

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

VIABILITÀ ALBES – GARDENA NORD

Relazione idrologica – idraulica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IB1L 10 D 11 RI ID0402 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	M.Coccatto	Marzo 2013	A. Tortora	Marzo 2013	C. Marzocchi	Marzo 2013	F. Sacchi Marzo 2013



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	2 di 42

INDICE


1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE	6
3	ANALISI IDROLOGICA	7
3.1	RIO EORES (B340).....	7
3.2	RIO DELLE LUMACHE (B325)	13
3.3	CORSO D’ACQUA B310	17
4	ANALISI IDRAULICA	22
4.1.1	<i>Taratura dei modelli</i>	22
4.2	RIO EORES (B340).....	23
4.2.1	<i>Geometria del modello</i>	23
4.2.2	<i>Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza</i>	24
4.2.3	<i>Risultati</i>	24
4.3	RIO DELLE LUMACHE (B325)	26
4.3.1	<i>Geometria del modello</i>	26
4.3.2	<i>Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza</i>	26
4.3.3	<i>Risultati</i>	27
4.4	CORSO D’ACQUA B310	28
4.4.1	<i>Geometria del modello</i>	28
4.4.2	<i>Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza</i>	29
4.4.3	<i>Risultati</i>	29
4.5	CORSI D’ACQUA MINORI	30
	APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS	34
	APPENDICE B – RISULTATI DEL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS	42



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	3 di 42

	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

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".

La presente relazione riporta le valutazioni idrologiche e idrauliche relative alle interferenze sui corsi d'acqua dovute alla viabilità di cantiere di progetto prevista tra Albes e Fermata di Funes, per permettere ai mezzi di cantiere di raggiungere l'imbocco della galleria Gardena Nord.

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...

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.



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	5 di 42

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'innescò 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;*

e per i tombini invece non determinino:

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

2 INQUADRAMENTO GENERALE

I cinque corsi d'acqua interferenti con la viabilità in progetto studiati sono affluenti di sinistra del fiume Isarco; essi sottendono bacini di dimensioni diverse, il più grande, il rio Eores, ha un bacino con estensione di 31.08 km², mentre il più piccolo ha sottobacino di 6 ha circa. I bacini sono identificati di seguito come: B340 (Rio Eores), B325 (Rio delle Lumache), B310, Sottobacino 1 (immediatamente a nord del B310) e Sottobacino 2 (tra il precedente e il B325).

La Figura 1 riporta un inquadramento dei sottobacini: la perimetrazione dei sottobacini B340, B325, B310 è quella effettuata dalla Provincia di Bolzano, mentre i sottobacini 1 e 2, di dimensioni inferiori, sono stati perimetrati mediante una procedura sviluppata in ambiente GIS. In particolare, a partire dall'informazione topografica del DEM (Digital Elevation Model - modello digitale di elevazione) della Provincia di Bolzano caratterizzato da celle di lato 2.5m:

- il software elimina le depressioni morfologiche,
- calcola la direzione di flusso per ciascuna cella,
- dal dem risultante calcola la quantità di flusso che giunge in ciascuna cella,
- delimita il bacino nel punto indicato come sezione di chiusura.

