

Le alluvioni:

1. Processi, manifestazioni e cause, previsioni;
2. Valutazione del rischio e interventi non strutturali;
3. Difesa dalle alluvioni e interventi strutturali nei corsi d'acqua.



Equilibrio tra due esigenze:

1. Difendere vite e beni
2. Non accrescere il degrado ambientale e le quantità esposte al pericolo

Premessa. Prima di esaminare quali sono i più diffusi e ricorrenti tipi di rischi meteorologici / geo-idrologici / idraulici, appare opportuno focalizzare l'attenzione sul concetto di «**rischio**».

Rischio: probabilità (o tempo di ritorno) con cui un determinato fenomeno naturale può manifestarsi in un certo territorio provocando effetti catastrofici. Questo concetto è traducibile nella relazione matematica:

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

a cui corrispondono i significati di seguito riportati.

Pericolosità: probabilità che un dato fenomeno (potenzialmente dannoso = calamità naturale), di data intensità, si verifichi in una data area e in un dato periodo di tempo.

Vulnerabilità: capacità di un determinato elemento (popolazione, edifici, infrastrutture, attività, risorse naturali) di sopportare gli effetti dell'evento in funzione della sua intensità.

Esposizione degli Elementi a rischio: valore economico o numero delle unità degli elementi a rischio in una data area. $Dp = V \times E$ rappresenta il **Danno potenziale**

Nell'ambito del rischio meteorologico, geo-idrologico e idraulico rientrano gli effetti sul territorio determinati da “condizioni meteorologiche avverse” e dall'azione delle acque, siano esse superficiali, in forma liquida o solida, o sotterranee.

Le manifestazioni tipiche di questi fenomeni sono temporali, venti e mareggiate, nebbia, neve e gelate, ondate di calore, frane, alluvioni, erosioni costiere, subsidenze e valanghe.

Il rischio connesso è fortemente condizionato dalle attività umane:

- Densità della popolazione, progressiva urbanizzazione, abusivismo edilizio
- Abbandono dei terreni montani, disboscamento, tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente
- Mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua.

Risultato: più dissesto (P) e più esposizione (E), quindi più rischio (R)

Le alluvioni sono fenomeni naturali, tuttavia tra le cause dell'aumento della frequenza delle alluvioni ci sono l'elevata antropizzazione e l'impermeabilizzazione del territorio che, impedendo l'infiltrazione, aumentano i quantitativi e le velocità dell'acqua.

La mancata pulizia dei fiumi e la presenza di detriti o di vegetazione che ostacolano il deflusso sono un'altra causa importante.

In Italia il dissesto geo-idrologico è molto frequente e diffuso dappertutto, quindi rappresenta un problema di notevole importanza.

La frequenza crescente di episodi di dissesto geo-idrologico, che spesso hanno causato la perdita di vite umane e ingenti danni ai beni, dovrebbe imporre una politica di previsione e prevenzione.....



Quindi prioritariamente individuazione delle condizioni di rischio e interventi per la loro riduzione e solo in seconda battuta riparazione dei danni ed erogazione di provvidenze.

Occorre prevedere gli eventi possibili in un'area e individuare sia i possibili danni sia le attività da porre in essere **prima, durante e dopo** un evento catastrofico.

Provvedimenti normativi hanno imposto la perimetrazione delle aree a rischio, e inoltre è stato sviluppato un sistema di allertamento e sorveglianza dei fenomeni che, assieme a un'adeguata pianificazione comunale di protezione civile rappresenta una risorsa fondamentale per la mitigazione del rischio, dove non si possa intervenire con misure strutturali.

Alluvioni

Sono tra le manifestazioni più tipiche del dissesto geo-idrologico. Si verificano quando le acque di un fiume non vengono contenute dalle sponde e si riversano nella zona circostante arrecando danni a edifici, insediamenti industriali, vie di comunicazione, zone agricole.

Le alluvioni più importanti, che hanno interessato l'Italia e che hanno comportato un pesante bilancio sia in termini di perdita di vite umane sia di danni, sono state quelle del Po nel Polesine (1951), dell'Arno (1966) e del Po nel Nord Italia (1994 e 2000).

Il 22 ottobre 1951 un'alluvione colpisce la Calabria meridionale: 100 morti.
E ancora: Crotone, Soverato, Vibo.



In Italia, nei numerosi bacini idrografici di piccole dimensioni, le alluvioni sono frequenti e difficili da prevedere, essendo causate da precipitazioni intense e localizzate.

Tali bacini sono caratterizzati da tempi di sviluppo delle piene dell'ordine di qualche ora (o anche di frazioni di ora) che determinano alluvioni di elevata pericolosità che spesso provocano vittime, danni alle infrastrutture e condizionano pesantemente lo sviluppo socio-economico del territorio.

È possibile ridurre i rischi derivanti dalle alluvioni attraverso **interventi** sia **strutturali** (argini, invasi di ritenuta, canali scolmatori) sia **non strutturali**, come quelli per la gestione del territorio e/o delle emergenze. In quest'ultimo caso, sono fondamentali i sistemi di allertamento, i piani di emergenza, il coordinamento efficiente delle attività previste nei piani stessi.

In particolare, un efficiente sistema di allertamento (modelli di previsione + rete di monitoraggio) è fondamentale per allertare le istituzioni con il maggior anticipo possibile e ridurre l'esposizione delle persone agli eventi nonché limitare i danni al territorio attraverso l'attuazione di misure di prevenzione in tempo reale.

Il rischio meteorologico

Le condizioni atmosferiche, in tutti i loro aspetti, influenzano le attività umane; in alcuni casi i fenomeni atmosferici assumono carattere di particolare intensità e sono in grado di costituire un pericolo, con rischio di danni a cose o persone. Si parla allora, genericamente, di “condizioni meteorologiche avverse”.

È importante distinguere i rischi dovuti direttamente ai fenomeni meteorologici da quelli derivanti, invece, dall'interazione degli eventi atmosferici con altri aspetti che caratterizzano il territorio o le attività umane. Questi rischi vengono trattati da specifiche discipline.

A titolo esemplificativo piogge molto forti o abbondanti, combinandosi con le particolari condizioni che caratterizzano un territorio, possono provocare una **frana** o un'**alluvione**. In questo caso si parla di rischio **geo-idrologico** o **idraulico**.

Altri rischi connessi agli eventi atmosferici, invece, derivano dal verificarsi di **fenomeni meteorologici in grado di provocare direttamente un danno a cose o persone**. In particolare, i fenomeni a cui prestare maggiore attenzione sono: temporali, venti e mareggiate, nebbia e neve/gelate.

Il rischio geo-idrologico e idraulico

L'idrogeologia è la disciplina che studia le acque sotterranee, tuttalpiù in rapporto alle acque superficiali.

Nell'accezione comune, il termine dissesto idrogeologico viene invece usato per definire i fenomeni e i danni reali o potenziali causati dalle acque in generale, siano esse superficiali, in forma liquida o solida, o sotterranee.

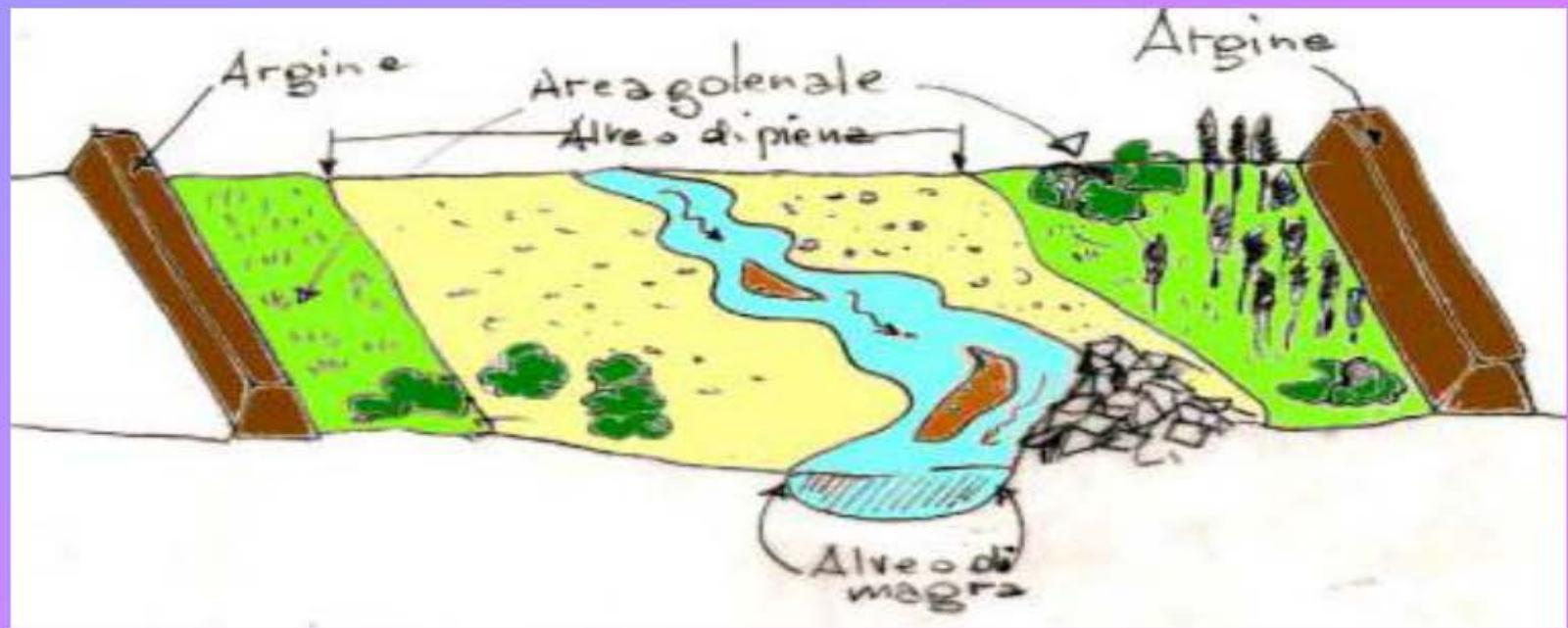
Quindi, nel caso di frane, conviene utilizzare il termine **rischio geo-idrologico** per non continuare ad alimentare confusione.

In particolare:

Rischio geo-idrologico: dovuto agli effetti indotti sul territorio dal superamento dei quantitativi pluviometrici critici sui/nei versanti, dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua della rete idrografica minore e di smaltimento delle acque piovane.

Rischio idraulico: corrisponde agli effetti indotti sul territorio dal superamento dei livelli idrometrici critici (possibili eventi alluvionali) lungo i corsi d'acqua principali.

Prevenzione e mitigazione



La prevenzione include la costruzione di strutture quali argini e opere murarie, con funzioni di barriera fisica contro le piene.

Le casse di colmata hanno il compito di immagazzinare acque nei periodi di piena e rilasciarle in tempi successivi.

Vi sono sistemi che servono per rallentare il deflusso delle acque derivanti da precipitazioni intense.

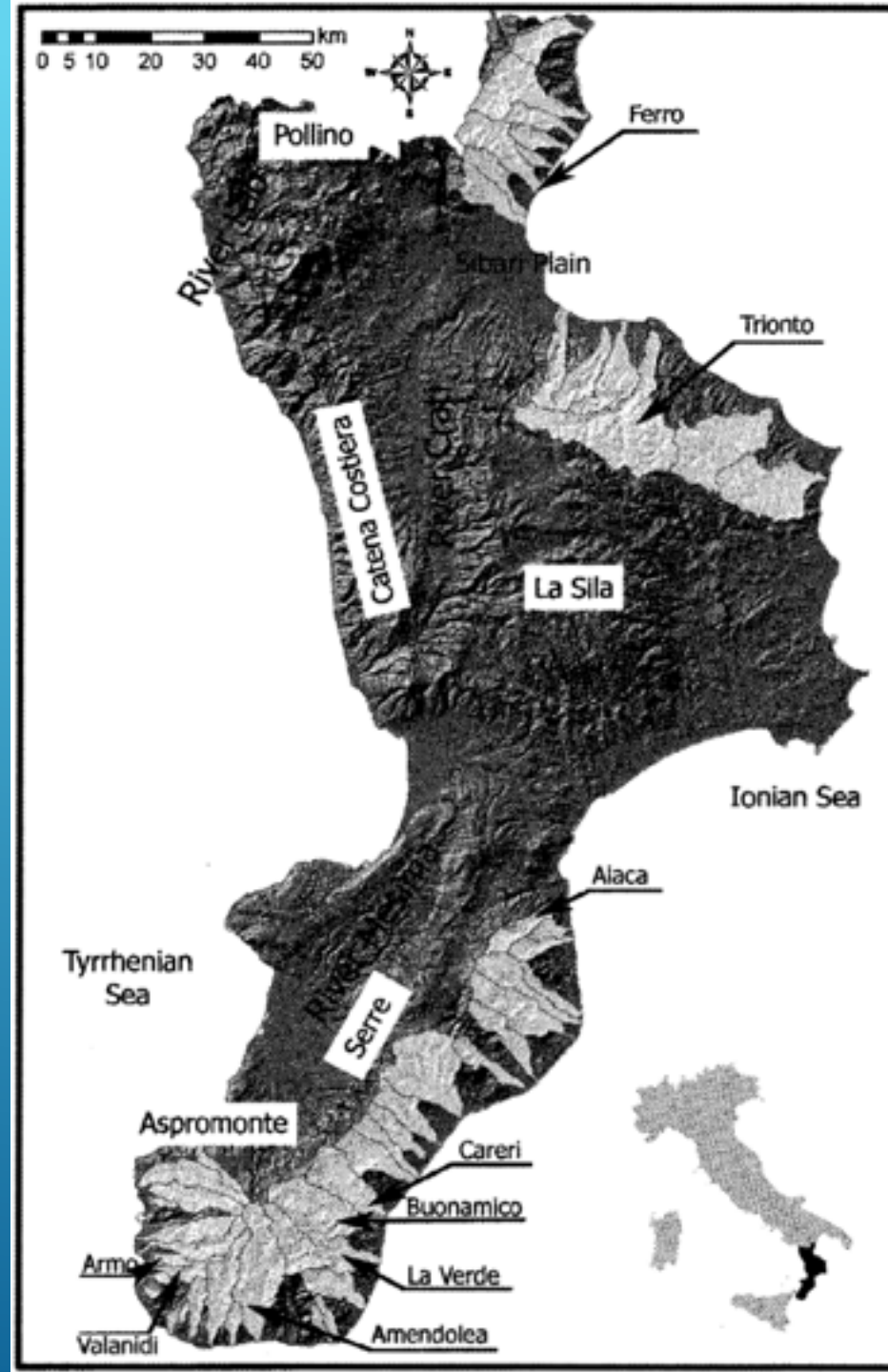
Le canalizzazioni, infine, consentono di ampliare la sezione dei corsi d'acqua, e di trasportare quindi la massa idrica più velocemente.

La regolazione include misure di programmazione territoriale degli interventi e degli insediamenti umani, e misure d'assicurazione dalle alluvioni.

Da un punto di vista ambientale, il migliore approccio alla mitigazione dei danni derivanti da alluvioni nelle piane alluvionali è una seria programmazione territoriale.

Tra i fattori naturali che predispongono **il territorio calabrese** ai dissesti idrogeologici, rientra la sua conformazione geologica e geomorfologica, caratterizzata da un'orografia (distribuzione dei rilievi) complessa (l'orografia è giovane e i rilievi sono in via di sollevamento) e bacini idrografici generalmente di piccole dimensioni, che sono quindi caratterizzati da tempi di risposta estremamente rapidi. Il tempo che intercorre tra l'inizio della pioggia e il manifestarsi della piena nel corso d'acqua può essere dunque molto breve. Eventi meteorologici localizzati e intensi, combinati con queste caratteristiche del territorio, possono dare luogo dunque a fenomeni violenti caratterizzati da cinematiche anche molto rapide (colate di detrito e/o fango e flash floods).

Maggiori fiumare calabresi (ne sono presenti molte altre di minore estensione, anche sul versante tirrenico)



Riassumendo: Dissesto Geo-idrologico ed Idraulico

... fenomeni molto diversi tra loro (che vanno affrontati in base alle loro specificità)

COLATE
DETRITICHE
(DEBRIS FLOW)



FRANE DA
CROLLO





Rischio Morfologico

**FENOMENI
EROSIVI
CONNESSI
ALLA
DINAMICA
MORFOLOGICA
DEGLI ALVEI
FLUVIALI**

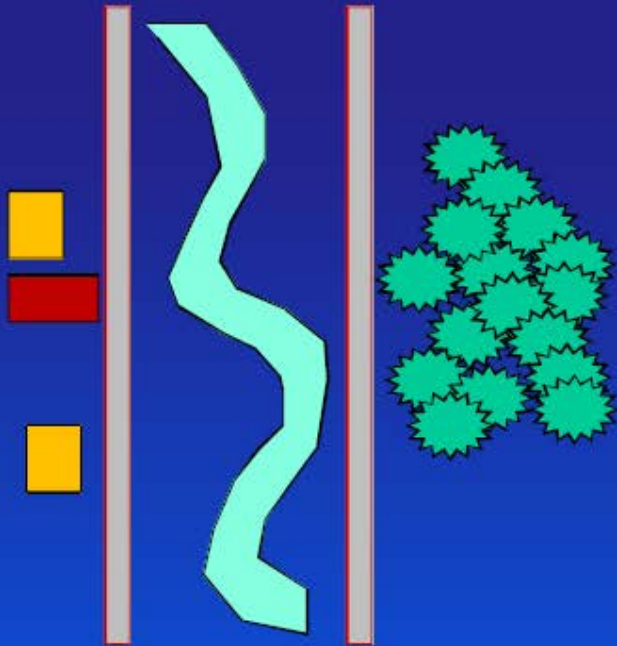
Rischio Idraulico

ESONDAZIONI

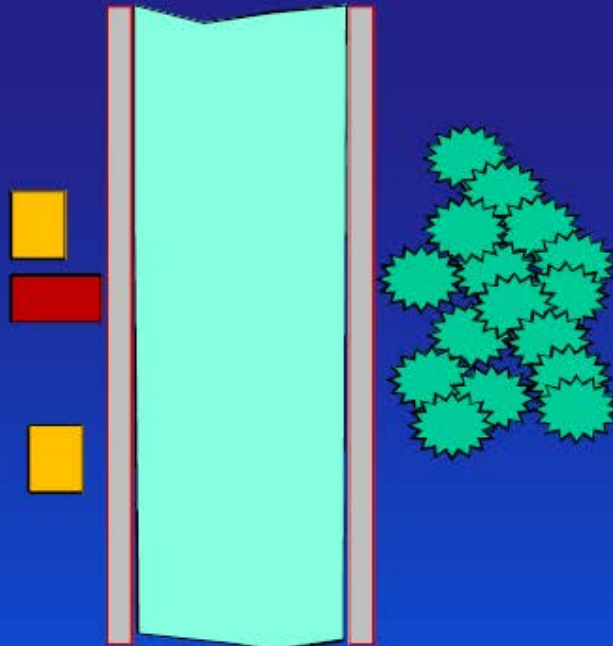


"METTERE IN SICUREZZA" vs. RIDURRE (e gestire) IL RISCHIO

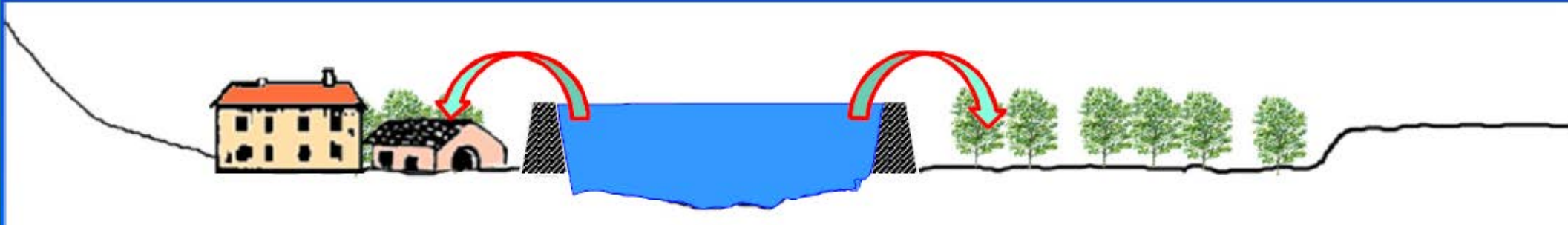
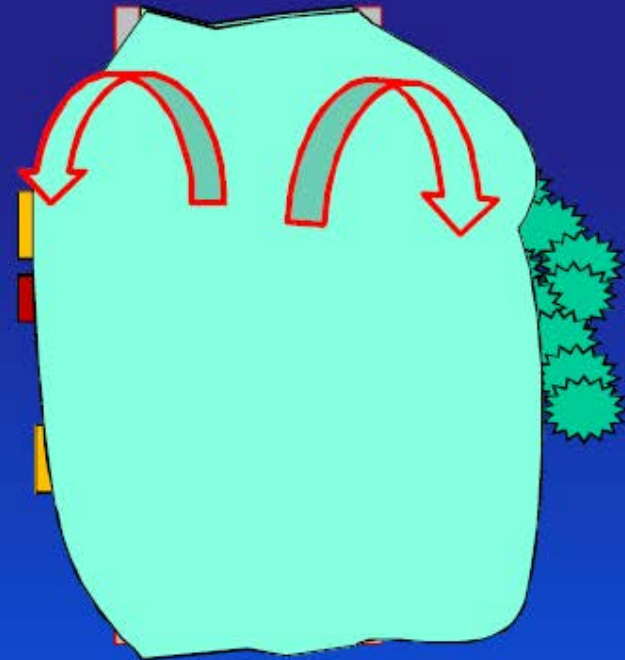
$T_R = 1$ anno



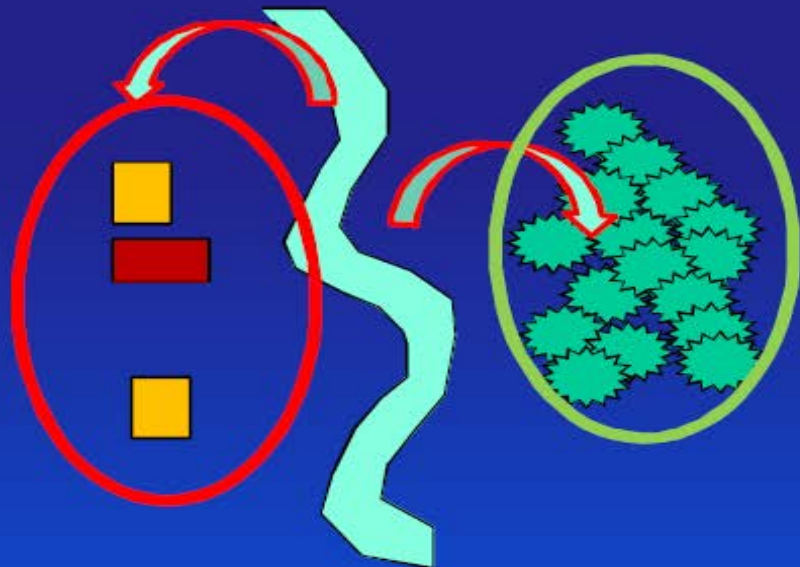
$T_R = 100$ anni



$T_R = 101$ anni



"METTERE IN SICUREZZA" vs. RIDURRE (e gestire) IL RISCHIO



Non necessariamente
devo ↓ pericolosità,
posso anche

↓ vulnerabilità e

↑ resilienza

Capacità di reagire in maniera
positiva agli eventi catastrofici

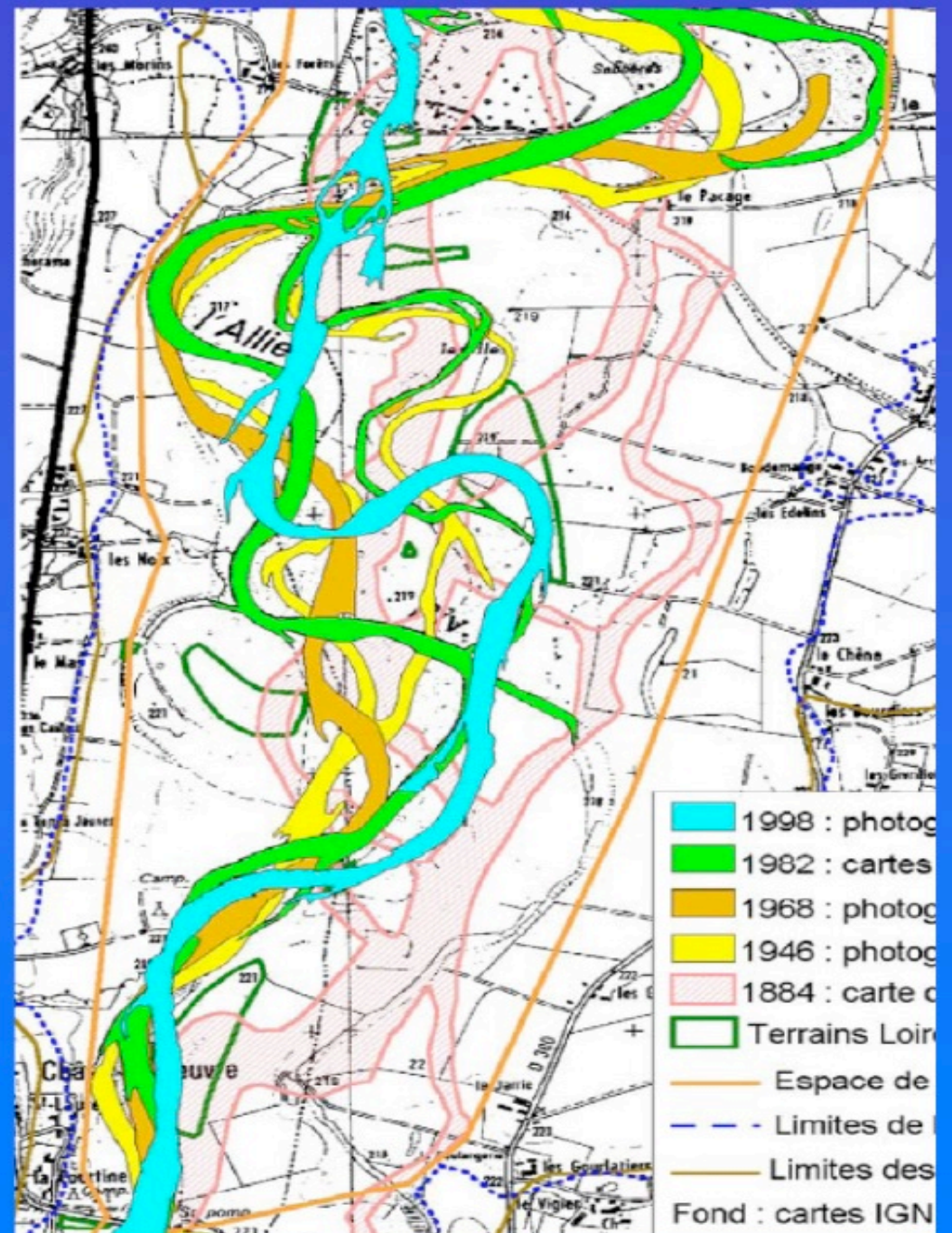
$$\begin{aligned}\text{Rischio} &= \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Valore esposto} \\ &= \text{Pericolosità} \times \text{Danno potenziale}\end{aligned}$$

