



CITTA' DI BIELLA

INTERVENTO

## Sistemazione Idraulica Torrente Oropa e rii minori in prossimità del Santuario

# PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO DOCUMENTO

## RELAZIONE E INDAGINE IDROLOGICA

RIFERIMENTI DOCUMENTO

DOCUMENTO	LOTTO	PAGINE	DATA
003	U	19	Aprile 2019

CODICE GENERALE ELABORATO

CODICE OPERA	LOTTO	SETTORE	LIVELLO PROGETTO	AREA PROGETTAZIONE	OPERA	TIPO DI DOCUMENTO	N° ELABORATO	VERSIONE
001	U	E	D	BI	01	IDR	003	0

3-Revisione	Aprile 2019	REVISIONE INTERVENTI	Ing. Laura Piccinelli	Ing. Emanuele Giletti	Ing. Emanuele Giletti
2-Revisione	Settembre 2015	REVISIONE GENERALE	Geom. Davide Sega	Ing. Emanuele Giletti	Ing. Emanuele Giletti
1-Revisione	Febbraio 2015	REVISIONE GENERALE	Geom. Davide Sega	Ing. Emanuele Giletti	Ing. Emanuele Giletti
0 - Emissione	Giugno 2014	EMISSIONE	Geom. Davide Sega	Ing. Emanuele Giletti	Ing. Emanuele Giletti
REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE DOCUMENTI SOSTITUITI	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO

PROGETTISTA:



Dr. ing. Emanuele Giletti

Via Addis Abeba, 5 -13900- Biella (BI)  
e-mail : emanuelegiletti@gmail.com  
tel. 015/8496061

COLLABORATORI :

Geom. Davide Sega  
Ing. Laura Piccinelli  
Geom. Sara Pasotto

TIMBRI E-FIRME

## **Comune di Biella**

### **“Sistemazione idraulica Torrente Oropa e rii minori in prossimità del Santuario”**

#### **ANALISI IDROLOGICA**

##### **- PREMESSA**

Nell’ambito dal progetto di “Sistemazione idraulica Torrente Oropa e rii minori in prossimità del Santuario” affidato al sottoscritto dott. ing. Emanuele Giletti, con studio in Via Addis Abeba 5, Biella, lo studio dell’analisi idrologica del sito, prende atto degli studi effettuati nella stessa località e bacino da parte dell’ing. Davide Martinier Testa in occasione del progetto *Completamento sentiero della Madonna - tratto Cossila S.Giovanni Brella - Passerelle pedonali su Rio Furia e Torrente Oropa* del settembre 2010.

Lo studio redatto dal sottoscritto ( a partire da pag. 11) viene confrontato con quanto riportato nella relazione dell’ing. Davide Martinier Testa che ha autorizzato il sottoscritto ad usufruire dei suoi studi idraulici, che vengono qui sotto riportati.

##### ***Da ing. Martinier Testa***

*Lo studio idraulico di un corso d'acqua deve essere preceduto da valutazioni riguardanti la formazione dei deflussi superficiali e la propagazione della conseguente onda di piena. Pertanto, per la determinazione delle portate di piena di assegnato tempo di ritorno, da utilizzare nei calcoli idraulici successivi, si rende necessaria una specifica analisi idrologica.*

*Mancando misurazioni dirette degli idrogrammi, la definizione delle portate di piena richiede metodi di trasformazione afflussi-deflussi. Ciò implica, da una parte l'analisi del regime pluviometrico dell'area per la definizione delle altezze di pioggia degli eventi estremi, dall'altra la definizione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici sottesi alle sezioni di chiusura ritenute utili per lo studio.*

##### **ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI**

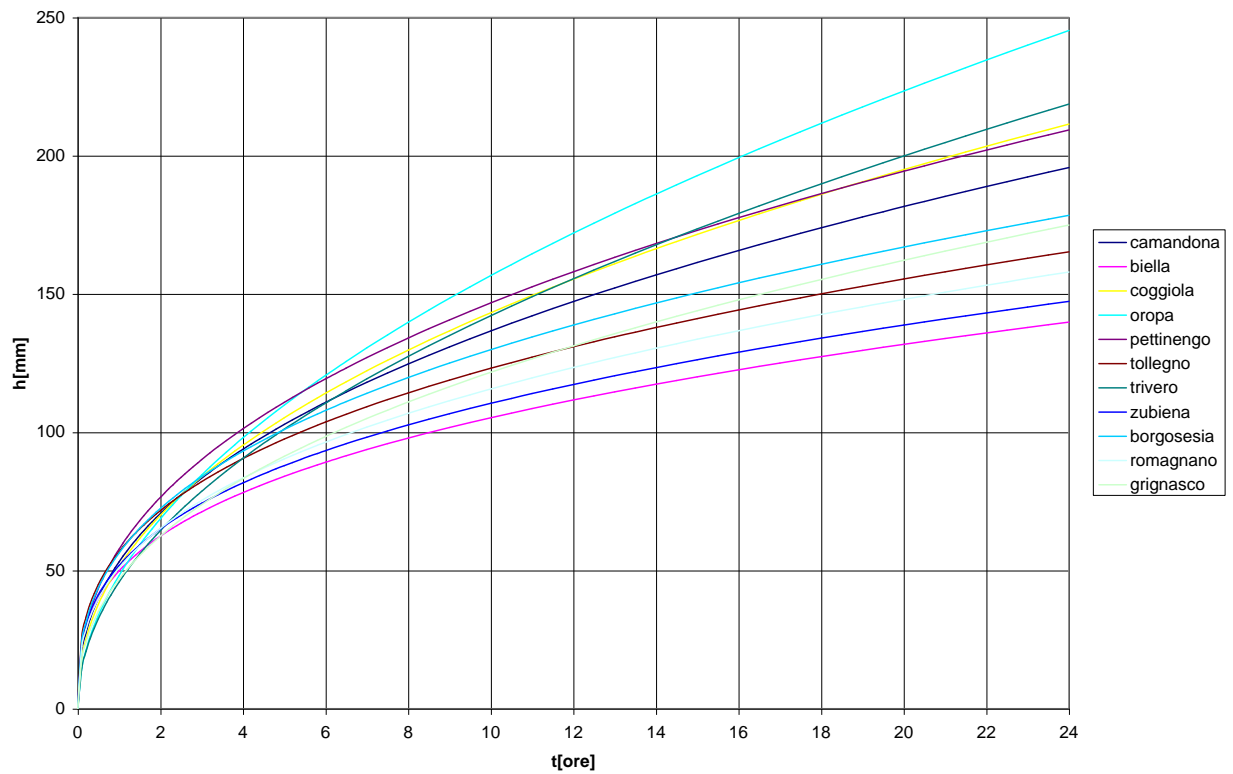
*Le piene dei corsi d'acqua sono l'effetto della sovrapposizione e combinazione dei deflussi superficiali generati dalle precipitazioni che avvengono sui propri bacini imbriferi.*

*Gli eventi meteorici da considerare per il calcolo delle portate di piena con diverso tempo di ritorno, sono il risultato di calcoli statistici sui dati rilevati nelle stazioni pluviometriche ritenute rappresentative della piovosità dei bacini considerati.*

