



# COMUNE DI NEMBRO

Provincia di Bergamo

Committente: Amministrazione Comunale

## REGIMAZIONE IDRAULICA BACINO DI PIAZZO CON INTERVENTI DI CANALIZZAZIONE SUPERFICIALE

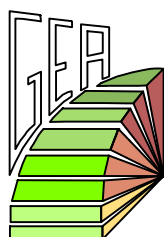
*TITOLO ELABORATO*

### RELAZIONE IDRAULICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG.	SCALA	ELABORATO
22_074	PROG	DEFINITIVO - ESECUTIVO	-	<b>D</b>

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Maggio 2023	Prima emissione
1	-	-
2	-	-
3	-	-

PROGETTISTI



Studio G.E.A.

24020 RANICA (Bergamo)  
Via Patta, 30/D  
Telefono e Fax: 035.340112  
E - Mail: gea@mediacom.it

Collaborazione al progetto: Ing. Mirco Perico

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI

iscritto all' O.R.G. della Lombardia n. 258



Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI

iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057



## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>3</b>
	2.1 Ietogramma di progetto .....	3
	2.2 Tempo di corrivazione .....	6
	2.3 Calcolo del coefficiente di afflusso .....	7
	2.4 Calcolo della portata critica .....	8
<b>3</b>	<b>VERIFICA IDRAULICA .....</b>	<b>10</b>
	3.1 Sezione 2 .....	11
	3.2 Considerazioni finali .....	13
<b>4</b>	<b>PORTATA DI PICCO DI UNA COLATA .....</b>	<b>14</b>
	4.1 Valutazione di Takahashi .....	14
<b>5</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DELLA STRUTTURA DELLE BARRIERE DEBRIS</b>	
<b>FLOW</b>	<b>.....</b>	<b>17</b>



## 1 PREMESSA

Con determina n.856 del 13/10/2022 il Comune di Nembro ha conferito alla GEA S.r.l. Geologia Ingegneria e Ambiente l'incarico della progettazione definitiva-esecutiva, sicurezza, direzione lavori e contabilità della "regimazione idraulica del bacino di Piazza con interventi di canalizzazione superficiale IV lotto".

La presente relazione riguarda gli aspetti idrologici-idraulici a supporto della progettazione definitiva – esecutiva degli interventi di sistemazione del torrente “Rio Faustino” sito in località Piazza.

Per la stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla *Relazione idrologica e idraulica “E3”* redatta dal Dott. Ing. Gianfranco Lubrini in data 26/04/2021.





 COMMITTENTE COMUNE DI NEMBRO PROVINCIA DI BERGAMO		
LAVORI DI REGIMAZIONE IDRAULICA BACINO DI PIAZZO		
		
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <small>(art. 23 D.Lgs. 30/2010 e art. 24-25 D.P.R. 207/2010)</small>		
PRODOTTO  <b>E3</b>	OGGETTO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	DATA 26/04/2021 Scala - CODICE DI RIFERIMENTO 29-019g
 <small>CLIENTE (201 - 2022)          via Bernini 10/100 - 24100 - 24100/20000          S.I. Eng - Geologia Ingegneria e Ambiente          info@sieng.it - www.sieng.it</small>	PROGETTISTA Dott. Ing. Gianfranco Lubrini COLLABORATORE Geom. Gloria Bellini Ing. Alessia Legrenzi	

Figura 1 – Stralcio della prima pagina della Relazione idrologica e idraulica (Dott. Ing. Lubrini)

Per gli inquadramenti, la descrizione delle problematiche e le soluzioni progettuali si rimanda alla relazione tecnica generale e alle tavole di progetto.



## 2 STUDIO IDROLOGICO

Innanzitutto occorre determinare, nella sezione di interesse, la portata di progetto corrispondente ad un determinato tempo di ritorno (al quale corrisponde una data probabilità di accadimento), per la quale le opere devono essere verificate.

