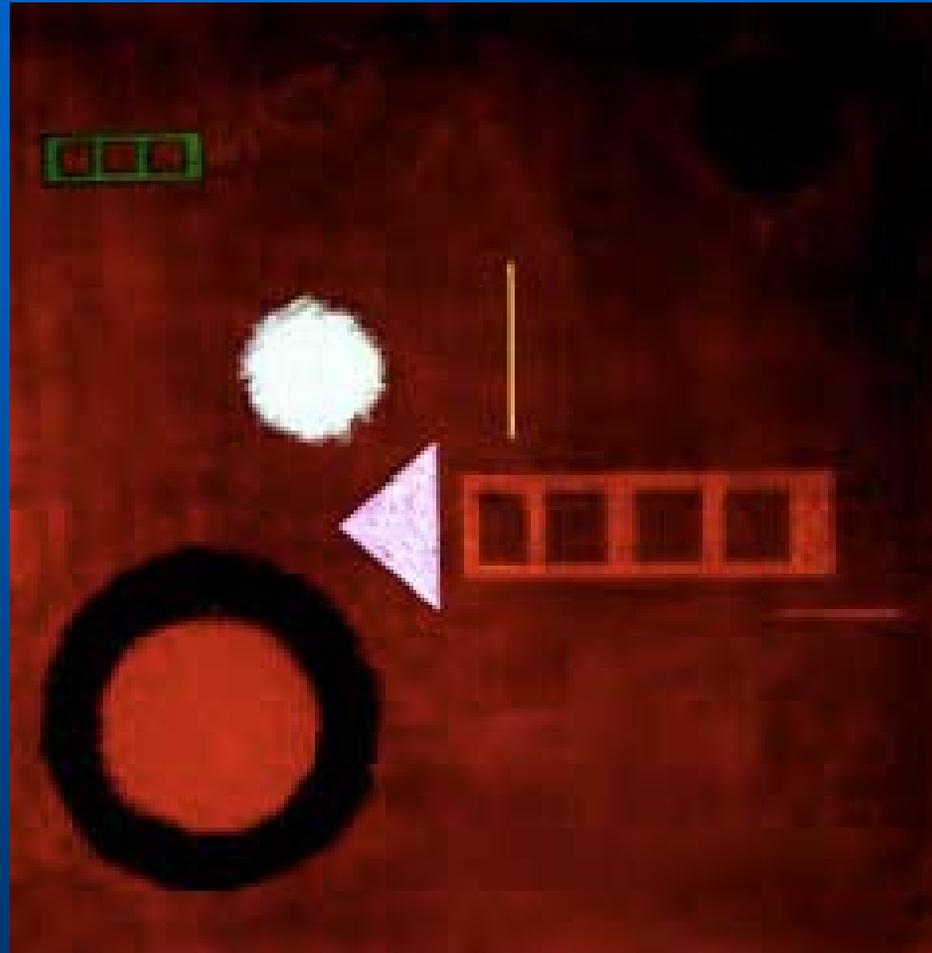


# Trento\_p: un modello geomorfologico per lo studio del drenaggio urbano



# Premessa

I metodi tradizionali di progettazione delle reti urbane hanno mostrato chiari limiti, a cui si è cercato di porre rimedio con aggiustamenti dei parametri o correzioni “ad hoc”.

# Premessa

I metodi tradizionali di progettazione delle reti urbane hanno mostrato chiari limiti, a cui si è cercato di porre rimedio con aggiustamenti dei parametri o correzioni “ad hoc”.

Una buona descrizione delle caratteristiche geometriche di quella che dovrà essere la rete di drenaggio urbana è spesso l'unica informazione che di cui si è in possesso.

# Premessa

I metodi tradizionali di progettazione delle reti urbane hanno mostrato chiari limiti, a cui si è cercato di porre rimedio con aggiustamenti dei parametri o correzioni “ad hoc”.

Una buona descrizione delle caratteristiche geometriche di quella che dovrà essere la rete di drenaggio urbana è spesso l'unica informazione che di cui si è in possesso.

La teoria geomorfologica, opportunamente adattata, usa adeguatamente le informazioni geometriche e rappresenta una generalizzazione dei metodi tradizionali, pur non avendone i difetti.

# L'idea

Il modello geomorfologico implementato, per mantenere le caratteristiche di semplicità richieste dovrebbe:

# L'idea

Il modello geomorfologico implementato, per mantenere le caratteristiche di semplicità richieste dovrebbe:

Usare il modello dell'**invaso lineare** per le aree scolanti

# L'idea

Il modello geomorfologico implementato, per mantenere le caratteristiche di semplicità richieste dovrebbe:

Usare il modello dell'**invaso lineare** per le aree scolanti

Un modello **cinematico** per il moto nei tubi

# Le equazioni di base: il modello geomorfologico

$$Q(t) = \int_0^t GIUH_{\gamma}(y - \tau) J_{eff}(\tau) d\tau$$

o in forma discreta:

$$Q(t) = \sum_{\gamma \in \Gamma} (p(\gamma) \cdot J_{eff}) * GIUH_{\gamma}(t) \quad (1)$$

dove:  $GIUH_{\gamma}(t) = (f_{\gamma_1} * \dots * f_{\gamma_n})(t)$

dove  $\gamma$  indica un percorso;  $\Gamma$  l'insieme dei percorsi possibili;  $p(\gamma) \cdot J_{eff}$  rappresenta l'intensità di pioggia efficace mediata spazialmente sull'area  $\gamma$  (in [m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>]);  $GIUH_{\gamma}(t)$

# Le equazioni di base: lo ietogramma di progetto

$$h(T_r) = a(T_r) t_p^n$$

L'intensità di precipitazione è mantenuta costante durante l'evento

$$j(T_r) = a(T_r) t_p^{n-1}$$

# Le equazioni di base - Area scolante

$$f(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

Per una generica superficie scolante  $i$ :

$$k_i = \alpha \cdot S_i^\beta$$

Il parametro  $k$  è di facile interpretazione fisica: è il tempo medio di residenza

$S$  pendenza media del collettore principale [m/m],

$I_m$  rapporto tra area impermeabile e l'area totale del bacino,

$S_r$  pendenza media ponderale di tutta la rete di drenaggio [%].

# Equazioni di base - Area scolante - Tempo medio di residenza

Trento\_p implementa le formule di:

Ciaponi e Papiri (1992)

$$k = 0.5 \frac{S^{0.351} d^{0.358}}{I^{0.163} s_r^{0.29}}$$

dove  $S$  è l'area del bacino scolante;  $d$  la densità di drenaggio;  $s$  la pendenza media del collettore principale;  $I_m$  il rapporto tra area impermeabile ed area del bacino;  $s_r$  la pendenza media dell'area di drenaggio

# Equazioni di base - Area scolante - Tempo medio di residenza

Desbordes (1975)

$$k = \frac{4,19 \cdot S^{0,3}}{I_m^{0,45} \cdot (100s)^{0,38}} - 0,21$$

Con:

$S$  superficie del bacino [ha],

# Equazioni di base - Area scolante - Tempo medio di residenza

ed una formula propria (ma simile alle altre due)

$$k = c \frac{S^\beta}{\phi^b s^\gamma}$$

dove  $c, \beta, b$  e  $\gamma$  sono opportuni parametri in seguito oggetto di taratura (salvo  $\beta$  posto uguale a 0.3).

# Equazioni di base: La portata massima per le aree scolanti

$$u_1(t) = \phi_1 \cdot a \cdot S_1 \cdot k_1^{n-1} \cdot r_1(n)^{n-1} \cdot (1 - e^{-r_1(n)})$$

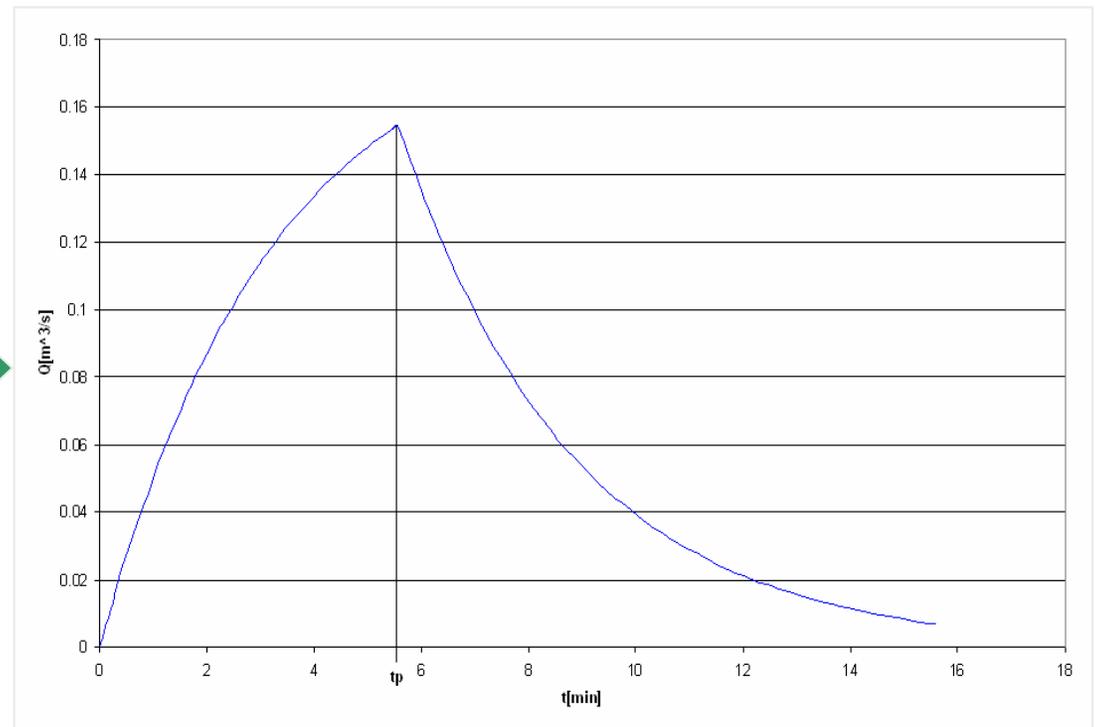
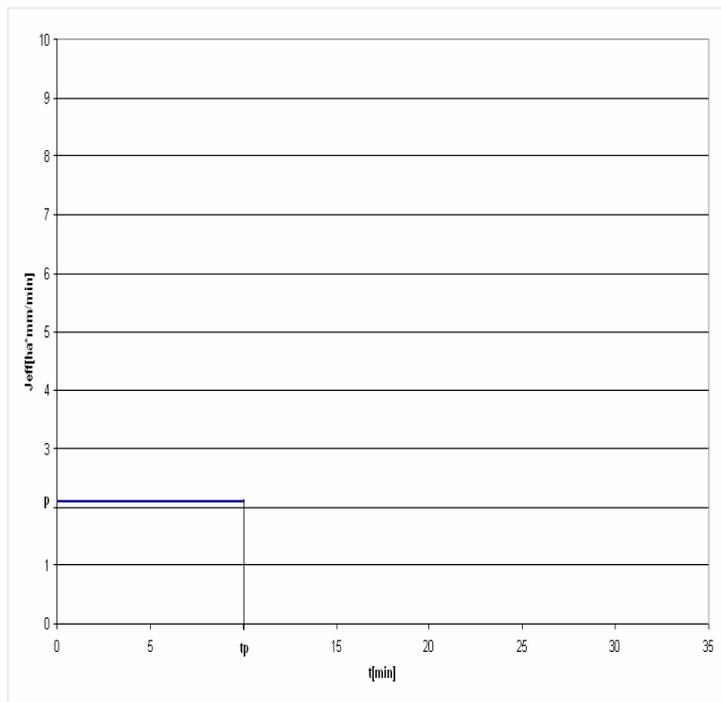
$u_1$  è la massima portata nell'area

