





QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	2 di 22

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE .....	6
3	IL BACINO IDROGRAFICO DEL RIO DELLA CHIUSA .....	7
3.1	CARATTERIZZAZIONE MORFOMETRICA DEL BACINO .....	9
3.2	OPERE IDRAULICHE .....	11
4	ANALISI IDROLOGICA .....	13
5	STIMA DELLA PORTATA SOLIDA DI COLATA DETRITICA .....	18

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b>  <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	3 di 22

## 1 PREMESSA

L'asse ferroviario Berlino-Verona / Milano-Bologna-Napoli-Messina-Palermo rappresenta, come da decisione n. 884/2004/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004, il Progetto Prioritario TEN n° 1.

Il potenziamento di questo asse della rete ferroviaria transeuropea dovrà avvenire per fasi funzionali, da attivare in tempi diversi, secondo un programma di priorità degli interventi che dovrà essere definito in fase di progettazione definitiva, finalizzato ad un progressivo aumento della potenzialità dell'asse ferroviario Monaco – Verona in grado di corrispondere adeguatamente alla crescente domanda di traffico prevista. Tale strategia garantisce che gli alti investimenti necessari non rimangano inutilizzati per lunghi periodi.

La parte centrale, alpina, di questo Progetto Prioritario, è costituita dalla Linea di accesso Nord Monaco-Innsbruck, dalla Galleria di Base del Brennero e dalla Linea di accesso Sud Fortezza-Verona. Mentre nella Linea di accesso Nord e nella Galleria di Base del Brennero sono presenti tratti transfrontalieri, la Linea di accesso Sud è ubicata interamente in territorio italiano. Nell'ambito della Linea di accesso Sud le tratte Prioritarie, da potenziare con il quadruplicamento, nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, sono le seguenti:

- a) Fortezza – Ponte Gardena;
- b) Prato Isarco – Bronzolo (Circonvallazione di Bolzano).

Italferr ha affidato a BETA Studio l'incarico di supporto nella redazione di elaborati tecnici relativi allo studio idrologico ed idraulico nell'ambito del "Progetto Definitivo - Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena".

Nell'ambito della progettazione delle opere idrauliche di difesa/regimazione delle acque, la zona della diramazione dell'interconnessione pari e dell'interconnessione dispari a binario singolo dalla linea esistente, a sud della Stazione di Fortezza, assume un particolare rilievo. In questa zona, il rischio è rappresentato dai probabili volumi di colate detritiche lungo il Rio della Chiusa.

Il corso inferiore del Rio della Chiusa, proprio prima dell'immissione nel lago artificiale di Fortezza, è attraversato dalla linea ferroviaria esistente Fortezza-Ponte Gardena e dall'Autostrada del Brennero, nonché da una pista ciclabile e dalla SS12. Le sezioni libere di deflusso e quelle di accumulo sono ridotte per cui le eventuali colate detritiche rappresentano un rischio per gli impianti esistenti. Anche i portali delle progettate interconnessioni dispari e pari vengono a trovarsi nella zona a rischio.

Gli studi effettuati hanno evidenziato che, in fase di esercizio, come misura di presidio contro eventi di piena e di colate detritiche, occorre realizzare un bacino di raccolta ed un canale di scarico delle acque di piena. Il bacino si troverà direttamente a sud-ovest del tracciato previsto per il binario di interconnessione dispari e al disotto della canna artificiale dell'interconnessione pari. In corso d'opera, per garantire la protezione dagli eventi di piena e dalle colate detritiche, si procederà quanto prima a predisporre un'area di raccolta del materiale detritico. È altresì necessario prevedere interventi di tipo logistico (piano di allarme e pronto intervento) per le attività nelle zone a rischio.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	4 di 22

La presente relazione riporta lo studio idrologico e idraulico del bacino del Rio della Chiusa, illustrando le analisi effettuate propedeutiche alla definizione delle opere idrauliche di difesa e regimazione degli eventi di piena e di colata detritica.

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI i manufatti idraulici vanno verificati utilizzando i seguenti tempi di ritorno  $Tr$ :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S > 10 \text{ Km}^2$ .
- linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .
- **deviazioni stradali**  $Tr = 200$  anni
- ...omississ...

d) Inalveamenti:

- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S \geq 10 \text{ Km}^2$ .
- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .

Nel proporzionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua principali realizzati con ponti si è verificata la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso in golena indotte dalla esecuzione delle opere.

Nel proporzionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua principali e secondari realizzati con ponti e tombini si è cercato di:

- garantire l'assenza di rigurgiti sia in corrispondenza delle portate di modellamento che in quelle di progetto;
- migliorare o al massimo mantenere inalterato il livello di rischio idraulico esistente;
- evitare l'innesco di fenomeni erosivi in prossimità dell'opera prevedendo nei raccordi a monte ed a valle, la realizzazione di opere di presidio elastiche (materassi adagiati su geotessuto);
- assicurare con il periodo di ritorno previsto dal disciplinare, la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria.

Nel dimensionamento delle opere si è imposto di non restringere le sezioni del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli per l'evento di progetto comportino, per i ponti:

- *un franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1 m sul livello idrico;*



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	5 di 22

e per i tombini invece non determinino:

*gradi di riempimento superiori al 70% dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento.*

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'ambito territoriale di studio riguarda il bacino del Rio della Chiusa, affluente del fiume Isarco, nel Comune di Fortezza, che viene interferito dalla ferrovia in progetto nel tratto nord della Linea di Accesso Sud con il tunnel Schalderer. In particolare l'accesso all'asse ferroviario principale avviene attraverso due binari di interconnessione il cui tracciato si sviluppa principalmente in galleria: i portali delle interconnessioni di collegamento si trovano nell'area del conoide di deiezione del Rio della Chiusa a monte dell'immissione dello stesso nel lago artificiale di Fortezza e di conseguenza si trovano nell'area di azione di possibili eventi torrentizi – colate detritiche.

