

Dati per la simulazione



STAZIONE DI PONTEBBA

Pag.30

GUMBEL - Altezze pluviometriche e parametri curve di possibilità pluviometrica (n,a)

anni	1h	3h	6h	12h	24h	n	a
2	31	52	72	99	132	0.2330	35.8
5	43	76	106	143	184	0.2426	51.3
10	52	92	128	172	219	0.2463	61.5
15	57	101	141	189	238	0.2479	67.3
20	60	108	149	200	252	0.2488	71.3
30	65	117	162	216	271	0.2500	77.0
50	70	128	177	237	295	0.2512	84.1
100	78	143	198	264	327	0.2526	93.6
200	86	158	218	291	359	0.2537	103.1
500	97	177	246	326	401	0.2548	115.6
1000	104	192	266	353	433	0.2556	125.1

GEV - Altezze pluviometriche e parametri curve di possibilità pluviometrica (n,a)

anni	1h	3h	6h	12h	24h	n	a
2	29	47	64	88	123	0.4532	28.7
5	41	69	93	125	171	0.4445	41.7
10	51	88	120	161	213	0.4476	52.7
15	57	102	140	187	241	0.4517	60.0
20	62	113	156	208	263	0.4555	65.6
30	69	130	181	242	297	0.4619	74.3
50	79	155	219	294	346	0.4714	86.5
100	94	197	285	384	424	0.4865	105.9
200	110	249	371	504	521	0.5037	129.3
500	136	341	528	727	682	0.5290	167.6
1000	160	432	691	961	837	0.5496	203.4

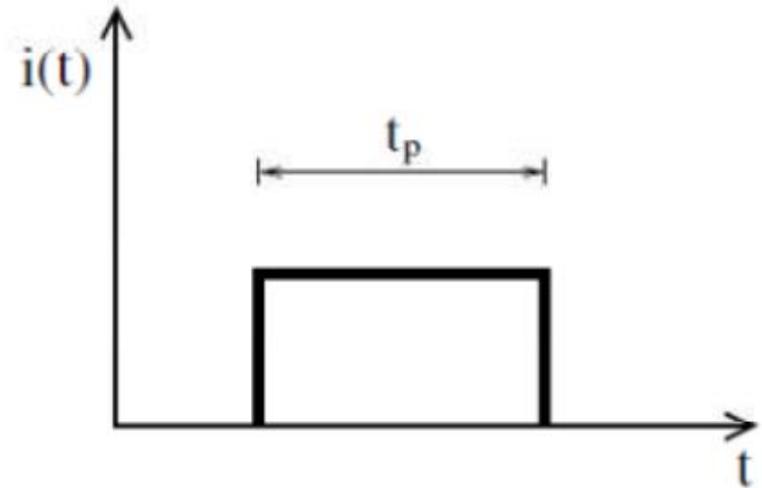


Ietogramma rettangolare o costante

Rappresenta una pioggia ad intensità costante per tutta la sua durata.

Occorre assegnare:

- il tempo di ritorno T
- la durata della pioggia t_p
(durata evento critico)

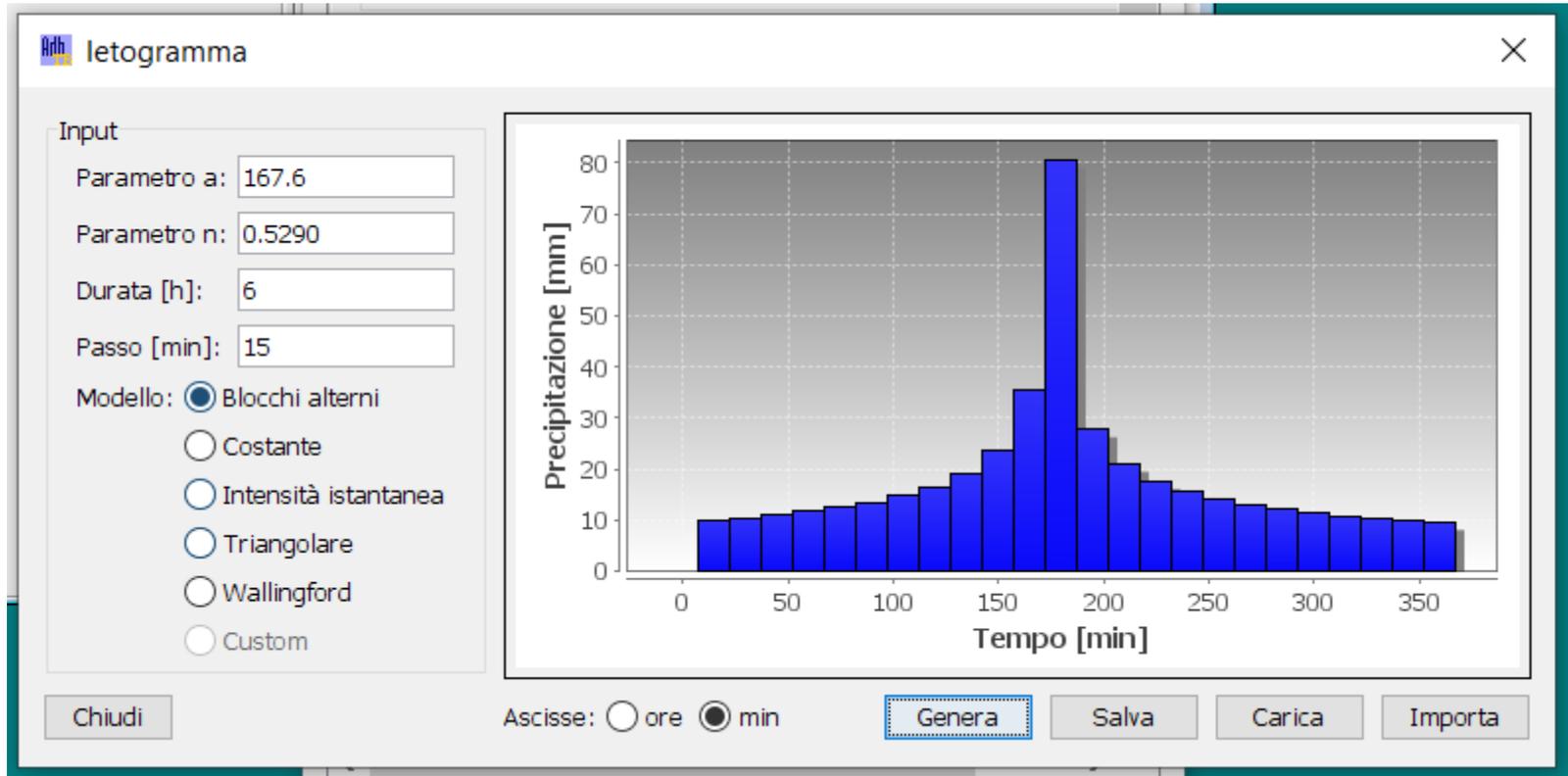


⇒ dalle curve di possibilità pluviometrica valide nel territorio in esame si deduce l'intensità media dell'evento critico di durata t_p e tempo di ritorno T assegnati. Tale intensità viene tenuta costante per tutta la durata dell'evento.

È probabilmente il più diffuso per la sua grande semplicità, ma presenta i seguenti limiti:

- occorre determinare a priori la durata di pioggia dell'evento critico,
- l'intensità è nulla prima e dopo l'evento di durata critica, quindi il volume complessivo risulta sottostimato rispetto agli eventi reali,
- non riproduce la variabilità ed i picchi di intensità durante l'evento.

