

# Fondamenti di idrologia

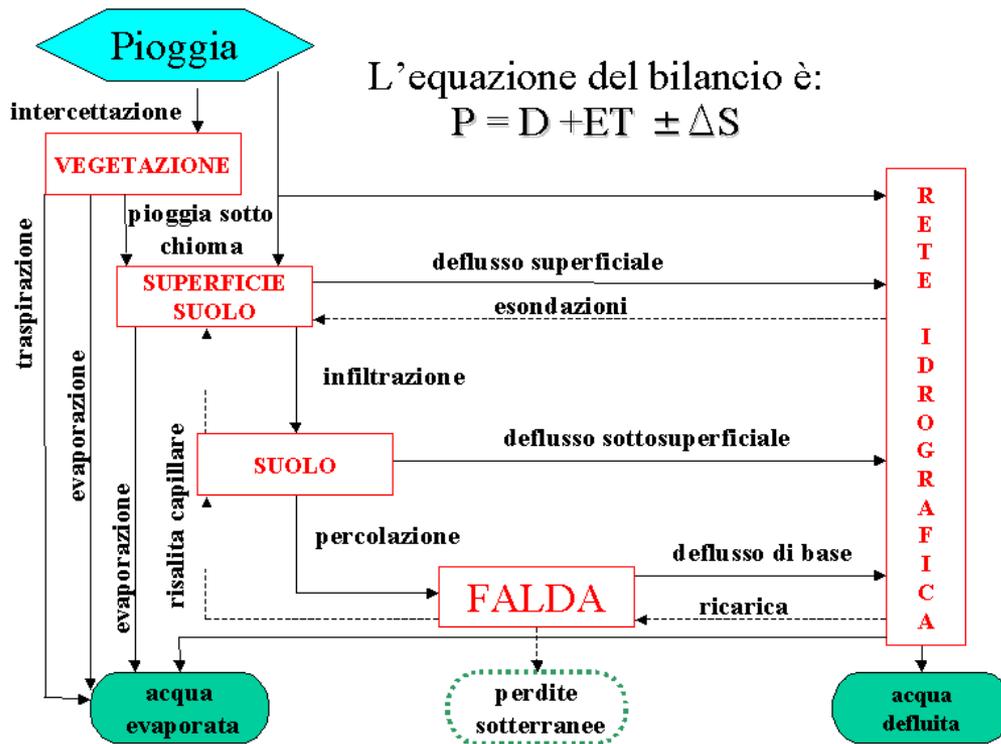
## afflussi – deflussi : la pioggia efficace

Giancarlo Dalla Fontana  
Università di Padova

A.A. 2013/2014

---

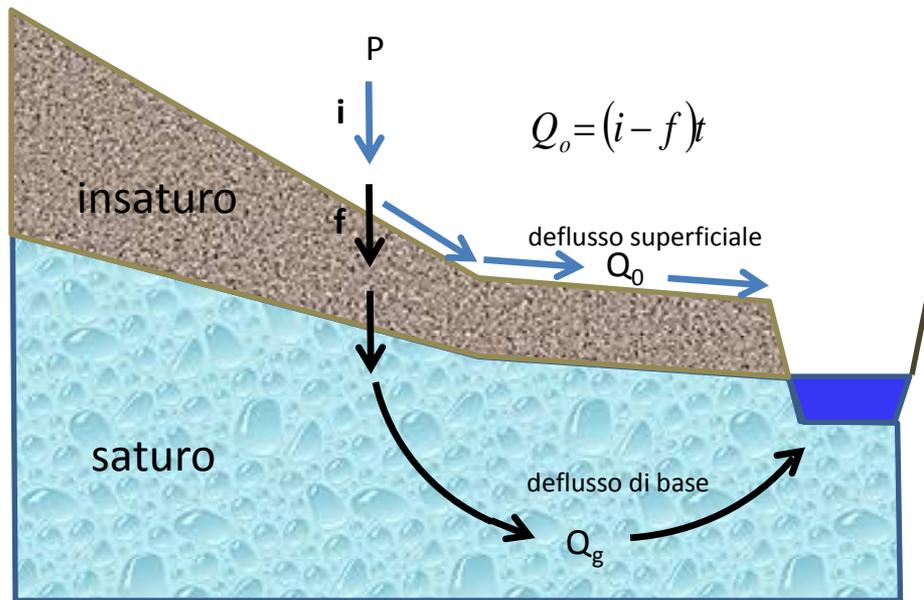
# Formazione dei deflussi



Lo schema rappresenta i principali processi che portano al frazionamento dell'acqua meteorica in evaporato, acqua nel terreno e acqua sul terreno. A meno dell'invaso in eventuali falde inattive e di perdite per evapotraspirazione, l'acqua giunge, in tempi più o meno lunghi, alla rete idrografica e alla sezione di chiusura del bacino. Le modalità con cui ciò avviene dipendono dai processi di moto lungo i versanti e il reticolo idrografico.

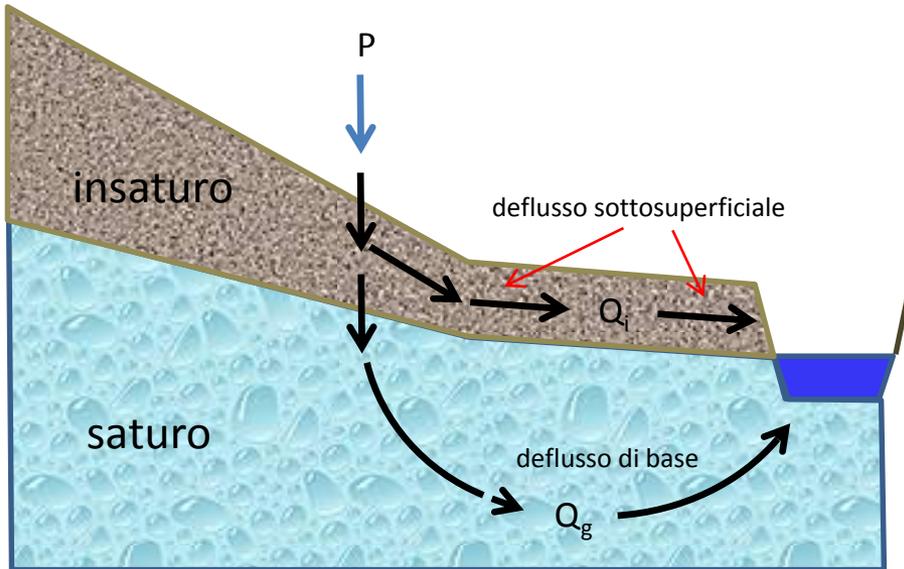
Gli schemi interpretativi dei meccanismi di generazione dei deflussi di piena non sono univoci né hanno valenza universale. In contesti diversi alcune teorie prevalgono e alcune forme di deflusso diventano dominanti sulle altre.