$\phi$  è il coefficiente di afflusso

$a$  ed  $n$  i coefficiente di afflusso che identificano la possibilità pluviometrica

$k_1$  il tempo medio di residenza nell'area scolante

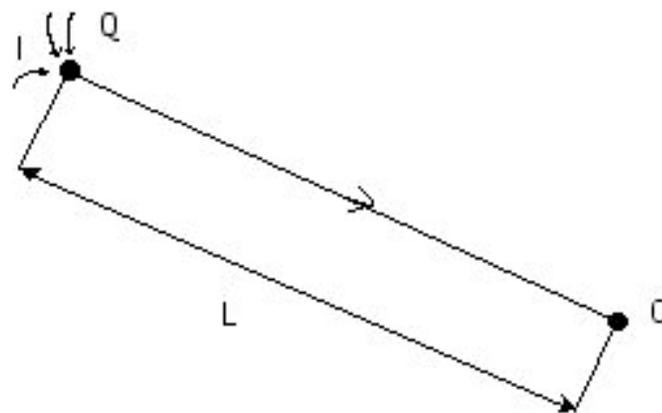
$r = t_p^*/k_1$  il rapporto tra il tempo di precipitazione che rende massima la portata e il tempo medio di residenza



# Equazioni di base: il moto nei tubi

$$g(t,L) = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot D_L \cdot t^3}} \cdot \exp\left[\frac{-(c \cdot t - L)^2}{4 \cdot D_G \cdot t}\right]$$

$$g_L(t) = \delta(c \cdot t - L)$$



E' descritto da una "delta" di Dirac che implementa un moto cinematico che si manifesta con un ritardo  $L/c$  dove  $c$  è la celerità di propagazione dell'onda nel tubo ed  $L$  la sua lunghezza

# La prima versione di Trento\_p

Rendeva necessario riprodurre le aree scolanti di pertinenza di tutte le caditoie una per una, oppure, delineando aree scolanti più grandi vincolava ad assumere l'afflusso alla testa di ciascun tubo.

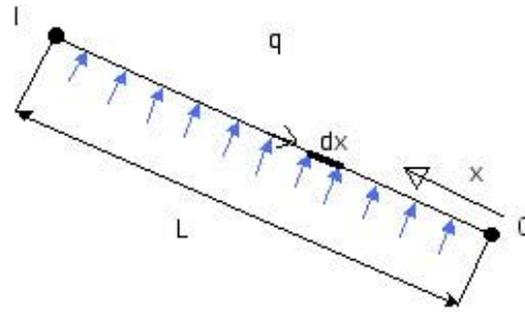
## La prima versione di Trento\_p

Rendeva necessario riprodurre le aree scolanti di pertinenza di tutte le caditoie una per una, oppure, delineando aree scolanti più grandi vincolava ad assumere l'afflusso alla testa di ciascun tubo.

## La versione corrente di Trento\_p

Distribuisce l'input delle aree scolanti lungo tutto il tubo

# Equazioni di base: se l'afflusso è distribuito



$$t^* = k \cdot \ln \left( e^{\frac{L}{k \cdot c}} + e^{\frac{t_p}{k}} - 1 \right)$$

$t^*$  è l'espressione del tempo caratteristico di precipitazione (relativamente all'area scolante) che rende massima la portata. Anche in questo caso ha una espressione analitica.

$$Q_{\max} = Q_o(t^*) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ 1 + \frac{c}{L} \cdot t_p - \frac{k \cdot c}{L} \cdot \ln \left( e^{\frac{L}{k \cdot c}} \cdot e^{\frac{t_p}{k}} - 1 \right) \right]$$

# Equazioni di base: se l'afflusso è distribuito

L'espressione della portata alla chiusura del tubo ha una espressione suddivisa in quattro parti, piuttosto complicata, ma ancora in forma analitica. Dipende ovviamente dalla celerità nel tubo, assegnata con processo iterativo, assumendo che il moto sia approssimabile come moto uniforme.

## EQUAZIONI DI BASE

$t_p > \frac{L}{c}$	$t < \frac{L}{c}$	$Q_{01}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ \frac{c}{L} \cdot t + \frac{k \cdot c}{L} \cdot \left( e^{\frac{t}{k}} - 1 \right) \right]$
	$\frac{L}{c} \leq t \leq t_p$	$Q_{02}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ 1 + \frac{k \cdot c}{L} \cdot e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{L}{k \cdot c}} \right) \right]$
	$t_p \leq t \leq t_p + \frac{L}{c}$	$Q_{03}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left\{ 1 - \frac{c}{L} \cdot (t - t_p) + \frac{k \cdot c}{L} \cdot \left[ 1 + e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{L}{k \cdot c}} - e^{\frac{t_p}{k}} \right) \right] \right\}$
	$t \geq t_p + \frac{L}{c}$	$Q_{04}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ \frac{k \cdot c}{L} \cdot e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{t_p}{k}} \right) \cdot \left( 1 - e^{\frac{L}{k \cdot c}} \right) \right]$
$t_p < \frac{L}{c}$	$t \leq t_p$	$Q_{01}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ \frac{c}{L} \cdot t + \frac{k \cdot c}{L} \cdot \left( e^{\frac{t}{k}} - 1 \right) \right]$
	$t_p \leq t \leq \frac{L}{c}$	$Q_{02}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ \frac{c}{L} \cdot t_p + \frac{k \cdot c}{L} \cdot e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{t_p}{k}} \right) \right]$
	$\frac{L}{c} \leq t \leq \frac{L}{c} + t_p$	$Q_{03}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left\{ 1 - \frac{c}{L} \cdot (t - t_p) + \frac{k \cdot c}{L} \cdot \left[ 1 + e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{L}{k \cdot c}} - e^{\frac{t_p}{k}} \right) \right] \right\}$
	$t \geq \frac{L}{c} + t_p$	$Q_{04}(t) = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \left[ \frac{k \cdot c}{L} \cdot e^{\frac{t}{k}} \cdot \left( 1 - e^{\frac{t_p}{k}} \right) \cdot \left( 1 - e^{\frac{L}{k \cdot c}} \right) \right]$