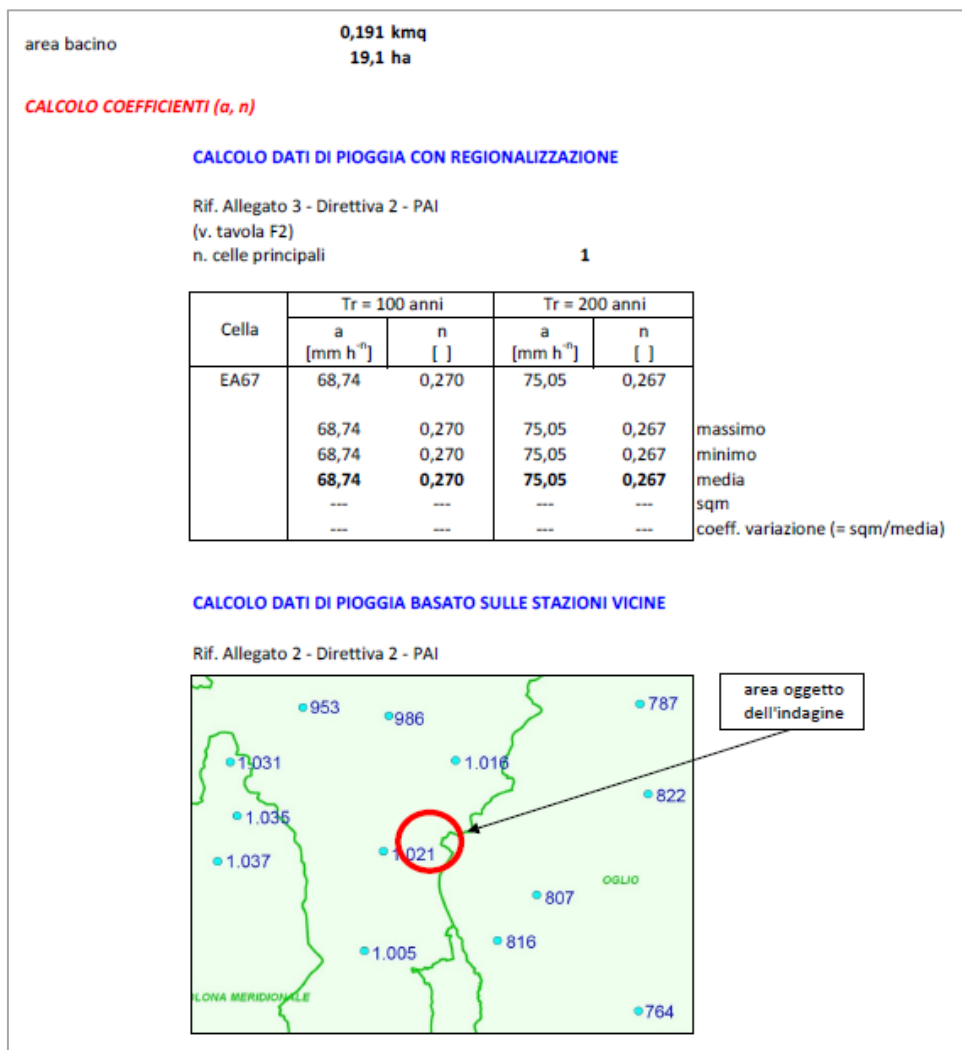
Questa determinazione può essere fatta in molteplici modi. Il tempo di ritorno applicato nel presente studio equivale a 100 anni.

Si riporta di seguito uno schema che mostra la procedura seguita nello studio idrologico, così come definito nella *Relazione idrologica e idraulica "E3"* del Dott. Ing. Gianfranco Lubrini, per la determinazione della portata di piena.

### 2.1 Ietogramma di progetto

Di seguito si riportano gli stralci presenti in allegato nella *Relazione idrologica e idraulica "E3"* del Dott. Ing. Gianfranco Lubrini della distribuzione spaziale delle precipitazioni intense.