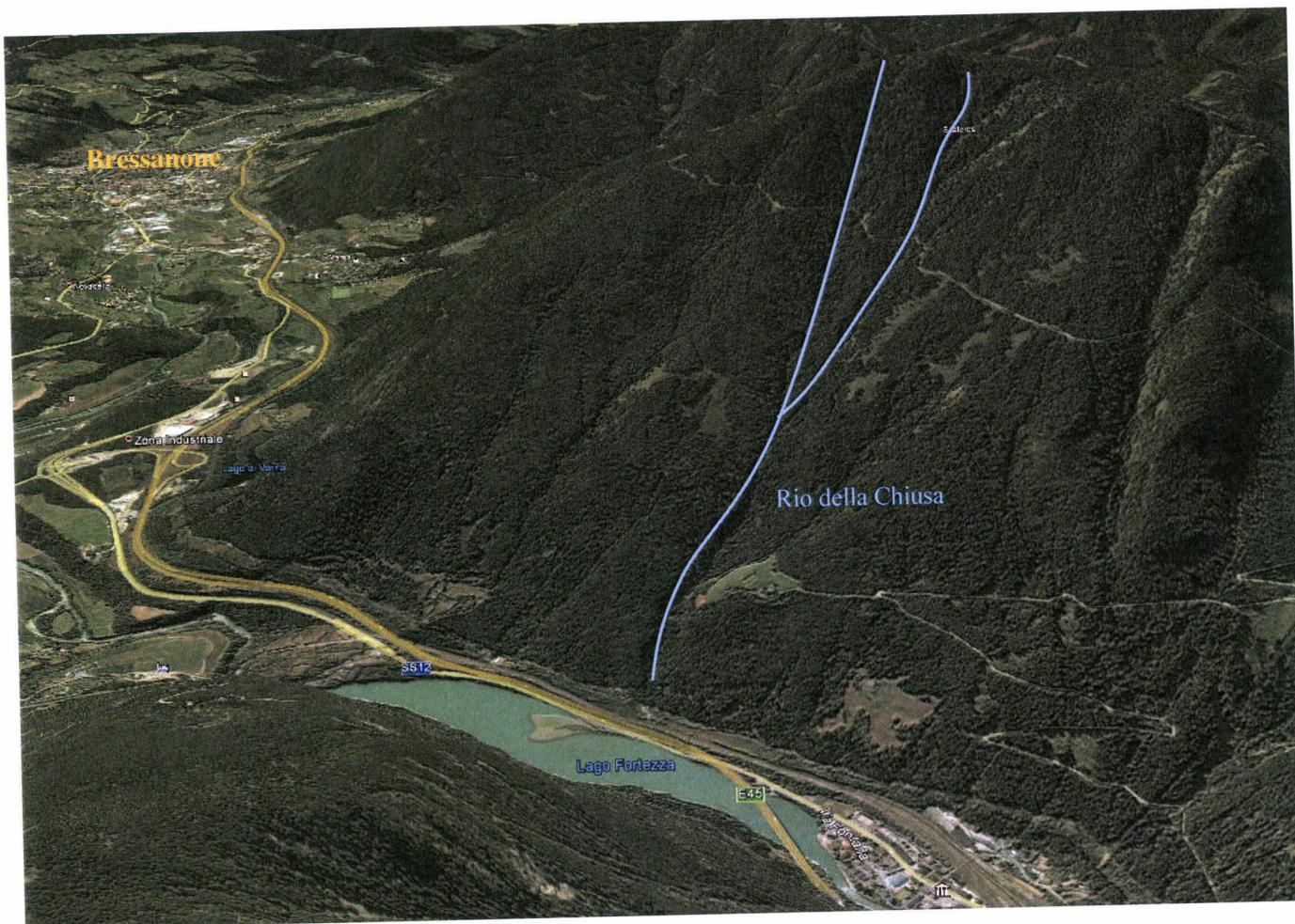


Figura 1 – Vista verso sud del bacino del Rio della Chiusa e del lago di Fortezza (fonte Google Earth).

La linea ferroviaria attuale, il cui piano del ferro si trova a 744.8 m s.m.m., si trova circa 20 m sopra il livello massimo del lago artificiale di Fortezza; lo sbarramento della centrale di Fortezza mantiene il livello dell'invaso alla quota di 724.7 m s.m.m.

Lo spazio tra la ferrovia e la sponda dell'invaso è occupato dall'autostrada, circa a quota 742 m, da una pista ciclabile e dalla Strada Statale, a quota 726 m circa.

### 3 IL BACINO IDROGRAFICO DEL RIO DELLA CHIUSA

Il Rio della Chiusa, ha un bacino idrografico di 1.13 km<sup>2</sup>, è un affluente sinistro dell’Isarco e sfocia direttamente nel lago artificiale di Fortezza.

Il bacino imbrifero, caratterizzato da una pendenza media di circa l’80%, presenta esposizione a nord-est ed è ricoperto prevalentemente da boscaglia. Il sottosuolo ed la litologia affiorante sono costituiti, in generale, da granito e fillade quarzifera. Solo nell’area di deiezione (conoide detritico) la roccia è ricoperta da materiale detritico di versante e da depositi di colata.

In condizioni di regime normale, il deflusso scorre in superficie fino al medio corso; all’inizio del corso inferiore l’acqua si infiltra con relativa velocità nei depositi detritici. A causa di numerosi attraversamenti (ferrovia, autostrada, strada statale e ciclabile), il conoide di deiezione presenta una crescente riduzione della sezione di deflusso in prossimità dei passaggi che conducono all’immissione nel lago artificiale.