Con $Tr=500$ e parametri ottenuti dal modello GEV di distribuzione di probabilità dei valori estremi

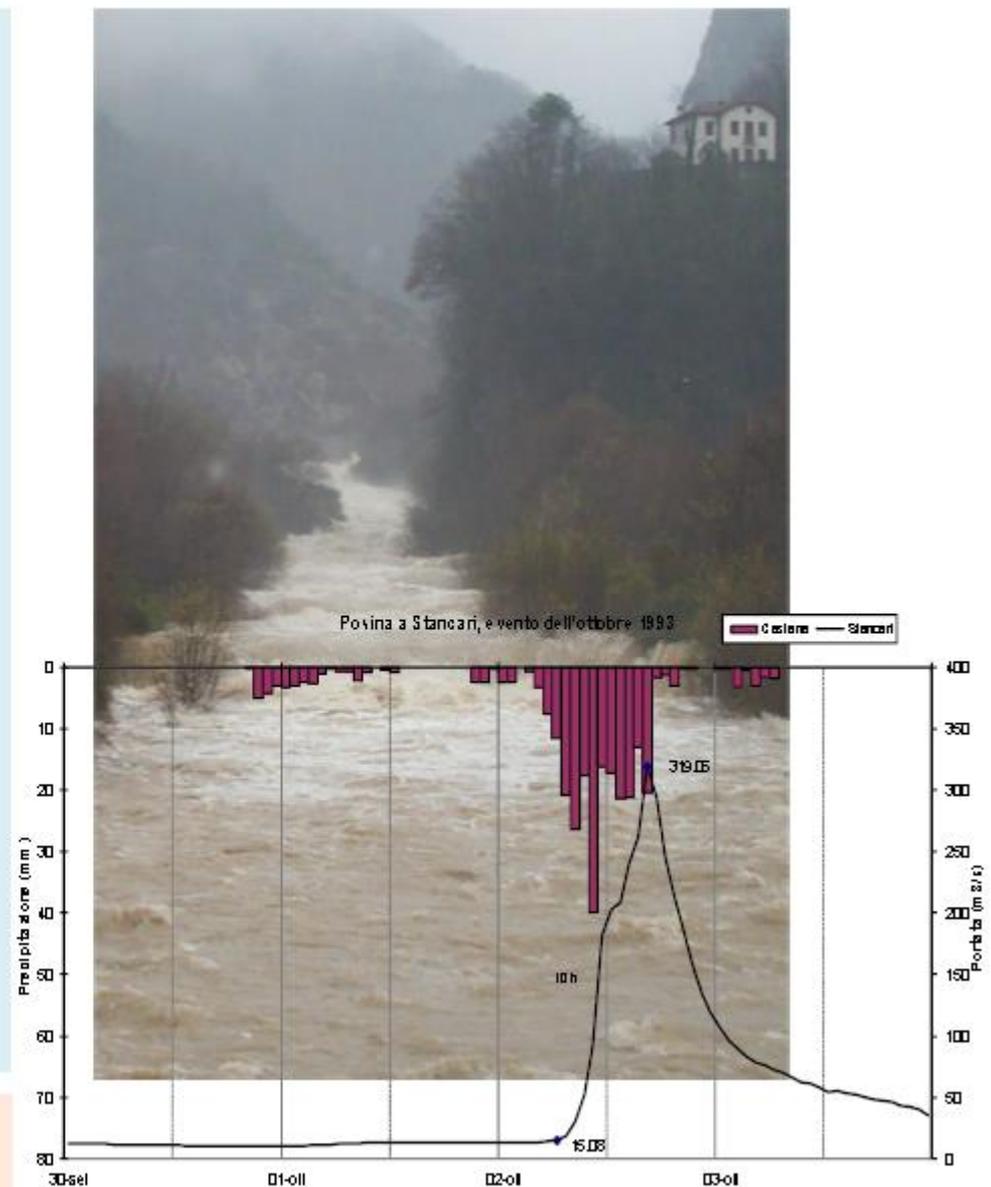


Modellazione dell'idrogramma di piena

Dalla Fontana, 2014

Per il calcolo dell'idrogramma di piena si fa riferimento a modelli matematici che descrivono in modo semplificato il fenomeno focalizzando l'attenzione su due momenti concettuali:

- l'effetto complessivo di scambio a livello del suolo (intercettazione, separazione tra ruscellamento superficiale, deflusso ipodermico e deflusso di base, perdite dovute a percolazione ed evapotraspirazione);
- la propagazione dei deflussi (superficiale, ipodermico e di falda) verso valle.



I modelli più semplici descrivono solo i processi principali

Modellazione dell'idrogramma di piena

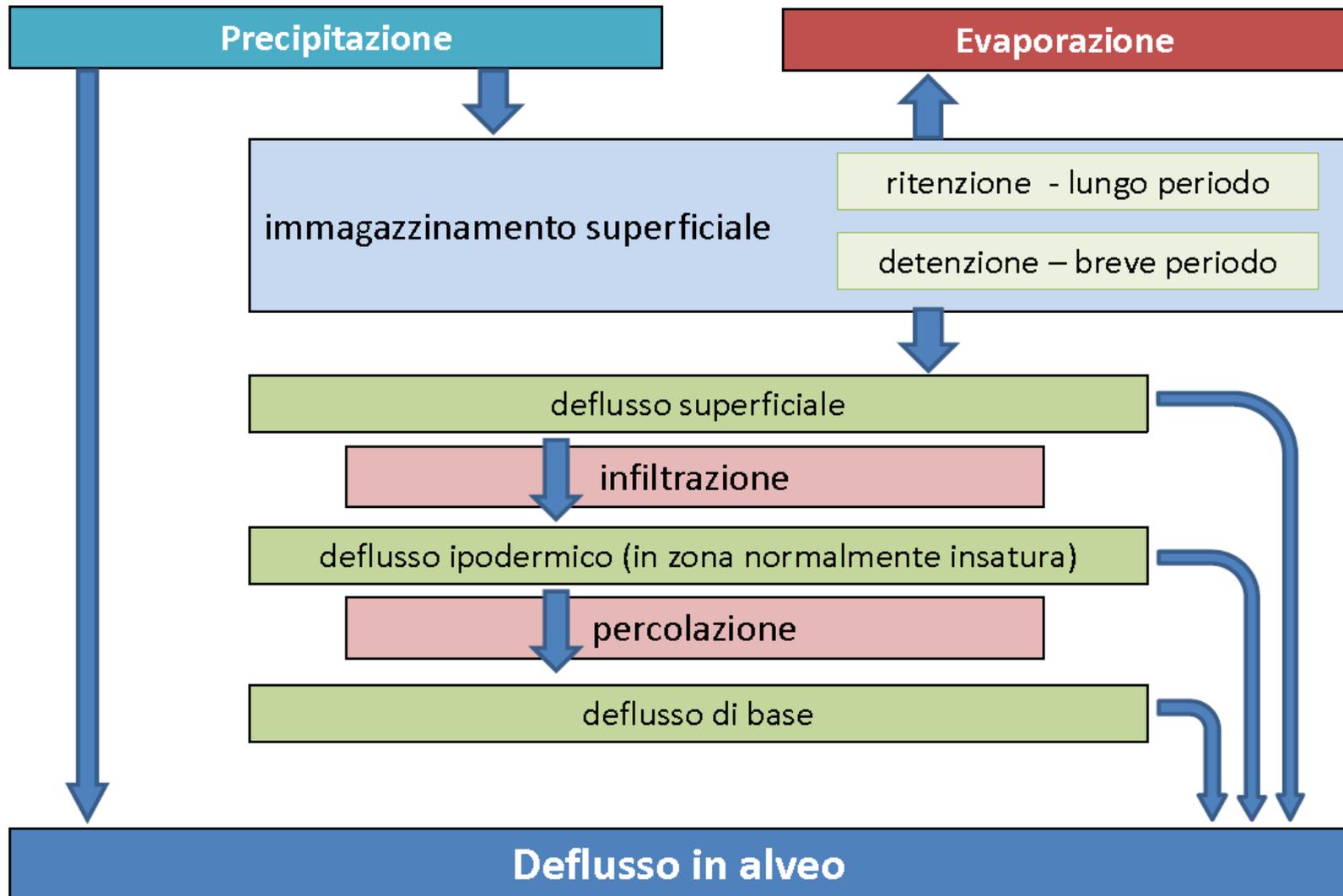
Durante un'intensa precipitazione (che genera una piena) il percorso dell'acqua che giunge al suolo inizia sul versante in forma di deflusso superficiale (o ipodermico) e prosegue nel reticolo idrografico fino alla sezione di chiusura.

