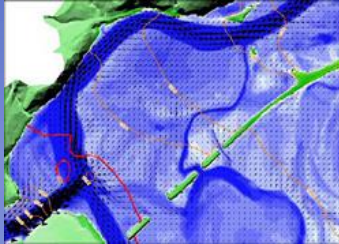


**Problematiche connesse all'utilizzo di softwares per
la modellazione idrologico-idraulica dei bacini
idrografici**

Marco Materazzi, Marco Giacometti
(Scuola di Scienze e Tecnologie – Sezione di Geologia - UNICAM)

I SOFTWARES IN COMMERCIO

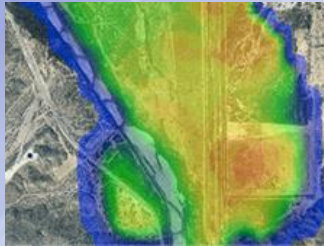
TUFLOW



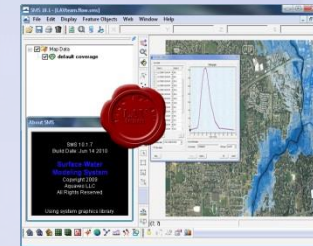
MIKE FLOOD



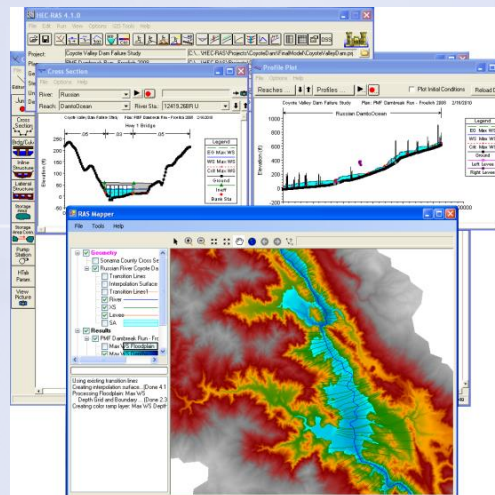
FLO2D



SMS – Surface Modeling System

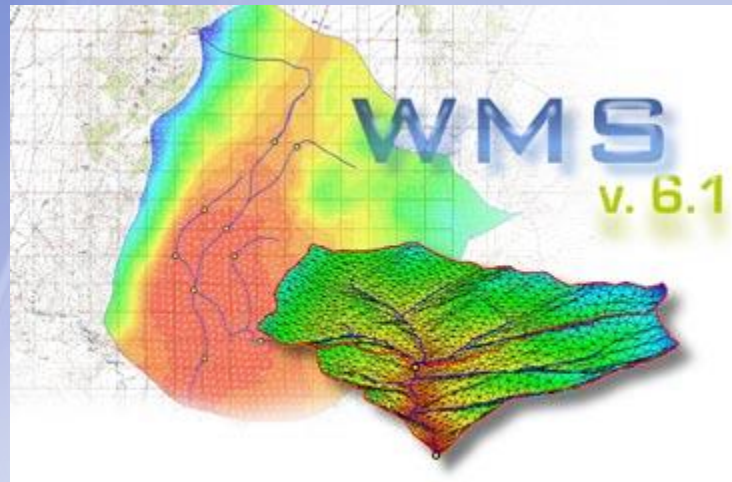


HEC-RAS

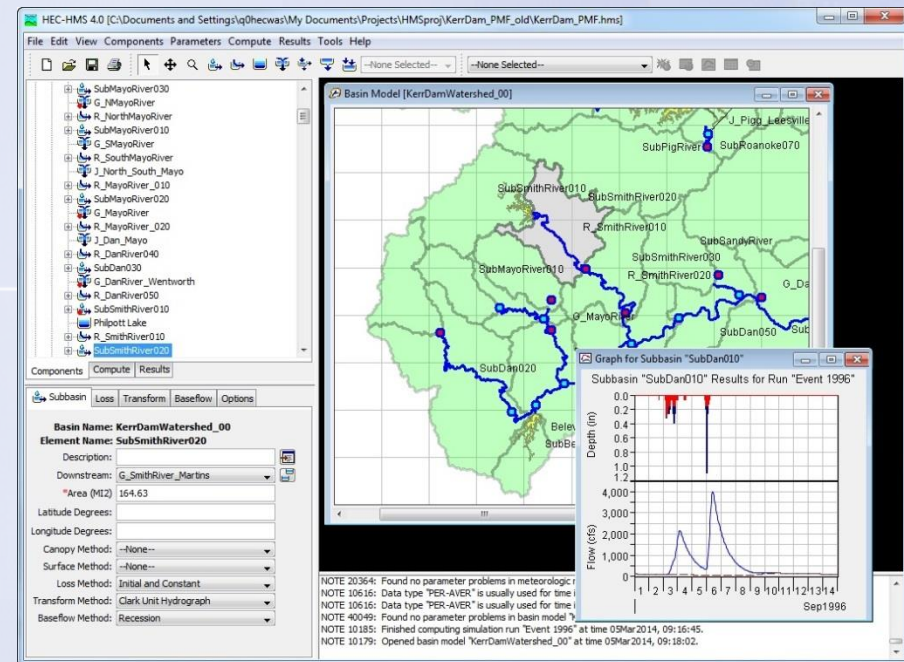


I SOFTWARES IN COMMERCIO

WMS – Watershed Modeling System



HEC-HMS



I MODELLI FONDAMENTALI

IL MODELLO GEOMORFOLOGICO

IL MODELLO IDROLOGICO

IL MODELLO IDRAULICO

IL MODELLO GEOMORFOLOGICO ED I PARAMETRI MORFOMETRICI DI UN BACINO

IL TEMPO DI CORRIVAZIONE DI UN BACINO

FORMULA DI KIRPICH

$$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore)

L = lunghezza asta principale (m)

S = pendenza media del bacino

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore)

A = area del bacino (km²)

I = pendenza media dell'asta principale

FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore)

A = area del bacino (km²)

L = lunghezza asta principale (km)

Z = altezza media del bacino (m)

FORMULA DI PEZZOLI

$$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore)

L = lunghezza dell'asta principale (km)

I = pendenza media dell'asta principale

FORMULA DI TOURNON

$$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore)

A = area del bacino (km²)

I = pendenza media dell'asta principale

S = pendenza media del bacino

L = lunghezza dell'asta principale (km)

FORMULA DI PUGLISI

$$T_c = 6L^{2/3} (h_{\max} - h_{\min})^{-1/3}$$

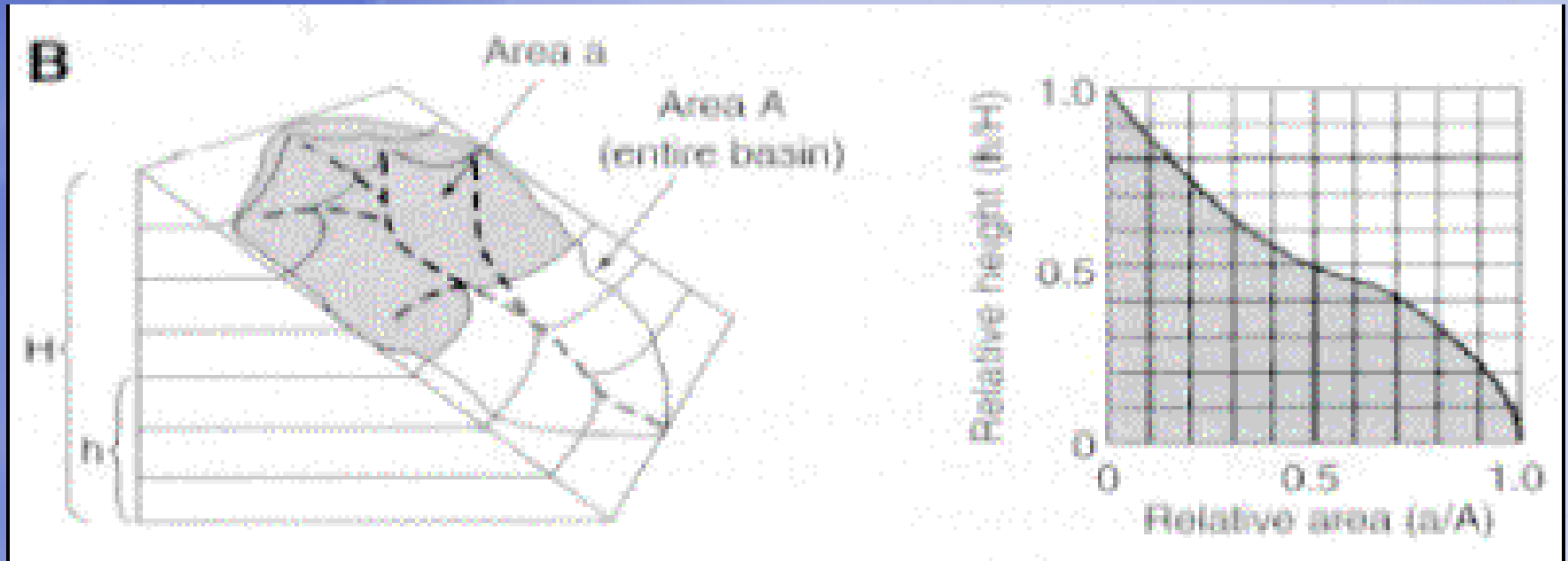
T_c = tempo di corrivazione (ore)

h_{max} = quota massima bacino

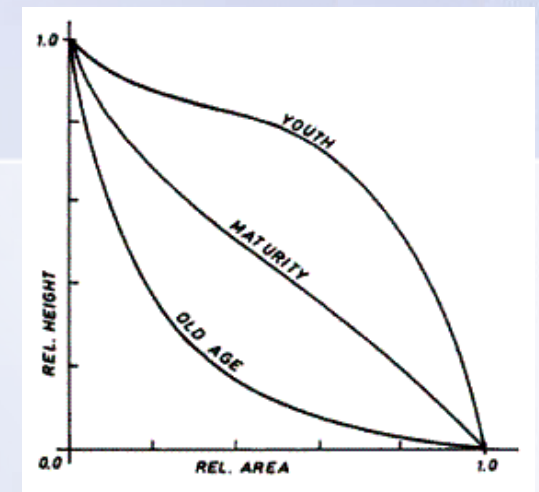
h_{min} = quota sezione chiusura

L = lunghezza dell'asta principale (km)

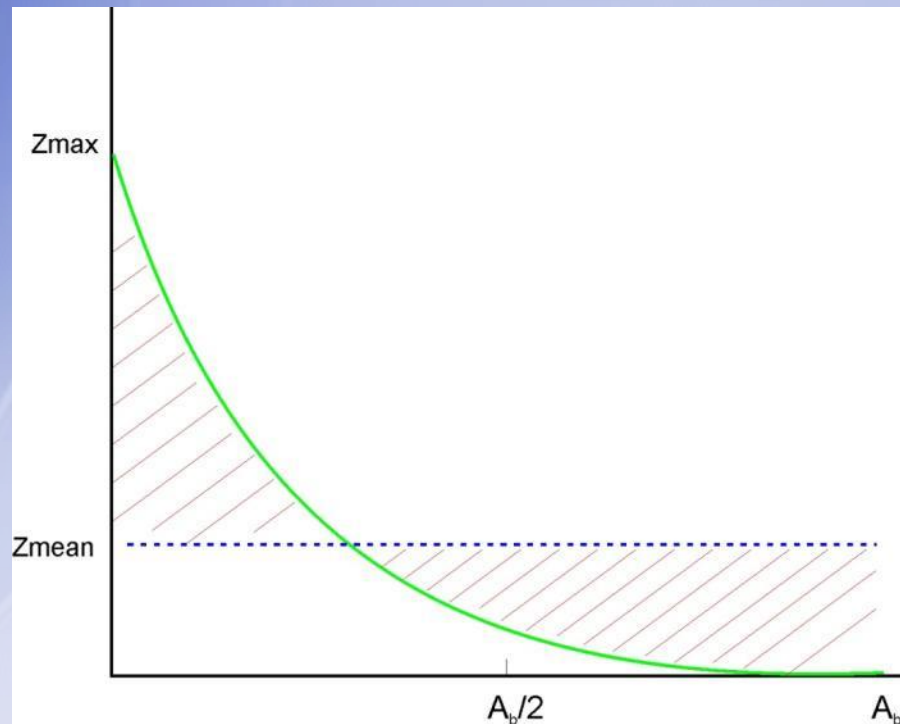
LA CURVA IPSOMETRICA E L'INTEGRALE IPSOMETRICO



La curva ipsometrica esprime la distribuzione cumulativa delle quote in una zona. Nella figura un bacino idrografico è diviso in 8 parti uguali che coprono l'altezza totale H . La superficie totale (A) è la somma delle aree dei singoli sottobacini, mentre (a) è l'area del sottobacino individuato al di sopra della corrispondente altezza h .



