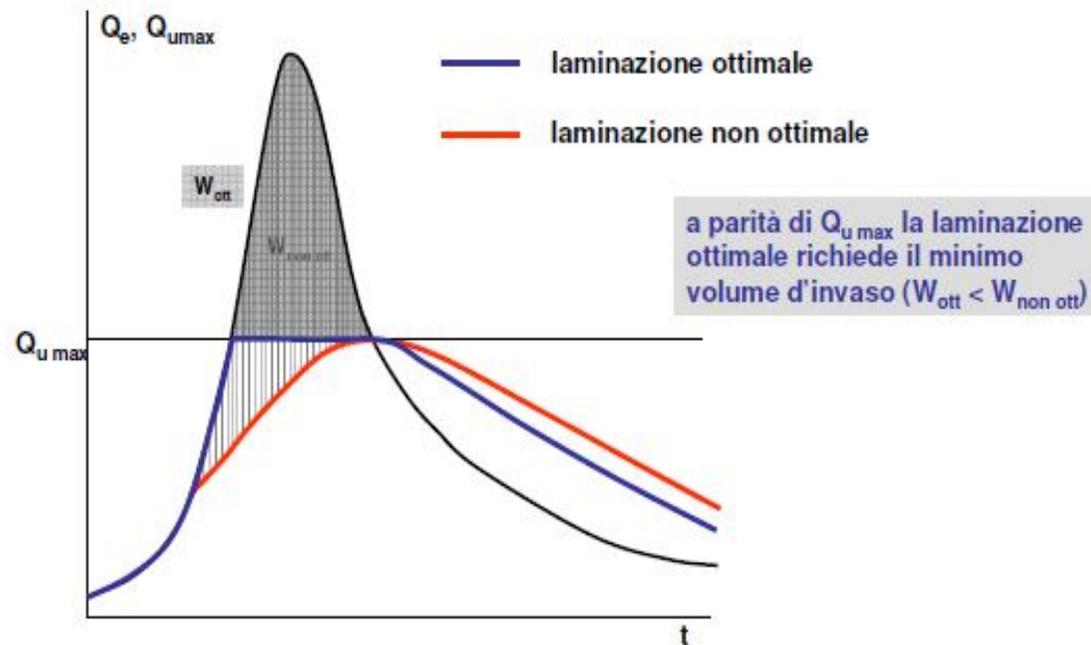
a parità di volume d'invaso W_0

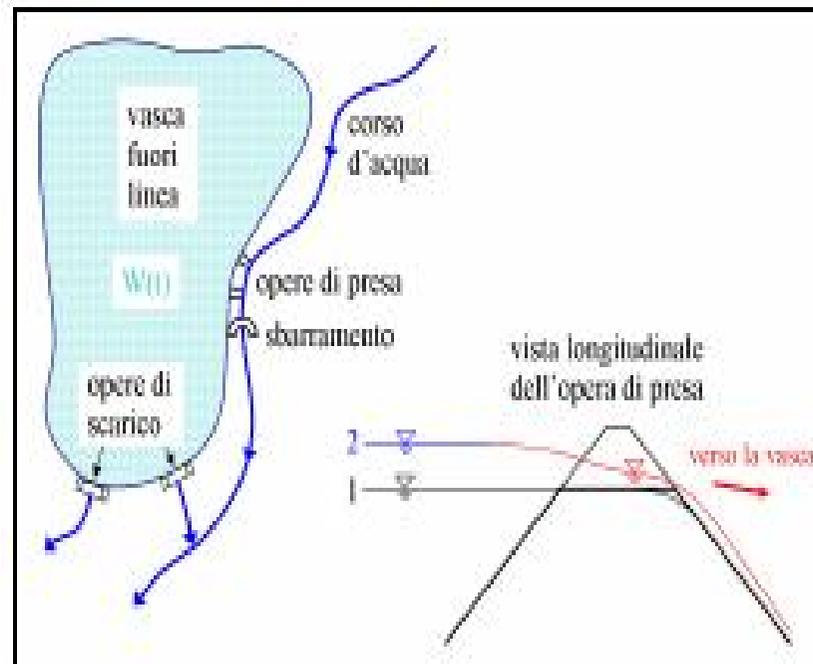




La laminazione ottimale

a parità di portata $Q_{u\max}$





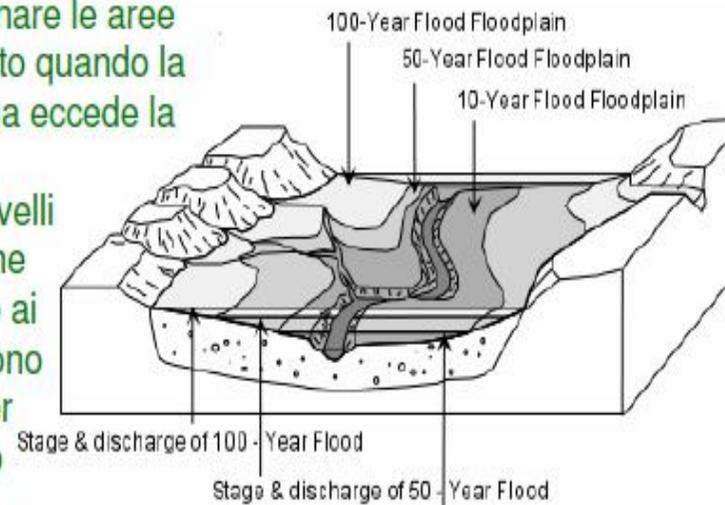




Pericoli delle esondazioni

Flood hazard mapping / Mappatura dei rischi di esondazione

- Flood hazard mapping is used to determine the areas susceptible to flooding when discharge of a stream exceeds the bank-full stage. Using historical data on river stages and discharge of previous floods, along with topographic data, maps can be constructed to show areas expected to be covered with floodwaters for various discharges or stages
- La mappatura dei rischi di esondazione viene usata per determinare le aree suscettibili di allagamento quando la portata nel corso d'acqua eccede la quota d'argine. Usando dati storici sui livelli e sulle portate nelle piene antecedenti, unitamente ai dati topografici, si possono disegnare tali mappe per differenti tempi di ritorno





La legislazione delle acque in Italia.
