



Via Nuova Poggioreale, centro polifunzionale, torre 7, 80133 Napoli
Tel. 081 7901944 fax 081 0098986
www.cesbim.it e-mail: segreteria@campaniabonifiche.org



C.U.G.R.I.

Consorzio Inter-Universitario
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



Sede Amministrativa e legale: c/o Università degli studi di Salerno
Dipartimento Ingegneria Civile - via Giovanni Paolo II, 132
84084 Fisciano (SA) Italy
<http://www.cugri.it> - pec: cugri@pec.it - email: cugri@unisa.it
Tel. 089-968927/53
Fax: 089-968791

Seminario

CRITERI DI PREVENZIONE DELLE INONDAZIONI

martedì 6 dicembre 2016

Pratiche di prevenzione del rischio di inondazione: Laminazione delle piene

Prof. Pierluigi Furcolo – Università degli Studi di Salerno

Ing. Marcello Nicodemo – Consorzio di bonifica Velia

Schema della presentazione

- la difesa del territorio dalle inondazioni dei corsi d'acqua naturali

introduzione

il concetto di incertezza

pianificazione degli interventi di difesa

interventi di difesa attiva – la laminazione delle piene

- la laminazione delle piene

definizioni e caratteristiche

laminazione naturale negli alvei, laminazione artificiale

opere ingegneristiche per la laminazione

casse di espansione (aspetti tecnici e di calcolo, esempi)

laminazione delle piene per effetto degli invasi di regolazione dei deflussi

la gestione attiva degli invasi ai fini di protezione civile...

La difesa del territorio dalle inondazioni

1. Le inondazioni

Inondazioni causate dall'esonazione di canali di:

- reti di drenaggio naturali
- reti di drenaggio artificiali

In entrambi i casi l'inondazione si ha in occasione di eventi meteorologici particolarmente gravosi, che generano idrogrammi la cui portata al colmo Q_{IDROL} supera la portata massima che può essere convogliata dal canale Q_{ALVEO} :

$$Q_{IDROL} > Q_{ALVEO}$$

La portata idrologica è il risultato delle precipitazioni dell'evento meteorico e dei meccanismi di trasformazione del bacino idrografico. La portata massima convogliabile dall'alveo è il risultato dei processi di modellamento naturale (alvei naturali) oppure è definita in fase di progetto (alvei artificiali o alvei naturali «sistemati»). Tale portata potrebbe variare per effetto dello stato di manutenzione. L'evento che porta all'inondazione può essere quindi interpretato come un evento aleatorio.

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico

Le inondazioni corrispondono a una perdita di funzionalità del sistema di drenaggio

Seguendo l'approccio appena introdotto, si ritiene che la funzionalità si perda nel momento in cui:

$$Q_{IDROL} > Q_{ALVEO}$$

Problema: **entrambe** le variabili sono soggette a incertezza.

- la portata naturale per l'impossibilità di effettuare previsioni deterministiche a medio e lungo termine
- la portata massima trasportabile per l'impossibilità di prevedere in che condizioni si troverà il canale al verificarsi di un evento di piena

- In fase di **pianificazione e progettazione**, generalmente si fissa Q_{ALVEO} , introducendo magari opportuni coefficienti di sicurezza. La portata idrologica è rappresentata da una variabile aleatoria.
- In fase di **gestione operativa dell'emergenza**, anche disponendo di un sistema di previsione a breve termine di Q_{IDROL} , occorre considerare l'incertezza della previsione ai fini dell'attivazione del sistema di preallerta.

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico

La probabilità deve essere riferita a un intervallo di tempo fissato

Convenzionalmente: 1 anno

Approccio classico dell'idrologia degli estremi: modellazione probabilistica della variabile aleatoria «massimo annuale»

In questo modo, la probabilità p di superamento di un assegnato valore massimo è automaticamente riferita a un anno.

Altri approcci: analisi degli attraversamenti di soglie, analisi delle distribuzioni marginali dei processi, ...

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico

Valutazione della sicurezza.

La sicurezza assoluta non è ottenibile, perciò si valuta la **probabilità** che in un anno si abbia:

$$Q_{IDROL} > Q_{ALVEO}$$

In fase di **verifica**:

- Si calcola la probabilità in un anno, oppure il periodo di ritorno, dell'inondazione, avendo ricostruito con modelli idraulici la massima portata convogliabile dal canale.

In fase di **progetto**:

- Si assegna la probabilità di crisi in un anno, oppure il periodo di ritorno di progetto, e si valuta la portata di progetto Q_{ALVEO} tale per cui la probabilità di superamento è pari a quella assegnata.

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico

La pericolosità corrisponde quindi alla **probabilità** che in un anno si abbia la crisi del sistema di drenaggio. Si definisce la variabile aleatoria **massimo annuale delle portate al colmo**, Q . La distribuzione del massimo annuale permette di valutare direttamente la probabilità di crisi/non crisi in un anno:

$$p_A = \Pr(Q > Q_{ALVEO})$$

Nota la pericolosità in un anno p_A , si definisce il periodo di ritorno T_A , pari al tempo **medio**, in anni, che intercorre tra due crisi consecutive:

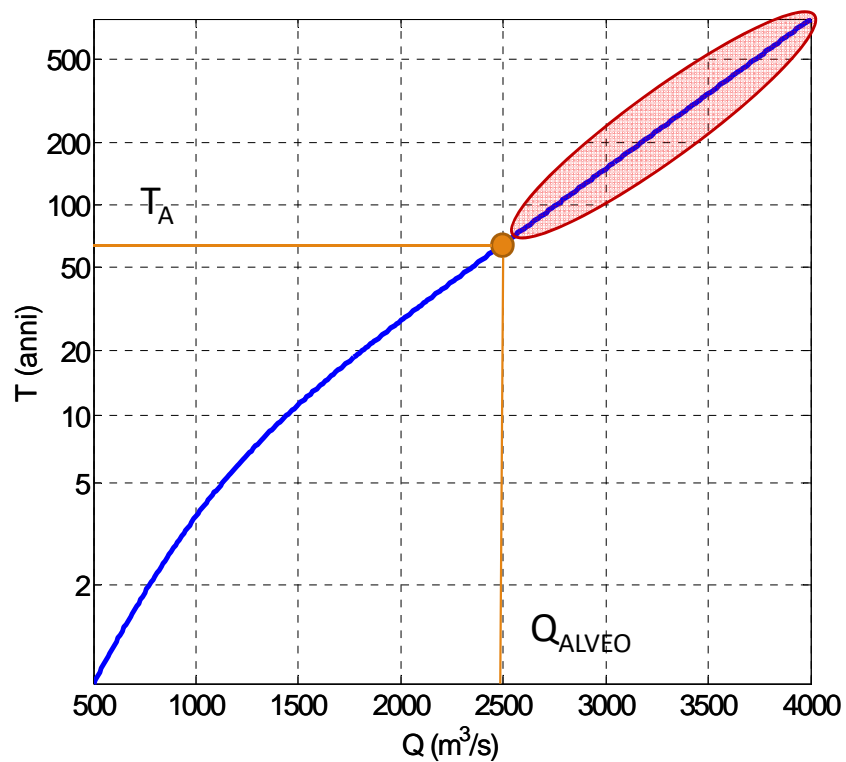
$$T_A = \frac{1}{p_A}$$

L'alveo è pertanto in grado di contenere al massimo una portata di piena di periodo di ritorno T_A :

