

REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DEL VERBANO CUSIO OSSOLA



COMUNE DI PREMIA

## LAVORI DI SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL BACINO DEL RIO CINGIO

**Progetto di Fattibilità  
Tecnico - Economica**

### RELAZIONE IDRAULICA

#### **Committente:**

Comune di Premia  
P.zza Municipio,9  
28866, Premia (VB)

#### **Data:**

Luglio 2024



STUDIO GEOLOGICO MARANGON

Via Bonomelli N°16  
28845 Domodossola (VB)  
tel. +39 0324 249100 fax. +39 0324 249100  
e-mail: marageo@libero.it

Il tecnico  
Dott. Geol. Paolo Marangon

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANALISI IDRAULICA RIO.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 DATI IDROLOGICI.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 TEMPO DI CORRIVAZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.3 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4 DATI PLUVIOMETRICI.....</b>	<b>3</b>
<b>2.5 REGOLARIZZAZIONE CON IL METODO DI GUMBEL .....</b>	<b>4</b>
<b>2.6 CURVA DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.7 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA.....</b>	<b>5</b>
2.7.1 Formula di Giandotti-Visentini.....	5
2.7.2 Formula di Iskowski.....	5
2.7.3 Formula di Forti.....	6
<b>2.8 SINTESI DEI RISULTATI.....</b>	<b>6</b>
<b>2.9 STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>7</b>
2.9.1 Modello reologico dilatante.....	7
<b>3. VERIFICA DELLA SEZIONE DI DEFLUSSO .....</b>	<b>10</b>

## 1. PREMESSA

Il presente studio è stato effettuato al fine di valutare dal punto di vista idraulico la compatibilità tra le previsioni di progetto e la dinamica fluviale del Rio Cingio in località Albogno nel comune di Premia in condizioni di massima piena preventivabile.

Il progetto prevede la realizzazione di una serie di opere trasversali nonché di contenimento, nel Comune di Premia (VB), su richiesta dell'Amministrazione Comunale.

In particolare, la presente relazione è volta ad effettuare un'analisi idraulica del Rio al fine di determinare il rapporto tra le opere in progetto rispetto ai tiranti idrici di massima piena preventivabile del corso d'acqua.

A tale fine si è provveduto ad effettuare uno studio di dettaglio dell'asta fluviale, e quindi alla valutazione delle portate di massima piena incrementate del trasporto solido stimato in alveo.

## 2. ANALISI IDRAULICA RIO

Per quantificare il regime idraulico del collettore in esame, si è ritenuto opportuno operare in condizioni cautelative; in particolare il coefficiente di deflusso è stato considerato pari a 0,8 e non sono state considerate le acque, convogliate all'esterno del bacino in oggetto, incanalate in vie di deflusso preferenziale.

### 2.1 Dati Idrologici

I parametri idrologici del bacino imbrifero del Rio, sono stati ricavati dalla cartografia regionale BDTRE in scala 1:10.000 n. 036090 "Premia". Tali parametri verranno successivamente elencati in tabella.

### 2.2 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione rispetto ad una determinata sezione di un corso d'acqua, è il tempo necessario affinché una particella d'acqua, caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino, possa far sentire il suo effetto nella sezione stessa.

Per un bacino imbrifero come quello in esame (per lo più montano) è stata impiegata la formula empirica proposta dal Giandotti (1934) basata su rilievi effettuati in bacini di superficie variabile tra 170 e 70.000 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{\sqrt{A+1,5L}}{0,8 \cdot \sqrt{h_{mr}}}$$

dove:

$t_c$  = tempo di corrivazione in ore;

$A$  = superficie del bacino in  $\text{km}^2$ ;

$L$  = lunghezza asta principale del corso d'acqua in km;

$h_{mr}$  = dislivello tra la quota media del bacino e quella della sezione considerata.