La Legge 183/1989 e i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI)

- Nel territorio interessato da un corso d'acqua la pianificazione individua 3 fasce distinte e commisurate a differenti livelli probabilistici di occupazione da parte della corrente:
 - Fascia A (fascia di deflusso di piena),
 - Fascia B (fascia di esondazione),
 - Fascia C (area d'inondazione per piena catastrofica).
- L'insieme degli indirizzi, delle norme e dei vincoli deve:
 - riservare la fascia A al deflusso della piena e alla dinamica evolutiva dell'alveo,
 - riservare la fascia B all'espansione naturale per la laminazione della piena,
 - segnalare con la fascia C le condizioni di rischio residuale.





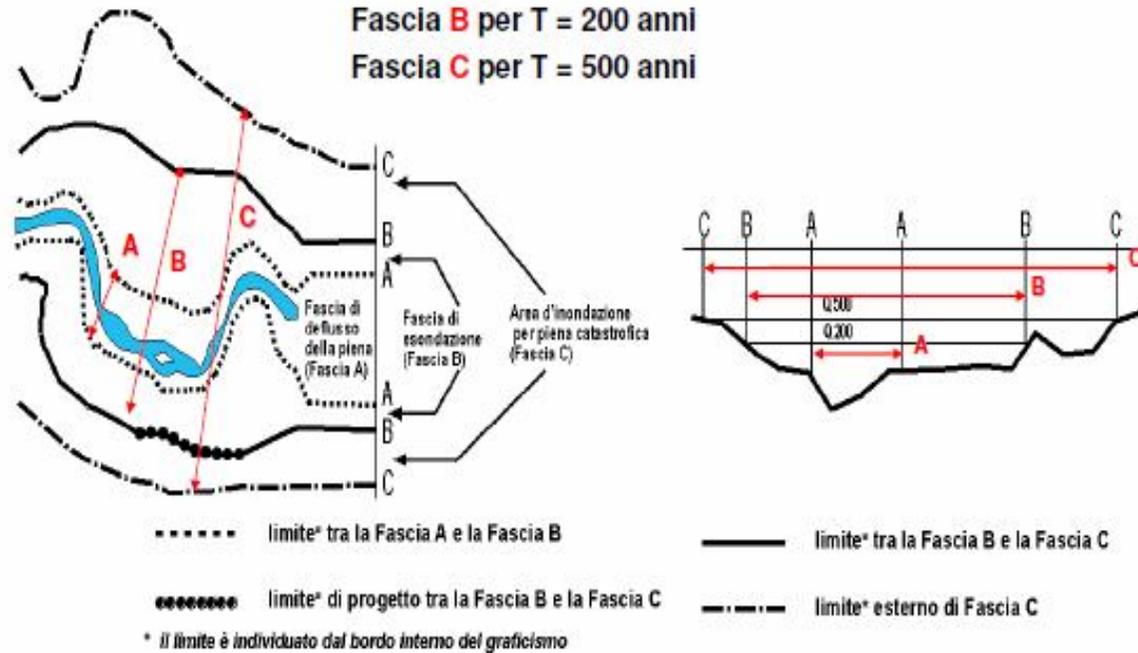
La legislazione delle acque in Italia. La Legge 183/1989 e i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI)

La delimitazione delle fasce fluviali A, B, C dipende dai **livelli idrometrici massimi** calcolati in corrispondenza delle portate al colmo delle onde di piena di riferimento.