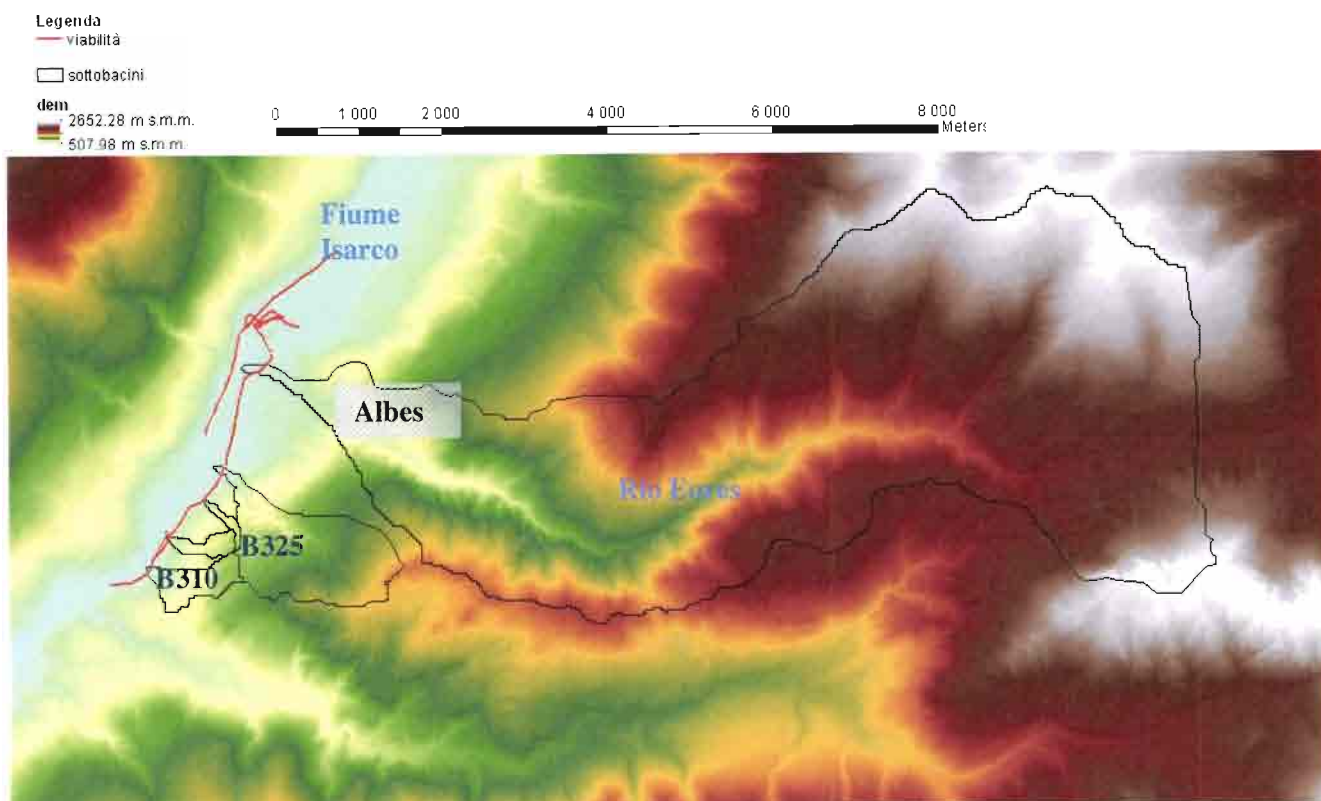


Figura 1 – Inquadramento dei sottobacini studiati.

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Rio Eores (B340)

Il Rio Eores, avente un bacino idrografico di 31.08 km², è un affluente sinistro dell'Isarco e vi confluisce in prossimità del centro abitato di Albes. Il bacino imbrifero, caratterizzato da una pendenza media pari al 25% presenta esposizione a sud ed è ricoperto prevalentemente da aree boscate. La seguente tabella riporta i parametri morfometrici del bacino, mentre 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

Area (Km ²)	31.08
Quota minima (m)	551.4
Quota massima (m)	2635.5
Quota media (m)	1679.5
Pendenza minima (%)	0.28
Pendenza massima (%)	75.14
Pendenza media (%)	25.43
Esposizione prevalente	S
Coefficiente di Gravelius	2.06
Indice di circolarità	0.24