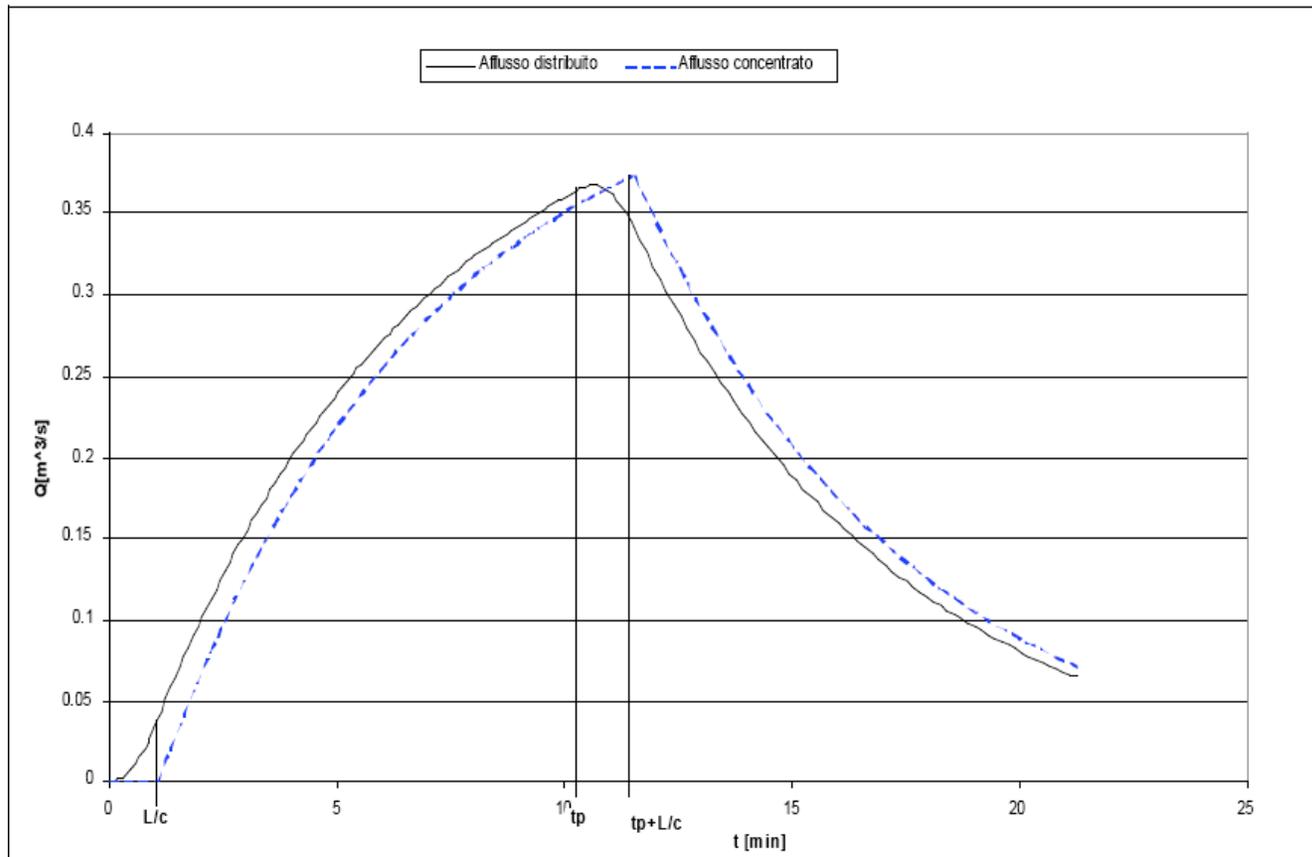
# Equazioni di base: tempo in cui si realizza la massima portata (sistema area scolante + tubo con afflusso distribuito)

I parametri caratteristici di precipitazione che rendono massima la portata si ottengono dalla soluzione delle equazione non lineare (ma non difficile da risolvere):

$$(n - 1) = \frac{r \cdot \left[ 1 - \frac{e^r}{(e^N + e^r - 1)} \right]}{\left[ N + r - \ln(e^N + e^r - 1) \right]}$$

dove  $\frac{L}{k \cdot c} = N$  e  $\frac{t_p}{k} = r$ .

# Un esempio di idrogramma



Linea continua: afflusso distribuito

Linea tratteggiata: afflusso concentrato alla testa del tubo

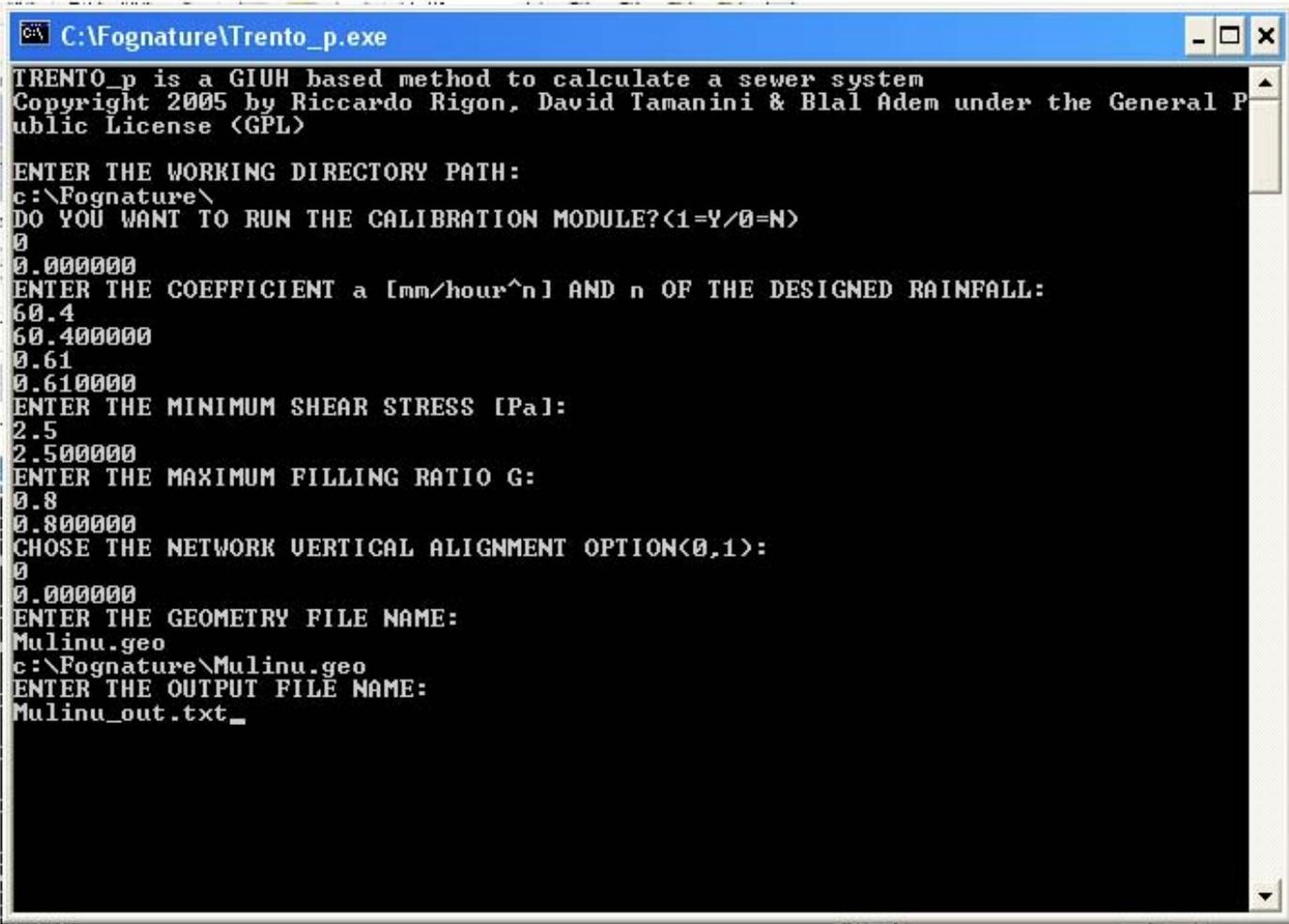
# Eseguibili

La distribuzione degli eseguibili di Trento\_p si compone dei seguenti file:

- **Trento\_p.exe**: l'eseguibile per la finestra DOS di Windows; oppure **Trento\_p.app**: l'eseguibile per MacOs;
- **Trento\_p.init**: è un file che va posto nella stessa directory dell'eseguibile. Contiene alcuni dati e parametri globali necessari all'esecuzione del programma.
- **Trento\_p.inpts**: è un file che va posto nella directory di lavoro e che contiene i dati richiesti in input all'utente.
- **Fossolo.geo** : contiene l'esempio di un file che descrive la geometria della rete di Fossolo illustrata in copertina.

I file indispensabili per l'uso del programma sono il primo (**Trento\_p.exe**), il secondo (**Trento\_p.app**) ed il quarto (in questo caso **Fossolo.geo**, in generale il file contenente la geometria della rete). Mancando il terzo file (**Trento\_p.inpts**), i dati necessari possono venire digitati a video.