# Formazione dei deflussi – teoria di Horton

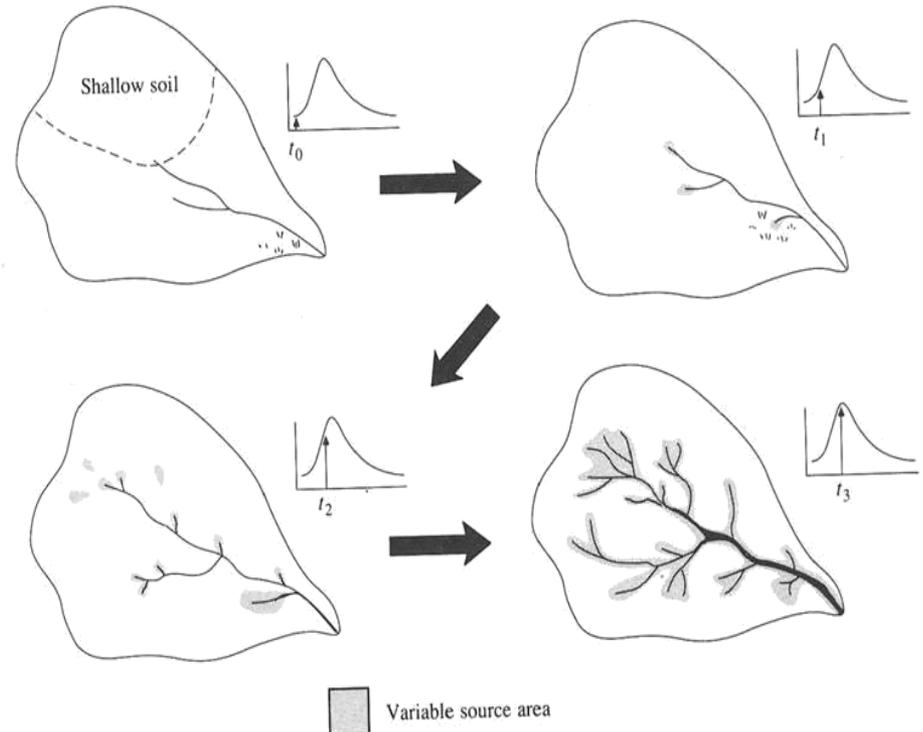
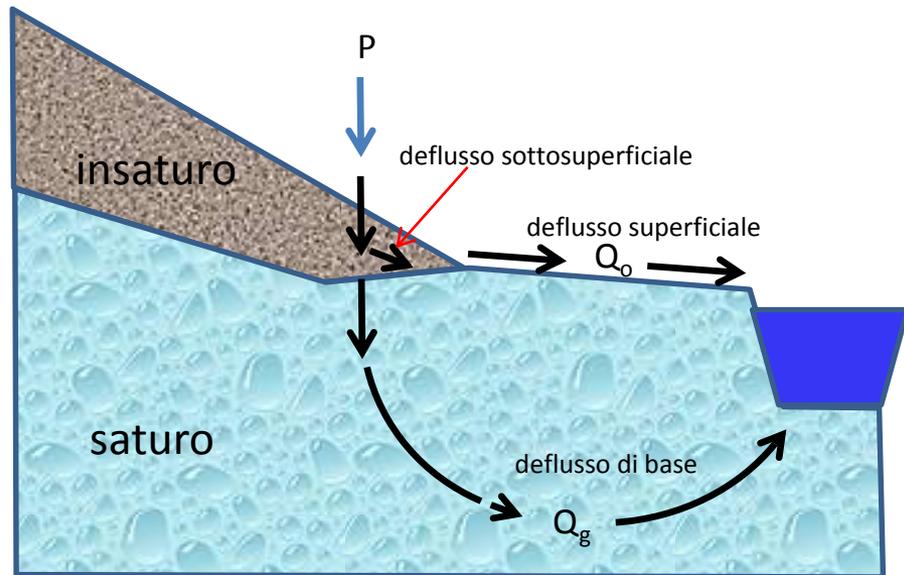


La teoria classica di Horton (1933) attribuisce alla superficie del suolo il ruolo di partizionare la pioggia netta: una parte raggiunge rapidamente la rete idrografica per deflusso superficiale, l'altra si infiltra e si muove lentamente come deflusso di base. In un dato istante il terreno ha una capacità di infiltrazione  $f$ , se su di esso insiste una pioggia con intensità  $i$  (maggiore di  $f$ ) la frazione  $(i-f)$ , detta afflusso efficace, alimenta il deflusso superficiale. La capacità di infiltrazione diminuisce esponenzialmente nel tempo quindi è probabile che all'inizio dell'evento  $f$  sia maggiore di  $i$  e di conseguenza tutta la pioggia si infiltri nel suolo, successivamente, quando  $(i-f)$  diviene positivo, una frazione di essa contribuisce, su tutta la superficie del bacino, alla produzione di deflusso superficiale

# Formazione dei deflussi – teoria di Hewlett



Nel 1961 Hewlett propone un meccanismo di formazione dei deflussi che vede come elementi fondamentali la rete idrografica e il deflusso sottosuperficiale. La teoria prevede una espansione dinamica delle zone di saturazione a partire dalla prossimità degli alvei fluviali, per questo è nota anche come teoria dell' "**area di contribuzione variabile**"



# Formazione dei deflussi – evidenze di campo



## ***Ritenzione superficiale:***

Acqua immagazzinata in superficie in forma statica

*Pozzanghera – permane alla fine dell'afflusso*



## ***Detenzione superficiale:***

Acqua immagazzinata in superficie in forma dinamica

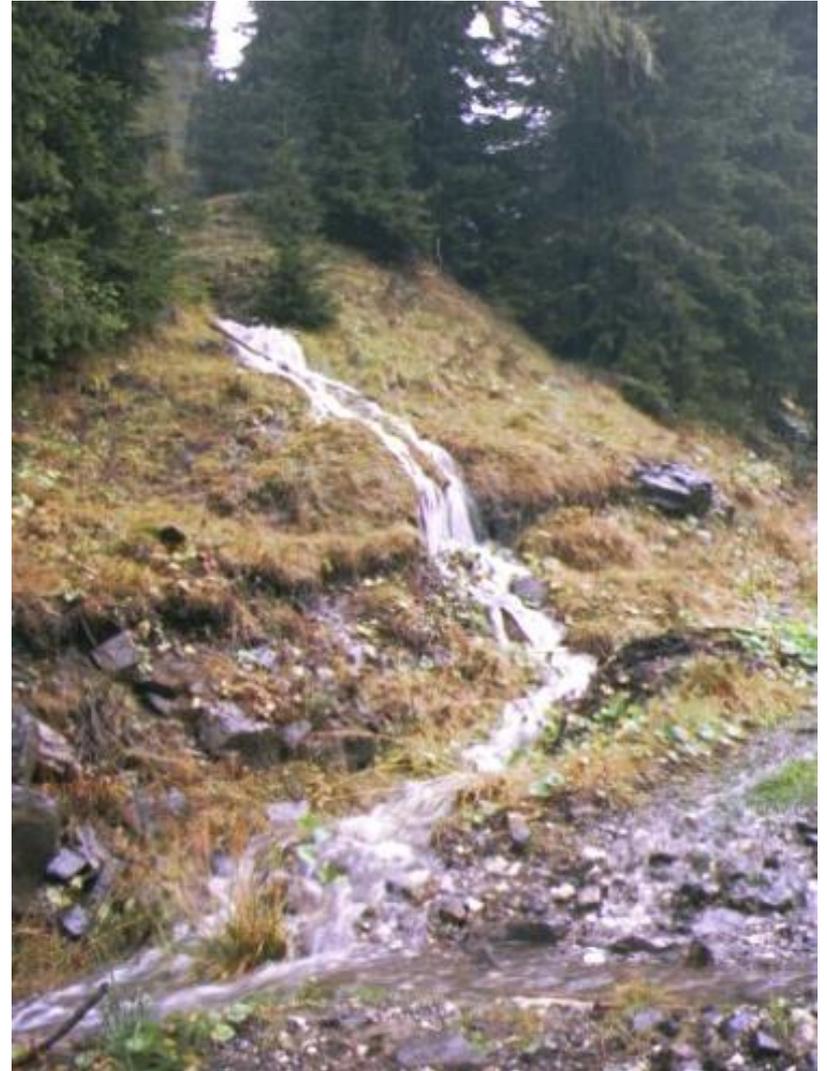
*Deflusso superficiale – cessa alla fine dell'afflusso*