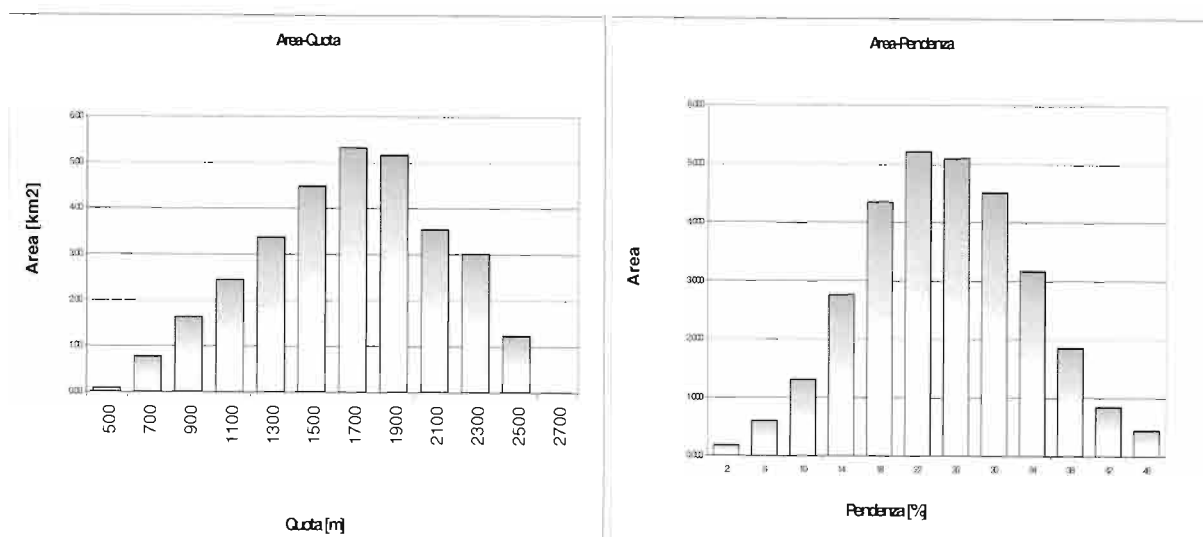


Figura 2 – Istogrammi.

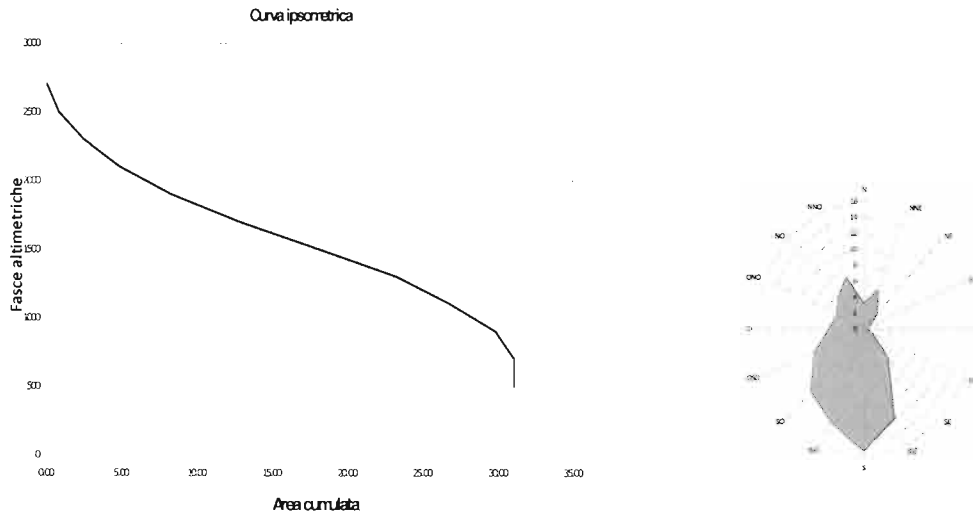


Figura 3 – Curva ipsometrica (a sinistra) ed esposizione (a destra).

Si riportano di seguito i parametri della linea di possibilità pluviometrica del bacino del Rio Eores, ricavati nell'ambito dello studio di bacino condotto dalla Provincia di Bolzano (e riportati nella relazione idrologica IBL110D11RIID0001001 A) ed il grafico relativo.

a									n	
Tempo di Ritorno									Durata Precipitazione	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
18.8	26	30.9	35.5	38.1	41.4	45.9	50.4	53	0.37	0.27

