



COMUNE DI GRAVELLONA TOCE

Provincia del Verbano Cusio ossola

P.zza Resistenza, 10 - Tel. 0323 / 848386 - Fax. 0323 / 864168 - C.F. 00332450030

e-mail: protocollo@comune.gravellonatoce.vb.it - gravellonatoce@pec.it



**SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL BACINO
DEL RIO LOVICH - 2° LOTTO
(cod. Int. VB214A/10)
PROGETTO ESECUTIVO**

RELAZIONE IDROLOGICA

Agosto 2014

SCALA -

AGGIORNAMENTI :

ELABORATO:

AESSE INGEGNERIA
Via Stazione n. 21 - 28883
GRAVELLONA TOCE (VB)
ing. Alberto Chiesa - ing Stefano Cerlini

documento firmato
(timbro e firma apposti su originale)

R.01b

1. PREMESSA

A corredo del progetto di "Sistemazione idrogeologica del bacino del Rio Lovich - 2° lotto" è stata eseguita la presente analisi idrologica allo scopo di determinare le portate al colmo di piena ed eseguire, quindi, le necessarie verifiche di compatibilità idraulica delle opere in progetto.

2. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E MORFOMETRICHE DEL BACINO IMBRIFERO

Il bacino idrografico del Rio Lovich è stato oggetto di un'accurata analisi geomorfologica redatta dal Dr. Geol. Carlo Leoni, nell'ambito del progetto definitivo/esecutivo, relativo al 1° lotto di lavori (dicembre 2009), a cui si rimanda per gli approfondimenti del caso.

Utilizzando come base cartografica la C.T.R., in scala 1:10.000 (sez. n. 73050-73060), è stato delimitato il bacino imbrifero così da poter determinare i suoi principali caratteri morfometrici.

In particolare, allo scopo di determinare le portate di piena è stato preso in considerazione il bacino sotteso alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'imbocco del tratto coperto di Via Pedolazzi.

Si sono, quindi, determinate le seguenti caratteristiche morfometriche, necessarie per i calcoli idrologici:

Superficie del bacino (S)
Lunghezza asta principale (L)
Altitudine sezione di chiusura (H_0)
Altitudine massima del bacino (H_{max})
Altitudine media (H_m) - dalla curva ipsografica (fig. 1)
Pendenza media del bacino (Iv)
Pendenza media asta principale (Ic)

S (kmq)	0,79
L (km)	1,97
H_0 (m s.l.m.)	218
H_{max} (m s.l.m.)	945
H_m (m s.l.m.)	490
Iv (%)	52
Ic (%)	37

La delimitazione del bacino è stata rappresentata nell'elaborato n. 6.1 *Localizzazione dell'intervento*, in scala 1:10.000.