### **2.3 Valutazione delle portate di massima piena**

Le portate di massima piena considerate, sono quelle che rappresentano la diretta conseguenza di intense precipitazioni liquide a monte della sezione esaminata. Il calcolo può essere eseguito mediante:

- **metodi diretti:** elaborando i dati di portata disponibile per il corso d'acqua;
- **metodi indiretti:** quando per insufficienza o mancanza di dati sulla portata, vengono utilizzati opportuni modelli matematici che, conoscendo le precipitazioni sul bacino in oggetto, trasformano questo in deflussi.

Nel presente lavoro verrà effettuata la valutazione delle portate di piena mediante metodi indiretti, per mezzo dei quali, elaborando i dati di afflusso meteorico registrati nelle stazioni pluviometriche e correlandoli con più grandezze caratterizzanti il bacino (superficie, quota media, lunghezza dell'asta, tempo di corrivazione, etc....), si ottengono le quantità di deflusso prevedibili per il tempo di ritorno considerato.

### **2.4 Dati pluviometrici**

Le stazioni pluviometriche sono gestite dal Servizio Idrografico Italiano attraverso i vari Compartimenti, nonché da altri enti quali Regionali, Enel, etc.

La raccolta dei dati viene pubblicata dalla Regione Piemonte per mezzo degli "Annali meteorologici" nei quali sono riportate le massime precipitazioni dell'anno per periodi di più ore consecutive. Nel bacino idrografico del Rio non sono presenti stazioni pluviometriche, ma la più significativa, ai fini della presente verifica, risulta quella di Premia. Di tale stazione sono stati considerati i massimi annuali delle precipitazioni di durata 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore, essendo particolarmente importanti le precipitazioni di breve durata poiché tra di esse si riscontrano le piogge di maggiore intensità.

Osservando la stazione, si può notare difatti che l'intensità delle precipitazioni diminuisce con l'aumentare della loro durata e l'altezza totale della precipitazione cresce meno che proporzionalmente che la durata. Numerose indagini hanno dimostrato che le precipitazioni massime registrate da un pluviografo possono essere rappresentate dalla funzione di una parabola avente equazione:

$$h = a t^n$$

Tale funzione prende il nome di "curva segnalatrice di possibilità pluviometrica" in cui:

$h$  = altezza di precipitazione in mm

$t$  = durata in minuti, ore e giorni a seconda del tipo di indagine condotta

$a$  = coefficiente che rappresenta la pioggia caduta nell'unità di tempo

$n$  = parametro che dipende dalle caratteristiche pluviometriche della zona in cui si trova la stazione.

La "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", Allegato 1 delle Norme di attuazione del PAI - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n° 18 del 26/04/2001, e approvato con D.P.C.M. 24/05/2001, riporta i valori dei parametri "a" e "n" da adottare, relativi alla stazione pluviometrica alla quale si fa riferimento, per tempi di ritorno decennali e secolari.

Pertanto, nel corso delle verifiche esposte in seguito, verranno utilizzati i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  indicati in tale Direttiva e riferiti alla stazione pluviometrica di Premia (dati 2002-2021).

Tr	$h_1$	$h_3$	$h_6$	$h_{12}$	$h_{24}$
50	42,4	62,7	82,7	132,1	196,9
100	46,1	68,4	90,3	145,0	216,4
200	49,9	74,2	97,8	157,9	235,9
500	54,8	81,8	107,8	174,9	261,5

## 2.5 Regularizzazione con il metodo di Gumbel

La regularizzazione con il metodo di Gumbel viene effettuata per ottenere l'altezza massima di pioggia (in mm) ipotizzabile per un tempo di ritorno assegnato. Nel caso specifico sono stati scelti più tempi di ritorno, variabili tra i 20 ed i 500 anni.