Un fiume NATURALE (esclusi gli alvei naturalmente confinati):

- si crea una **piana inondabile** (che periodicamente...viene inondata!)
- si muove lateralmente (all'interno del suo "**spazio di mobilità**")

è grazie a questa dinamica che si rinnovano gli ecosistemi

QUALITÀ IDROMORFOLOGICA



Due componenti del "rischio di alluvione",
generalmente interconnesse

IDRAULICO
(esondazioni)

RISCHIO

MORFOLOGICO
(erosione e
divagazione alveo)



Rischio idraulico - approccio "tradizionale"

Accelerare il più possibile il deflusso verso valle e limitarlo all'interno di un alveo di dimensioni ridotte



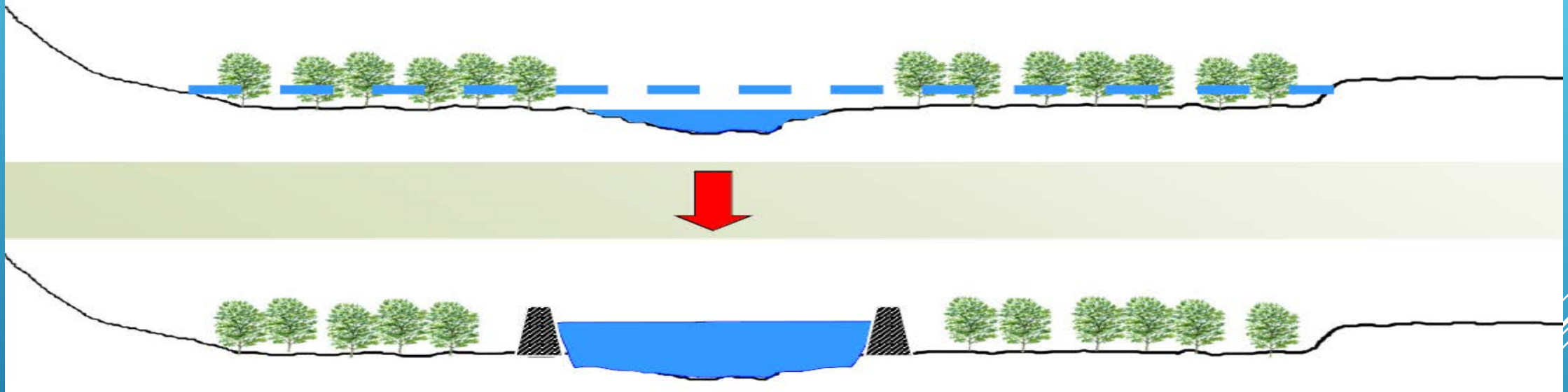
canalizzazione degli alvei



Accelerare il più possibile il deflusso verso valle e limitarlo all'interno di un alveo di dimensioni ridotte



argini



rettifiche

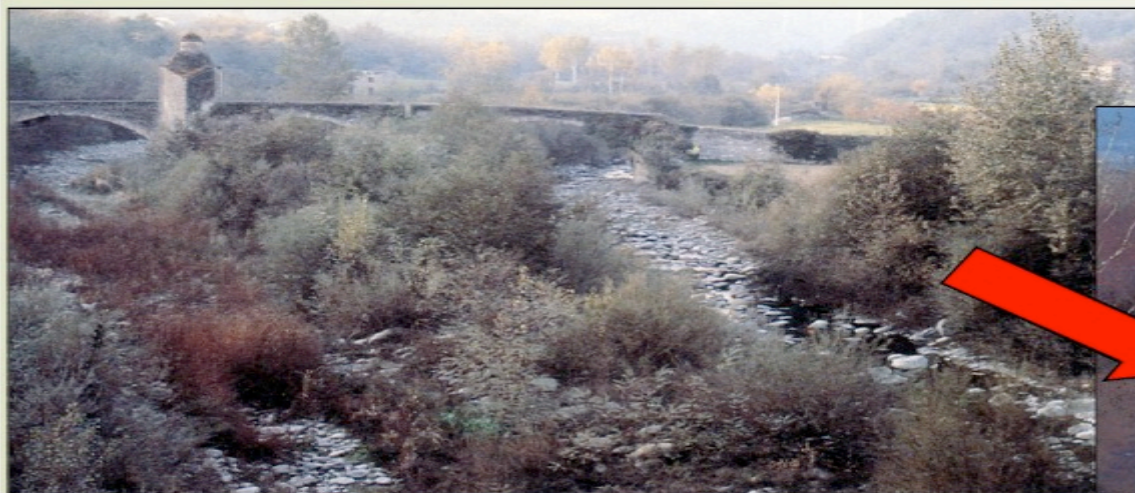




estrazione di materiale in alveo

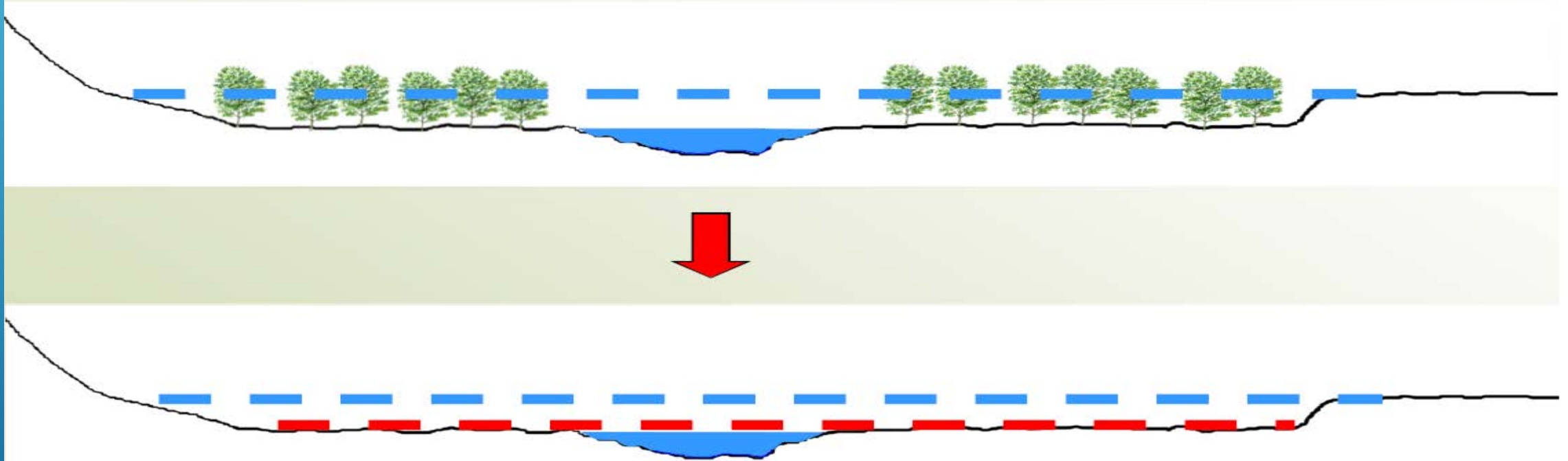


rimozione della vegetazione



Rischio idraulico approccio "tradizionale"

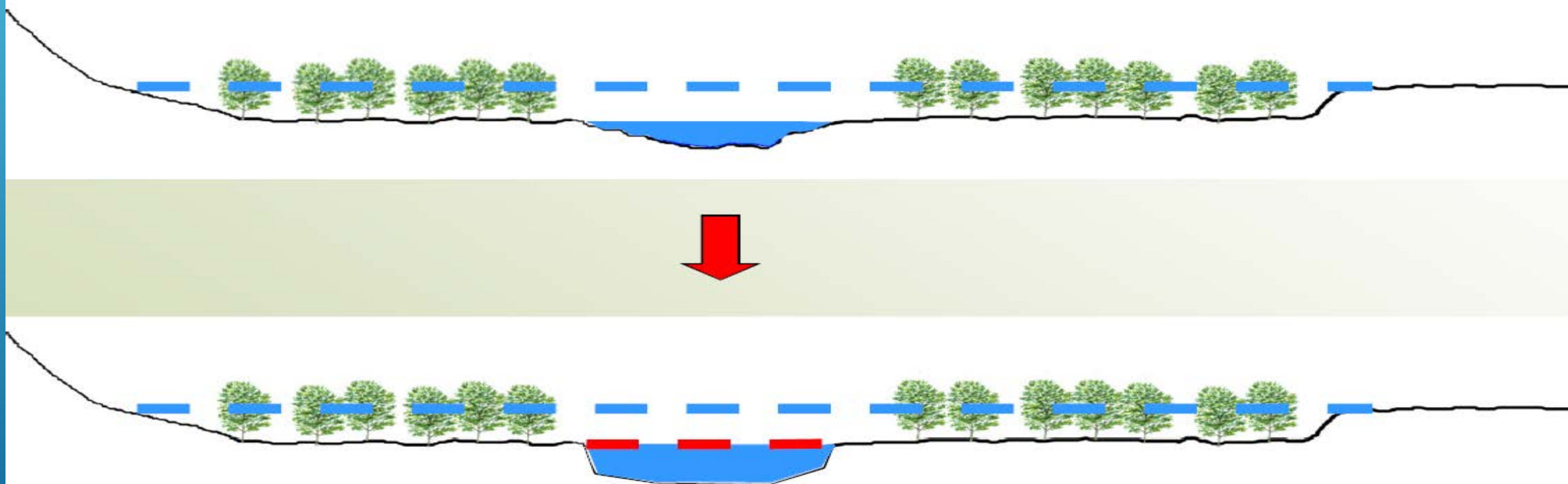
L'effetto della rimozione della vegetazione



Perdita volumi di laminazione diffusi

Rischio idraulico approccio "tradizionale"

L'effetto delle escavazioni in alveo



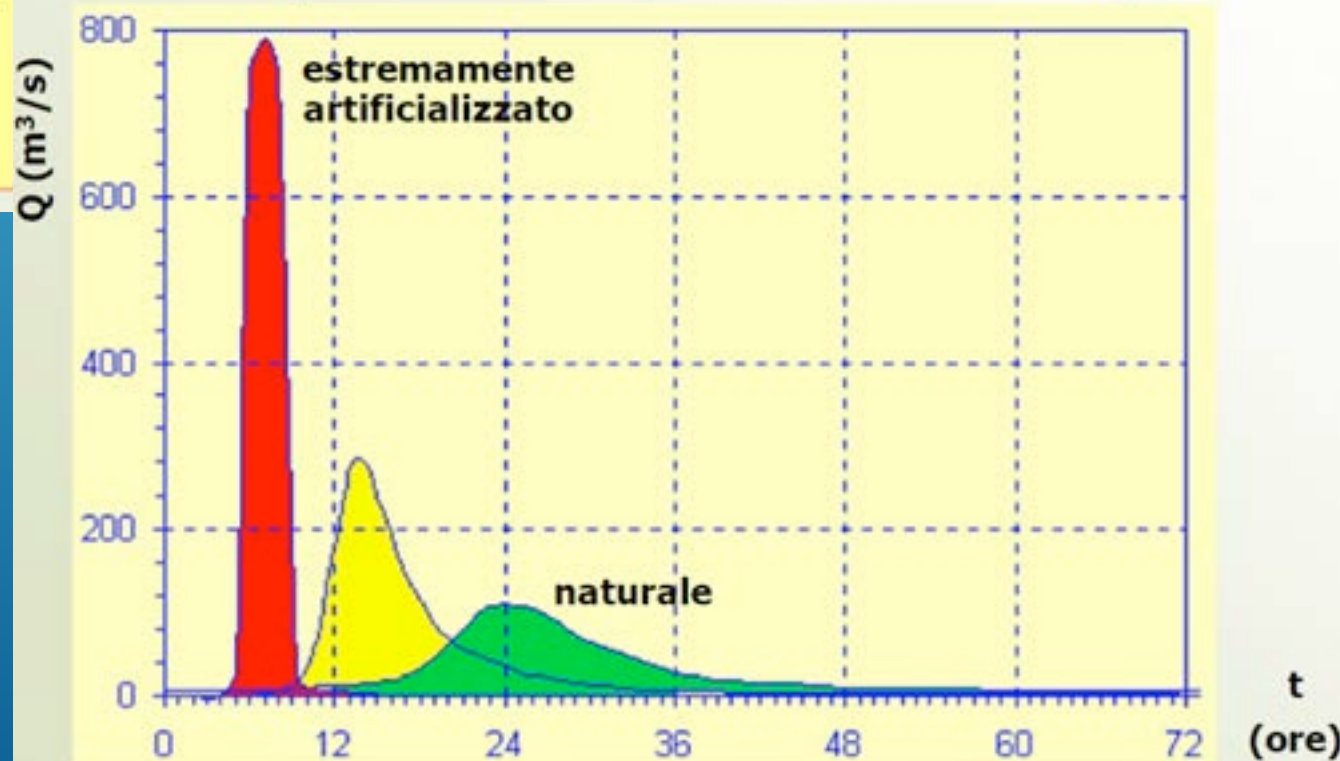
Perdita volumi di laminazione diffusi

Rischio idraulico approccio "tradizionale" (conflitto monte-valle)

GLI EFFETTI:

Deflusso idrico accelerato,
accentuazione picchi di piena,
**RISCHIO TRASFERITO A
VALLE!**

GLI EFFETTI (a valle):



Rischio idraulico approccio "tradizionale"

GLI EFFETTI:

"Mettere in sicurezza":

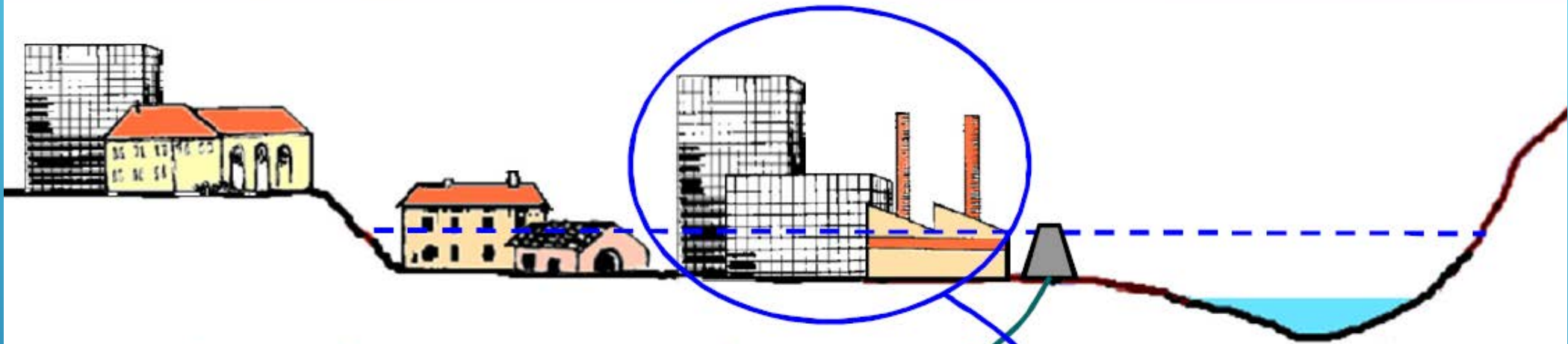
⇒ proteggere da eventi
con $T_R \leq T_R^*$
(es.: 200 anni)

...diverso da
minimizzare il
RISCHIO!

Spesso il rischio è
aumentato non solo
a valle, ma anche
localmente!

Un esempio tipico: edificazione in aree
"messe in sicurezza"

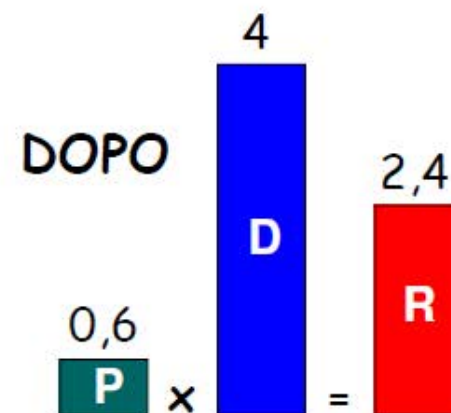
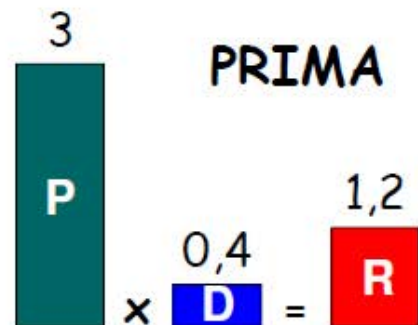
GLI EFFETTI:



Argine → Probabilità d'inondazione ridotta di 5 volte

Nuova edificazione → Danno potenziale aumentato 10 volte

Risultato → **Rischio raddoppiato!**



Pericolosità × Danno potenziale = Rischio

Rischio morfologico-approccio "tradizionale"

Arrestare la dinamica fluviale (stabilizzare l'alveo, ridurre l'erosione spondale)



briglie, difese spondali...



Rischio morfologico - approccio "tradizionale"

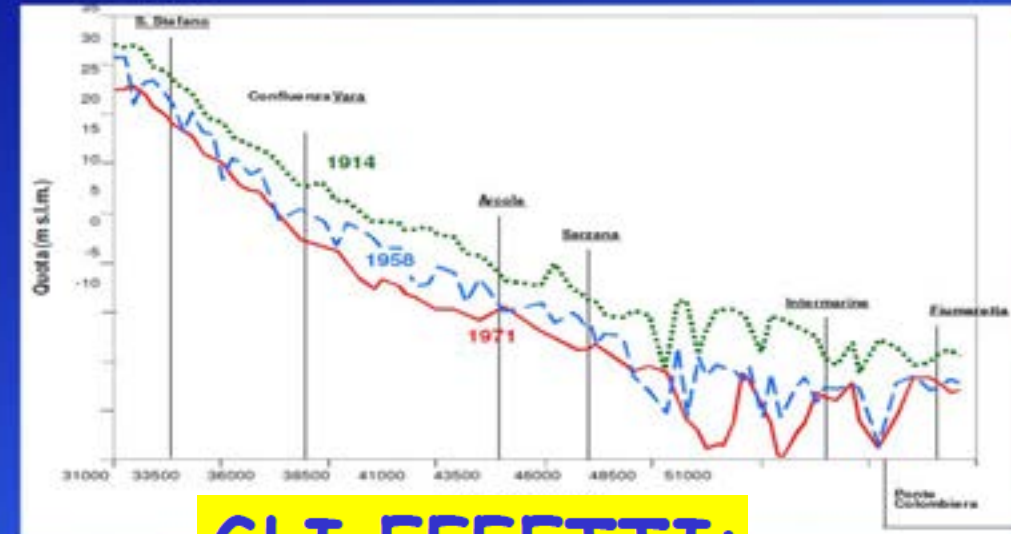
Arrestare la dinamica fluviale (stabilizzare l'alveo, ridurre l'erosione spondale)



estrazione di materiale in alveo



Quasi tutti i fiumi italiani sono fortemente incisi !

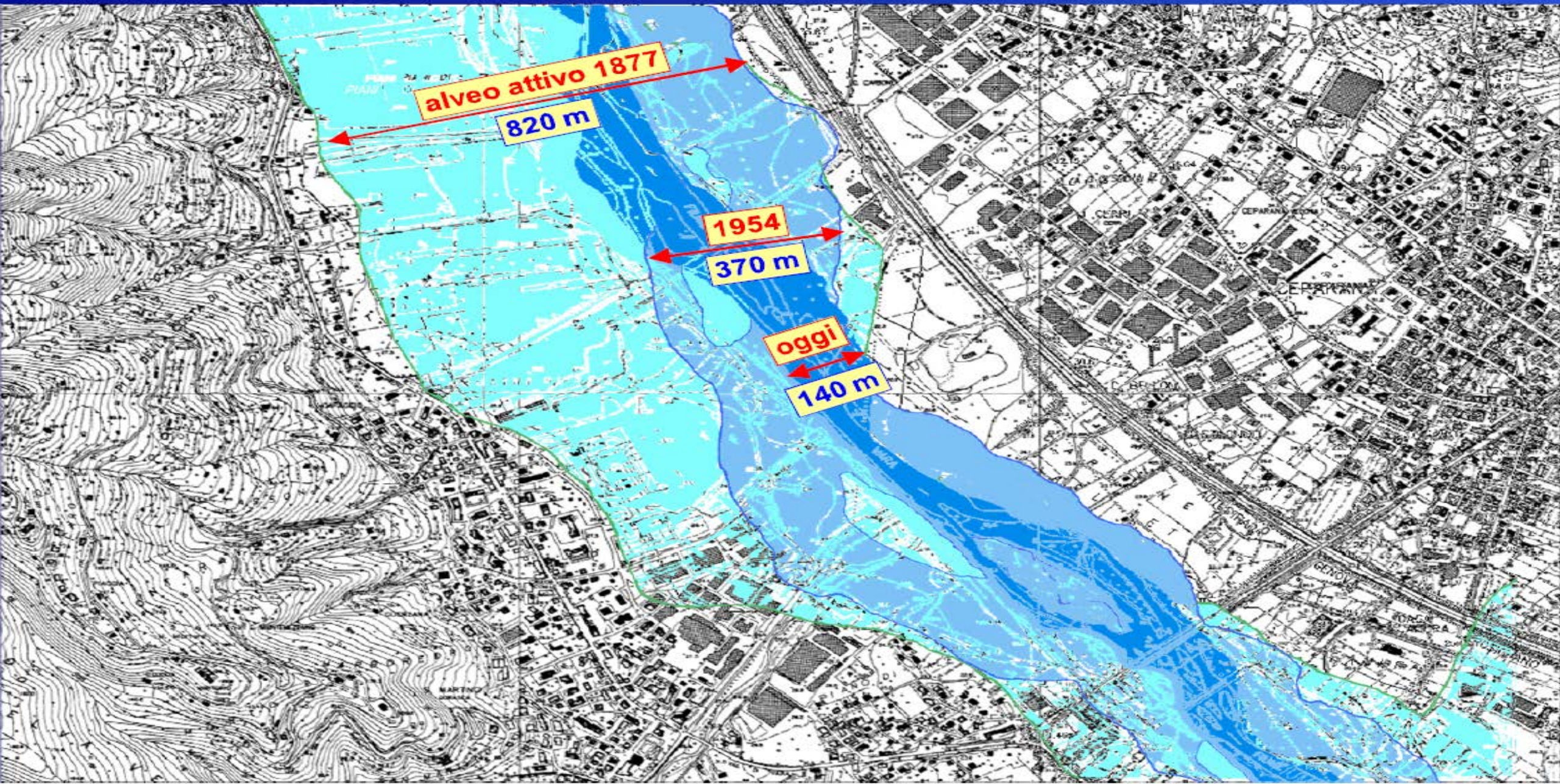


GLI EFFETTI:



Restringimento alveo

(Immagine: Rinaldi M., 2005 - Autorità di bacino del Fiume Magra - Ritoccata)



Cambiamenti di tipologia

(Immagine: Rinaldi M., 2005 - Autorità di
bacino del Fiume Magra - Ritoccata)



alveo ampio, a
canali intrecciati



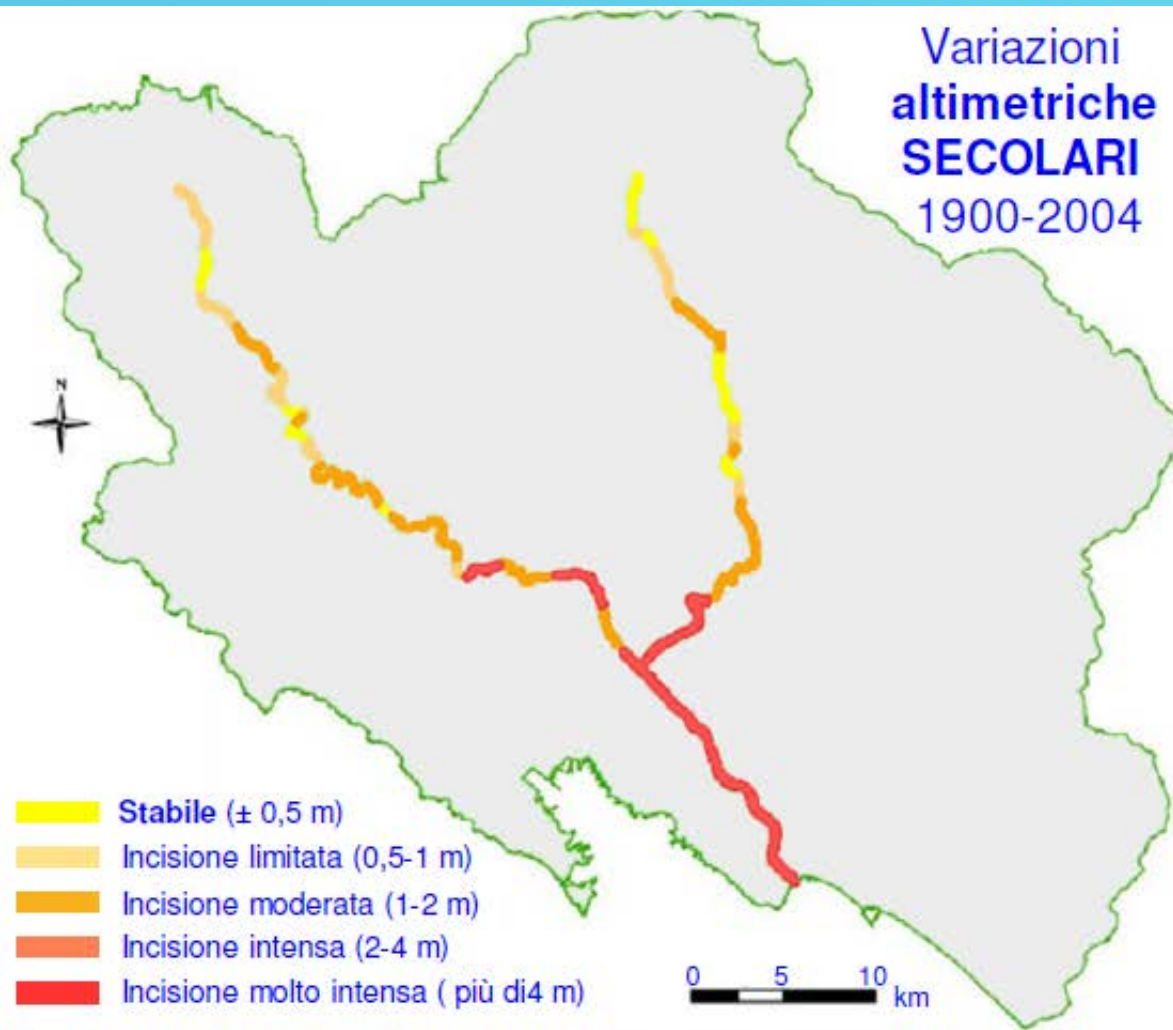
alveo stretto,
perlopiù
monocursale

1829 (Carta degli Stati Sardi)