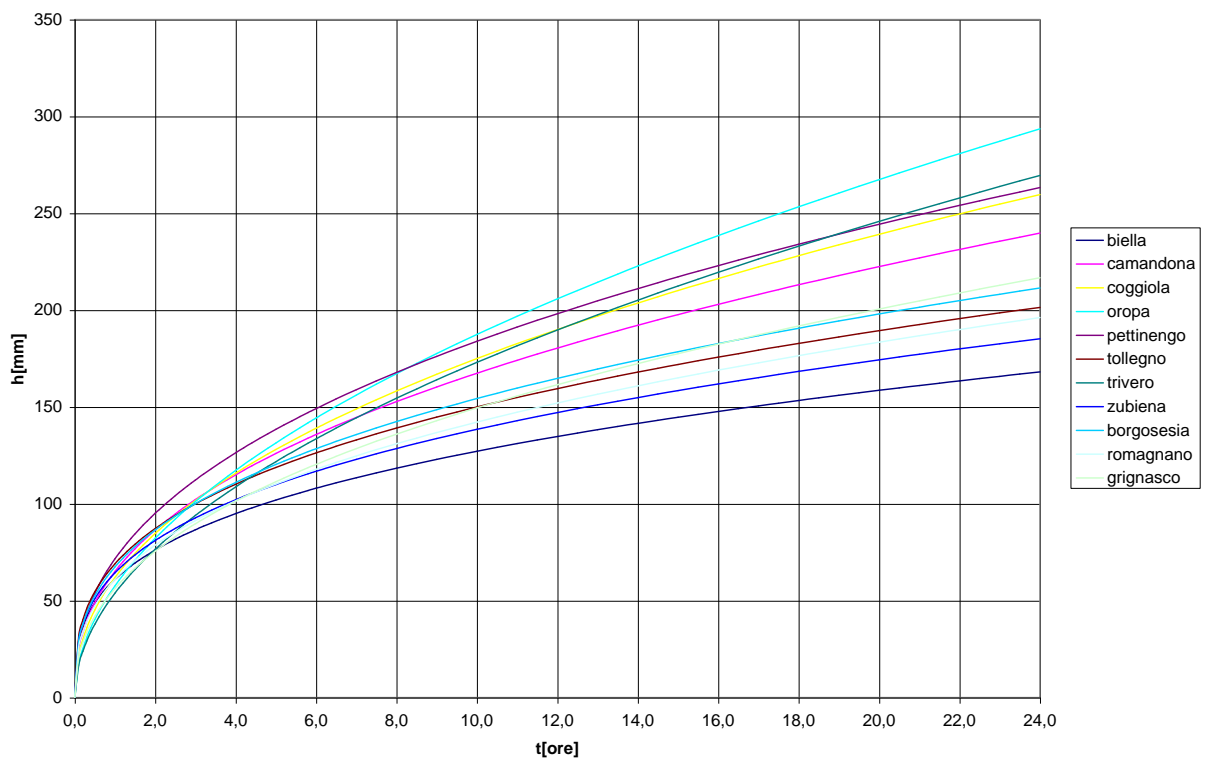
*Si sono prese in considerazione le stazioni di: Biella, Camandona, Coggiola, Oropa, Pettinengo, Tollegno, Trivero, Zubiena, Borgosesia, Romagnano e Grignasco.*

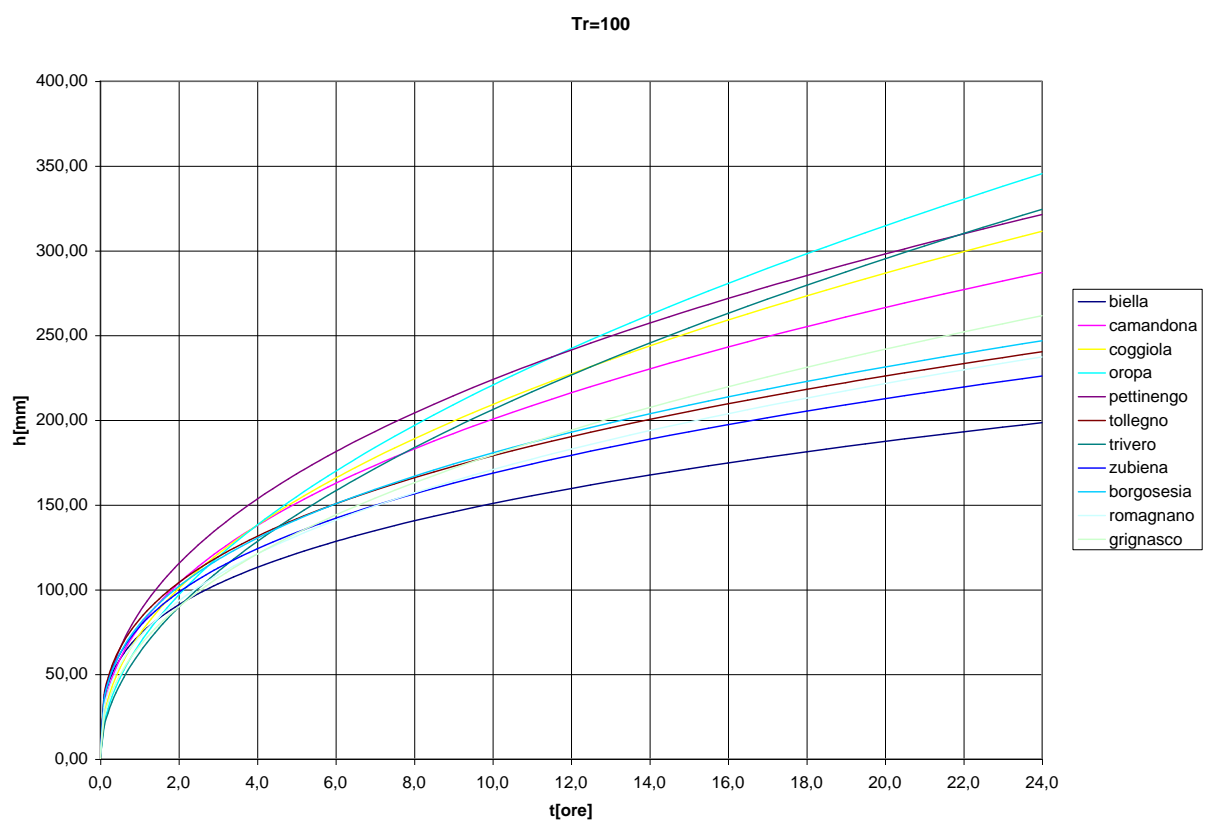
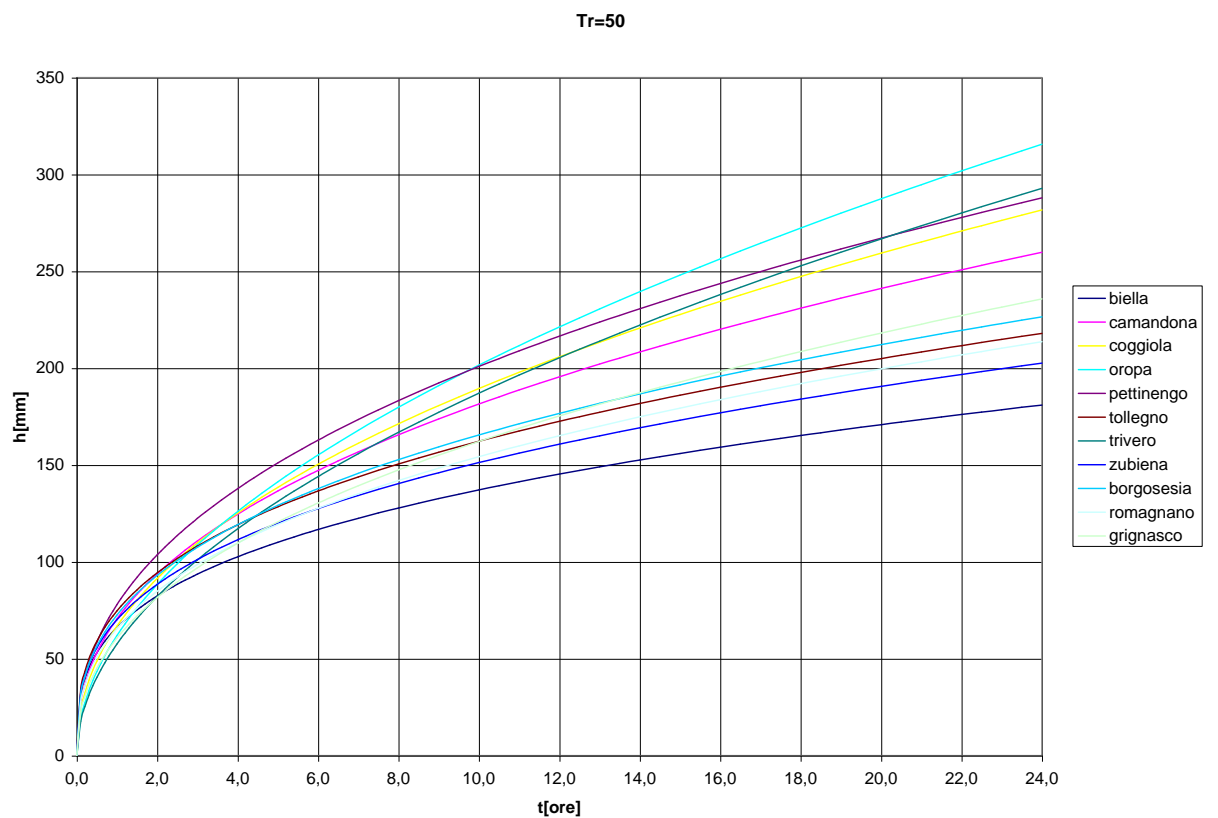
*Per ciascuna di esse, attraverso elaborazioni statistiche delle serie storiche relative alle massime precipitazioni orarie (1, 3, 6, 12, 24 ore), condotte secondo la distribuzione di Gumbel, si sono determinate le equazioni delle curve di possibilità climatica per i tempi di ritorno di 10, 30, 50, 100, 200, 500 anni, che vengono qui di seguito riportate.*