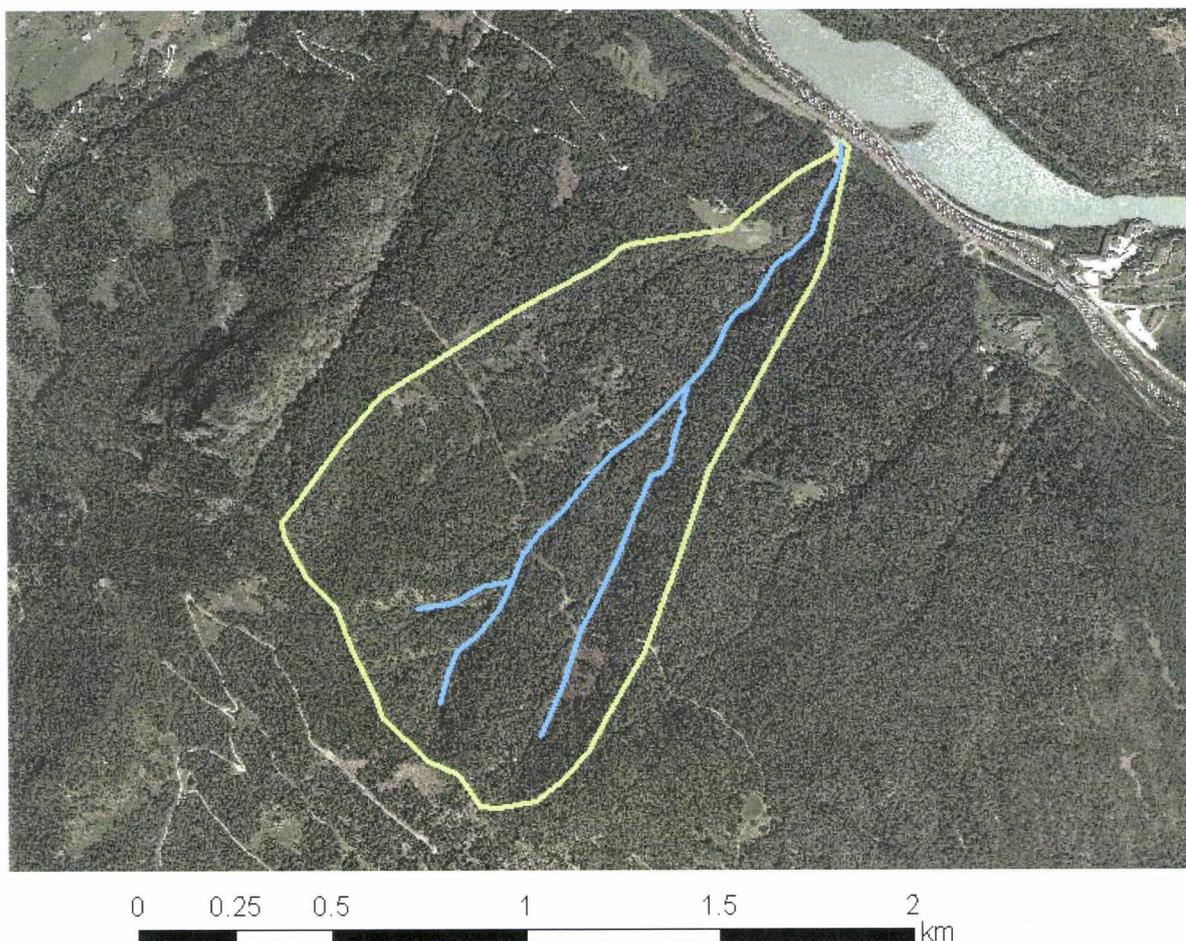


Figura 3 – Individuazione del bacino del Rio della Chiusa su ortofoto.

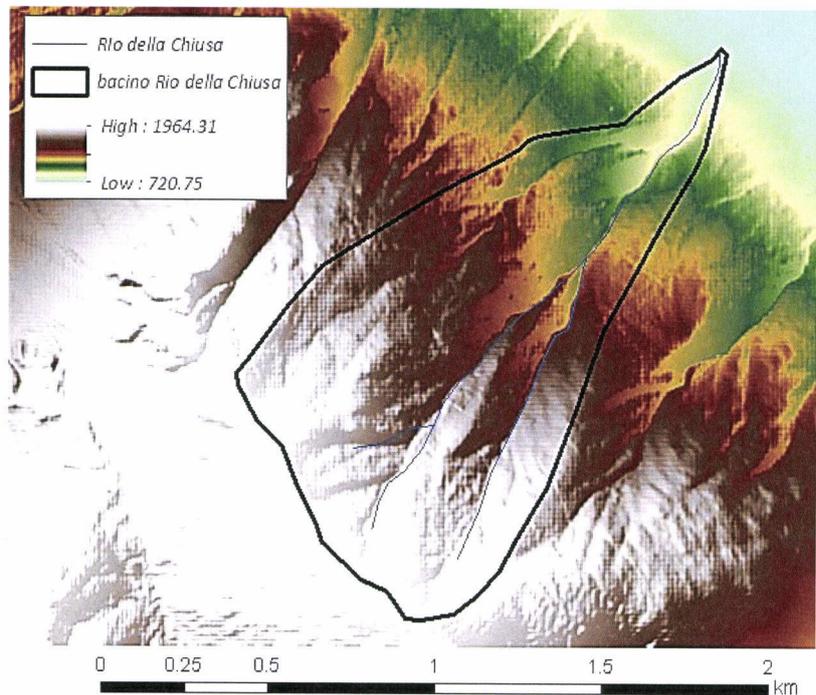
### 3.1 Caratterizzazione morfometrica del bacino

Il Rio della Chiusa rientra tra i torrenti che erodono depositi recenti (cosiddetti “Jungschuttwildbäche”). La pendenza media dell’alveo si assesta intorno al 60%. Una caratteristica particolare di questo rio, rispetto ai ripidi torrenti del Comune di Fortezza ubicati più a nord, è la presenza di un tratto relativamente pianeggiante, a monte dell’area di sbocco, che fa sì che le colate detritiche trasportate dal Rio della Chiusa raggiungano il conoide di deiezione solo in occasione degli eventi eccezionali.

La seguente tabella riporta i parametri morfometrici del bacino e l’immagine con il DEM (Digital Elevation Model - modello digitale di elevazione). Le figure successive riportano invece gli istogrammi (area-quota, area-pendenza), la curva ipsometrica e l’esposizione dei versanti del bacino.

**Tabella 1 – Parametri morfometrici del bacino**

Parametro	Valore
Area (Km <sup>2</sup> )	1.13
Quota minima (m)	725.10
Quota massima (m)	1953.80
Quota media (m)	1489.77
Pendenza minima (%)	2.02
Pendenza massima (%)	58.90
Pendenza media (%)	35.63
Esposizione prevalente	NE
Coefficiente di Gravelius	1.74
Indice di circolarità	0.33



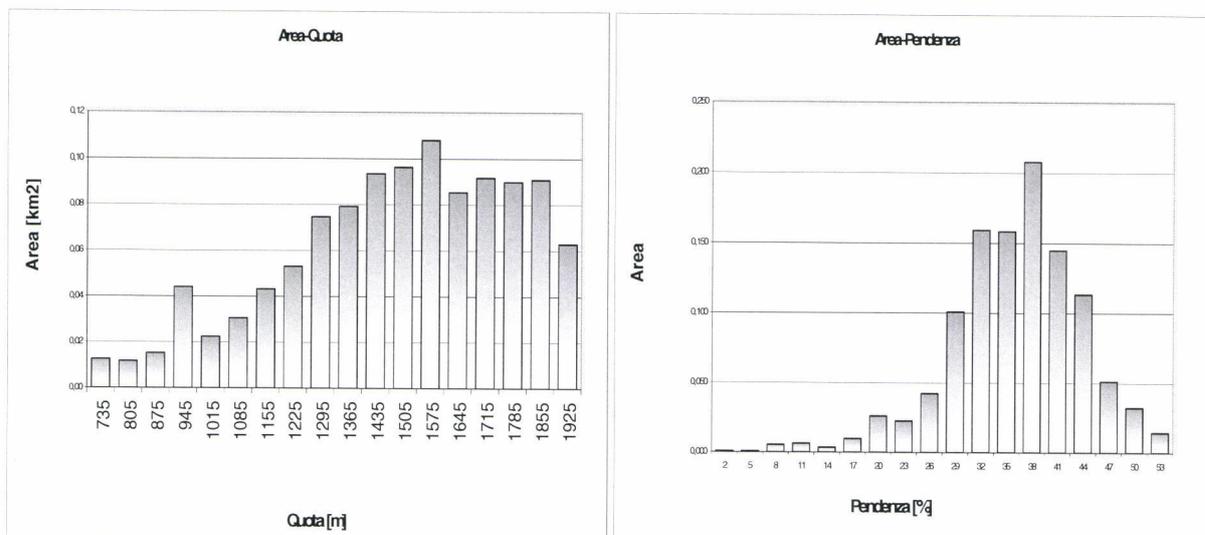


Figura 4 – Istogrammi.