$$Q_{ALVEO} = Q_{T_A}$$

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico



L'area cerchiata in rosso identifica le portate di piena (e i rispettivi periodi di ritorno) che provocano inondazioni:

$$Q > Q_{\text{ALVEO}}$$

$$T > T_A$$

La difesa del territorio dalle inondazioni

2. Aleatorietà dei fenomeni e approccio probabilistico

Seguendo uno schema analogo, si definisce il periodo di ritorno della portata al colmo di piena di un evento. Nota la probabilità di superamento in un anno:

$$p = \Pr(Q > Q_{IDROL})$$

Si definisce il periodo di ritorno T :

$$T = \frac{1}{p}$$

Si può esprimere in modo equivalente la condizione di crisi come:

$$T > T_A$$

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

Posto che l'inondazione avviene quando

$$Q_{IDROL} > Q_{ALVEO}$$

Un evento meteorologico intenso può provocare un'inondazione per uno di questi motivi:

1. Evento raro per la durata critica del sistema di drenaggio
2. Ridotta capacità di trasporto del canale naturale (per esempio per modifiche antropiche all'alveo)
3. Incremento generalizzato delle portate di piena (per effetto di modifiche all'uso del suolo del bacino idrografico oppure al sistema di drenaggio a monte del tratto d'interesse)

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

In relazione a quanto visto, si rende necessario pianificare **interventi strutturali** di difesa del territorio:

- Per modifiche all'uso del suolo (es. urbanizzazione) in aree naturalmente inondabili con periodo di ritorno non ritenuto accettabile ai fini della nuova destinazione di tali aree.
(scarsità di suolo, insufficienza della pianificazione territoriale, ...)
- Per incrementata pericolosità (ovvero per aumentata frequenza delle inondazioni) a causa di una riduzione della capacità di trasporto del canale (tipicamente interventi antropici)
- Per incrementata pericolosità a causa di modifiche al bacino e al sistema di drenaggio a monte del tratto di interesse (aumento della portata idrologica)

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

Evitiamo discussioni «ideologiche»

È evidente che nella maggior parte dei casi la necessità di intervenire con opere dell'ingegneria è il risultato di un fallimento della politica di gestione del territorio

Affrontiamo «pragmaticamente» il problema ingegneristico (ma non privi di spirito critico)

In presenza di una pericolosità idraulica tale da essere incompatibile con l'uso del suolo è necessario intervenire.

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

Come stabilire se la pericolosità idraulica è compatibile con l'uso del suolo.

1) Analisi costi-benefici

I beni esposti a danni da inondazione sono beni materiali facilmente sostituibili. Il danno può essere risarcito. Si cerca il miglior compromesso tra costi per l'incremento di sicurezza e i benefici in termini di riduzione del danno atteso.

2) Pericolosità socialmente accettabile

I beni esposti a danni da inondazione sono beni non sostituibili oppure strategici ai fini della protezione civile, oppure è a rischio l'incolumità delle persone. Si considera un livello di pericolosità accettabile in base alle caratteristiche dei beni e alla percezione sociale di sicurezza.

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

Esperimenti bernoulliani:

Probabilità di avere almeno una crisi su N anni

$$p_N = 1 - (1 - p)^N$$

Tre casi limite:

$N \ll 1/p$	$N = 1/p \gg 1$	$N \gg 1/p$
$p_N \approx Np$	$p_N \approx 1 - 1/e \approx 0,63$	$p_N \approx 1$

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio

Gli **interventi strutturali** sono progettati in condizioni di incertezza.

Qualunque intervento strutturale è sempre soggetto all'esistenza di un rischio residuo:

- Gli interventi strutturali vanno in crisi per gli eventi più rari, e quindi più gravosi;
- Accoppiamento con **interventi non strutturali**: sistemi di preannuncio e piani di protezione civile per la gestione operativa delle situazioni di emergenza;
- A monte: pianificazione e regolamentazione d'uso del territorio come **intervento non strutturale** di difesa dalle acque.

La difesa del territorio dalle inondazioni

3. Pianificazione di interventi di difesa del territorio


«Messa in sicurezza» è un'espressione fuorviante. In riferimento al concetto di incertezza, si può parlare di riduzione del rischio di inondazione

Riduzione del Rischio:

- Riduzione della pericolosità
- Riduzione della vulnerabilità
- Riduzione del danno potenziale

Gli **interventi strutturali** possono essere di:

- Difesa passiva (si aumenta la capacità di trasporto Q_{ALVEO})
- Difesa attiva (si riduce la sollecitazione Q_{IDROL})

$$\Pr(Q_{IDROL} > Q_{ALVEO})$$


La difesa del territorio dalle inondazioni

4. La laminazione delle piene

La laminazione è un fenomeno che si presenta naturalmente nella trasformazione delle piogge efficaci in portate di piena effettuata dal bacino idrografico.

La laminazione è legata alla **capacità del sistema di accumulare temporaneamente un certo volume di piena durante l'evento**: in questo modo si ottiene una riduzione della portata al colmo di piena.

In pratica, la moderazione delle portate in un tratto di un corso d'acqua avviene a spese dell'inondazione, naturale o indotta, di aree poste a monte del tratto da proteggere.

Il volume complessivo si conserva (conservazione della massa), ma viene distribuito in modo più regolare nel tempo.

La laminazione introduce «per sua natura» un ritardo nella risposta del sistema.

La laminazione delle piene

5. Caratteristiche del fenomeno

- **Laminazione naturale**

- Laminazione idrologica: nella trasformazione delle piogge efficaci in deflussi superficiali, effetto della distribuzione dei tempi di corrivazione all'interno del bacino.
- Laminazione idraulica: per la presenza di aree di naturale espansione dell'alveo, che forniscono volumi temporanei di invaso durante la fase di picco dell'idrogramma.