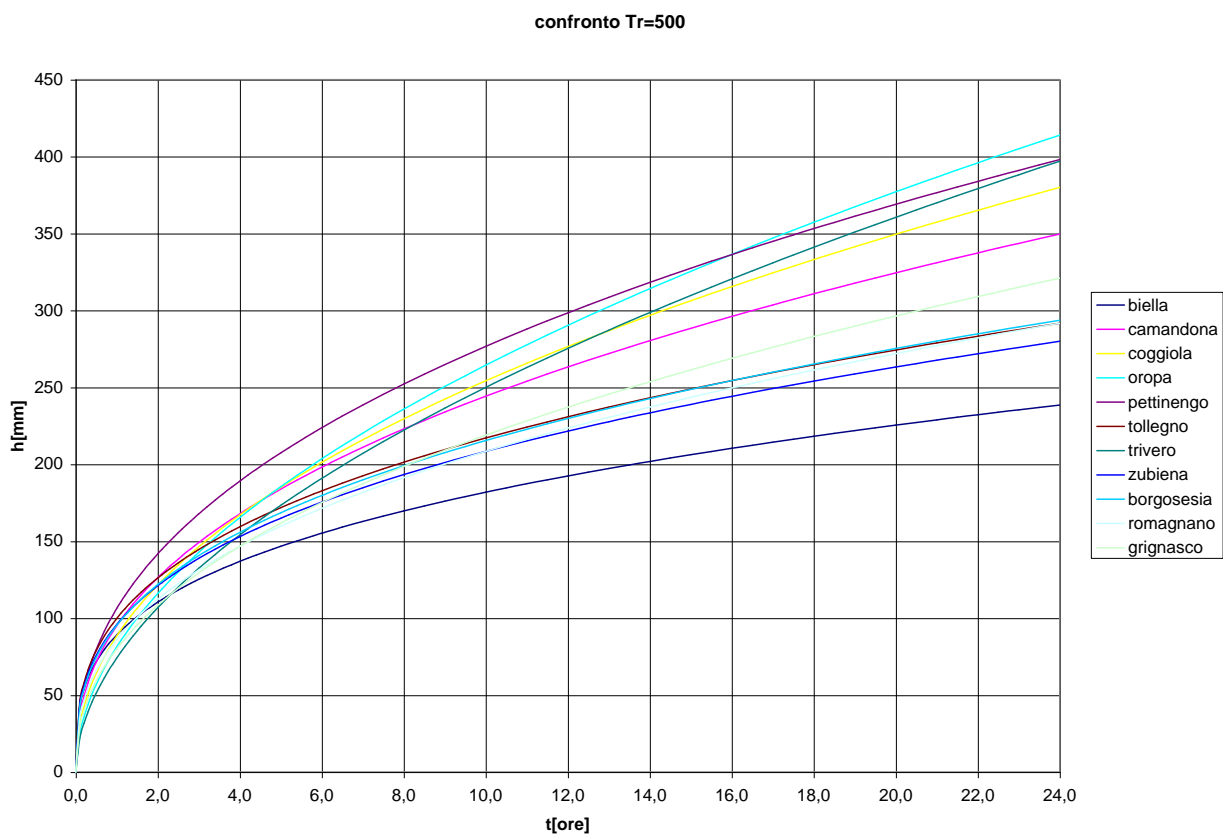
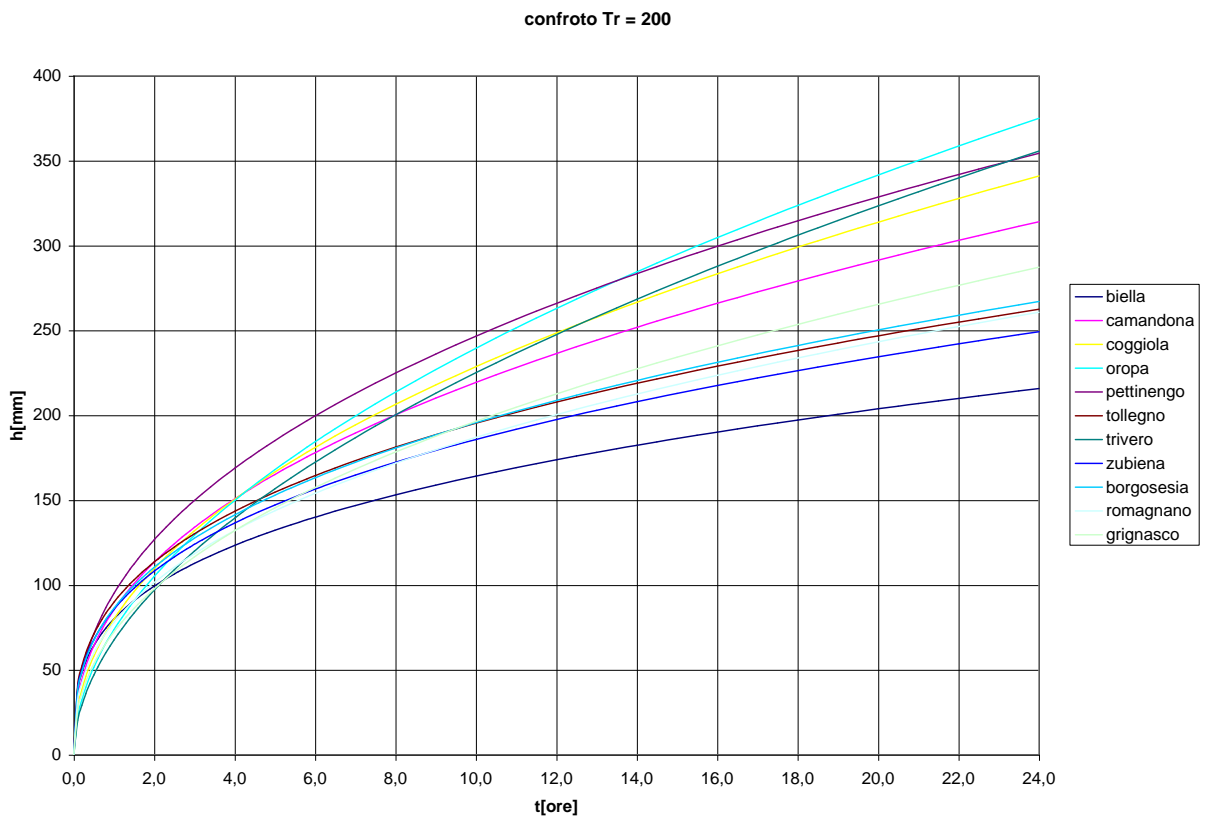
Confronto Tr=10



confronto Tr=30







*Si osserva che le altezze di pioggia maggiori sono correlate, generalmente, alla stazione di*

Pettinengo. Tuttavia, limitatamente a eventi con tempo di ritorno di 10 anni e per durate di pioggia superiori alle 4 ore, la stazione di Bielmonte fornisce risultati leggermente superiori, mentre, per piogge di durata molto breve, inferiore a 30-45 minuti, risulta più elevata la curva relativa a Tollegno, per qualunque tempo di ritorno considerato.