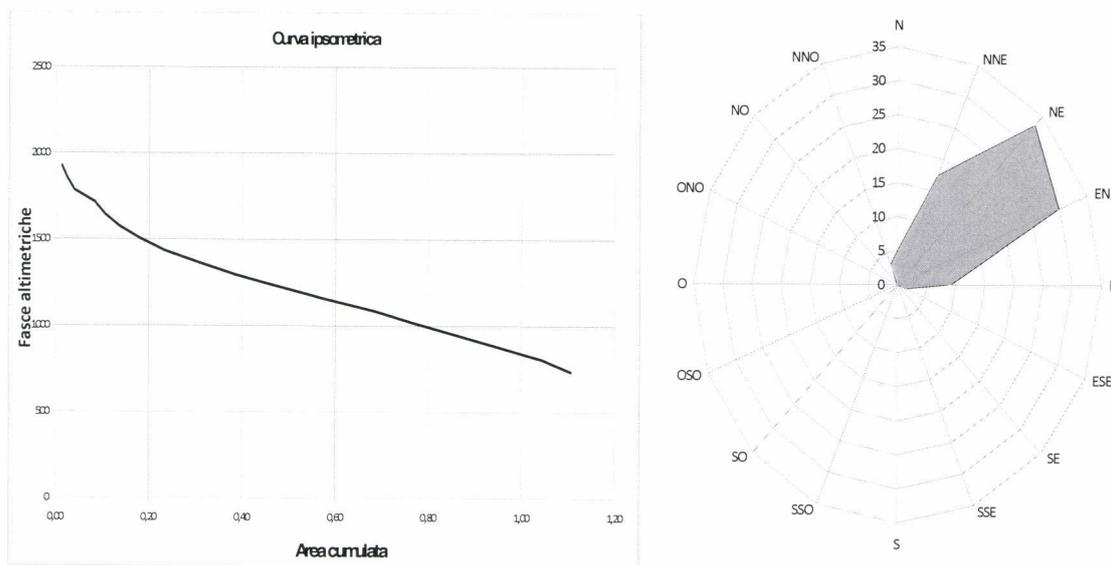


Figura 5 – Curva ipsometrica (a sinistra) ed esposizione (a destra).

La Figura 6 riporta la caratterizzazione dell'uso del suolo del bacino: circa il 90% della superficie è destinata a bosco, la parte restante è destinata a seminativo, rete stradale, rete ferroviaria e relativi spazi associati e corsi d'acqua.

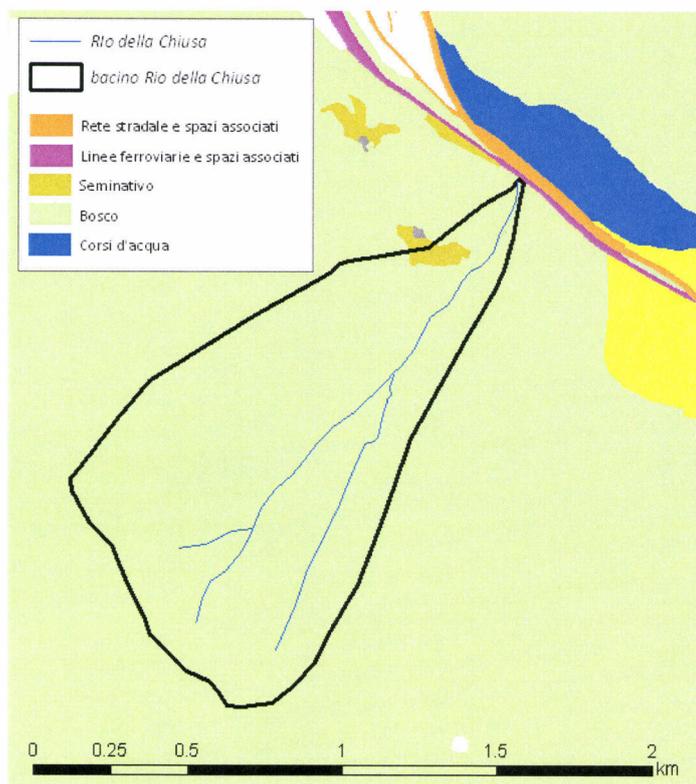


Figura 6 – Uso del suolo.

### 3.2 Opere idrauliche

Le opere presenti nel bacino sono una cunetta in massi ciclopici a secco, un ponte in legno e due ponti in c.a.

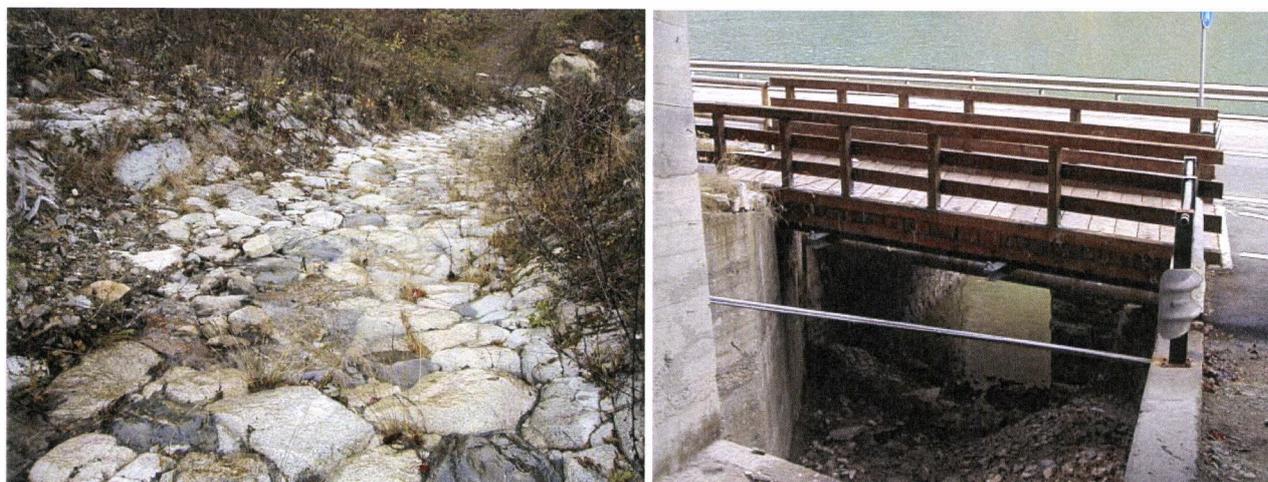


Figura 7 – Cunetta in massi ciclopici a secco (a sinistra), ponte in legno (a destra).



Figura 8 – Ponti in c.a.: pont ferroviario a sinistra, ponte autostradale a destra.