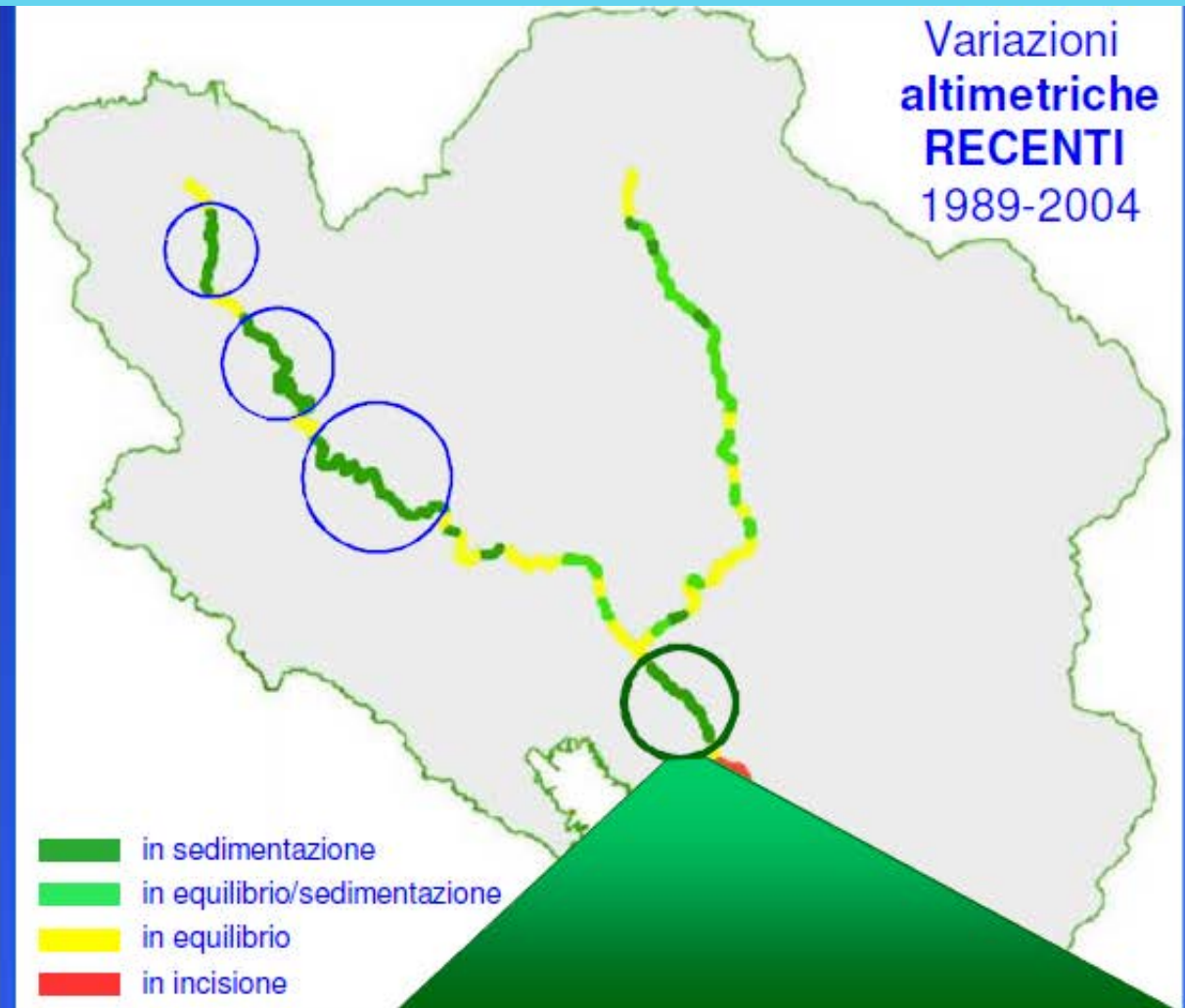


2006 (Google Earth)

Variazioni
altimetriche
SECOLARI
1900-2004



Variazioni
altimetriche
RECENTI
1989-2004



**Attenzione ad utilizzare una scala
temporale sufficientemente lunga!**

ATTENZIONE: la
sedimentazione recente può
dare un'impressione
ingannevole (è spesso un
processo di recupero parziale
dell'incisione passata)

Rischio morfologico approccio "tradizionale"

GLI EFFETTI:



Incisione del letto - > danni a opere civili, erosione costiera, abbassamento della falda...

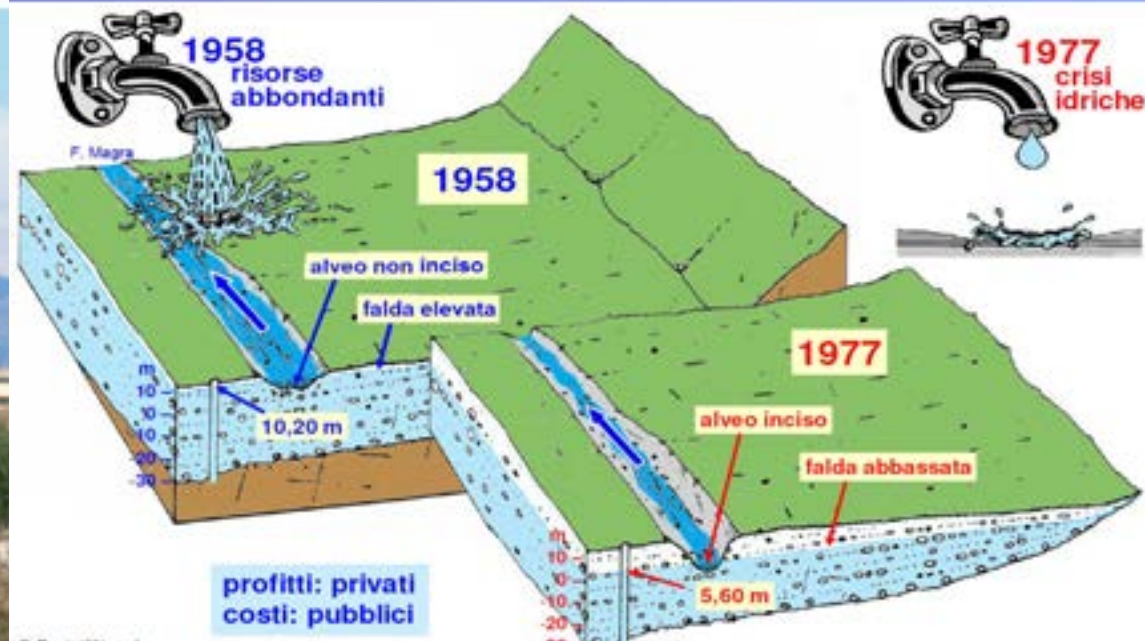
RISCHIO TRASFERITO A VALLE E A MONTE (erosione regressiva)!!

COSTI INCREMENTATI!!

Estrazione inerti → incisione alveo → crollo ponti



incisione alveo → abbassamento falda



Estrazione inerti

→ apporto di sedimenti ridotto

→ erosione costiera

E, ancora:

incisione alveo → cuneo salino



Una strategia di gestione del rischio basata solo sulle opere è intrinsecamente FRAGILE

- è sempre possibile un evento con T_r superiore a quello di progetto
- il sistema di opere necessita di manutenzione, quindi ogni nuovo intervento strutturale = nuovi costi sulle future generazioni
- la popolazione si dimentica più facilmente del "rischio residuo"

- non si può mai escludere del tutto che argini e altre strutture possono subire cedimenti -> se tutto il sistema di protezione è basato su di loro, in caso di collasso l'effetto è disastroso

UN NUOVO APPROCCIO PER LA GESTIONE DEL RISCHIO (1)

- Piano di gestione a scala di **bacino idrografico** (abbandonare ottica localistica dettata da emotività post-evento e assicurare adeguata conoscenza delle dinamiche in corso)
- **Ridurre il rischio e non solo la pericolosità**, quindi non protezione omogenea di tutto il territorio per un assegnato Tr, ma protezione mirata delle aree più vulnerabili e con maggiori beni esposti, abbandonando l'illusione della "messa in sicurezza totale"; **ridurre la vulnerabilità** e agire sul fronte della previsione, allertamento, gestione emergenza; **confrontare diverse alternative con adeguate analisi economiche** (es. ACB)

Lasciar inondare/erodere terreni agricoli o incolti anziché (ri)costruire argini/difese spondali;



Quando possibile delocalizzare i beni a rischio invece di proteggerli aumentando il rischio a valle

Spostare, dove possibile e conveniente, le infrastrutture viarie per lasciare più spazio al fiume (e non viceversa)

Garantire ricarica sedimenti, anche **NON** consolidando sponde e versanti dove possibile

Garantire ricarica sedimenti, rimuovendo opere trasversali che creano più danni che benefici

UN NUOVO APPROCCIO PER LA GESTIONE DEL RISCHIO (3)

Arrestare il consumo di suolo e migliorare la risposta idrologica delle aree urbanizzate

Evitare ulteriore perdita di spazio di pertinenza fluviale in futuro

Dare priorità a misure per il rischio che mirino anche a **ripristinare il più possibile processi e dinamiche naturali** e a **lasciare più spazio al fiume** (ripristinare lo spazio di mobilità dei corsi d'acqua)

Rimozione di DIFESE SPONDALI



Allargamento dell'alveo e riapertura canali secondari

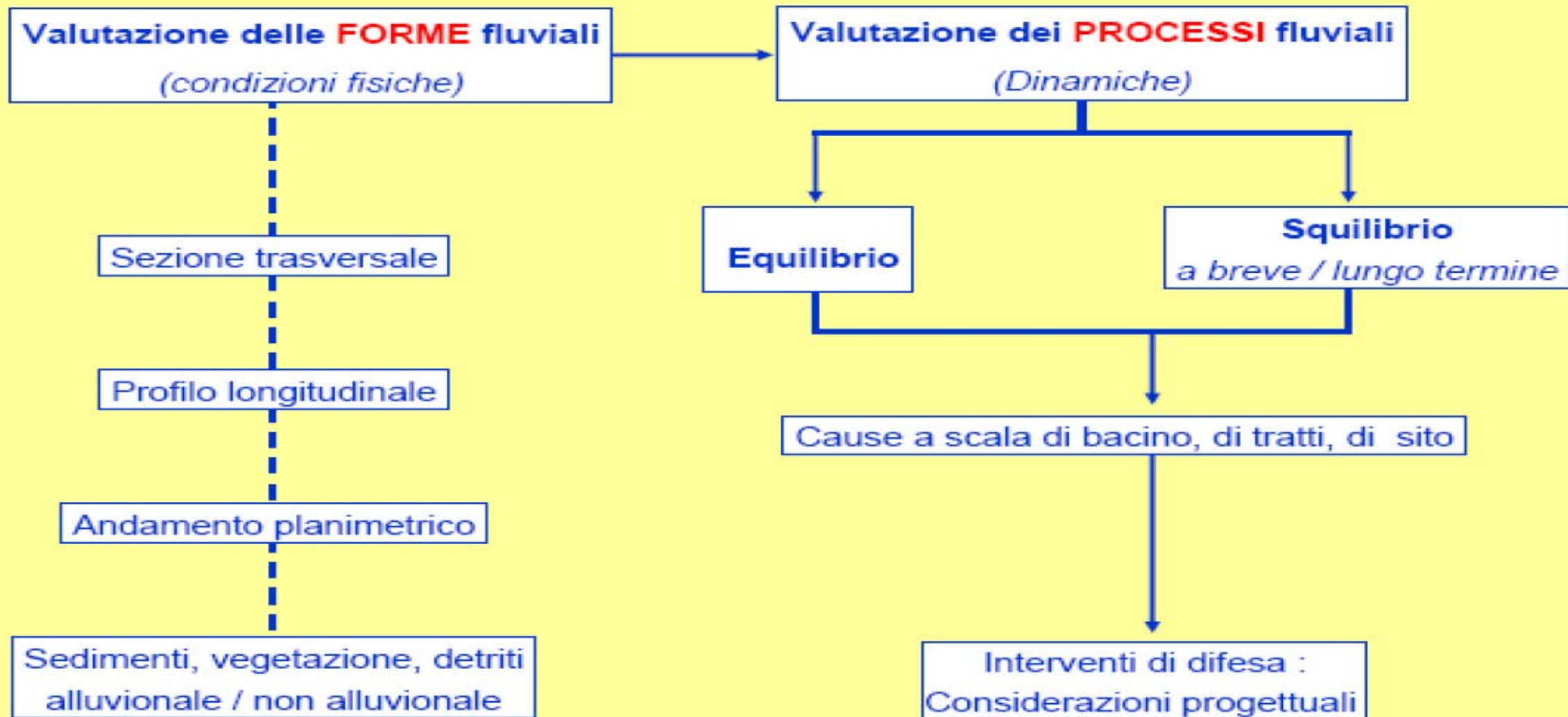


... e in qualche caso:
Reintroduzione di grandi detriti legnosi in alveo

Alla scala di bacino

- 1- assetto lito-stratigrafico-strutturale
- 2- parametri morfometrici principali nel bacino di appartenenza del corso d'acqua in esame (ordine gerarchico, rapporto di allungamento, rapporto di biforcazione, rapporto di circolarità, densità di drenaggio; frequenza di drenaggio, rapporto F/D, curva ipsometrica e curva clinometrica; ecc.)
- 3- regime idraulico del corso d'acqua
- 4- pendenza del corso d'acqua
- 5- indice di sinuosità del corso d'acqua
- 6- erosione in alveo e/o di sponda, su substrato o su depositi
- 7- presenza di gradini, cascate o forre
- 8- presenza di meandri abbandonati o di antiche direzioni di scorrimento
- 9- caratteristiche sedimentologiche dei depositi alluvionali
- 10- presenza di corpi sedimentari in alveo e indicazioni sul trasporto solido (sia in sospensione che sul fondo)
- 11- stato di manutenzione del corso d'acqua;
- 12- uso del suolo
- 13- tecniche colturali (rittochino; giropoggio; a spina di pesce; terrazzi, ciglionamenti; ecc.)
- 14- acclività e simmetria dei versanti
- 15- regime idraulico dei versanti afferenti all'alveo in esame (fenomeni di erosione diffusa e concentrata)
- 16- analisi dei movimenti franosi, in atto, quiescenti ed inattivi
- 17- tipologia dei manufatti interessanti l'alveo
- 18- stato di funzionalità delle opere idrauliche presenti.

ALLA SCALA DI TRATTA



LA PORTATA DI UN FIUME

La portata è, per definizione, la quantità d'acqua che passa nell'unità di tempo attraverso una sezione trasversale del fiume. Il suo valore è espresso in m³/sec.
Ma è anche il prodotto tra la velocità media dell'acqua e la sezione:

$$\text{portata} = \text{sezione} \times \text{velocità}$$

Se la sezione aumenta, aumenta anche la portata (quindi la quantità di acqua che passa).
La velocità è un fattore che a sua volta dipende dalla scabrezza, dalla forma della sezione (raggio idraulico) e dalla pendenza, (legge di Chézy)

Possiamo scrivere allora la formula:

velocità = *scabrezza* *x* *pendenza* *x* *forma della sezione*
da cui:

$$\text{portata} = \text{sezione} \times (\text{scabrezza} \times \text{pendenza} \times \text{forma sezione})$$

(La forma della sezione è espressa dal raggio idraulico che è il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato)

$$Q = A V$$

$$V = X R^{1/2} J^{1/2}$$

Con Q= portata, V = velocità, X =
scabrezza, J= pendenza e R = raggio
idraulico

Oppure

$$V = X R^{1/2} J^{2/3}$$

Delimitazione delle fasce di pertinenza fluviale

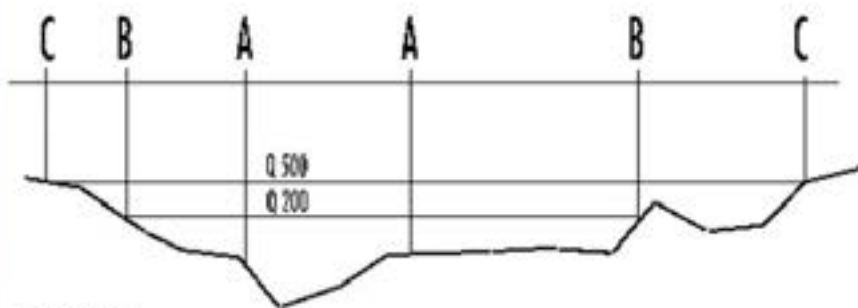
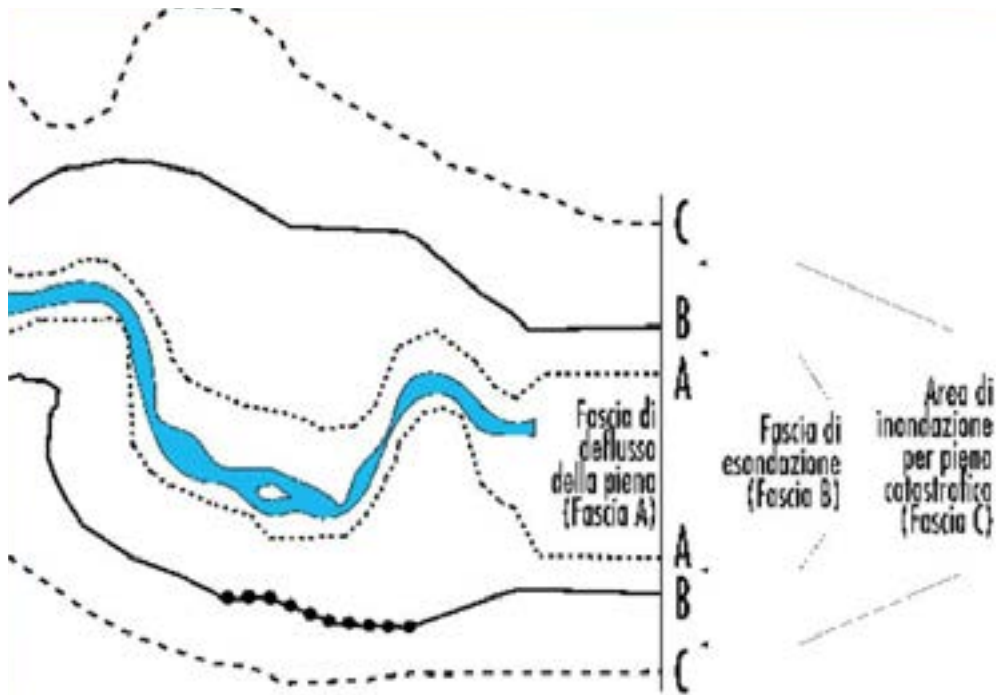
La *delimitazione delle fasce fluviali* viene effettuata in funzione dei principali elementi morfologici e idraulici dell'alveo: caratteristiche geomorfologiche, dinamica evolutiva, opere idrauliche, caratteristiche naturali, ambientali e vincoli ambientali, nonché dell'assetto idraulico di progetto di ciascuno dei corsi d'acqua.

Si definiscono solitamente *tre fasce fluviali*:

la "Fascia A" o *Fascia di deflusso della piena*; è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;

la "Fascia B" o *Fascia di esondazione*; esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;

la "Fascia C" o *Area di inondazione per piena catastrofica*; è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.



LEGENDA

- limite tra la fascia A e la fascia B
- limite tra la fascia B e la fascia C
- limite di progetto tra la fascia B e C
- limite esterno di fascia C

Valutazione dell'onda di piena: Menù

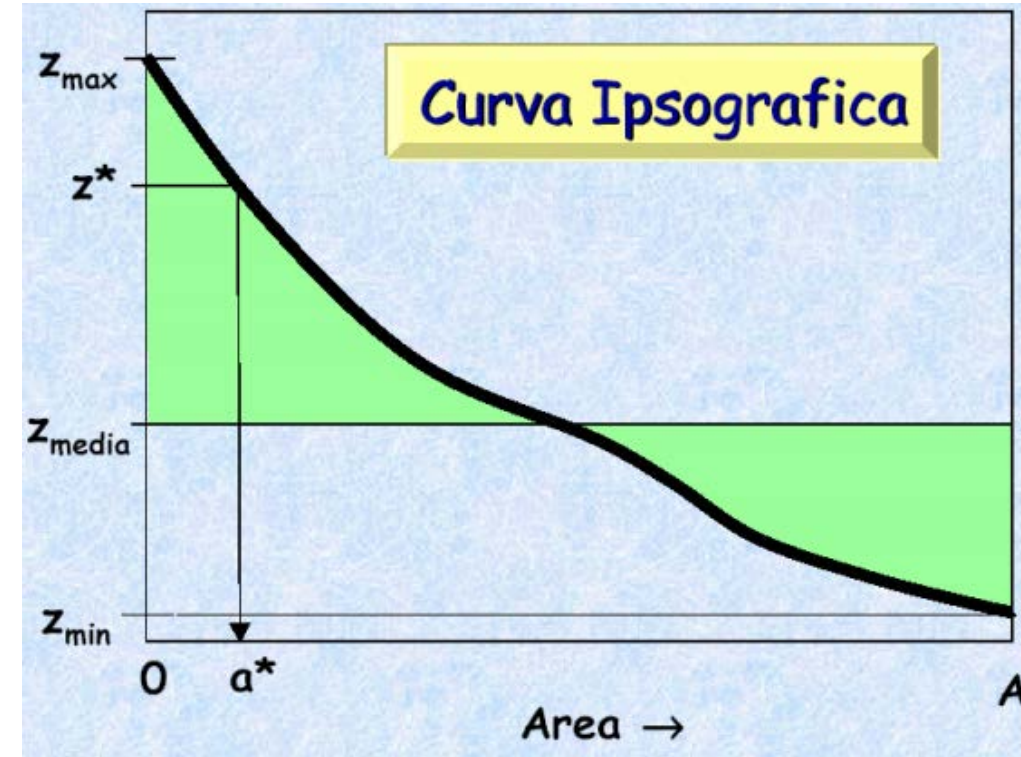
- **Alcune utili caratteristiche geomorfometriche dei bacini idrografici**

- **Tempo di corrivazione, di ritardo, di picco**
- **Analisi delle precipitazioni di forte intensità e breve durata**
- **Curve di possibilità pluviometrica e aree omogenee del VAPI**
- **Fattore di crescita (Va.Pi.) per le tre sottozone omogenee e per vari tempi di ritorno T**
- **Relazioni correttive per altezze di pioggia di durata inferiore all'ora**
- **Pluviogramma di progetto**
- **Pluviogramma netto (metodo SCS-Curve Number)**
- **Determinazione dell'idrogramma di piena (modello di Nash)**

- **Applicazione**

Utili caratteristiche geomorfometriche dei bacini idrografici

- L : lunghezza asta principale
- $A = S$: Superficie
- H_{\min} : quota minima
- H_{\max} : quota massima
- H_{med} : altezza media
- Curva ipsografica : $H_{\text{med}} = \frac{1}{A} \int_0^A h dA$



- Pendenza media del bacino (metodo di Alvard-Horton) $i_m = \frac{\Delta H \cdot Li}{S}$
(ΔH =diff quota fra isoipse; Li = loro lunghezza totale)
- Gerarchizzazione del reticolo idrografico (Strahler-Horton; Shreve)

Tempo di corrivazione

Tempo che impiega una goccia caduta sul punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungerne la sezione di chiusura :

Giandotti (1934):

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{med}}}$$

nella quale t_c è il tempo di corrivazione misurato in ore, S è la superficie del bacino, in km^2 , L è la lunghezza dell'asta principale, in km, e H_{med} è l'altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, ricavabile dalla curva ipsografica, in m.

Tempo di corrivazione

Nel caso di piccoli bacini ($<10\text{km}^2$), Aronica e Paltrinieri modificano Giandotti:

$$t_c = \frac{\frac{1}{M d} \sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{H_m}} \quad (3.74)$$

in cui M e d sono due costanti numeriche che assumono in funzione, rispettivamente, del tipo di utilizzazione del suolo e della permeabilità dei terreni i valori riportati nella Tabella 3.12.

Tabella 3.12 Valori delle costanti M e d della formula (3.74)^[16].

Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0.667
Terreni coperti con erbe rade	0.250
Terreni coperti da bosco	0.200
Terreni coperti da prato permanente	0.167
Permeabilità	d
Terreni semi-impermeabili	1.270
Terreni poco permeabili	0.960
Terreni mediamente permeabili	0.810
Terreni molto permeabili	0.690

Tempo di corrivazione

PUGLISI E ZANFRAMUNDO $t_c = 6 \frac{L^{\frac{2}{3}} (Km)}{d^{\frac{1}{3}} (m)}$

con $d = H_{\max} - H_{\min}$

Formula di Pasini

$$T_c = 0.108 \frac{(AL)^{1/3}}{0.8\sqrt{i}};$$

Formula di Tournon

$$T_c = 0.369 \frac{L}{\sqrt{i}} \left[\frac{A}{L^2 \sqrt{i/i_v}} \right]^{0.72}$$

Bacini di medie dimensioni

Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\bar{H} - H_0}} \text{ con } A \text{ (km}^2\text{); } L \text{ (km); } \bar{H} \text{ e } H_0 \text{ (m s.m.m.)}$$

Piccoli bacini

Kirpich $t_c = 0.066L^{0.77} / i^{0.385}$ L(km)
(ore)

Pezzoli $t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}}$ L(km)
(ore)

Tempo di corrivazione

• Viparelli (1961) & :
$$t_c = \frac{L}{V}$$

U.S. Navy e Texas Higway Departements

V = Velocità di riferimento dell'acqua in m/s secondo la seguente tabella di valori:

i_m	%	1.5	3.0	5.0	8.0	25
V	m/s	0.6	0.9	1.2	1.5	3.0

in cui V è la velocità di percorrenza e L è la lunghezza dell'asta principale espressa in m o in km, in accordo con la velocità;

Per determinare il valore di V (m/s), anche Viparelli ha proposto **un introvabile abaco** in cui V viene legata alla pendenza media dei versanti i_m e ad altre loro caratteristiche (foresta, terreno coltivato, canali inerbiti, ecc.) :

$$i_m = \Sigma \Delta z * l_i / S$$

dove :

- Δz = equidistanza;
- l_i = lunghezza delle isoipse all'interno del bacino

Viparelli consiglia comunque l'utilizzo di valori di V compresi tra 1 e 1.5 m/s (**3.6-5.4 km/h**). **Quindi si utilizza 1.5 per applicazioni legate alla sicurezza.**

Tempo di concentrazione e tempo di picco

Benini^[12] definisce il *tempo di concentrazione* come il tempo che intercorre tra l'inizio dell'evento di pioggia e l'istante in cui si verifica la portata massima. Fattorelli^[29], effettuando uno studio idrologico su tre bacini delle Valli Giudicarie, definisce il tempo di concentrazione come l'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante di inizio dell'evento di piena e il presentarsi del valore massimo o colmo. Questa definizione coincide con quella di *tempo al picco t_p* utilizzata nella teoria dell'idrogramma unitario geomorfologico^[88].

Tempo di ritardo (t_r o t_L)

- È inteso come l'intervallo temporale che separa il baricentro dell'istogramma di pioggia efficace (pluviogramma netto) dal baricentro dell'idrogramma del deflusso superficiale (depurato delle portate di base) corrispondente.
- Secondo le ipotesi di Viparelli (1961), si considera che le curve di livello coincidano con le isocorrive e quindi la curva ipsografica è utilizzabile come segue:

$$(h_{\max} - h_{\min}) : (t_c - 0) = (\bar{h} - h_{\min}) : (t_r - 0)$$

Tempo di ritardo (t_r o t_L)

Fiorentino M. (1979)

$$t_r = 0.094 \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0.655}$$

Formula di *Rossi (1974)*

$$t_r = 0,77 \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}} \right)^{0,295}$$

t_r = ore,

L = [Km]

i_m = pendenza media dell'asta principale
secondo Taylor-Schwartz.

Agnese e D'Asaro

$$t_L = \sqrt{2M} \frac{l}{v}$$

t_L = tempo di ritardo, M = Magnitudine e

l = lunghezza media dei segmenti secondo Shreve

Quindi, dopo vari passaggi e considerazioni

$$t_c = \frac{t_L}{0.6} = \frac{(1/1.16)^{1/2} A^{1/2}}{0.6(3.6 v)} = 0.43 \frac{\sqrt{A}}{v}$$

con A espressa in km^2 e t_c in ore.

$t_L = 0.6 t_c$
anche secondo il
SCS statunitense

$$t_c = k \sqrt{A} \quad \text{con } k = 0.675.$$

Valore calibrato su osservazioni di bacini naturali
(implica $v=0.64$ m/s)

Rodriguez-Iturbe e Valdes^[88] hanno proposto la seguente equazione per il calcolo del tempo al picco t_p :

$$t_p = 0.44 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \frac{L}{v} \quad (3.83)$$

in cui L è la lunghezza dell'asta principale (lunghezza del canale di ordine più elevato) espressa in km e v è la velocità media (spaziale) della corrente espressa in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rosso^[94,95], esprimendo la forma dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) di Rodriguez-Iturbe e Valdes^[88] mediante una distribuzione gamma a due parametri, ha dedotto la seguente espressione per il calcolo del tempo di ritardo:

$$t_L = 2.303 \left(\frac{R_b}{R_a} \right)^{0.30} R_L^{-0.41} \frac{L}{v} \quad (3.84)$$

in cui la lunghezza L è espressa in m, la velocità media v in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e il tempo di ritardo in s. Sia la (3.83) sia la (3.84) contengono ovviamente una variabile dinamica, che è la velocità media di percorrenza dell'asta di ordine maggiore, che deve essere stimata per lo specifico bacino in esame.

Analisi delle precipitazioni di forte intensità e breve durata

Metodo più veloce:

Dal confronto con la tavola numero 6 del progetto VAPI “Sottozone pluviometriche, Aree pluviometriche omogenee” viene determinata l’area pluviometrica omogenea in cui ricade il bacino di interesse e quindi, la curva di possibilità pluviometrica per la quota media h del bacino. Ad esempio da:

$$\bar{x}_t(t, h) = 34.13 \cdot t^{\frac{0.342 + 0.00027h}{\log 24}}$$

È possibile ottenere il valore medio di altezza di pioggia corrispondente alla durata desiderata (nello specifico per il tempo di corrivazione o di ritardo che occorrono per le analisi successive)

In alternativa, se sono disponibili sufficienti osservazioni, si può usare l’analisi statistica diretta *at site*



La CPP nel Va.Pi. è scritta come segue :

piogge orarie

$$\overline{X}_t = c \cdot t^{(d + a \cdot y) / \log 24}$$

dove y è la quota della stazione rispetto al livello del mare.

I parametri da impiegare per le diverse aree omogenee sono riportate nella tabella seguente:

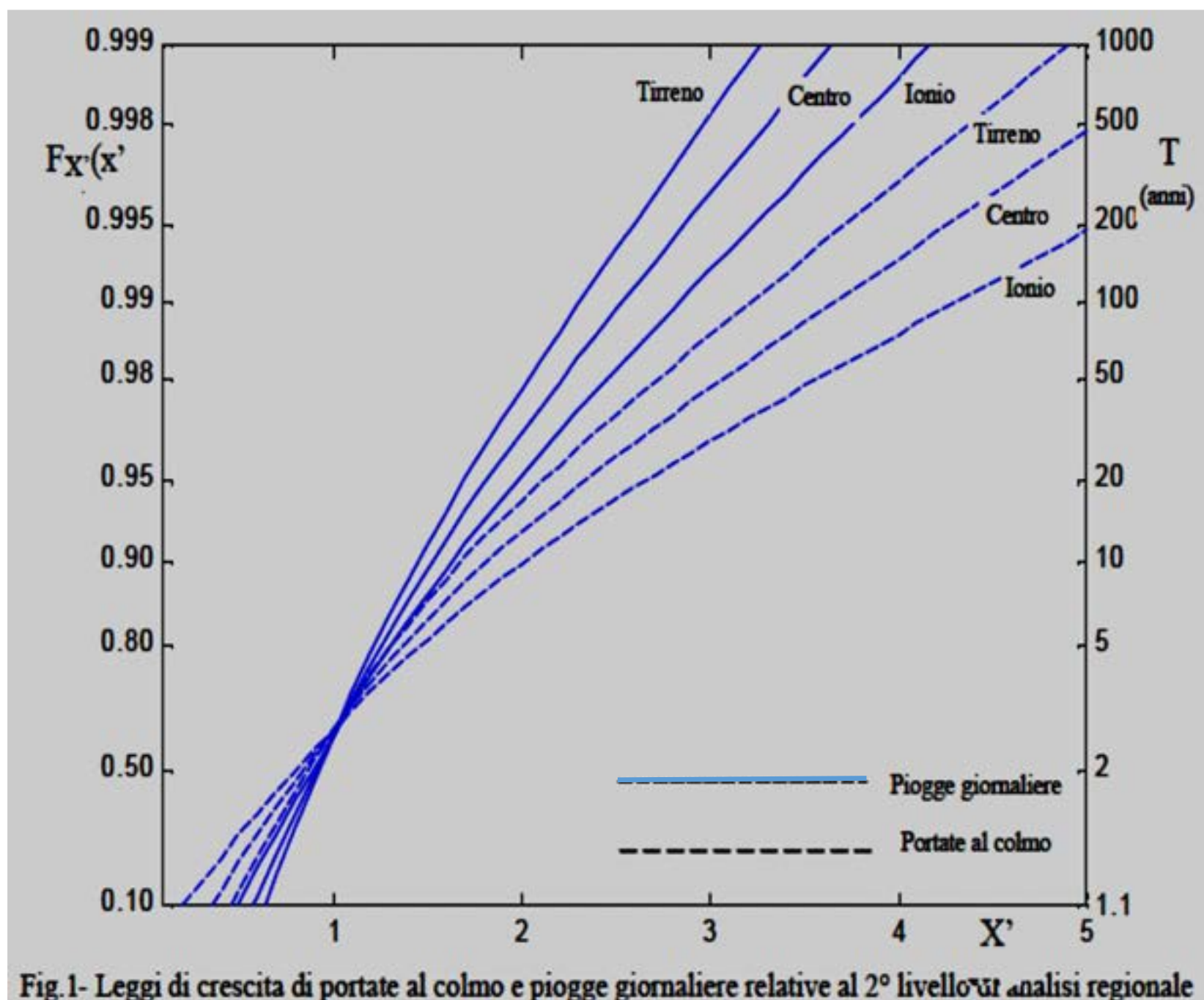


3° LIVELLO - Piogge giornaliere ed orarie				
Area omogenea	a		c	d
T1	0.00014		27.79	0.521
T2	0.00021		23.75	0.365
T3	0.00022		26.61	0.402
T4	0.00028		16.73	0.367
C1	0.00049		21.73	0.411
C2	0.00021		23.75	0.365
C3	0.00016		31.02	0.517
C4	0.00032		33.22	0.377
C5	0.00036		34.99	0.329
I1	0.00026		24.37	0.449
I2	0.00025		30.97	0.489
I3	0.00043		39.58	0.414
I4	0.00027		34.13	0.342

In definitiva, nota l'area omogenea, occorre introdurre la sola quota y. In alternativa si può condurre l'analisi statistica *at site* utilizzando i massimi annuali delle piogge brevi ed intense

Ottenuti tali valori medi, per ottenere quelli relativi a vari tempi di ritorno, è necessario ricorrere alle **curve di crescita**. In Figura dal fascio di curve si può ricavare il valore del **fattore di crescita X'** relativo alla sottozona omogenea in esame ed a T desiderato.

Ricordarsi di usare le curve delle piogge!



Per prefissati tempi di ritorno, possono essere usati i valori $X' = K_T$ in tabella:

T .anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (Tirreno)	0.92	1.22	1.45	1.69	1.78	1.95	2.04	2.32	2.60	2.98	3.27
K_T (Centrale)	0.91	1.26	1.53	1.81	1.91	2.12	2.22	2.54	2.87	3.32	3.65
K_T (Ionio)	0.89	1.31	1.63	1.97	2.09	2.34	2.46	2.85	3.25	3.78	4.18

Tab. 10.2: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge in Calabria per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Oppure la relazione approssimata (che, per $T > 10$, produce un errore minore del 10%):

$$\text{(SZO Tirrenica)} \quad K_T = 0.3887 + 0.416 \ln T$$

$$\text{(SZO Centrale)} \quad K_T = 0.2837 + 0.488 \ln T$$

$$\text{(SZO Ionica)} \quad K_T = 0.1410 + 0.585 \ln T$$

Relazioni correttive per altezze di pioggia di durata inferiore all'ora

Per la stima delle altezze di pioggia di durata inferiore all'ora, anziché estrapolarle dalla curva di possibilità pluviometrica che è costruita per durate superiori all'ora, è stata presa in considerazione la relazione:

$$\frac{h_{d,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{d}{60} \right)^a$$

in cui $d < 60$ è la durata espressa in minuti, T è il tempo di ritorno considerato, $h_{60,T}$ è il valore di pioggia fornito dalla CPP relativa allo stesso tempo di ritorno, a è un coefficiente pari a 0.386 (Ferrerri e Ferro, 1990).

Una alternativa è fornita da Bell (1969):

$$\frac{h_{(d)}}{h_{(1)}} = 0.54 \cdot d^{0.25} - 0.50$$

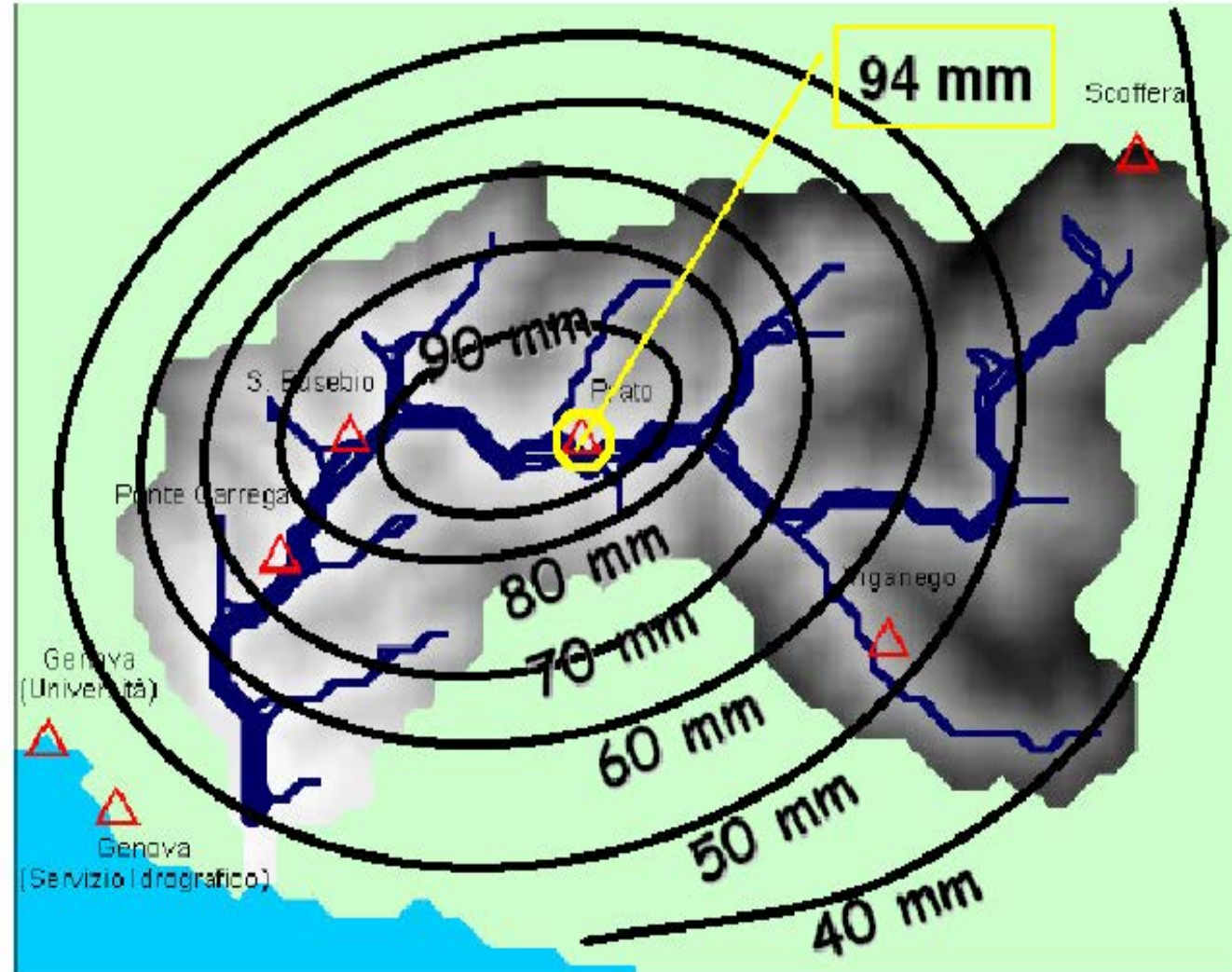
Se la numerosità delle osservazioni a scala sub-oraria lo consente, è possibile l'analisi statistica diretta. Già con serie continue di 12 anni si può usare l'analisi PDS+Generalized Pareto; con serie di Annual Maxima occorrono 10-12 anni per ciascun parametro da stimare. Anche in questo caso, per incrementare la numerosità delle osservazioni, si può utilizzare l'analisi regionale (Bodini&Gariano&Terranova).

Ragguaglio all'area, ARF

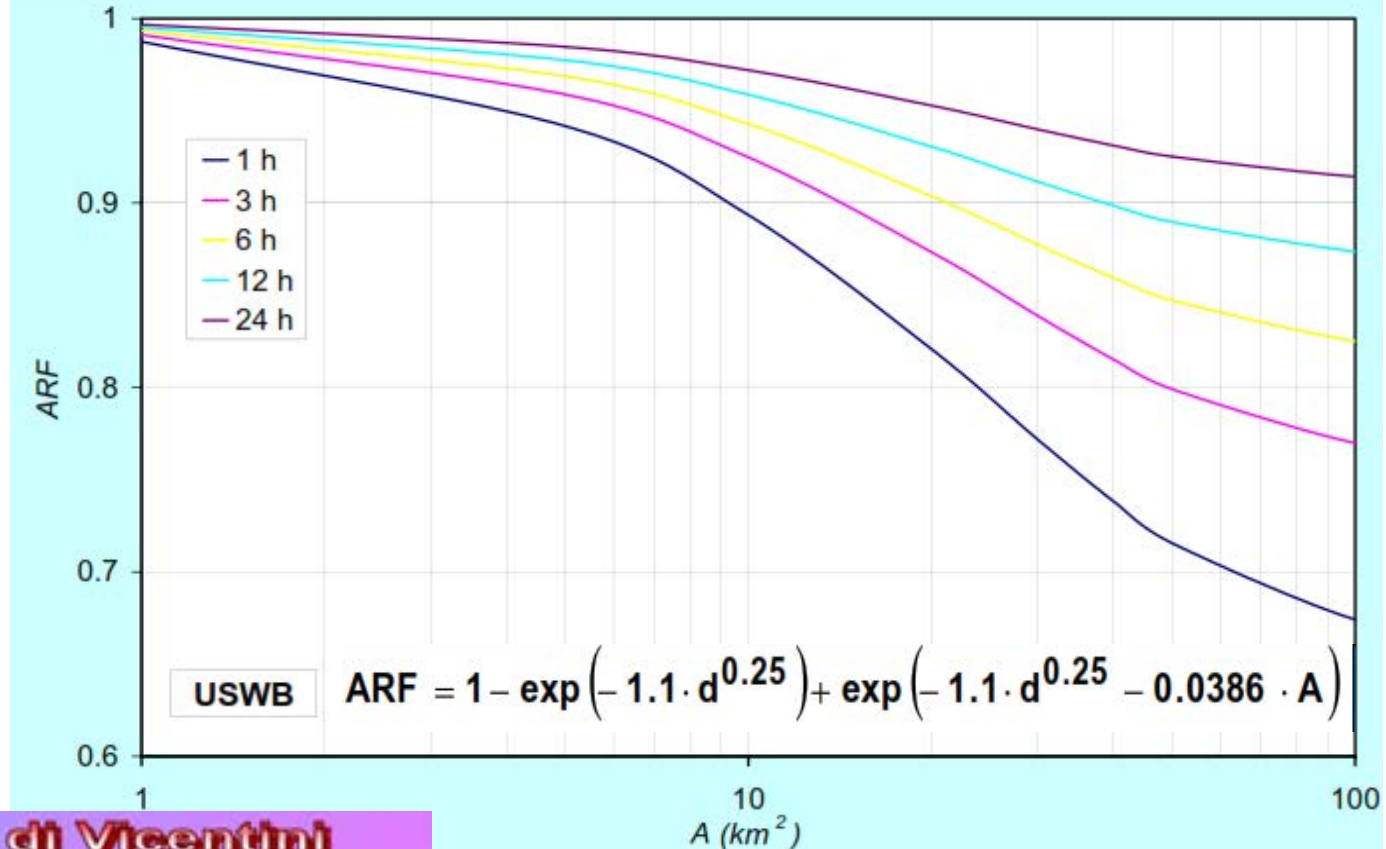
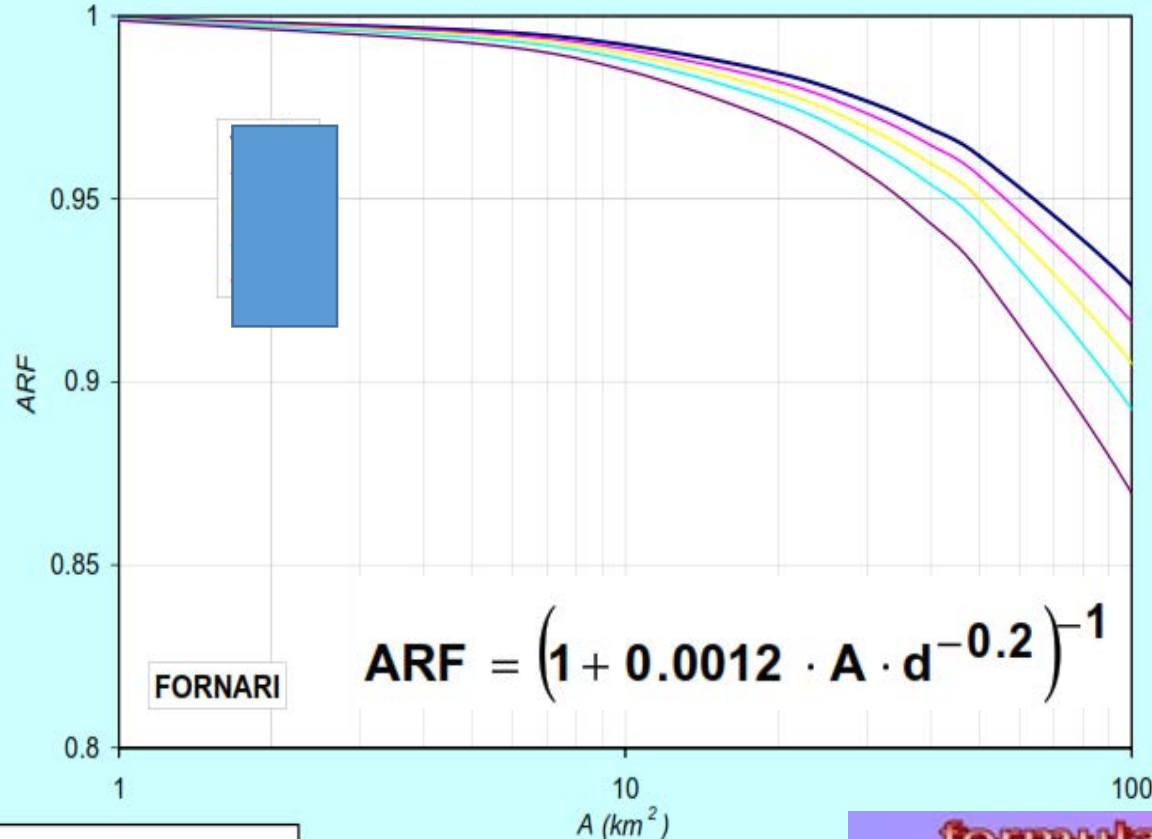
Per ragguaglio all'area viene inteso la riduzione delle piogge al crescere dell'area del bacino. Infatti le piogge di forte intensità raramente interessano aree estese.

Soprattutto per i piccoli bacini, Spesso viene considerato $ARF = 1$, a vantaggio di sicurezza. Infatti, nel caso di modelli afflussi-deflussi non distribuiti, occorre stimare solo la pioggia da considerare uniformemente distribuita sul bacino.

Totale di Pioggia a Scala di Evento



$$ARF = \frac{\text{altezza totale di pioggia nel centro di scroscio}}{\text{altezza totale di pioggia mediata su un'area A intorno centro di scroscio}}$$



formula di Vicentini

$$ARF = \frac{(100 - 0.067 A)}{100}$$

Il fattore ARF:

- è minore di 1
- dipende dalla superficie (decresce al crescere della superficie)
- dipende dalla durata d (cresce al crescere della durata)
- dipende dal tempo di ritorno T (leggermente!)

Va.Pi. Calabria (sul Crati)

$$ARF = 0.727 + 0.273e^{-0.00169S}$$

Pioggie giornaliere, indipendente da T e dalla durata

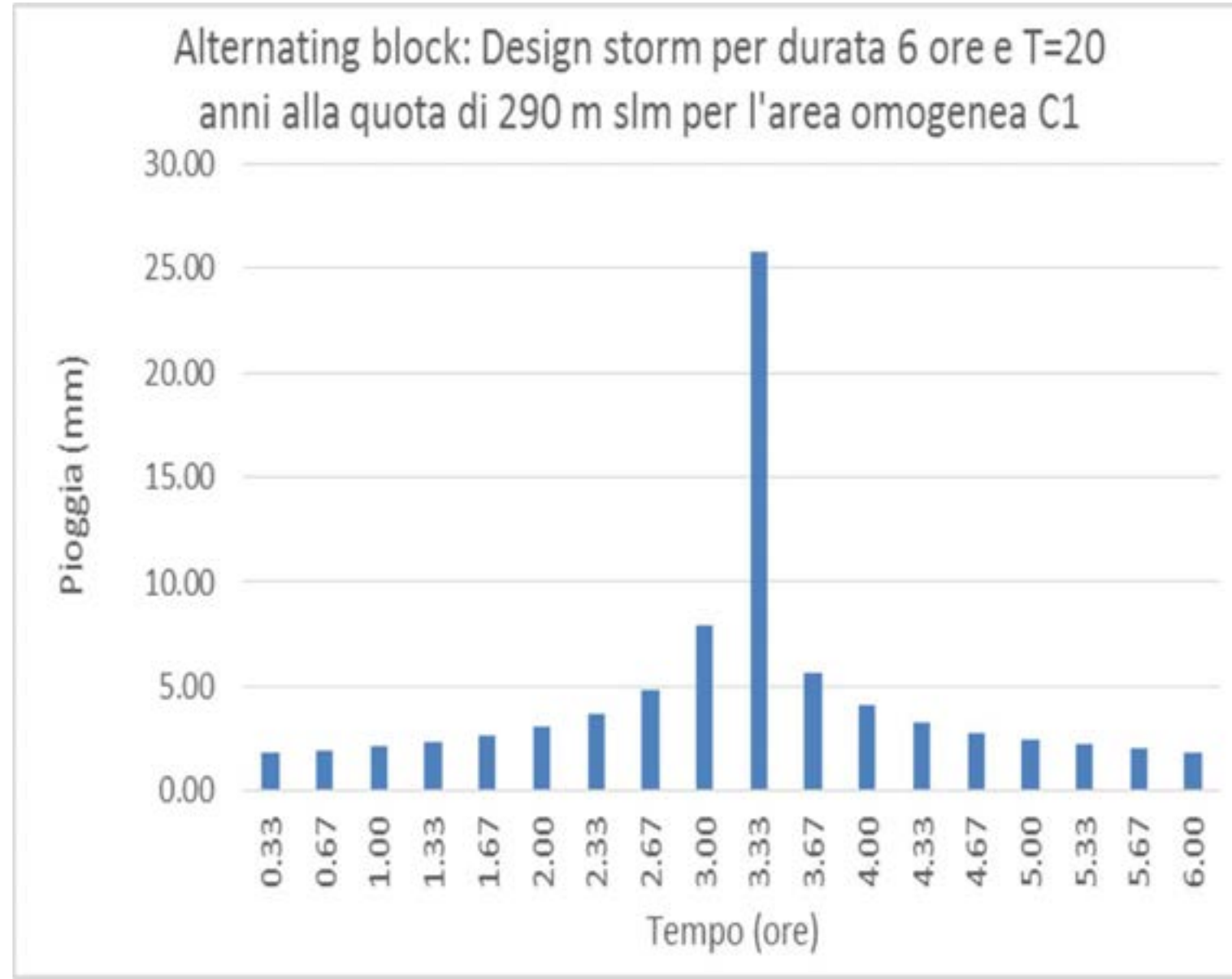
Invece, nel caso di modelli distribuiti, disponendo di più stazioni possono essere adottati: topiети, isoiete, kriging

Design storm

Nota la CPP per durate orarie e sub-orarie e per i tempi di ritorno desiderati, è possibile costruire il pluviogramma (ietogramma) di progetto (*design storm*).