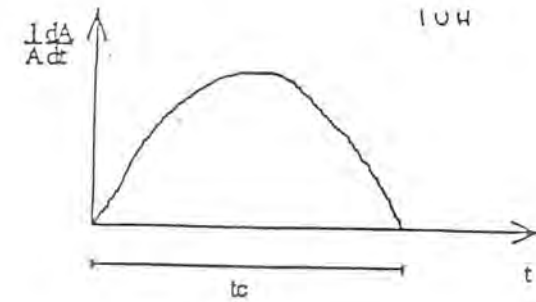
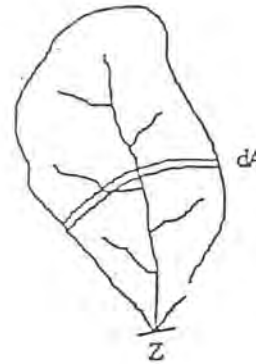
- **Laminazione artificiale**

- Casse di espansione (invasi di laminazione) in linea o fuori linea: invasi temporanei destinati esclusivamente alla laminazione delle piene.
- Invasi artificiali per approvvigionamento idrico: invasi destinati alla regolazione della risorsa idrica. La laminazione è prodotta dal volume di laminazione disponibile tra il livello di massima regolazione e quello di massimo invaso e dalla eventuale gestione attiva dell'invaso ai fini di riduzione delle piene.

La laminazione delle piene

6. Laminazione naturale

- **Laminazione idrologica**
 - distribuzione dei tempi di corrivazione
- **Laminazione idraulica**
 - aree golenali e ripariali, aree umide, ...



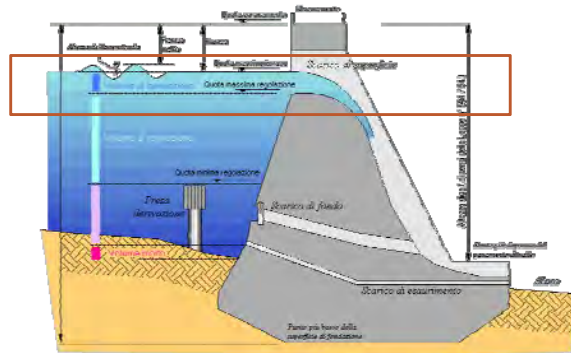
La laminazione delle piene

7. Laminazione artificiale

- Casse di espansione



- Invasi artificiali di regolazione



La laminazione delle piene

8. Invasi di laminazione

Esempio: Invaso di Ripaspaccata, F. Volturno



La laminazione delle piene

8. Invasi di laminazione

Funzionamento idraulico di un invaso di laminazione.

Esempio: Invaso di Ripaspaccata, F. Volturno

1) Efflusso libero

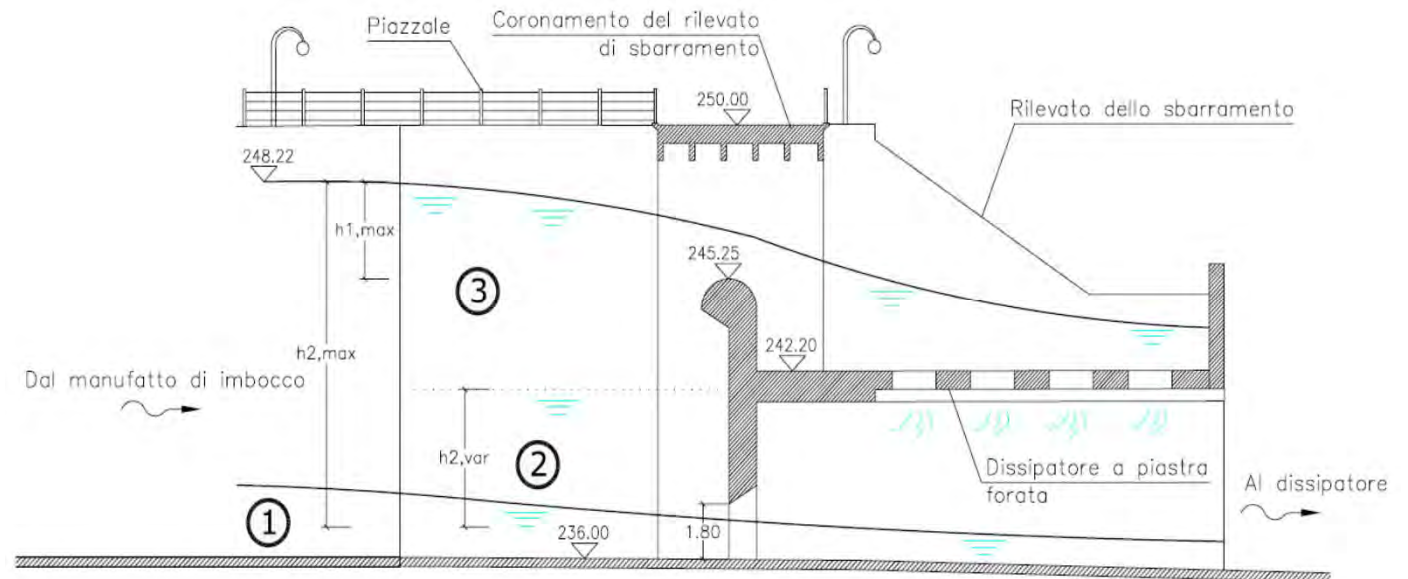
- La portata prosegue indisturbata finché l'altezza di stato critico non intercetta il setto limitatore

2) Efflusso sotto battente

- La portata è limitata dalla legge di efflusso della luce di fondo a battente

3) Efflusso a stramazzo + battente

- Piena rara: alla portata dalla luce di fondo (battente) si somma la portata scaricata dallo scarico di superficie (stramazzo)



La laminazione delle piene

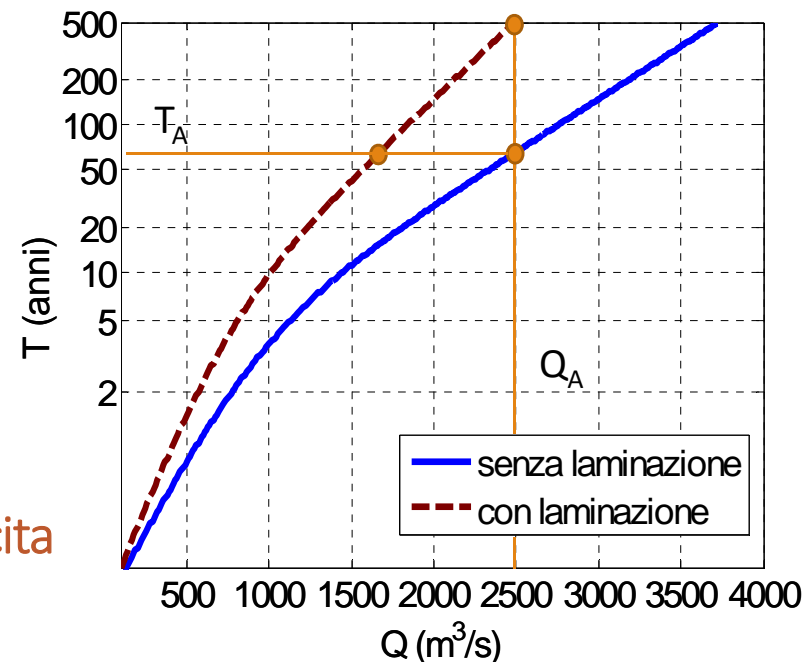
9. Valutazione probabilistica dell'effetto della laminazione

La legge di crescita delle portate per effetto della laminazione

La laminazione delle piene modifica la curva di crescita delle portate secondo lo schema indicato in figura (caso simulato)

- 1) Incremento del periodo di ritorno della portata che può essere contenuta in alveo
- 2) Diminuzione della portata idrologica a parità di periodo di ritorno

PROBLEMA: come ricostruire la curva di crescita delle portate di piena dopo l'intervento?