Si può ipotizzare che per le precipitazioni di breve durata, quelle di maggiore interesse per i bacini in esame, le differenze riscontrabili fra le diverse stazioni siano dovute ad una diversa localizzazione dei centri di pioggia degli eventi registrati nel passato e, statisticamente, gli scrosci più intensi si possano verificare in modo casuale su tutta la zona geografica considerata. Quindi, per la determinazione delle portate di calcolo nel presente studio, è lecito ammettere che gli afflussi meteorici possano avvenire secondo l'involuppo delle curve di possibilità climatica delle varie stazioni considerate, evitando di ricorrere a operazioni di media delle altezze di pioggia, ad esempio con il metodo grafico delle isoiete.

#### DEFINIZIONE E CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA DEI BACINI

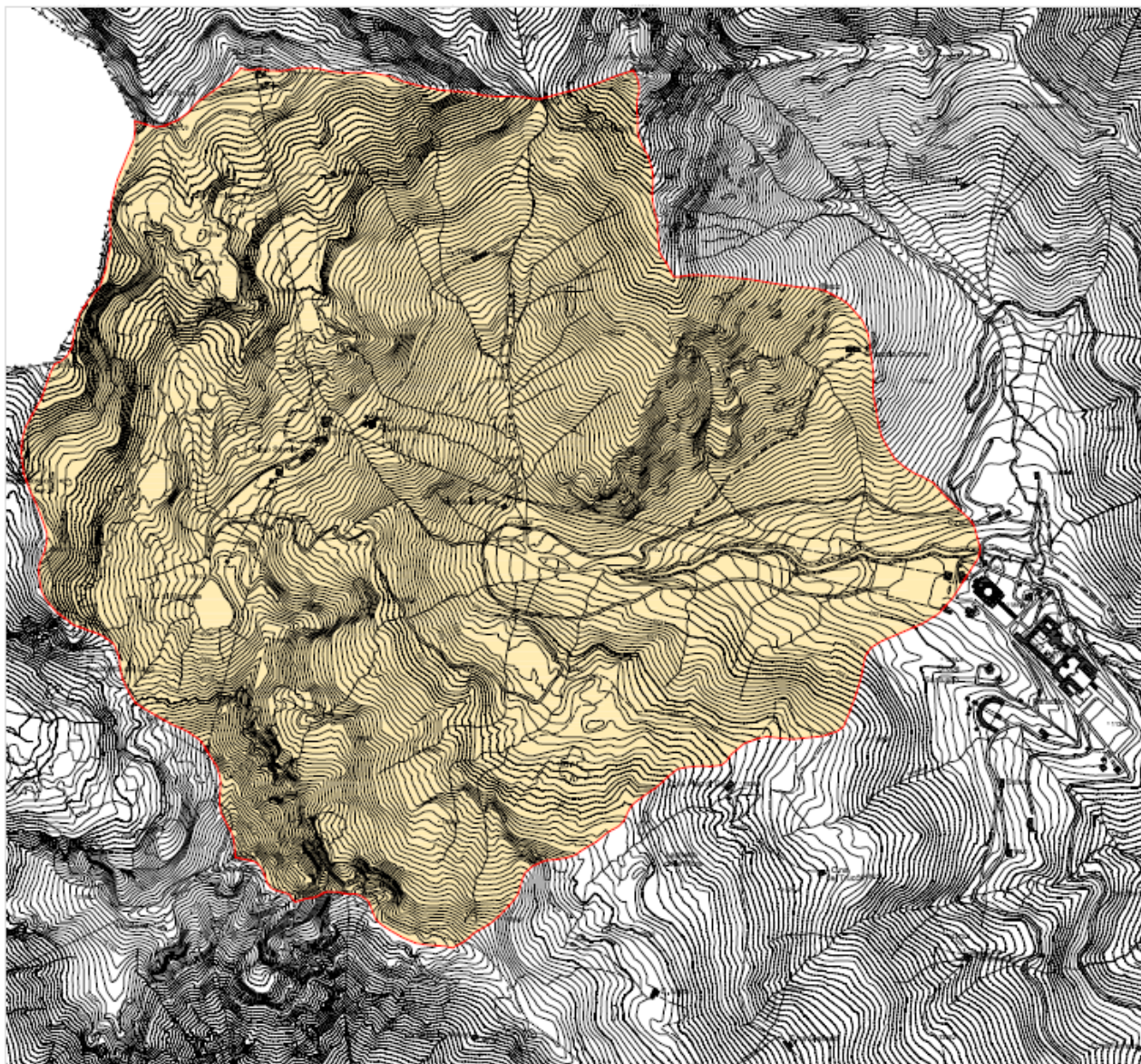
Su Carta Tecnica Regionale sono indicati il bacino idrografico del T. Oropa con sezione di chiusura al ponte della S.P. 513.

Si sono valutati i seguenti parametri geometrici:

- superficie del bacino ( $\text{km}^2$ );
- perimetro del bacino (km);
- lunghezza dell'asta principale (km);
- coefficiente di circolarità  $R_c = \frac{4\pi S}{P^2}$
- coefficiente di uniformità  $R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$
- coefficiente di allungamento  $R_a = \frac{L\sqrt{\pi}}{2\sqrt{S}}$
- quota massima del bacino (m s.l.m.);
- quota minima del bacino (m s.l.m.);
- quota media del bacino (m s.l.m.);
- pendenza caratteristica dell'asta principale (formula di Fornari)  $\sqrt{i} = \frac{L}{\sum_{j=1}^{j=n} \frac{l_j}{\sqrt{i_j}}}$

Oltre a consentire valutazioni di tipo geomorfologico, alcuni di essi ricorrono nelle varie formulazioni note in letteratura per il calcolo del tempo di corrivazione, parametro di fondamentale importanza nella determinazione delle portate di piena.