Ciò viene fatto discretizzando la CPP per intervallini Δt la cui somma sia maggiore del tempo di corrivazione (t_c)

Il *design storm* può essere costruito con il metodo dell'*alternating block* o con altri metodi (*Chicago, Sifalda, Desbordes, Triangolare, ecc.*)



Alcuni esempi di *design storm*:
Thorndal; Chicago; Sifalda;
Desbordes

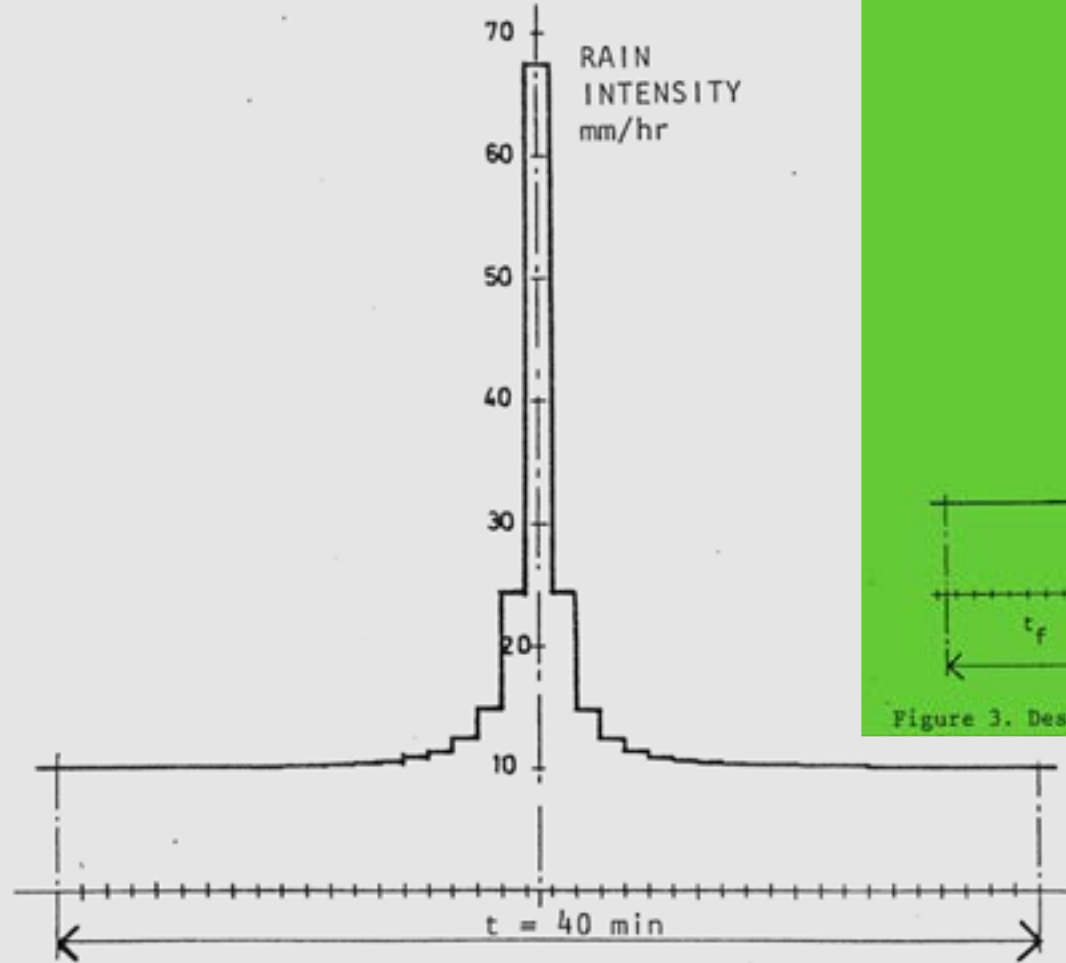


Figure 2. Design rainfall, suggested by Thorndal (1971), de-

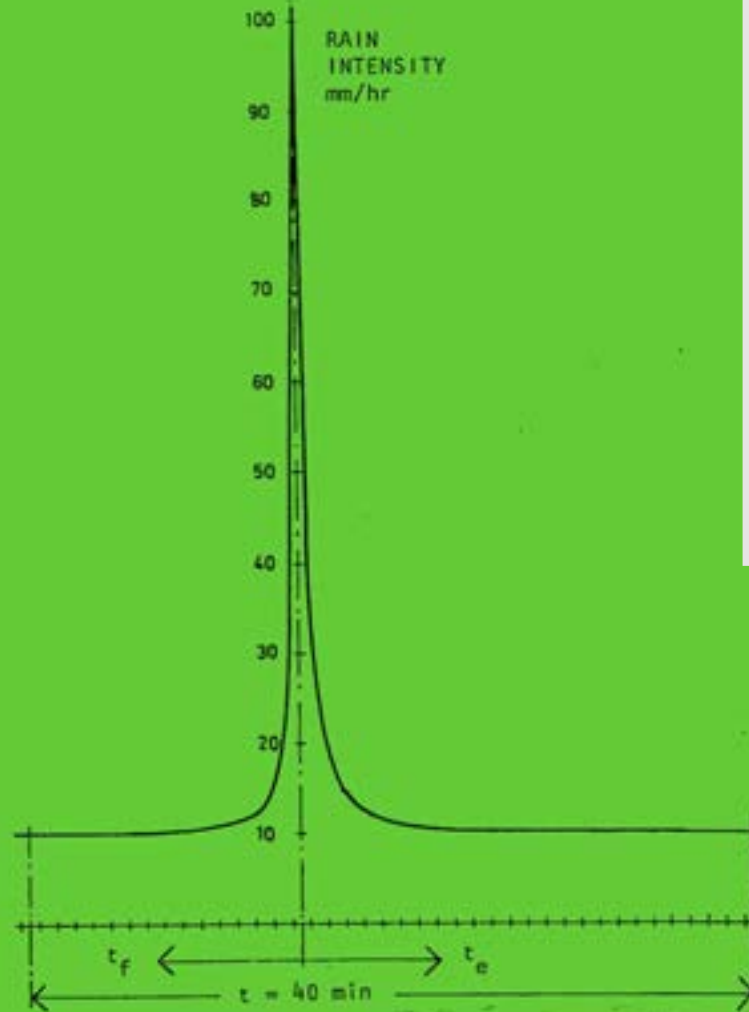
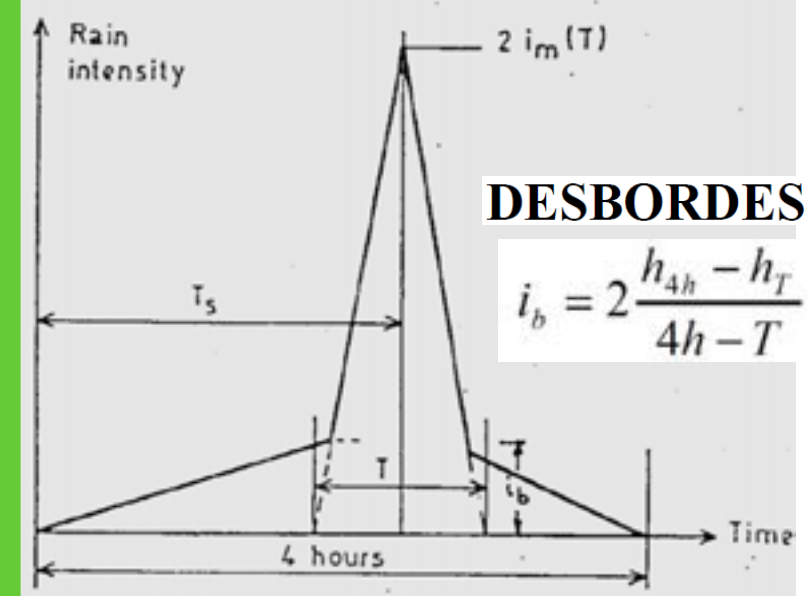


Figure 3. Design rainfall, suggested by Keifer & Chu (1957)



DESBORDES

$$i_b = 2 \frac{h_{4h} - h_T}{4h - T}$$

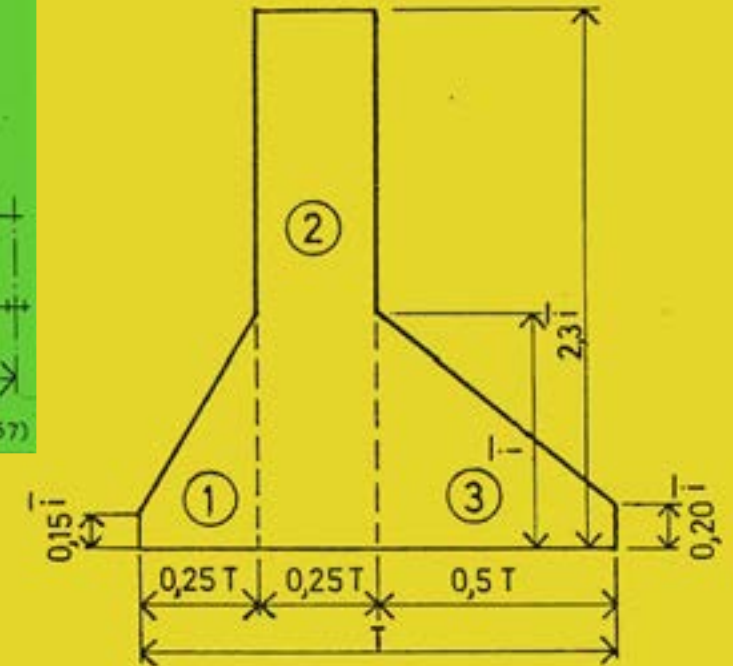
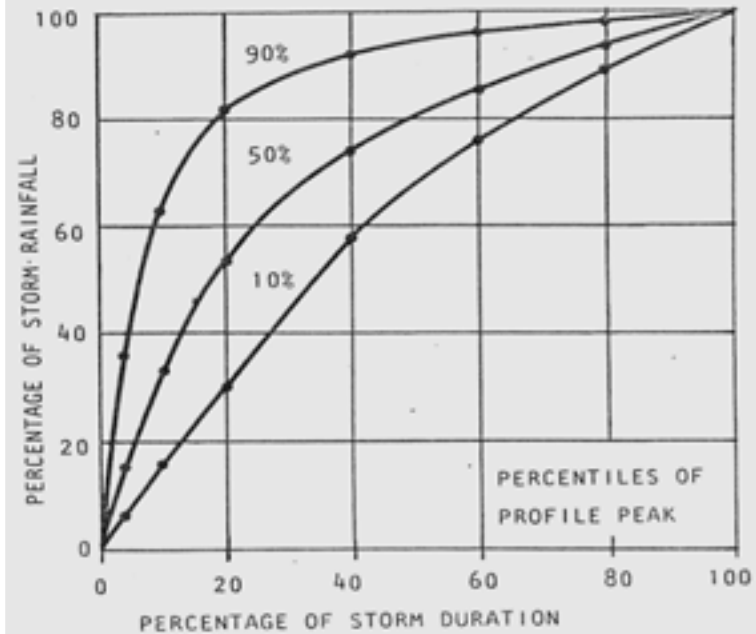


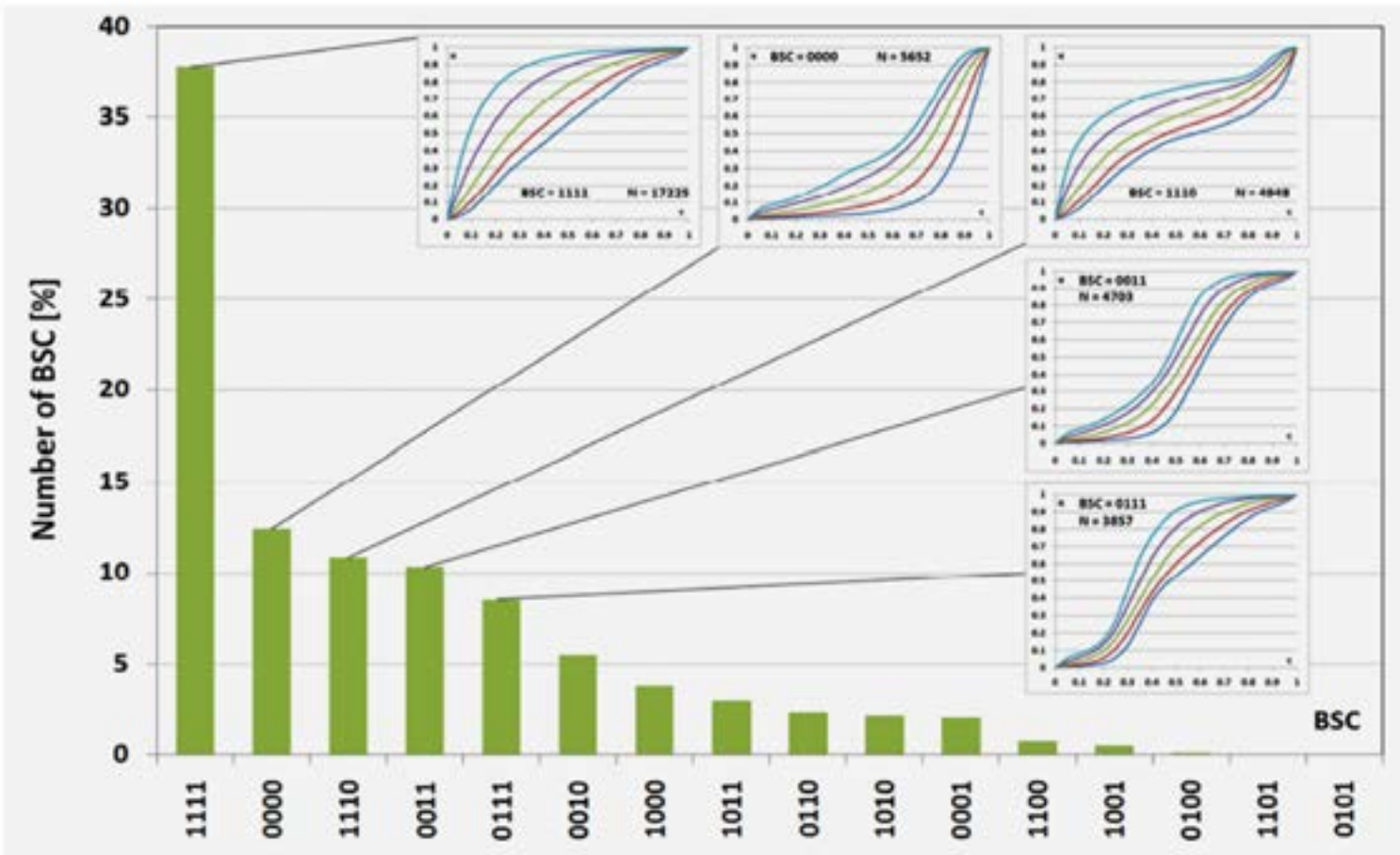
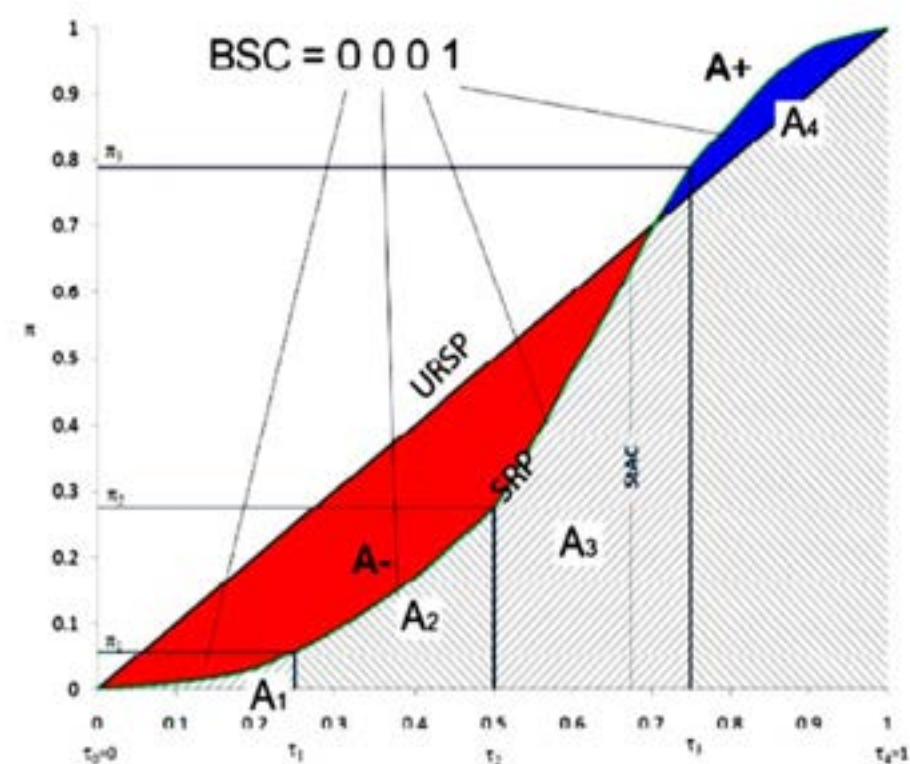
Figure 4. Design rainfall suggested by Sifalda (1973).



Metodo basato sulle piogge osservate:

profili di pioggia o mass-curve di Huff.

In Calabria (Colosimo, Mendicino e Terranova 1996, Terranova e Iaquinta 2011; Terranova e Gariano 2014)



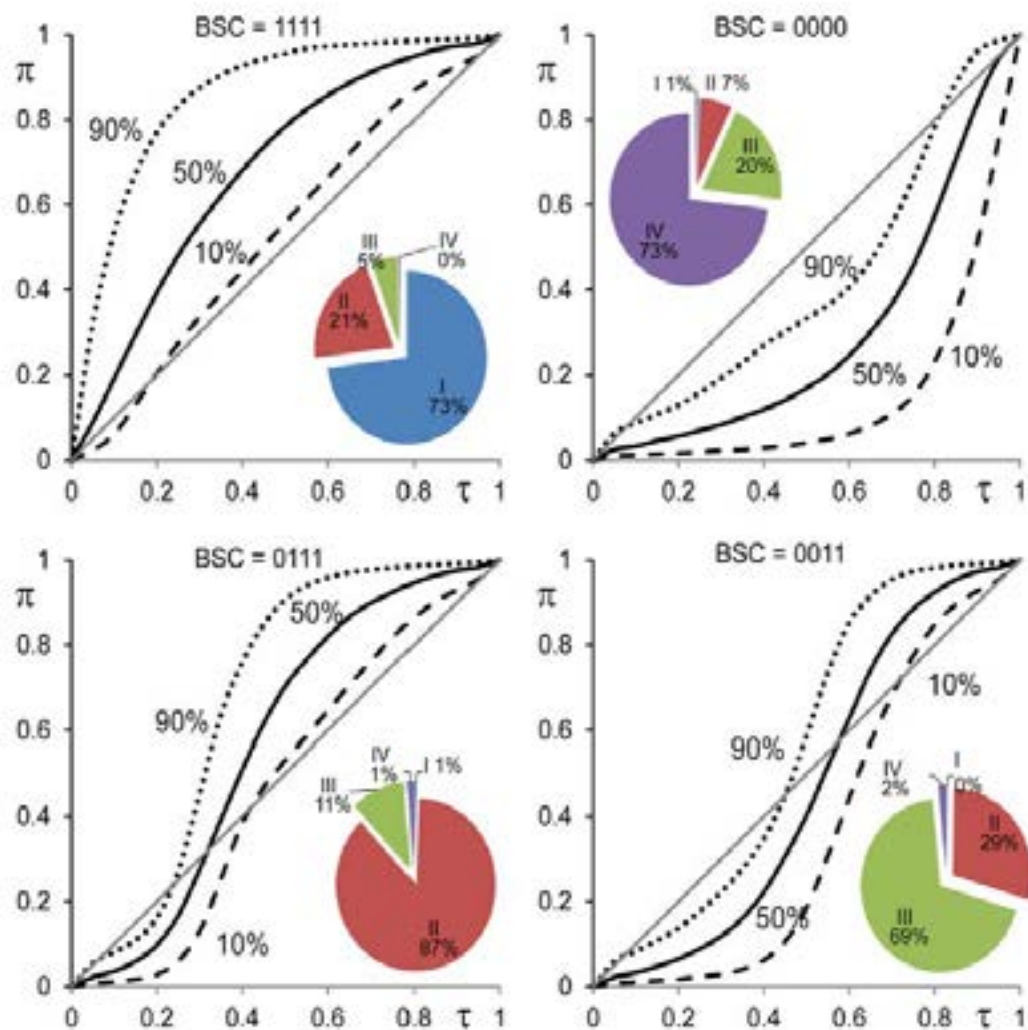
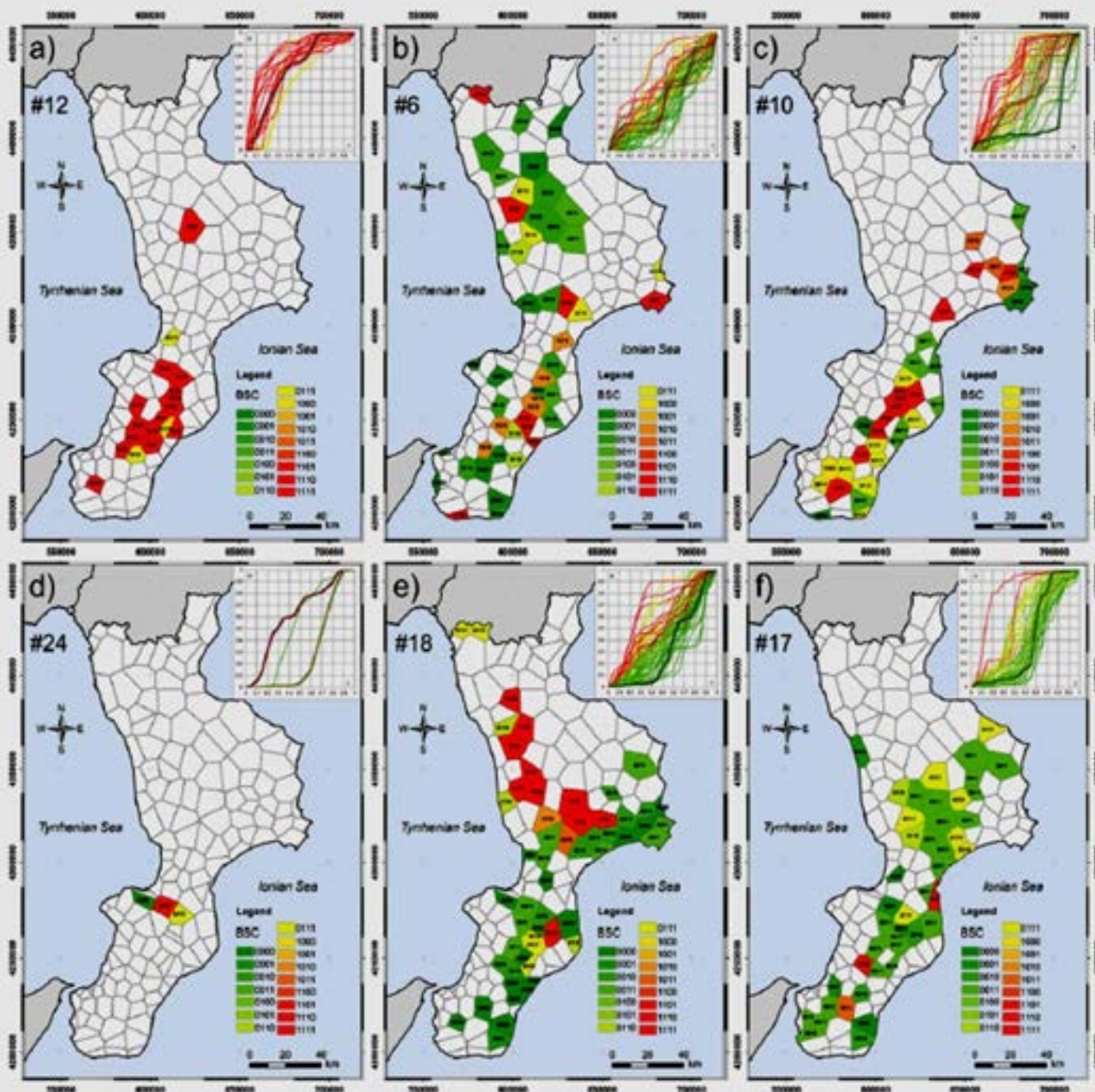
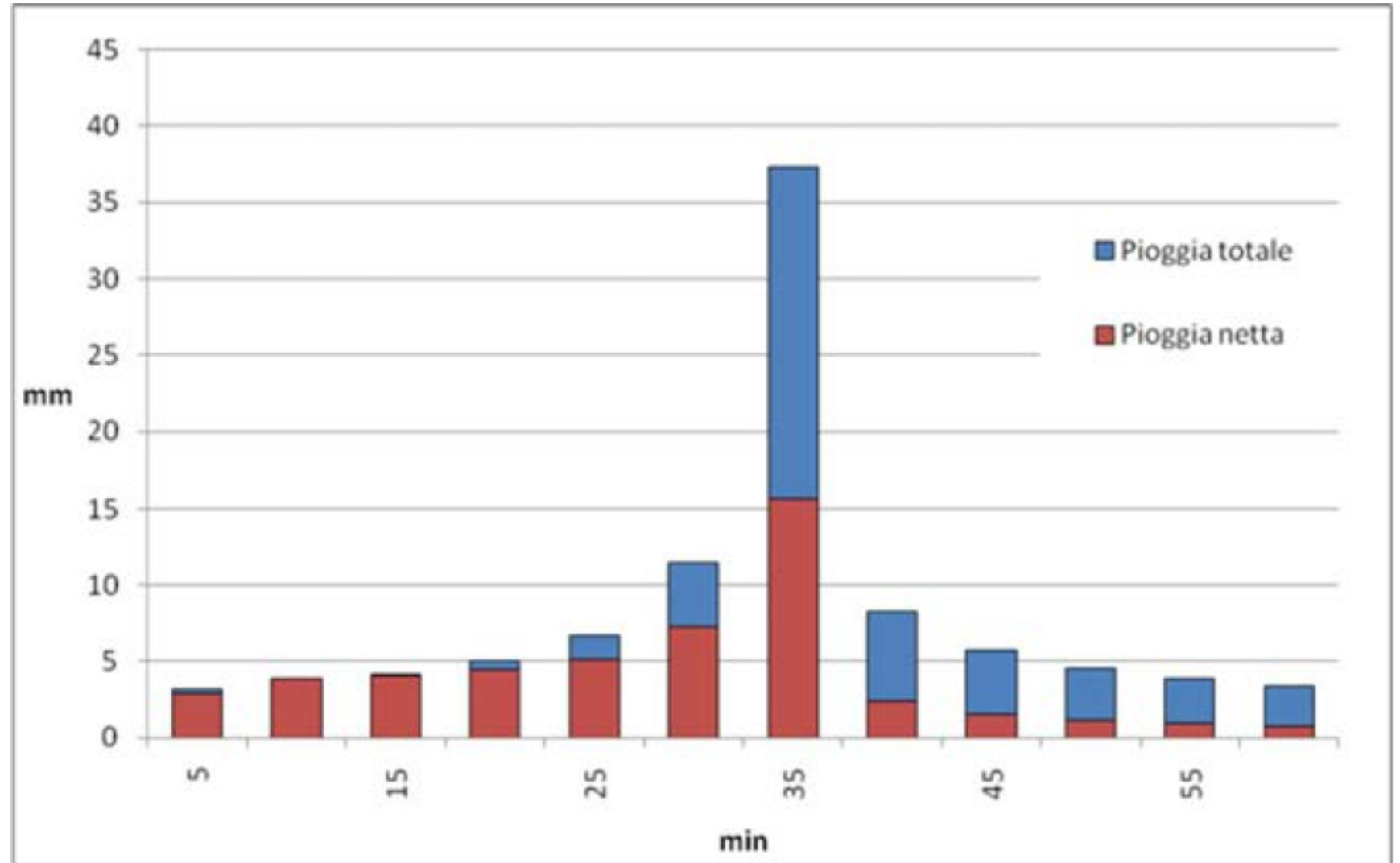


Figure 3. Standardized rainfall profiles (SRPs) relative to the 90th, 50th, and 10th fractiles of the four most numerous BSC in Calabria.