# Formazione dei deflussi – evidenze di campo

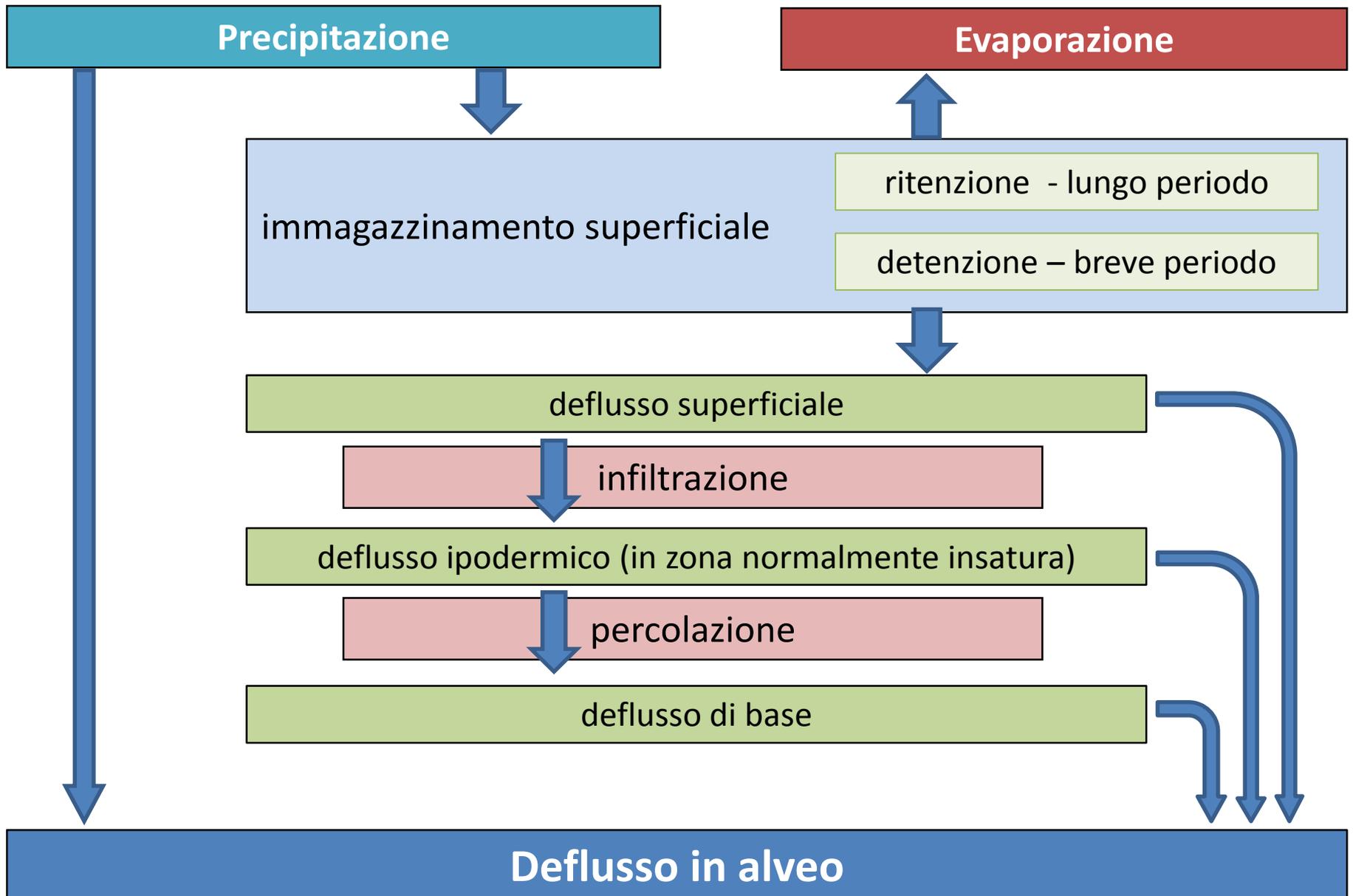
Deflusso superficiale generato su area poco acclive costipata da calpestio



Deflusso incanalato lungo un linea di impluvio occasionale. Il deflusso si arricchisce di apporti sottosuperficiali alla base dei versanti particolarmente in presenza di incisioni che fanno emergere il flusso sottosuperficiale.



# Formazione dei deflussi



# Il deflusso diretto

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*.

# Pioggia Efficace

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.

# Il Coefficiente di Deflusso di piena

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

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.