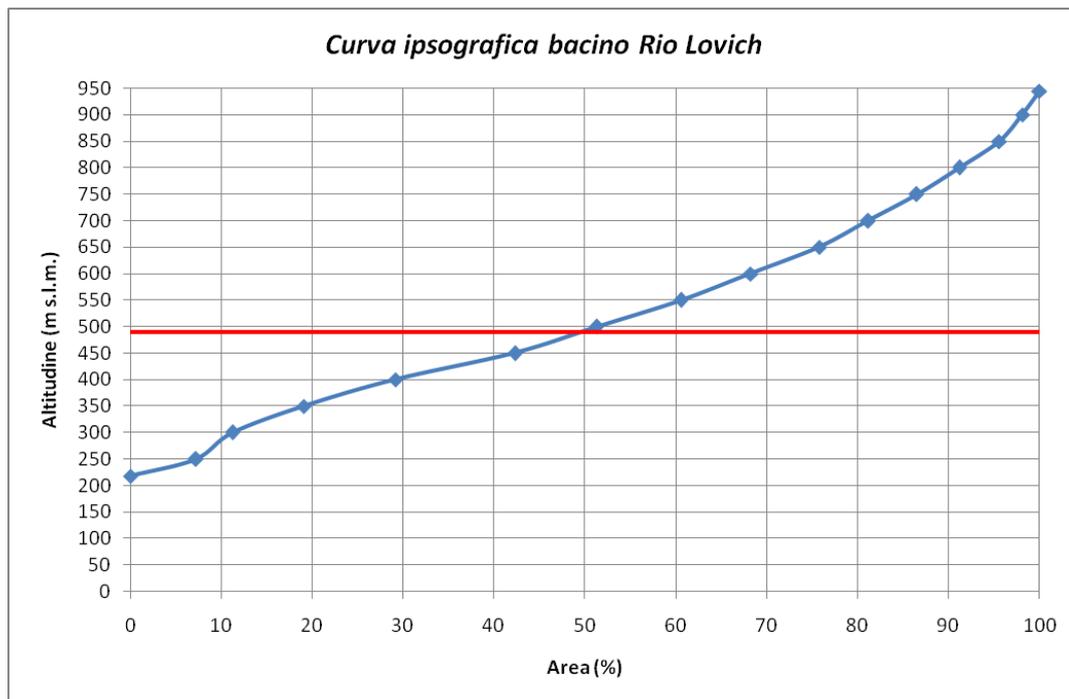


Fig. 1- Curva ipsografica del bacino del Rio Lovich alla sezione di imbocco del tratto coperto

3. AFFLUSSI

Come indicato nel cap. 5 del documento PAI "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica", al fine di una quantificazione dei dati di pioggia, è possibile utilizzare "... i risultati derivanti da studi di regionalizzazione, che siano stati disposti a cura della Regione interessata... ..Nel caso in cui non sono disponibili modelli di regionalizzazione applicabili o per i quali l'applicazione può condurre a margini di incertezza elevati, è necessario ricorrere all'impiego di procedure appartenenti all'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso alla sezione di interesse e impiego di modelli afflussi-deflussi per la trasformazione in portate;...".

Nello specifico caso, è stato possibile, grazie ad una disponibilità di dati, ritenuta sufficiente, confrontare i risultati ottenuti dalla "regionalizzazione" con le elaborazioni di serie statistiche di osservazioni effettuate in bacini limitrofi.

Le elaborazioni idrologiche sono state svolte mediante l'ausilio del software URBIS 2003 v2 (sviluppato dall'ing. M. Ossola e dall'ing. A. Pagani).

3.1. Calcolo delle precipitazioni

Il calcolo delle precipitazioni usualmente viene effettuato considerando la curva di probabilità pluviometrica e, quindi, della relazione che lega l'altezza d'acqua caduta, in assenza di perdite, alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Utilizzando, come comunemente usata, la relazione:

$$h(t) = at^n$$

dove: $h(t)$ = massimo valore annuale di precipitazione di durata t che può essere raggiunto o superato ogni T anni;

a, n = parametri il cui valore dipende dalle caratteristiche pluviometriche della zona in cui si trova la stazione di misura;

vengono elaborate le curve di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

I parametri relativi alla regionalizzazione PAI effettuata per $T_r = 20, 100, 200$ anni, per quanto concerne la cella relativa al bacino del Rio Lovich BZ57 (Est_{UTM} 455000 - Nord_{UTM} 5087000), risultano essere i seguenti:

PARAMETRIA "a" E "n" RELATIVI A DIVERSI TEMPI DI RITORNO							
20		100		200		500	
a	n	a	n	a	n	a	n
66,86	0,487	85,35	0,491	93,25	0,492	0,493	103,69

3.2 Definizione dello ietogramma di progetto

La determinazione dell'onda di piena per assegnati tempi di ritorno ha richiesto l'individuazione, per ciascuno dei tempi di ritorno presi in considerazione, dello ietogramma di progetto, ovvero della precipitazione sintetica da applicare in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Per il caso in esame si è scelto di operare utilizzando i seguenti ietogrammi:

- 1) ietogramma tipo "Chicago";
- 2) ietogramma di tipo rettangolare.

1) La principale caratteristica dello ietogramma di tipo "Chicago" consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta dal suddetto ietogramma è congruente con quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica.

Immaginando di dividere la durata complessiva T dell'evento in due parti, dove $T_b = rT$ è la parte precedente il picco di intensità ($0 < r < 1$) e $T_a = (1-r)T$ è la parte seguente il picco, le equazioni che descrivono l'andamento dell'intensità di pioggia dei due rami dello ietogramma di progetto sono:

$$i(t) = n \cdot a \left(\frac{t_b}{r} \right)^{n-1} \quad \text{prima del picco}$$

$$i(t) = n \cdot a \left(\frac{t_a}{1-r} \right)^{n-1} \quad \text{dopo il picco}$$

dove:

t_b = tempo contato dal picco verso l'inizio della pioggia;
 t_a = tempo contato dal picco verso la fine della pioggia;
 r = rapporto fra tempo prima del picco e durata totale dell'evento;
 n, a = parametri della curva di possibilità climatica.