L'applicazione di tale metodo si articola nei seguenti punti:

- si scelgono i massimi valori per ciascun gruppo della categoria (durate) considerata;
- si ordinano gli  $N$  valori in senso crescente;
- si calcolano le  $N$  frazioni:

$$\emptyset_m = m/N+1$$

dove:

$\emptyset_m$  = frequenza di un dato evento

$m$  = numero di posizione d'ordine dei valori

- si tracciano le rette interpolanti;
- si determina l'altezza di precipitazione di durata assegnata (1-3-6-12-24 ore) per i tempi di ritorno voluti.

## **2.6 Curva di probabilità pluviometrica**

Si tratta di una retta interpolante, di tipo logaritmico, per mezzo della quale è possibile definire l'altezza della pioggia per una precipitazione di qualsiasi intensità.

In particolare deve essere valutata la condizione critica, che è rappresentata dalla precipitazione di durata uguale al tempo di corrivazione, poiché è la condizione in cui tutto il bacino, se pure per un istante, contribuisce al deflusso con la pioggia di durata minima (perciò più intense).

## **2.7 Calcolo della portata di massima piena**

Si è ritenuto opportuno eseguire i calcoli relativi per mezzo di differenti metodi, in modo da poter confrontare i risultati ed utilizzare quello maggiormente cautelativo.

La quota di chiusura del bacino presa a riferimento è quella della sezione di chiusura presa a riferimento (livello strada statale), pari a circa 770 metri s.l.m.

### **2.7.1 Formula di Giandotti-Visentini**

E' stata dedotta con considerazioni di carattere cinematico analoghe a quelle su cui si basa il metodo di corrivazione. Tale formula fornisce il valore della portata al colmo della piena in funzione del volume d'acqua precipitata sul bacino durante l'evento meteorico.

$$Q_{max} = \frac{0,277 \varepsilon C h A}{t_c}$$

da cui:

$\varepsilon$  = coefficiente di laminazione in funzione della superficie del bacino

C = coefficiente di deflusso espresso dal rapporto tra l'altezza di pioggia netta e l'altezza totale di pioggia. Tale rapporto è stato valutato pari a 0,8.

h = altezza ragguagliata nel tempo  $t_c$

A = area del bacino

$t_c$  = tempo di corrivazione

I valori del coefficiente di laminazione dipendono dalla superficie A del bacino e si ricavano da apposite tabelle, messe a punto dagli Autori; nel caso in esame, tale parametro è stato assunto pari a 0,5 in base a esperienze analoghe riscontrate con dati quantitativi esistenti.

### **2.7.2 Formula di Iskowski**

La formula di Iskowski (1885) si basa sull'analisi di 280 corsi d'acqua europei del versante settentrionale delle Alpi.

$$Q_{max} = k * m * h * A$$

dove:

k: coefficiente che dipende dalle caratteristiche morfologiche del bacino,

dall'altitudine del bacino e dall'estensione della copertura vegetale.

m: coefficiente legato alla velocità di deflusso dell'acqua

h: precipitazione media annua sul bacino, che nel caso di bacini collinari e montani, come nel caso specifico, dovrà essere considerato non inferiore a 1.

A: area del bacino in km<sup>2</sup>

I bacini sono stati suddivisi in quattro categorie, e nel caso del bacino del Rio Rialetto si deve fare riferimento alla Categoria IV che raggruppa i bacini montani con estensione areale inferiore ai 50 km<sup>2</sup>.

Dalla lettura di una tabella si giunge al valore del parametro  $k$  di Iskowski, che risulta pari a 0,5; il valore del coefficiente  $m$  dipende dall'area del bacino, e nel caso in oggetto è stato attribuito pari a 10.