## 4 ANALISI IDROLOGICA

Si riportano di seguito i parametri della linea di possibilità pluviometrica del bacino del Rio della Chiusa, ricavati nell'ambito dello studio di bacino della Provincia di Bolzano ed i relativi grafici.

a									n	
Tempo di Ritorno									Durata Precipitazione	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
13.8	18.9	22.3	25.5	27.3	29.7	32.8	35.9	37.7	0.37	0.39

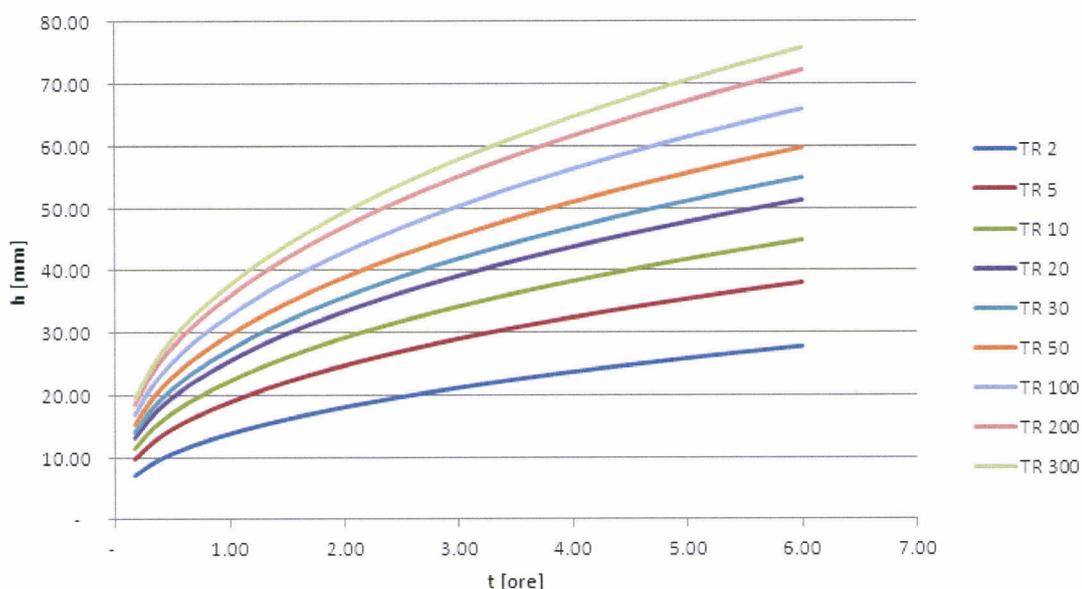


Figura 9 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

Per la determinazione del tempo di corrivazione diversi autori hanno messo a punto numerose formule empiriche, fra le quali si è ritenuto di applicare quelle di Giandotti, Ferro e Pezzoli, nonché quella sviluppata dal SCS:

Formula		Tempo di corrivazione
Giandotti	$T_c = (4\sqrt{A} + 1,5L)/[0,8\sqrt{Hm}]$	14.2 min
Ferro 1	$T_c = 0,022(Lc/\sqrt{ic})^{0,8}$	9.9 min
Ferro 2	$T_c = 0,675/\sqrt{A}$	43.1 min
Pezzoli	$T_c = 0,055(Lc/\sqrt{ic})^{0,8}$	5.9 min
SCS	$T_c = \{0,342(i_b^{-0,5})(L^{0,8})[(1000/CN) - 9]^{0,7}\}/0,6$	34.6 min
	media	21.5 min
	tempo di corrivazione adottato	34.6 min

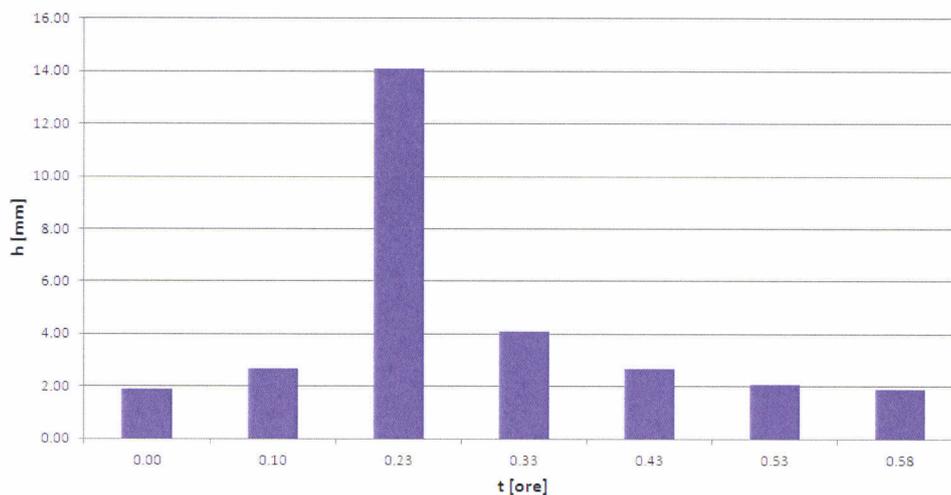
dove: A superficie del bacino (in km<sup>2</sup>), L lunghezza del collettore principale prolungato allo spartiacque (in km), L<sub>c</sub> lunghezza effettiva del collettore principale (in m), i<sub>c</sub> pendenza effettiva media del collettore principale (in m/m), i<sub>b</sub> pendenza media del bacino (in %), H<sub>m</sub> altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura (in m).

Considerando una durata di pioggia critica pari al tempo di corrivazione (34 minuti), si ottiene per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni un'altezza di pioggia lorda pari a 29.2 mm.

Per definire lo ietogramma di progetto, tra le diverse distribuzioni disponibili, si è scelto lo ietogramma Chicago caratterizzato da:

- andamento temporale dell'intensità di precipitazione non costante;
- presenza di un picco d'intensità all'interno della durata complessiva dell'evento;
- congruità tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica per qualsiasi durata t minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo.

In particolare si è scelto di attribuire il picco di pioggia all'istante pari a 0.4 del tempo di corrivazione.



**Figura 10 – Ietogramma Chicago, corrispondente a TR200 anni.**

Al fine di determinare l'idrogramma di progetto, tra i modelli concettuali proposti in letteratura, per la valutazione delle massime portate attese con frequenza di accadimento prestabilita si è fatto riferimento a:

- metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (1972), per la trasformazione della precipitazione totale caduta al suolo in quella effettivamente contribuente ad alimentare il deflusso superficiale (precipitazione efficace)
- modello di Nash, per la successiva trasposizione dei deflussi superficiali lungo il reticolo idrografico e la formazione dell'onda di piena diretta verso la sezione di chiusura del bacino.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 02 01 001	REV. A

Il metodo del Curve Number sviluppato dal Soil Conservation Service è stato scelto per la maggiore consistenza fisica dei suoi parametri rispetto agli altri metodi disponibili. Come noto, esso calcola la pioggia efficace, ovvero il volume di deflusso  $V$ , a partire dalla precipitazione netta  $P_n$  in base all'equazione:

$$V = \frac{W}{S} \cdot P_n$$

dove  $W$  rappresenta il contenuto idrico del suolo e  $S$  la capacità idrica del suolo a saturazione. Tenendo conto che  $W$  e  $P_n$  possono essere scritte nel seguente modo:

$$W = P_n - V$$

$$P_n = P - IA$$

dove  $P$  è la pioggia totale, mentre  $IA$  rappresenta le perdite iniziali per intercettazione, la formula iniziale diventa:

$$V = \frac{(P - IA)^2}{P + S - IA}$$

Il parametro  $S$ , caratteristico delle condizioni del territorio, viene calcolato come:

$$S = 25.4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

a partire dal numero di curva  $CN$ .