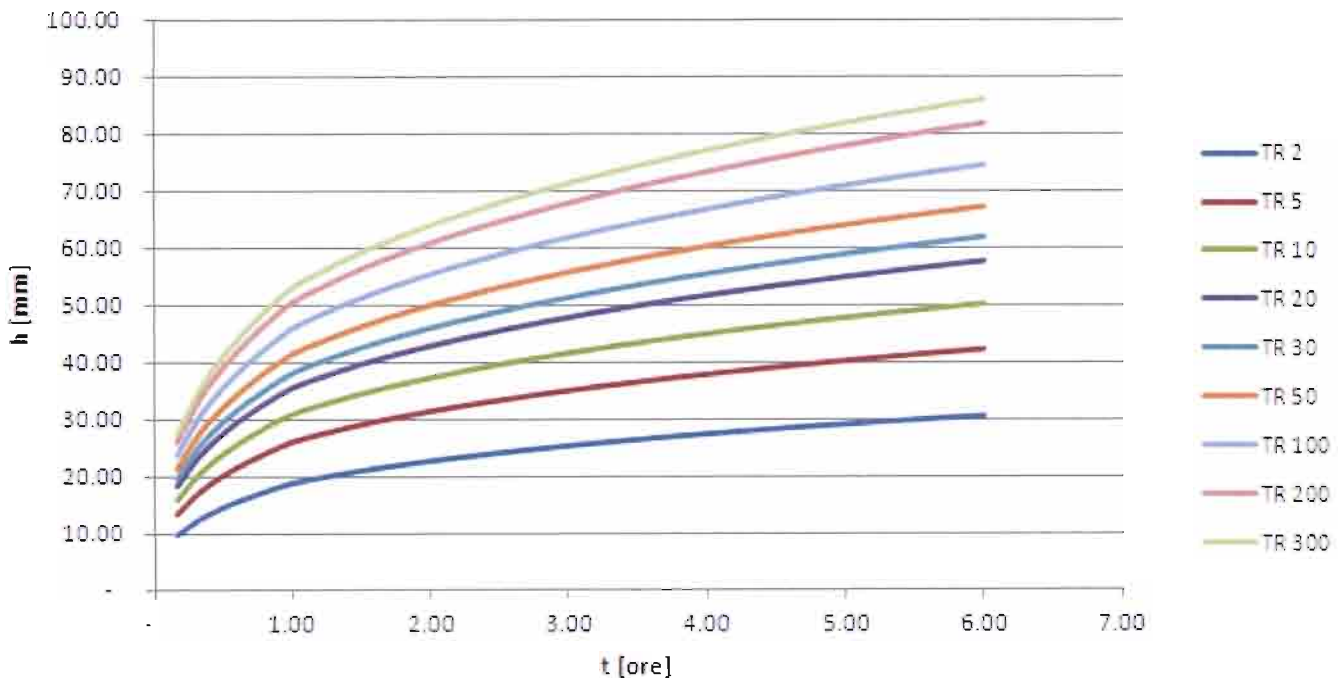



Figura 4 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

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	$T_c = (4\sqrt{A} + 1,5L)/[0,8\sqrt{Hm}]$	72 min
Ferro I	$T_c = 0,022(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	69 min
Pezzoli	$T_c = 0,055(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	41 min
SCS	$T_c = \{0,342(i_b^{-0,5})(L^{0,8})[(1000/CN) - 9]^{0,7}\}/0,6$	157 min
	media	85 min
	tempo di corrivazione adottato	85 min

dove: A superficie del bacino (in km²), L lunghezza del collettore principale prolungato allo spartiacque (in km), Lc lunghezza effettiva del collettore principale (in m), i_c pendenza effettiva media del collettore principale (in m/m), i_b pendenza media del bacino (in %), Hm altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura (in m).

Considerando una durata di pioggia critica pari a 180 minuti (circa 2 volte il tempo di corrivazione), si ottiene per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni un'altezza di pioggia lorda pari a 67.8 mm.

	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	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	10 di 42

Per definire lo ietogramma di progetto, tra le diverse distribuzioni disponibili, si è scelto lo ietogramma a intensità costante, in analogia anche agli studi già effettuati dalla Provincia di Bolzano.

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 al 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) e all'idrogramma unitario del 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.

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 .

In base ai dati di uso del suolo e geologici del bacino in esame, è stata effettuata la mappatura del CN, il cui valore medio è risultato pari a 69. La determinazione della pioggia efficace, nel caso in esame, ha considerato le condizioni più critiche del suolo AMC(III), pertanto il valore di riferimento del Curve Number, calcolato mediante la relazione

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{(10 + 0.13CN(II))}$$

è risultato pari a 84.