Stazione	1021
Denominazione	Bergamo
Periodo di misura	inizio
	fine
Numero dati di osservazione	23

Calcolo delle cpp nelle stazioni di misura svolto all'interno del PAI  
(direttiva 2, tabella 1)

stazione	Tr = 100 anni		Tr = 200 anni	
	a [mm h <sup>-n</sup> ]	n [ ]	a [mm h <sup>-n</sup> ]	n [ ]
1021	62,40	0,225	68,27	0,220

Si assumono di dati derivanti dalla regionalizzazione



**RAGGUAGLIO DELLA CURVA ALL'AREA SECONDO IL CRITERIO DEWC**

$$R = 1 - at^b$$

$a$	$= 0,0394 A^{0,364}$
$b$	$= 0,40 - 0,0208 \ln(4,6 - \ln A)$ per $A \leq 20 \text{ kmq}$
$b$	$= 0,40 - 0,00382 \ln(4,6 - \ln A)^2$ per $A > 20 \text{ kmq}$
$A$	= area del bacino in kmq
$t$	= durata dell'evento meteorico in h

$a$	0,022
$b$	0,362

$t$ [h]	$R$
1	0,978
2	0,972
3	0,967
5	0,961
10	0,950

Ragguaglio della curva all'area secondo Columbo (formula utilizzata)

$R$	0,972
$Dn$	0,012

**VALORI FINALI COEFFICIENTI ( $a, n$ )**

Si assumono:

	$a$ [mm h <sup>-n</sup> ]	$n$ [ ]
Tr = 100 anni	66,803	0,282
Tr = 200 anni	72,935	0,279



## 2.2 Tempo di corrivazione

Secondo quanto riportato nella *Relazione idrologica e idraulica* del Dott. Ing. Lubrini, “il tempo di corrivazione  $T_c$  del bacino sotteso dalla sezione di chiusura è stato determinato utilizzando la nota formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S_b} + 1.5L_a}{0.8\sqrt{H}}$$

dove:

$S_b$  superficie del bacino [ $Km^2$ ];

$L_a$  lunghezza dell'asta principale [ $Km$ ];

$h$  altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [ $m$ ].”



### 2.3 Calcolo del coefficiente di afflusso

Si riporta quanto descritto nella *Relazione idrologica e idraulica* redatta dal Dott. Ing. Gianfranco Lubrini:

*“È stato assegnato alle aree in oggetto, considerate non urbanizzate, costituite da zone pressoché prive di urbanizzazione e composte dalla presenza di una fitta vegetazione che, come detto in precedenza, aumentano la permeabilità del terreno, un **Cd** pari a **0,20**. Per una piccola porzione si definisce Cd pari a **0,40**”.*





## 2.4 Calcolo della portata critica

Di seguito si riportano gli stralci presenti in allegato nella *Relazione idrologica e idraulica "E3"* del Dott. Ing. Gianfranco Lubrini del calcolo della portata critica.

*"Per il calcolo della portata di massima piena ( $Q_c$ ), si è utilizzato il metodo razionale che tiene conto della legge di distribuzione delle probabilità dei massimi annuali delle portate al colmo e soprattutto, del coefficiente di deflusso  $C_d$ , mediante la formula:*

$$Q_c = \frac{C_d * h * S_b * k}{T_c}$$

dove:

$S_b$  superficie del bacino [ $Km^2$ ];

$h$  altezza di pioggia che cade in un tempo pari a quello di corrivazione [ $mm$ ];

$T_c$  tempo di corrivazione [ore];

$C_d$  coefficiente di deflusso [ - ];

$k$  fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura (pari a 0.28)".



	Sezione di chiusura
Superficie bacino [kmq]	0,191
Altitudine massima bacino [m s.l.m.]	656
Altitudine minima bacino (sezione di chiusura) [m s.l.m.]	365
Altitudine media bacino [m s.l.m.]	491
Lunghezza asta principale [km]	0,400

	Sezione di chiusura
Tempo di corrivazione [h]	0,133
Superficie aree scarsamente urbanizzate [kmq] (Cd = 0,40)	0,013
Superficie aree non urbanizzate [kmq] (Cd = 0,20)	0,178
Cd medio [-]	0,214
<b>Portata di piena Tr=100 [mc/s]</b>	<b>3,257</b>

In definitiva, si può stimare la portata nel bacino, per il tempo di ritorno centennale, pari a:

$$\checkmark \quad Q = 3.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

A tale valore si farà riferimento nella successiva fase di verifica delle opere di progetto.