# 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

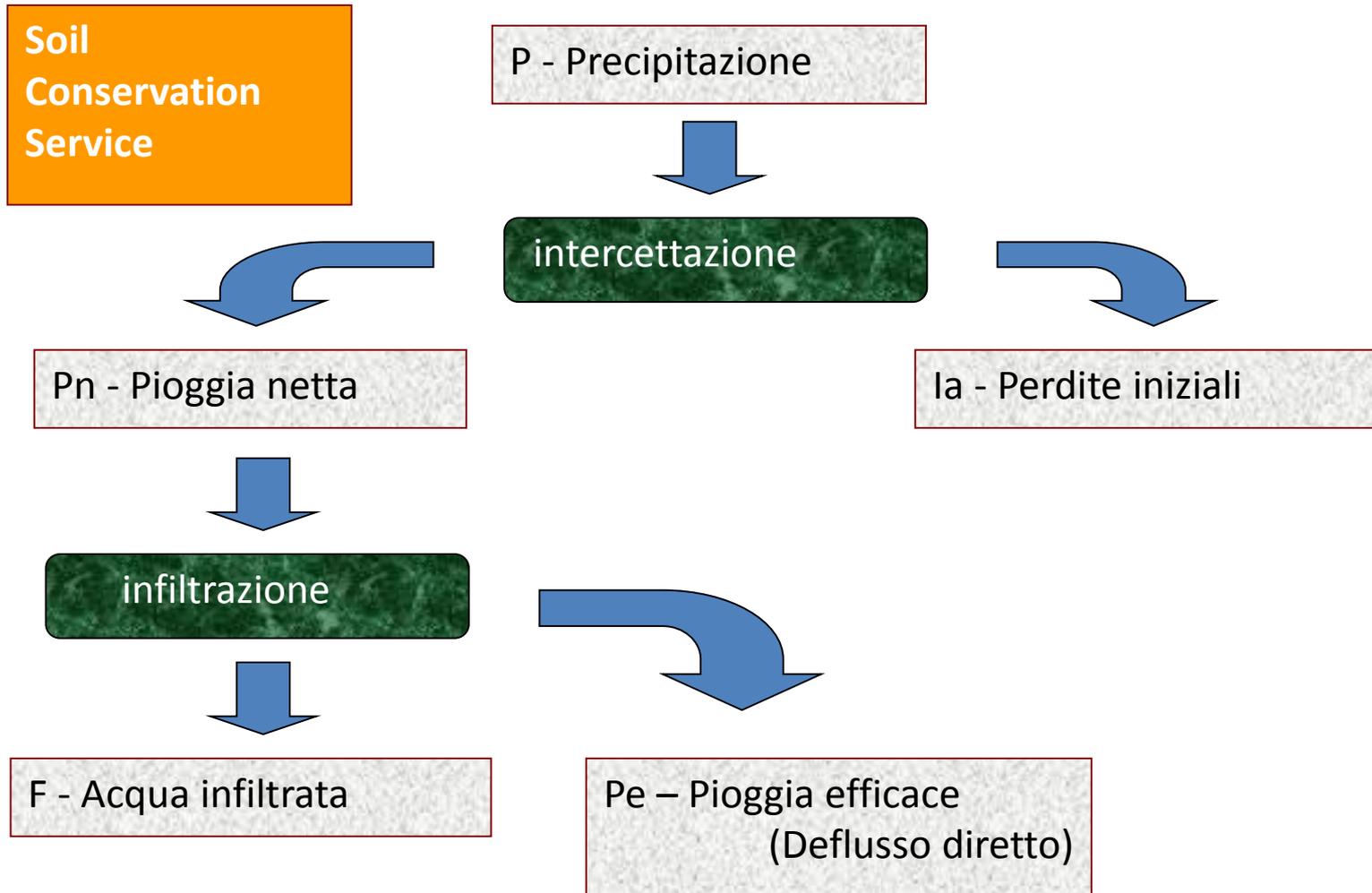
<b>Esempio di calcolo</b>	C	Area (km <sup>2</sup> )	C · A
Pascolo su suolo mediamente permeabile	0.35	2.31	0.8085
Bosco su suolo mediamente permeabile	0.30	1.42	0.4260
Bosco su suolo molto permeabile	0.10	0.37	0.0370
Coltivo su suolo mediamente permeabile	0.40	0.08	0.0320
Coltivo su suolo poco permeabile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

Risulta dunque:

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

# Il metodo del Soil Conservation Service

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

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

# 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  $CN$

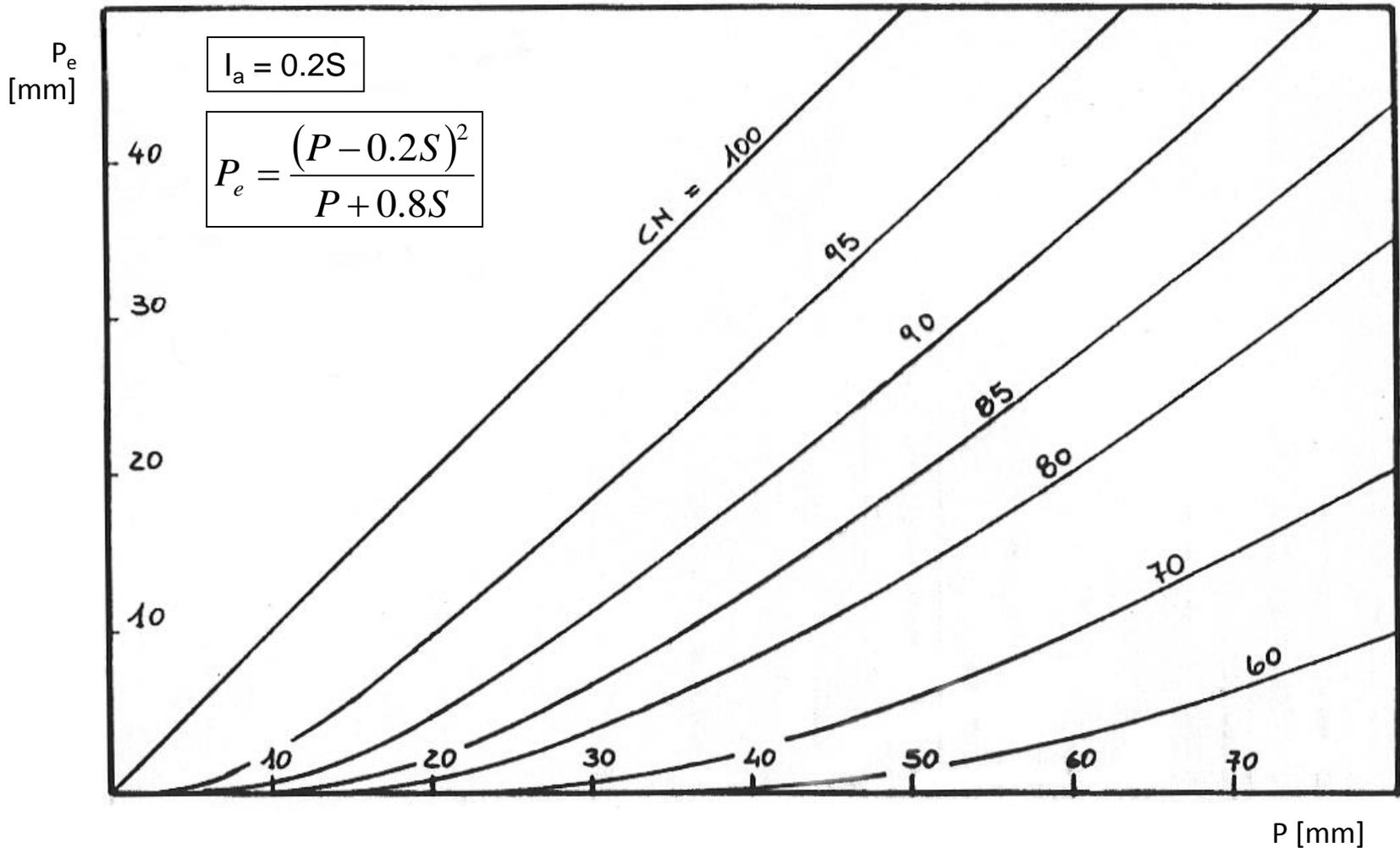
Le perdite iniziali  $I_a$  vengono di norma assunte pari ad una frazione di  $S$  e nella formulazione classica è  $I_a=0.2S$ . Sulla base delle esperienze maturate sui bacini montani delle alpi orientali si ritiene preferibile la relazione  $I_a=0.1S$