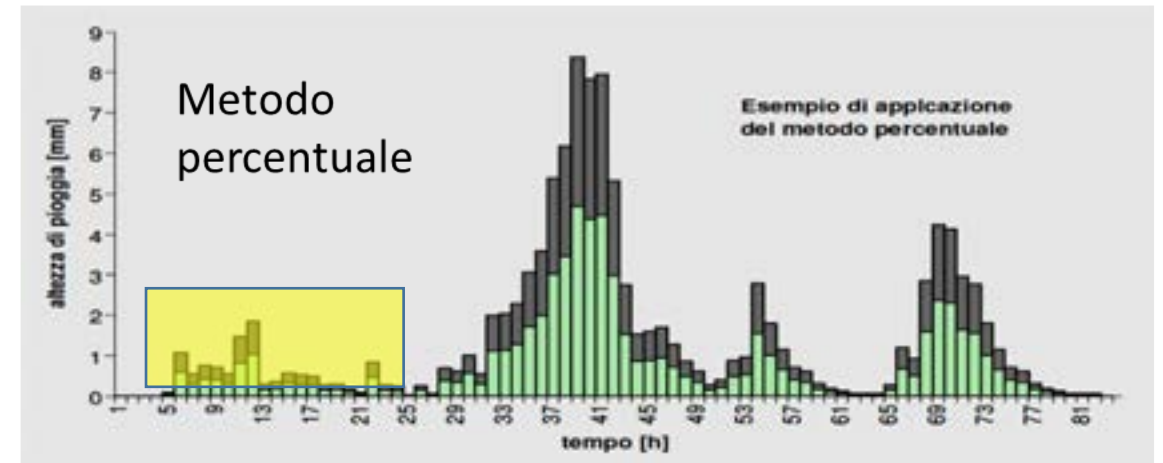
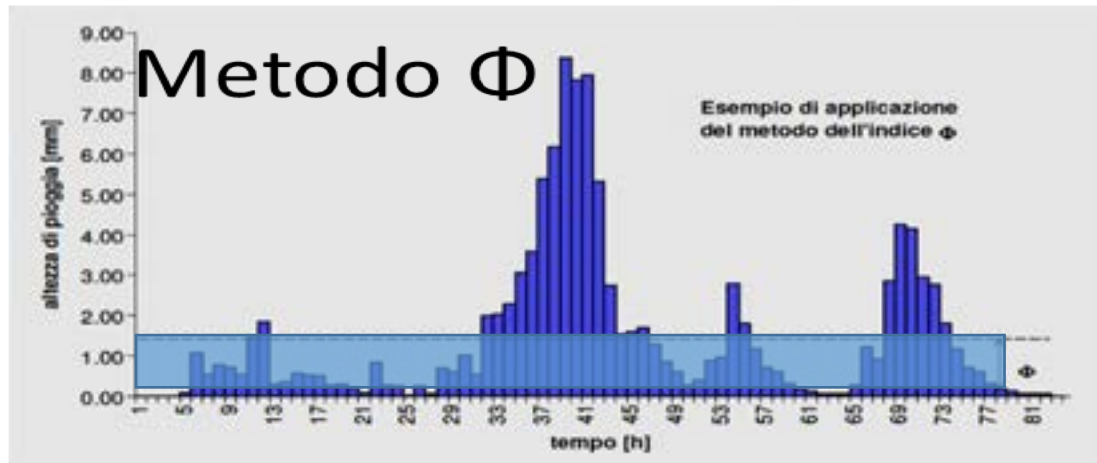


Design storm costruito con il metodo dell'*alternating block*

*Design storm dei
valori medi annui,
con ARF = 1 a
vantaggio di
sicurezza*



Pluviogramma efficace (o netto o superficiale)



Altro approccio (metodi fisici: Green-Ampt; Horton; ecc....qui non trattati)

Soil Conservation Service (SCS) – United States Department of Agriculture (1972)
noto come *Curve Number (SCS-CN)*

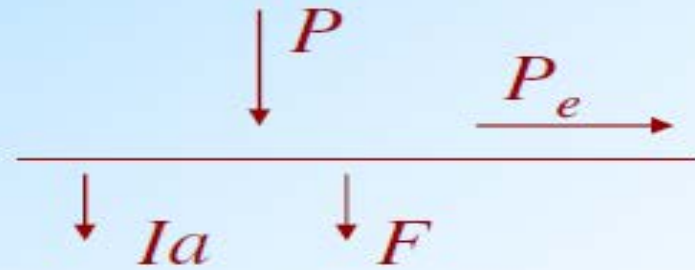
Tale modello usa l'equazione di continuità: $P_{netta} = Q = P - S'$

dove P_{netta} , P e S' rappresentano rispettivamente i volumi di pioggia netta (pari al deflusso superficiale Q), di pioggia totale e di pioggia persa a causa dell'infiltrazione per l'evento in esame.

Metodo del Curve Number (CN) -Soil Conservation Service (SCS)

- Ipotesi: il volume specifico di deflusso superficiale (pioggia efficace P_e) è proporzionale all'altezza di pioggia totale P depurata dall'assorbimento iniziale I_a nel rapporto tra volume specifico infiltrato F e volume specifico di saturazione del terreno S

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F}{S}$$



Finchè $P < I_a \rightarrow P_e = 0$

poiché $F = P - I_a - P_e$

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{P - I_a - P_e}{S}$$

Dopo semplici passaggi:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$P_{netta} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{per } P > I_a \qquad P_{netta} = 0 \quad \text{per } P \leq I_a$$

Generalmente si assume una perdita iniziale $I_a = 0.2S$;

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Il termine S viene parametrizzato in funzione della natura del terreno e dell'uso del suolo, attraverso il parametro CN (Curve Number)

$$S = S_o \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

$$0 < CN < 100$$

$$S_o = 254 \text{ mm} - 10 \text{ inches}$$

CN maggiori -> ridotta capacità di infiltrazione

Determinata quindi la relazione che lega il parametro I_a con S , il modello risulta monoparametrico con S , ovvero CN , unico parametro che descrive il fenomeno.

Il valore CN risulta legato a:

- tipologia idrologica del suolo;
- uso del suolo;
- grado di umidità del suolo prima dell'evento meteorico esaminato;
- stagione vegetativa.

Per quanto riguarda la tipologia idrologica del suolo, l'SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di un prolungato adacquamento (Tabella I).

CN= attitudine a produrre deflusso superficiale da valutare

a) sulla base delle caratteristiche geo-pedologiche

Gruppi di suolo

A – bassa capacità di deflusso (sabbia e ghiaia)
infiltrazione > 0.76 cm/h

B – moderata infiltrabilità $0.38 < \text{Inf.} < 0.76$ cm/h

C – bassa infiltrabilità $0.13 < \text{Inf.} < 0.38$ cm/h

D – capacità elevata deflusso (argilla) $0 < \text{Inf.} < 0.13$ cm/h

b) Sulla base della destinazione colturale e del tipo di sistemazione

Il CN va corretto sulla base della pioggia nei 5 gg. precedenti e del periodo vegetativo

A *Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.*

B *Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione*

C *Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.*

D *Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.*

Tabella I – Valori del CN in funzione del tipo idrologico di suolo e della tipologia di uso del suolo
CURVE NUMBER

<i>Tipologia di Uso del Suolo</i>	<i>Tipo idrologico di suolo</i>			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo</i>	62	71	78	81
<i>Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo</i>	72	81	88	91
<i>Terreno da pascolo: cattive condizioni</i>	68	79	86	89
<i>Terreno da pascolo: buone condizioni</i>	39	61	74	80
<i>Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco</i>	45	66	77	83
<i>Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco</i>	25	55	70	77
<i>Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area</i>	39	61	74	80
<i>Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50% ed il 75% dell'area</i>	49	69	79	84
<i>Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area</i>	68	79	86	89
<i>Zone industriali (area impermeabile 72%)</i>	81	88	91	93
<i>Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)</i>	89	92	94	95
<i>Zone residenziali, lotti fino a 500 m² (area impermeabile 65%)</i>	77	85	90	92
<i>Zone residenziali, lotti di 500-1000 m² (area impermeabile 38%)</i>	61	75	83	87
<i>Zone residenziali, lotti di 1000-1500 m² (area impermeabile 30%)</i>	57	72	81	86
<i>Zone residenziali, lotti di 1500-2000 m² (area impermeabile 25%)</i>	54	70	80	85
<i>Zone residenziali, lotti di 2000-5000 m² (area impermeabile 20%)</i>	51	68	79	84
<i>Zone residenziali, lotti di 5000-10000 m² (area impermeabile 12%)</i>	46	65	77	82
<i>Parcheggi, tetti, autostrade</i>	98	98	98	98
<i>Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio</i>	98	98	98	98
<i>Strade con letto in ghiaia</i>	76	85	89	91
<i>Strade battute in terra</i>	72	82	87	89

In relazione all'uso del suolo, sono state individuate un numero piuttosto elevato di classi che, incrociate con i quattro tipi di suolo permettono di individuare un valore di *CN* Cfr. Tab. I

Infine, per tener conto della condizione iniziale di umidità del terreno, l'SCS individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali di umidità (*AMC: Antecedent Moisture Condition*) con riferimento del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico e della stagione vegetativa (Tabella II).

Tabella II Classi AMC in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento e della stagione vegetativa

Classe AMC	Stagione di riposo della vegetazione	Stagione di crescita della vegetazione
I	< 12.7 mm	< 35.5 mm
II	12.7 – 28.0 mm	35.5 – 53.5 mm
III	> 28.0 mm	> 53.3 mm

A partire dal valore di CN_{II} , relativo alla condizione AMC_{II} , gli altri due possono essere ricavati mediante le relazioni:

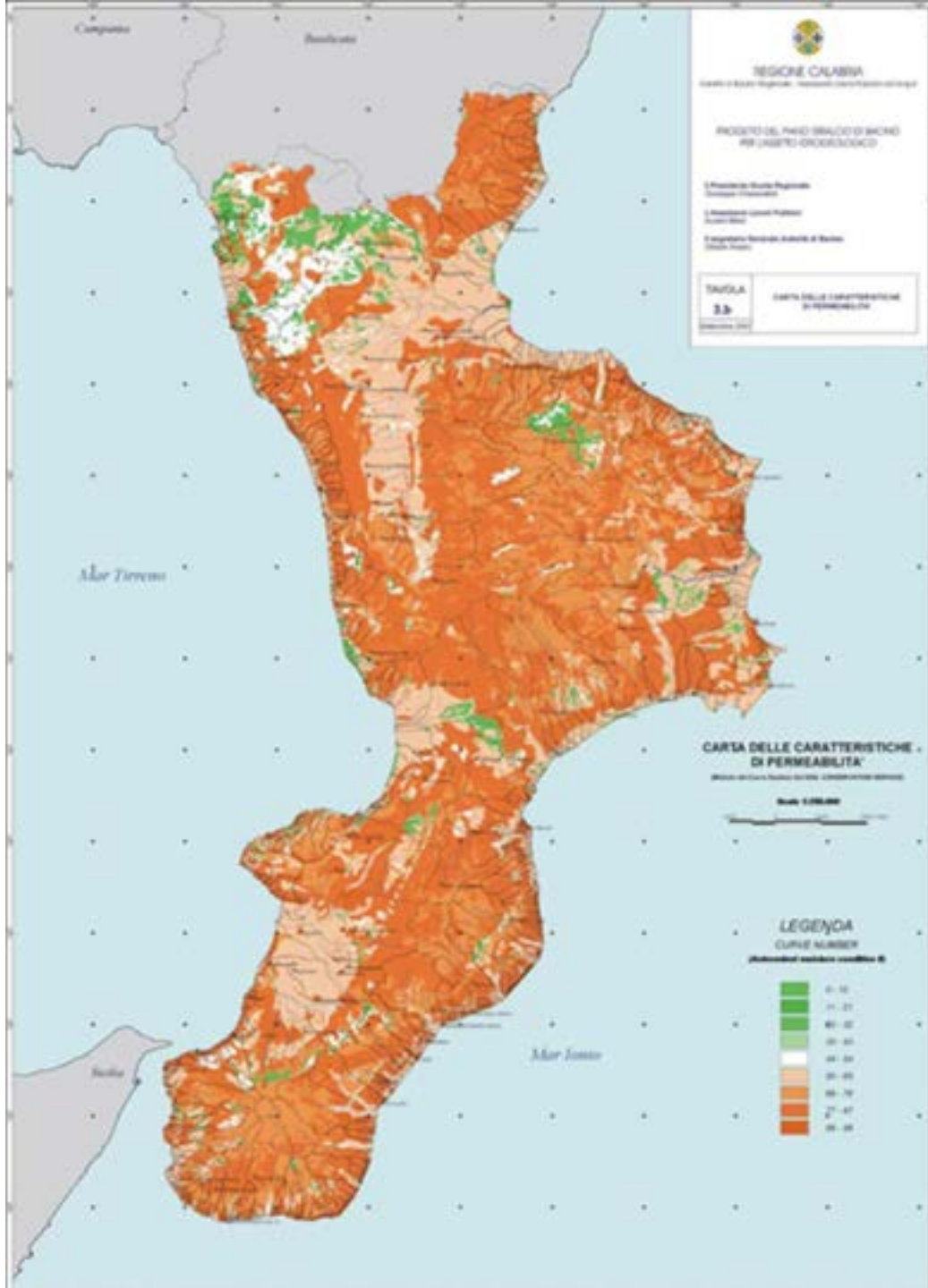
$$CN_I = \frac{4.2 \cdot CN_{II}}{10 - 0.058 \cdot CN_{II}} ; \quad \text{Eq. 1}$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}} . \quad \text{Eq. 2}$$

Noto tale valore è possibile quindi calcolare la massima latenza immagazzinabile nel terreno S e quindi la capacità di depurazione iniziale I_a .

Usufruendo di tale carta è possibile individuare un unico valore di CN-AMC_{II} per ogni bacino in esame. Nel caso in cui all'interno di un bacino ricadano più aree con diversi valori di CN, questa operazione può essere effettuata mediando – applicando dei pesi proporzionali alle aree A_i – i valori riportati in tale carta:

$$CN_{bacino} = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{A_{bacino}} \tag{4.1}$$



Le altezze di pioggia per un generico intervallo Δt restano perciò determinate sottraendo all'altezza di pioggia netta, P_{netta} , calcolata per l'istante $(t + \Delta t)$ quella calcolata per l'istante t . Invertendo l'Eq. 1 viene evidenziato come il valore di CN possa variare teoricamente tra 0 (corrispondente al limite superiore di S , pari ad infinito) e 100 (corrispondente al limite inferiore di S , pari a 0) e come, quindi, valori alti del parametro CN rappresentino le caratteristiche di assorbimento di superfici poco permeabili, mentre valori bassi indichino terreni ad alta permeabilità.

In questo metodo quindi i parametri da tarare opportunamente sono I_a e CN .

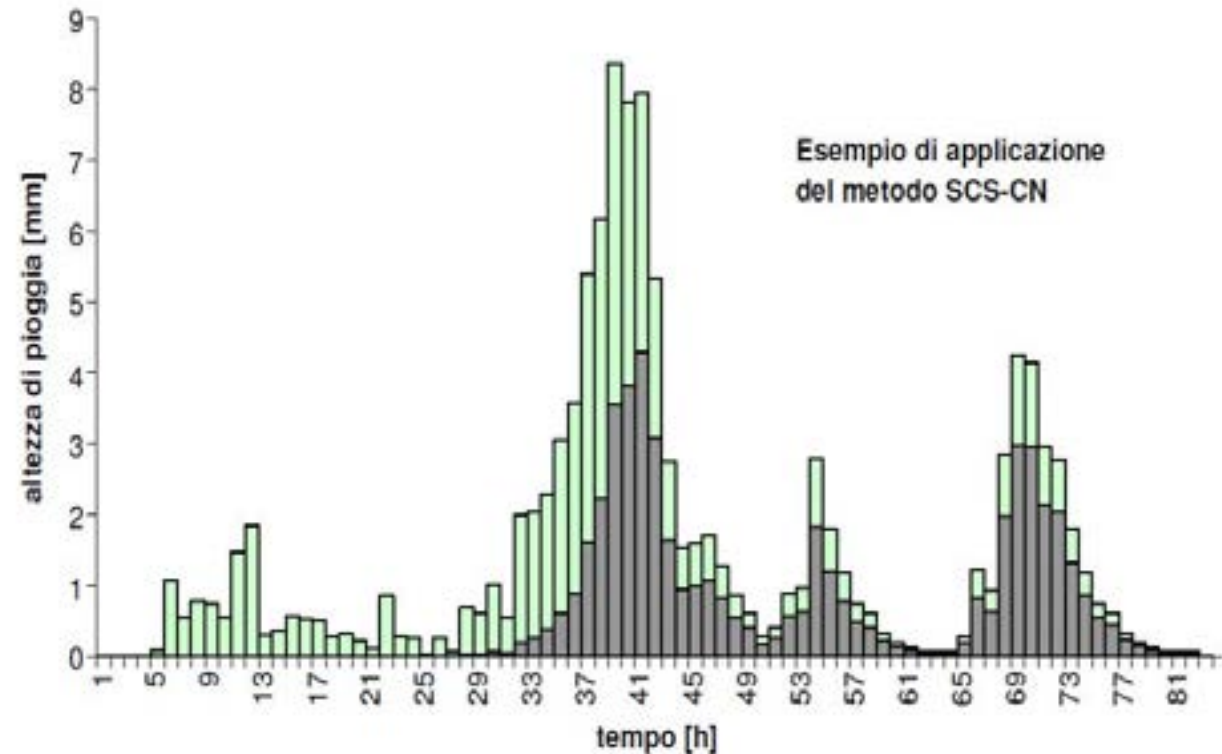
Il parametro di assorbimento iniziale I_a è di difficile taratura ma sperimentalmente correlato a S secondo la relazione proposta da SCS: $I_a = 0.2 \cdot S$.

Da successivi studi presenti in letteratura tale valore risulta poco affidabile, in particolare per valori di altezza di pioggia e di CN poco elevati. In tali casi viene proposta da Hawkins et al. (2002), a seguito di studi condotti su numerose serie di dati afflussi-deflussi, la relazione $I_a = 0.05 \cdot S$. Gli stessi autori propongono anche delle relazioni per determinare gli equivalenti valori di CN e S da utilizzare nel calcolo dei volumi di pioggia netta considerando I_a pari al 5% di S. La relazione risultante è pertanto la seguente:

$$CN_{0.05} = \frac{100}{1.879 \cdot \left(\frac{100}{CN_{0.2}} - 1 \right)^{1.15} + 1}$$

$$S_{0.05} = 1.33 \cdot S_{0.20}^{1.15}$$

in cui il parametro S è espresso in *inches*.



Nella presente applicazione è stato adottato il seguente criterio: è stata utilizzata la relazione $I_a = 0.05 \cdot S$ finché non viene superato un valore critico di precipitazione; oltre tale valore critico è stata adottata la relazione $I_a = 0.2 \cdot S$. Più in dettaglio, calcolati i pluviogrammi di progetto considerando ciascuna delle due le combinazioni di parametri – $(I_{0.05}, CN_{0.05}, S_{0.05})$ e $(I_{0.20}, CN_{0.20}, S_{0.20})$ – è stato scelto, per ciascun intervallo temporale, il valore di pioggia netta maggiore.

Scarso senso fisico, ma si opera a vantaggio di sicurezza, del resto c'è molta incertezza sulle percentuali di S da considerare.

Quindi, considerando una durata critica dell'evento di precipitazione pari al tempo di ritardo, è possibile costruire lo ietogramma netto grazie all'utilizzo del metodo del Curve Number, a partire dallo ietogramma totale ricavato, nel caso che non fossero disponibili osservazioni dirette, dalla curva di probabilità pluviometrica.