L'ALTEZZA MEDIA DI UN BACINO



L'altezza media (z_{mean}) viene determinata dalla curva ipsografica dalla seguente relazione

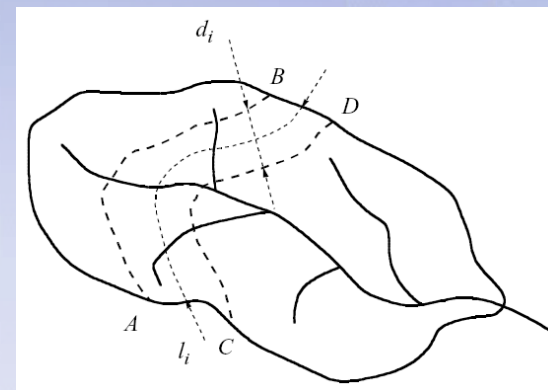
$$z_{mean} = \frac{1}{A_b} \int_0^{A_b} z \partial A$$

LA PENDENZA MEDIA DI UN BACINO

Metodo di Alvord-Horton

Il metodo consiste nel misurare la lunghezza totale **L** delle curve di livello incluse nel bacino (di assegnata equidistanza **Δz**) e poi calcolare la pendenza media **i_m** dalla relazione

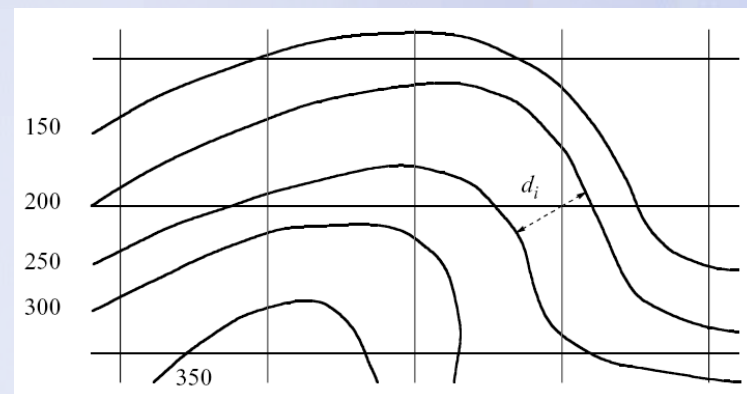
$$i_m = \frac{\Delta z L}{A}$$



Metodo della griglia

Consiste nel sovrapporre una griglia a maglia quadrata sulla rappresentazione topografica del bacino. Per ogni nodo della griglia si misura la distanza minore **d** tra le curve di livello posizionate in due riquadri differenti della griglia. Se **Δz** è il dislivello fra le curve di livello, la pendenza locale **i_i** in corrispondenza del nodo i-esimo sarà

$$i_i = \frac{\Delta z}{d_i}$$



La pendenza media del bacino, dove N è il numero di nodi, sarà perciò la media aritmetica delle singole pendenze

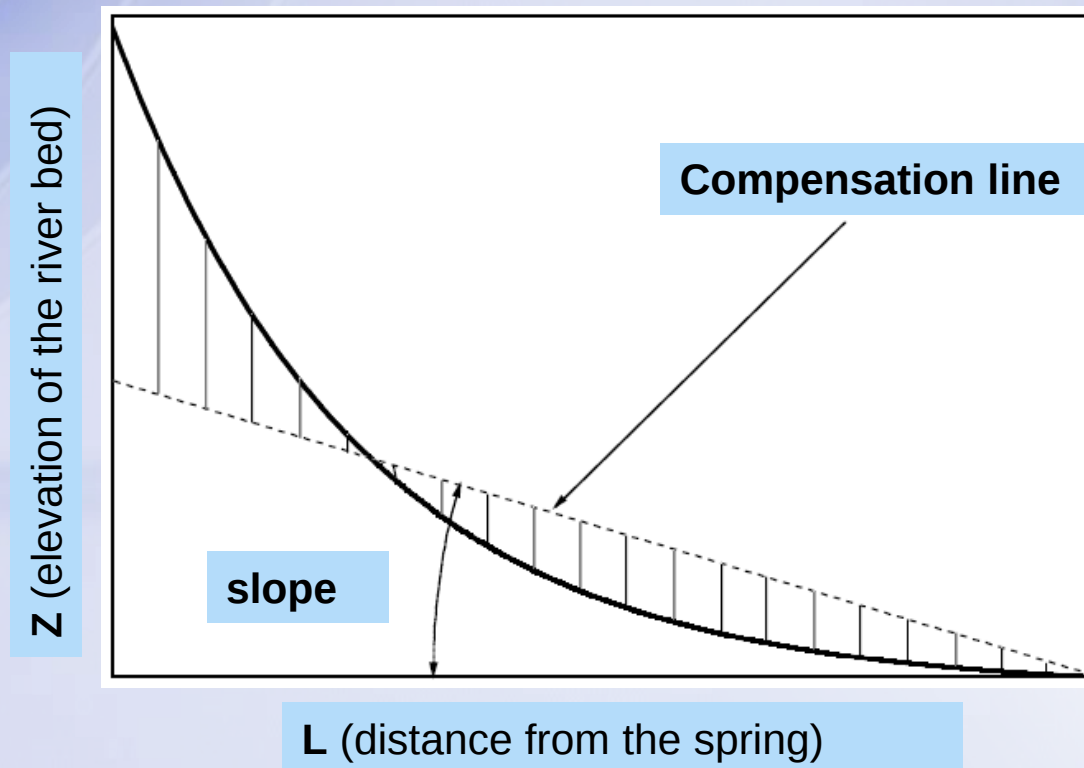
$$i_m = \frac{1}{N} (i_1 + i_2 + \dots + i_N)$$

Maggiore il dettaglio della griglia, maggiore la precisione del metodo

LA PENDENZA MEDIA DI UN CORSO D'ACQUA

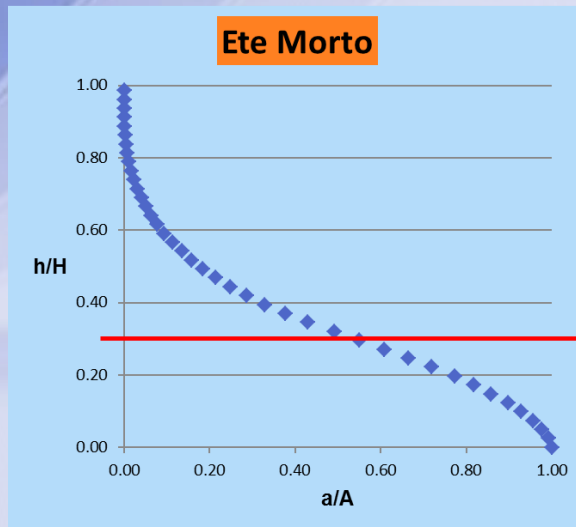
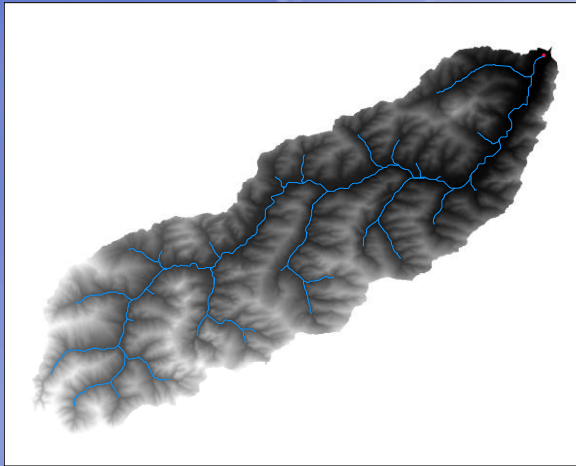
E' definita come la pendenza della linea di compensazione disegnata sopra il grafico che mostra il profilo longitudinale del corso d'acqua

La linea di compensazione deve essere tracciata così che le aree al di sopra e al di sotto del profilo longitudinale mostrino la stessa estensione.



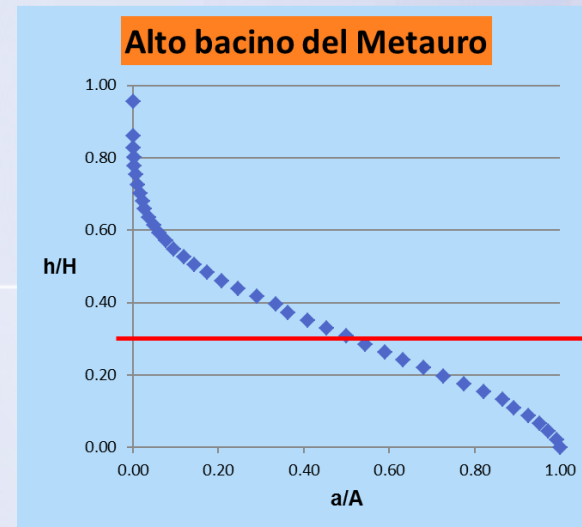
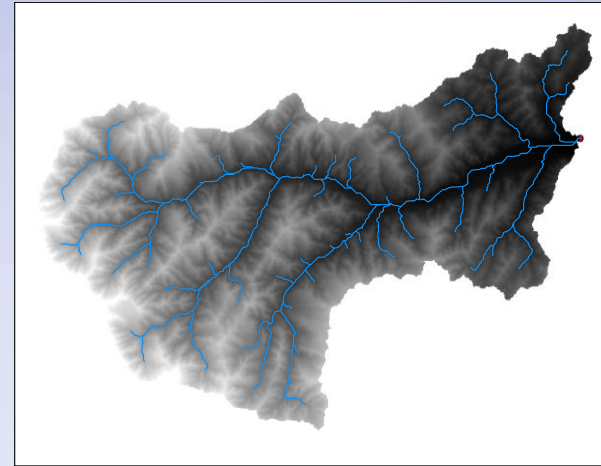
LA CURVA IPSOGRAFICA E L'INTEGRALE IPSOGRAFICO

ETE MORTO



Valore integrale ipsografico
0.336

ALTO METAURO



Valore integrale ipsografico
0.319

IL BACINO DELL'ETE MORTO

PROBLEMATICHE CONNESSE ALL'UTILIZZO DI ALCUNI SOFTWARES FREEWARE

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA			TEMPO DI CORRVAZIONE t_c (ore)
Superficie del Bacino	S =	205.50 Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 9.34$
Lunghezza percorso idraulico principa	L =	39.54 Km	
Altitudine max percorso idraulico	H_{max} =	498.00 m (s.l.m.)	{ Kirpich, Watt- Chow , Pezzoli $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8} =$
Altitudine min percorso idraulico	H₀ =	23.00 m (s.l.m.)	
Pendenza media percorso idraulico	P =	0.01 (m/m)	☒ Giandotti ☐ Kirpich, Watt-Chow, Pezzoli...
Altitudine max bacino	H_{max} =	510.00 m (s.l.m.)	
Altitudine sezione considerata	H₀ =	23.00 m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	H_m =	266.50 m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	H_m - H₀ =	243.50 m	Software freeware distribuito da geologi.it

IL BACINO DELL'ETE MORTO

$$Q_{\max} = \frac{ch_{(t,T)}A}{3.6Tc}$$

Metodo razionale

Tc (Giandotti) = **9.34 h**

BACINO: Ete Morto	
Area bacino (A) (km ²)	205.5
Lunghezza asta principale (L) (km)	39.54
Pendenza media bacino (S)	0.21
Pendenza media asta principale (I)	0.023
Altezza media bacino (Z)(m)*	243.5
Quota massima bacino (h_{max})	510
Quota sezione chiusura (h_{min})	23
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

BACINO: Ete Morto	
Area bacino (A) (km ²)	205.5
Lunghezza asta principale (L) (km)	39.54
Pendenza media bacino (S)	0.21
Pendenza media asta principale (I)	0.023
Altezza media bacino (Z)(m)*	172.2
Quota massima bacino (h_{max})	510
Quota sezione chiusura (h_{min})	23
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

Tc (Giandotti) = **11.11 h**

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
131.2529	10
159.3243	30
172.1283	50
189.3912	100
206.5847	200



- 12%

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
115.9677	10
141.0432	30
152.4809	50
167.9020	100
183.2611	200

L'ALTO BACINO DEL METAURO

BACINO: Metauro	
Area bacino (A) (km ²)	157.2
Lunghezza asta principale (L) (km)	25.72
Pendenza media bacino (S)	0.37
Pendenza media asta principale (I)	0.056
Altezza media bacino (Z)(m)*	523
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

T_C (Giandotti) = **4.85 h**

Q _{max} (m ³ /sec)	Tr (anni)
160.2525	10
193.1073	30
208.0952	50
228.3040	100
248.4327	200



-13%

BACINO: Metauro	
Area bacino (A) (km ²)	157.2
Lunghezza asta principale (L) (km)	25.72
Pendenza media bacino (S)	0.37
Pendenza media asta principale (I)	0.056
Altezza media bacino (Z)(m)*	345.18
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

T_C (Giandotti) = **5.97 h**

Q _{max} (m ³ /sec)	Tr (anni)
138.1743	10
166.8895	30
179.9879	50
197.6483	100
215.2380	200

IL BACINO DELL'ETE MORTO

BACINO: Ete Morto	
Area bacino (A) (km ²)	205.5
Lunghezza asta principale (L) (km)	39.54
Pendenza media bacino (S)	0.12
Pendenza media asta principale (I)	0.012
Altezza media bacino (Z)(m)*	243.5
Quota massima bacino (h_{max})	510
Quota sezione chiusura (h_{min})	23
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giandotti	9.34	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	2.55	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	16.65	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	19.85	13.83
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	14.48	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	8.82	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
99.1930	10
120.9368	30
130.8554	50
144.2287	100
157.5487	200



+ 15%

BACINO: Ete Morto	
Area bacino (A) (km ²)	205.5
Lunghezza asta principale (L) (km)	39.54
Pendenza media bacino (S)	0.21
Pendenza media asta principale (I)	0.023
Altezza media bacino (Z)(m)*	172.2
Quota massima bacino (h_{max})	510
Quota sezione chiusura (h_{min})	23
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giandotti	10.67	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	2.05	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	12.02	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	14.34	11.33
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	10.80	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	8.82	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
114.3566	10
139.1142	30
150.4070	50
165.6326	100
180.7971	200

L'ALTO BACINO DEL METAURO

BACINO: Metauro	
Area bacino (A) (km ²)	157.2
Lunghezza asta principale (L) (km)	25.72
Pendenza media bacino (S)	0.15
Pendenza media asta principale (I)	0.04
Altezza media bacino (Z)(m)*	523
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giandotti	4.85	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	1.68	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	7.97	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	7.07	7.26
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	11.24	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	5.16	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
120.1738	10
145.4657	30
157.0021	50
172.5560	100
188.0474	200



+ 8%

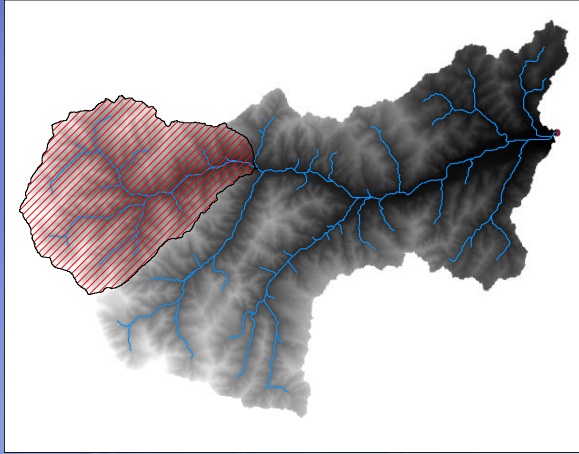
BACINO: Metauro	
Area bacino (A) (km ²)	157.2
Lunghezza asta principale (L) (km)	25.72
Pendenza media bacino (S)	0.37
Pendenza media asta principale (I)	0.056
Altezza media bacino (Z)(m)*	345.18
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giandotti	5.97	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	1.19	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	6.74	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	5.98	6.32
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	7.75	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	5.16	