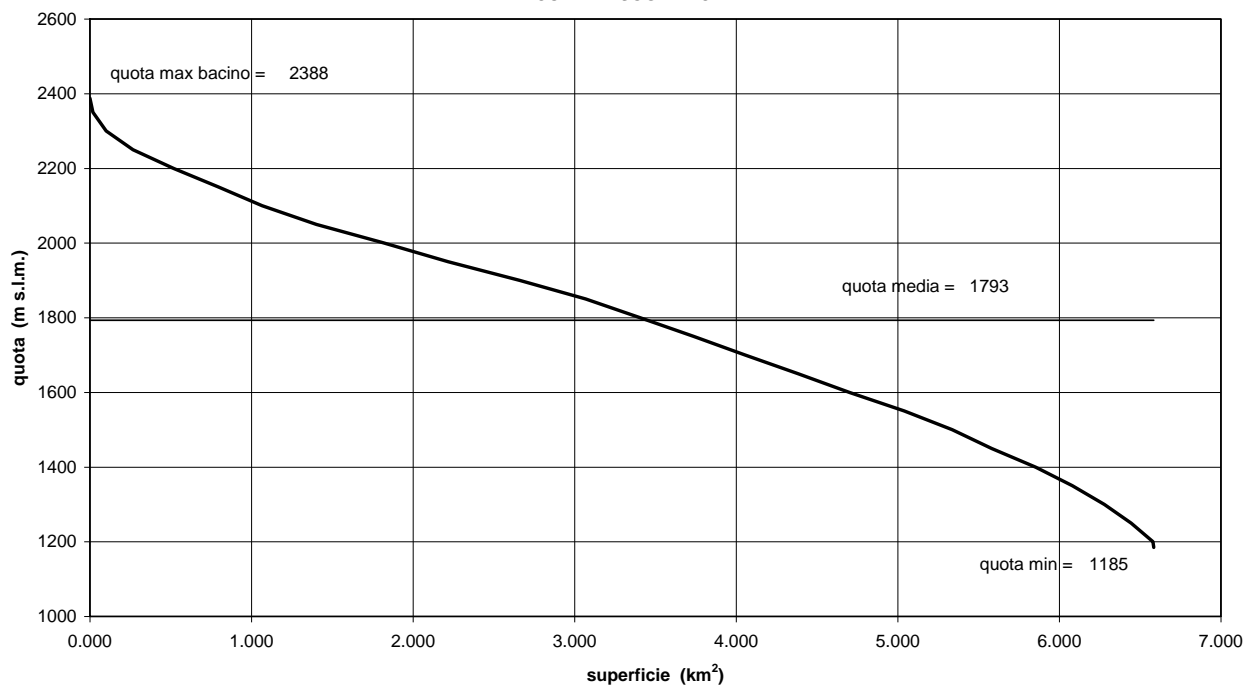




*Bacino idrografico del T. Oropa su estratto C.T.R. (scala 1:20.000)*

# T. Oropa - ponte S.P. 513

## CURVA IPSOGRAFICA



superficie:	6.584	km <sup>2</sup>
perimetro:	10.59	km
lunghezza asta:	4.41	km

rapporto di circolarità:	0.74	
coefficiente di uniformità:	1.16	
rapporto di allungamento:	0.66	

quota massima:	2388	m s.l.m.
quota minima:	1185	m s.l.m.
quota media:	1793	m s.l.m.
pendenza media:	21.34	%
pendenza media dei versanti:	0.00	%

tempo di corrivazione	Pezzoli	0.52	ore
	Giandotti	0.86	ore
	Tournon	#DIV/0!	ore
tempo di corrivazione adottato		0.86	ore



## DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI CALCOLO

Per il calcolo delle portate di piena di assegnata frequenza si ricorre al “metodo razionale”. Secondo tale approccio teorico, il valore di picco dell'idrogramma di piena in una sezione di un corso d'acqua viene generato da precipitazioni di durata pari al tempo di corrivazione del bacino sotteso.

Il tempo di corrivazione è definito, in via teorica, come il tempo che impiega la pioggia che cade nella parte più distante del bacino a raggiungere la sezione terminale. In altre parole è l'intervallo di tempo, dall'inizio della precipitazione, oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione di chiusura.

La portata di piena di assegnato tempo di ritorno  $T_R$  viene dunque espressa dalla seguente relazione:

$$Q(T_R) = \frac{\phi \cdot h(T_R)_{t=t_c} \cdot S}{t_c \cdot 3,6}$$

in cui:

$Q(T_R)$  : valore della portata di piena per il tempo di ritorno  $T_R$  considerato;

$\phi$  : coefficiente di deflusso;

$h(T_R)_{t=t_c}$  : altezza di pioggia [mm] per una durata pari al tempo di corrivazione;

$S$  : superficie del bacino [km<sup>2</sup>];

$t_c$  : tempo di corrivazione del bacino;

### Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso  $\phi$  rappresenta la porzione di pioggia che si trasforma in deflusso superficiale e può essere stimato considerando una serie di caratteristiche del bacino: permeabilità del terreno, pedologia, idrogeologia, copertura vegetale, evapotraspirazione, capacità di autolaminazione, etc.

Considerando tutte le variabili sopra elencate, esso è stato fissato pari a 0,95.

### Trasporto solido

La formula razionale fornisce le portate d'acqua associate a diversi tempi di ritorno, ma non considera in alcun modo il trasporto solido che generalmente accompagna gli eventi di piena, e che può risultare rilevante soprattutto nei bacini montani.

Il materiale trascinato dalla corrente può determinare incrementi dei livelli idrici anche significativi che, se trascurati, possono indurre facili errori nella valutazione degli effetti delle piene.

La portata ottenuta dalla semplice applicazione della formula razionale deve pertanto essere corretta con un fattore che quantifichi l'incidenza del trasporto solido rispetto alla sola fase liquida.

La stima di questo parametro è un problema incerto e complesso, soprattutto in presenza di corsi d'acqua a carattere torrentizio, per i quali mal si adattano le formule e gli studi disponibili in letteratura. Si è così privilegiato un approccio di tipo empirico, valutando in modo qualitativo l'apporto di materiale in alveo attraverso la conoscenza diretta del territorio e l'osservazione degli eventi del passato.

Per il T. Oropa, tale parametro è stato assunto 1,1.

### Tempo di corrivazione

Esistono diverse formule empiriche per la determinazione del tempo di corrivazione di un bacino. Nel caso in esame si sono messe a confronto quelle del Pezzoli e del Giandotti, dando maggior credito, in linea generale, alla seconda.

Si riportano nelle tabelle seguenti i dati relativi alle portate di piena dei bacini in esame. In esse sono anche indicate, unicamente a titolo di confronto, le portate ottenute applicando il metodo di regionalizzazione TCEV.

### **T. Oropa - ponte S.P. 513**

#### **Portate di progetto**

stazione pluviografica di rif.: Tollegno/Pettinengo	
deflusso 0.95	trasporto solido 1.10
$T_R = 10$ anni	$Q_{10} = 121 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 30$ anni	$Q_{30} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 50$ anni	$Q_{50} = 163 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 100$ anni	$Q_{100} = 181 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 200$ anni	$Q_{200} = 199 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 500$ anni	$Q_{500} = 223 \text{ m}^3/\text{s}$

metodo TCEV	
deflusso 0.95	trasporto solido 1.10
$T_R = 10$ anni	$Q_{10} = 114 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 30$ anni	$Q_{30} = 140 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 50$ anni	$Q_{50} = 153 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 100$ anni	$Q_{100} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 200$ anni	$Q_{200} = 188 \text{ m}^3/\text{s}$
$T_R = 500$ anni	$Q_{500} = 211 \text{ m}^3/\text{s}$