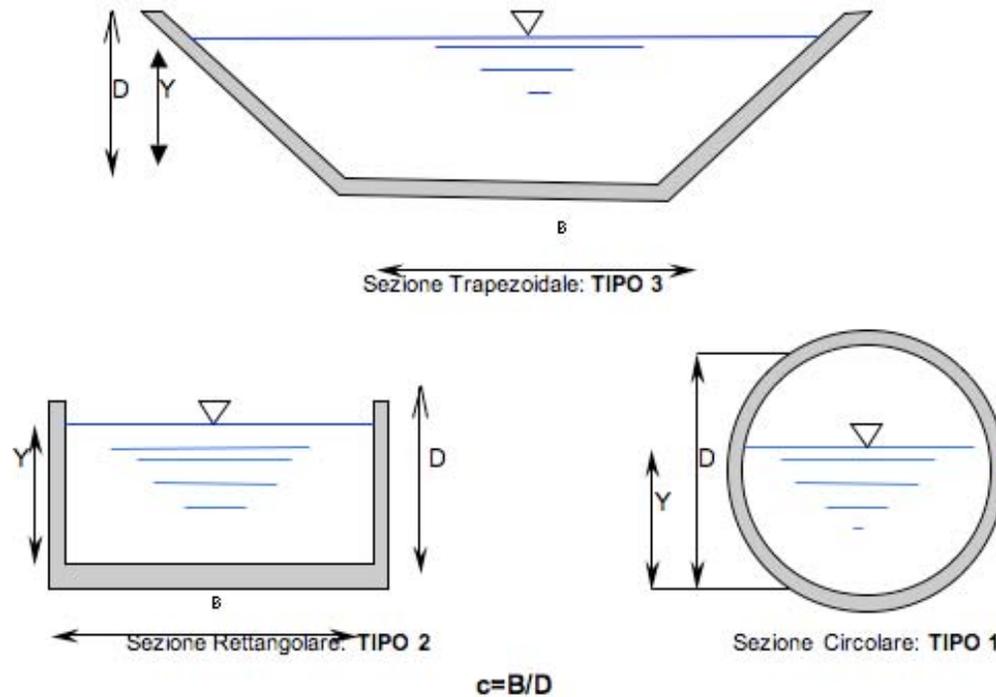
# Eseguibili

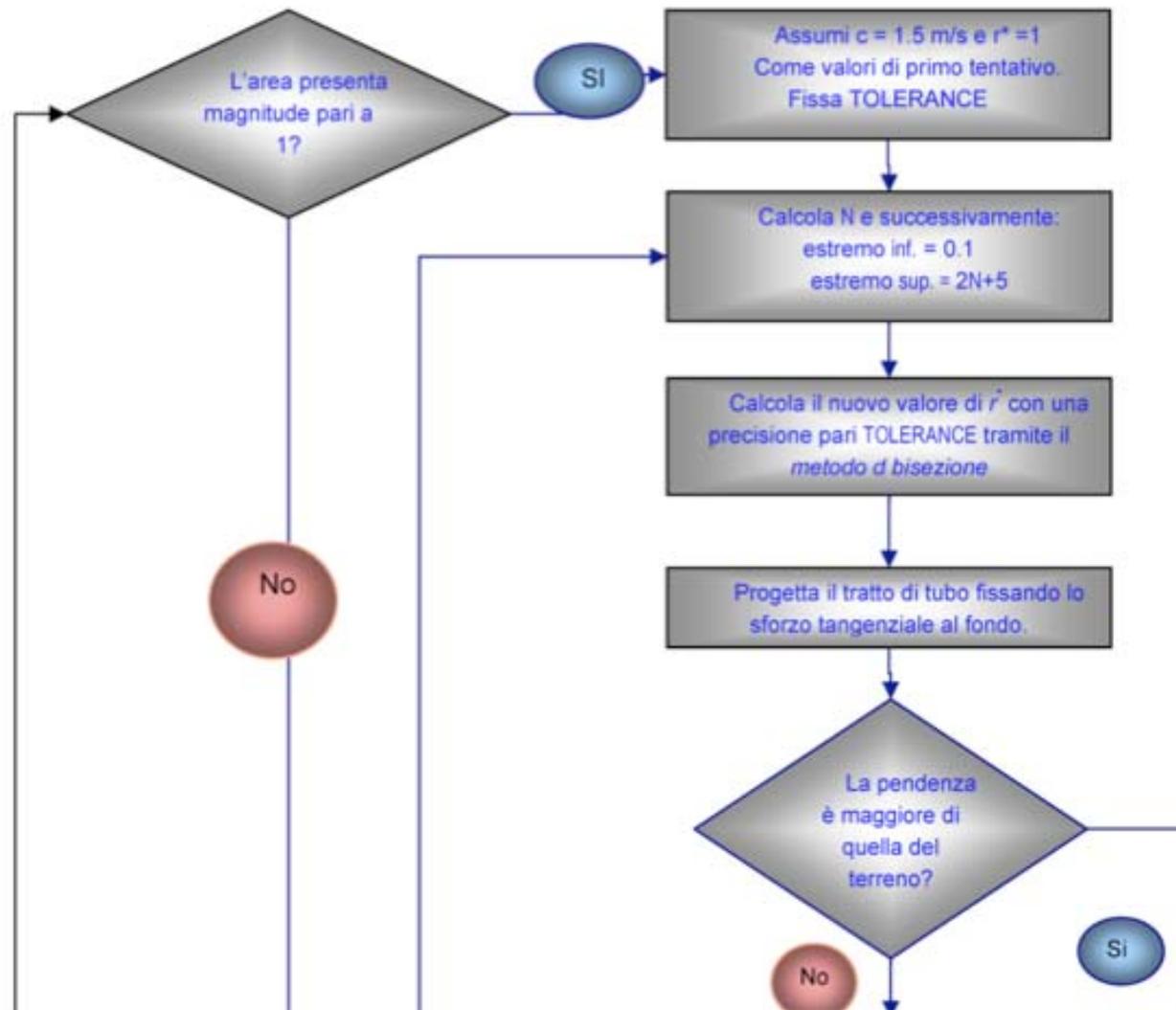


```
C:\Fognature\Trento_p.exe
TRENTO_p is a GIUH based method to calculate a sewer system
Copyright 2005 by Riccardo Rigon, David Tamanini & Blal Adem under the General P
ublic License <GPL>

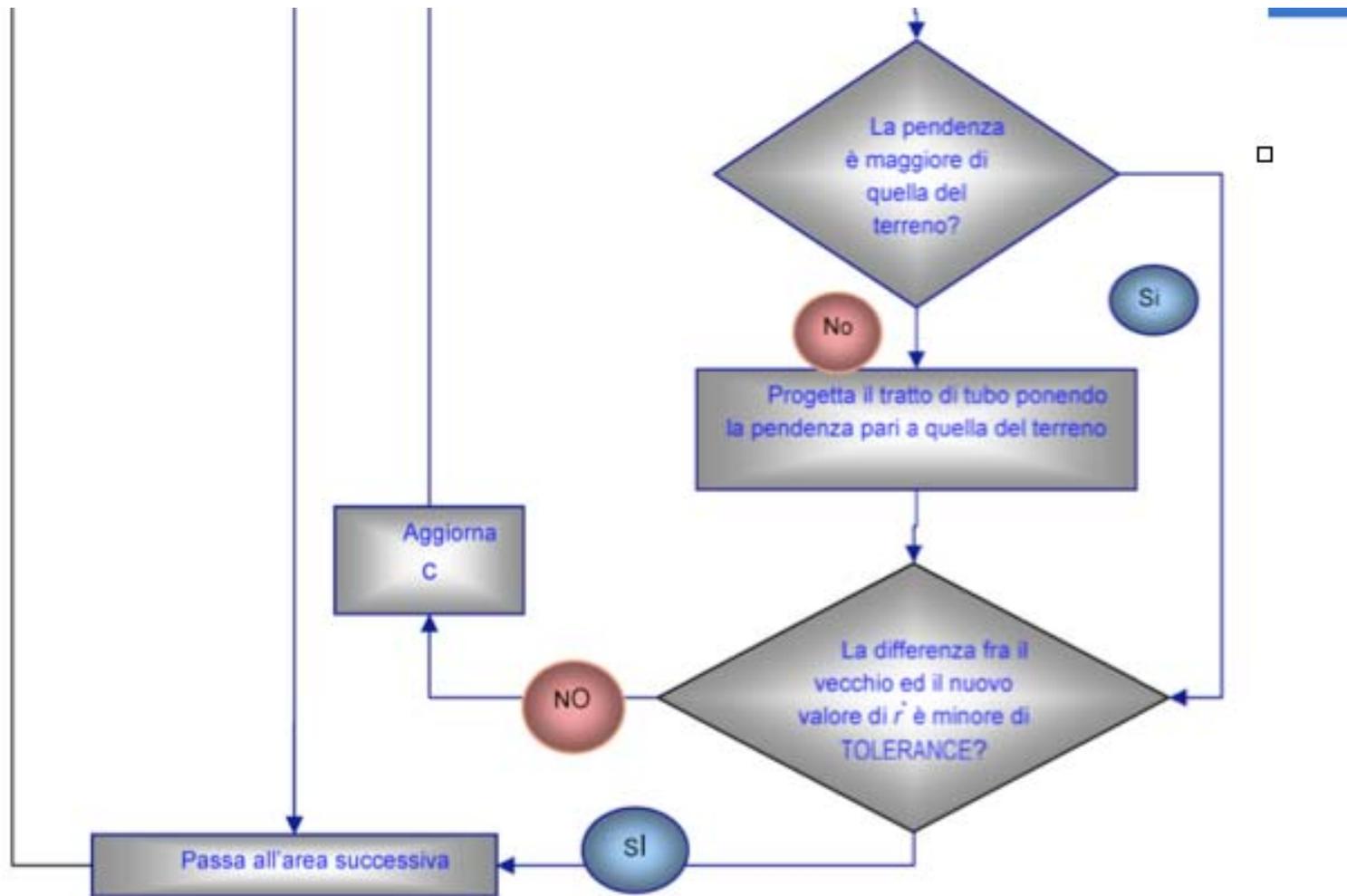
ENTER THE WORKING DIRECTORY PATH:
c:\Fognature\
DO YOU WANT TO RUN THE CALIBRATION MODULE?(1=Y/0=N)
0
0.000000
ENTER THE COEFFICIENT a [mm/hour^n] AND n OF THE DESIGNED RAINFALL:
60.4
60.400000
0.61
0.610000
ENTER THE MINIMUM SHEAR STRESS [Pa]:
2.5
2.500000
ENTER THE MAXIMUM FILLING RATIO G:
0.8
0.800000
CHOSE THE NETWORK VERTICAL ALIGNMENT OPTION(0,1):
0
0.000000
ENTER THE GEOMETRY FILE NAME:
Mulinu.geo
c:\Fognature\Mulinu.geo
ENTER THE OUTPUT FILE NAME:
Mulinu_out.txt_
```