### 3 VERIFICA IDRAULICA

Per verificare l'opera, sulla base della portata calcolata, si è proceduto con uno specifico programma di calcolo alla verifica del canale di scolo a moto uniforme. Nel caso in esame è stata impiegata la formula di resistenza di Gauckler – Strickler (o Manning):

$$Q_0 = A \cdot k_s \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Dove:

$Q_0$  = Portata [m<sup>3</sup>/s];

$A$  = Area della sezione bagnata [m<sup>2</sup>];

$k_s$  = Coefficiente di scabrezza di Strickler [m<sup>1/3</sup>/s];

$R$  = Raggio idraulico [m];

$i$  = Pendenza del tratto analizzato [-].



### 3.1 Sezione 2

Si prende come riferimento la sezione di progetto dove è presente il canale in massi e malta.

Il coefficiente di scabrezza  $k_s$  del materiale costruttivo equivale a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , mentre la pendenza longitudinale del tratto in cui è ubicata la sezione in esame risulta pari al 28%.

Le verifiche delle sezioni sono volte ad accertarsi che le loro sagome abbiano sufficiente capacità di contenimento della portata centenaria. Si provvede alla verifica a mezzo della formula di Gauckler-Strickler.

Alle dette condizioni, nei reticoli verificati si vengono a creare i battenti idrici ed i franchi di sicurezza così come segue:

<i>Tratto canalizzato</i>	<i>Portata [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Pendenza di verifica</i>	<i>Battente [m]</i>
<b>Sez. 2</b>	<b>3.3</b>	<b>28%</b>	<b>0.20</b>

Considerando un'altezza minima di 1 metro del canale di nuova realizzazione si ottiene un franco pari a 0.80 m.