Dalla Fontana, 2014



Formazione dei deflussi

Dalla Fontana, 2014

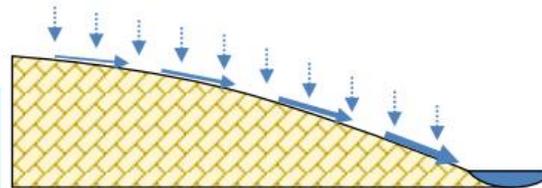


L'idrogramma di piena: separazione delle componenti

Quattro componenti:

1. **afflusso diretto** (precipitazione che cade sugli specchi liquidi); di solito trascurabile in quanto la superficie dei suddetti specchi d'acqua raramente raggiunge il 5% dell'area totale del bacino;

2. **deflusso superficiale**; ha origine nelle zone del bacino caratterizzate da terreni poco permeabili o molto umidi, dove l'intensità di pioggia supera l'infiltrazione potenziale



Deflusso superficiale;

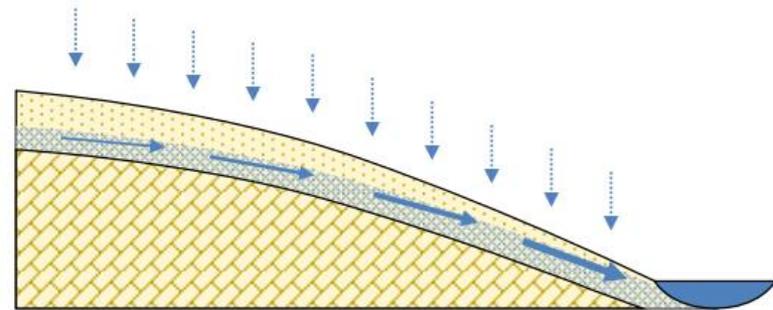
**Ambiente dominato da deflusso superficiale:
scarsa vegetazione; modesta capacità di
infiltrazione dei suoli.**

18

L'idrogramma di piena: separazione delle componenti

3. **deflusso ipodermico (la parte del deflusso sottosuperficiale che scorre per vie parallele al pendio negli orizzonti del suolo poco profondi);**

ha luogo negli strati più superficiali del suolo, attraverso vie preferenziali di deflusso (spaccature, macropori, drenaggi artificiali), soprattutto se a modesta profondità è presente uno strato di bassa permeabilità; i deflussi ipodermici tornano a giorno dopo breve percorso e pertanto pervengono nella rete idrografica in tempi paragonabili a quelli dei deflussi superficiali



Deflusso ipodermico

Ambiente dominato da deflusso ipodermico: significativa copertura forestale; elevate pendenze.

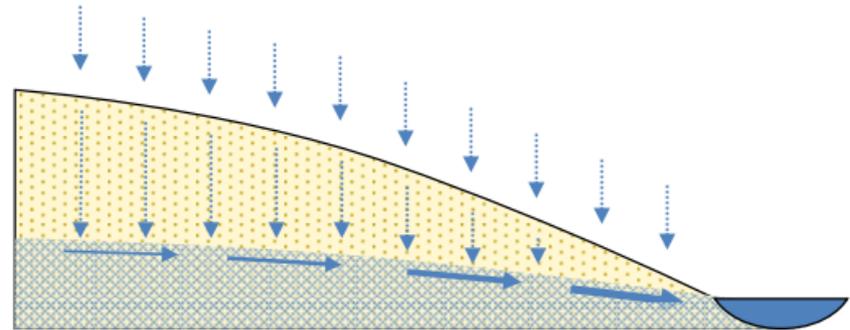


19

https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/17164/mod_resource/content/1/II_L4_17032014.pdf

L'idrogramma di piena: separazione delle componenti

4. **deflusso profondo (di base)** Il deflusso di base è in gran parte dovuto allo scorrimento sotterraneo e, pertanto, è di solito caratterizzato da tempi molto lunghi: si manifesta anche mesi o anni dopo il termine delle precipitazioni che lo hanno originato, in quanto l'acqua può accumularsi nelle falde sotterranee e in grandi quantità, ed in esse si muove di solito lentamente. L'entità dei tempi di risposta è legata pertanto alle dimensioni degli acquiferi ed alla natura delle formazioni geologiche



Deflusso profondo

Dal punto di vista pratico, nell'idrologia «di progetto» quando si applicano i vari metodi per il calcolo della portata, si può ricorrere spesso al generico termine concettuale **“deflusso diretto”**.

I termini *deflusso superficiale* e *deflusso ipodermico* caratterizzano due forme di deflusso che hanno caratteristiche idrauliche, fisiche e luoghi di accadimento diversi. Quella di **“deflusso diretto”** è invece una definizione concettuale con cui si intende quella *porzione di deflusso che contribuisce alla formazione della piena*.

In questo modo non è importante stabilire quali componenti del deflusso costituiscano il deflusso diretto. Né è necessario optare a priori per una specifica teoria. Inoltre si introduce una semplificazione funzionale in cui i deflussi sono solo due: *deflusso diretto* e *deflusso di base*.

Dalla Fontana, 2014

Con il termine “**pioggia efficace**” si intende quella frazione di precipitazione che contribuisce al **deflusso diretto**, dato dal deflusso superficiale e dalla frazione più rapida del deflusso sottosuperficiale.

Il deflusso diretto coincide con il volume del corpo principale di una piena. E' quindi evidente l'importanza del calcolo della pioggia efficace ai fini della ricostruzione di eventi di piena reali o della definizione della piena di progetto.

Esistono numerosi metodi per il calcolo della pioggia efficace, metodi che presentano livelli di complessità diversi.

Molto frequente, soprattutto ai fini progettuali, è il tentativo di parametrizzare la pioggia efficace sulle caratteristiche morfometriche, geolitologiche, pedologiche e vegetazionali del bacino.

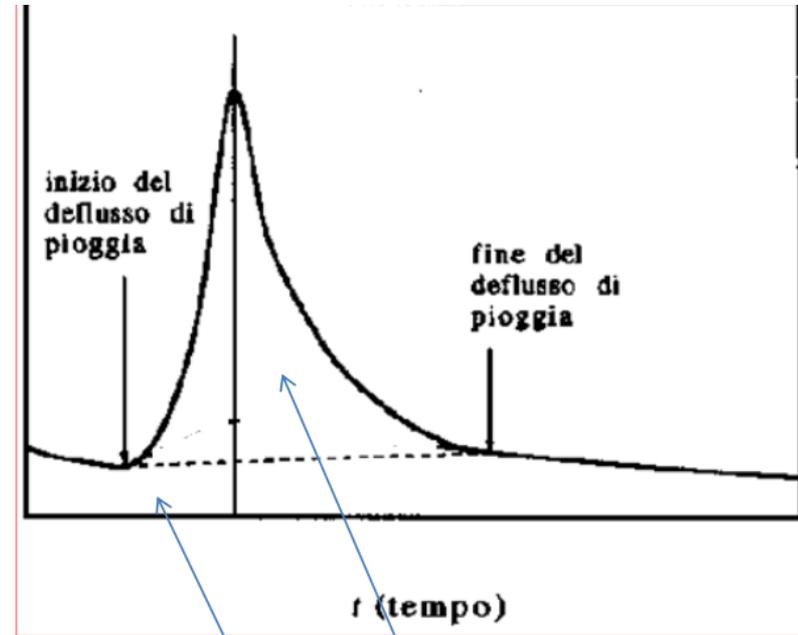
Dalla Fontana, 2014

L'idrogramma di piena

SEPARAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

Nella grande maggioranza dei casi di interesse pratico, si individuano due forme di deflusso molto diverse fra loro: il **deflusso di base** e il **deflusso di pioggia**.

- **deflusso di base**: tempi molto lunghi di trasferimento (l'acqua si infiltra nel terreno e raggiunge - per percolazione attraverso le falde acquifere - la rete idrografica solo con grande ritardo);
- **deflusso di pioggia**: somma di afflusso diretto, deflusso superficiale e, almeno in parte, deflusso ipodermico.



Dalla Fontana, 2014

Deflusso di base

Deflusso di pioggia.