Questo è un parametro che può venire determinato rifacendosi ad apposite tabelle predisposte dal Soil Conservation Service o suggerite sulla base di altri studi, in base alle caratteristiche pedologiche, vegetazionali e di uso del suolo, e alle precipitazioni del periodo immediatamente precedente quello considerato.

Il valore di  $CN$  così trovato deve essere però considerato semplicemente indicativo delle condizioni effettive del bacino, specialmente qualora si tratti di un bacino di tipo montano; infatti il metodo del SCS è stato messo a punto essenzialmente per bacini agricoli. In ogni caso è sempre consigliabile procedere ad una taratura del modello per determinare l'esatto valore di  $CN$ .

Il secondo parametro da introdurre per applicare questo metodo è il valore delle perdite iniziali  $IA$  che possono essere stimate anche mediante la relazione empirica:  $IA = 0.2 \cdot S$

Come si può desumere da quanto esposto, il metodo SCS fornisce unicamente il valore globale della pioggia efficace per l'intero evento; poiché invece il modello opera in sequenza continua, simulando il progredire nel tempo dei processi idrologici, e necessita dunque di conoscere il valore della pioggia efficace relativo a ciascun intervallo di tempo, esso calcola tale valore come la differenza tra il valore complessivo della pioggia efficace alla fine dell'intervallo considerato e il valore che aveva raggiunto alla fine dell'intervallo precedente.

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 02 01 001	REV. A

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso nella rete idrografica utilizzando la tecnica dell'idrogramma unitario che rappresenta la risposta idrologica di un bacino ad un impulso di pioggia efficace unitario di durata istantanea.

Se l'idrogramma unitario viene ipotizzato invariante con il progredire della precipitazione (idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (idrogramma lineare) la risposta del bacino ad un idrogramma qualsiasi può essere determinato come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi viene descritto da una funzione  $U(t)$  per la quale si possono dare alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata  $t_p$  (tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco  $h_p$ . La durata dell'idrogramma unitario ( $t_B$ , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corrivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma viene detto tempo di ritardo  $t_L$  (time lag).

Tra i numerosi modelli matematici realizzati per la determinazione di questo idrogramma uno dei più utilizzati è quello dovuto a Nash (1957). Il modello descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero  $n$  (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante  $k$  (parametro di scala) di invaso.

La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo ad una astrazione matematica il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale mediante la sostituzione della funzione fattoriale  $(n-1)!$  con la funzione Gamma  $\Gamma(\alpha)$ . L'espressione della funzione  $U(t)$  diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad \text{e} \quad t_p = (\alpha - 1)k$$

La Figura 11 riporta i risultati ottenuti in termini di idrogrammi per i differenti tempi di ritorno.

I risultati ottenuti hanno individuato una portata al colmo per l'evento duecentennale pari a 4.2 m<sup>3</sup>/s.

Considerando il potenziale contributo detritico, calcolato con la formula di Schoklitsch, deriva un deflusso complessivo di 4.5 m<sup>3</sup>/s (contributo detritico di circa 8%).

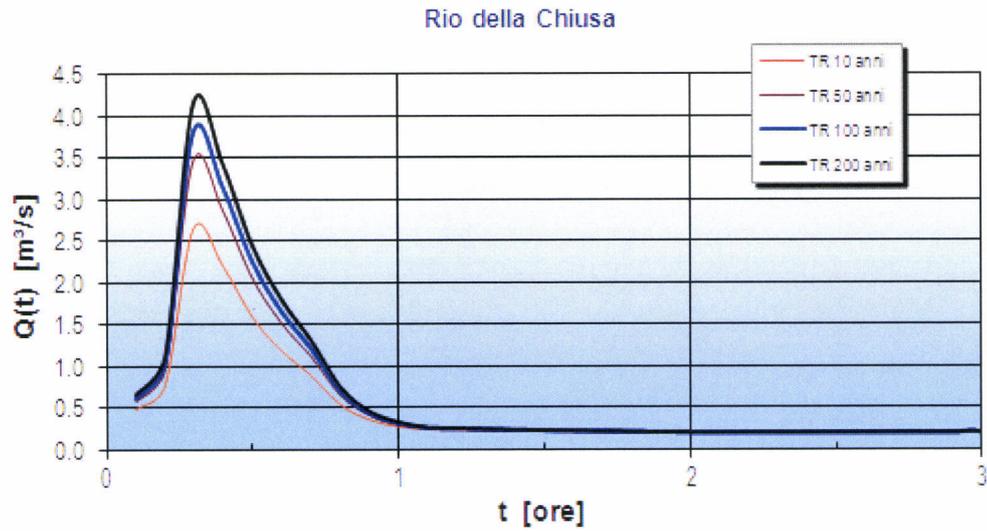


Figura 11 – Idrogrammi di progetto per i differenti tempi di ritorno.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
 ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
 QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
 LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	18 di 22

## 5 STIMA DELLA PORTATA SOLIDA DI COLATA DETRITICA

La stima della portata di materiale solido di colata è stata effettuata sulla base di formule empiriche, metodi scientifici, supposizioni comparative e sopralluoghi. In particolare sono stati definiti, in modo specifico, i parametri principali che influenzano la formazione, il trasporto e l'arresto/deposizione delle colate detritiche.

Così come già citato, si è utilizzato, in funzione del processo di pericolo stabilito, diversi indizi per la determinazione del carico di colata.

### 5.1 Formule empiriche

La portata di colata detritica attesa è stata stimata in base a diversi metodi comunemente utilizzati (di solito in base alla grandezza del bacino idrografico). La seguente tabella fornisce riassuntivamente i risultati di tali calcoli. La magnitudo dell'evento rilevante è stata determinata in base ai volumi di materiale detritico rimobilizzabile, alla forma dell'alveo ed alla lunghezza dei possibili tratti d'erosione e risulta leggermente ridimensionata rispetto ai valori massimi ricavati con le formule empiriche.