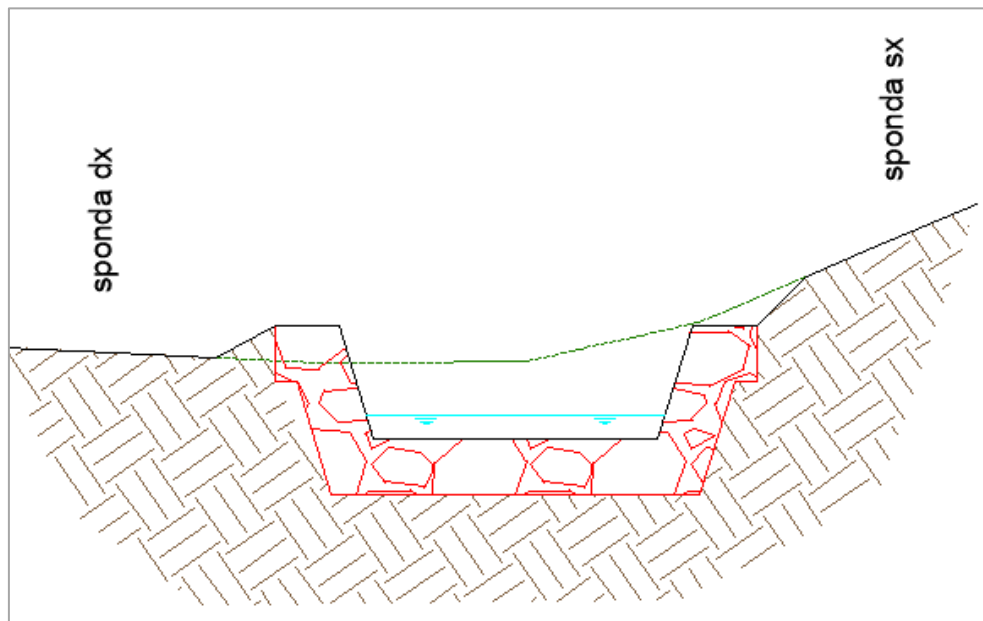


Figura 2 – Battente idrico della sezione 2

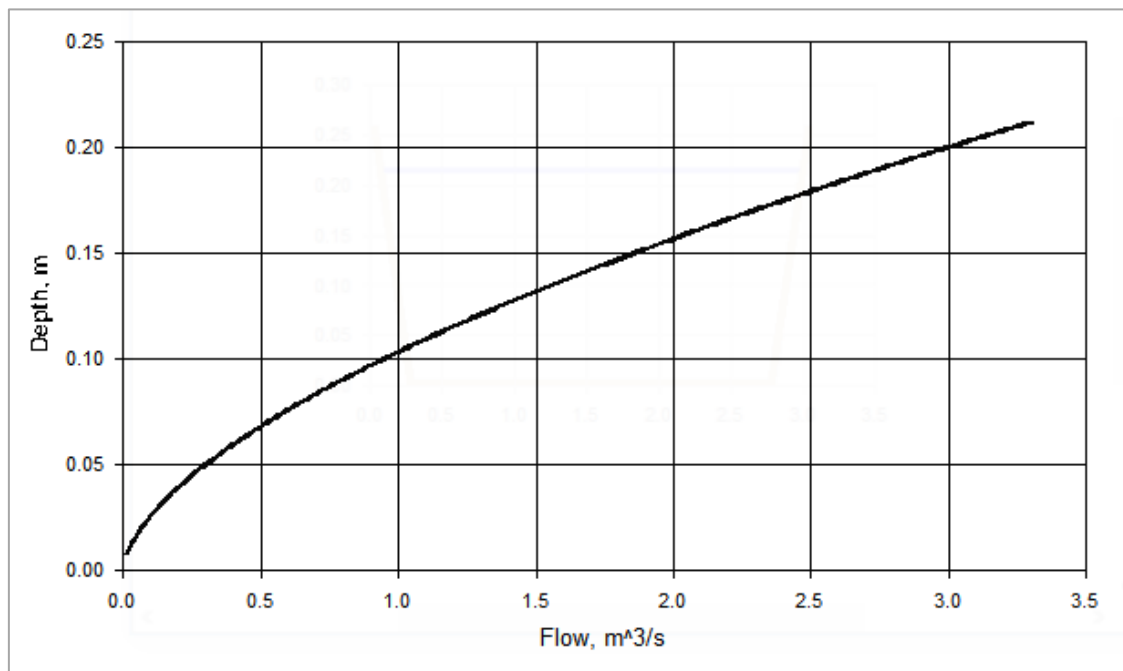


Figura 3 – Grafico della scala delle portate (Manning Solver)

### **3.2 Considerazioni finali**

Dalla verifica idraulica risulta un franco idraulico di sicurezza idoneo, rispetto alla piena con tempo di ritorno di 100 anni.

Pertanto l'opera risulta verificata.



## 4 PORTATA DI PICCO DI UNA COLATA

La valutazione della portata di picco relativa alla miscela acqua-detrito è importante per valutare la capacità dell'alveo di contenere il flusso della colata, anche in sezioni critiche.

### 4.1 Valutazione di Takahashi

È possibile tuttavia procedere ad una determinazione indiretta del valore della portata solido – liquida. Afferma infatti Takahashi (1991) che la portata di debris flow  $Q_T$  rispetto alla portata liquida  $Q_0$  è data dalla:

$$\frac{Q_T}{Q_0} = \frac{c_*}{c_* - [S_b + (1 - S_b) \cdot c_*] \cdot c}$$

Dove  $c_*$  la concentrazione del materiale solido “impaccato” (usualmente pari a 0.65),  $c$  la concentrazione della colata ed  $S_b$  il grado di saturazione del letto prima del passaggio della colata detritica.

Inoltre Armanini [1996] stima più semplicemente il suddetto rapporto come:

$$\frac{Q_T}{Q_0} = \frac{c_*}{c_* - c}$$

che evidentemente coincide con la formulazione di Takahashi quando in questa si ponga  $S_b = 1$ . L'andamento delle funzioni è visibile nella figura successiva.