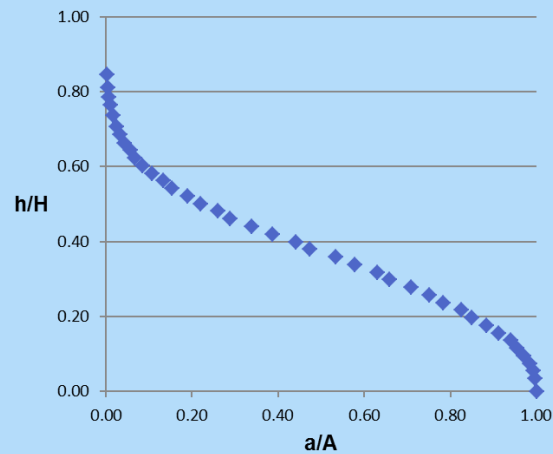
Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
132.6704	10
160.3439	30
172.9669	50
189.9861	100
206.9372	200

LA CURVA IPSOGRAFICA E L'INTEGRALE IPSOGRAFICO

SOTTOBACINO_1



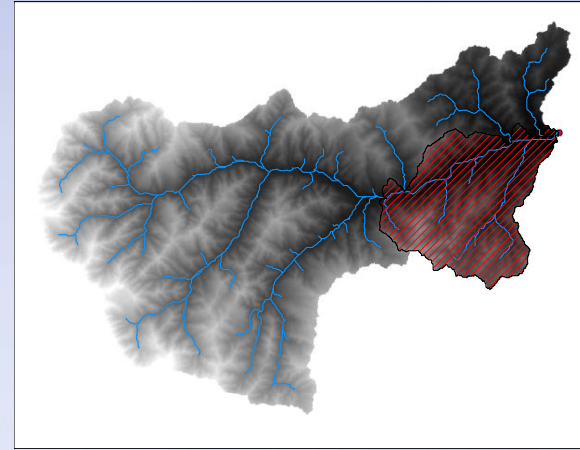
Sottobacino 1 (Metauro)



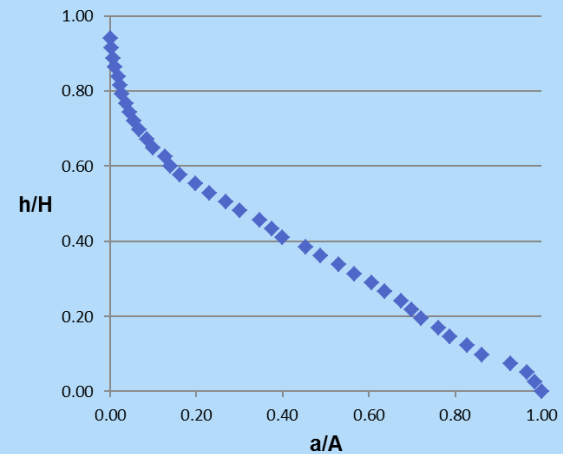
Valore integrale ipsografico

0.375

SOTTOBACINO_2



Sottobacino 2 (Metauro)



Valore integrale ipsografico

0.361

SOTTOBACINO 1: (ALTO BACINO DEL METAURO)

BACINO: Sottobacino 1 (Metauro)	
Area bacino (A) (km ²)	39.49
Lunghezza asta principale (L) (km)	12.31
Pendenza media bacino (S)	0.1
Pendenza media asta principale (I)	0.075
Altezza media bacino (Z)(m)*	468.5
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	447
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

BACINO: Sottobacino 1 (Metauro)	
Area bacino (A) (km ²)	39.49
Lunghezza asta principale (L) (km)	12.31
Pendenza media bacino (S)	0.47
Pendenza media asta principale (I)	0.076
Altezza media bacino (Z)(m)*	361.68
Quota massima bacino (h_{max})	1384
Quota sezione chiusura (h_{min})	447
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
54.4036	10
65.2490	30
70.1979	50
76.8717	100
83.5199	200



+ 16%

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giordotti	2.52	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	1.11	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	2.92	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	2.47	3.18
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tourmon	6.09	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	3.29	

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giordotti	2.87	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	0.61	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	2.90	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	2.46	2.55
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tourmon	3.48	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	3.29	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
63.6853	10
76.1929	30
81.9015	50
89.6006	100
97.2710	200

SOTTOBACINO 2: (ALTO BACINO DEL METAURO)

BACINO: Sottobacino 2 (Metauro)	
Area bacino (A) (km ²)	25.42
Lunghezza asta principale (L) (km)	10.89
Pendenza media bacino (S)	0.13
Pendenza media asta principale (I)	0.041
Altezza media bacino (Z)(m)*	230
Quota massima bacino (h_{max})	798
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

BACINO: Sottobacino 2 (Metauro)	
Area bacino (A) (km ²)	25.42
Lunghezza asta principale (L) (km)	10.89
Pendenza media bacino (S)	0.32
Pendenza media asta principale (I)	0.04
Altezza media bacino (Z)(m)*	142.6
Quota massima bacino (h_{max})	798
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
35.6624	10
42.7596	30
45.9982	50
50.3656	100
54.7164	200



+ 8%

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Gianfrotti	3.01	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	0.92	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	3.17	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	2.96	3.10
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	4.64	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	3.84	

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Gianfrotti	3.82	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	0.65	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	3.21	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	2.99	2.81
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	3.37	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	3.84	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
38.2511	10
45.8131	30
49.2642	50
53.9184	100
58.5549	200

SOTTOBACINO 2: (ALTO BACINO DEL METAURO)

BACINO: Sottobacino 2 (Metauro)	
Area bacino (A) (km ²)	25.42
Lunghezza asta principale (L) (km)	10.89
Pendenza media bacino (S)	0.32
Pendenza media asta principale (I)	0.04
Altezza media bacino (Z)(m)*	142.6
Quota massima bacino (h_{max})	798
Quota sezione chiusura (h_{min})	338
Coefficiente di deflusso (c)	0.3

$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}}$	Giandotti	3.82	
$T_c = 0.000325 \times L^{0.77} S^{-0.385}$	Kirpich	0.65	
$T_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{0.50}$	Ventura	3.21	media
$T_c = \frac{0.055 \times L}{\sqrt{I}}$	Pezzoli	2.99	2.81
$T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{I}} \left(\frac{A}{L^2 \sqrt{S}} \right)^{0.72}$	Tournon	3.37	
$T_c = 6L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$	Puglisi	3.84	

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
108.7072	10
128.0863	30
136.9529	50
148.9260	100
160.8670	200

- 65%

Qmax (m ³ /sec)	Tr (anni)
38.2511	10
45.8131	30
49.2642	50
53.9184	100
58.5549	200

CONSIDERAZIONI SULLA SCELTA DEI PARAMETRI MORFOMETRICI

....a parità di tutti gli altri parametri....

1) L'utilizzo del solo Metodo di Giandotti ed un'errata valutazione dell'altezza media del bacino portano a:

SOVRASTIMARE
le portate di piena nei bacini «vecchi»

SOTTOSTIMARE
le portate di piena nei bacini «giovani»
(es: piccoli bacini alto-collinari e montani)

2) In generale, un'errata valutazione dei parametri morfometrici del bacino porta a:

SENSIBILI SCOSTAMENTI DAI VALORI REALI
(positivi o negativi)

3) Lo scostamento è statisticamente più marcato nei

BACINI MINORI

4) L'utilizzo di un solo metodo, anche se metodologicamente corretto, può portare a:

ERRORI ANCHE MOLTO GROSSOLANI

IL MODELLO IDROLOGICO

LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

Metodo razionale

$$Q_{\max} = \frac{ch_{(t,T)}A}{3.6Tc}$$

$Q_{\max}$ = portata di piena (m³/s)

c = coefficiente di deflusso

A = superficie del bacino (km²)

Tc = tempo di corrivazione (ore)

$h(t, T)$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)



Metodo del SCS (Soil Conservation Service)

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

Q = runoff (mm)

P = precipitazioni (mm)

S = potenziale di ritenzione (mm)

I_a = perdita iniziale (mm)

$$I_a = 0.2 \times S$$

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

AMC	Totale di pioggia nei 5-giorni precedenti l'evento (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	Meno di 13	Meno di 36
II	Da 13 a 28	Da 36 a 53
III	Più di 28	Più di 53

$$CN(I) = \frac{4.2 \text{ CN(II)}}{10 - 0.058 \text{ CN(II)}}$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0.13 \text{ CN(II)}}$$

IL METODO SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE)

HSG	Tessitura
A	Sand, loamy sand, or sandy loam
B	Silt loam or loam
C	Sandy clay loam
D	Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay or clay

Gruppo A: suoli con bassa capacità di formare deflussi; elevata infiltrabilità anche in condizioni di saturazione; suoli sabbiosi o ghiaiosi profondi e ben drenati; conducibilità idrica elevata (maggiore di 7.6mm/hr).

Gruppo B: suoli con modesta infiltrabilità se saturi; discretamente drenati e profondi con tessitura medio-grossolana; conducibilità idrica moderata (3.8-7.6 mm/hr).

Gruppo C: suoli con basso tasso di infiltrazione se saturi; suoli con uno strato che impedisce il movimento verso il basso oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità; conducibilità idrica bassa (1.3-3.8 mm/hr).

Gruppo D: suoli con elevata capacità di formare deflussi; suoli ricchi di argilla con capacità ringonfianti, suoli con uno strato di argilla vicino alla superficie e suoli poco profondi su substrati impermeabili; conducibilità idrica estremamente bassa (0-1.3 mm/hr).

IL METODO SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE)

Table 2-2b Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands ^{1/}

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment ^{2/}	Hydrologic condition ^{3/}	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C&T+ CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T+ CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

IL METODO SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE)

Table 2-2c Runoff curve numbers for other agricultural lands ^{1/}

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^{2/}	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^{3/}	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^{4/}	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^{5/}	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^{6/}	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ^{4/}	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

^{1/} Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

^{2/} *Poor*: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

^{3/} *Poor*: <50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: >75% ground cover.

^{4/} Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

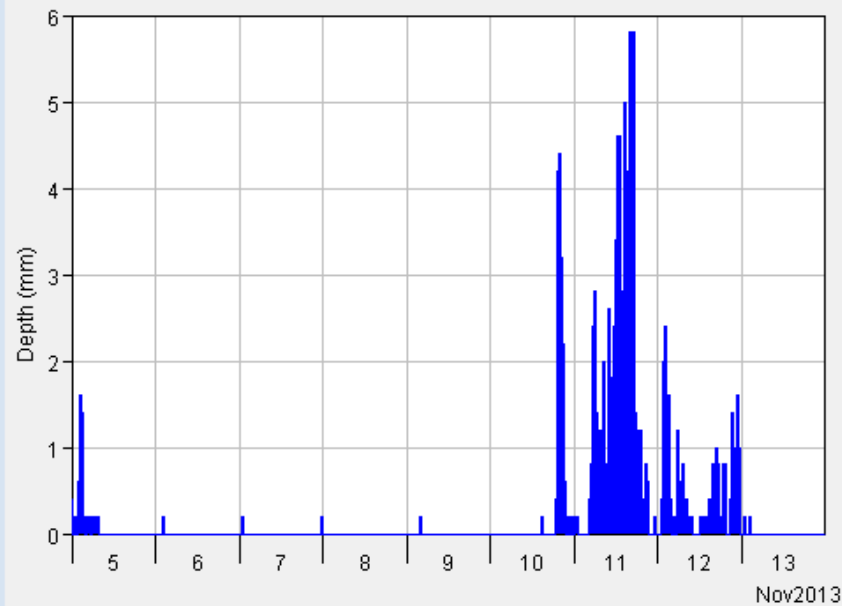
^{5/} CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

^{6/} *Poor*: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

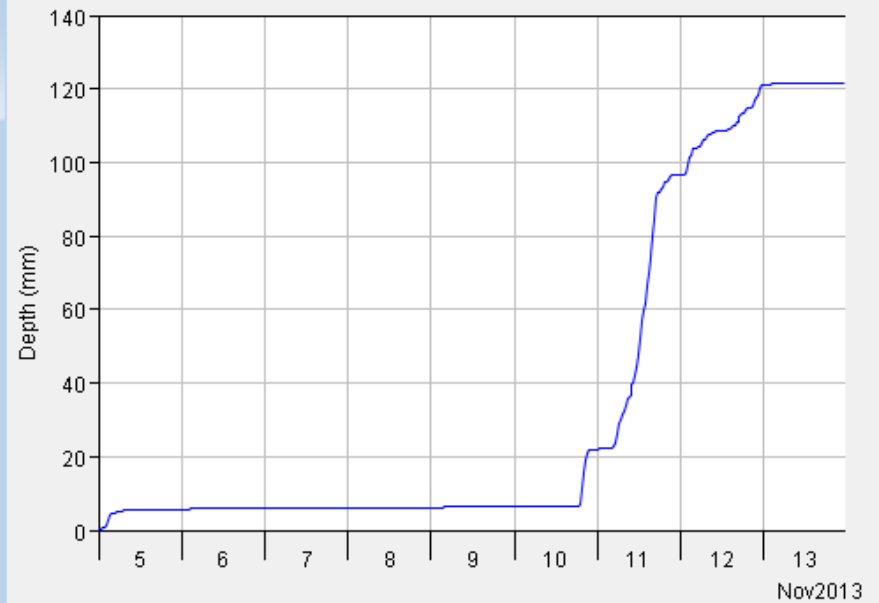
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

L'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 10-11-12 NOVEMBRE 2013



Legend

Run:sub_1 Element:SOTTOBACINO 1 Result:Precipitation

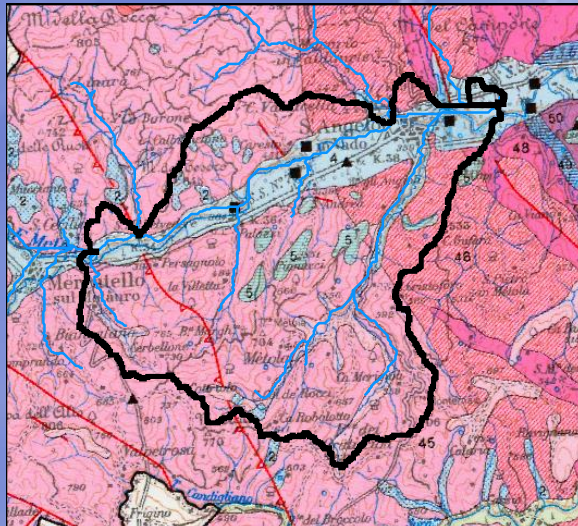


Legend

Run:sub_1 Element:SOTTOBACINO 1 Result:Cumulative Precipitation

LA SCELTA DELLA CLASSE DI SUOLO

ESEMPIO 1



Sottobacino_2



Prato pascolo

$$69 / 79 = 74$$

Table 2-2c Runoff curve numbers for other agricultural lands ^{1/}

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^{2/}	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^{3/}	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^{4/}	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^{5/}	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^{6/}	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ^{4/}	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

$$49 / 69 = 59$$

¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.25$.