Autore	Formula	Volume [m <sup>3</sup> ]
Rickemann (o Kronfellner -Kraus gruppo 1)	$Md = (6.4 \cdot J_K - 23) \cdot L_r$ per $7 < J_K < 15$ $Md = (110 - 2.5 \cdot J_K) \cdot L_r$ per $15 < J_K < 40$	52925
Hampel	$Md = 150 \cdot E(J_K - 3)^{2.3}$	51575
Kronfellner -Kraus (gruppo 1)	$Md = k \cdot E \cdot J_K$ dove $k = \frac{1750}{\exp^{0.018 \cdot E}}$	29141
Kronfellner -Kraus (gruppo 1b)	$Md = k \cdot E \cdot J_K$ dove $k = \frac{1150}{\exp^{0.014 \cdot E}}$	19237
Marchi -D'Agostino 2002 lower estimation	$Md = 1000 \cdot E^{0.3}$	1038
Marchi -D'Agostino 2002 (campione completo)	$Md = 45000 \cdot E^{0.9} \cdot S^{1.5} \cdot GI$	8054
Marchi -D'Agostino 2002 (campione filtrato)	$Md = 18000 \cdot E^{1.16} \cdot S^{1.3} \cdot GI$	4249
Marchi -D'Agostino 2002 (campione filtrato, indipendenza da GI)	$Md = 65000 \cdot E^{1.35} \cdot S^{1.7}$	9638
Marchi -D'Agostino 2002 (campione filtrato e runoff volume, indipendenza da GI, quadratic loss calibration)	$Md = Q_p \cdot t_c \cdot (\alpha \cdot S^\beta)$ dove $\alpha = 2.9$ , $\beta = 2.0$	7243
Marchi -D'Agostino 2002 (campione filtrato e runoff volume, indipendenza da GI, percentage loss calibration)	$Md = Q_p \cdot t_c \cdot (\alpha \cdot S^\beta)$ dove $\alpha = 1.6$ , $\beta = 2.0$	3996
Takei (1986)	$Md = 13600 \cdot E^{0.61}$	14676
D'Agostino, Cerato, Coali (1996)	$Md = 29100 \cdot E^{0.67}$	31639

Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	19 di 22

Autore	Formula	Volume [m <sup>3</sup> ]
D'Agostino (2001)	$Md = 70 \cdot E \cdot S^{1.28} \cdot G$	6026
Bottino et al., (1996)	$Md = 21241 \cdot E^{0.28}$	21997
Marchi (1996)	$Md = 10000 \cdot E$	11330
	<b>MIN</b>	<b>1038</b>
	<b>MAX</b>	<b>52925</b>
	<b>MEDIO</b>	<b>18100</b>

## 5.2 Modello del metodo idrologico

La costruzione del debrigramma da colata a partire dall'idrogramma di progetto determinato come precedentemente descritto è stata effettuata adottando il metodo volumetrico proposto da Takahashi, con le modifiche proposte da D'Agostino et al. (2003).

Tale metodologia ha consentito di effettuare la stima idrologica dei volumi e delle portate di picco della colata. Le ipotesi di lavoro alla base del metodo sono le seguenti:

- la colata viene innescata da un evento pluviometrico di forte intensità e breve durata (evento temporalesco con durata inferiore od uguale all'ora) di assegnato tempo di ritorno (TR = 200 anni);
- l'alveo dispone di una quantità illimitata di sedimenti; viene cioè mobilizzato tutto il sedimento asportabile dalla portata liquida; più precisamente, la disponibilità illimitata di sedimento viene ipotizzata in concomitanza del transito della portata di colmo dell'idrogramma;
- la portata del debris flow (Qd), intesa come somma della portata liquida (Ql) e della portata solida (Qs), viene determinata nell'ipotesi di scorrimento di una portata di acqua pulita su di un ammasso granulare completamente saturo.

Qd può allora stimarsi con la formula (metodo volumetrico):

$$Qd(t) = \left( \frac{c^*}{c^* - C(t)} \right) Q(t)$$

essendo:

- $c^*$  = concentrazione di massimo impaccamento del materiale costituente l'ammasso; può in genere assumersi  $c^*=0.65$ ;
- $C$  = concentrazione volumetrica di equilibrio del fronte stazionario della colata in movimento; per pendenze del fondo superiori a 20° la concentrazione è esprimibile come:  $C = \alpha c^*$  (con  $\alpha$  prossimo a 0.9 nei casi più sfavorevoli;  $C$  è determinabile da formule di letteratura o per back-analysis di eventi pregressi).



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 02 01 001	A	20 di 22

Per il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio si è fatto riferimento alle seguenti formule:

Takahashi (1978)  
(per il fronte)

$$C_{\max} \leq 0.9 C_*$$

$$C = \frac{\rho \tan \beta}{(\rho_s - \rho)(\tan \phi - \tan \beta)}$$

$\rho_s$ : densità dei sedimenti (2600 – 2700 kg/m<sup>3</sup>);  
 $\rho$ : densità dell'acqua  
 $S = \tan \beta$  pendenza del canale  
 $\phi$  = angolo di attrito dei sedimenti

Ou-Mizuyama (1994) (per fronte e coda)

$$C = \frac{4.3 c_* (\tan \beta)^{1.5}}{1 + 4.3 c_* (\tan \beta)^{1.5}}$$

$\phi$  = angolo di attrito dei sedimenti  
 $C_*$  = concentrazione statica dei sedimenti  
(o conc. di max impaccamento)

D'Agostino,  
Marchi (2004)  
(a scala di evento)

$$\bar{C}_V = 2.9 [\tan(\beta)]^2$$

$$c_{S-V} = \frac{V_S}{V_T} = \frac{\bar{C}_V}{\bar{C}_V + 1} = \frac{2.9 (\tan \beta)^2}{2.9 (\tan \beta)^2 + 1}$$

Il metodo prevede la variazione del valore di concentrazione durante gli intervalli di tempo che precedono e che seguono l'istante di picco; infatti, l'assunzione di un valore costante da applicare a tutta la durata dell'onda liquida porterebbe alla determinazione di un sedimentogramma da debris flow poco realistico.

L'ipotesi di lavoro è quindi quella di fare incominciare l'onda della colata in corrispondenza al transito di una portata liquida pari ad almeno il doppio la portata di inizio del trasporto di fondo ( $Q_{cr}$ ), determinando il primo valore della portata del debris flow  $Q_d$  per un valore di  $C = 0.2$  (l'arrivo di una colata detritica viene spesso preceduto da un flusso iperconcentrato). Si determinano i successivi valori di  $Q_d$  ammettendo un andamento lineare di  $C$  (da  $C = 0.2$  a  $C = \alpha c_*$ ) in funzione del tempo. Procedura analoga si applica per la fase calante della colata, ipotizzando che l'ultimo valore di  $Q_d$  sia ancora determinato da  $Q = (2-3) \times Q_{cr}$  e da  $C = 0.2$  e che la decrescita sia lineare a partire dal valore di picco.