# Sezioni scolanti ammesse

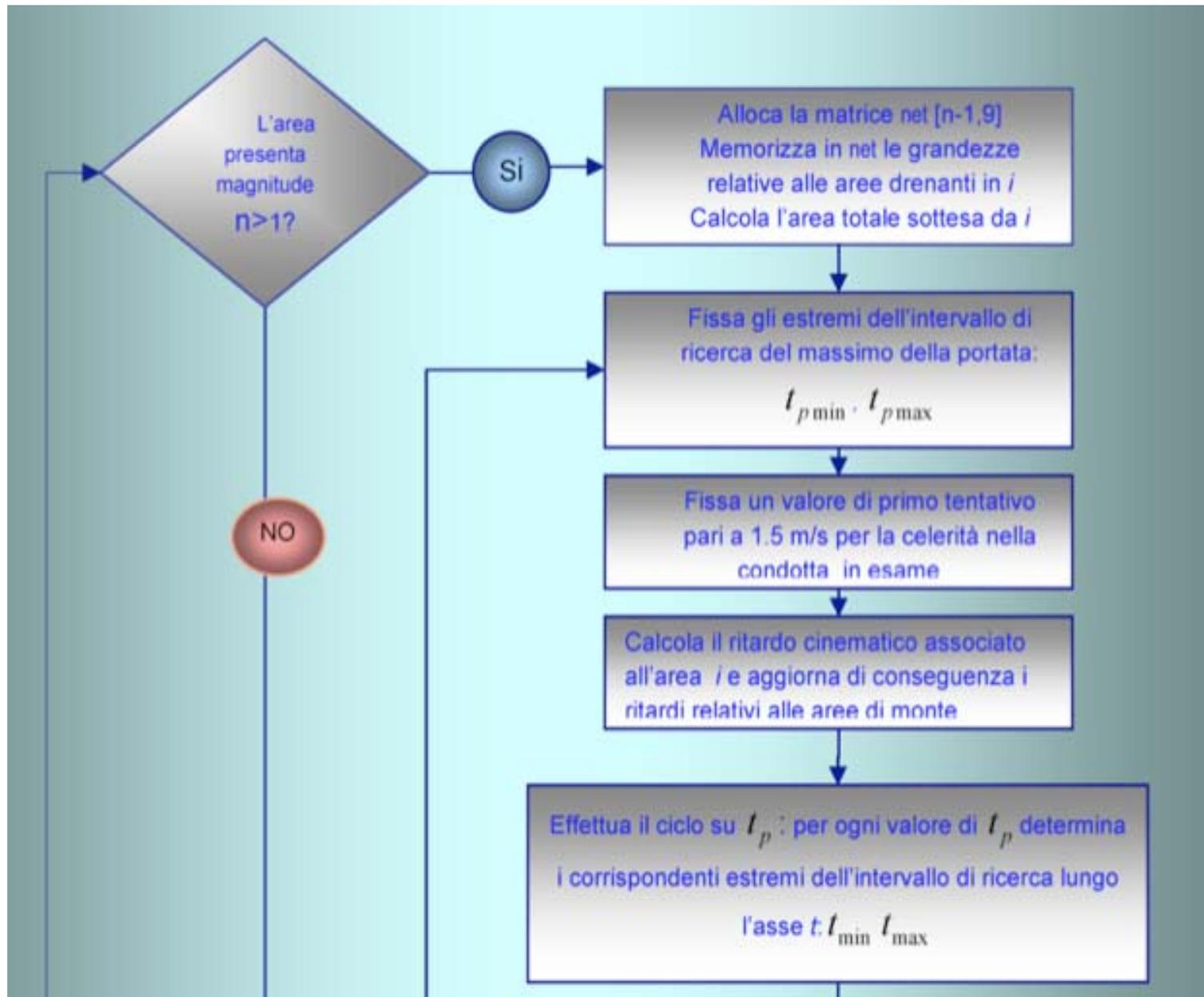




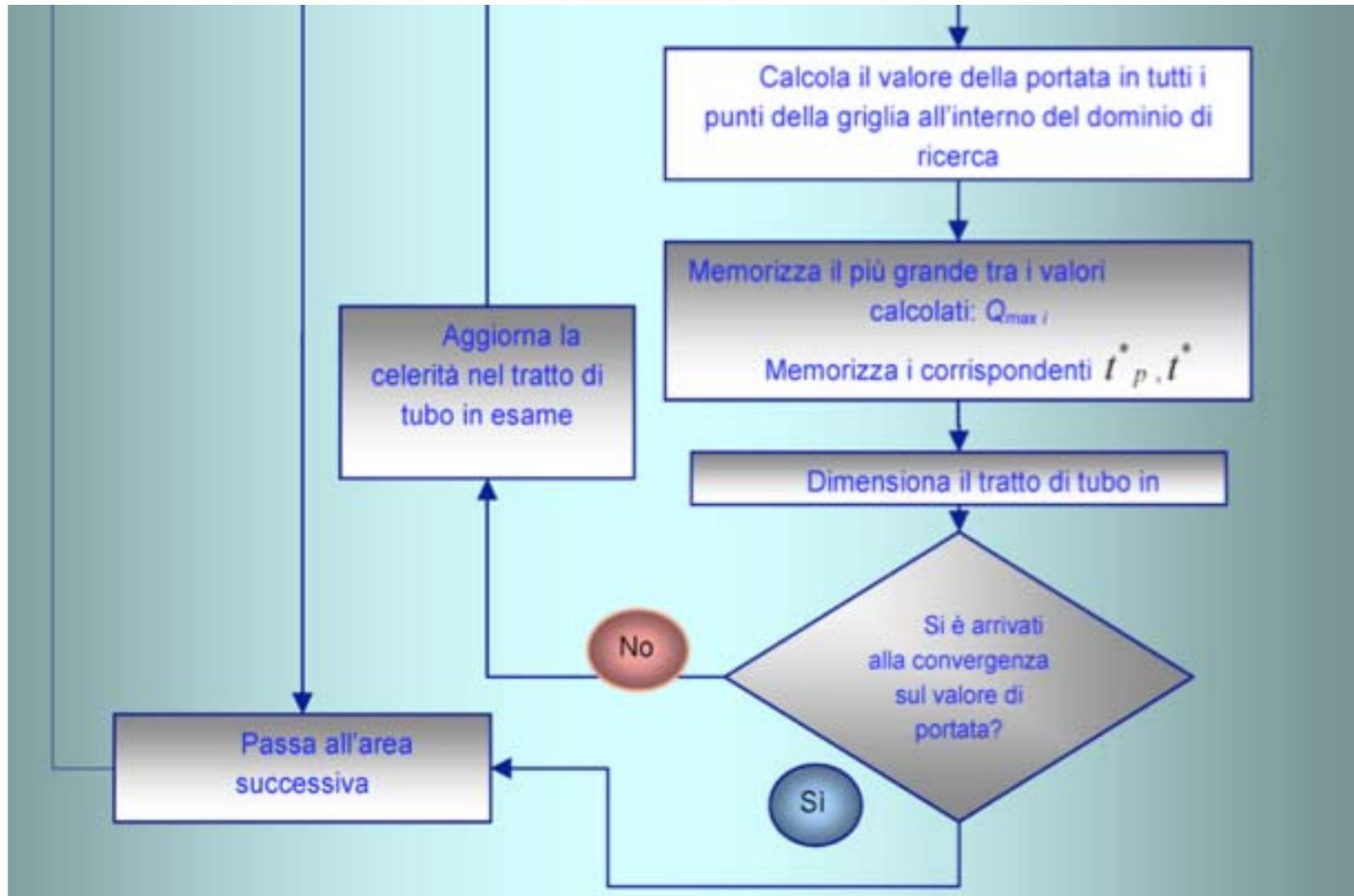
## Eseguibili



# Eseguibili: Modulo di verifica



# Eseguibili: Modulo di verifica



# Il modulo “Calibrazione

E' un vero e proprio modello afflussi deflussi che usa la stesa formulazione del modello geomorfologico di Trento\_p, salvo il fatto che usa celerita' costanti all'interno dei tubi. Nel seguito è stato usato per verificare la riproducibilità delle piene misurate in alcuni dei bacini sperimentali del Gruppo Nazionale dei Deflussi Urbani.

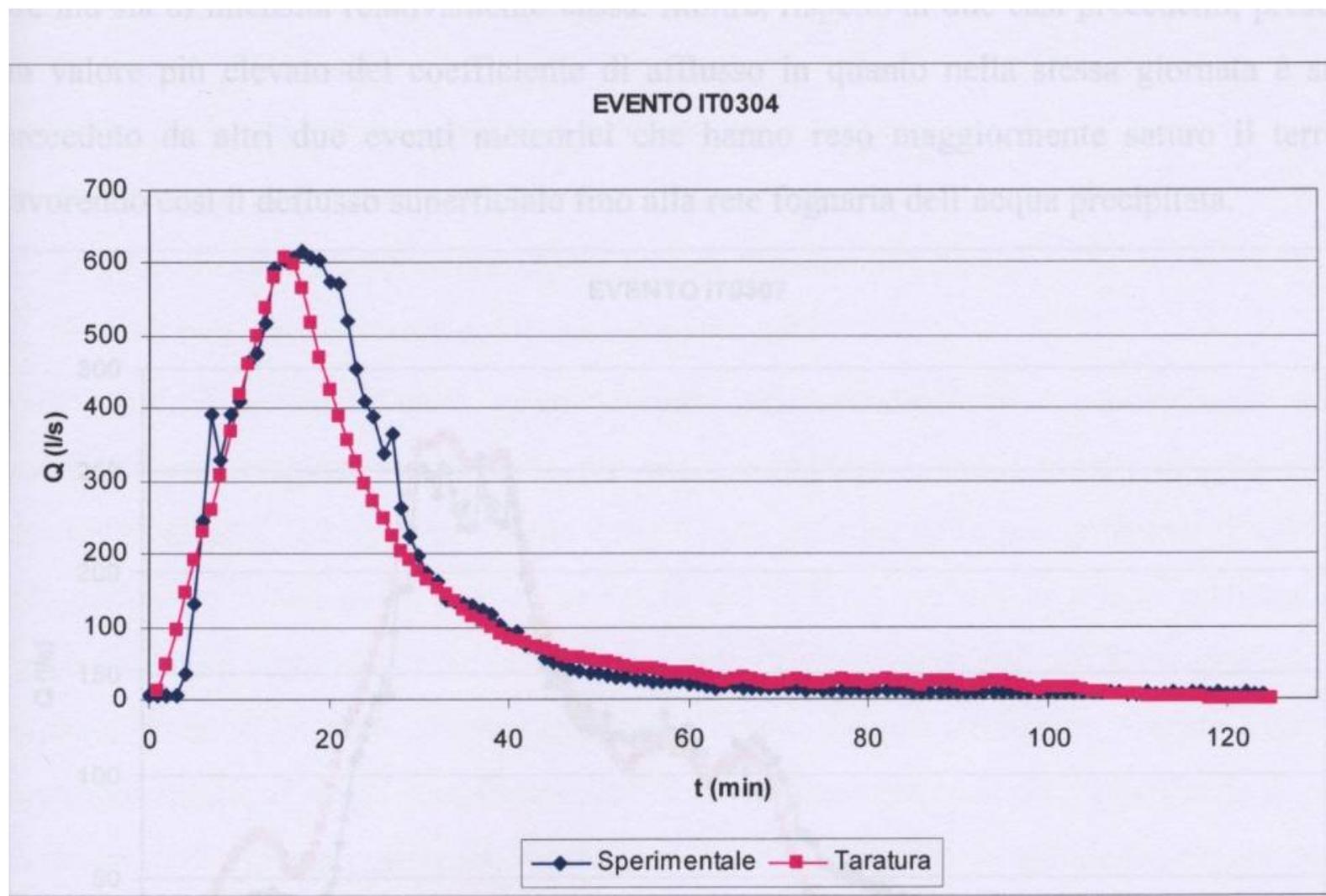
# Il modulo “Calibrazione

E' un vero e proprio modello afflussi deflussi che usa la stesa formulazione del modello geomorfologico di Trento\_p, salvo il fatto che usa celerita' costanti all'interno dei tubi. Nel seguito è stato usato per verificare la riproducibilità delle piene misurate in alcuni dei bacini sperimentali del Gruppo Nazionale dei Deflussi Urbani.