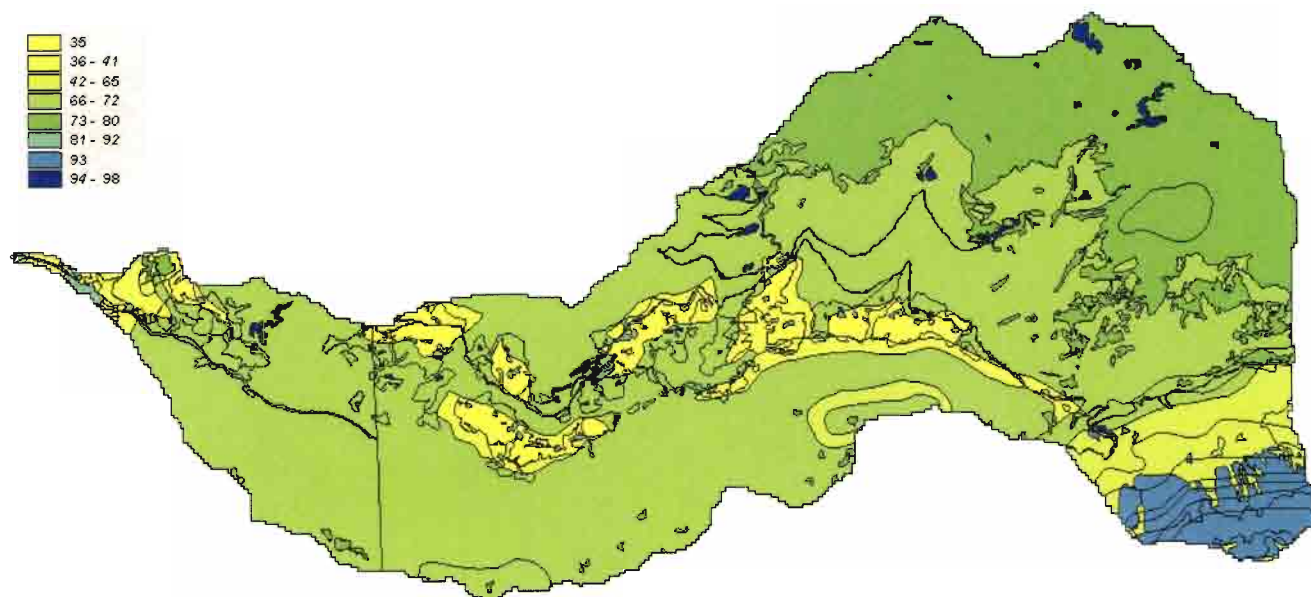


Figura 5 – Mappa del CN del bacino del rio Eores.

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.

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.



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	12 di 42

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 corrvazione) 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:

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

La Figura 6 riporta gli idrogrammi calcolati per i diversi tempi di ritorno. La portata caratterizzata da TR 200 anni è pari a **66.2 m³/s**.

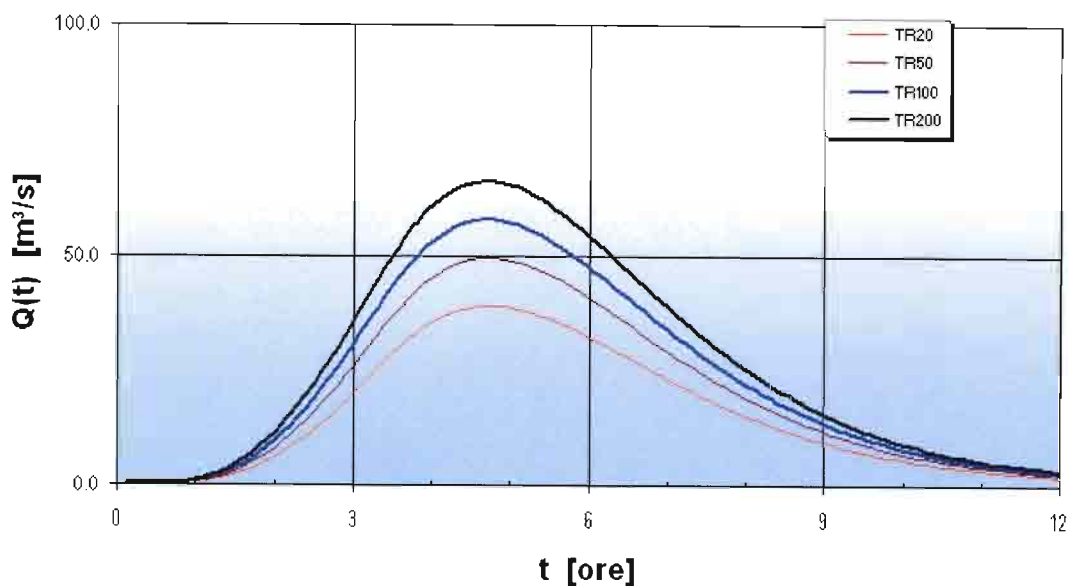


Figura 6 – Idrogrammi di progetto per i differenti tempi di ritorno.

3.2 Rio delle Lumache (B325)

Il Rio delle Lumache, avente un bacino idrografico di 1.98 km² situato a sud dell’abitato di Albes, è un affluente sinistro dell’Isarco. Il bacino imbrifero, caratterizzato da una pendenza media del 22% è ricoperto prevalentemente da aree boscate e seminativi. La seguente tabella riporta i parametri morfometrici del bacino, mentre le figure successive riportano invece gli istogrammi (area-quota, area-pendenza), la curva ipsometrica e l’esposizione dei versanti del bacino.