La laminazione delle piene

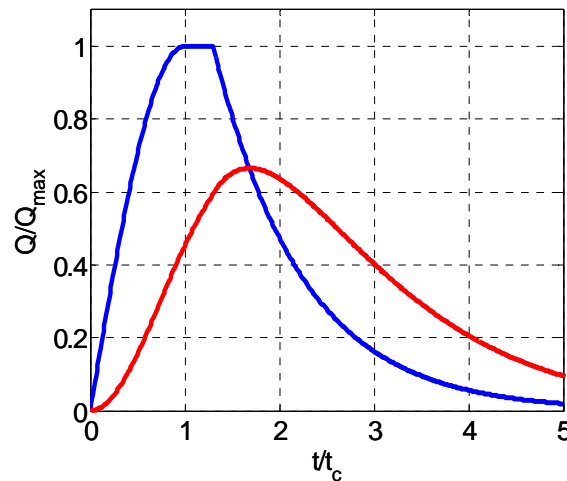
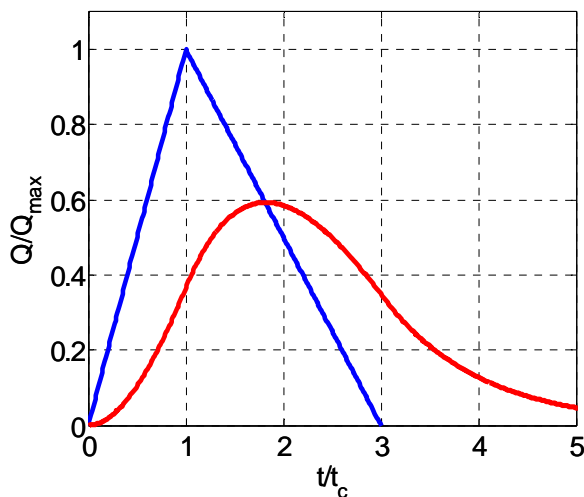
9. Valutazione probabilistica dell'effetto della laminazione

Uso di idrogrammi sintetici:

Si simula la risposta dell'invaso di laminazione per idrogrammi di forma assegnata e con portata al colmo pari alla portata con periodo di ritorno T. Si valuta così la portata laminata con periodo di ritorno T.

Problemi: la forma prescinde dalle caratteristiche del bacino; il periodo di ritorno dell'evento non è sicuramente pari a T

Triangolare



Gregorig (1940)

fase di crescita: $0 \leq t \leq t_c$

fase di stanca: $t_c \leq t \leq t_c + k$

fase di esaurimento: $t \geq t_c + k$

$$Q_1(t) = Q_{\max} \cdot \text{sen}^2\left(\frac{\pi \cdot t}{2 \cdot t_c}\right)$$

$$Q(t) = \text{cost} = Q_{\max}$$

$$Q_1(t) = Q_{\max} \cdot \exp\left[-1,386 \left(\frac{t}{t_c + k} - 1\right)\right]$$

La laminazione delle piene

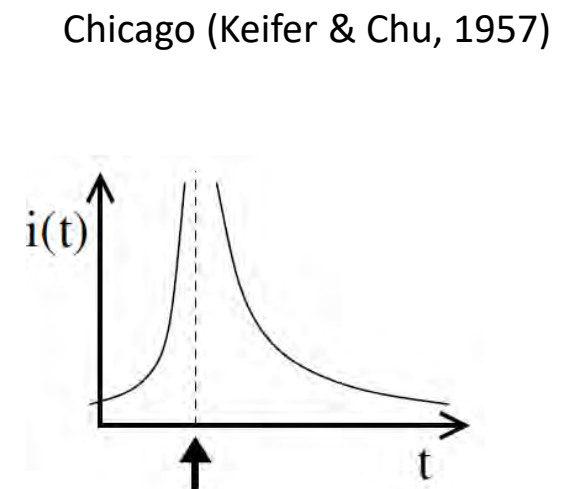
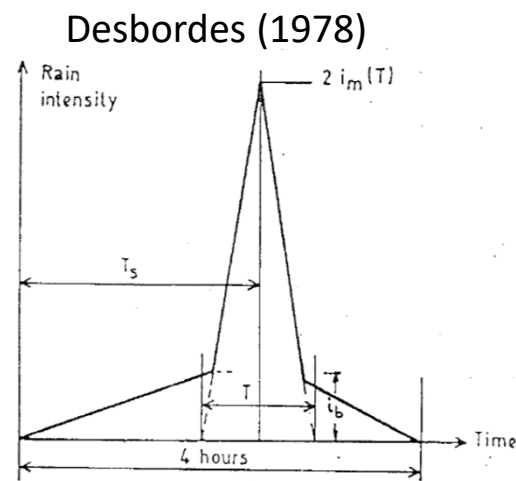
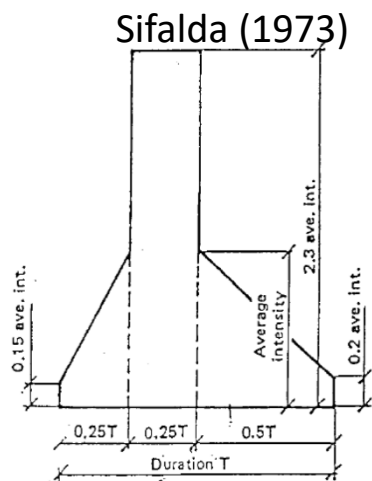
9. Valutazione probabilistica dell'effetto della laminazione

Uso di pluviogrammi sintetici accoppiati con un modello di piena:

Si simulano eventi di piena a partire da pluviogrammi di forma assegnata, con periodo di ritorno T , che sono trasformati in idrogrammi mediante un modello di piena del bacino.

Gli idrogrammi così ottenuti sono utilizzati per simulare la laminazione e ottenere la portata di periodo di ritorno T ,

Problemi: forma arbitraria dei pluviogrammi; corrispondenza tra il periodo di ritorno delle piogge e quello delle portate.