Il coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso C è dato dal rapporto tra il volume (che coincide con la pioggia efficace) defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale. Dunque:

$$C = \frac{P_e}{P} \quad \Rightarrow \quad P_e = C \cdot P$$

Valori di C proposti in una guida della F.A.O. con riferimento alla singola piena

<i>Tipo di suolo</i>	<i>Copertura del bacino</i>		
	<i>Coltivi</i>	<i>Pascoli</i>	<i>Boschi</i>
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0,20	0,15	0,10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Suoli poco permeabili Suoli fortemente argillosi o simili. con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile.	0,50	0,45	0,40

Dalla Fontana, 2014

Ad ogni zona del bacino con caratteristiche omogenee viene assegnato un valore di C . La media dei valori, pesata sulle aree delle zone omogenee, costituisce il coefficiente di deflusso da assegnare al bacino.



Area del bacino

0,0799 km²

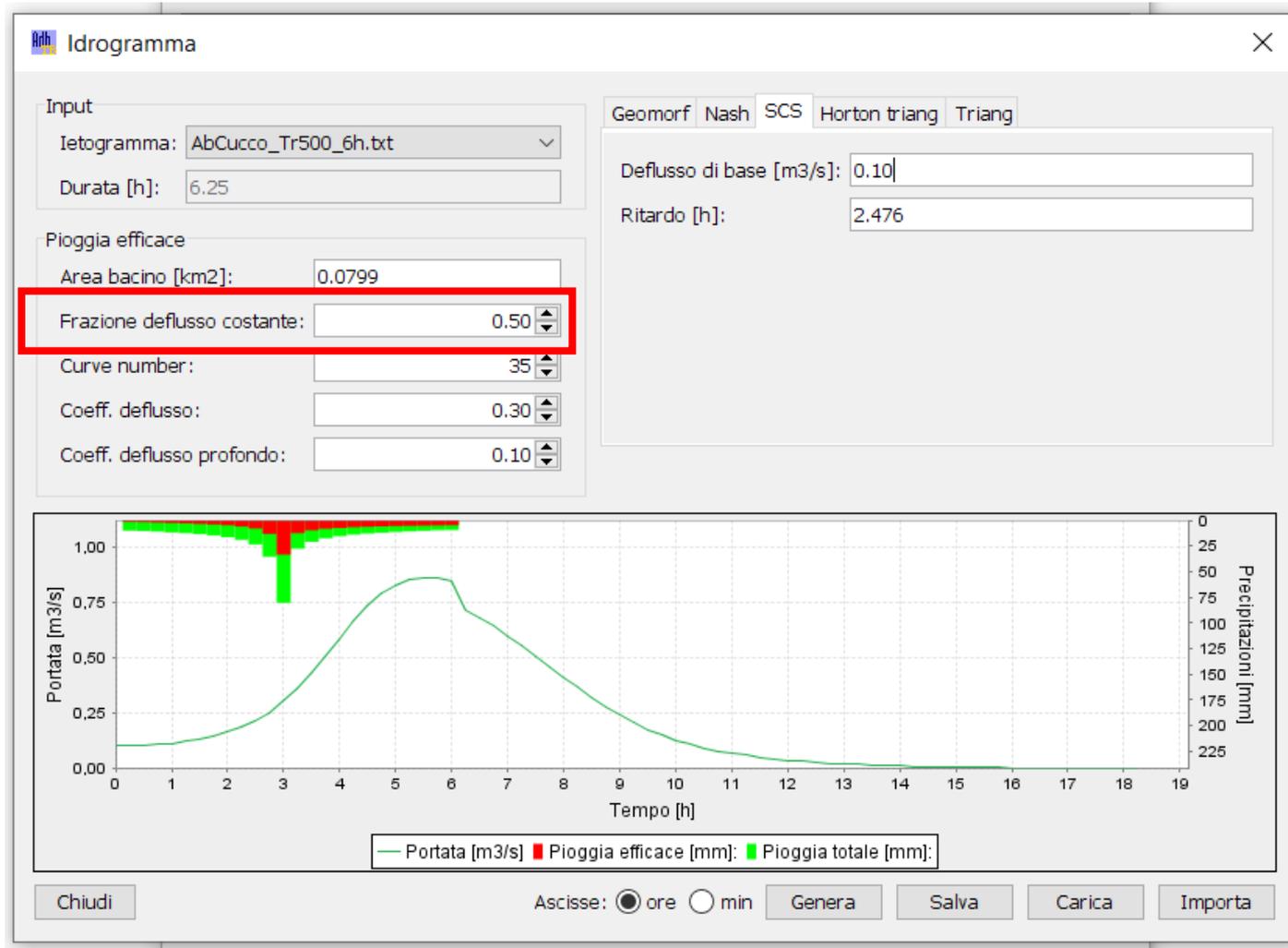


Figura 5-56: Bacino della colata detritica 0300542700 (Abitato Cucco dx) in rosso lo spartiacque, in blu il collettore principale.

Figura 5-57: Bacino della colata detritica 0300542700 (Abitato Cucco sx) in rosso lo spartiacque, in blu il collettore principale

ABITATO CUCCO DX	
bacino	
chiusura E (m)	2399038
chiusura N (m)	5151920
area bacino (km ²)	0.050525
perimetro (m)	1420
quota minima (m.s.l.m)	823.52
quota massima (m.s.l.m)	1182.47
quota media (m.s.l.m)	1044.18
pendenza media (°) (m/m)	52.29° (1.29)
pendenza massima (°) (m/m)	78.54° (4.93)
collettore principale	
lunghezza asta principale (m)	534.2
pendenza asta principale (°) (m/m)	33.26° (0.65)

ABITATO CUCCO SX	
bacino	
chiusura E (m)	2399102
chiusura N (m)	5151884
area bacino (km ²)	0.029375
perimetro (m)	1040
quota minima (m.s.l.m)	811.85
quota massima (m.s.l.m)	1170.23
quota media (m.s.l.m)	1028.68
pendenza media (°) (m/m)	52.29° (1.29)
pendenza massima (°) (m/m)	81.88° (7.01)
collettore principale	
lunghezza asta principale (m)	388.49
pendenza asta principale (°) (m/m)	42.27° (0.909)



La frazione di bacino che presenta caratteristiche idrologiche tali da suggerire un coefficiente di deflusso costante viene indicata nella proprietà dallo spinner “Frazione con deflusso costante”, che assumerà valori compresi tra 0 e 1. Per la restante parte di bacino sarà utilizzato il metodo del CN.

Il coefficiente di deflusso di piena

Altri valori di C con riferimento alla singola piena reperibili in letteratura

Vegetazione e pendenza		Tipi di suolo		
		Terreno leggero	Terreno di medio impasto	Terreno compatto
Boschi	>10%	0.13	0.18	0.25
	<10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	>10%	0.16	0.36	0.56
	<10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	>10%	0.40	0.60	0.70
	<10%	0.52	0.72	0.82

Il metodo trova tutt'ora larghissimo impiego, soprattutto nelle applicazioni della **Formula Razionale** per il calcolo della portata di progetto

Esempio di calcolo	C	Area (km ²)	C · A
Pascolo su suolo mediamente permeabile	0.35	2.31	0.8085
Bosco su suolo mediamente permeabile	0.30	1.42	0.4260
Bosco su suolo molto permeabile	0.10	0.37	0.0370
Coltivo su suolo mediamente permeabile	0.40	0.08	0.0320
Coltivo su suolo poco permeabile	0.50	0.11	0.0550
totali		4.29	1.3585

Risulta dunque:

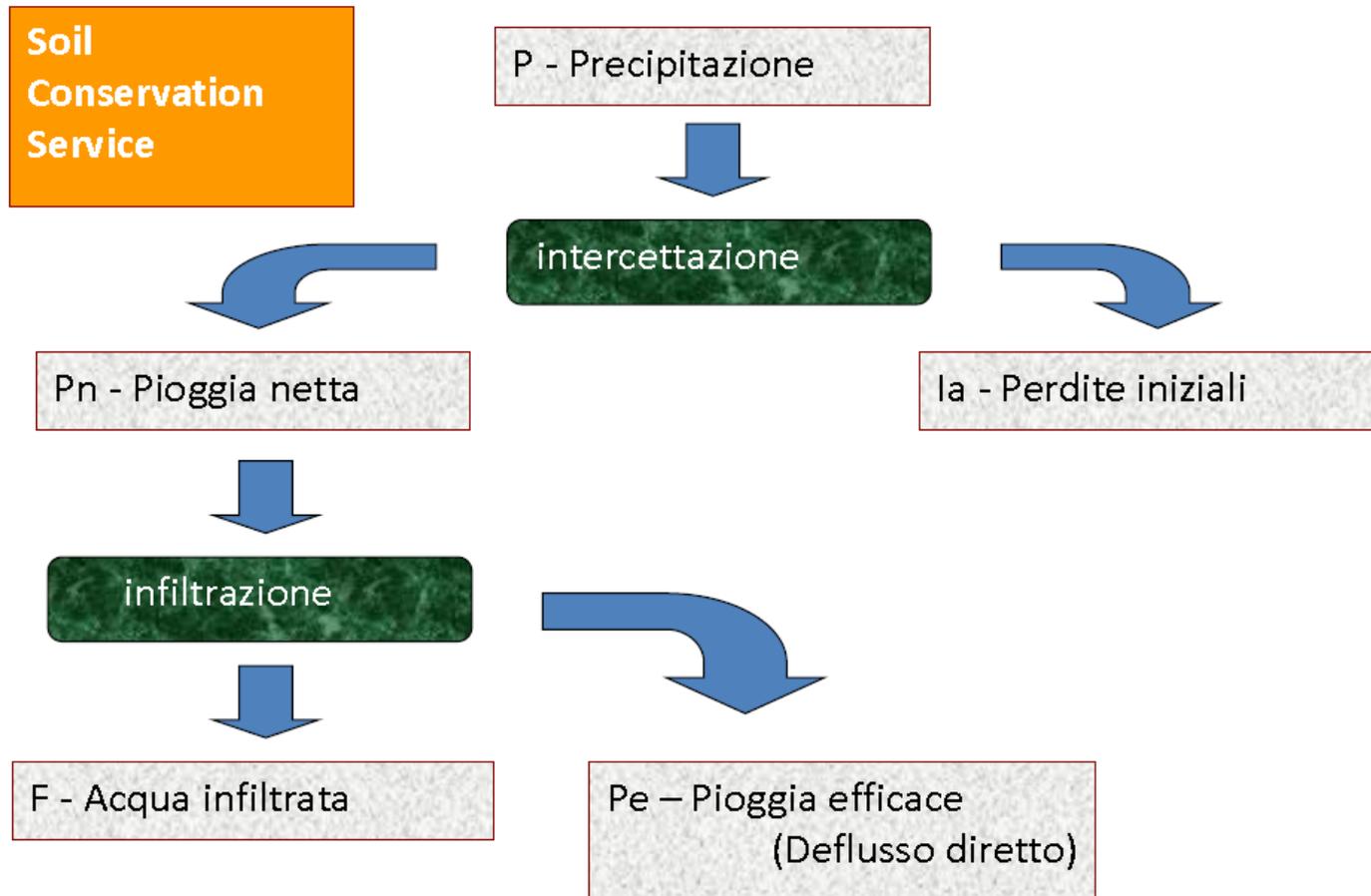
$$C = \frac{\sum(C \cdot A)}{\sum A} = \frac{1.3585}{4.29} = 0.3167$$

Dalla Fontana, 2014

Il metodo del Soil Conservation Service

Dalla Fontana, 2014

Il CN (Curve Number) è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) proposto dal Soil Conservation Service (USDA) nel 1972. Il CN varia da zero a cento. Più alto è il valore maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione



Calcolo della pioggia efficace con il metodo SCS

Dalla Fontana, 2014

P		precipitazione totale
I_a		perdite iniziali – frazione di precipitazione intercettata dai vegetali, che bagna il terreno e riempie le cavità superficiali, ecc.
P_n	$P_n = P - I_a$	pioggia netta – frazione di precipitazione che giunge al suolo
F	$F = P_n - P_e$	volume specifico infiltrato – frazione di pioggia netta che si infiltra nel suolo
P_e	$P_e = P_n - F$	pioggia efficace o volume specifico di deflusso diretto – frazione di pioggia netta che produce il deflusso diretto

Si assume che ogni tipo di terreno sia caratterizzato da un **volume specifico di saturazione** (S) che può essere stimato sulla base delle caratteristiche del **suolo** e del **soprasuolo**. Il **volume specifico infiltrato** (F) può essere, al massimo pari ad S .

Allo stesso modo il **volume specifico di deflusso diretto** (P_e) può, al massimo, essere pari alla **pioggia netta** (P_n).

Calcolo della pioggia efficace con il metodo SCS

Si ipotizza che i rapporti tra le due grandezze reali e le due potenziali (massime) siano sempre uguali tra loro.

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P_n}$$

La proporzione può essere riscritta come:

$$P_e = P_n \frac{F}{S}$$

ed essendo:

$$F = P_n - P_e$$

si ricava l'equazione:

$$P_e = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Infine poichè:

$$P_n = P - I_a$$

risulta:

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

Equazione del metodo
del S.C.S.

Dalla Fontana, 2014

Calcolo della pioggia efficace con il metodo SCS

La stima del **volume specifico di saturazione** (S) [mm], che è caratteristico di ciascun complesso suolo-soprassuolo, può essere semplificata introducendo un indice:

$$CN = \frac{1000}{10 + S/S_0}$$

In cui S_0 è un fattore di scala che riflette le unità di misura adottate e che, per valori di S , F e P misurati in mm, è pari a **25.4 mm** - ovvero 1 inch

$$S = S_0 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Ricavando così S da valori noti o stimati di **CN**

Le perdite iniziali I_a vengono di norma assunte pari ad una frazione di S e nella formulazione classica è $I_a=0.2S$. Sulla base delle esperienze maturate sui bacini montani delle alpi orientali si ritiene preferibile la relazione $I_a=0.1S$

Dalla Fontana, 2014

La relazione tra S e CN è tale per cui al variare del primo tra zero ed infinito il secondo varia tra cento e zero, risultando così più facile da tabellare. i valori limite sono puramente teorici

S	CN		
0	100	Deflusso totale	suolo assente, superfici impermeabili, specchi d'acqua
∞	0	Deflusso nullo	suoli con elevatissima capacità e conducibilità idrica

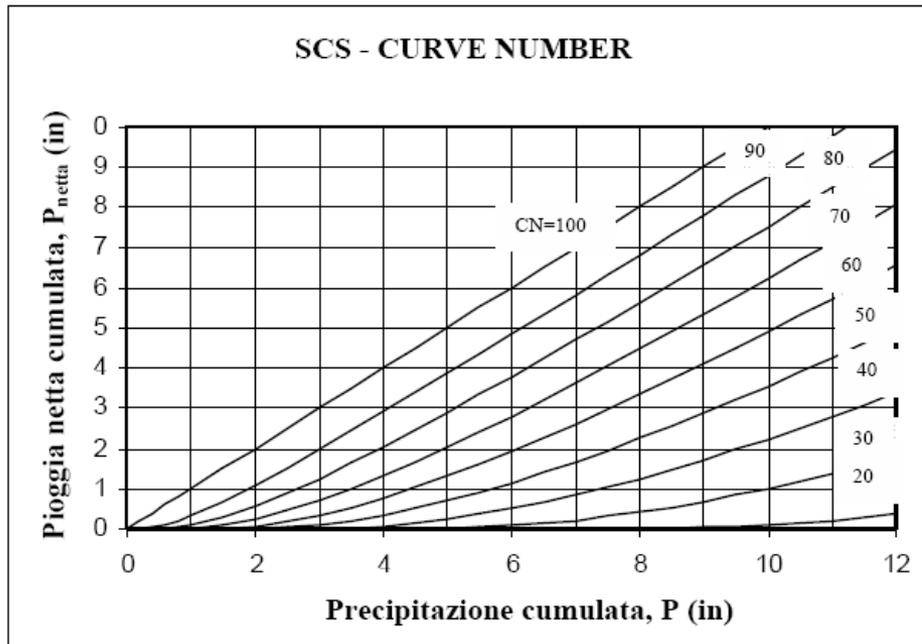
IL CURVE NUMBER

Dalla Fontana, 2014

Il parametro **CN**, definito “Curve Number” assume valori compresi fra 0 (assenza di deflusso superficiale) e 100 (assenza di perdite idrologiche con trasformazione totale della precipitazione in deflusso superficiale) rappresenta l’attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso.