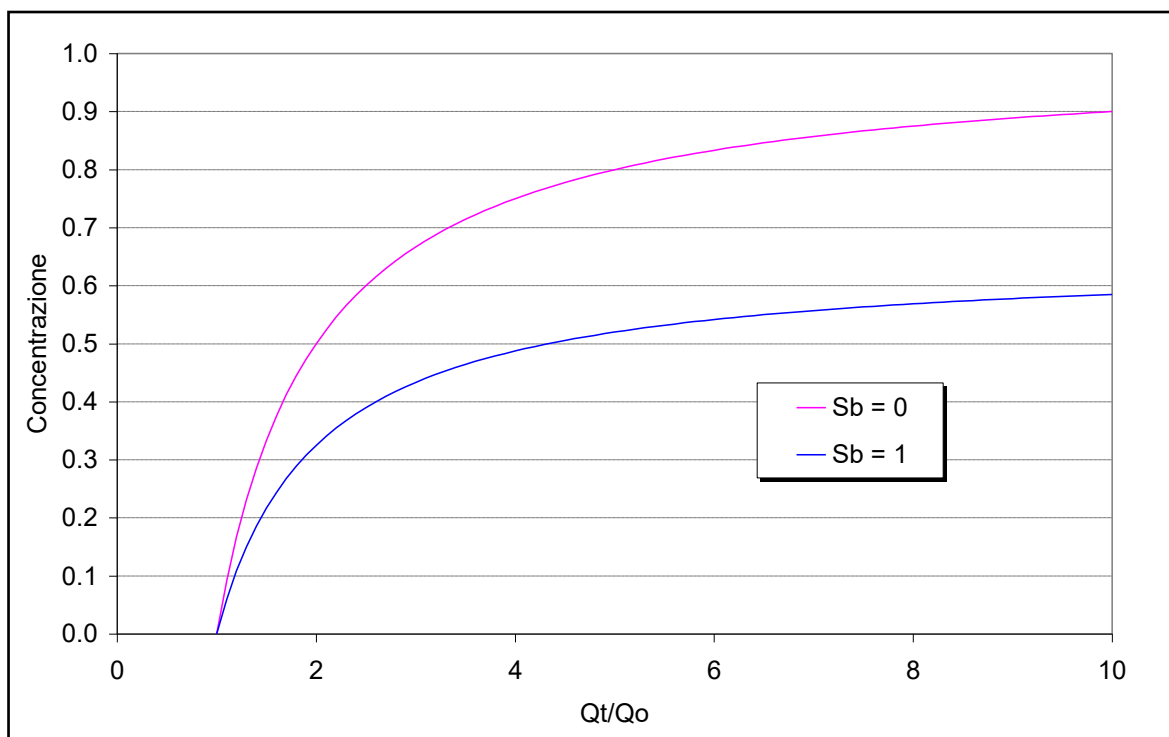


Figura 4 - Funzione che lega la concentrazione delle colate di detriti ed il rapporto tra portata delle colate e portata liquida, al variare del grado di saturazione del terreno prima del passaggio della colata

Per quello che riguarda la posizione sulla concentrazione  $c^*$ , si deve osservare come la concentrazione volumetrica massima possibile  $c_m$  per le particelle sferiche coincide con la disposizione definita a *palle di cannone*, pari a

$$c_m = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0,74 \text{ e mostrata nella figura successiva.}$$

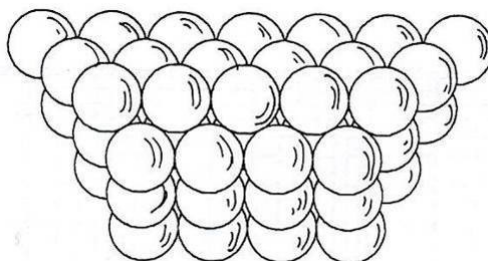


Figura 5 - Disposizione a palle di cannone





In una colata di detriti la concentrazione solida è orientativamente compresa nell'intervallo 0.4 – 0.6.