Nel caso in esame si è scelta una durata dell'evento (T) di 0,50 ora e $r = 0,4$ (valore medio che risulta dagli studi in materia riportati in letteratura).

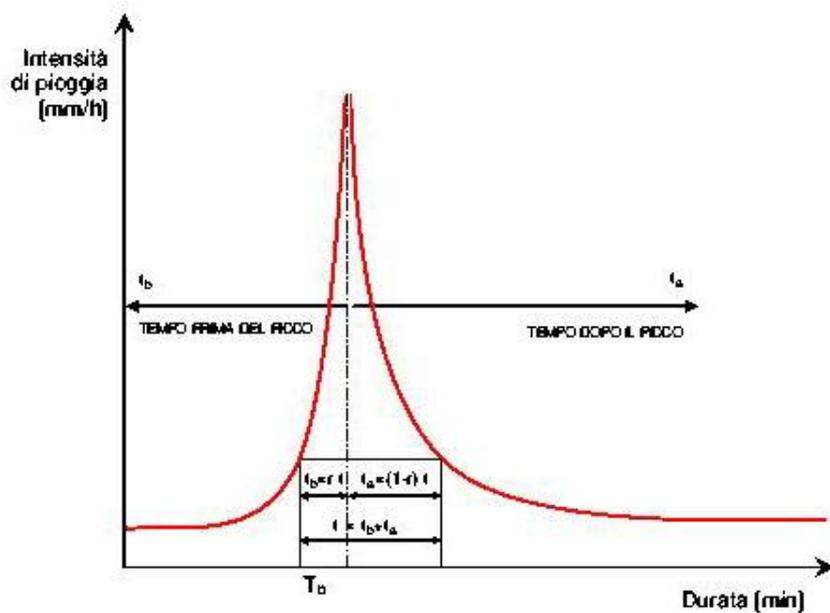


Fig. 1.5 - Ietogramma Chicago.

2) Lo ietogramma rettangolare prevede che per tutta la durata T dell'evento si assuma un valore costante dell'intensità di pioggia, ricavato dalla curva di possibilità pluviometrica.

In questo caso si è considerato un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino.

4 MODELLI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

L'idrogramma di piena è stato ricavato con il modello della corrivazione.

Tale modello schematizza il bacino come un insieme di canali lineari, tali cioè che il tempo di percorrenza del bacino sia un'invariante; è possibile quindi tracciare le cosiddette linee isocorrive che uniscono i punti del bacino ad ugual tempo di corrivazione.

Da esse è possibile costruire la curva aree tempi che rappresenta in ordinate le aree s del bacino comprese fra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo di corrivazione t , rappresentato in ascissa.

Il tempo di corrivazione t corrispondente alla superficie totale S si definisce semplicemente tempo di corrivazione del bacino in esame (t_c).

Dalla curva aree-tempi è possibile dedurre l'IUH che assume la forma:

$$h(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{ds}{dt}$$

Dove ds/dt è la derivata della curva aree tempi medesima.

L'applicazione del metodo richiede la costruzione della curva aree-tempi suddetta, sulla base del reticolo idrografico.

Usualmente vengono introdotte ipotesi semplificative, come considerare punti del bacino ad ugual distanza dalla sezione di chiusura appartenenti alla

stessa isocorriva o ipotizzare la curva aree-tempi lineare, riconducendo la sua determinazione al solo tempo di corrivazione t_c .

In questo caso l'IUH assume la forma semplificata:

$$h(t) = \frac{1}{t_c} \quad t < t_c$$

Anche per la determinazione di t_c esistono in letteratura numerose formulazioni.

Per bacini naturali molto usata in Italia è la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \sqrt{(H_m - H_0)}}$$

in cui t_c (ore) è il tempo di corrivazione; S (kmq) è l'area del bacino; L (km) è la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo; H_m è l'altitudine media del bacino ed H_0 è l'altitudine della sezione di chiusura.

Sulla base dei dati ricavati per il bacino in esame, si è determinato un tempo di corrivazione (t_c) pari a 0,49 ore.