Tabella 1 - Classificazione dei tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS-CN

<i>Tipo idrologico di suolo</i>	<i>Descrizione</i>
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 colloid, 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.



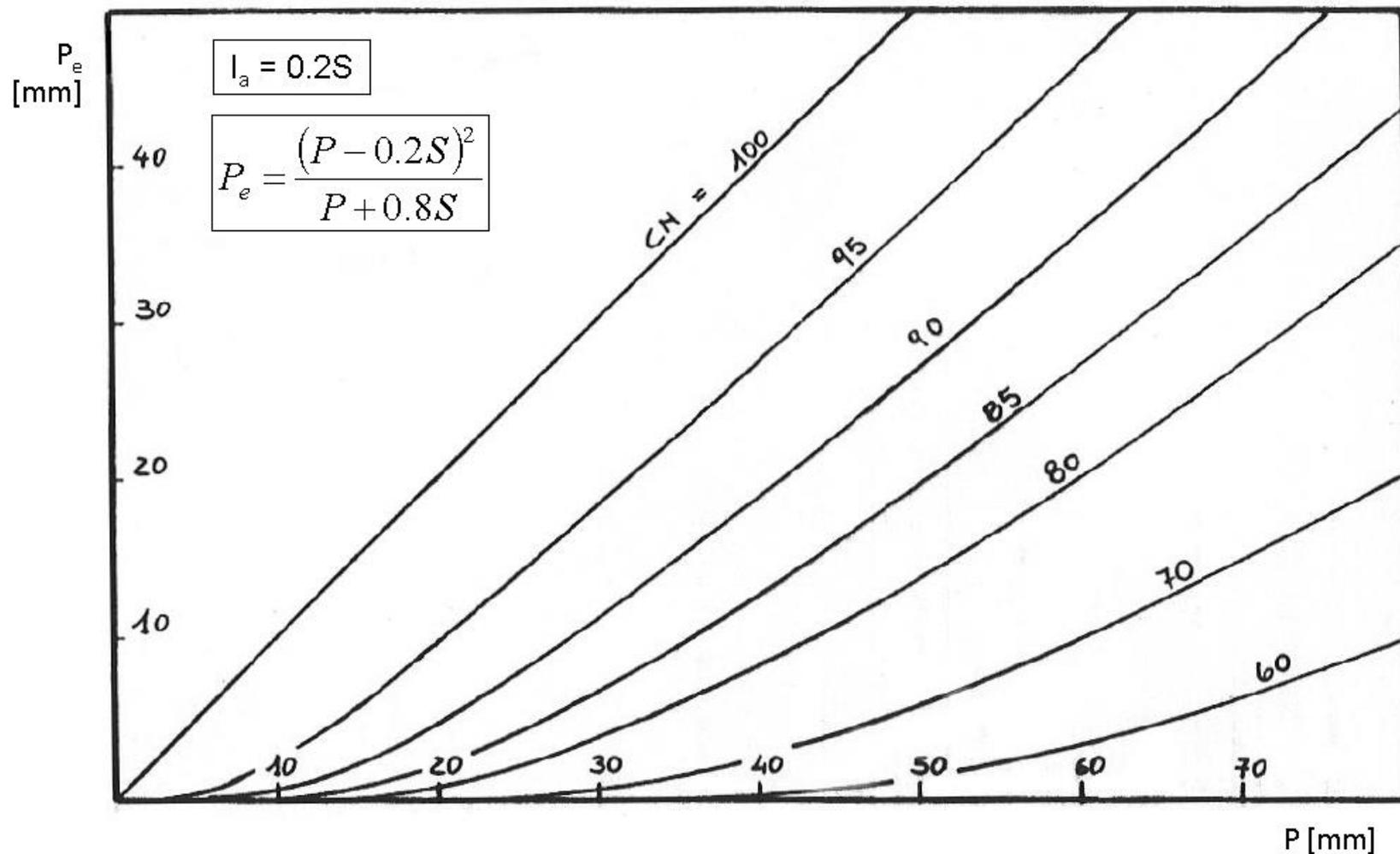
Il parametro CN risulta essenzialmente legato alle caratteristiche idrologiche ed all’uso del suolo.

Per la stima del CN è necessaria preliminarmente la determinazione della classe idrologica dei suoli all’interno dei quattro gruppi (A, B, C e D) individuati dall’USDA-SCS in ragione della capacità di formazione del deflusso del suolo (da bassa ad elevata rispettivamente da A a D, passando per le situazioni intermedie di B e C) dovuta alla rispettiva capacità di infiltrazione.

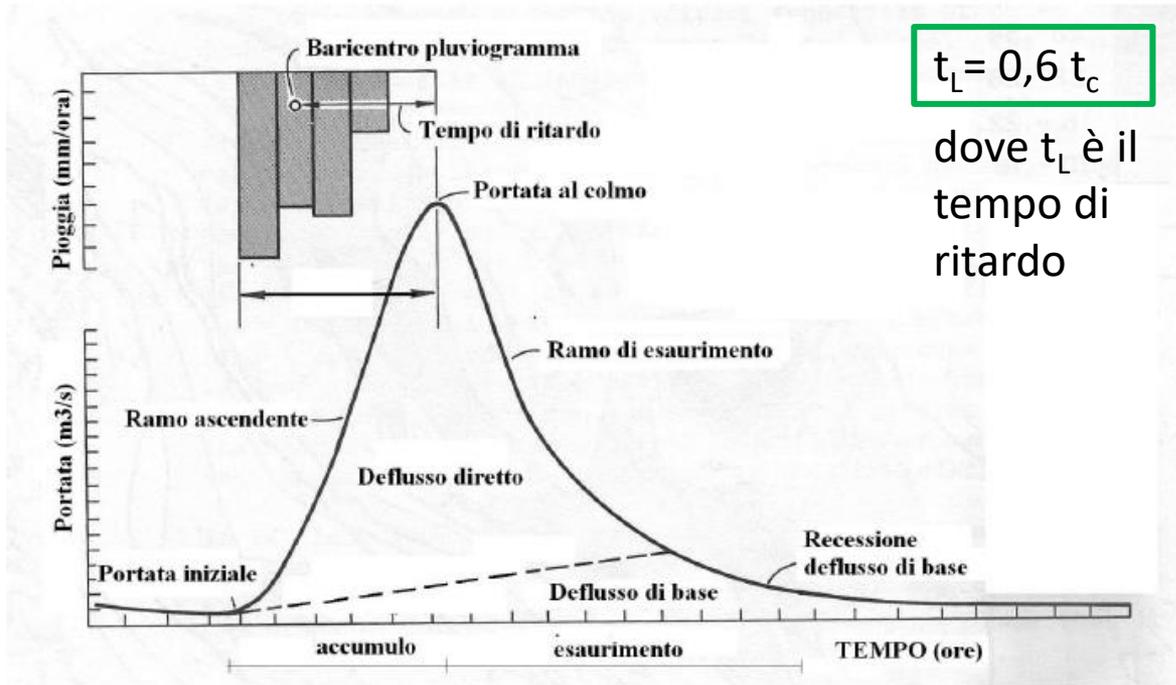
Relazioni P-Pe nel metodo SCS

Dalla Fontana, 2014

L'equazione del S.C.S. rappresenta una famiglia di curve parametriche, sul piano **P-Pe**, che possono essere enumerate utilizzando il parametro **CN – Curve Number**



Ad esempio: per il calcolo del ritardo...



Modificato da: Dalla Fontana G. 2013-2014

calcolo del ritardo (t_L)...

Il tempo di corrivazione – t_c (espresso in ore) è il tempo che impiega una “goccia d’acqua” caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per giungere alla sezione di chiusura.