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
$\infty$	0	Deflusso nullo	suoli con elevatissima capacità e conducibilità idrica

# Relazioni P – P<sub>e</sub> nel Metodo SCS

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



# Il parametro CN – Numero della Curva

**CN** varia in funzione di quattro diverse classificazioni:

1. classificazione della permeabilità del suolo in quattro classi A, B, C e D , **gruppi idrologici** del suolo
2. classificazione dell'**uso del suolo** e **sistemazione della superficie** (solchi dritti, solchi a reggipoggio, solchi a reggipoggio e terrazzamenti )
3. condizione di **drenaggio** (cattiva, discreta, buona)
4. condizioni iniziali di saturazione dei suoli (**AMC** - Antecedent Moisture Condition)

## I gruppi idrologici

A	Bassa capacità di deflusso – suoli con elevata infiltrabilità anche se completamente saturi – sabbie o ghiaie profonde ben drenate – notevole conducibilità idrica
B	Suoli con moderata infiltrabilità se saturi – discretamente drenati e profondi – tessitura medio-grossolana – conducibilità idrica media
C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi – uno strato impedisce la percolazione verticale – suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità – conducibilità idrica bassa
D	Capacità di deflusso elevata – suoli con infiltrabilità ridottissima in condizioni di saturazione – suoli ricchi di argilla rigonfianti – suoli con strato argilloso superficiale – suoli poco profondi su substrato impermeabile – conducibilità idrica estremamente bassa

# Stima del parametro CN

Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e di copertura:  
dalla **tabella** ⇒  
si ricava CN(II) e si affina poi la stima di  
CN in funzione di AMC utilizzando le  
**tabelle** ↓

AMC categoria	Altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione vegetativa
AMC-I	< 13	< 36
AMC-II	13 - 28	36 - 53
AMC-III	> 28	> 53

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

Uso del suolo	Tipo di copertura		Classe del suolo			
	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi dritti	-	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi dritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi dritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi dritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi dritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi dritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi dritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		-	59	74	82	86
Strade sterrate		-	72	82	87	89
Str. pavimentate		-	74	84	90	92

# Stima del parametro CN

Valori del parametro CN(II) per diverse combinazioni di suolo e di copertura per aree urbane

In letteratura sono reperibili numerose tabelle per la stima del CN riferite a regioni geografiche diverse e a contesti territoriali diversi

Tipo di copertura	Classe del suolo			
	A	B	C	D
<b>Aree residenziali<sup>(1)</sup></b>				
Area media dei lotti				
Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	77	85	90	92
1/4 acro	61	75	83	87
1/3 acro	57	72	81	86
1/2 acro	54	70	80	85
1 acro	51	68	79	84
<b>Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso<sup>(2)</sup></b>	98	98	98	98
<b>Strade urbane ed extraurbane</b>				
pavimentate, a dorso di mulo e con fognatura <sup>(3)</sup>	98	98	98	98
in ghiaia	76	85	89	91
sterrate	72	82	87	89
<b>Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (impermeabili per il 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri etc.</b>				
in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più	39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50+75%	49	69	79	84
<p>(1) Si assume che il deflusso dalla casa e dal viale di accesso sia diretto verso la strada, con una minima quantità di acqua del tetto diretta al prato, dove potrebbe aver luogo un'infiltrazione addizionale.</p> <p>(2) Si assume che le rimanenti aree permeabili (prato) si trovino nelle condizioni di un buon pascolo.</p> <p>(3) In alcuni climi particolarmente caldi degli Stati Uniti CN si può assumere uguale a 95.</p>				

# Stima del parametro CN

Curve Number

Valori del parametro CN(II) utilizzati per alcuni bacini della Carnia (FVG) in un programma di calcolo in ambiente GIS.