### 2.7.3 Formula di Forti

La formula di Forti, valida per  $A < 10.000$  km<sup>2</sup>, è stata dedotta correlando il massimo contributo di piena verificatosi in passato con la superficie del bacino.

$$Q_{\max} = A \left\{ \left[ \frac{1625}{(A+125)} \right] + 1 \right\} \text{ con pioggia giornaliera superiore a } 400 \text{ mm/giorno}$$

dove:

A= area del bacino in km<sup>2</sup>

## 2.8 Sintesi dei risultati

Di seguito vengono elencati i risultati di verifica ottenuti sulla sezione di chiusura considerata, utilizzando le medesime procedure di calcolo descritte dettagliatamente in precedenza:

PORTATE LIQUIDE IN ARRIVO ALLA SEZIONE A QUOTA 770 m s.l.m.			
Area bacino	<b>A</b>	km <sup>2</sup>	1,8
Lunghezza asta principale	<b>L</b>	km	2,5
Quota sezione chiusura	<b>h<sub>c</sub></b>	m s.l.m.	770
Quota media bacino	<b>h<sub>m</sub></b>	m s.l.m.	1.505
Tempo corrivazione	<b>t<sub>c</sub></b>	ore	0,396
			Tr=200
Giandotti-Visentini	<b>Q<sub>max</sub></b>	m <sup>3</sup> /sec	18,47
Iskowski	<b>Q<sub>max</sub></b>	m <sup>3</sup> /sec	9,48
Forti (400mm/gg)	<b>Q<sub>max</sub></b>	m <sup>3</sup> /sec	<b>24,07</b>

Dal confronto con i valori di portata ottenuti dall'applicazione degli altri metodi considerati, il metodo di Forti (400mm/gg) rappresenta quello che fornisce valori più cautelativi ai fini dei calcoli delle portate liquide preventivabili.

## **2.9 Stima del trasporto solido**

Occorre premettere che quanto riportato di seguito rappresenta una valutazione previsionale di massima, poiché l'evento utilizzato per la taratura del modello deriva dall'ipotesi di innesco di un fenomeno di colata avente caratteristiche dimensionali del tutto simili a quanto accaduto nel passato.

### **2.9.1 Modello reologico dilatante**

*Valutazione previsionale del flusso detritico (COLATA RAPIDA) attraverso una sezione*

Definendo curva reologica la relazione tra sforzo di taglio e velocità di deformazione angolare di un fluido, l'equazione che governa il moto di un fluido newtoniano incomprimibile è l'equazione di Navier-Stokes:

$$\rho \left( \vec{F} - \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = \vec{\nabla} p - \mu \nabla^2 \vec{v}$$

dove  $v$  è la velocità nella direzione di moto,  $z$  è la direzione trasversale al moto,  $\mu$  è il coefficiente di viscosità dinamica,  $\rho$  la densità del fluido e  $\vec{F}$  è il vettore delle forze esterne (es. le forze gravitazionali).

Prove reologiche (Ackermann e Shen, 1979; Davies, 1988; Major e Pierson, 1992) hanno indicato che spesso le soluzioni fluido/grani che costituiscono il flusso di detriti non hanno un comportamento newtoniano, ma di fluido alla Bingham, con curva reologica della forma:

$$\tau = \tau_0 + \mu \left( \frac{dv}{dz} \right)$$

o di fluido di tipo dilatante con curva della forma:

$$\tau = \tau_0 + k \left( \frac{dv}{dz} \right)^\eta \text{ con } 1 < \eta$$

I flussi di detrito possono essere classificati in due principali categorie: mud flow e stony debris flow.

I mud flow sono caratterizzati da granulometrie medie piccole (< 1 mm) e da una distribuzione di dimensioni abbastanza ristretta (argille, limi e sabbie); in essi il moto è dominato dalla componente fluida, mentre l'effetto delle collisioni tra particelle può essere trascurato. I mud flow possono essere descritti, con buona approssimazione, mediante un modello di fluido newtoniano incomprimibile e trattati attraverso l'equazione di Navier-Stokes e di Manning per moto uniforme. Quest'ultima, unitamente alla formula di Chézy, è stata utilizzata per effettuare un confronto tra i dati di portata smaltibile della miscela liquido + solido lungo le diverse sezioni e la portata d'acqua di dimensionamento:



$$q_m = \frac{1}{n_m} * h^{5/3} * \sin^{1/2} \theta$$

- Gli stony debris flow sono caratterizzati da maggiori granulometrie medie (> 5 mm) e da vasta distribuzione di dimensioni (da sabbie fini a ciottoli, fino a blocchi). In essi l'effetto delle collisioni tra le particelle è rilevante quanto il comportamento del liquido. Per la descrizione idraulica di flussi di tal tipo risulta più appropriato usare un modello reologico dilatante.