Per ogni bacino si sono effettuate delle simulazioni di taratura e, in seguito, delle simulazioni di validazione, di entrambe sono riportati nel seguito alcuni esempi. I parametri oggetto di taratura sono quelli relativi al tempo di residenza nelle aree scolanti che compaiono nella formula:

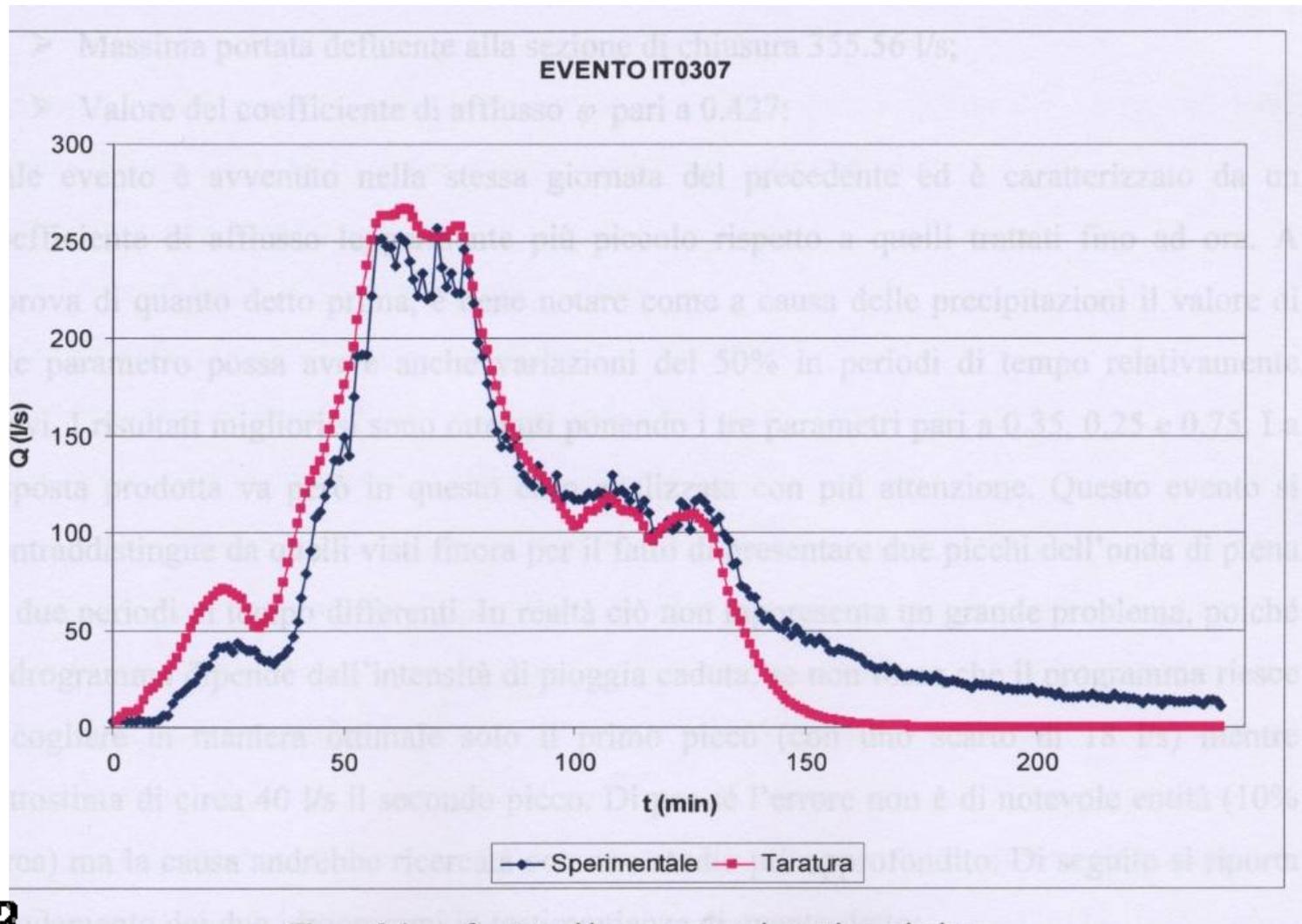
$$k = c \frac{S^\beta}{\phi^b S^\gamma}$$

## Malvaccaro



$$\phi = 0.453$$

## Malvaccaro



$$\phi = 0.623$$

Evento	$\beta$	$\gamma$	b	c
IT0303	0.3	0.25	0.35	0.9
IT0304	0.3	0.30	0.35	0.8
IT0307	0.3	0.25	0.35	0.9
IT0305	0.3	0.35	0.25	0.75
IT0323	0.3	0.35	0.35	0.75
Valori medi	0.3	0.3	0.33	0.82

Tabella 3.2: riassunto eventi di taratura

## Malvaccaro

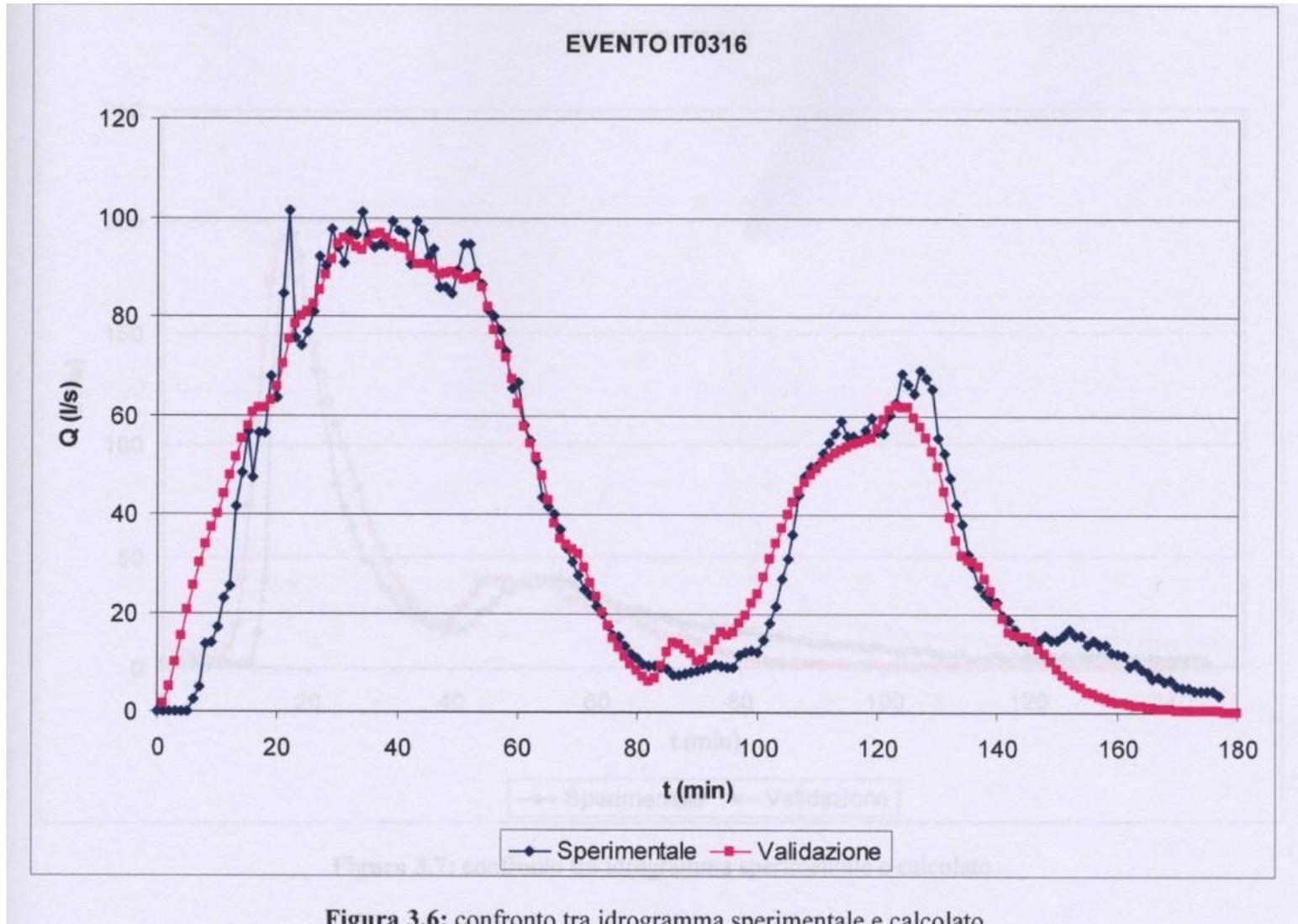


Figura 3.6: confronto tra idrogramma sperimentale e calcolato

$$\phi = 0.427$$

# Malvaccaro

Il modello mostra una ottima capacità di predire l'idrogramma di piena con i valori medi dei parametri di taratura.