La portata al colmo ricavata è stata confrontata con quella ottenuta applicando la formula del metodo razionale (si faccia riferimento al foglio di calcolo proposto in allegato):

$$Q_c = 0,278 c h(t) \frac{S}{T_c}$$

dove:

Q_c = portata al colmo (mc/s)
 c = coefficiente di deflusso
 $h(t)$ = massima precipitazione al tempo t (mm)
 S = superficie del bacino (kmq)
 T_c = tempo di corrivazione (ore)

4.1 Coefficiente di deflusso di piena

Il coefficiente di deflusso si definisce come il rapporto fra il volume dell'acqua che defluisce attraverso una data sezione ed il corrispondente afflusso in un certo arco di tempo.

Occorre distinguere fra coefficiente di deflusso annuo e coefficiente di deflusso di piena da utilizzarsi nello sviluppo degli idrogrammi.

Mentre il primo consente di evidenziare le passività o le attività del bilancio idrologico del bacino stesso nell'intero arco di un anno, il secondo consente di evidenziare il rapporto fra deflussi e afflussi al colmo di piena raggiunto dopo un tempo di pioggia T_p .

Negli eventi di piena e su bacini come quelli in esame vengono utilizzati spesso un po' arbitrariamente coefficienti di deflusso compresi fra 0,6 e 0,9.

Poiché il range fra i due valori comporta differenze rilevanti nelle valutazioni delle portate di piena, si ritiene opportuno un approccio più analitico alla valutazione di tale coefficiente.

Il coefficiente di deflusso φ può essere considerato come il prodotto di numerosi coefficienti, tra cui i principali sono i seguenti (Gabella):

$$\varphi = \varphi_c \cdot \varphi_p \cdot \varphi_i$$

dove

φ_c : coefficiente dipendente dalla copertura vegetale

φ_p : coefficiente dipendente dalla permeabilità dei terreni

φ_i : coefficiente dipendente dalla pendenza del terreno

Per quanto riguarda il coefficiente dipendente dalle coperture vegetali φ_c , si possono assumere i seguenti valori cautelativi (superiori di 0,05 a quelli usati da Gabella):

Per le aree coperte da bosco ceduo o perenne	$\varphi_c = 0,75$
Per i prati, i pascoli e le aree coltivate	$\varphi_c = 0,85$
Per le aree urbanizzate e le aree degradate con scarsa vegetazione	$\varphi_c = 0,95$
Per le zone rocciose denudate	$\varphi_c = 1,00$

Una volta stabilita per ciascun tipo di area la superficie A di competenza, il coefficiente φ_c complessivo si ottiene dalla media ponderata dei vari coefficienti di competenza delle singole aree:

$$\varphi_c = (\sum A_n \varphi_n) / A_n$$

Per quanto concerne il coefficiente φ_p dipendente dalla permeabilità si possono assumere i seguenti valori (sempre superiori di 0,05 a quelli usati da Gabella):

- per i detriti di falda e i depositi alluvionali recenti $\varphi_p = 0,90$
- per le coltri moreniche eluvio-colluviali, i prati, i pascoli e le aree coltivate $\varphi_p = 0,95$
- per il substrato roccioso affiorante e le aree completamente edificate $\varphi_p = 1$

Risulterà quindi, anche in questo caso:

$$\varphi_p = (\sum A_n \varphi_n) / A_n$$

Per quanto concerne il coefficiente φ_i dipendente dalla pendenza, si può utilizzare la formula di Gabella:

$$\varphi_i = (i(\%) + 1) / (i(\%) + 3)$$

Accanto a tale metodologia è stato affiancato, nel caso in esame, il metodo "Curve Number" CN introdotto dal "Soil Conservation Service" (SCS) che è molto diffuso negli Stati Uniti, soprattutto grazie alla notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione.

Secondo tale modello il volume specifico (altezza) di pioggia netta P_{net} dall'inizio dell'evento meteorico fino al generico istante t , risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda P , nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

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

dove:

- S (mm) volume specifico complessivamente immagazzinabile nel terreno;

- Ia(mm) perdita iniziale, ossia valore limite dell'altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale della precipitazione senza che si abbia produzione di deflusso (con $I_a = 0,2 \cdot S$).

La valutazione del parametro S può essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number) a cui risulta legato dalla relazione con S espresso in mm:

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

I valori di CN relativi alla classificazione SCS dei vari tipi di suolo è riportata in calce.