² *Poor*: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

³ *Poor*: <50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: >75% ground cover.

⁴ Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

⁵ CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

⁶ *Poor*: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

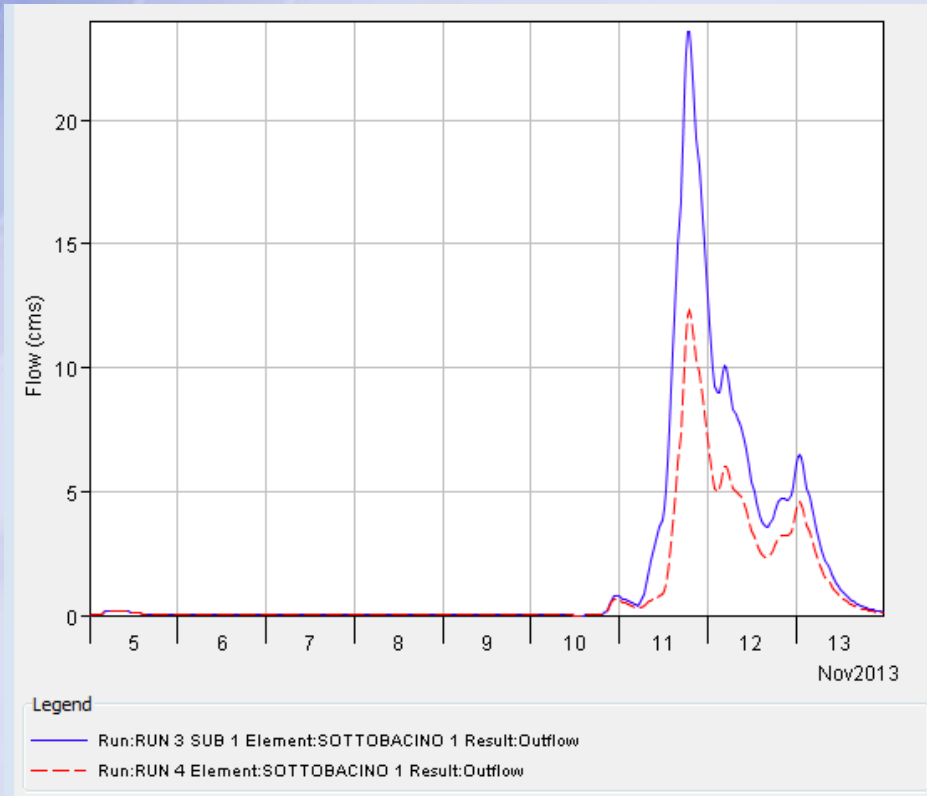
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

LA SCELTA DELLA CLASSE DI SUOLO

METODI

SCS – CN
(perdite)

IDROGRAMMA UNITARIO DI CLARK
(afflussi-deflussi)



+ 96%

LE VARIAZIONI DELL'USO DEL SUOLO

ESEMPIO 2



Coltivazione lungo le linee di livello (counturing cropping)



maggese



Coltivazione a strisce alternate (strip cropping)

LE VARIAZIONI DELL'USO DEL SUOLO

Table 2-2b Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands ^{1/}

Cover description			Curve number for hydrologic soil			
Cover type	Treatment ^{2/}	Hydrologic condition ^{3/}	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85

86

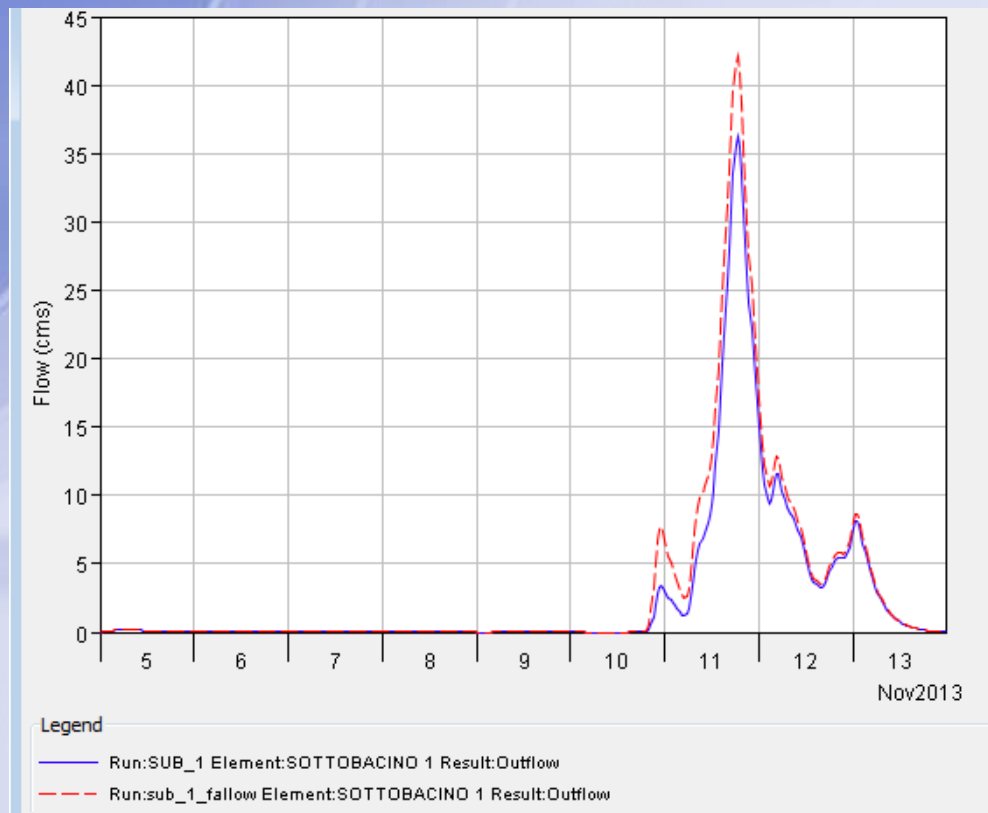
79

LE VARIAZIONI DELL'USO DEL SUOLO

METODI

**SCS – CN
(perdite)**

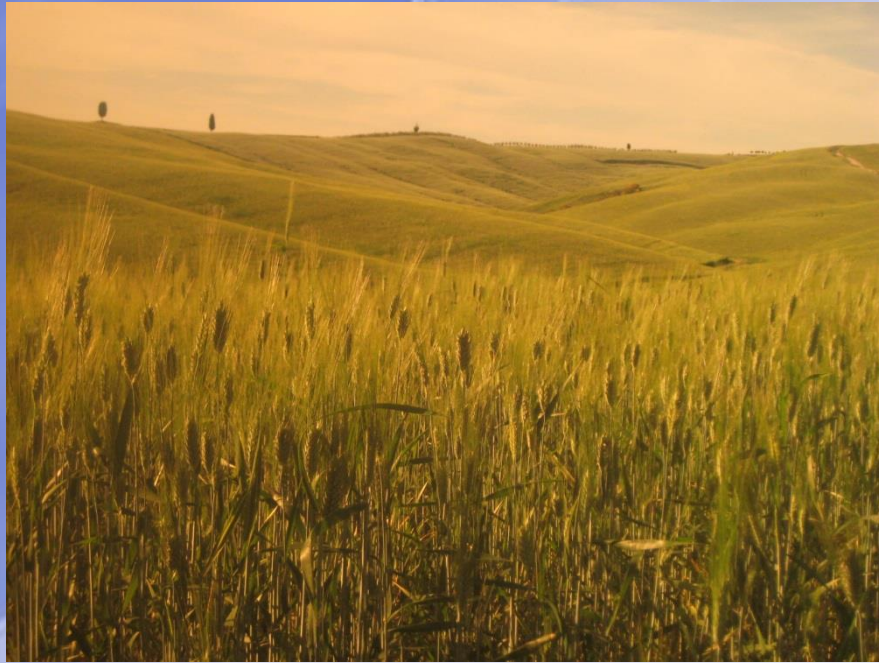
**IDROGRAMMA UNITARIO DI CLARK
(afflussi-deflussi)**



+ 16%

LA ROTAZIONE DELLE COLTURE

ESEMPIO 5



grano



girasole

LA ROTAZIONE DELLE COLTURE

Table 2-2b Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands ^{1/}

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment ^{2/}	Hydrologic condition ^{3/}	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