Input Section

Format Header File: C:\Progetti\Pontaiba\HyGrid2k2\Pontaiba.hdr

Land Use Grid File: C:\Progetti\Pontaiba\HyGrid2k2\usosuolo.grd

Soil Group Grid File: C:\Progetti\Pontaiba\HyGrid2k2\gruppoid.grd

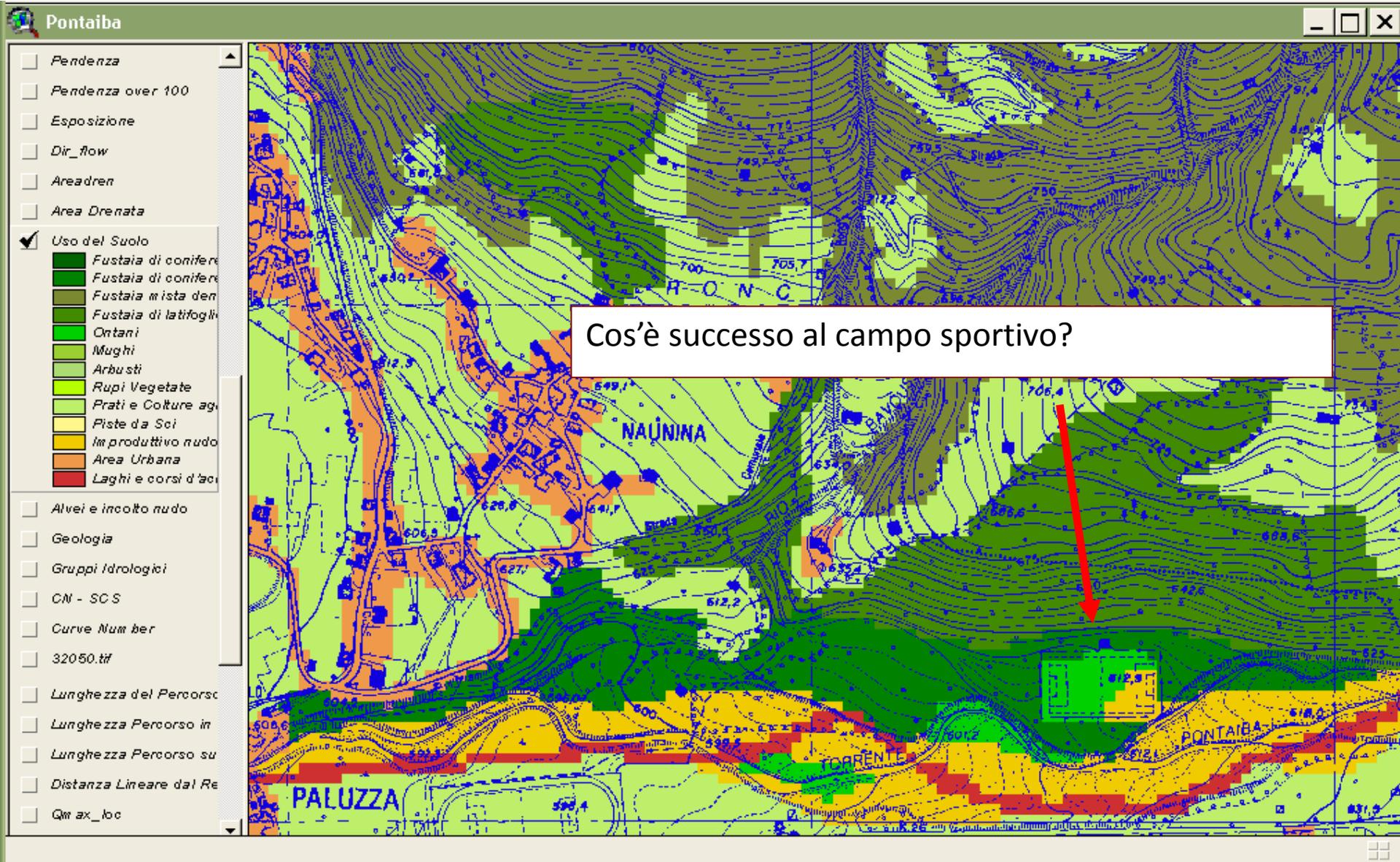
Output Section

Curve Number Grid File: C:\Progetti\Pontaiba\HyGrid2k2\scs\_cn.grd

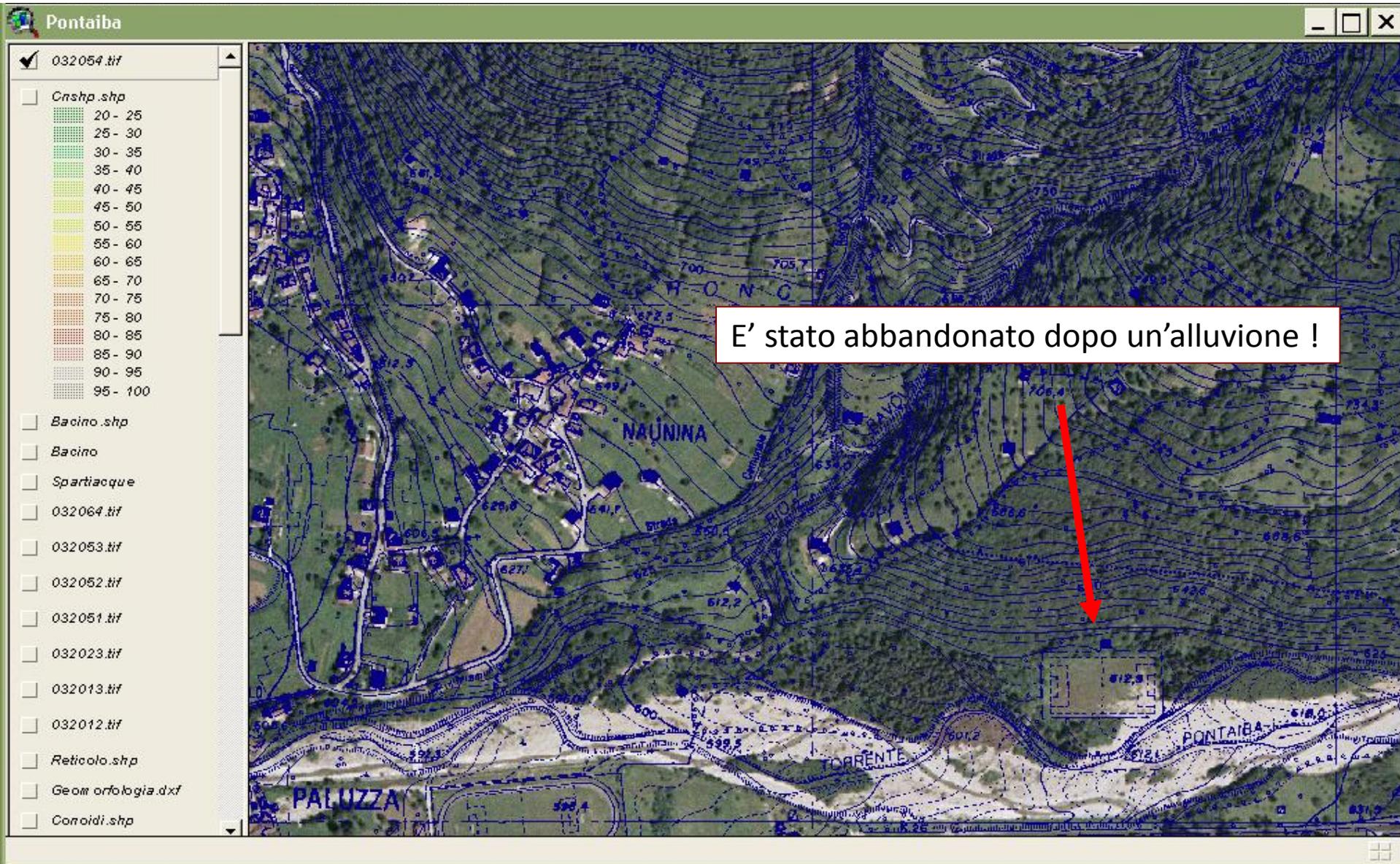
Soil Group	From Value	To Value	
Gruppo A	1.000000	2.000000	Soil Group A - High Permeability
Gruppo B	2.000000	3.000000	Soil Group B - Medium Permeability
Gruppo C	3.000000	4.000000	Soil Group C - Low Permeability
Gruppo D	4.000000	5.000000	Soil Group D - Very Low Permeability

Land Use	From Value	To Value	CN Group A	CN Group B	CN Group C	CN Group D
Fustaia conifere densa	1.000000	2.000000	25.00000	85.00000	70.00000	77.00000
Fustaia conifere rada	2.000000	3.000000	36.00000	60.00000	73.00000	79.00000
Fustaia mista densa	3.000000	4.000000	25.00000	55.00000	70.00000	77.00000
Fustaia latifoglie	4.000000	5.000000	36.00000	60.00000	73.00000	79.00000
Ontani	6.000000	6.000000	45.00000	66.00000	77.00000	83.00000
Mughì	7.000000	7.000000	45.00000	66.00000	77.00000	83.00000
Arbusti	8.000000	8.000000	45.00000	66.00000	77.00000	83.00000
Rupi vegetate	9.000000	9.000000	77.00000	86.00000	91.00000	94.00000
Prati e Colture Agrarie	10.00000	10.00000	49.00000	69.00000	79.00000	84.00000
Piste da sci	10.00000	11.00000	68.00000	79.00000	86.00000	89.00000
Improduttivo	11.00000	12.00000	77.00000	86.00000	91.00000	94.00000
Aree urbane	12.00000	13.00000	75.00000	82.00000	88.00000	90.00000
Corsi d'acqua	13.00000	14.00000	99.00000	99.00000	99.00000	99.00000