Tabella 2 – Parametri morfometrici del bacino

Area (Km ²)	1.98
Quota minima (m)	548.66
Quota massima (m)	1432.81
Quota media (m)	1045.92
Pendenza minima (%)	1.23
Pendenza massima (%)	59.19
Pendenza media (%)	22.14
Coefficiente di Gravelius	1.71
Esposizione prevalente	Nord Ovest
Indice di circolarità	0.34

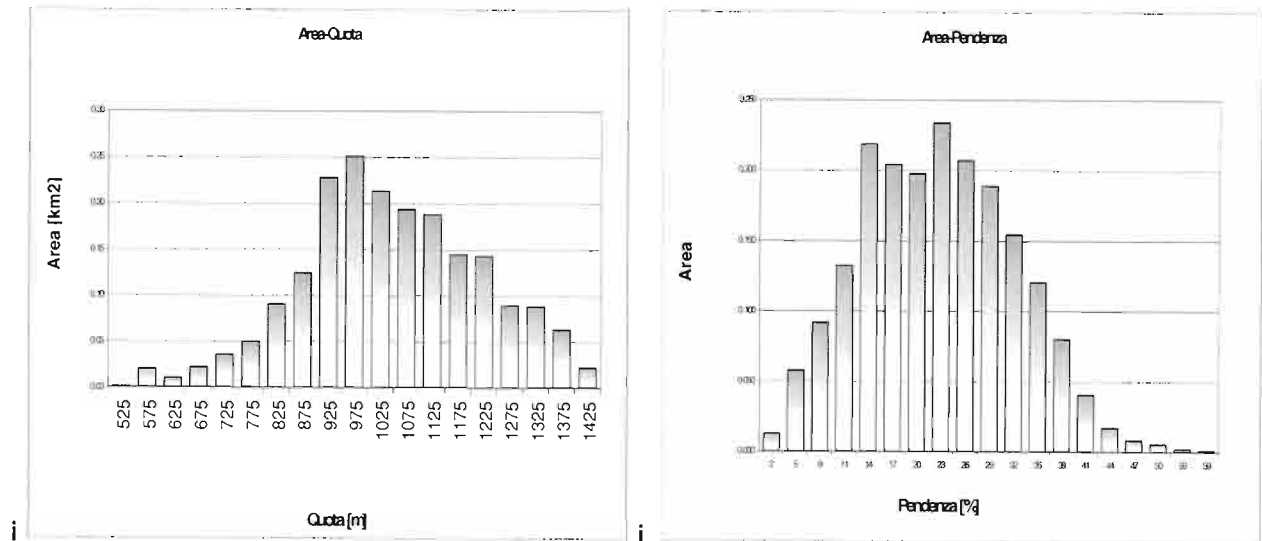


Figura 7 – Istogrammi.

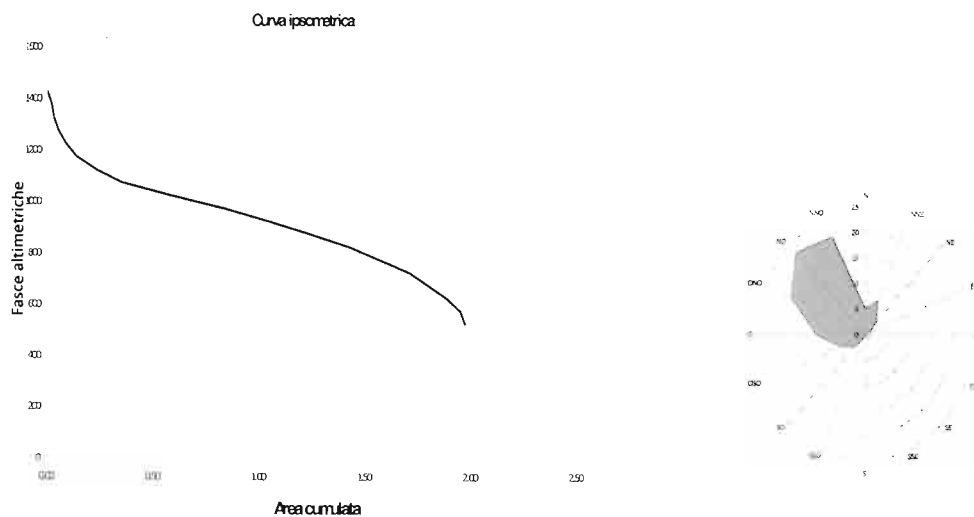


Figura 8 – Curva ipsometrica (a sinistra) ed esposizione (a destra).