77

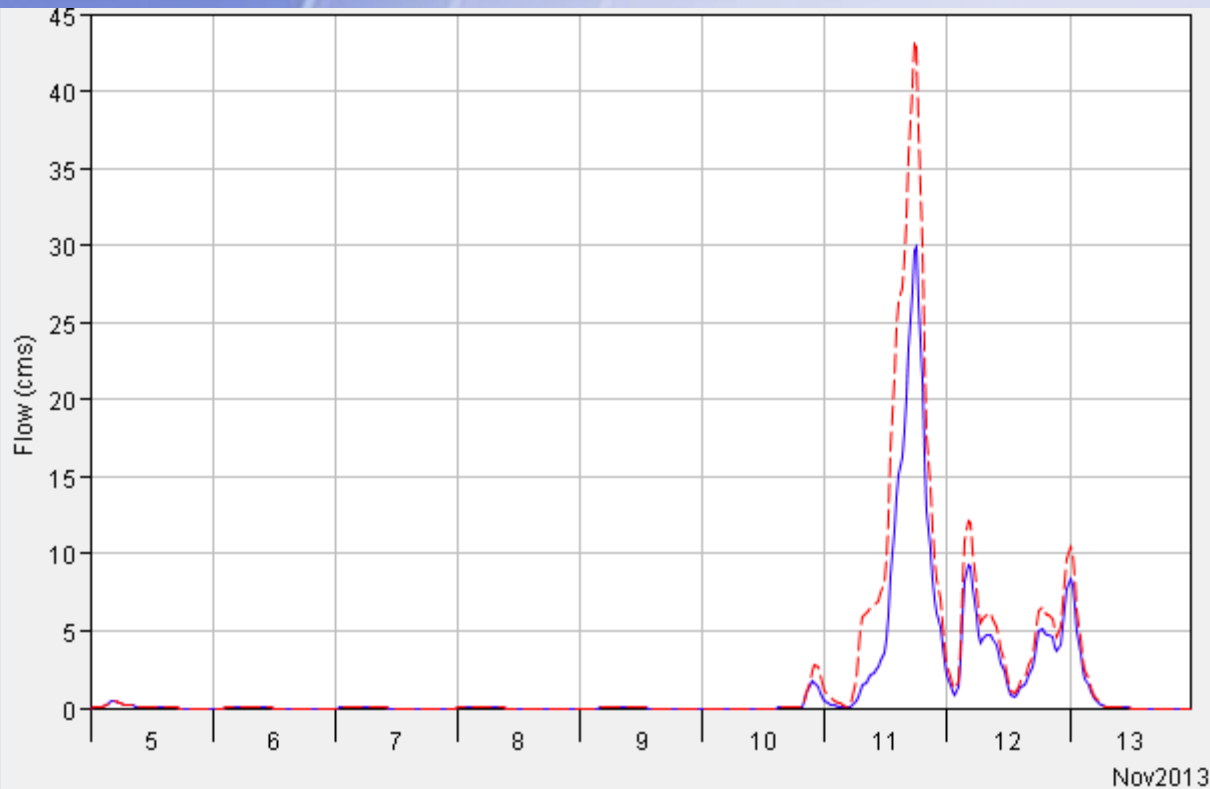
65

LA ROTAZIONE DELLE COLTURE

METODI

**SCS – CN
(perdite)**

**IDROGRAMMA UNITARIO DEL SCS
(afflussi-deflussi)**



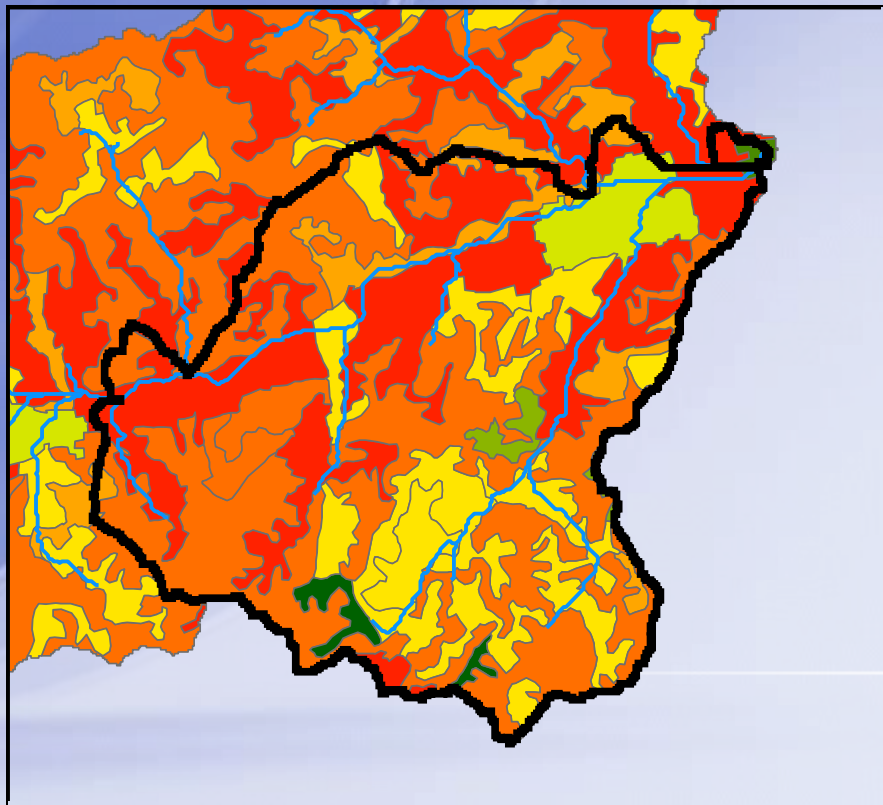
+ 43%

Legend

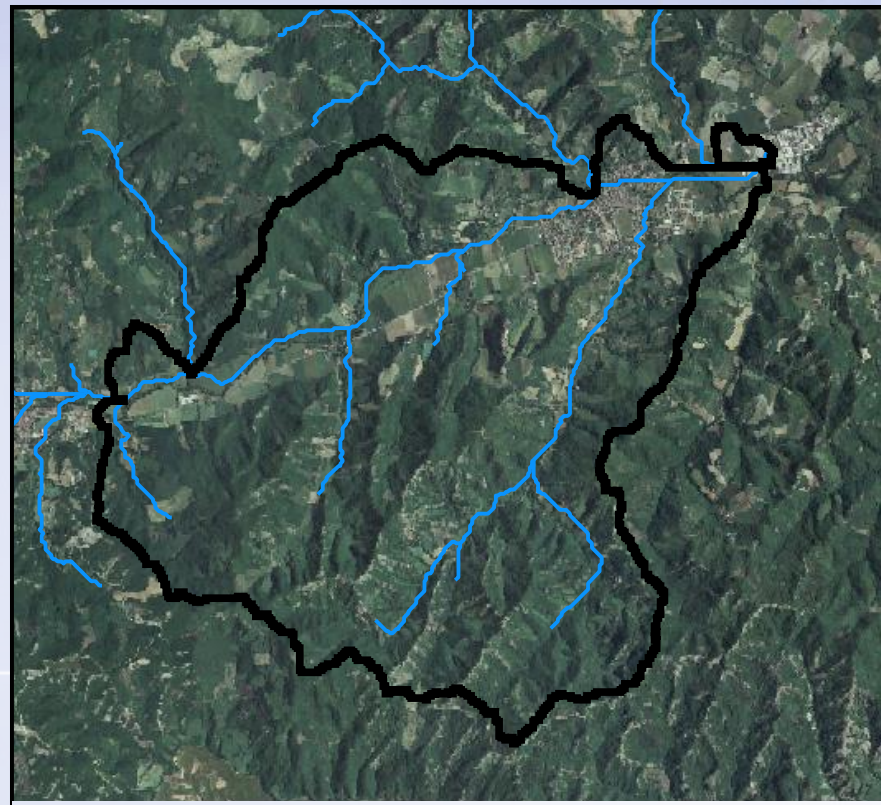
— Run:SUB_1 Element:SOTTOBACINO 1 Result:Outflow
- - - Run:sub_1_fallow Element:SOTTOBACINO 1 Result:Outflow

L'UTILIZZO DELLE CARTE DELL'USO DEL SUOLO

ESEMPIO 6



Corine Land Cover

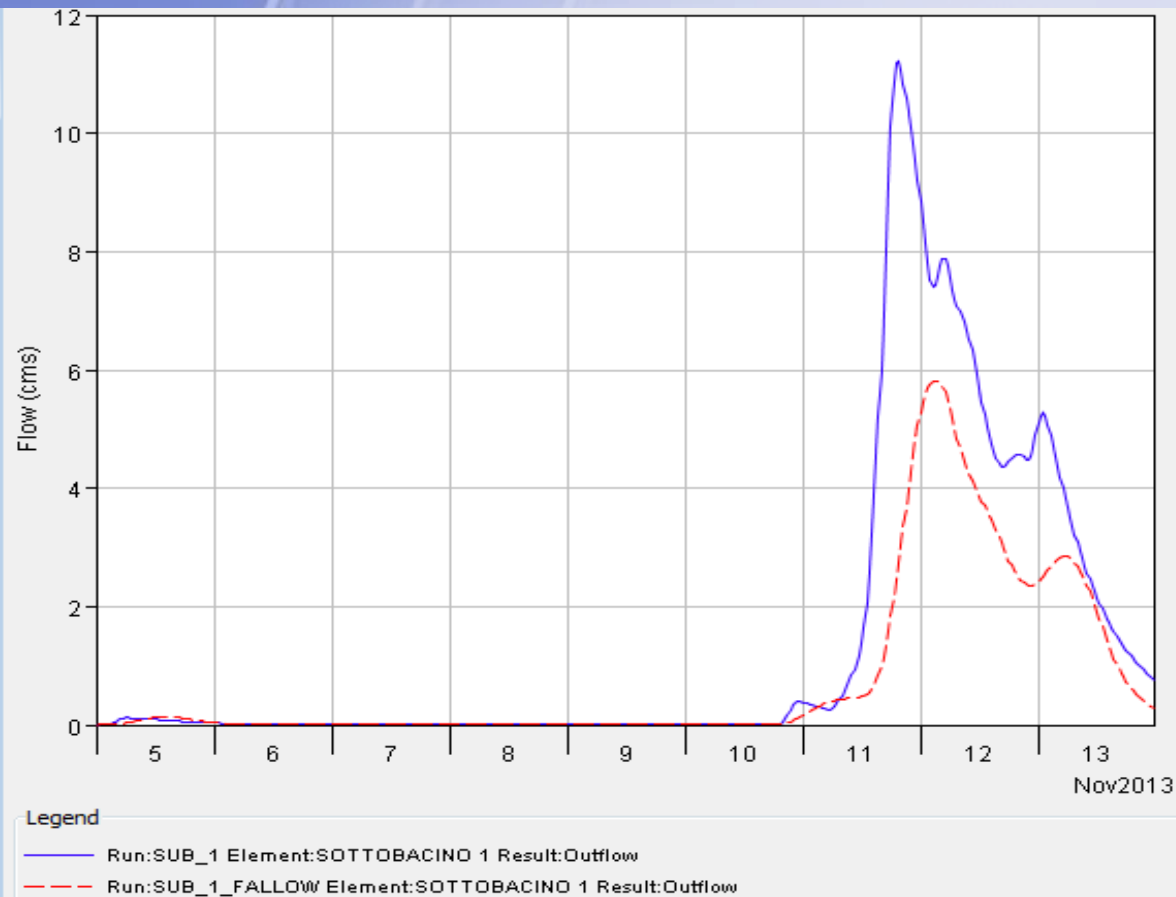


L'UTILIZZO DELLE CARTE DELL'USO DEL SUOLO

METODI

SCS – CN
(perdite)

IDROGRAMMA UNITARIO DI CLARK
(afflussi-deflussi)



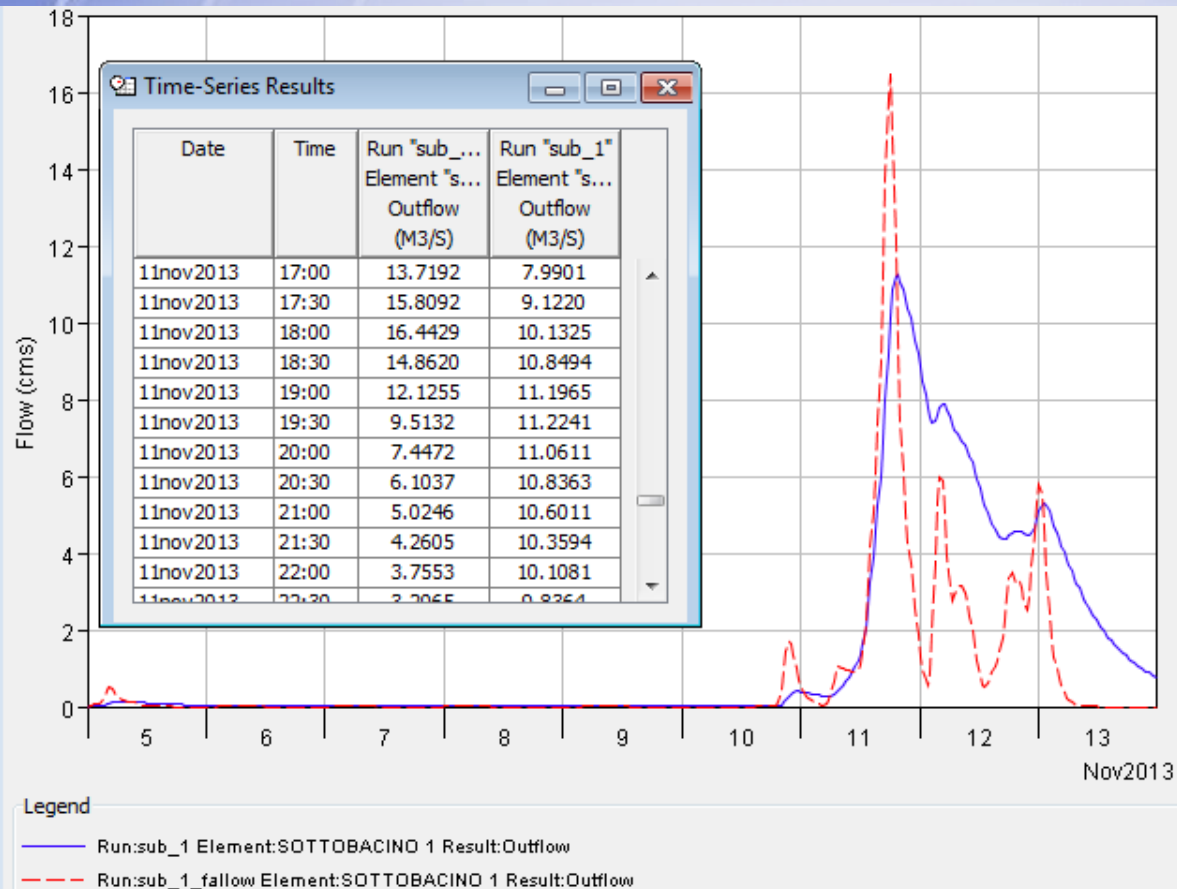
+ 91%

LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

SCS – CN
(perdite)

METODI

(afflussi-deflussi)
IDROGRAMMA UNITARIO DI CLARK
IDROGRAMMA UNITARIO DEL SCS



CONSIDERAZIONI SULLA DEFINIZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

1) La scelta della classe di suolo andrebbe scelta sulla base di analisi accurate come:

PROVE DI LABORATORIO (granulometriche, permeabilità.....)

RILIEVI SUL TERRENO (areale, spessore....)

CARTE PEDOLOGICHE AGGIORNATE E DI ESTREMO DETTAGLIO

2) Il valore del CN (uso del suolo) andrebbe scelto tramite:

SOPRALLUOGHI E RILIEVI

ANALISI AEROFOTOGRAMMETRICHE

CARTE DELL'USO DEL SUOLO AGGIORNATE

3) Monitoraggi sul terreno e processi di taratura del modello sulla base di eventi reali devono essere condotti al fine di:

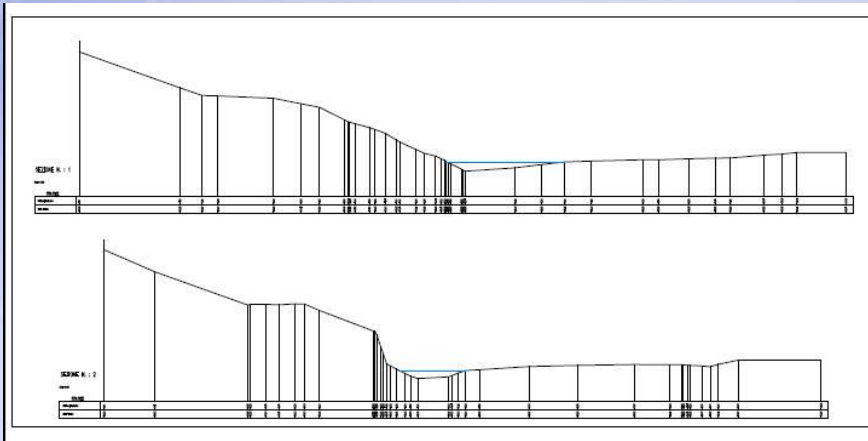
RIFINIRE (se necessario) I PARAMETRI DEL SUOLO

SCEGLIERE IL METODO PIU' IDONEO PER LA VALUTAZIONE DELLE PIOGGIE EFFICACI E PER LA TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