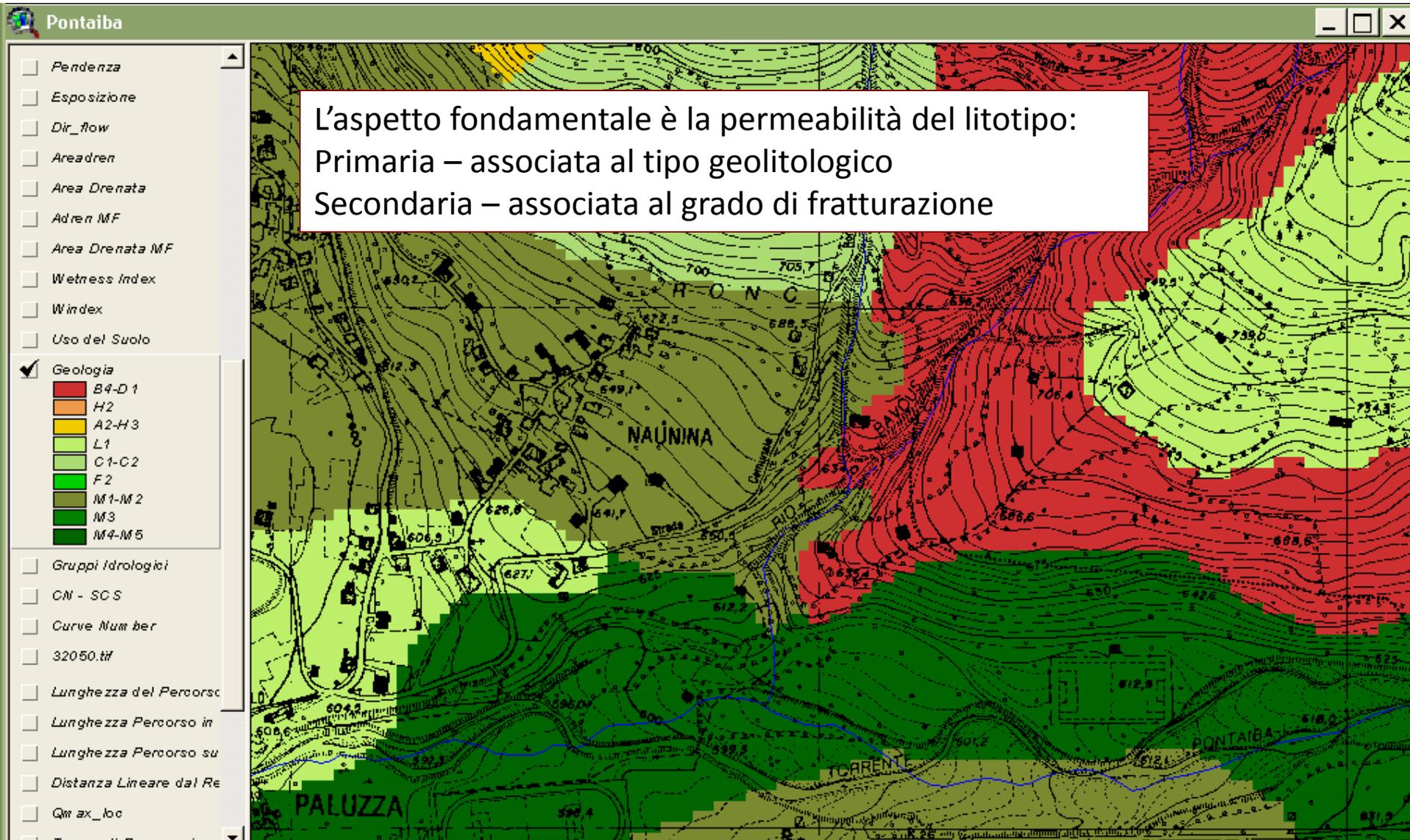
# Torrente Pontaiba (FVG) - Uso del suolo



# Torrente Pontaiba (FVG) - Ortofoto



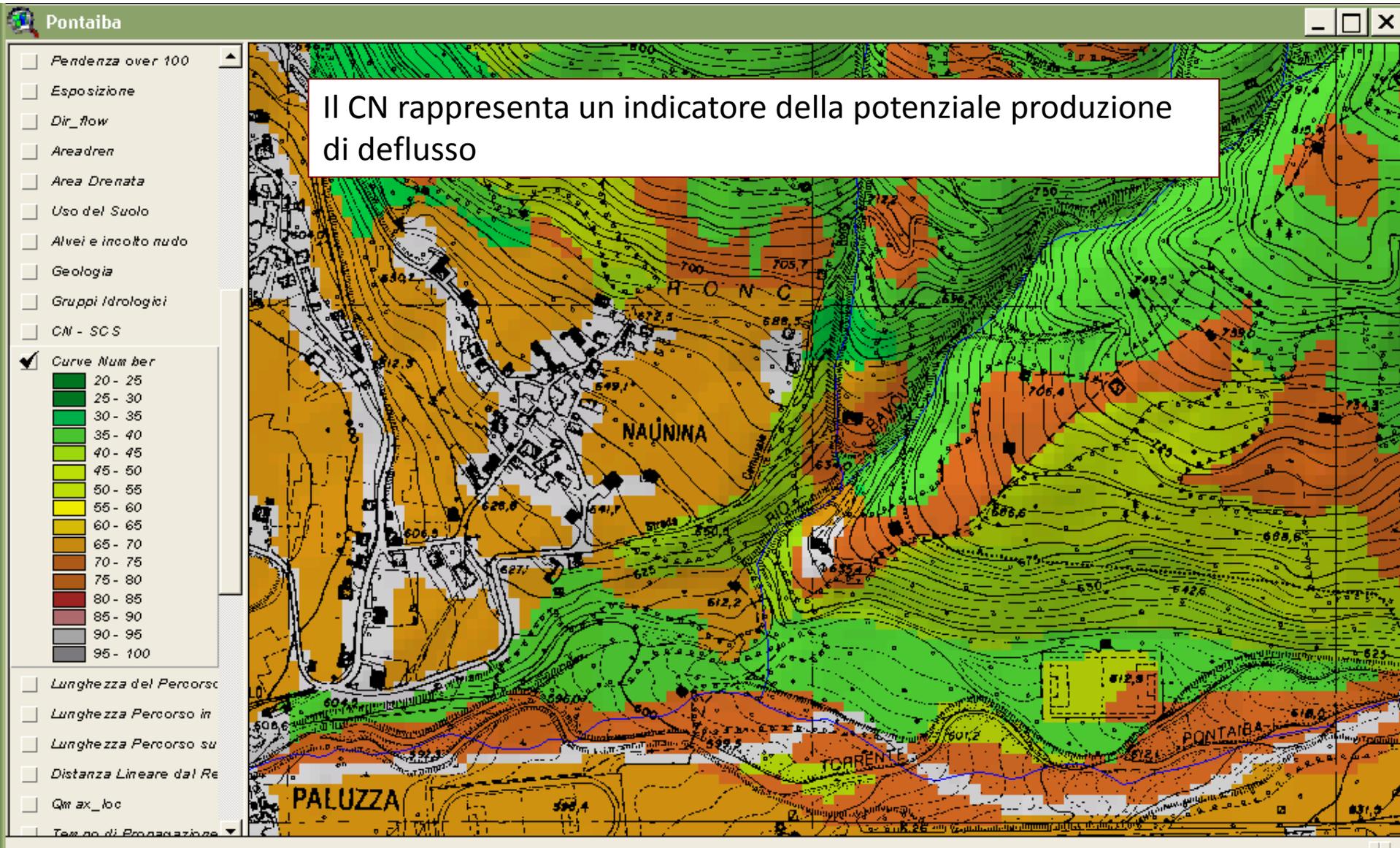
# Torrente Pontaiba (FVG) - Geolitologia