# Malvaccaro

Il modello mostra una ottima capacità di predire l'idrogramma di piena con i valori medi dei parametri di taratura.

C'e' un trucco tuttavia: il coefficiente di afflusso è stato calcolato a posteriori anche nell'evento di validazione.

# Malvaccaro

Il modello mostra una ottima capacità di predire l'idrogramma di piena con i valori medi dei parametri di taratura.

C'e' un trucco tuttavia: il coefficiente di afflusso, in genere molto variabile, è stato calcolato a posteriori anche nell'evento di validazione.

La teoria geomorfologica non consente infatti di prevedere il coefficiente di afflusso, che deve essere valutato indipendentemente

## Cascina Scala

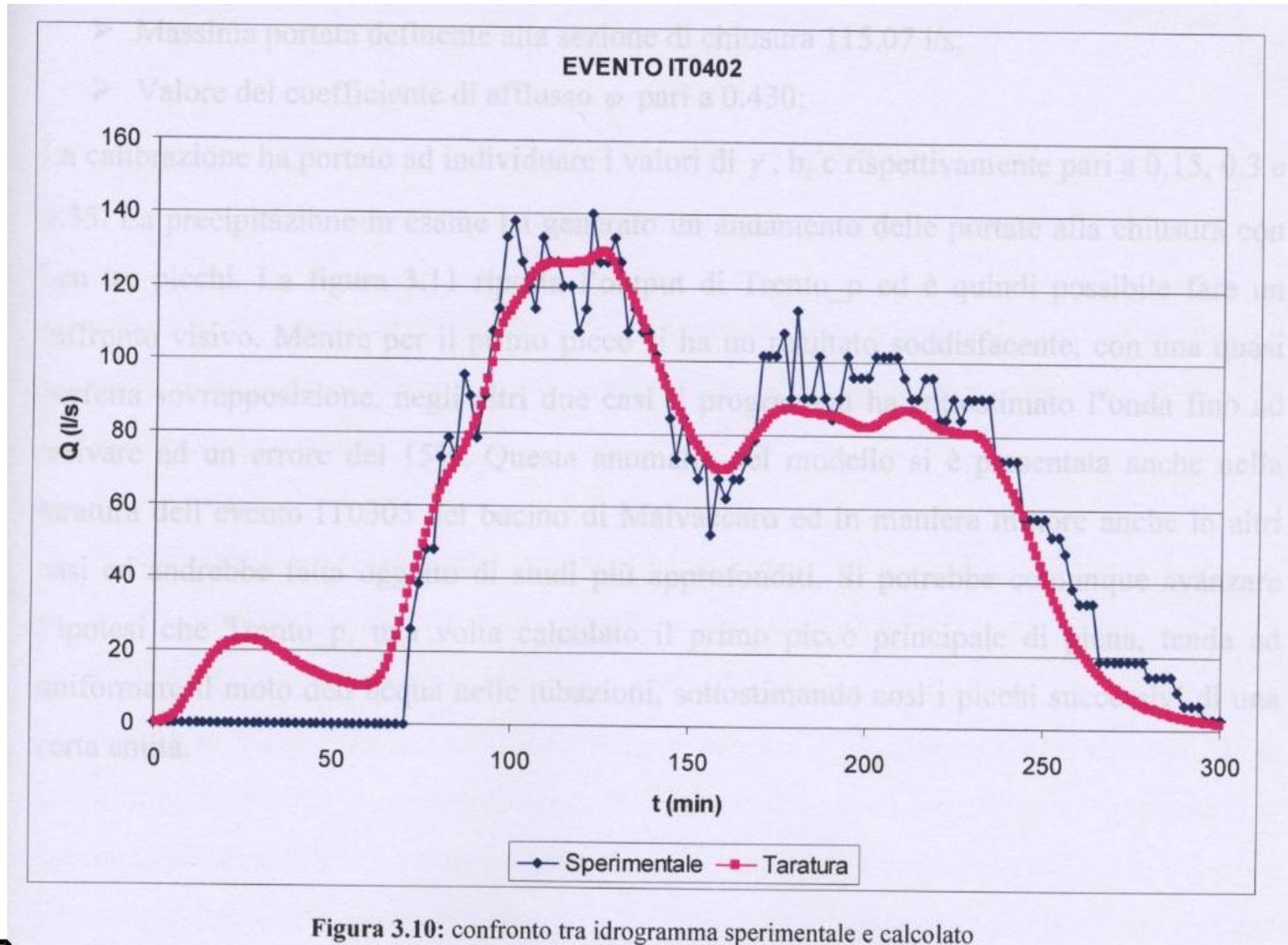


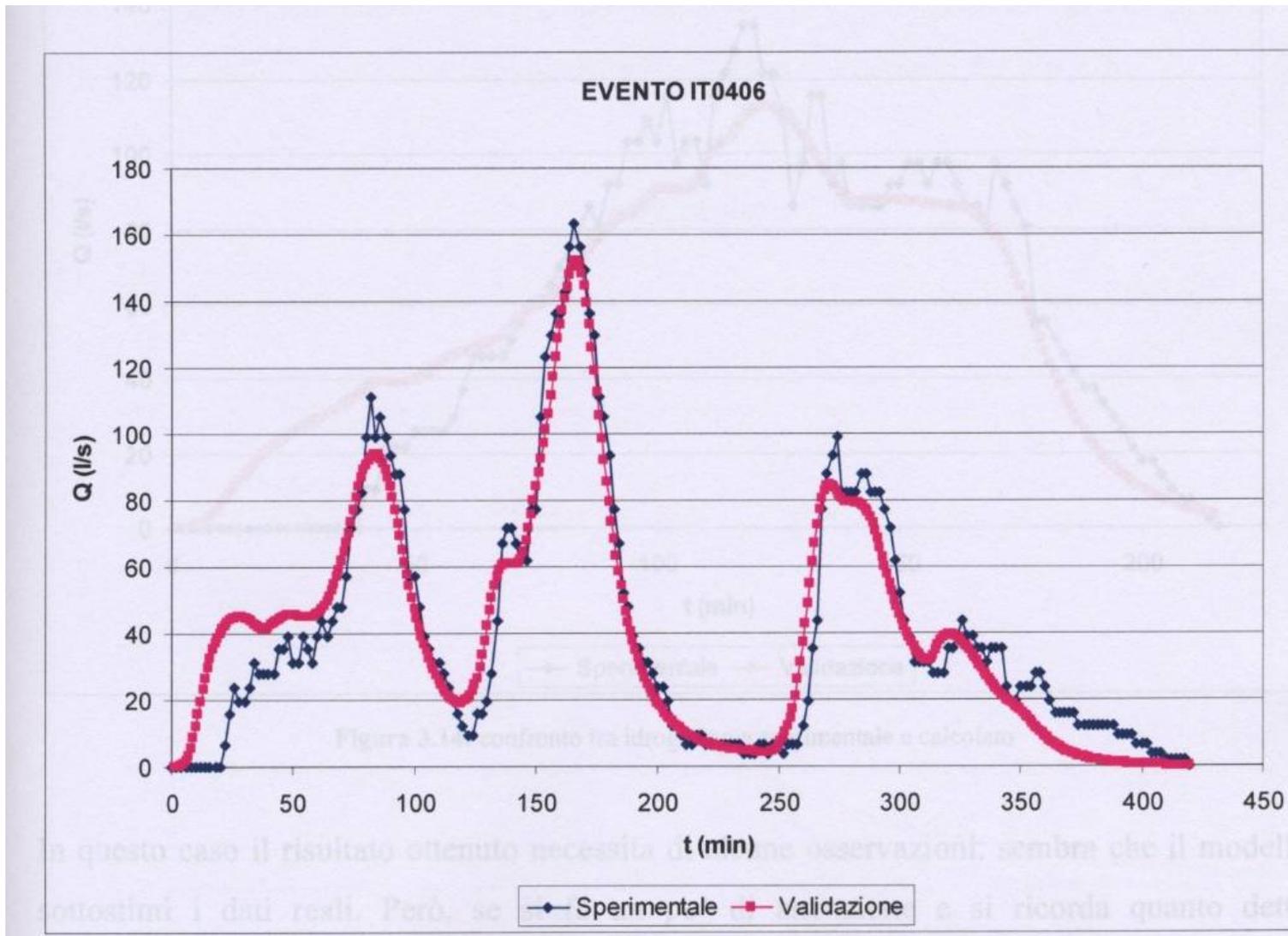
Figura 3.10: confronto tra idrogramma sperimentale e calcolato

$$\phi = 0.688$$

Evento	$\beta$	$\gamma$	b	c
IT0402	0.3	0.25	0.30	0.65
IT0431	0.3	0.15	0.30	0.55
IT0416	0.3	0.20	0.30	0.60
IT0418	0.3	0.20	0.35	0.60
Valori medi	0.3	0.2	0.31	0.60