Modificato da: Dalla Fontana G. 2013-2014

Formula di Giandotti

$A > 170 \text{ km}^2$

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

A	Area del bacino	km ²
L	Lunghezza del corso d’acqua principale prolungato fino allo spartiacque	km
H _m	Quota media del bacino	m s.m.
H ₀	Quota della sezione di chiusura	m s.m.

Formula di Tournon

$30 < A < 170 \text{ km}^2$

$$t_c = 0.396 \frac{L}{\sqrt{i}} \left(\frac{A}{L^2} \frac{\sqrt{i}}{\sqrt{Y}} \right)^{0.72}$$

i	Pendenza del corso d’acqua principale	numero puro
Y	Pendenza media dei versanti	numero puro

Formula di Pezzoli

bacini piccoli

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

L	Lunghezza del corso d’acqua principale	km
i	Pendenza del corso d’acqua principale	numero puro

Si noti che in qualche modo tutte le formule empiriche determinano t_c in funzione della lunghezza idrografica del bacino e della pendenza (che surroga la velocità).

$$t_L = 0.6 t_c$$

Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

Idrogramma

Input

Ietogramma: AbCucco_Tr500_6h.txt

Durata [h]: 6.25

Pioggia efficace

Area bacino [km2]: 0.0799

Frazione deflusso costante: 0.50

Curve number: 35

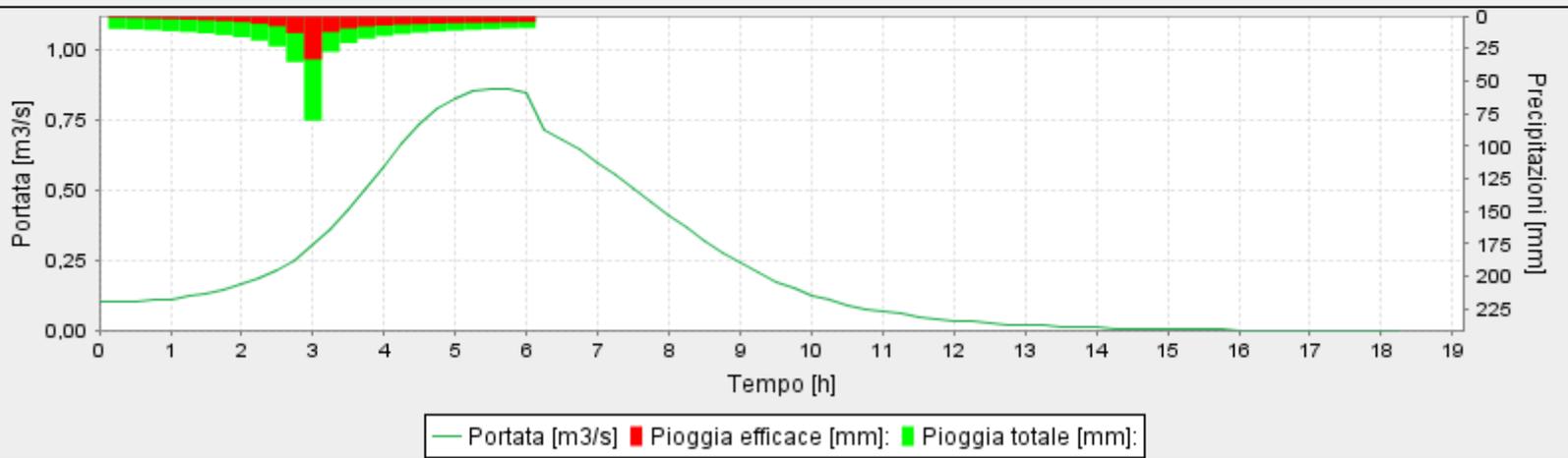
Coeff. deflusso: 0.30

Coeff. deflusso profondo: 0.10

Geomorf Nash SCS Horton triang Triang

Deflusso di base [m3/s]: 0.10

Ritardo [h]: 2.476



Chiudi

Ascisse: ● ore ○ min

Genera

Salva

Carica

Importa

Idrogramma

Input

Ietogramma: AbCuccio_Tr500_6h.txt

Durata [h]: 6.25

Pioggia efficace

Area bacino [km2]: 0.0799

Frazione deflusso costante: 0.50

Curve number: 35

Coeff. deflusso: 0.30

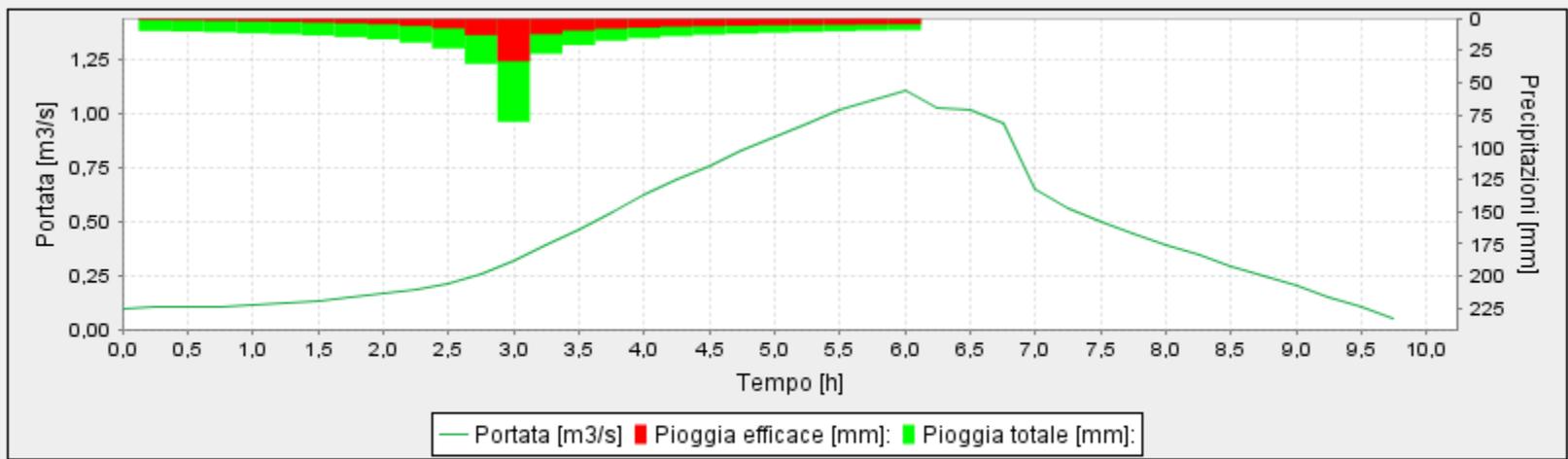
Coeff. deflusso profondo: 0.10

Geomorf Nash SCS Horton triang **Triang**

Deflusso di base [m3/s]: 0.1

Tempo al picco [h]: 4.13

Tempo di corrivazione [h]: 4.13

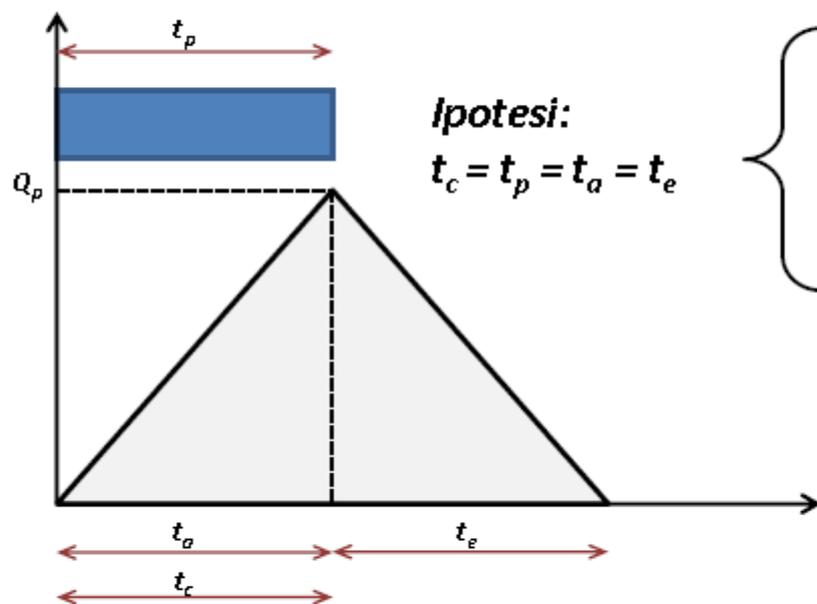


Chiudi Ascisse: ore min **Genera** Salva Carica Importa

Il metodo triangolare o razionale

Dalla Fontana, 2014

L'idrogramma di piena viene approssimato da un triangolo. Viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata t_p della precipitazione di progetto P sia pari al tempo di corrivazione t_c . All'istante t_c , quando tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura, la precipitazione cessa e la portata inizia a diminuire. Quindi anche t_a , (tempo di accumulo o di concentrazione) risulta esattamente uguale a t_c e t_p . La scelta di un idrogramma simmetrico (triangolo isoscele) rende infine la durata della fase di esaurimento t_e esattamente pari alle altre grandezze.