# Torrente Pontaiba (FVG) – Gruppi Idrologici



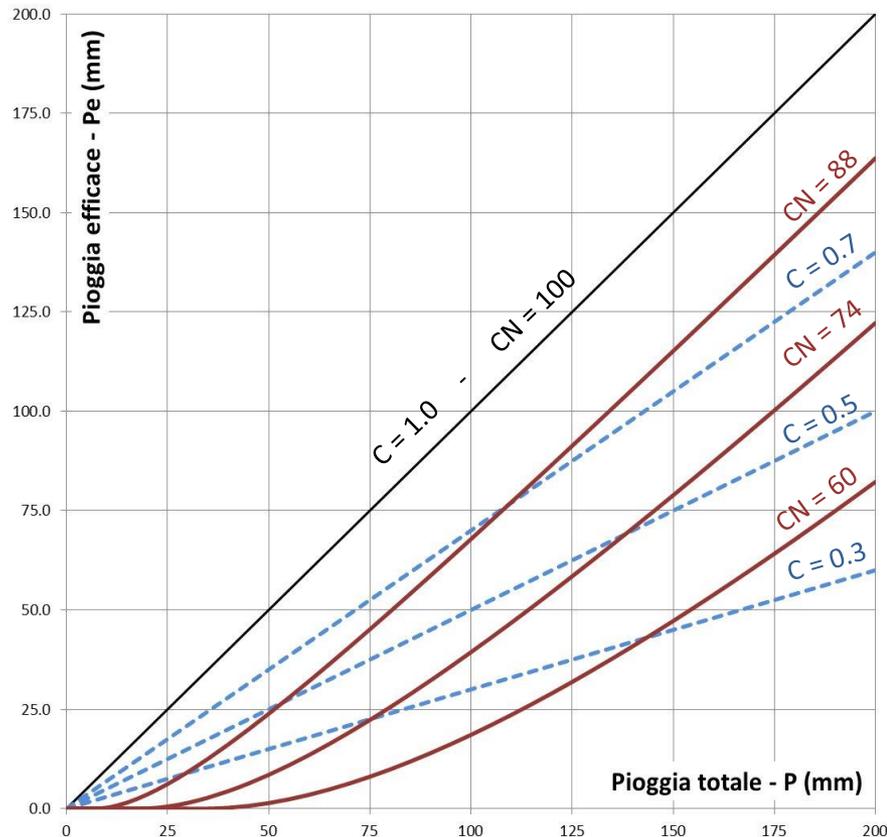
# Torrente Pontaiba (FVG) – CN



# Differenza tra i metodi C e CN

## coefficiente di deflusso - C

- $P_e > 0$  per ogni valore di P
- relazione lineare



## Soil Conservation Service - CN

- $P_e > 0$  solo se  $P > 0.2S$
- relazione non lineare (diventa quasi lineare per valori di P molto grandi)
- Impostazione concettuale meno approssimativa
- Relazione più stretta con le caratteristiche di suolo e soprassuolo
- Ampia base sperimentale

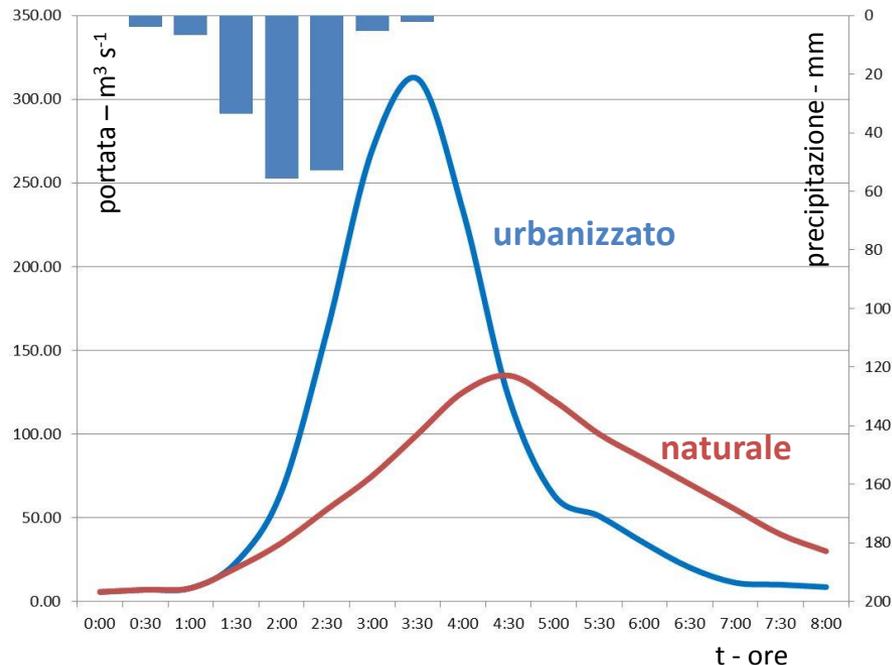
Il metodo del coefficiente di deflusso è ampiamente utilizzato in contesto «ingegneristico» in virtù della sua estrema semplicità.

Il metodo del S.C.S. richiede gli stessi dati ma offre una descrizione più dettagliata del fenomeno.

# Gli effetti dell'urbanizzazione

L'urbanizzazione produce generalmente un aumento del volume di deflusso diretto e un aumento della portata massima dovuti a:

- L'aumento delle superfici impermeabili (strade, parcheggi, tetti, ecc.) riduce complessivamente l'infiltrazione
- La trasformazione dei canali naturali in canali sotterranei riduce i volumi di invaso. La rete artificiale è idraulicamente più efficiente. Come conseguenza la velocità del deflusso aumenta e la concentrazione è più rapida incrementando i picchi di piena.



Tutto ciò può essere empiricamente tradotto in un aumento del coefficiente di deflusso o un aumento del CN.

Dopo l'urbanizzazione il picco di piena aumenta ed è anticipato. Nonostante l'aumento del volume di deflusso diretto la piena si esaurisce più rapidamente.