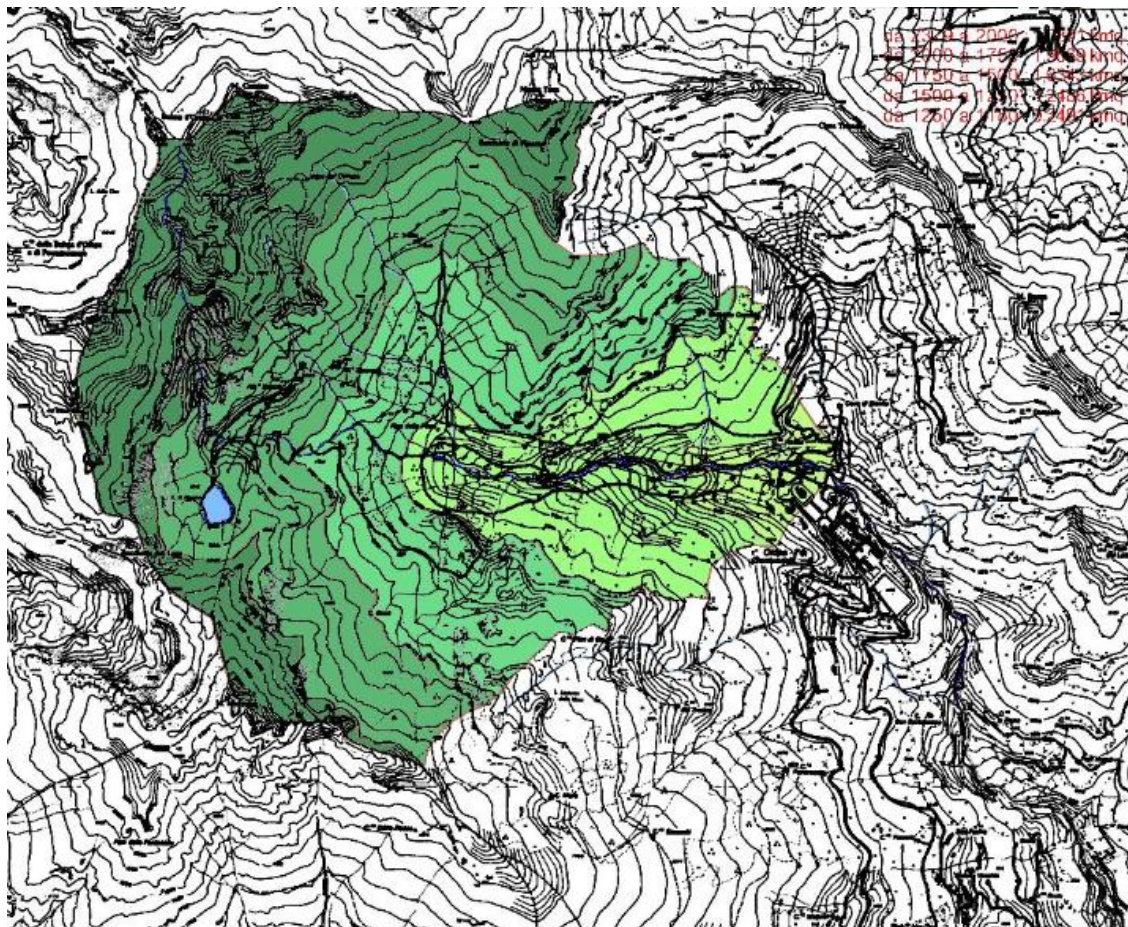
## Studio idrologico ing. Emanuele Giletti

Lo studio del collega ing. Davide Martinier viene confrontato con le valutazioni redatte dal sottoscritto che, per quanto riguarda il tratto d'interesse, ha fatto riferimento ai valori di pioggia ottenuti dall'Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO relativamente alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense che di seguenti valori:

a  $Tr_{200} = 81,61$

n  $Tr_{200} = 0,460$

Il bacino individuato è quello dell'Oropa alla confluenza del ponte della S.P.



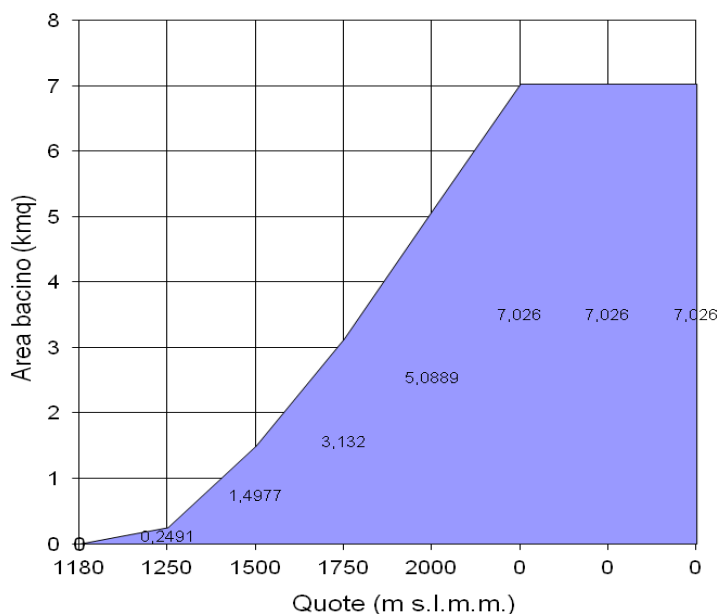
Cella	BI 74
Coord. Est UTM	421000
Coord. Nord UTM	5053000
Superficie Bacino	7,026 km <sup>2</sup>
L. asta principale	4,410 km
Altezza media bacino	1791,30 m
Quota sezione chiusura	1.180,00 m
Tempo Corrivazione	0,88 (con Giandotti)
Massima precip. $h_t$	70,27 mm (Tr 100)
Massima precip. $h_t$	76,57 mm (Tr 200)
Coeff. di deflusso	0,95
portata di piena con tempo di ritorno $Tr=100$ anni è pari a 149,79 m <sup>3</sup> /s.	

portata di piena con tempo di ritorno  $Tr=200$  anni è pari a  $163,21 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### ALTEZZA MEDIA DEL BACINO IDROGRAFICO

<b>Descrizione :</b>		Torrente Oropa e Rii Minori			
<b>Punto di sezione :</b>		PONTE S.P. 513			
Intervallo (fra le isoipse)		Superficie Parziale		Superficie Progressiva	
Quota inferiore	Quota superiore	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
1180	1250	0,249	3,55	0,2491	3,55
1250	1500	1,249	17,77	1,4977	21,32
1500	1750	1,634	23,26	3,132	44,58
1750	2000	1,957	27,85	5,0889	72,43
2000	2379	1,937	27,57	7,026	100,00
0	0	0,000	0,00	7,026	100,00
0	0	0,000	0,00	7,026	100,00
0					
0					
0					
Superficie bacino sottesa $\Rightarrow$		7,026 Km <sup>2</sup>			
Altezza media del bacino $H_m = \frac{\sum H_i S_i}{S}$		$\Rightarrow$ 1791,30 s.l.m.m. (m)		dove: Hi = altezza media intervallo Si = Superficie intervallo S = Superficie bacino	
Altezza sezione di chiusura $\Rightarrow$		1180,00 s.l.m.m. (m)			
Altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura $\Rightarrow$		1180,00 (m)			

Curva ipsometrica bacino



TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)											
DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO					DATI RISULTANTI						
S	⇒	7,026	[Km²]	Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione						
L	⇒	4,410	[Km]	Lunghezza asta principale	<div><math display="block">T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(Hm - Ho)}} \Rightarrow 0,87</math></div> <div>[ore]</div>						
Hm	⇒	1791,30	[m]	Altezza media del Bacino s.l.m.m.							
Ho	⇒	1180,00	[m]	Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.							
PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE											
FORMULA				<div><math display="block">h_{(t)} = at^n</math></div> <div><math>h_0</math> = 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)</div>							
Curva di probabilità pluviometrica											
DATI CELLA 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	a Tr 500	n Tr 500	
B174	421000	5053000	59,42	0,462	74,9	0,460	81,61	0,460	90,45	0,459	
MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE											
Tr	⇒		h(t)		<div><math>h_0</math> = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] Tr = tempo di ritorno</div>						
20	⇒		55,73		0,87						
100	⇒		70,27								
200	⇒		76,57								
500	⇒		84,87								
PORTATE DI MASSIMA PIENA											
FORMULA del METODO RAZIONALE											
<div><math display="block">Q_c = 0.278 \frac{ch_{(t)}S}{T_c}</math></div>				dove	$Q_c$ c	⇒	0,95	portata al colmo coefficiente di deflusso			
					$h_{(t)}$	massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)					
					S	⇒	7,026	[Km²] Superficie Bacino			
					T <sub>c</sub>	⇒	0,87	[ore] Tempo di corrivazione			
Tempo di ritorno (anni)					Portate al colmo = Q <sub>c</sub> [mc/sec]						
20					⇒ 118,801						
100					⇒ 149,792						
200					⇒ 163,212						
500					⇒ 180,916						

Il coefficiente di deflusso, in sintonia con le valutazioni dell'ing. Davide Martiner Testa, viene assunto pari a 0,95, anche in considerazione che – se lo scroscio di intensità massima arriva dopo ore di pioggia – il terreno è imbibito e con tempi di corrivazione e bacini ridotti è più cautelativo un tale valore.