Si riportano di seguito i parametri della linea di possibilità pluviometrica del bacino del Rio delle Lumache, ricavati nell'ambito dello studio di bacino condotto dalla Provincia di Bolzano (e riportati nella relazione idrologica IBL110D11RUID0001001 A) ed il grafico relativo.

a									n	
Tempo di Ritorno									Durata Precipitazione	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
23.2	31.6	37.2	42.5	45.6	49.4	54.6	59.7	62.7	0.37	0.27

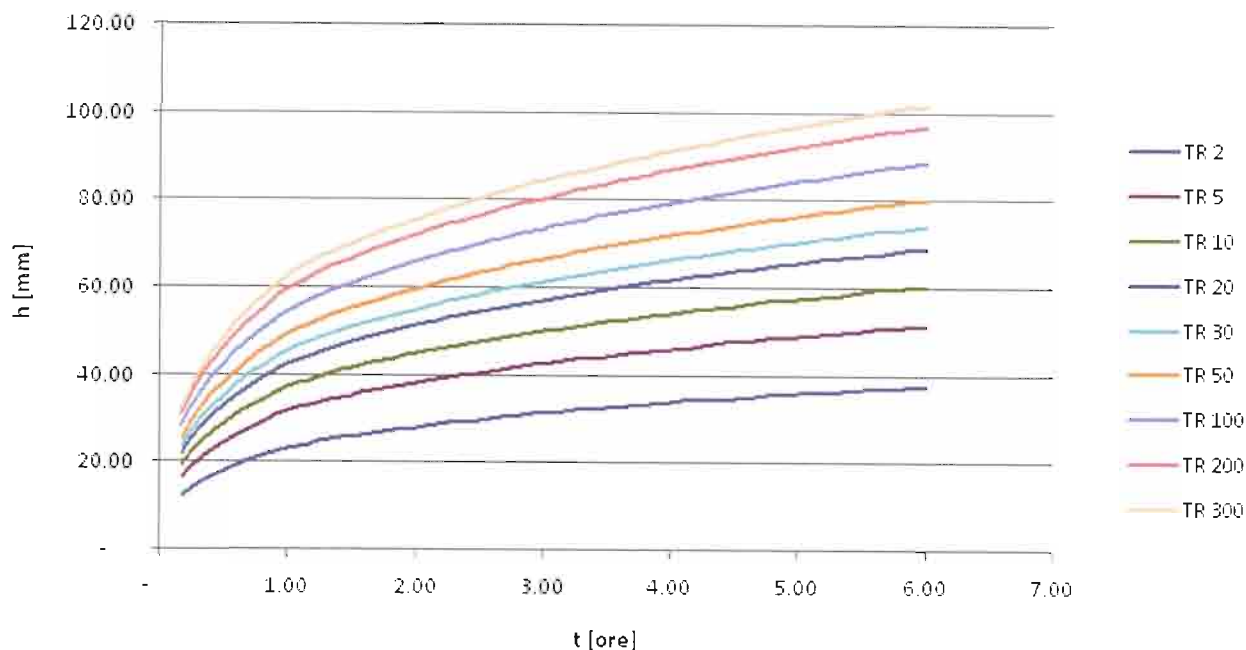


Figura 9 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

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	$T_c = (4\sqrt{A} + 1,5L)/[0,8\sqrt{Hm}]$	24 min
Ferro 1	$T_c = 0,022(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	19 min
Pezzoli	$T_c = 0,055(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	12 min
SCS	$T_c = \{0,342(i_b^{-0,5})(L^{0,8})[(1000/CN) - 9]^{0,7}\}/0,6$	65 min
	media	30 min
	tempo di corrivazione adottato (media esclusa formula SCS)	18 min

dove: A superficie del bacino (in km²), L lunghezza del collettore principale prolungato allo spartiacque (in km), Lc lunghezza effettiva del collettore principale (in m), i_c pendenza effettiva media del collettore principale (in m/m), i_b pendenza media del bacino (in %), Hm altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura (in m).

Considerando una durata di pioggia critica pari a 30 minuti (circa 2 volte il tempo di corrivazione), si ottiene per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni un'altezza di pioggia lorda pari a 46.2 mm.

Per definire lo ietogramma di progetto, tra le diverse distribuzioni disponibili, si è scelto lo ietogramma a intensità costante, in analogia anche agli studi già effettuati dalla Provincia di Bolzano.

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 al 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) e all'idrogramma unitario del 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.