IL MODELLO IDRAULICO

LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

Rilievo delle zone emerse



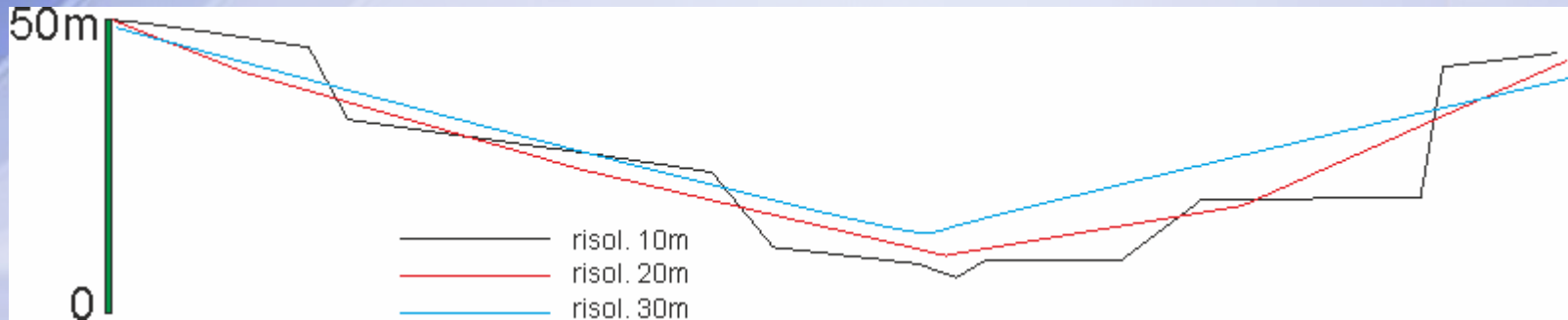
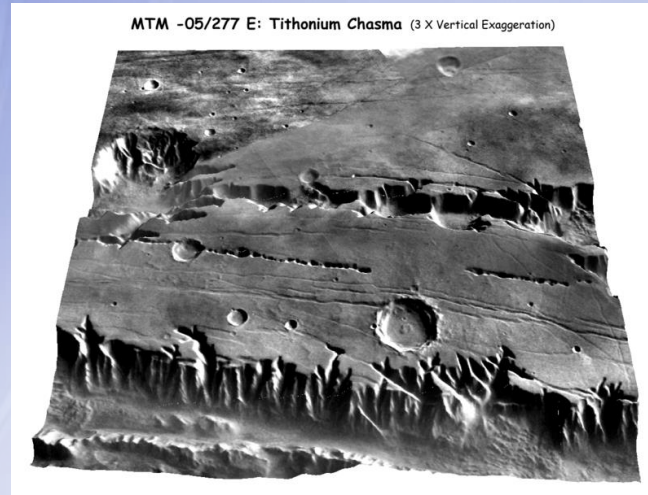
Stazioni totali GPS

Rilievo delle zone sommerse



Ecoscandagli

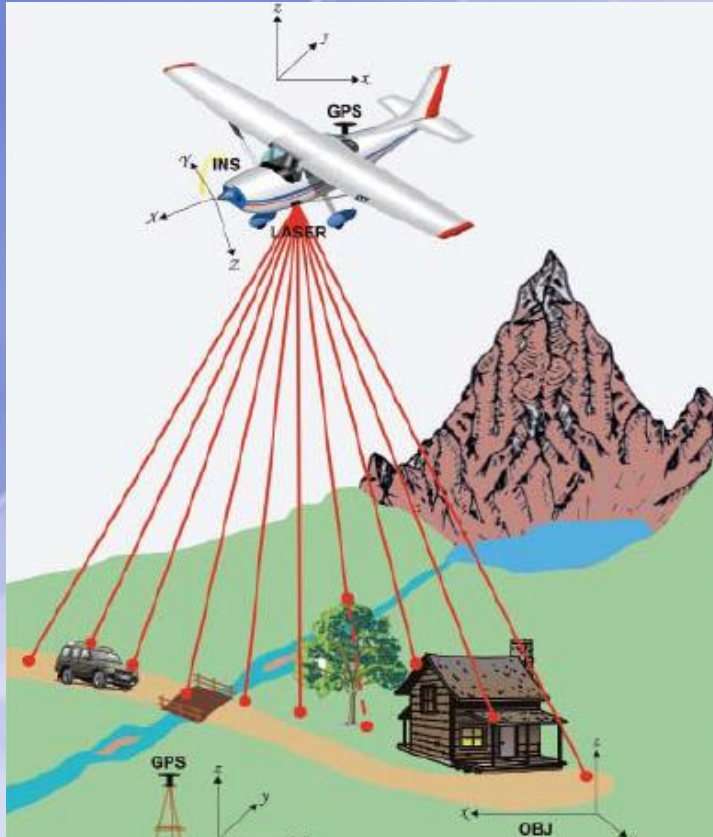
L'UTILIZZO DEI DTM A VARIA RISOLUZIONE



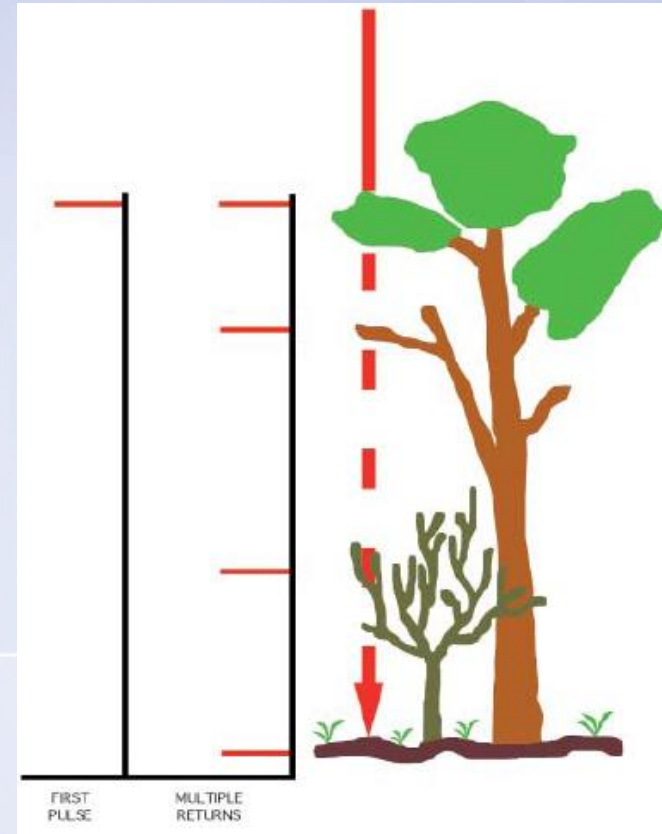
La caratterizzazione della piana fluviale utilizzando DTM a diversa risoluzione

LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

LA TECNOLOGIA LIDAR



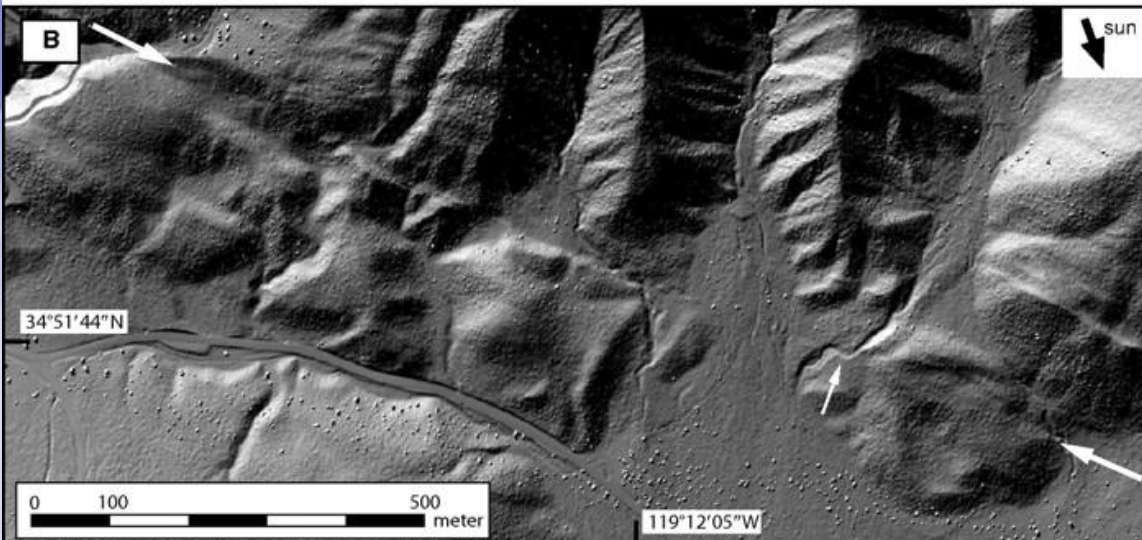
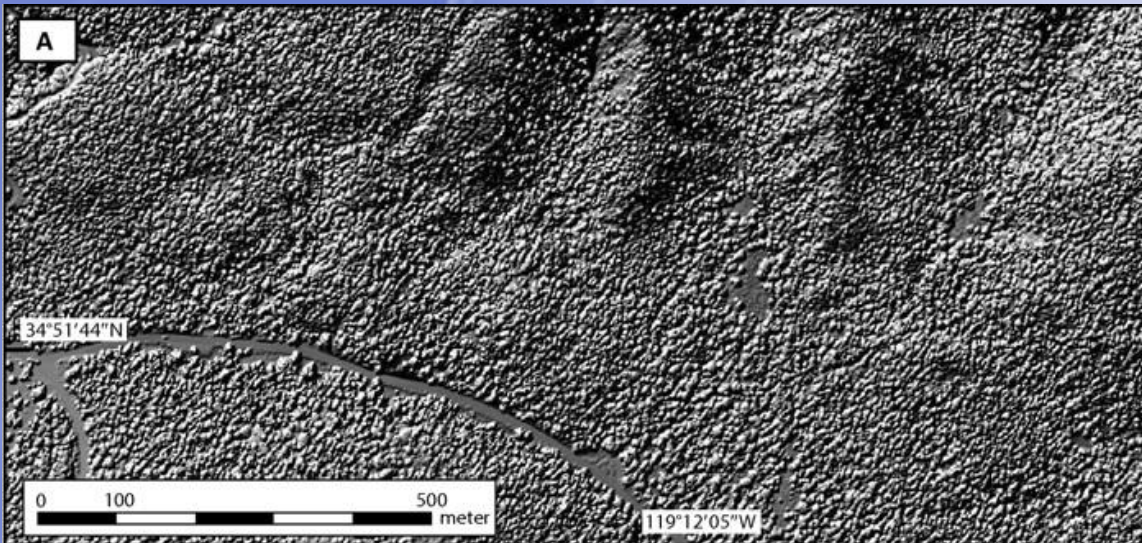
Componenti e funzionamento del sistema LiDAR aerotrasportato



Le riflessioni multiple dell'impulso laser

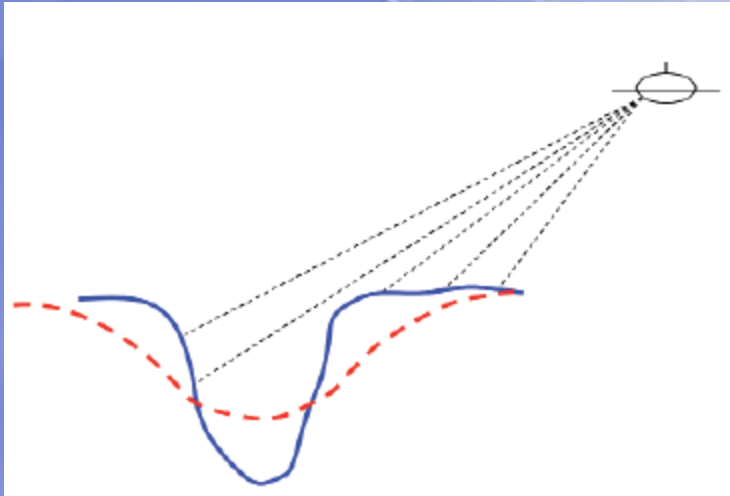
LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