Occorre tuttavia precisare che per i corsi d'acqua caratterizzati da bacini montani, la determinazione della sola portata liquida non è sufficiente per una corretta valutazione degli effetti delle piene in quanto il materiale trascinato dalla corrente può determinare incrementi dei livelli idrici anche significativi.

La portata di piena deve pertanto essere corretta con un fattore che quantifichi l'incidenza del trasporto solido rispetto alla sola fase liquida.



La valutazione di questo parametro è complessa, specialmente in presenza di corsi d'acqua a carattere torrentizio, per i quali le formule e gli studi disponibili in letteratura non sempre si possono applicare. Si è così ritenuto di valutare in modo qualitativo l'apporto di materiale in alveo riferendosi a quanto indicato da precedenti valutazioni effettuate nel bacino dell'Oropa e del Cervo e relazionandosi con i passati eventi alluvionali del 1994 – 2000 - 2002.

Per il tratto del Torrente Oropa osservato, tale parametro è stato stimato dal sottoscritto pari al 15%;

Le portate massime  $Q_{200}$  ottenute sono nei casi presi in esame:

Giletti  $Q_{200} = 163,21 \text{ m}^3/\text{s} + 15\% \text{ trasporto solido} = 188 \text{ m}^3/\text{s}$

Martiner Testa inviluppo dati  $Q_{200} = 180,90 \text{ m}^3/\text{s} + 10\% \text{ trasporto solido} = 199 \text{ m}^3/\text{s}$

Martiner Testa metodo TCEV  $Q_{200} = 170,90 \text{ m}^3/\text{s} + 10\% \text{ trasporto solido} = 188 \text{ m}^3/\text{s}$

pertanto i valori delle portate di piena che verranno impiegati nella modellazione idraulica sono quelli più cautelativi e del resto già utilizzati nello studio redatto dall'ing. Davide Martiner Testa nel 2010 e già valutato dalla Regione Piemonte :  **$Q_{200} = 199 \text{ m}^3/\text{s}$**

Lo studio finale è stato realizzato con un tempo di ritorno di 200 anni valutando che l'opera in progetto serve alla protezione di un bene monumentale, pertanto il prescritto dimensionamento con tempo di ritorno di 30 anni, in riferimento a quanto indicato al paragrafo 7.6.1.2 del PS45 del AdBPo, è stato comunque effettuato e riportato nei dati contenuti nelle pagine seguenti, ma lo si è ritenuto non adeguato per il tipo di bene da proteggere.



## SIMULAZIONI IDRAULICHE

Lo studio idraulico è stato condotto allestendo un modello matematico per le simulazioni di piena in moto permanente di un tratto significativamente esteso rispetto alla zona d'interesse.

Si è fatto ricorso al modulo di calcolo HD (Hydrodynamic Model), presente nel programma MIKE 11<sup>®</sup>, realizzato dal Danish Hydraulic Institute. Si tratta di uno strumento di calcolo per la simulazione di correnti a pelo libero monodimensionali, più genericamente in moto vario, che permette di seguire la formazione e l'evoluzione delle onde di piena lungo corsi d'acqua naturali o artificiali. Il programma risolve il problema idraulico ricorrendo alle equazioni di De Saint Venant

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{\chi^2 AR} = 0$$

nelle quali

$Q = Q(x,t)$  : portata (m<sup>3</sup>/s)

$H = h(x,t)$  : quota del pelo libero rispetto ad un riferimento orizzontale (m);

$x$  : ascissa curvilinea (m);

$t$  : tempo (s);

$A$  : sezione della corrente (m<sup>2</sup>);

$q$  : portata laterale immessa (m<sup>3</sup>/s·m);

$\alpha$  : coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

$g$  : accelerazione di gravità (m/s<sup>2</sup>);

$R$  : raggio idraulico;

$\chi$  : coefficiente di attrito di Chèzy (m<sup>1/2</sup>/s);

che vengono integrate attraverso uno schema di soluzione numerica alle differenze finite.

Nel modello idraulico è necessario definire, oltre che la geometria e la scabrezza dell'alveo, anche le condizioni al contorno da assegnare ai punti di estremità, onde consentire la soluzione numerica della griglia di calcolo (generalmente sono un idrogramma per la sezione di monte e un livello per quella di valle, stazionario o variabile nel tempo secondo una scala di deflusso prefissata).

Le condizioni iniziali (portate e livelli all'inizio dell'evento simulato) possono essere fornite dall'utilizzatore o definite autonomamente nel modulo di calcolo HD applicando le leggi del moto permanente.

Nel caso specifico, le simulazioni di deflusso delle portate di piena sono state condotte in regime di moto stazionario.

Sono state condotte simulazioni relative allo stato di fatto e alla situazione di progetto, secondo le geometrie previste negli schemi grafici di progetto.

## 1.1 GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO

L'allestimento di un modello idraulico necessita di un'accurata conoscenza delle caratteristiche geometriche e idrauliche del corso d'acqua e dei manufatti che possono interferire con la corrente.

Al fine di ottenere risultati attendibili nella zona d'interesse, il modello idraulico deve essere sufficientemente esteso verso monte e valle.

Il rilievo topografico è stato realizzato appositamente per il presente studio e comprende una serie di sezioni trasversali dell'alveo.

La geometria dell'alveo viene definita nel modello idraulico inserendo le sezioni trasversali del corso d'acqua con la propria distanza progressiva, specificando di ciascun punto rilevato le coordinate (x, quota) nel piano della sezione.

I parametri di scabrezza sono stati definiti con una serie di sopralluoghi. Mancando infatti gli elementi per una taratura rigorosa del modello idraulico, quali ad esempio una scala di deflusso livello-portata per alcune sezioni significative, la scabrezza dell'alveo non può che essere determinata attraverso l'osservazione diretta e la bibliografia in merito. In particolare, si è fatto riferimento, alla Deliberazione n° 2 del 11/05/1999 dell'Autorità di bacino del Fiume Po "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", riportata come allegato della D.G.R. n° 45-6656 del 15/07/2002 recante gli "Indirizzi per l'attuazione del P.A.I. nel settore urbanistico".

Il coefficiente di scabrezza di Strickler adottato, sia sul fondo che sulle pareti è di **15 m<sup>1/3</sup>/s**.

## 1.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

L'integrazione matematica delle equazioni differenziali di De Saint Venant richiede la definizione delle condizioni al contorno per i punti estremi della griglia di calcolo (condizioni al contorno esterne di monte e di valle). Nel caso più generale sono rappresentate da un'idrogramma di piena per la sezione di monte e da un livello idrometrico, permanente o variabile nel tempo secondo una scala di deflusso prefissata, per quella di valle.

### 1.2.1 CONDIZIONE DI MONTE

Lo studio è condotto in regime di moto permanente per cui l'idrogramma di piena è ridotto ad un valore di portata costante nel tempo.

Le simulazioni sono state condotte sia per il valore della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni, pari a 199 m<sup>3</sup>/s., sia per tempo di ritorno di 30 anni, pari a 150 m<sup>3</sup>/s

### 1.2.2 CONDIZIONE DI VALLE

La condizione di valle è fissata da un livello idrometrico, assunto anch'esso stazionario nel tempo essendo le simulazioni condotte in regime permanente. Generalmente la sezione di estremità a valle viene individuata in punti significativi del corso d'acqua, in cui è nota o ricavabile la scala di deflusso delle portate oppure è certo il passaggio della corrente attraverso lo stato critico. In alternativa, il

modello deve essere esteso verso valle quanto necessario affinché il tratto d'interesse non sia comunque influenzato dall'indeterminatezza dei livelli nella sezione d'estremità.