Viste le caratteristiche sedimentologiche della copertura detritica superficiale, potenzialmente mobilizzabile in occasione di eventi estremi, che caratterizza la porzione di versante in analisi, al fine di definire le caratteristiche reologiche di un flusso con trasporto solido al fondo e flottante, si è ritenuto ragionevole applicare, in prima approssimazione e a favore della sicurezza, il modello dilatante di Bagnold, adattabile per flussi di tipo stony debris flow (Takahashi, 1991).

Da esperimenti di laboratorio (Bagnold, 1954) è stata dedotta la seguente curva reologica (valida per il range pienamente inerziale, nel quale si ricade per granulometrie medie dell'ordine di qualche mm):

$$\tau = a * \sin \alpha * \sigma * \lambda^2 * d_{50}^2 * \left( \frac{dv}{dz} \right)^2$$

dove

$$\lambda = \left[ \left( \frac{C_b}{C} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^{-1} \text{ è la concentrazione lineare della frazione solida nella miscela}$$

C = concentrazione di equilibrio della frazione solida nel flusso detritico;

C<sub>b</sub> = concentrazione volumetrica dei sedimenti che possono costituire il flusso di detrito;

d<sub>50</sub> = diametro medio in mm dei granuli che costituiranno il potenziale flusso di colata;

σ = densità dei grani del sedimento mobilizzabile;

α = 0.24 per 14 < λ < 17 e α = 0.042 per λ < 14,

sin α = 0.6 (dati sperimentali indicano che è opportuno sostituire sin α con sin φ).

Per ottenere la velocità e l'altezza di flusso di densità ρ in corrispondenza di una determinata sezione inclinata alla base di un angolo θ, è possibile uguagliare lo sforzo di taglio calcolato secondo il modello di Bagnold all'accelerazione gravitazionale e ottenere:

$$a * \sin \alpha * \sigma * \lambda^2 * \left( \frac{dv}{dz} \right)^2 = g * \sin \theta * \int_z^h [(\sigma - \rho) * C + \rho] * dz$$

che integrato sotto la condizione v = 0 per z = 0 fornisce una velocità mediata sulla verticale

pari a:

$$v = f(d_{50}, \phi, C) * h^{3/2} * \sin^{1/2} \theta$$

dove la funzione  $f$  è così definibile:

$$f = \frac{2}{5d_{50}\lambda} \left\{ \frac{g}{a \sin \phi} \left[ C + (1 - C) \frac{\rho}{\sigma} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

e dove  $\phi$  è l'angolo di attrito interno del materiale che può costituire il flusso detritico.

Sezione 770 m s.l.m.		
$d_{50}$	0,5	[m]
$\phi$	33	[°]
$\theta$	10	[°]
$C$	0,55	-
$C_b$	0,9	-
$\lambda$	5,605	-
$a$	0,042	-
$\rho$	1.000	[kg/m³]
$\sigma$	2.700	[kg/m³]
$h$	1	[m]
$v$	26,38	[m/sec]

Introducendo la portata di flusso di detrito per unità di larghezza  $q_d = v * h$  si ottiene la relazione:

$$q_d = f(d_{50}, \phi, C) * h^{\frac{5}{2}} * \sin^{\frac{1}{2}} \theta$$

Pertanto, ipotizzando un'altezza media del flusso della colata liquido-solida pari a 1 metro, si otterrà:

Sezione 770 m s.l.m.		
$v$	26,38	[m/sec]
$h$	1	[m]
$q_d$	26,38	[m³/sec]
$q_d + q_l$	50,45	[m³/sec]

L'analisi dei dati sul campo ha indicato che per i flussi di detrito quest'ultima equazione è più adeguata delle equazioni di Manning-Chézy.