Fascia **A** per $T = 50$ anni

Fascia **B** per $T = 200$ anni

Fascia **C** per $T = 500$ anni

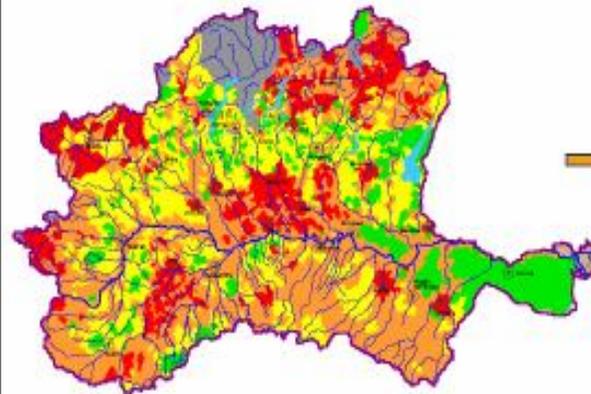




L'obiettivo di riduzione del rischio idrogeologico del PAI del Bacino del Po

Il PAI prevede la sistemazione fisica del territorio per conseguire ovunque un rischio medio o moderato, per salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti

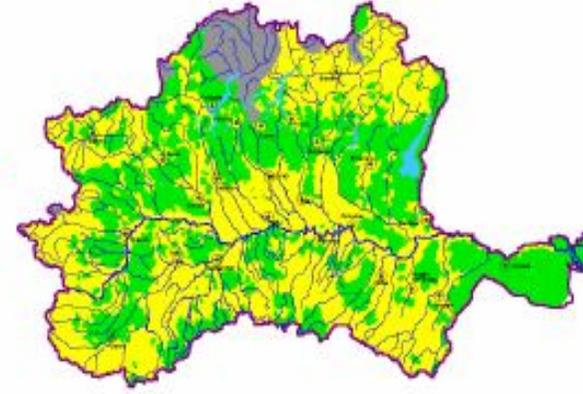
■ R4 - Molto elevato
■ R3 - Elevato
■ R2 - Medio
■ R1 - Moderato



L'86% dei 3210 comuni ha un rischio idrogeologico, inteso come danno probabile causato da una piena, da **elevato a molto elevato**.



■ R2 - Medio
■ R1 - Moderato



I pericoli e i danni derivanti dalle piene possono essere **attenuati ma non completamente eliminati**.



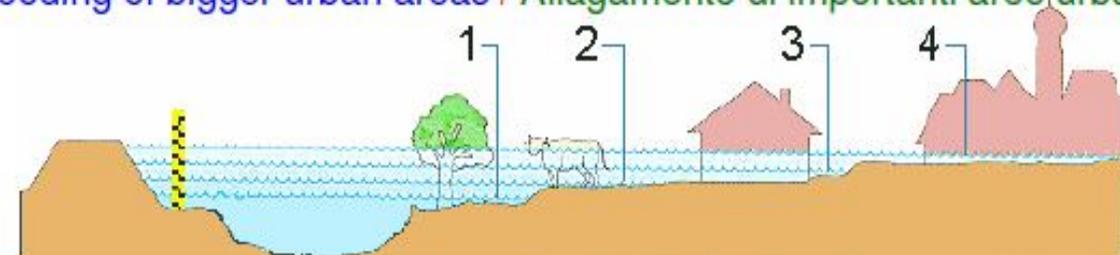
Piene e allagamenti (livello dei danni)

Hydrology 1 / Idrologia 1

Floods and floodings / Piene e allagamenti 6

Damage stages / Livello dei danni

- Level 1 / Livello 1:
Local inundation / Inondazione locale
- Level 2 / Livello 2:
Flooding of agricultural areas and moderate impediment of infrastructure / Allagamento di aree agricole e moderata interferenza con le infrastrutture
- Level 3 / Livello 3:
Partial flooding of cellars, blocking of primary roads / Allagamento degli scantinati, blocco delle strade principali
- Level 4 / Livello 4:
Flooding of bigger urban areas / Allagamento di importanti aree urbane





Sistemi di preannuncio