### **1.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE**

Il modello numerico allestito con il codice di calcolo MIKE 11<sup>®</sup> permette di simulare il deflusso della piena nelle due situazioni "stato di fatto" e "progetto", e fornisce i livelli idrici e le caratteristiche medie della corrente in corrispondenza di ogni sezione e di punti intermedi creati per interpolazione automaticamente dal programma per realizzare una griglia di calcolo di dimensione adeguata.

I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti e rappresentati graficamente nel profilo longitudinale.

Biella, Aprile 2019

Il Progettista  
dr. ing. Emanuele Giletti

STATO DI FATTO - TR 30 anni				
SECTION		Water Level	Velocity	Froude Number
ID	River name - Chainage (m)	(m)	(m/s)	(-)
1	OROPA 0	991.00	7.35	1.93
	OROPA 10	991.51	4.81	1.14
2	OROPA 20	991.77	3.72	0.83
	OROPA 29	992.22	4.72	1.06
	OROPA 38	992.75	5.13	1.10
3	OROPA 40	993.82	5.43	1.20
	OROPA 46.5	994.34	5.96	1.25
	OROPA 53	994.92	6.43	1.22
	OROPA 57	995.21	6.04	1.12
	OROPA 66.28	995.72	5.22	1.05
	OROPA 75.57	996.18	4.93	1.06
4	OROPA 84.85	996.67	4.87	1.12
	OROPA 94.85	997.26	5.00	1.21
5	OROPA 104.85	997.89	5.00	1.26
	OROPA 114.85	998.38	4.35	1.11
6	OROPA 124.85	998.83	4.04	1.05
	OROPA 134.85	999.50	4.91	1.27
7	OROPA 144.85	1000.36	5.84	1.45
	OROPA 154.85	1001.59	6.49	1.72
8	OROPA 164.85	1002.96	6.63	1.81
	OROPA 174.85	1004.01	6.30	1.62
9	OROPA 184.85	1004.97	6.27	1.57
	OROPA 194.85	1005.79	5.73	1.43
10	OROPA 204.85	1006.59	5.48	1.39
	OROPA 214.85	1007.76	6.04	1.68
11	OROPA 224.85	1009.07	6.04	1.75
	OROPA 234.85	1010.41	6.58	1.79
12	OROPA 244.85	1011.81	7.23	1.81
	OROPA 251.52	1012.75	7.21	1.81
	OROPA 258.18	1013.69	7.18	1.80
13	OROPA 264.85	1014.64	7.14	1.79
	OROPA 274.85	1015.77	6.74	1.60
14	OROPA 284.85	1016.82	6.69	1.52
	OROPA 294.85	1017.67	6.21	1.40
15	OROPA 304.85	1018.45	6.00	1.35
	OROPA 314.85	1019.20	5.81	1.33
16	OROPA 324.85	1019.95	5.65	1.32
	OROPA 334.85	1020.52	5.15	1.18
17	OROPA 344.85	1021.03	4.89	1.11
	OROPA 354.85	1021.62	5.15	1.20
18	OROPA 364.85	1022.25	5.29	1.26
	OROPA 374.85	1022.89	5.23	1.26
19	OROPA 384.85	1023.52	5.21	1.26
	OROPA 394.85	1024.30	5.65	1.38
20	OROPA 404.85	1025.20	5.99	1.49
	OROPA 414.85	1025.96	5.55	1.36
21	OROPA 424.85	1026.68	5.39	1.33
	OROPA 434.85	1027.38	5.22	1.31
22	OROPA 444.85	1028.08	5.00	1.30
	OROPA 454.85	1029.20	5.69	1.60
23	OROPA 464.85	1030.76	5.94	1.88
	OROPA 474.85	1032.25	5.92	1.82
24	OROPA 484.85	1033.81	5.78	1.87
	OROPA 494.85	1035.09	5.43	1.70
25	OROPA 504.85	1036.32	5.63	1.70
	OROPA 514.85	1037.47	5.59	1.65
26	OROPA 524.85	1038.61	5.63	1.64
	OROPA 534.85	1039.81	5.73	1.68
27	OROPA 544.85	1041.04	5.75	1.70

STATO DI FATTO - TR 200 anni				
SECTION		Water Level	Velocity	Froude Number
ID	River name - Chainage (m)	(m)	(m/s)	(-)
1	OROPA 0	991.50	7.22	1.69
	OROPA 10	991.95	5.13	1.10
2	OROPA 20	992.19	4.09	0.83
	OROPA 29	992.65	5.21	1.08
	OROPA 38	993.19	5.67	1.11
3	OROPA 40	994.25	5.97	1.20
	OROPA 46.5	994.81	6.63	1.27
	OROPA 53	995.44	7.19	1.26
	OROPA 57	995.77	6.76	1.15
	OROPA 66.28	996.27	5.64	1.04
	OROPA 75.57	996.71	5.23	1.04
4	OROPA 84.85	997.15	5.13	1.09
	OROPA 94.85	997.69	5.27	1.18
5	OROPA 104.85	998.28	5.32	1.23
	OROPA 114.85	998.74	4.67	1.10
6	OROPA 124.85	999.16	4.35	1.05
	OROPA 134.85	999.82	5.32	1.27
7	OROPA 144.85	1000.69	6.42	1.48
	OROPA 154.85	1001.90	7.06	1.74
8	OROPA 164.85	1003.24	7.23	1.84
	OROPA 174.85	1004.31	6.95	1.67
9	OROPA 184.85	1005.29	6.94	1.61
	OROPA 194.85	1006.12	6.30	1.46
10	OROPA 204.85	1006.91	6.01	1.42
	OROPA 214.85	1008.04	6.57	1.68
11	OROPA 224.85	1009.32	6.62	1.77
	OROPA 234.85	1010.68	7.25	1.83
12	OROPA 244.85	1012.13	7.98	1.86
	OROPA 251.52	1013.08	7.91	1.84
	OROPA 258.18	1014.03	7.86	1.83
13	OROPA 264.85	1014.97	7.81	1.82
	OROPA 274.85	1016.13	7.42	1.63
14	OROPA 284.85	1017.21	7.37	1.55
	OROPA 294.85	1018.08	6.81	1.42
15	OROPA 304.85	1018.87	6.56	1.37
	OROPA 314.85	1019.62	6.32	1.35
16	OROPA 324.85	1020.36	6.12	1.33
	OROPA 334.85	1020.94	5.61	1.19
17	OROPA 344.85	1021.44	5.34	1.13
	OROPA 354.85	1022.02	5.58	1.21
18	OROPA 364.85	1022.65	5.73	1.26
	OROPA 374.85	1023.27	5.66	1.27
19	OROPA 384.85	1023.90	5.63	1.28
	OROPA 394.85	1024.67	6.10	1.39
20	OROPA 404.85	1025.58	6.43	1.51
	OROPA 414.85	1026.34	5.97	1.39
21	OROPA 424.85	1027.05	5.81	1.35
	OROPA 434.85	1027.75	5.57	1.34
22	OROPA 444.85	1028.43	5.32	1.31
	OROPA 454.85	1029.52	6.00	1.61
23	OROPA 464.85	1031.00	6.37	1.87
	OROPA 474.85	1032.49	6.34	1.86
24	OROPA 484.85	1034.05	6.08	1.89
	OROPA 494.85	1035.31	5.86	1.73
25	OROPA 504.85	1036.55	6.17	1.74
	OROPA 514.85	1037.71	6.10	1.69
26	OROPA 524.85	1038.86	6.13	1.68
	OROPA 534.85	1040.06	6.23	1.72
27	OROPA 544.85	1041.29	6.24	1.73

## PROFILO DI PIENA $T_r = 30$ anni e $T_r = 200$ anni