La laminazione delle piene

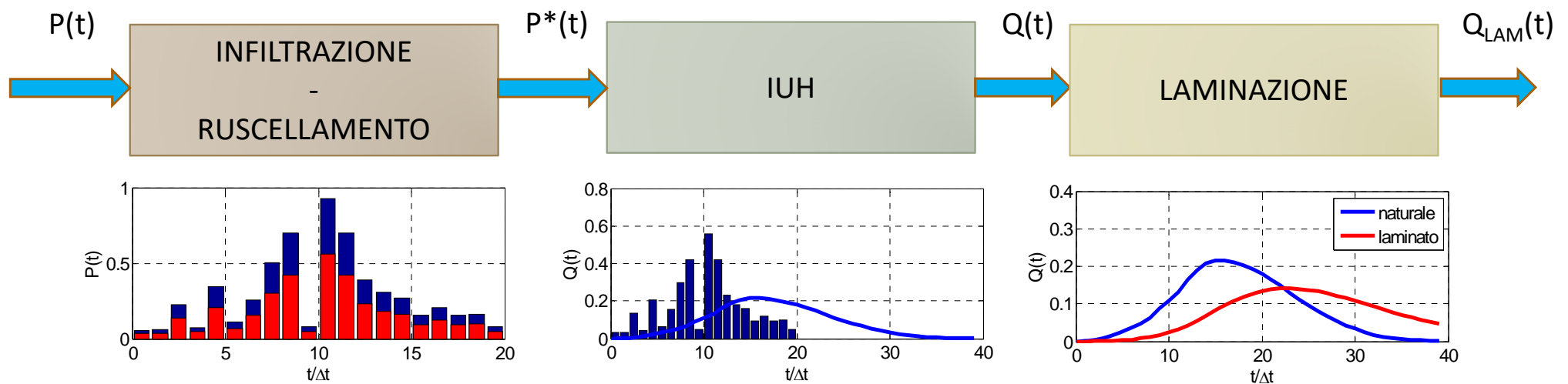
9. Valutazione probabilistica dell'effetto della laminazione

Uso di pluviogrammi sintetici accoppiati con un modello di piena:

Per i modelli di piena si utilizza solitamente un approccio in due moduli: un modulo di trasformazione delle piogge totali in piogge nette e un modulo di trasformazione delle piogge nette in portate.

L'idrogramma ottenuto viene inserito in un modulo di simulazione dell'invaso di laminazione.

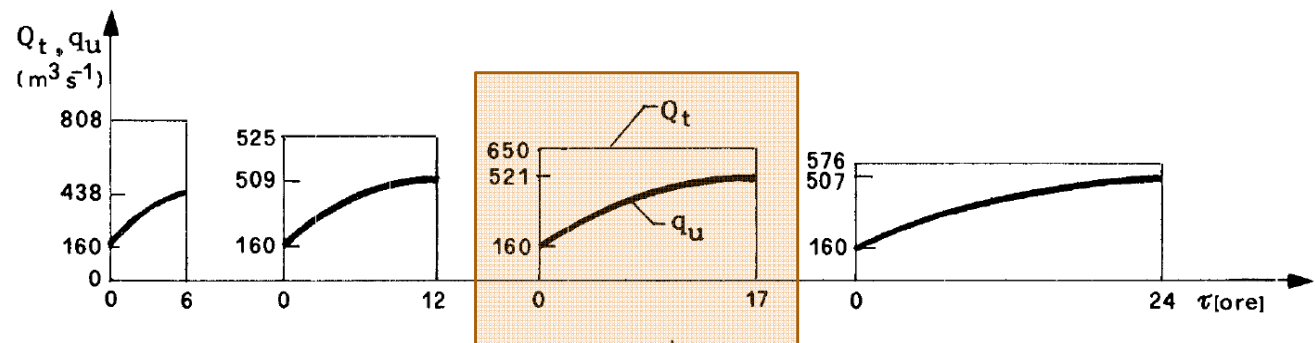
Problemi: corretta definizione dello stato iniziale del bacino



La laminazione delle piene

9. Valutazione probabilistica dell'effetto della laminazione

Verifica dell'effetto della laminazione sulla curva di crescita: approccio estremante
(Pianese & Rossi, 1986)



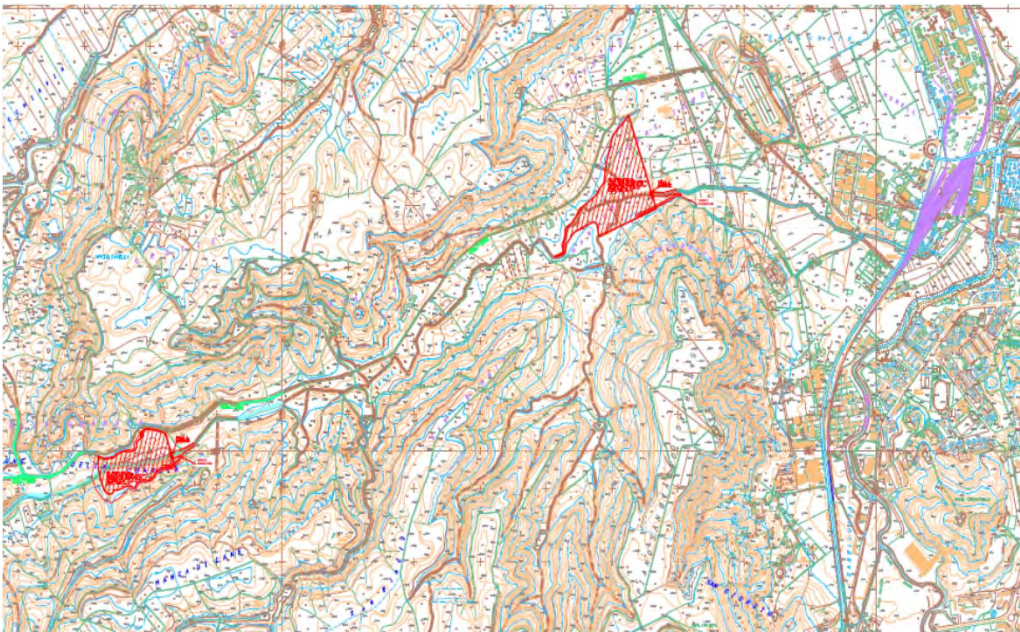
- 1) Si fissa il periodo di ritorno T
- 2) Si calcola la portata Q_T
- 3) Si considerano diverse durate della fase di colmo $\{D_i\}$
- 4) Per ogni durata si calcola il fattore di attenuazione della portata con la durata r_D
- 5) Si simula la risposta dell'invaso di laminazione per ogni idrogramma rettangolare fino a trovare la durata che massimizza la portata in uscita.

La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

Approccio estremante (Pianese & Rossi, 1986)

Un esempio: vasche di laminazione sul Torrente Papaniciaro (Calabria)



Vasche di laminazione in serie

Problema: come modellare l'effetto della laminazione sulle curve di crescita in una sezione a valle delle due vasche (centro abitato).