LA TECNOLOGIA LIDAR

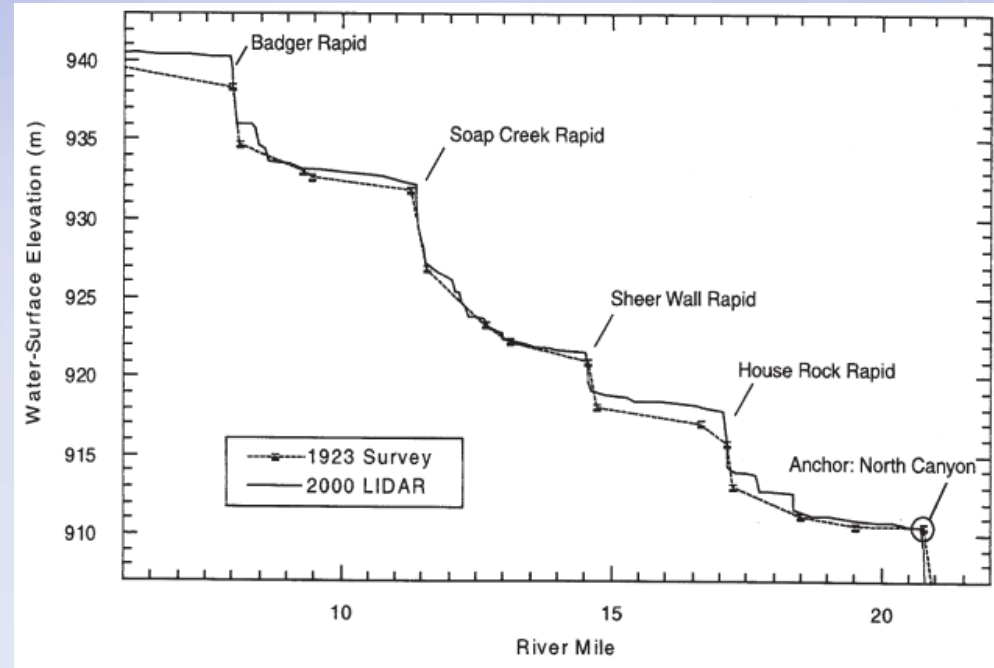


LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

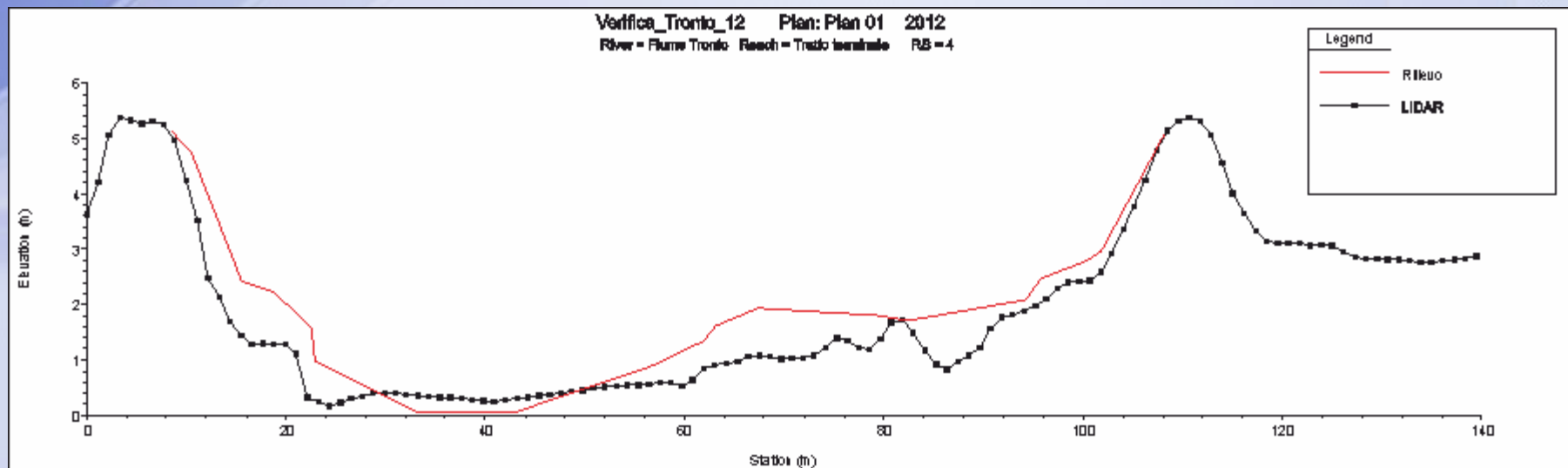
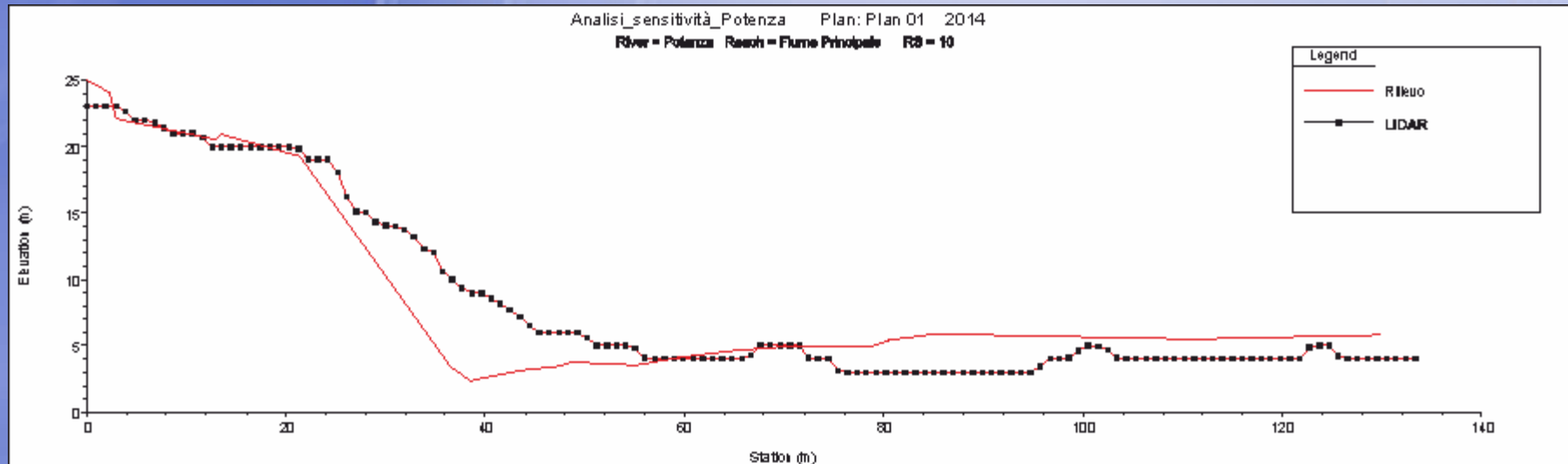
LA TECNOLOGIA LIDAR



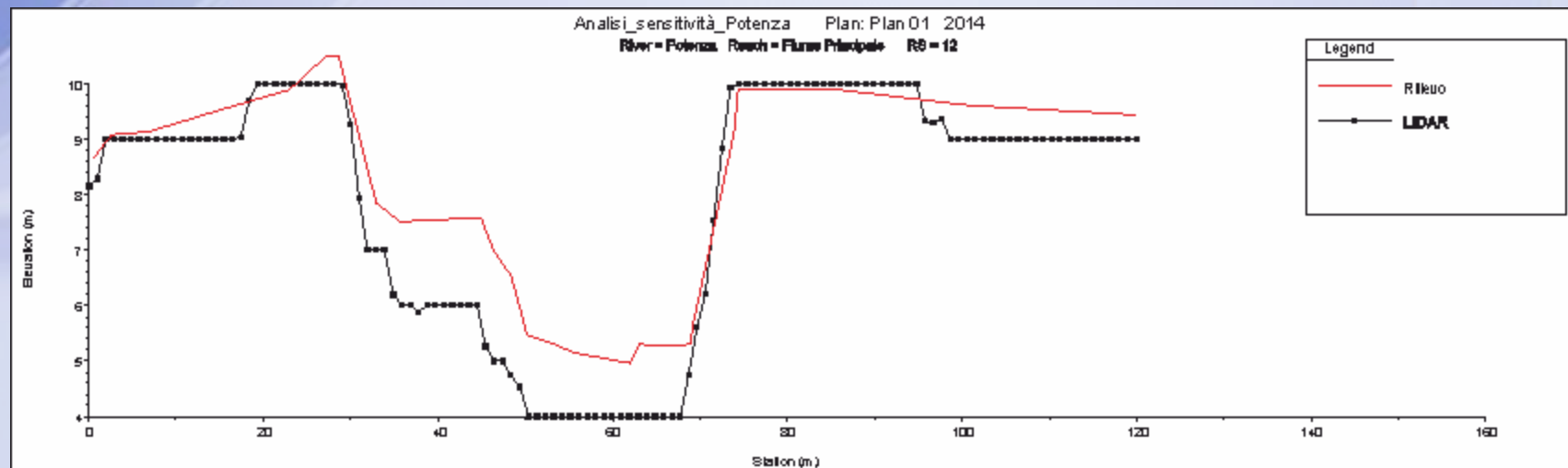
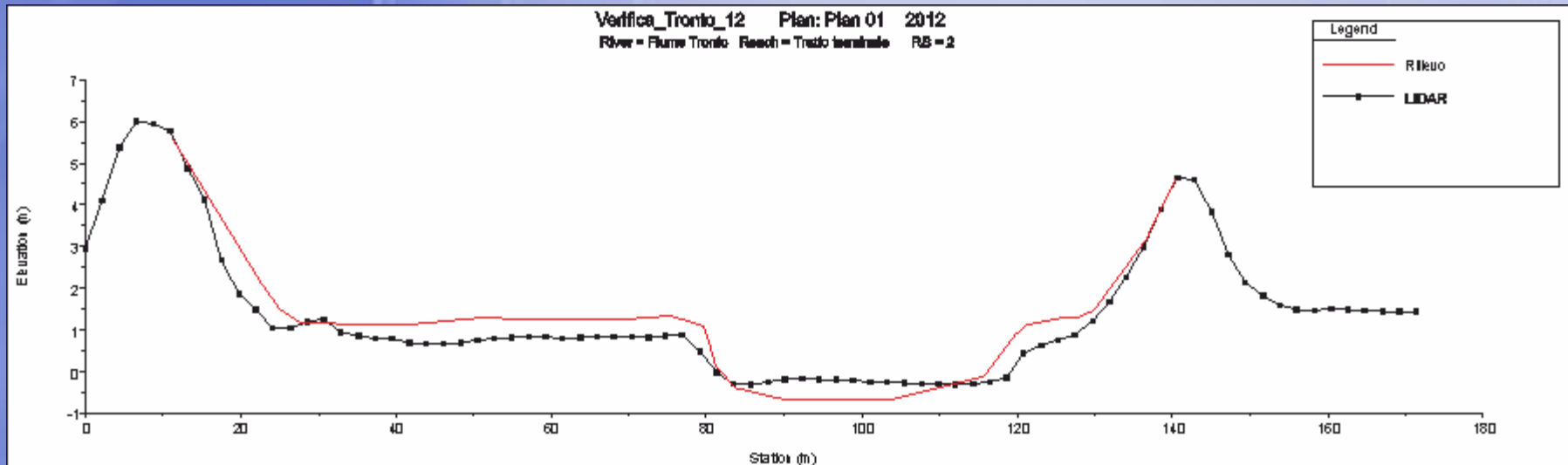
Effetto del basso angolo di incidenza dell'impulso laser: sottostima della profondità del canale e sovrastima delle larghezze rilevate alla sommità delle sponde (modificata da JAMES *et alii*, 2007). La linea blu rappresenta un'ipotetica sezione topografica mentre la linea rossa indica il profilo rilevato con il LiDAR



LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO



LA CORRETTA DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO



IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

LA STIMA INDIRETTA DELL'INDICE DI MANNING

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
Natural streams - minor streams (top width at floodstage < 100 ft)			
1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.050	0.060
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

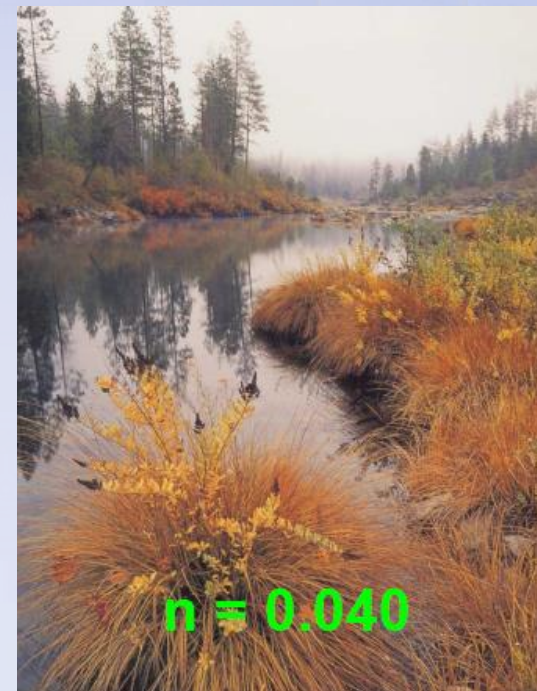
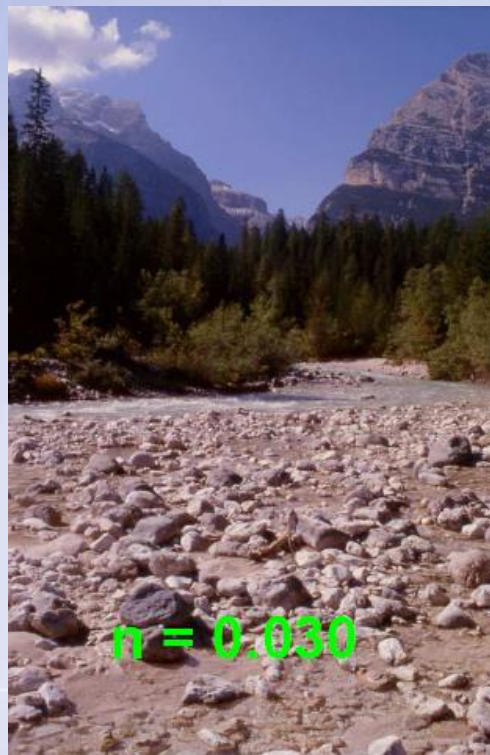
3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. short grass	0.025	0.030	0.035
2. high grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.020	0.030	0.040
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160

IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

Profilo alveo	Vegetazione	Sabbia e ghiaia fine	Ghiaia grossolana	Massi
uniforme	assente	0.020	0.030	0.050
ondulato	assente	0.030	0.040	0.055
uniforme	presente	0.040	0.050	0.060
ondulato	presente	0.050	0.060	0.070
molto irregolare	assente	0.055	0.070	0.080
molto irregolare	densa	0.080	0.090	0.100

Alcuni esempi di valori tabulati del coefficiente “n” di Manning

IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

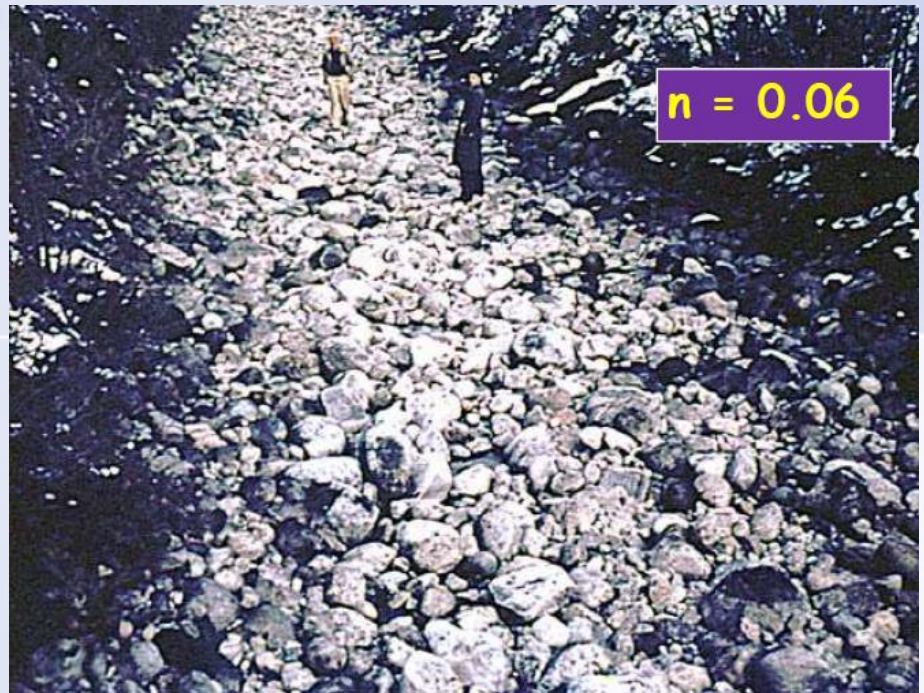


IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

$n = 0.055$, fondo e sponde costituite da massi e blocchi di forma squadrata, dimensioni dell'ordine del metro e superiori