$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{1}{2} \cdot 3600(t_a + t_e) Q_p = 3600 t_c Q_p \\ V = 10^3 P_e A = 10^3 CPA \end{array} \right.$$

$$Q_p = \frac{CPA}{3.6t_c}$$

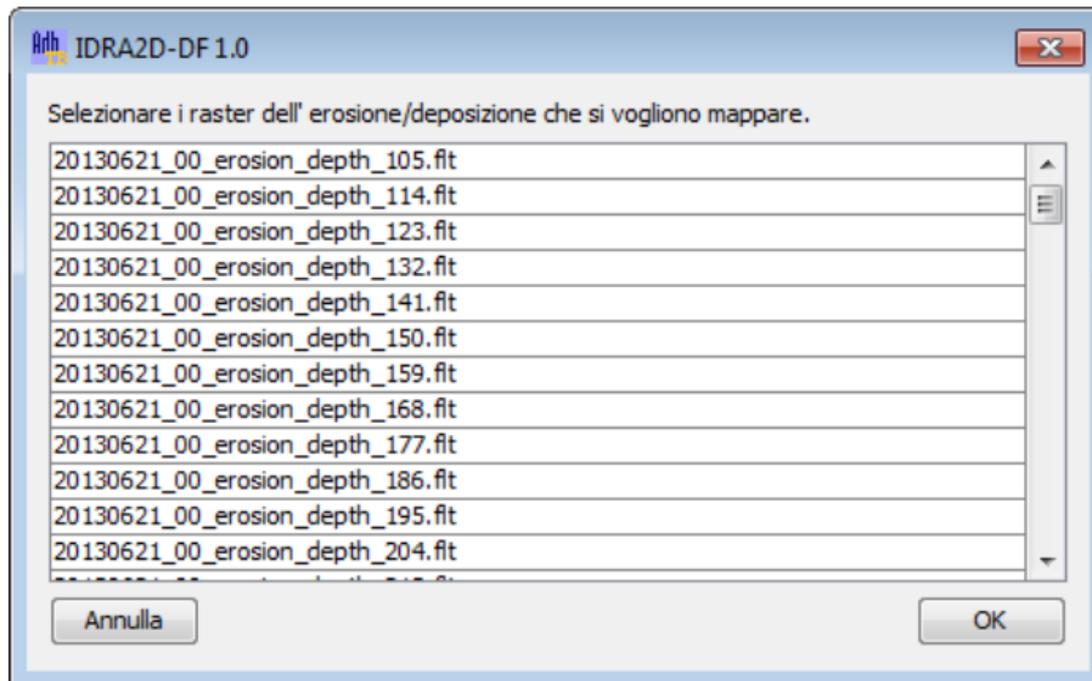
La soluzione è geometrica, tenendo conto che l'area dell'idrogramma corrisponde al volume di deflusso V in m^3 ed esprimendo l'area A in km^2 , la precipitazione P in mm e i tempi t in ore. La portata al picco Q_p viene ovviamente espressa in m^3s^{-1} mentre il coefficiente di deflusso C è adimensionale.

** Il coefficiente 3600 viene utilizzato per trasformare le ore in secondi.

OUTPUT COLATE

Mappe erosione/deposizione (erosion_depth)

Questo strumento permette di visualizzare le mappe raster dell'erosione e deposizione prodotte dalla simulazione.



OUTPUT COLATE

Area totale erosione e deposizione

Questo strumento permette di visualizzare il raster dell'area totale di erosione e deposizione ottenuto dalla simulazione.



OUTPUT COLATE

Mappa vettoriale area di erosione

Lo strumento permette di visualizzare la mappa vettoriale delle aree soggette ad erosione.



OUTPUT COLATE

Mappa vettoriale area deposizione

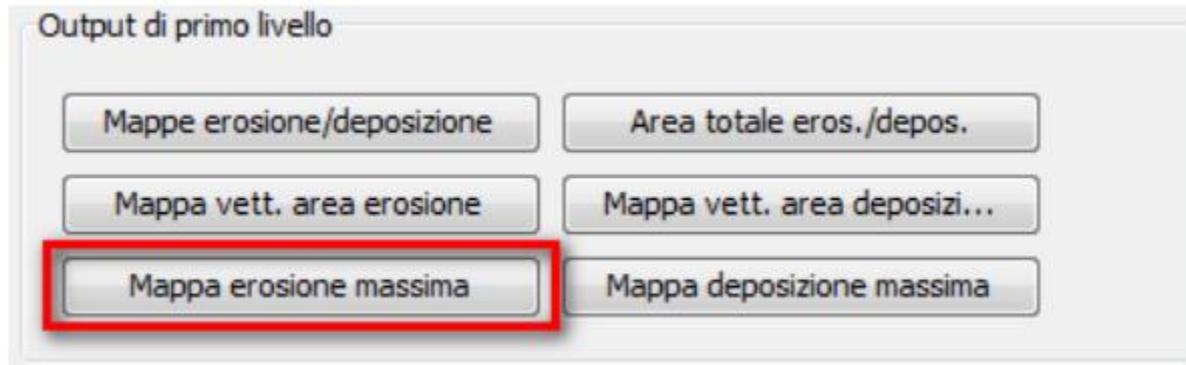
Lo strumento visualizza a video la mappa vettoriale delle aree soggette a deposizione ottenute dalla simulazione.



OUTPUT COLATE

Mappa erosione massima

Questo strumento permette di visualizzare la mappa raster dell'erosione massima. Nel raster ogni cella assume il valore più alto, per quella cella, tra tutti gli step di simulazione.



OUTPUT COLATE

Mappa deposizione massima

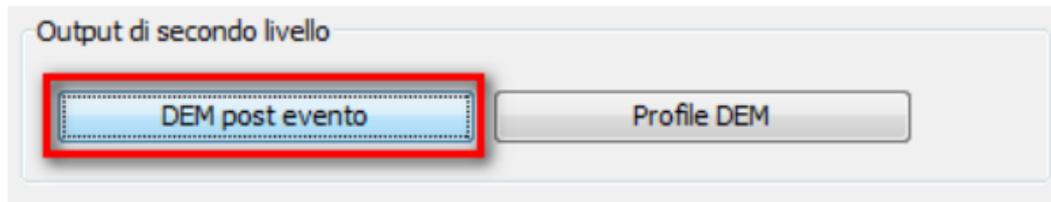
Questo strumento permette di visualizzare la mappa raster della deposizione massima. Nel raster ogni cella assume il valore più alto, per quella cella, tra tutti gli step di simulazione.



OUTPUT COLATE

DEM post evento

Questo strumento permette di calcolare e visualizzare il DEM dopo l'evento di colata detritica calcolato nella simulazione. Il DEM post evento è ottenuto sommando al DEM utilizzato per la modellazione i valori di erosione e deposizione ottenuti nell'ultimo step di simulazione.



Profilo DEM post evento

Questo strumento permette di visualizzare e quindi confrontare l'andamento del DEM prima e dopo un evento di colata detritica lungo una sezione o lungo il profilo del thalweg.