Le equazioni trattate sono adatte per descrivere una tipologia di trasporto solido in forma di colata rapida; inoltre, per quel che riguarda la capacità del modello di descrivere la dinamica del

flusso, diversi studi sul campo hanno evidenziato che il modello dilatante di Bagnold è il più adatto a descrivere il fenomeno.

In sito sono stati rilevati i parametri geometrici, geolitologici, geomorfologici e litostratigrafici essenziali per condurre i calcoli di verifica.

Vi è un certo grado di soggettività nel stima di alcuni dei parametri necessari al calcolo del flusso di colata ( $d_{50}$ ,  $\sigma$ ,  $C_b$ ). Per tale motivo è necessario considerare i risultati riportati di seguito solo come indicativi e approssimati, utili comunque per dare un'idea di massima sulla velocità e sulla portata per unità di larghezza di una colata detritica.

La valutazione della velocità è stata condotta anche attraverso l'utilizzo della relazione di Curry (1966), che fa riferimento ad un flusso viscoso newtoniano. L'espressione è la seguente:

$$V = (\sigma * J * h^2) / (k * \eta)$$

- $\sigma$  peso specifico del materiale detritico  
 $J$  pendenza  
 $h$  profondità del flusso  
 $k$  fattore di forma  
 $\eta$  viscosità dinamica apparente del detrito

	Sezione 770 m s.l.m.	
$\sigma$	2.700	[kg/m <sup>3</sup> ]
$J$	0,262	[rad]
$h$	1	[m]
$\eta$	7,138	[kg/m <sup>2</sup> *sec]
$k$	19	-
$V$	5,21	[m/sec]

Confrontando i valori di velocità di flusso ottenute con le due diverse metodologie di calcolo, è possibile accertare una buona corrispondenza tra le stesse.

### 3. VERIFICA DELLA SEZIONE DI DEFLUSSO

La portata che defluisce per una determinata sezione d'alveo, in condizioni di moto uniforme, è fornita dalla relazione:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = A \times V$$

dove:

$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$  = portata smaltibile

$A \text{ (m}^2\text{)}$  = area della sezione trasversale dell'alveo

$V \text{ (m/s)}$  = velocità media della corrente.

Assumendo il criterio del moto uniforme, cioè immaginando che la linea piezometrica abbia la

stessa inclinazione dell'alveo nella direzione della corrente, criterio valido in corsi d'acqua a debole pendenza, la velocità media della corrente può essere espressa dalla relazione (*Gauckler-Strickler*):

$$V \text{ (m/s)} = K_s \times R^{2/3} \times (i/100)^{1/2}$$

dove, in corrispondenza della sezione considerata:

$K_s \text{ (m}^{1/3}\text{s}^{-1}\text{)}$  = coefficiente di resistenza di Strickler = 30

$R \text{ (m)}$  = raggio idraulico =  $A / P_b = 1,6$

$i \text{ (}\%)$  = pendenza dell'alveo nel tratto considerato = 8%

Risolvendo l'equazione precedente, si ottiene:

$$V = 4,62 \text{ m/s}$$

Valutata la velocità della corrente, noto il valore dell'area della sezione del corso d'acqua, si può calcolare la portata smaltibile, da confrontare con la portata di piena di riferimento.

$$V = 4,62 \text{ m/s}$$

$$A = 14,7 \text{ m}^2$$

$$Q = 67,91 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (portata smaltibile dalla sezione considerata)}$$