Considerando le condizioni del bacino in esame, la portata della colata detritica potrebbe essere valutata pari a circa 4-5 volte la portata liquida.

Si ricava:

Portata di picco colata	<i>Takahashi</i>
	<b>15.0 [m<sup>3</sup>/s]</b>



## 5 INDIVIDUAZIONE DELLA STRUTTURA DELLE BARRIERE DEBRIS FLOW

Ai fini della verifica delle barriere flessibili di protezione dai fenomeni di *debris flow* è stato utilizzato un apposito *software* commerciale distribuito dalla Geobruigg, denominato **DEBFLOW** (<http://applications.geobruigg.com>).

Per avviare un'analisi, il software richiede alcuni parametri di input, riguardanti sia le caratteristiche del *debris flow* sia la geometria dell'incisione valliva in corrispondenza della zona di ubicazione delle barriere flessibili.

In prima istanza è necessario assegnare la densità della miscela solido-acqua e il volume di materiale potenzialmente mobilizzabile. Tuttavia, poiché i fenomeni di colata si possono presentare sotto forma di un'unica ondata o di più ondate successive (*surges*) di intensità variabile, il programma prevede anche di assegnare il numero di *surges* ipotizzate e il volume corrispondente alla prima ondata. È possibile analizzare contemporaneamente tre casi (*Load case 1, 2, 3*), relativi a diverse ipotesi sui dati di ingresso. Sulla base di questi dati e delle caratteristiche geometriche del canale, il *software* calcola la portata di picco e la velocità del flusso ad essa associata utilizzando le relazioni empiriche di Rickenmann (1999) e le Linee Guida giapponesi (basata sul regime di flusso di Strickler); inoltre calcola l'altezza massima del flusso detritico. Tali informazioni consentono di stimare le forze di impatto sulle barriere flessibili ad opera del flusso detritico. Il *software* consente inoltre di inserire automaticamente le caratteristiche geometriche e meccaniche di alcune barriere commerciali disponibili, secondo due tipologie principali: a) modello UX, con montanti intermedi, adatto a valli larghe con sezione a U; b) modello VX, senza montanti, idoneo per valli strette con sezione a V. Nel nostro caso la barriera scelta corrisponde al modello VX.

Nel presente progetto, i parametri di input utilizzati per la verifica delle barriere flessibili sono riportati sinteticamente nelle tabelle successive.



Sulla base delle stime riportate nei capitoli precedenti è stato considerato un volume potenzialmente mobilizzabile, pari a 600 m<sup>3</sup>.

Per tale evento sono state ipotizzate 2 ondate consecutive con volume della singola ondata, tenendo conto di un fattore di sicurezza, pari a 300 m<sup>3</sup>.

Tipo debris flow	Densità materiale [kg/m <sup>3</sup> ]	Volume mobilizzabile [m <sup>3</sup> ]	Numero onde [num]	Volume mobilizzabile dalla singola onda [m <sup>3</sup> ]
<b>Granulare</b>	2000	600	2	300

Gli altri parametri di input assegnati al *software* riguardano la geometria della sezione trasversale dell'incisione in corrispondenza della sezione 1 a valle ove si intende localizzare la barriera. Sulla base di questi dati, è stata selezionata la barriera VX080-H4. L'altezza di questa barriera è anch'essa riportata nella tabella successiva.

ID	Larghezza base [m]	Larghezza superiore [m]	Inclinazione torrente a monte [°]	Altezza barriera [m]
<b>Sez. 1</b>	4.5	12.5	20	3

I risultati della verifica, unitamente a tutti i dati di input utilizzati nel software DEBFLOW, sono riportati di seguito.