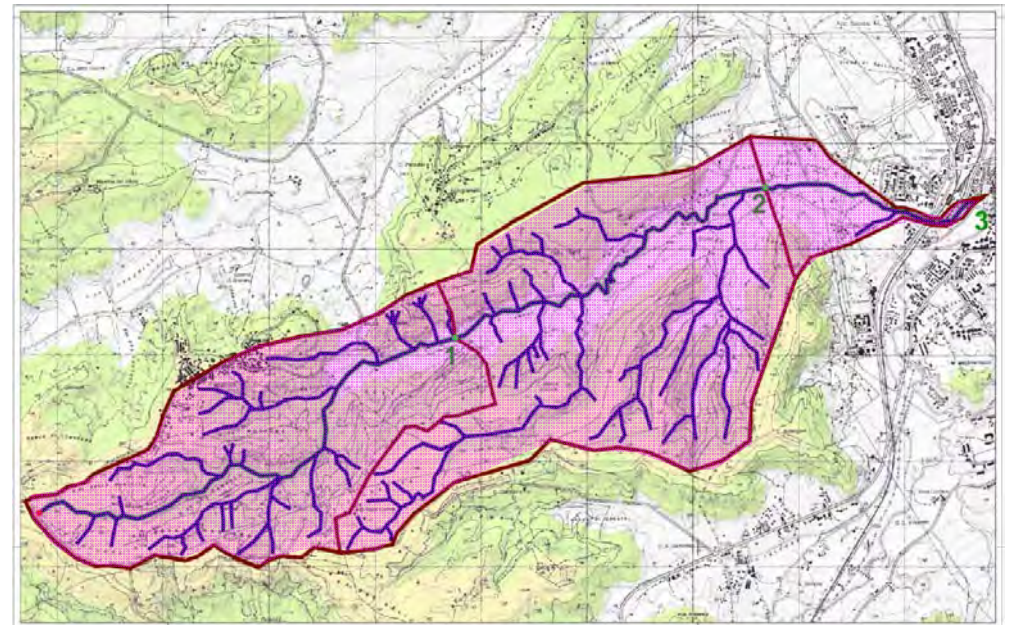
In generale: come modellare l'effetto della laminazione in sezioni del corso d'acqua poste a valle della sezione in cui è presente il serbatoio di laminazione.

La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

Torrente Papaniciaro - bacini e portate di piena (VAPI / AdB Calabria)

Area del bacino	$A_3 = 15.08 \text{ Km}^2$
Lunghezza dell'asta principale	$L_3 = 11.3 \text{ Km}$
Tempo di ritardo	$t_{r,3} = 1.14 \text{ h}$
Coefficiente di afflusso ($T = 200$ anni)	$\Psi_{200} = 0.87$
Legge di probabilità pluviometrica ($T = 200$)	$h_{d,200} = 93.4 \cdot d^{0.355}$
Durata critica	$d^*_3 = 1.34 \text{ h}$
Funzione di picco $S(d^*)$	$S(d^*_3) = 0.705$
Intensità di pioggia di durata d^* , $T = 200$	$i_{d^*,200} = 78.6 \text{ mm/h}$
Portata al colmo di piena, $T = 200$	$Q_{3,200} = 202 \text{ m}^3/\text{s}$

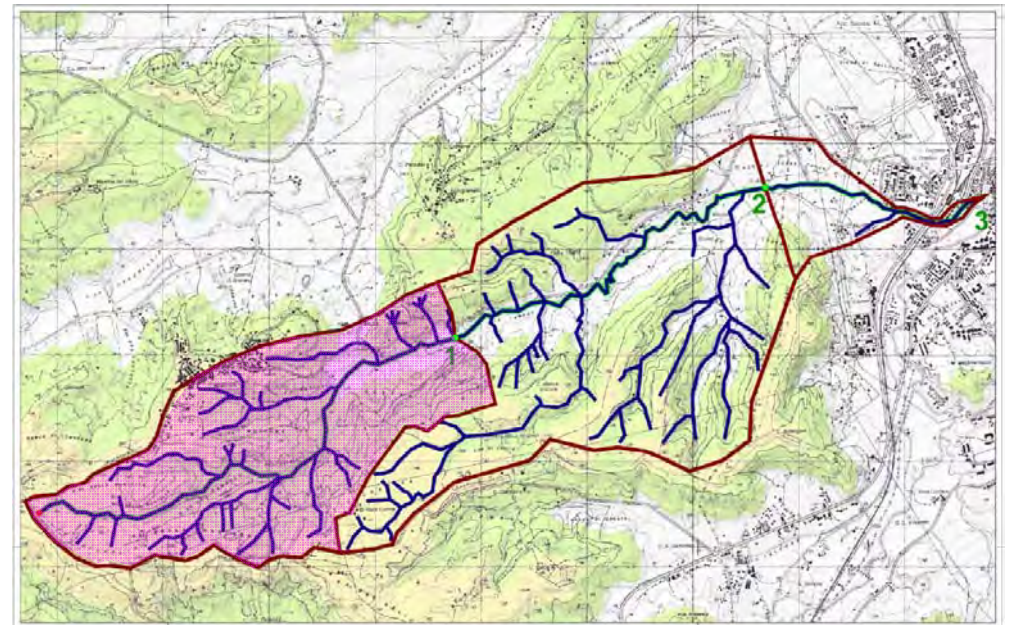


La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

Torrente Papaniciaro - bacini e portate di piena (VAPI / AdB Calabria)

Area del bacino	$A_1 = 5.8 \text{ Km}^2$
Lunghezza dell'asta principale	$L_1 = 5.0 \text{ Km}$
Tempo di ritardo	$t_{r,1} = 0.505 \text{ h}$
Coefficiente di afflusso ($T = 200$ anni)	$\Psi_{200} = 0.87$
Legge di probabilità pluviometrica ($T = 200$)	$h_{d,200} = 93.4 \cdot d^{0.355}$
Durata critica	$d^*_1 = 0.592 \text{ h}$
Funzione di picco $S(d^*)$	$S(d^*_1) = 0.705$
Intensità di pioggia di durata d^* , $T = 200$	$i_{d^*,200} = 132.4 \text{ mm/h}$
Portata al colmo di piena, $T = 200$	$Q_{1,200} = 131 \text{ m}^3/\text{s}$