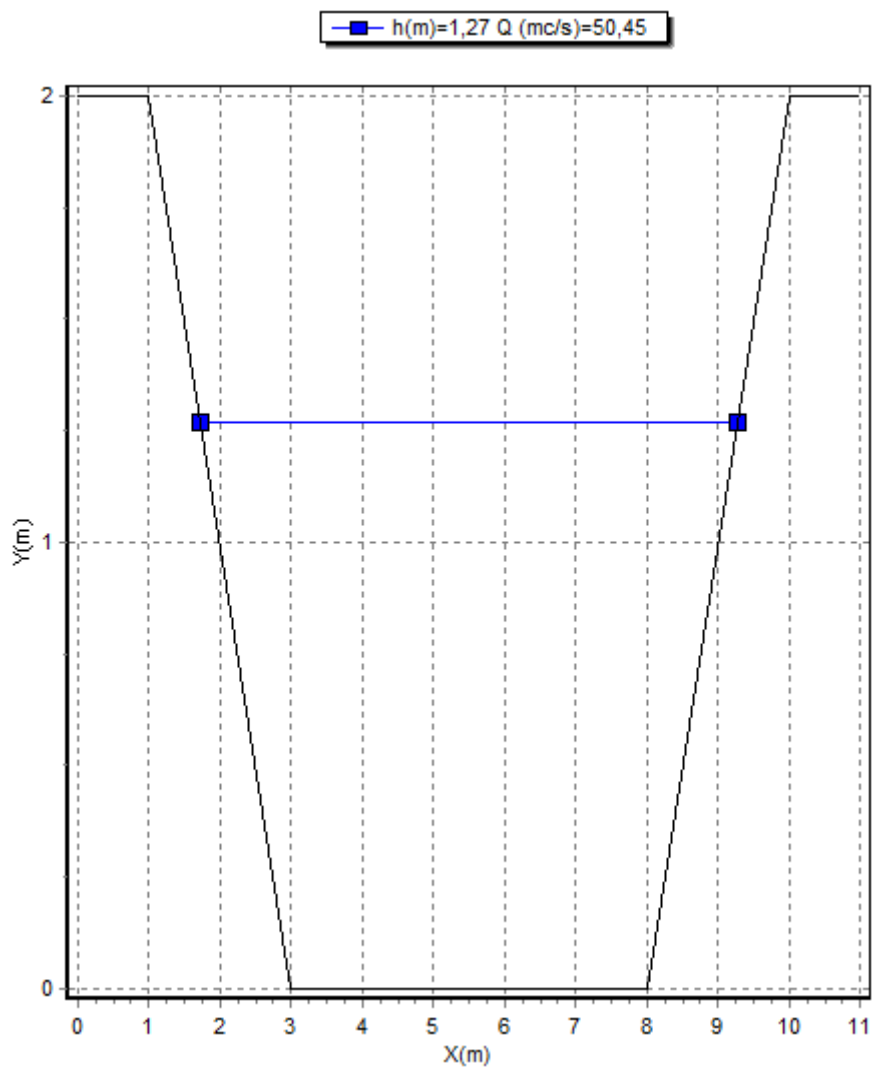
$$Q_{\max} = 50,45 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (portata di piena calcolata + colata detritica)}$$

Confrontando il valore della portata smaltibile dalla sezione dell'alveo del Rio, in corrispondenza della sezione di verifica, con la massima ondata di piena preventivabile per tempi di ritorno secolari, risulta che la sezione di deflusso in esame è sufficientemente dimensionata per smaltire le massime portate di piena preventivabili per tempi di ritorno secolari.

#### **Rio Cingio – Gaveta briglie**

pendenza	%	8
velocità media calcolata	m/s	4,62

La quota "2" rappresenta la quota sommitale della gaveta in progetto con le seguenti dimensioni (h\*L) 2,0 m \* 5,0 m.



Il franco dal livello di massima piena liquida + colata (Tr 200) risulta essere di 70 cm.

*Domodossola, luglio 2024*