Operativamente è possibile procedere come segue:

1. Nota l'altezza di pioggia lorda $i(t + \Delta t)$ caduta nell'intervallo di tempo Δt , viene calcolata l'altezza di pioggia lorda totale caduta fino al generico istante $t + \Delta t$:

$$P(N \cdot \Delta t) = \sum_{i=1}^N i(j \cdot \Delta t), \text{ dove } N \cdot \Delta t = t + \Delta t \quad ; \quad (4.1)$$

2. Viene poi calcolata l'altezza di pioggia netta totale all'istante $t + \Delta t$, $P_{netta}(t + \Delta t)$, utilizzando le relazioni (4.77);
3. Viene infine ricavata l'altezza di pioggia netta $i_n(t + \Delta t)$ caduta nell'intervallo Δt :

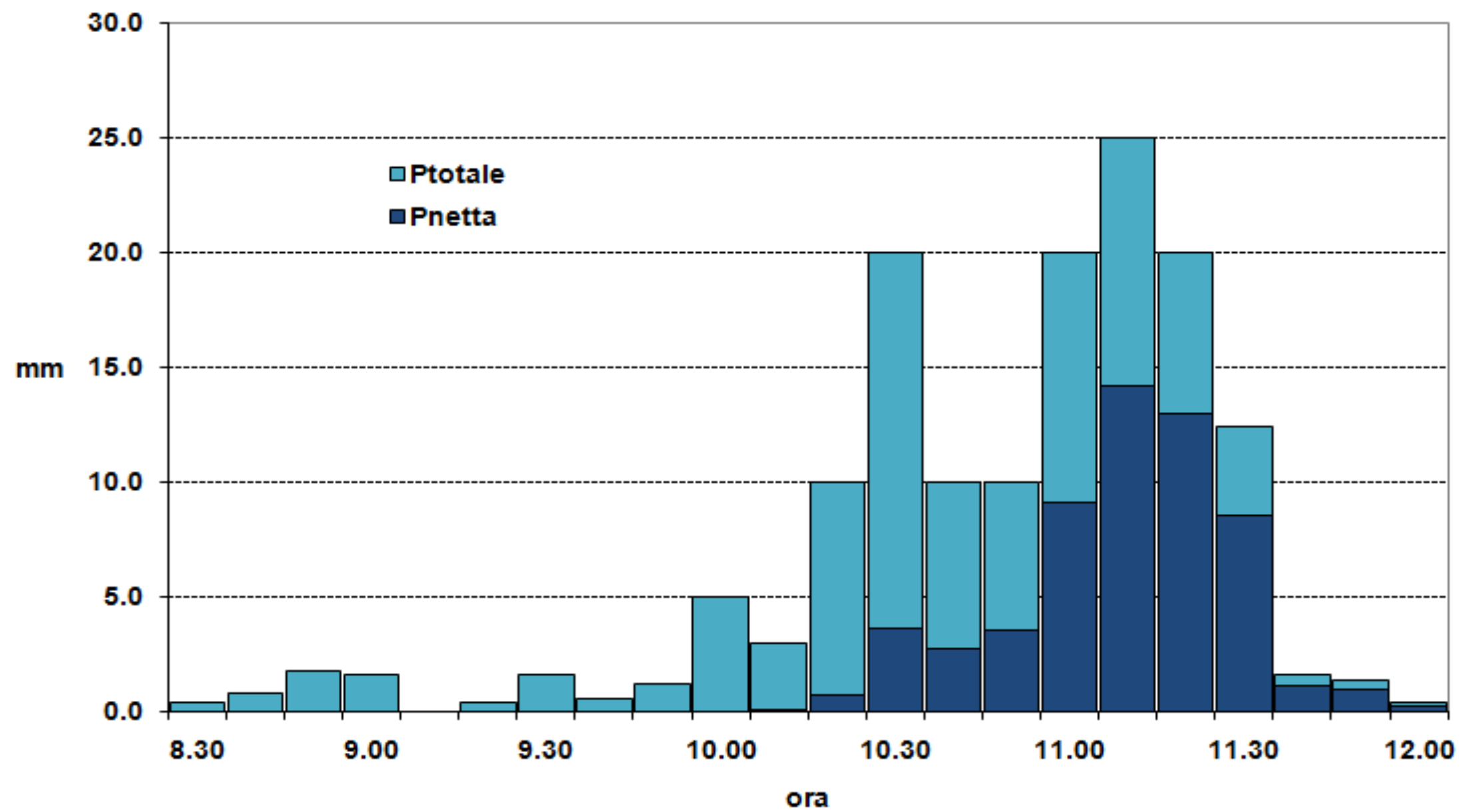
$$i_n(t + \Delta t) = P_{netta}(t + \Delta t) - P_{netta}(t)$$

I calcoli devono essere condotti per tutti i passi temporali dell'evento meteorico in esame.

$$P_{netta} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{per } P > I_a$$

$$P_{netta} = 0 \quad \text{per } P \leq I_a$$

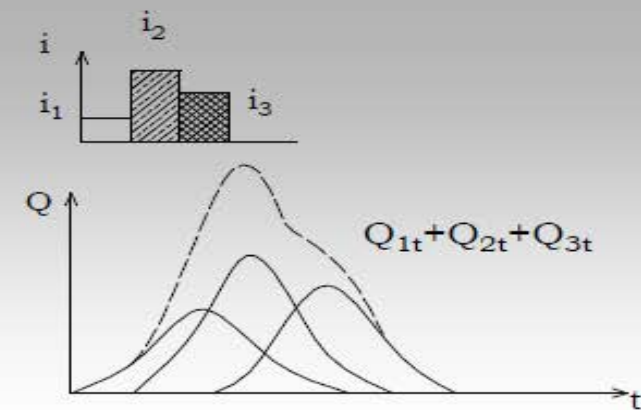
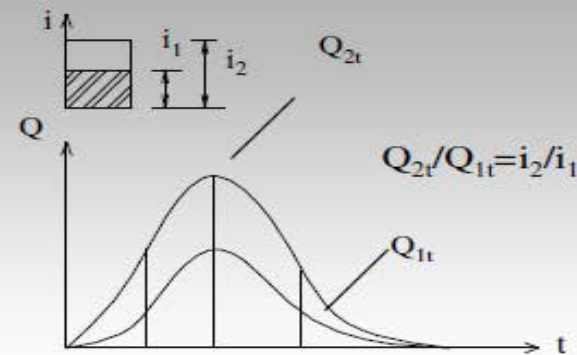
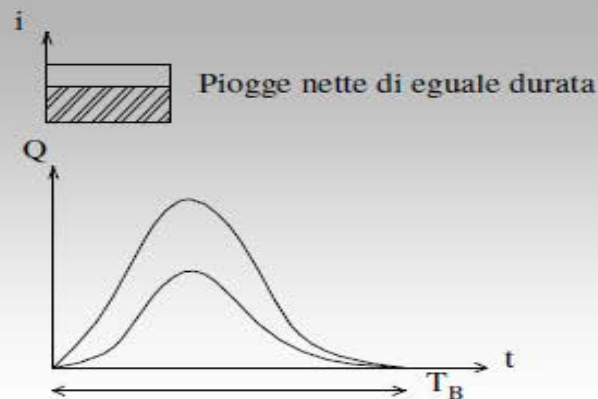
Eq. 4.77

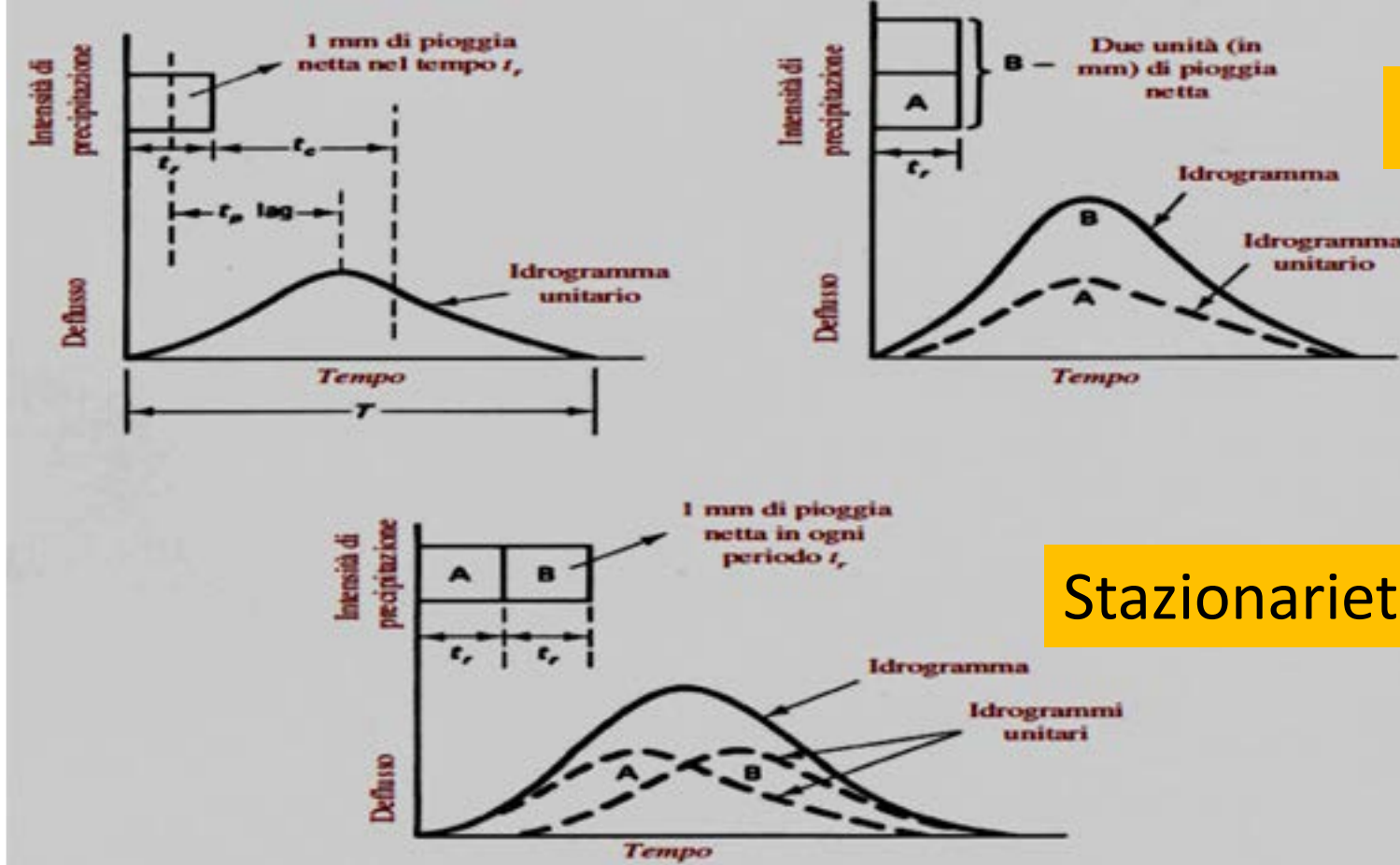


Determinazione dell'idrogramma di piena

I modelli di trasformazione a base concettuale e a valenza limitata predisposti per la stima delle portate di piena sono in genere modelli lineari e stazionari. Un sistema si dice lineare se vale la sovrapposizione degli effetti: se agli ingressi $p_1(t)$ e $p_2(t)$ corrispondono le uscite $q_1(t)$ e $q_2(t)$, allora all'ingresso $\alpha p_1(t) + \beta p_2(t)$ corrisponderà l'uscita $\alpha q_1(t) + \beta q_2(t)$. Un sistema si dice stazionario se dato un ingresso $p(t)$ cui corrisponde un'uscita $q(t)$ allora all'ingresso $p(t + T)$ corrisponderà l'uscita $q(t + T)$.

1. piogge della stessa durata producono deflussi della stessa durata, indipendentemente dall'intensità
2. per piogge della stessa durata, il rapporto tra i deflussi è uguale al rapporto tra le intensità
3. principio di sovrapposizione degli effetti





Linearità

Stazionarietà

La durata totale T dell'idrogramma così conseguito è pari alla somma della durata T_p dell'evento meteorico e della durata T_h dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH).

Il computo delle portate si effettua discretizzando l'integrale di convoluzione. Fissato un intervallo temporale di riferimento Δt , vengono subito caratterizzate le funzioni $q(t)$ e $p(t)$ ad intervalli equispaziati di Δt .

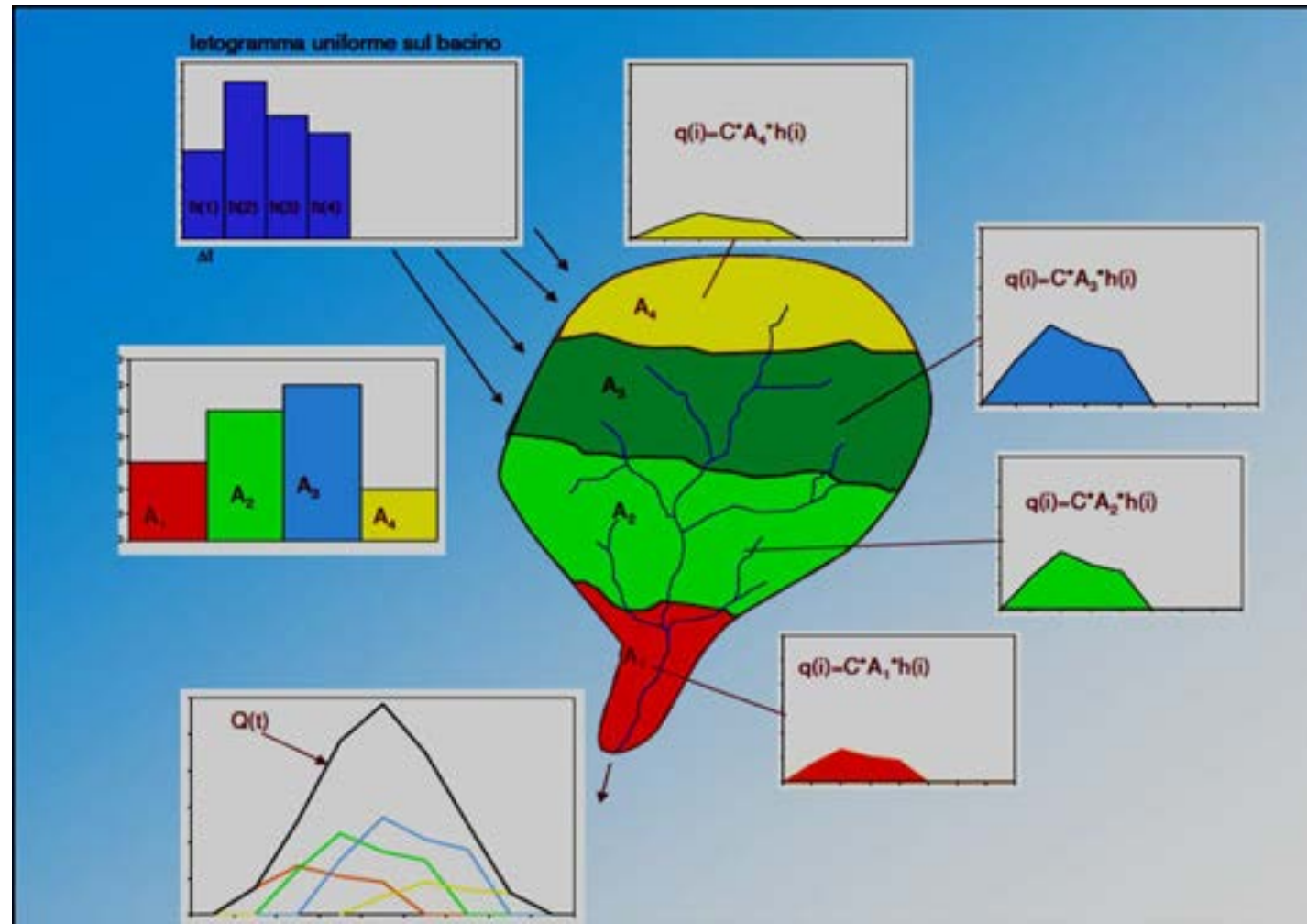
integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t dq(t) = \int_0^t h(t-\tau) p(\tau) d\tau$$

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_n \cdot U_{n-m+1}$$

In letteratura sono disponibili vari modelli che si distinguono per la diversa formulazione dell'operatore idrogramma unitario istantaneo.

Metodo della corrivazione:
primo esempio di IUH geomorfologico



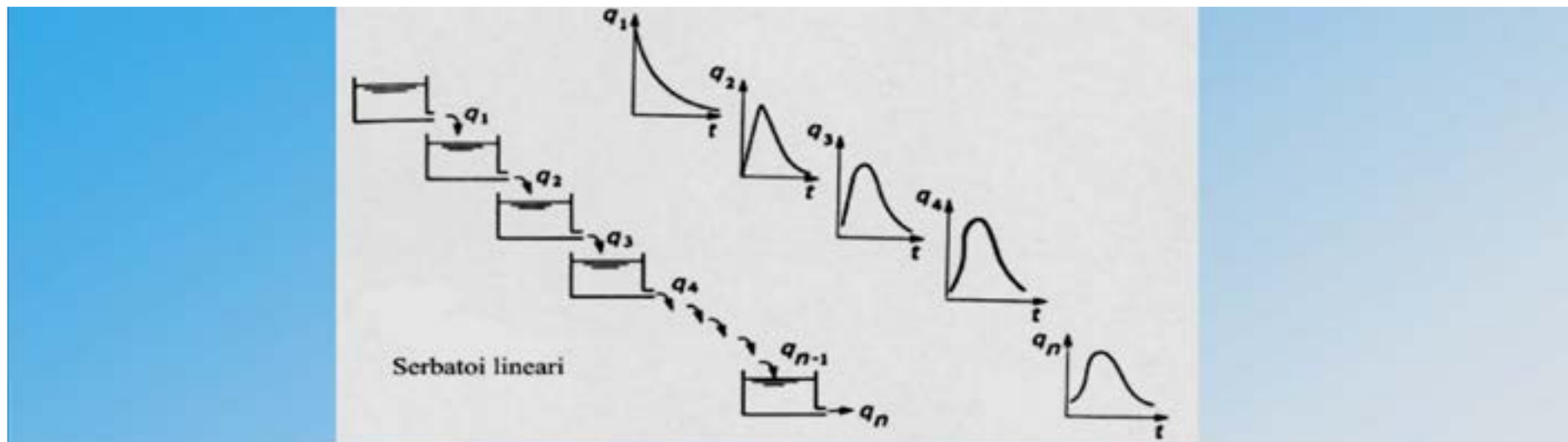
La funzione $h(t)$ (IUH di Nash) ha la seguente forma:

$$h(t) = \frac{1}{k(n-1)!} \left(\frac{t}{k} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}}$$

Eq. 1

7

L'uscita finale dal bacino si ricava ricorrendo all'integrale di convoluzione.



Risposta impulsiva n serbatoi lineari in serie → convoluzione di n funzioni esponenziali = funzione gamma

IUH:

$$h(t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k} \right)^{n-1} \frac{1}{\Gamma(n)} e^{-\frac{t}{k}}$$

Poiché la funzione gamma esiste anche per $n > 0$ non intero, si può estendere il modello al caso n reale, anche se perde di significato fisico.

Si può procedere

utilizzando i parametri del modello (n , numero di serbatoi e K , costante di invaso) ricavati dalle formule di Rosso (1984). Tali formule legano appunto i due parametri di Nash alla morfologia della rete di drenaggio, a partire dall'approccio geomorfologico proposto da Rodriguez Iturbe e Valdes (1979). L'espressione finale ricavata è la seguente:

$$n = 3.29 \cdot \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} \cdot R_L^{0.07}$$

Per la determinazione della relazione che lega il parametro di scala K ai rapporti di Horton, Rosso ha fatto ricorso alla seguente proprietà del modello di Nash:

$$n - 1 = t_p / K$$

L = lunghezza del ramo di più alto ordine gerarchico

Dove t_p rappresenta il tempo di picco dell'IUH di Nash. Sostituendo a t_p l'espressione ricavata da

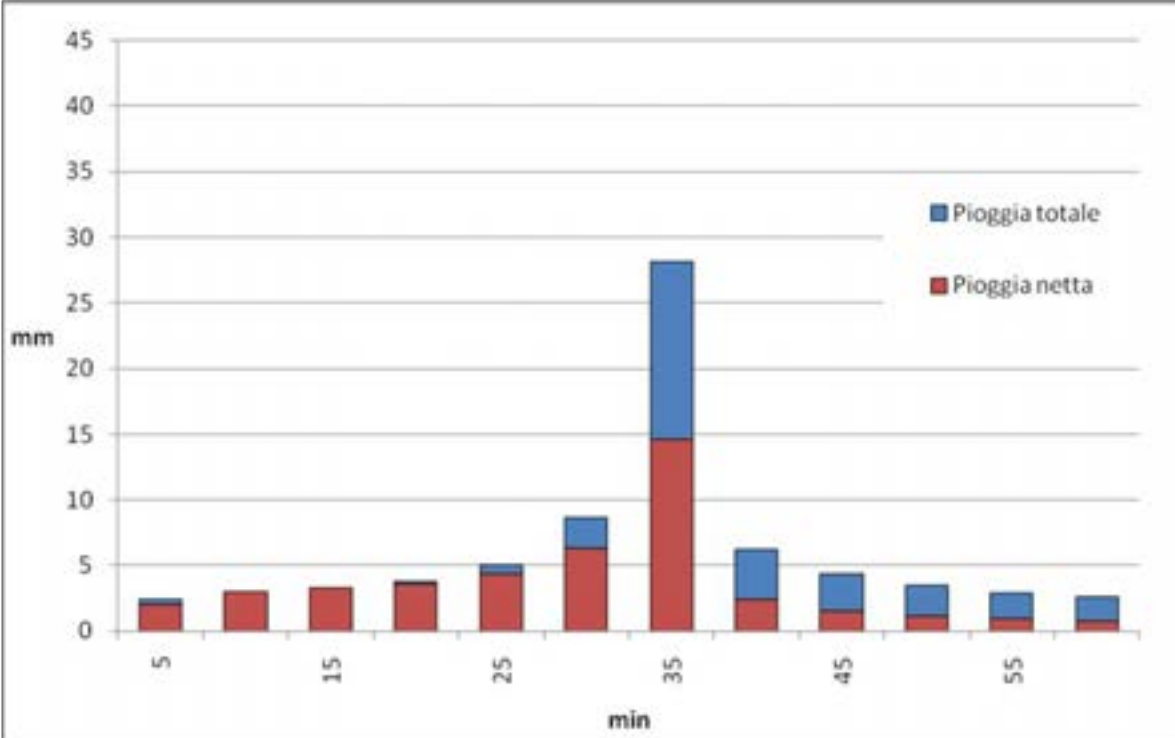
Rodriguez Iturbe e Valdes (1979) per il GIUH si ottiene:

$$K = 0.70 \left[\frac{R_A}{(R_B R_L)} \right]^{0.48} v^{-1} L$$

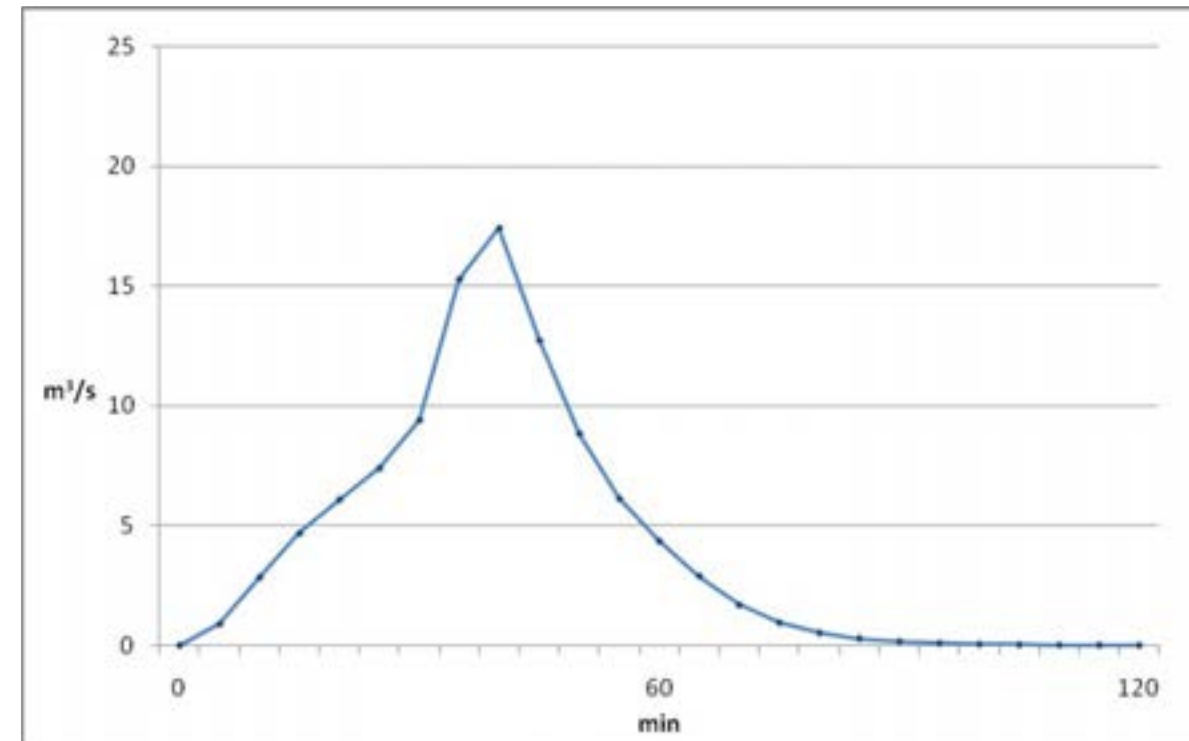
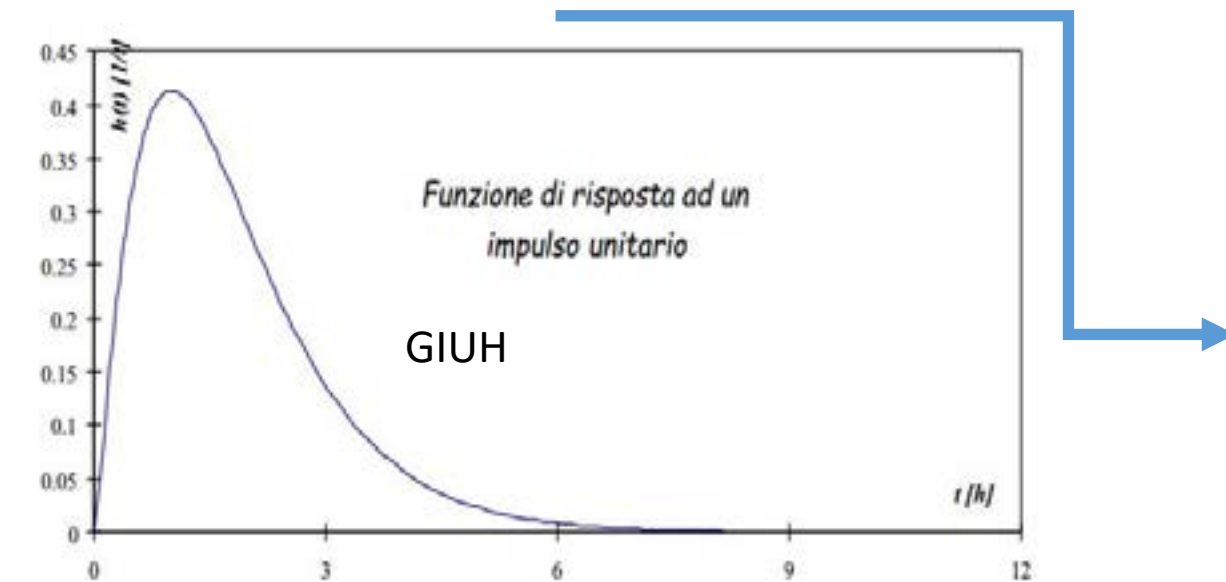
v indica un **parametro cinematico** rappresentativo della velocità media di propagazione dei deflussi nella rete idrografica. In generale v può essere assunto pari alla **velocità media spazio-temporale della corrente nell'asta principale in condizioni di *bankfull***;

in alternativa, nella pratica ingegneristica, la seconda relazione può essere sostituita (introducendo il tempo di ritardo al posto di quello di picco) con

$$k = t_L / n.$$



Noto il pluviogramma efficace di progetto per un certo tempo di ritorno e relativo alla durata di corrivazione, a questo punto, disponendo anche dell'IUH, può essere effettuata la convoluzione per ottenere l'idrogramma di progetto



Riassunto delle puntate precedenti

Geomorfometria del bacino: A , quote, pendenza, lunghezza aste, t_C , t_L , R_B , R_A , R_L , eccetera

Precipitazioni di forte intensità e breve durata + Analisi probabilistica (TCEV-VAPI, PAI o altro metodo) = curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno desiderato + ARF

Nel caso in cui $t_c < 1$ ora, occorre tenerne conto con una adeguata analisi: Bell; Ferreri&Ferro; Bodini&Gariano&Terranova

Pluviogramma di progetto: Alternating Block o altro o analisi degli storm in Calabria (Terranova&laquinta; Terranova&Gariano)

Pluviogramma netto: SCS-CN modificato per bacini piccoli e durate brevi da Terranova&Gariano in POR-lotto2

Se non si hanno osservazioni dirette: IUH geomorfologico con fattore dinamico stimato da t_L