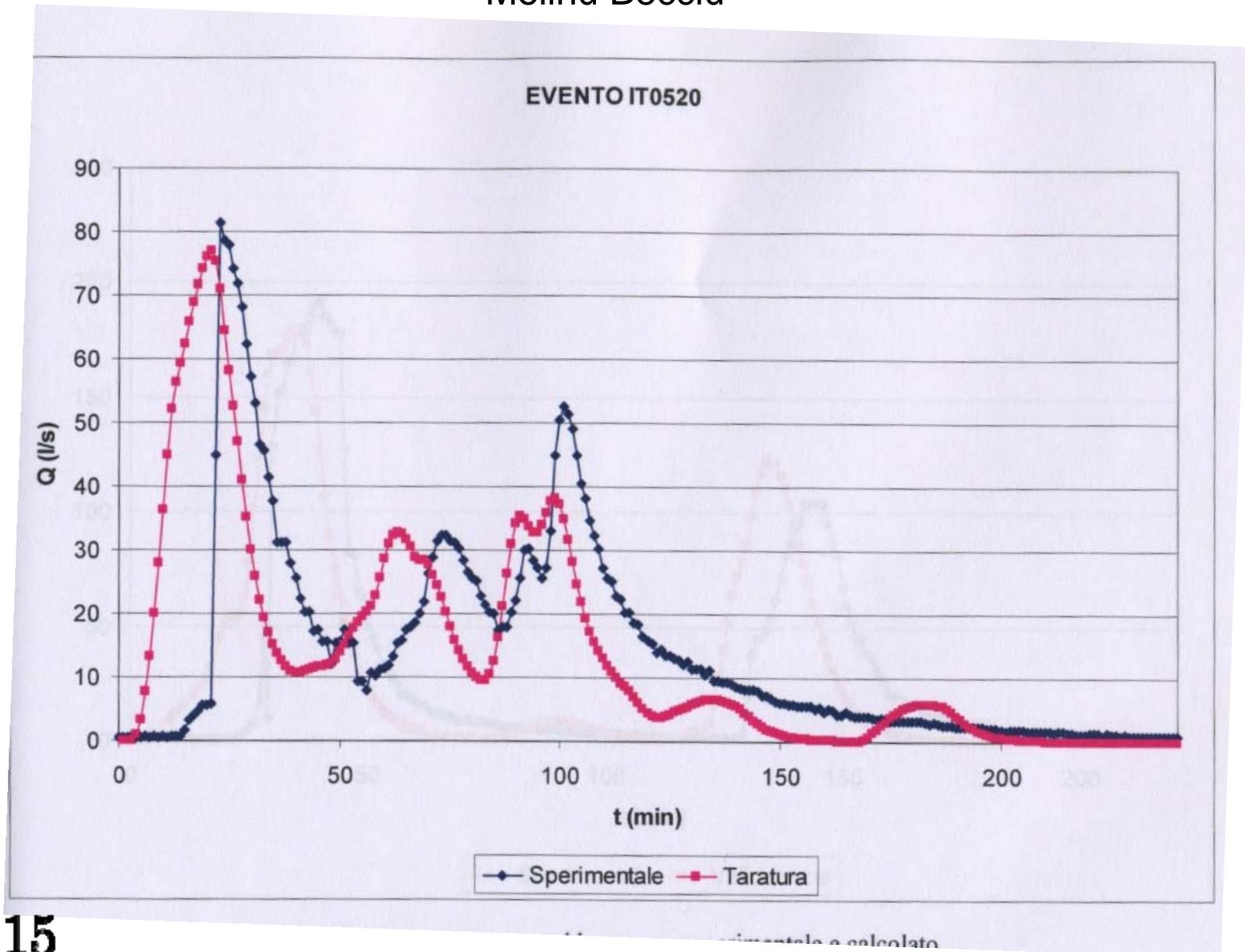
Tabella 3.4: riassunto eventi di taratura

## Cascina Scala



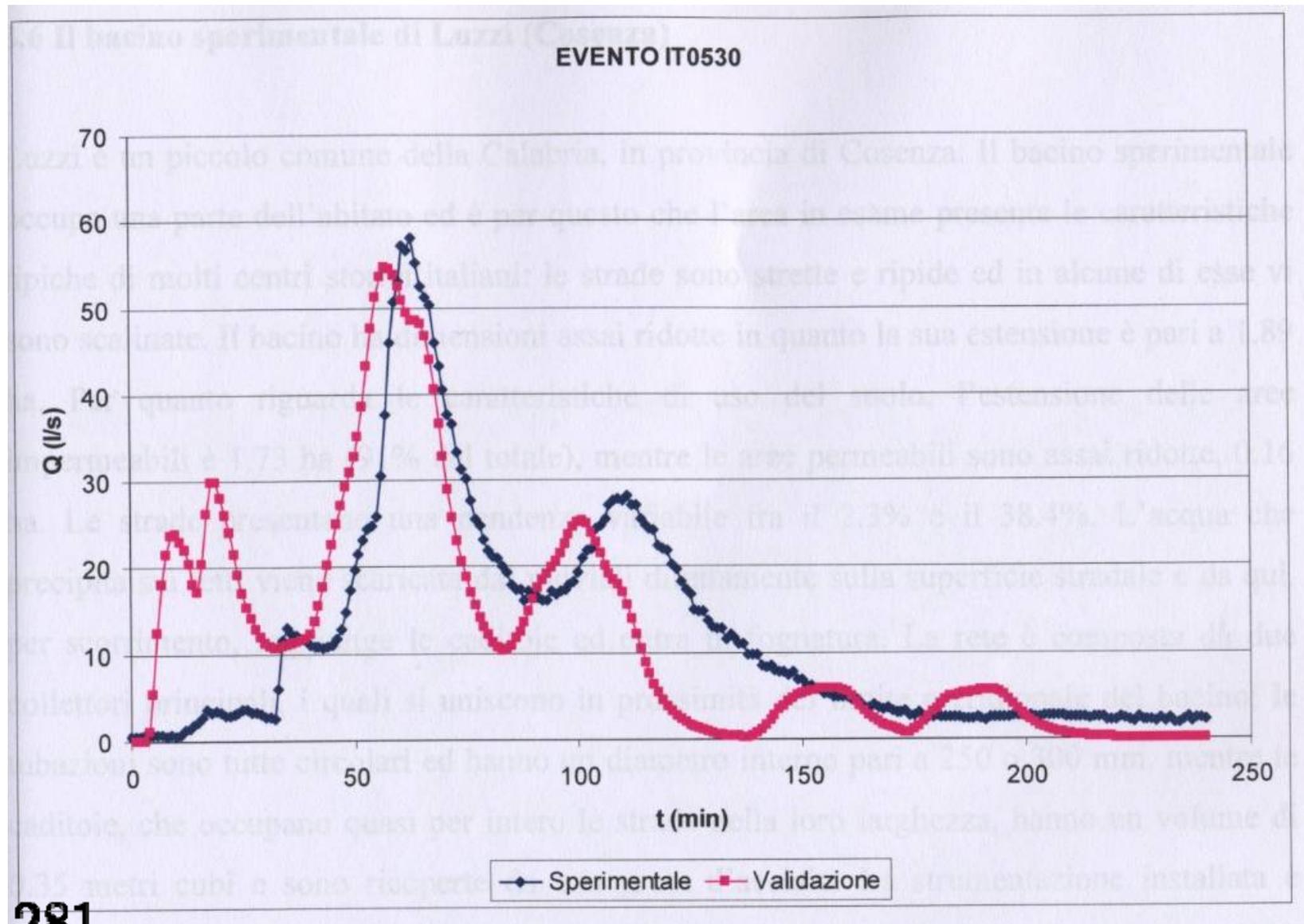
$$\phi = 0.629$$

## Molinu Becciu



$$\phi = 0.315$$

## Molinu Becciu



$$\phi = 0.281$$

# Mulinu Becciu

Il modello mostra una ottima capacità di predire l'idrogramma di piena con i valori medi dei parametri di taratura ma anticipa di alcuni minuti il tempo di picco.

Per altro, potrebbe essere un problema delle misure, non del modello

# Sintesi

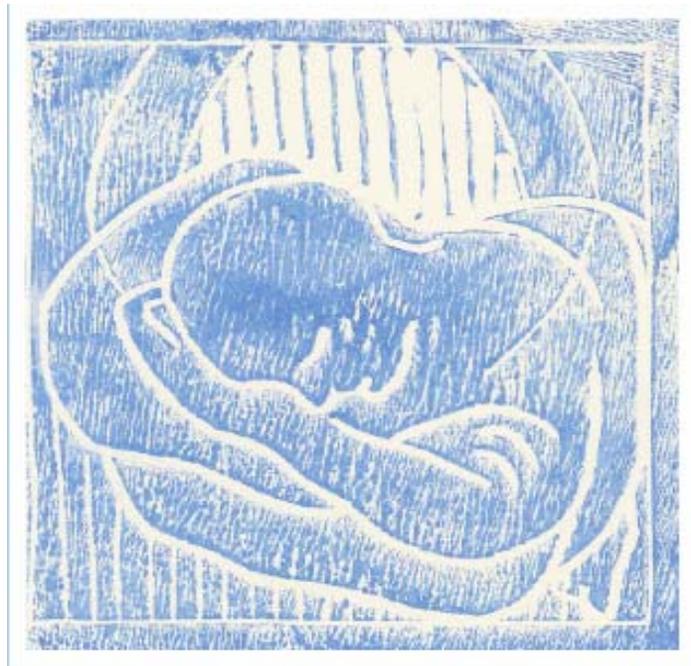
Il modello mostra una ottima capacità di predire l'idrogramma di piena con i valori medi dei parametri di taratura ma anticipa di alcuni minuti il tempo di picco.

Per un uso prognostico bisogna però avere un modello affidabile per la determinazione dei volumi efficaci prodotti nelle piene.

Ritardi occasionali nella previsione delle piene, non sono comunque significativi in fase di progettazione, non risultando errate le portate.

Le buone prestazioni del modello "Calibrazione" rappresentano una conferma della possibilità di utilizzare proficuamente il modulo di progettazione ottenendo risultati realistici.

# Grazie per l'attenzione



Trento\_p è FREE SOFTWARE disponibile con codice sorgente con licenza



presso il sito [www.GEOtop.org](http://www.GEOtop.org) o presso gli autori