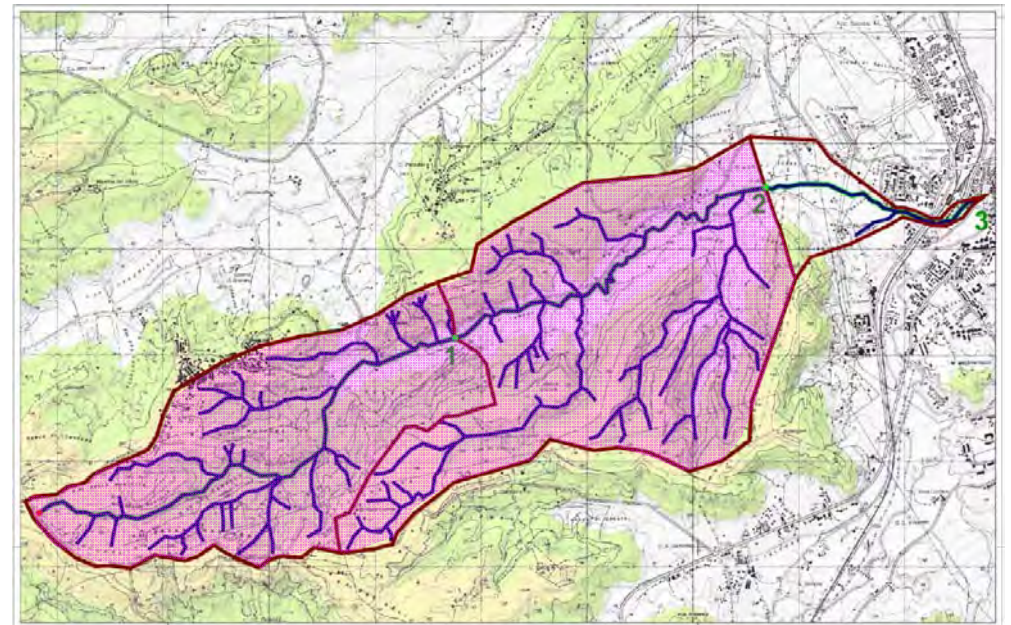


La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

Torrente Papaniciaro - bacini e portate di piena (VAPI / AdB Calabria)

Area del bacino	$A_2 = 13.8 \text{ Km}^2$
Lunghezza dell'asta principale	$L_2 = 9.0 \text{ Km}$
Tempo di ritardo	$t_{r,2} = 0.91 \text{ h}$
Coefficiente di afflusso ($T = 200$ anni)	$\Psi_{200} = 0.87$
Legge di probabilità pluviometrica ($T = 200$)	$h_{d,200} = 93.4 \cdot d^{0.355}$
Durata critica	$d^*_2 = 1.064 \text{ h}$
Funzione di picco $S(d^*)$	$S(d^*_2) = 0.705$
Intensità di pioggia di durata d^* , $T = 200$	$i_{d^*,200} = 90.6 \text{ mm/h}$
Portata al colmo di piena, $T = 200$	$Q_{2,200} = 214 \text{ m}^3/\text{s}$

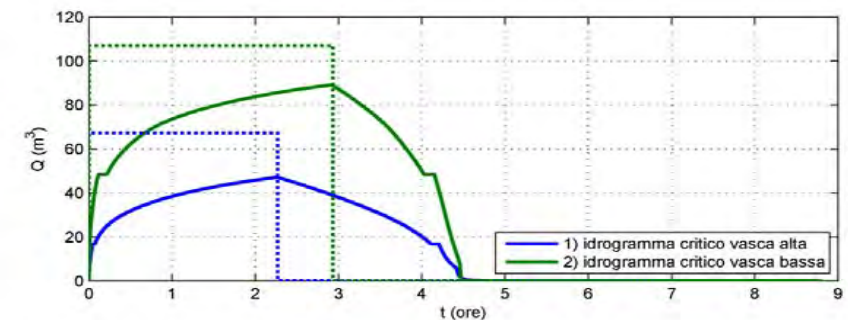
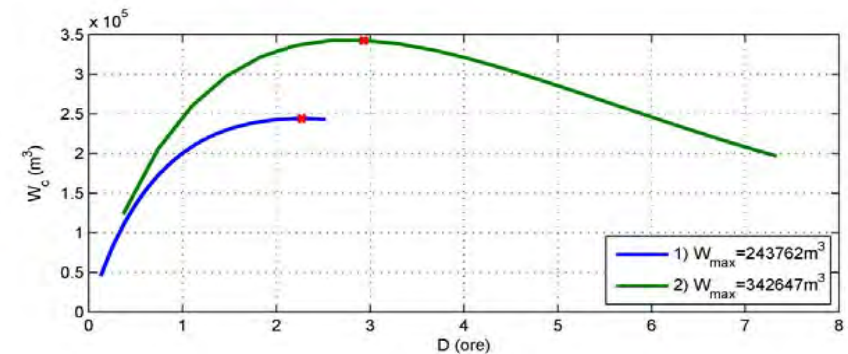
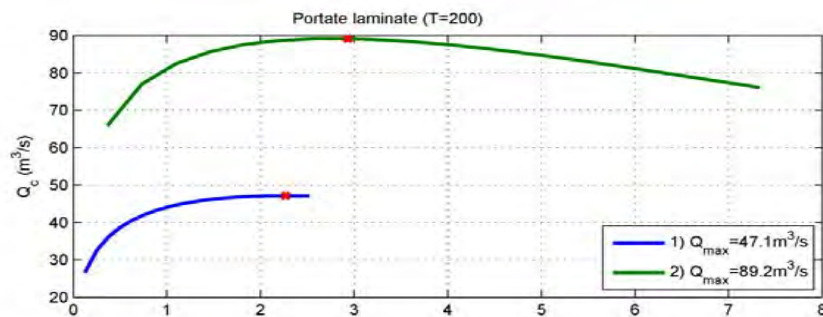


La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

Torrente Papaniciaro - approccio variazionale (T = 200 anni)

- 1) Si calcola la portata laminata nella vasca 1 (approccio estremante)
- 2) Si calcola un **ritardo idrologico equivalente** alla laminazione per il bacino sotteso dalla vasca 1
- 3) Si **incrementa il tempo di ritardo del bacino di valle**, pesando il ritardo equivalente alla laminazione in base al contributo del bacino 1 al coefficiente di deflusso totale