Gruppo	Descrizione
A	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa.</i> 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.
B	<i>Scarsa potenzialità di deflusso.</i> Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde molto permeabili.
C	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</i> Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	<i>Potenzialità di deflusso molto alta.</i> Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tipo di copertura (uso del suolo)	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato</i>				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<i>Terreno da pascolo</i>				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	81
<i>Praterie</i>				
Buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestali				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi</i>				
Buone condizioni con almeno il 75 % con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50 %	49	69	79	84
<i>Area commerciali (impermeabilità 85 %)</i>	89	92	94	95
<i>Distretti industriali (impermeabilità 72 %)</i>	81	88	91	93
<i>Aree residenziali</i>				
Impermeabilità media 65%	77	85	90	92
Impermeabilità media 38%	61	75	83	87
Impermeabilità media 30%	57	72	81	86
Impermeabilità media 25%	54	70	80	85
Impermeabilità media 20%	51	68	79	84
<i>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</i>	98	98	98	98
<i>Strade</i>				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Nel caso in esame si è utilizzato un valore di CN = 84-86 corrispondente a coefficienti di deflusso compresi fra 0,72 e 0,75.

5. RISULTATI OTTENUTI

5.1 Sezione di chiusura tratto coperto Via Pedolazzi

I valori ottenuti con le elaborazioni effettuate sono stati riportati nelle tabelle e nei grafici di seguito proposti.

In particolare risultano le seguenti portate al colmo:

Sezioni	Portate Q_c [mc/s]	Tr = 200 anni (Corrivazione)	Tr = 200 anni (Metodo razionale)
Imbocco tratto coperto Via Pedolazzi		22,2 (ietogramma "Chicago") 21,8 (ietogramma rettangolare)	22,0

CALCOLO PORTATA DI MASSIMA PIENA CON IL METODO RAZIONALE

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Pienadi progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione: Rio Lovich

Punto di sezione: Imbocco tratto coperto Via Pedolazzi

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO		DATI RISULTANTI	
S ⇒ 0.79	[Km ²] Superficie Bacino	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(Hm - Ho)}} \Rightarrow \mathbf{0.49}$	Tempo di Corrivazione [ore]
L ⇒ 1.97	[Km] Lunghezza asta principale		
Hm ⇒ 490	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.		
Ho ⇒ 218	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.		

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA	$h_{(t)} = at^n$
Curva di probabilità pluviometrica	$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione a = fattore della curva relativo ad un determinato Tr n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE (Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
B257	455000	5087000	66.86	0.49	85.35	0.49	93.25	0.49

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)	
20	47.40	$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] 0.49 Tr = tempo di ritorno
100	60.34	
200	65.87	

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{ch_{(t)}S}{T_c}$$

dove

Q_c	⇒	0.75	portata al colmo
c	⇒		coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$	⇒	0.79	massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇒	0.79	[Km ²] Superficie Bacino
T_c	⇒	0.49	[ore] Tempo di corrivazione

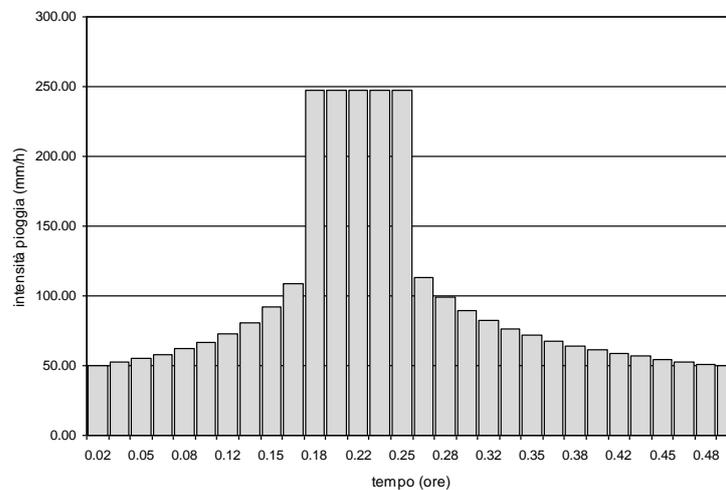
RISULTATI

Tr		Q_c [mc/sec]	Tr = tempo di ritorno [anni]
20	⇒	15.822	
100	⇒	20.141	
200	⇒	21.990	