La portata di inizio del trasporto di fondo ( $Q_{cr}$ ) può essere individuata applicando la formula di Schoklitsch:

$$Q_c = 0.26 \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{5/3} \frac{D_{40}^{1.5}}{S^{7/6}} B \cong 0.60 B \frac{D_{40}^{1.5}}{S^{7/6}}$$

$Q_c$ : portata critica di inizio del trasporto ( $m^3/s$ );

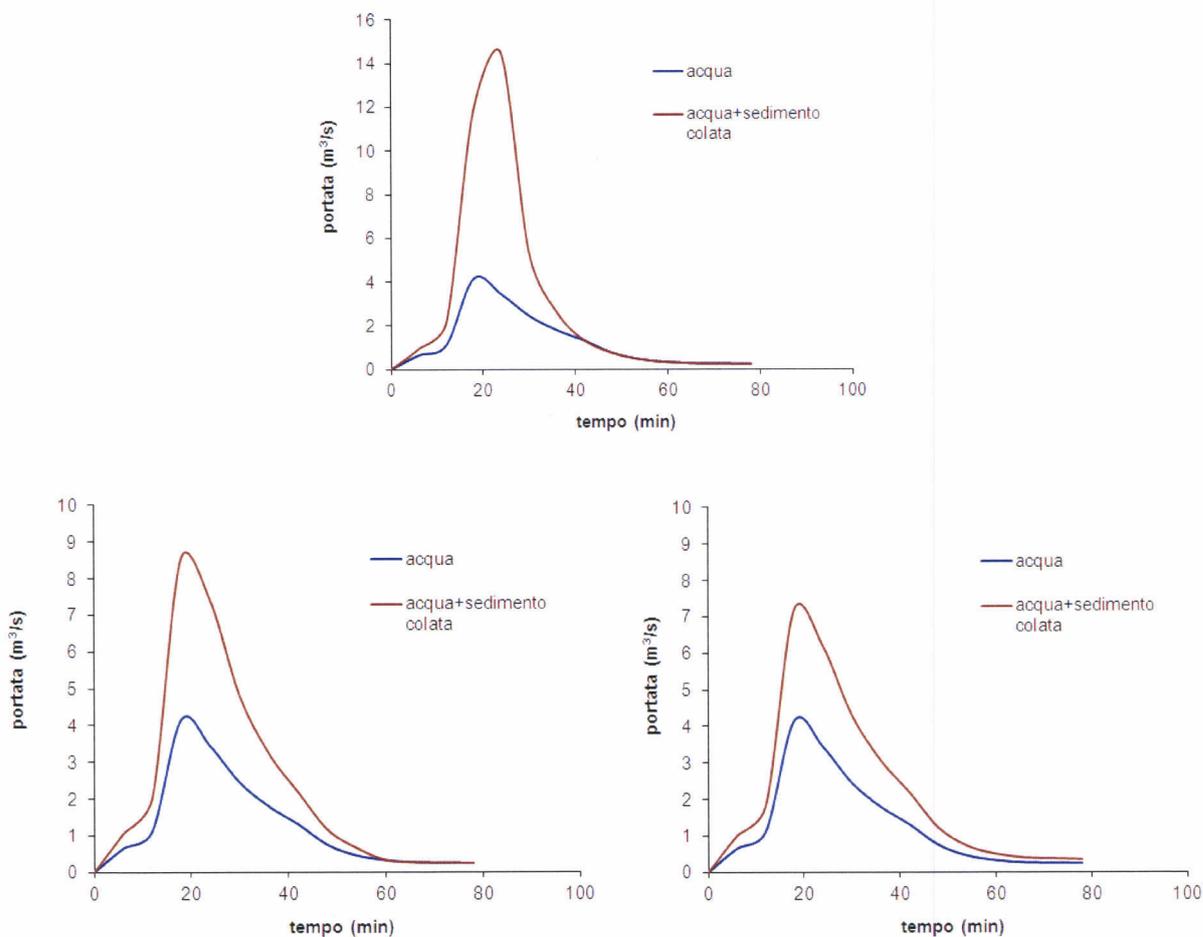
$S$ : pendenza fondo (meglio della linea dell'energia) (m/m)

$\rho_s$ : densità dei sedimenti (2600 – 2700  $kg/m^3$ );

$\rho$ : densità dell'acqua

$B$ : larghezza del letto (m);  $p$ : densità dell'acqua (1000  $kg/m^3$ );

Nel seguito si riportano i debrisgrammi da colata calcolati con metodo idrologico con riferimento ad un tempo di ritorno dell'evento di piena di 200 anni.



**Figura 12 – Debrisgrammi calcolati per l'evento caratterizzato da TR200 anni utilizzando per il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio la formula di Takahashi (in alto) Ou-Mizuyama (in basso a sinistra) e quella di Marchi-D'Agostino (in basso a destra).**

Il debrisgramma ottenuto applicando la formula di Takahashi per il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio è caratterizzato da un volume solido di circa 8 500  $m^3$ , il debrisgramma ottenuto applicando la formula di Ou-Mizuyama per il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio è caratterizzato da un volume solido di

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Relazione idrologica – idraulica bacino rio della Chiusa	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 02 01 001	REV. A

circa 6 200 m<sup>3</sup>, mentre il debrisgramma ottenuto applicando la formula di D'Agostino-Marchi per il calcolo della concentrazione volumetrica di equilibrio è caratterizzato da un volume solido di circa 4 300 m<sup>3</sup>.

### 5.3 Modello dell'analogia

Basandosi sulla documentazione degli eventi accaduti in seguito al temporale del 1998 nella zona di Fortezza – Mules, è stato calcolato il carico di materiale solido per unità di superficie. Il carico calcolato per unità di superficie è stato quindi applicato al bacino idrografico del Rio della Chiusa.

Il carico per unità di superficie desunto dai volumi rilevati dall'Ufficio sistemazioni bacini montani nel 1998 è risultato pari a ca. 10 700 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.

### 5.4 Risultati

Dal punto di vista idraulico, il processo ritenuto determinante per il dimensionamento delle opere di difesa rilevanti ai fini progettuali è rappresentato dalla colata detritica.

Per determinare il volume solido della colata detritica sono stati applicati diversi metodi (formule empiriche, metodo idrologico, modello dell'analogia): per l'evento di progetto, caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni, si è scelto quale volume solido della colata di riferimento il valore di **8 500 m<sup>3</sup>** ottenuto mediante applicazione della formula di Takahashi (metodo idrologico). Tale idrogramma presenta una portata al colmo (liquido+solido) di **14.5 m<sup>3</sup>/s**.

Un evento di colata detritica, caratterizzato da tale volume di materiale, determina il pericolo di un'ostruzione degli attraversamenti esistenti (superfici trasversali libere minime nella zona del ponte autostradale; superfici trasversali libere molto ridotte nella zona della pista ciclabile e del ponte della Strada Statale), con conseguente alluvionamento da colata detritica della linea ferroviaria a quota 744.8 m s.m.m.

Si rende pertanto necessaria la realizzazione di un'opera di difesa dagli eventi di colata detritica.