La laminazione delle piene

10. Esempio di valutazione probabilistica della portata laminata

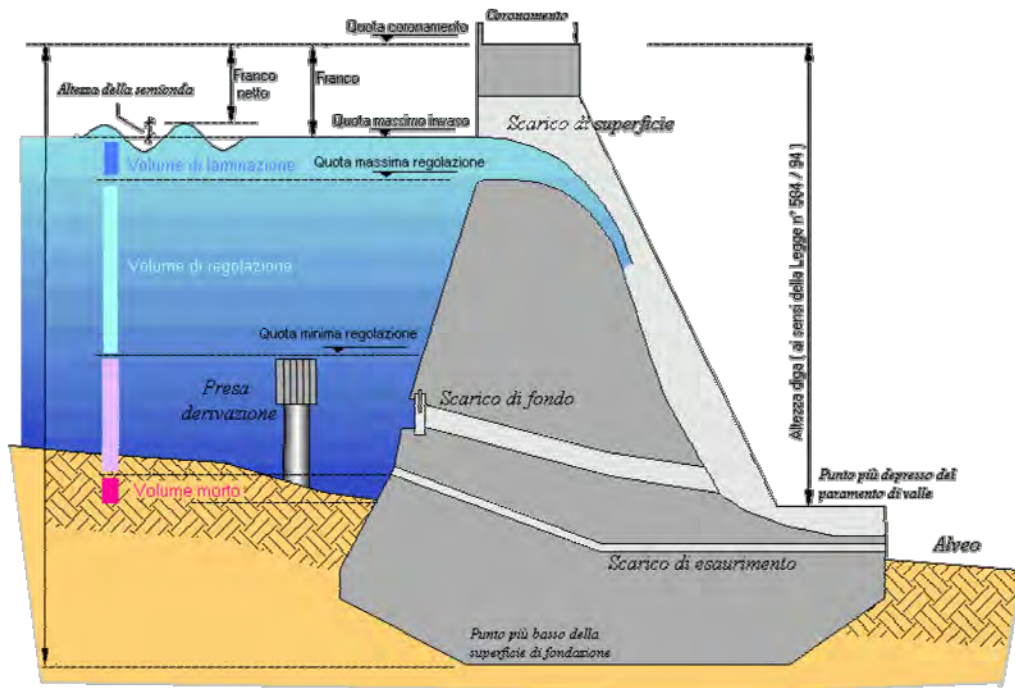
Torrente Papaniciaro - portate laminate (T = 200 anni)

Sezione 1 (vasca alta)					
Parametri del modello di calcolo					
A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	I _{d*,200} (mm/h)
5.8	5.0	0.505	0.592	0.705	131.0
Portata di piena, T = 200 anni					
senza laminazione			con laminazione		
Q _{1,200} = 131 m ³ /s			Q' _{1,200} = 47.1 m ³ /s		
ritardo equivalente alla laminazione					
Δt _r = 1.33 h					
Sezione 2 (vasca bassa)					
Parametri del modello di calcolo - bacino in condizioni naturali					
A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	I _{d*,200} (mm/h)
13.8	9.0	0.909	1.065	0.705	89.7
Parametri del modello di calcolo - con presenza della vasca alta					
A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	I _{d*,200} (mm/h)
13.8	9.0	1.467	1.720	0.705	65.8

Portata di piena, T = 200 anni	
senza laminazione	con laminazione vasca alta
Q _{2,200} = 214 m ³ /s	Q' _{2,200} = 157 m ³ /s
con lamin. vasca alta + vasca bassa	
Q'' _{2,200} = 89.2 m ³ /s	ritardo equiv. alla laminazione Δt _r = 2.39 h
Sezione finale	
Portata di piena, T = 200 con laminazione (2 vasche)	tempo di ritardo corretto 3.32 h Q'' _{3,200} = 101.2 m ³ /s
Volumi massimi impegnati per la laminazione	
Vasca alta	244000 m ³
Vasca bassa	343000 m ³

La laminazione delle piene

11. Laminazione negli invasi di regolazione



- Gli invasi riducono sempre la portata di piena a valle (anche partendo dal livello di sfioro)
- La frequenza degli eventi di piena è ridotta dalla presenza del serbatoio (non sempre pieno)
- **Problema 1** – l'alveo di valle, se non gestito correttamente, può ridurre la capacità trasporto;
- **Problema 2** – sviluppo di attività antropiche lungo l'alveo di piena valle
- **Problema 3** – pericolo di onde di piena artificiali per: manovre di scarico, rottura diga

La laminazione delle piene

11. Laminazione negli invasi di regolazione

Aspetti normativi

- il Regolamento d.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363 si limitava a prescrivere la gestione in sicurezza dello sbarramento e delle opere accessorie.
- I rischi derivanti da manovre degli organi di scarico o dal collasso della diga sono considerati dalle circolari Min. LL.PP. 28 agosto 1986, n. 1125 e 4 dicembre 1987, n. 352, e dalle successive circolari P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806 e 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019.
- Redazione del Documento di Protezione Civile, da parte dei gestori, circolare Min. LL.PP. 4 dicembre 1987, n. 352
- Redazione dei Piani di Laminazione, direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004, affidata alle Regioni (di concerto con i diversi enti): manovre di scarico preventivo finalizzate alla **laminazione dinamica** delle piene. I Piani di Laminazione prevalgono sul Documento di Protezione Civile.
- Redazione dei Piani di Emergenza, direttiva P.C.M. 8 luglio 2014, a cura delle Regioni, «in raccordo con le prefetture-UTG territorialmente interessate».

La laminazione delle piene

11. Laminazione negli invasi di regolazione

Obiettivi

- «Non aggravamento dell'evento di piena», cioè obbligo a) di non scaricare a valle, nella fase crescente della piena, una portata superiore a quella affluente al serbatoio, e b) di non scaricare a valle, nella fase decrescente della piena, una portata superiore alla massima scaricata nella fase crescente.
- Garantire la sicurezza della diga nei riguardi di possibili tracimazioni
- Contribuire alla regolazione dei deflussi durante gli eventi di piena più gravosi, mediante **laminazione dinamica** degli idrogrammi.

Sulla base di un sistema di preannuncio occorre definire manovre preventive di svaso del serbatoio per assorbire una maggiore aliquota del volume di piena. Tali manovre posso incidere, però, sull'esercizio del serbatoio per lo scopo di approvvigionamento idrico.

(ing. Marcello Nicodemo...)

Parametri del modello di calcolo

A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	l _{d*,200} (mm/h)
5.8	5.0	0.505	0.592	0.705	131.0

Portata di piena, T = 200 anni

senza laminazione			con laminazione		
Q _{1,200} =	131	m ³ /s	Q' _{1,200} =	47.3	m ³ /s
ritardo equivalente alla laminazione					
Δt _r =	1.31	h			

Sezione 2 (vasca bassa)

Parametri del modello di calcolo - bacino in condizioni naturali

A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	l _{d*,200} (mm/h)
13.8	9.0	0.909	1.065	0.705	89.7

Parametri del modello di calcolo - con presenza della vasca alta

A (km ²)	L (km)	t _r (h)	d* (h)	S(d*)	l _{d*,200} (mm/h)
13.8	9.0	1.461	1.712	0.705	66.0

Portata di piena, T = 200 anni

senza laminazione			con laminazione vasca alta		
Q _{2,200} =	214	m ³ /s	Q' _{2,200} =	157	m ³ /s
con lamin. vasca alta + vasca bassa			ritardo equiv. alla laminazione		
Q'' _{2,200} =	89.8	m ³ /s	Δt _r =	2.35	h

Sezione finale		tempo di ritardo corretto	3.28 h
Portata di piena, T = 200 con laminazione (2 vasche)		Q'' _{3,200} =	101.9 m ³ /s

Volumi massimi impegnati per la laminazione

Fisciano, 6 dicembre 2016

LUIGI FURCOLI