Tipo e densità della colata detritica		
Tipo di colata detritica (granulare o colata di fango)	Tipo	Carichi 1 granulare
Densità del materiale della colata detritica	$\rho =$	2000
Peso specifico del materiale della colata detritica	$\gamma =$	19.6
Contenuto di acqua	$W =$	0.39

Volume della colata detritica e numero di ondate		
Volume totale della colata detritica (incl. acqua)	$V_{tot} =$	Carichi 1 600
Numero di ondate	$N =$	2
Volume di ogni ondata (medio)	$V_n =$	300
Volume della prima ondata (consigliato)	$V_{n1,rec} =$	450
Volume della prima ondata (scelto)	$V_{n1} =$	400

Portata di picco		
Portata di picco (in acc. a Rickenmann)	$Q_{1,rec} =$	Carichi 1 14.5
Portata di picco (scelta)	$Q_p =$	25

Fattore di sicurezza		
Fattore di sicurezza globale	$SF =$	1

Riepilogo dei risultati		
Sistema di protezione multilivello contro le colate detritiche	No.	Fattore di sicurezza
GEOBRUGG VX080-H4	No. 1 Barriera 1	1.10

Volume contenuto		
Volume contenuto totale	$V_{tot} =$	440 m <sup>3</sup>
Volume contenuto richiesto	$V_{tot,rich} =$	400 m <sup>3</sup>
Differenza	$V_{contenza} =$	40 m <sup>3</sup>
Verifica del volume contenuto		verificato !
Verifica del sistema generale		



Posizione della barriera no. 1		
Altezza sistema	$H_{s1} =$	3 m
Larghezza dell'alveo a livello delle funi di supporto superiori	$b_{s1} =$	12.5 m
Larghezza dell'alveo a livello delle funi di supporto inferiore	$b_{i1} =$	4.5 m
Distanza dalla barriera successiva a monte	$L_{s1} =$	200 m

Inclinazione dell'alveo e volume contenuto		
Altezza del sistema con la barriera riempita	$H_{s1} =$	2.3 m
Inclinazione media dell'alveo a monte della barriera	$i_{s1} =$	20 %
Inclinazione dei depositi della barriera riempita (in acc. a Rickenmann)	$i'_{s1, RM} =$	13.3 %
Inclinazione dei depositi della barriera riempita (scelta)	$i'_{s1} =$	15 %
Angolo tra la rete ad anelli e l'alveo del fiume		83.7 °
Lunghezza del materiale depositato dietro la barriera	$L =$	46.3 m
Volume contenuto	$V_{s1} =$	440.2 m³

Velocità del fronte e altezza del flusso		
		Carichi 1
Velocità del fronte (in acc. a Rickenmann)	$v_{1, RM} =$	4.5
Velocità del fronte in accordo a Strickler ( $v1 > vstr$ )	$v_{str} =$	5.2
Velocità di impatto sulla barriera (scelta, massimo valore v)	$v_i =$	4.9
Altezza di flusso	$h_{s1} =$	1.1
Massima altezza di apertura dalla base dell'alveo raccomandata (in acc. a Wendeler)	$h_{s1} =$	0.8

Sistema di protezione contro le colate detritiche flessibile e permeabile		
Tipo di sistema	Tipo	GEOBRUGG VX080-H4
Altezza massima del sistema	$H_{s, max} =$	4 m
Larghezza massima del sistema in sommità	$b_{s, max} =$	15 m
Larghezza massima del sistema alla base	$b_{b, max} =$	8 m
Verifica dell'altezza e della larghezza del sistema		verificato !



Verifica del massimo carico dinamico (arresto)		
		Carichi 1
Fattore di larghezza (larghezza della barriera rispetto alla larghezza standard)	$BF_1 =$	0.68
Carico dinamico (Pressione e impulso in acc. a Wendeler)	$MD_{dyn1} =$	121
Resistenza contro il carico dinamico	$RD_{dyn1} =$	133
Fattore di sicurezza	$SF_{dyn1} =$	1.10
Verifica del massimo carico dinamico		verificato !
Verifica del massimo carico statico (straripamento)		
		Carichi 1
Fattore di riduzione della pressione idrostatica (Permeabilità)	$HF =$	1.0
Carico statico (pressione idrostatica in acc. a Wendeler)	$MD_{stat1} =$	57
Resistenza contro il carico statico	$RD_{stat1} =$	118
Fattore di sicurezza	$SF_{stat1} =$	2.08
Verifica del massimo carico statico		verificato !
Verifica barriera 1		