Idrogramma di progetto: convoluzione

Oreste G. Terranova

*Pluviogrammi di progetto e idrogrammi di piena
in campo probabilistico*

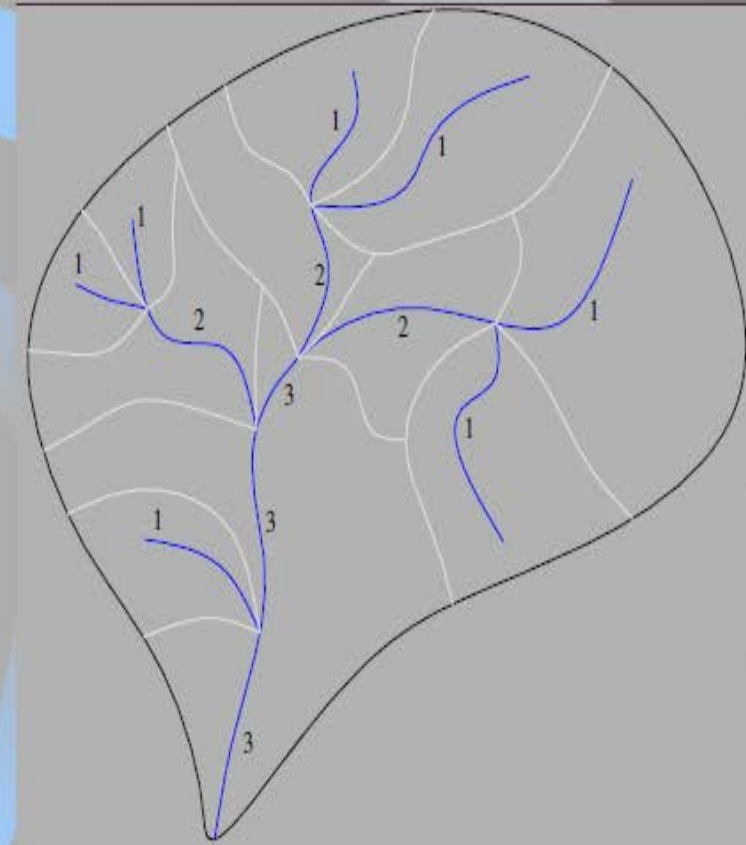
ESERCITAZIONE



Ogni anno leggiamo di abitati che le alluvioni travolgono a valle, di ponti che crollano, di montagne che si spaccano per effetto di erosioni secolari, di fiumare che allagano i còlti, di creature umane e di bestie che galleggiano sulla cresta dei torrenti. È una specie di catastrofe ecologica quella che si prospetta sulla Calabria, alla cui minaccia si deve porre riparo senza indugio se non si vuole che il suolo minato dalla vecchiezza, non protegga contro le frane e contro le piogge, non tenga più la trama come un vestito troppo liso. ([Leonida Rèpaci](#))

$$R_A = 4.74$$

Ovviamente possono essere utilizzati
DTM e strumenti GIS



Calcolo del tempo di corrivazione t_c (ore)

- Giandotti:
$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{h_{med}}}$$

$$(4 \cdot 30^{0.5} + 1.5 \cdot 13) / (0.8 \cdot 215^{0.5}) = 3.53 \text{ ore (3 ore e 32 minuti)}$$

- Aronica e Paltrinieri: $t_c = 4.57$ ore

$$M = 0.167; d = 0.960$$

$$t_c = \frac{\frac{1}{M d} \sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{H_m}}$$

La applichiamo anche fuori dal campo di calibrazione ($A < 10 \text{ km}^2$)

- Puglisi e Zanframundo: $t_c = 3.30$ ore

$$t_c = 6 \frac{L^{\frac{2}{3}} (\text{Km})}{d^{\frac{1}{3}} (\text{m})}$$

- Viparelli: $t_c = L/v = 13/3.6 = 3.61$ ore

- $t_c = k S^{1/2} = 0.675 \cdot 30^{1/2} = 3.70$ ore

In definitiva si può assumere
 $t_c = 3.50$ ore

Tempo di ritardo $t_L = t_r$

Proporzione con le isoipse: $t_L = (290 - 75) * t_C / 1015 = 0.75$ ore

SCS: $t_L = 0.6 * t_C = 2.10$ ore

Rosso: $2.303 (R_B/R_A)^{0.3073} R_L^{-0.41} L_{\Omega} / v = 7302/v$

che, con $v=1$ m/s, fornisce

$t_L = 2.02$ ore

In definitiva, assumiamo la media dei 3 valori,
 $t_L = 1.62$ ore

Curva di possibilità pluviometrica

Area omogenea C1 e quota di 290 m slm portano alla CPP in figura

$$ARF = 1$$

$$x(t) = 21.73 t^{0.4007}$$

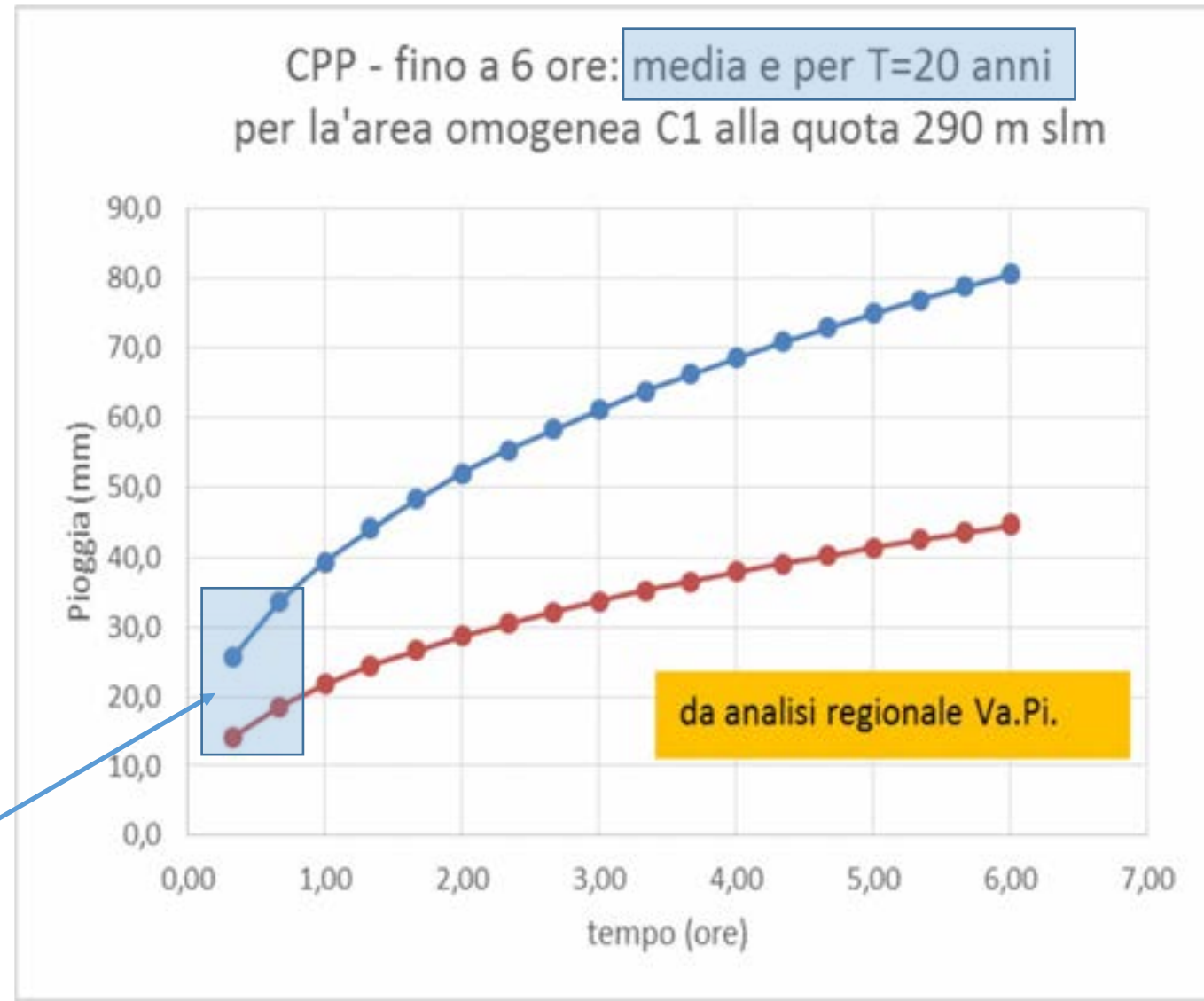
(valor medio dei massimi annuali delle piogge, in mm, di durata t)

I fattori moltiplicativi di crescita, X' , per la zona centrale, C, assumono i seguenti valori:

T 20, 50, 100, 200 anni

X' 1.81, 2.22, 2.54, 2.87

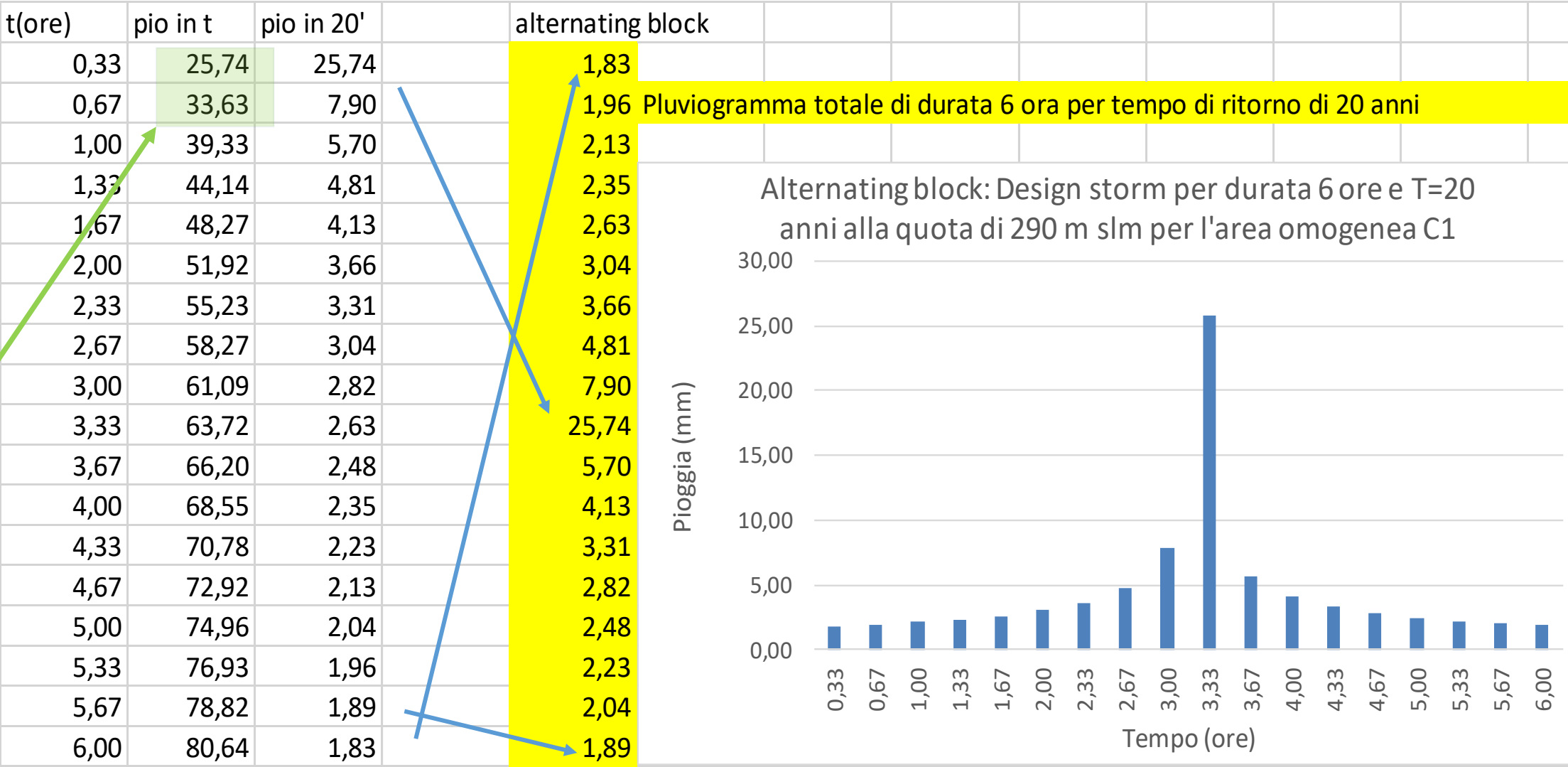
$$\frac{h_{d,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{d}{60} \right)^\alpha$$



Design storm

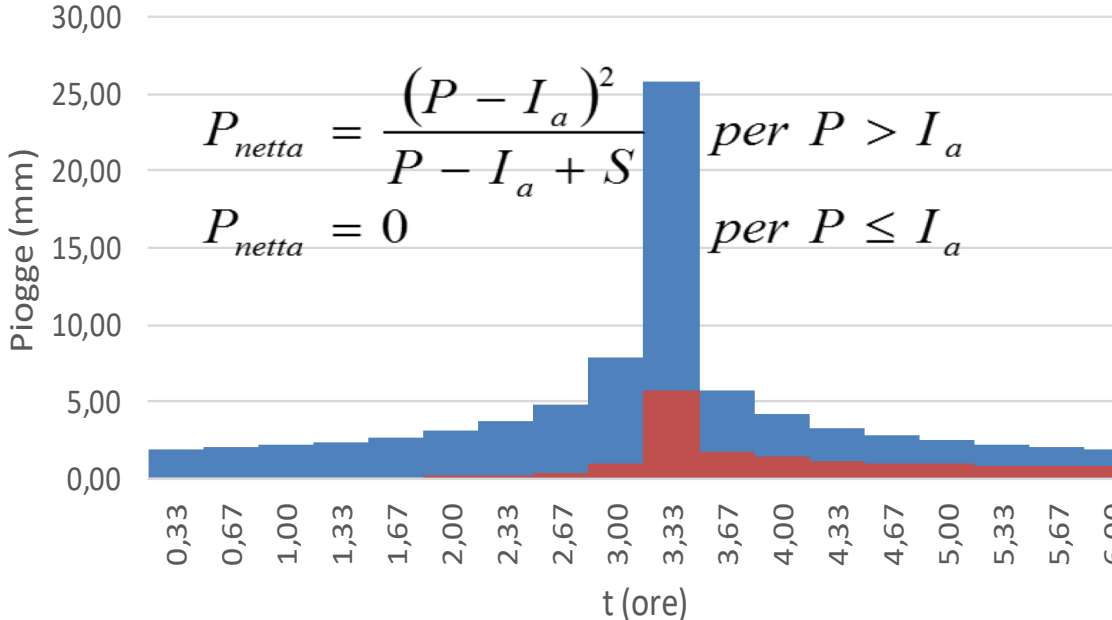
Durata maggiore di t_c e pari a 1.5-2.5 volte t_c , quindi assumiamo 6 ore.

Per avere un sufficiente dettaglio di tempo, assumiamo Δt pari a $20' = 0.333$ ore.



$$\frac{h_{d,T}}{h_{50,T}} = \left(\frac{d}{60}\right)^{\alpha}$$

Pluviogramma efficace: SCS-CN

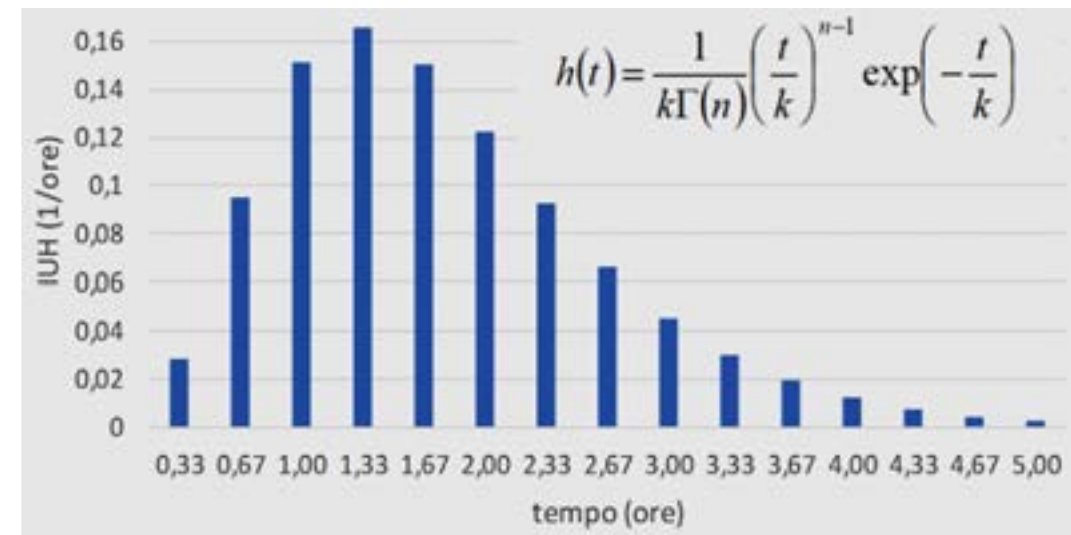
tempo	Ptot	Ptot cum	Pnet cum 02	Pnet cum 005	Max	Pnetta	Pluviogramma netto di progetto per durata 6 ore e tempo di ritorno 20 anni							
0,33	1,83	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00								
0,67	1,96	3,79	0,00	0,00	0,00	0,00	CN	65	S02	136,7692				
1,00	2,13	5,92	0,00	0,00	0,00	0,00			Ia02	27,35385				
1,33	2,35	8,27	0,00	0,00	0,00	0,00								
1,67	2,63	10,91	0,00	0,00	0,00	0,00	CN005	52,02777	S005	234,1603				
2,00	3,04	13,94	0,00	0,02	0,02	0,02			I005	11,70801				
2,33	3,66	17,60	0,00	0,14	0,14	0,12	<div>Design storm totale e efficace per T=20 anni, durata 6 ore, quota 290 m slm, area omogenea C1, Va.Pi.</div> <div><div>$P_{netta} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{per } P > I_a$$P_{netta} = 0 \quad \text{per } P \leq I_a$</div></div>							
2,67	4,81	22,41	0,00	0,47	0,47	0,32								
3,00	7,90	30,30	0,06	1,37	1,37	0,90								
3,33	25,74	56,04	4,97	7,06	7,06	5,69								
3,67	5,70	61,74	6,91	8,81	8,81	1,75								
4,00	4,13	65,87	8,46	10,17	10,17	1,37								
4,33	3,31	69,18	9,79	11,32	11,32	1,15								
4,67	2,82	71,99	10,98	12,34	12,34	1,02								
5,00	2,48	74,47	12,07	13,27	13,27	0,92								
5,33	2,23	76,71	13,09	14,12	14,12	0,86								
5,67	2,04	78,75	14,04	14,92	14,92	0,80								
6,00	1,89	80,64	14,94	15,68	15,68	0,76								

Calcolo di n e k dell'IUH di Nash con stima «geomorfologica» dei parametri

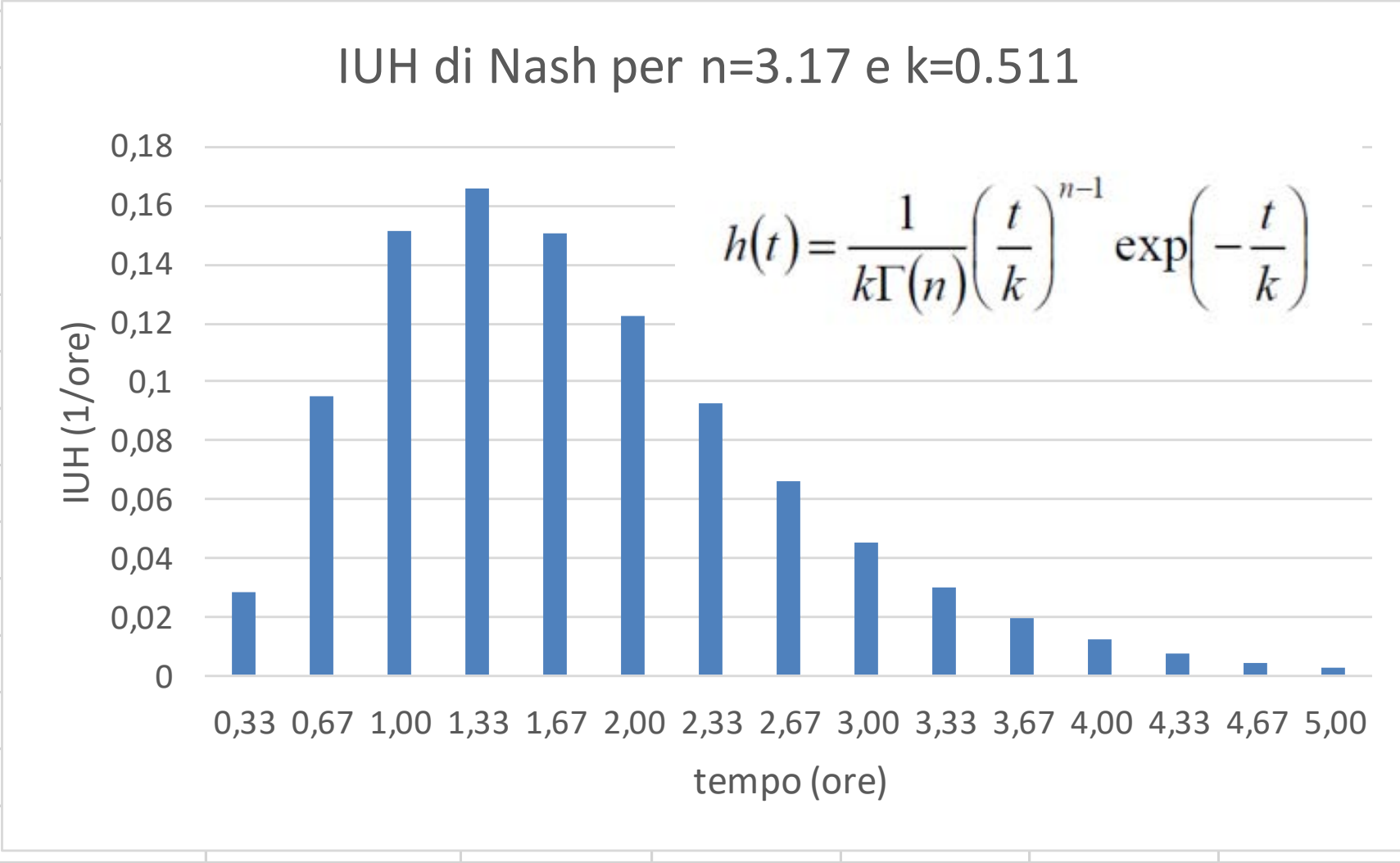
L'IUH è funzione di $R_A, R_B, R_L, L_\Omega, v$

In assenza di misure di eventi di piogge e conseguenti portate che permettano di calibrare un modello afflussi-deflussi, può essere adottato l'IUH di Nash con i parametri stimati in base a criteri geomorfologici

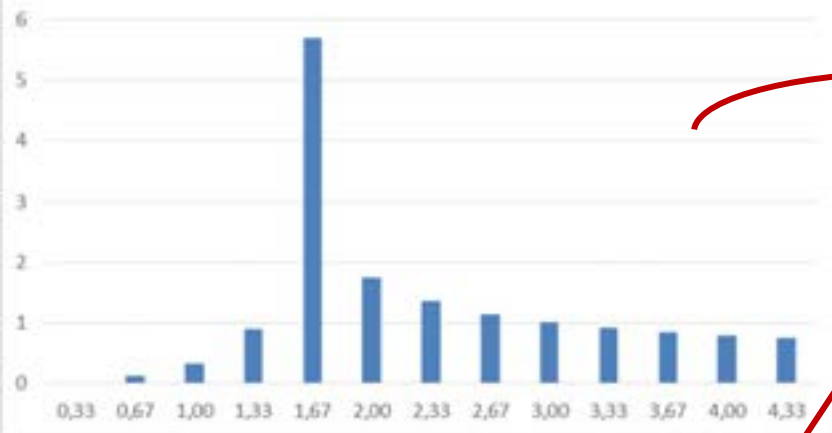
- $n = 3.29 * (4.11/4.74)^{0.78} 2.87^{0.07} = 3.17$
- $k = t_L/n = 1.62/3.17 = 0.511$



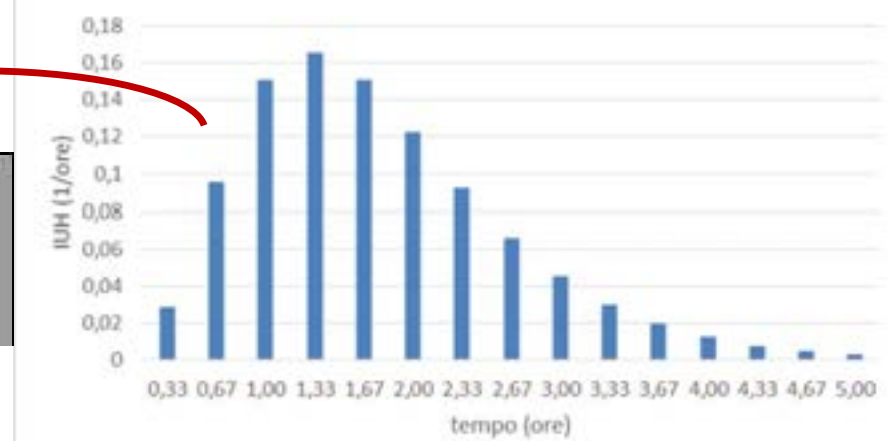
t (ore)	iuh(t)		delta t	n	k	Gamma(n)	1/(K Gamma)
0	0	iuh discreto	0,3333333333	3,17	0,511	2,353	0,832
0,33	0,171424	0,028570621					
0,67	0,401799	0,095537129					
1,00	0,504464	0,151043771					
1,33	0,490512	0,165829286					
1,67	0,414617	0,150854898					
2,00	0,320755	0,122562056					
2,33	0,233427	0,09236367					
2,67	0,162441	0,065978034					
3,00	0,109245	0,045280989					
3,33	0,071515	0,030126603					
3,67	0,045806	0,019553484					
4,00	0,028815	0,012436905					
4,33	0,017855	0,007778433					
4,67	0,010922	0,004796202					
5,00	0,006607	0,00292158					
		0,995633661					



Pluviogramma netto di progetto T=20 anni



IUH di Nash per n=3.17 e k=0.511



$$Q(t) = \int_0^t i(\tau) \cdot u(t - \tau) d\tau$$

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_n \cdot U_{n-m+1}$$

Idrogramma di progetto per T=20 anni