CALCOLO PORTATA DI MASSIMA PIENA CON IL METODO DELLA CORRIVAZIONE
- IDROGRAMMA TIPO "CHICAGO" -

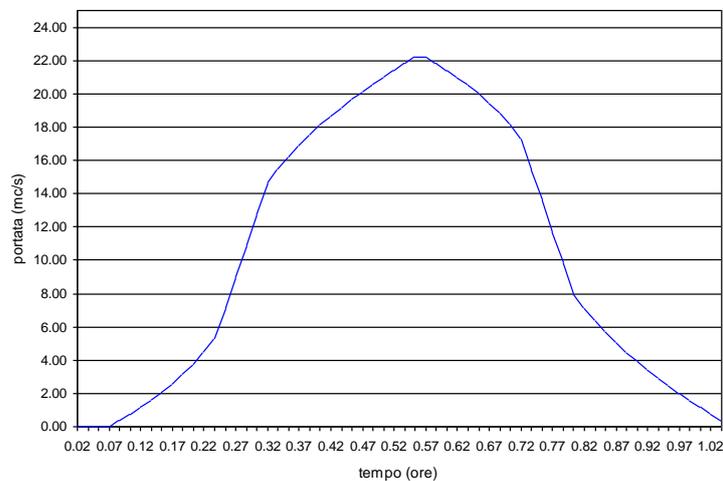
Ietogramma netto di tipo "Chicago" depurato con il metodo percentuale (c=0,75), relativo a Tr 200 anni

Tempo (ora)	Pioggia (mm/ora)
0,02	50,01
0,03	52,38
0,05	55,12
0,07	58,33
0,08	62,16
0,10	66,86
0,12	72,81
0,13	80,66
0,15	91,74
0,17	109,12
0,18	247,13
0,20	247,13
0,22	247,13
0,23	247,13
0,25	247,13
0,27	112,73
0,28	99,11
0,30	89,46
0,32	82,16
0,33	76,38
0,35	71,67
0,37	67,72
0,38	64,36
0,40	61,45
0,42	58,90
0,43	56,64
0,45	54,62
0,47	52,80
0,48	51,15
0,50	49,64



Idrogramma relativo a Tr 200 anni, calcolato con il metodo della corrivazione a partire dallo ietogramma di tipo "Chicago"

Tempo (ora)	Portata (mc/s)	Tempo (ora)	Portata (mc/s)
0,02	0,00	0,52	21,42
0,03	0,00	0,53	21,82
0,05	0,00	0,55	22,20
0,07	0,00	0,57	22,20
0,08	0,38	0,58	21,80
0,10	0,77	0,60	21,39
0,12	1,19	0,62	20,94
0,13	1,63	0,63	20,47
0,15	2,10	0,65	19,97
0,17	2,61	0,67	19,42
0,18	3,16	0,68	18,81
0,20	3,77	0,70	18,11
0,22	4,47	0,72	17,29
0,23	5,29	0,73	15,42
0,25	7,16	0,75	13,55
0,27	9,03	0,77	11,68
0,28	10,90	0,78	9,81
0,30	12,77	0,80	7,94
0,32	14,64	0,82	7,08
0,33	15,49	0,83	6,33
0,35	16,24	0,85	5,66
0,37	16,92	0,87	5,03
0,38	17,54	0,88	4,46
0,40	18,12	0,90	3,91
0,42	18,66	0,92	3,40
0,43	19,18	0,93	2,91
0,45	19,66	0,95	2,45
0,47	20,13	0,97	2,00
0,48	20,57	1,00	1,58
0,50	21,00	1,02	1,16
		1,03	0,76



CALCOLO PORTATA DI MASSIMA PIENA CON IL METODO DELLA CORRIVAZIONE
- IDROGRAMMA RETTANGOLARE -

Ietogramma netto di tipo rettangolare depurato con il metodo percentuale (c=0,75), relativo a Tr 200 anni

Tempo (ora)	Pioggia (mm/ora)
0,02	99,46
0,17	99,46
0,25	99,46
0,33	99,46
0,42	99,46
0,50	99,46

Idrogramma relativo a Tr 200 anni, calcolato con il metodo della corrivazione a partire dallo ietogramma di tipo rettangolare

Tempo (ora)	Portata (mc/s)
0,08	0,00
0,17	3,64
0,25	7,28
0,33	10,91
0,42	14,55
0,50	18,19
0,58	21,83
0,67	18,19
0,75	14,55
0,83	10,91
0,92	7,28
1,00	3,64

Gravellona Toce, Agosto 2014