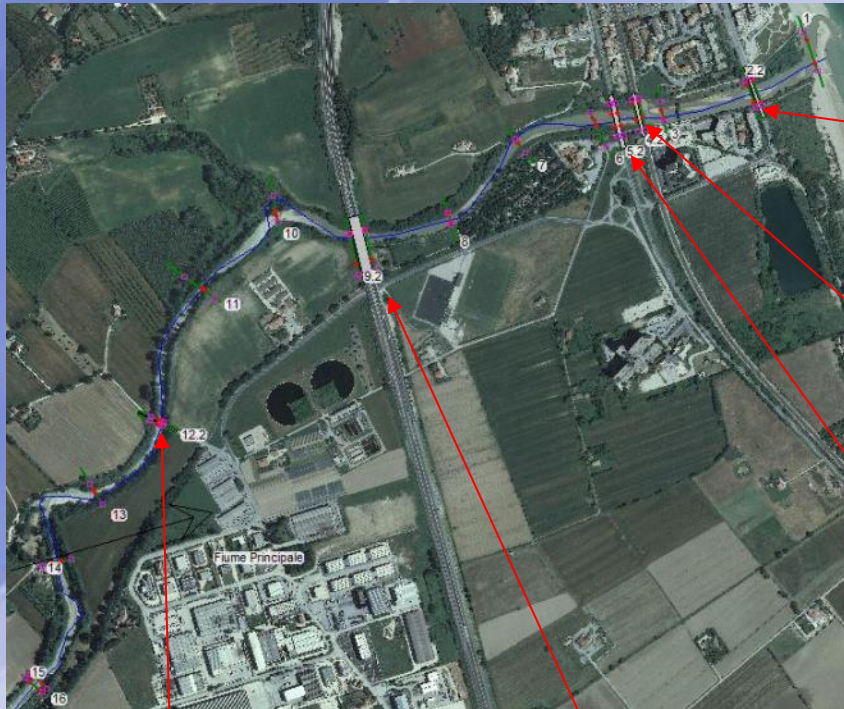


$n = 0.06$

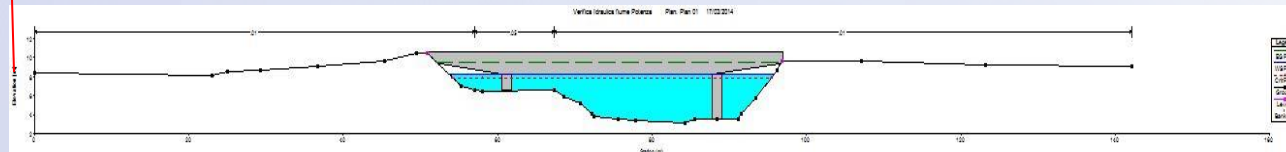
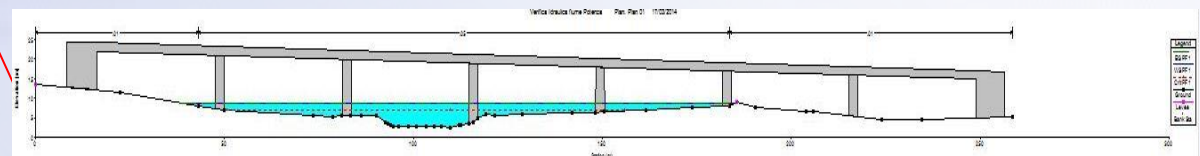
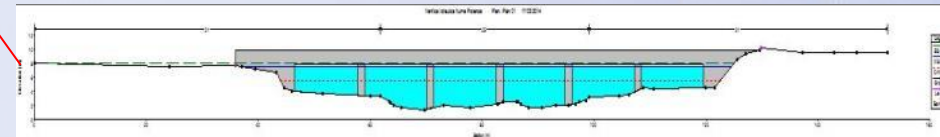
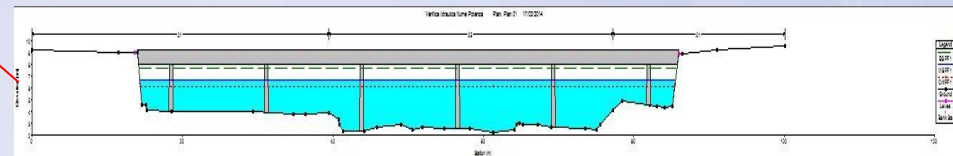
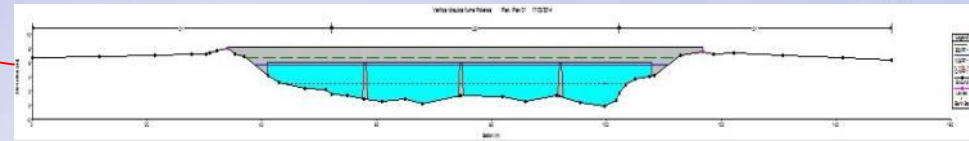


IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

LA STIMA DIRETTA DELL'INDICE DI MANNING: UN EVENTO REALE TRATTO TERMINALE DEL FIUME POTENZA 1-2 DICEMBRE 2013

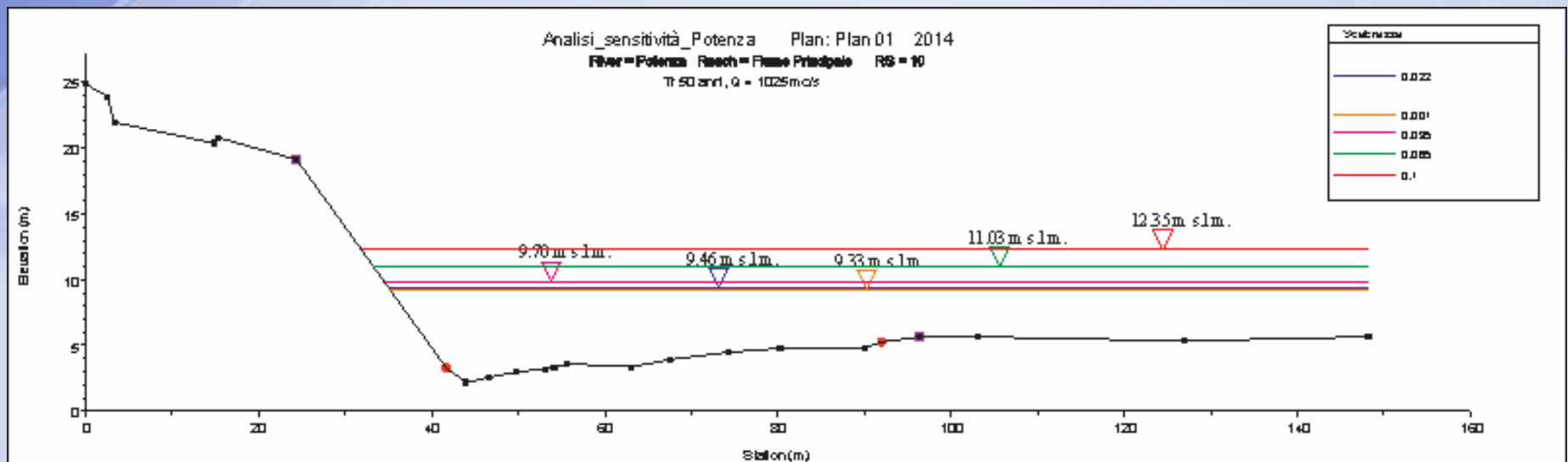
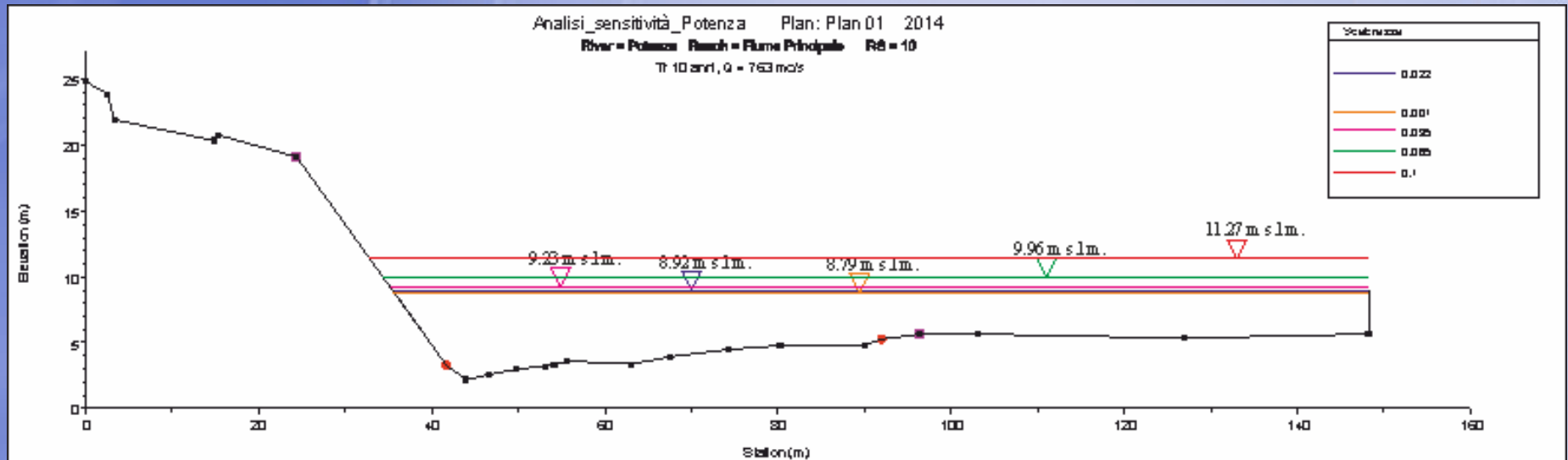


PORTATA MASSIMA REGISTRATA $Q_{\max} = 586 \text{ m}^3/\text{s}$

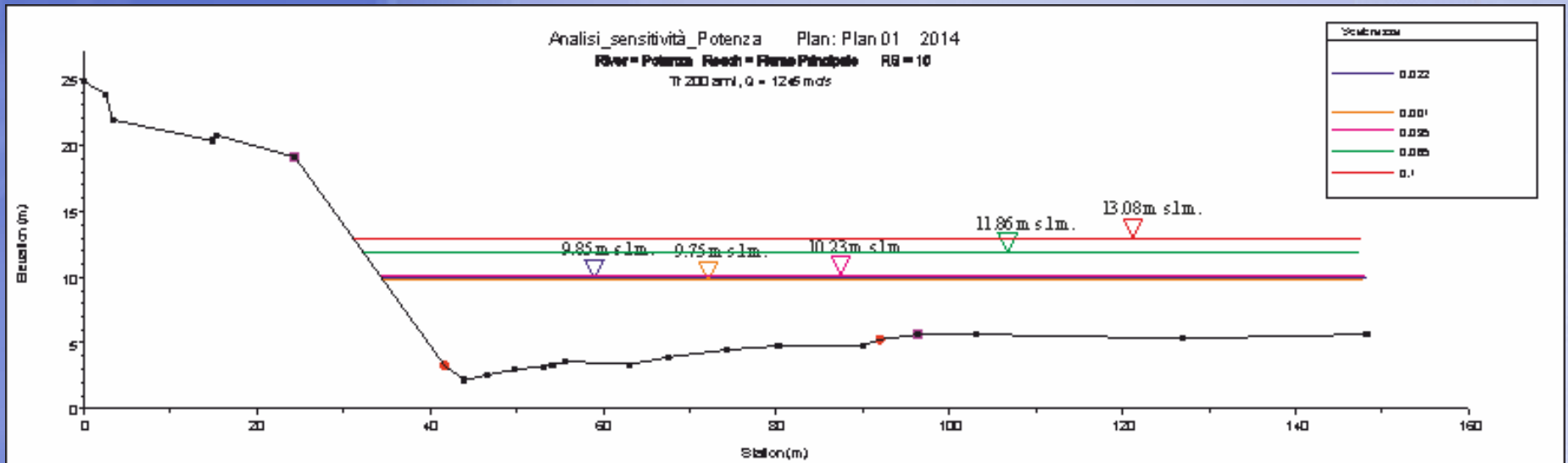


IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

L'INFLUENZA DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA



IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA



L'ANALISI DI SENSIBILITA'

0.001	0.035	0.065	0.1	
-1.4574	3.475336	11.65919	26.34529	10
-1.37421	2.536998	16.59619	30.54968	50
-1.01523	3.857868	20.40609	32.79188	200

IL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

.....ESPERIENZE DI TERRENO SUL COEFFICIENTE DI SCABREZZA

- 1) E' stato stimato che la perdita dovuta alle forme di fondo sia almeno $5 \div 10$ volte più grande di quella provocata dalla scabrezza del contorno
- 2) Studi di dettaglio (Znamenskaya, 1967) hanno valutato che le perdite di energia che si hanno sulla faccia di valle delle forme di fondo sono di un ordine di grandezza maggiori di quelle sulla faccia di monte.
- 3) Vari studi sperimentali citano casi di diminuzione del fattore di attrito dell'ordine di 10 volte con l'aumento della portata al passaggio di una piena. Questa diminuzione di resistenza non è giustificata dalla diminuzione del valore della scabrezza relativa ma deve ascriversi al fatto che le forme di fondo vengono spianate quando la velocità della corrente aumenta

CONSIDERAZIONI SULLA DEFINIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

1) Una corretta ricostruzione della geometria dell'alveo dovrebbe prevedere:

RILIEVI TOPOGRAFICI DI DETTAGLIO
(teodoliti, GPS....)

CARTOGRAFIE DI ESTREMO DETTAGLIO
(1:1000 o inferiori, LIDAR)

2) L'utilizzo delle tecnologia LIDAR per la definizione della geometria dell'alveo può dar luogo a errori anche significativi:

SOTTOSTIMA DELLA PROFONDITA' DEL CANALE

SOVRASTIMA DELLE LARGHEZZE RILEVATE ALLA SOMMITÀ DELLE SPONDE

3) Studi in letteratura (Pavlovic & Moglen, 2008) confermano anche come al variare della risoluzione del DEM (diminuzione) si ha:

SOVRASTIMA DELLE PORTATE DI PIENA

4) Il coefficiente di scabrezza (Manning) andrebbe preferibilmente stimato tramite:

BACK ANALYSIS A PARTIRE DA UN EVENTO REALE:

5) L'analisi di sensibilità effettuata utilizzando differenti valori del coefficiente di Manning e differenti tempi di ritorno ha mostrato:

VARIAZIONI SIGNIFICATIVE DELLE PORTATE DI PIENA IN UN RANGE COMPRESO TRA IL 5 ED IL 30%

GRAZIE!!