In base ai dati di uso del suolo e geologici del bacino in esame, è stata effettuata la mappatura del CN, il cui valore medio è risultato pari a 61. La determinazione della pioggia efficace, nel caso in esame, ha considerato le condizioni più critiche del suolo AMC(III), pertanto il valore di riferimento del Curve Number, calcolato mediante la relazione

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{(10 + 0.13CN(II))}$$

è risultato pari a 79.

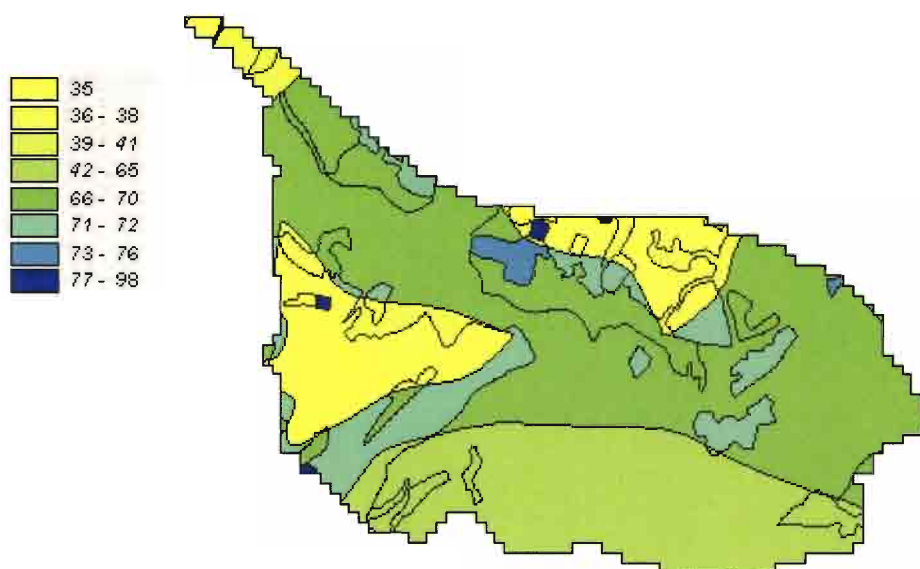


Figura 10 – Mappa del CN del bacino del rio delle Lumache.

La Figura 6 riporta gli idrogrammi calcolati per i diversi tempi di ritorno. La portata caratterizzata da TR 200 anni è pari a **3.1 m³/s.**

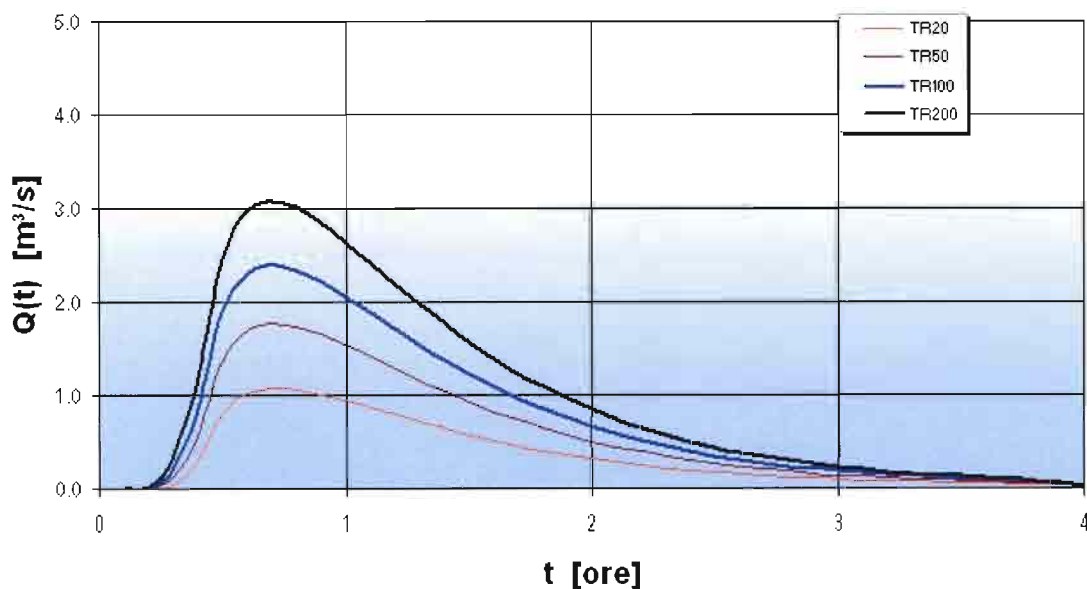


Figura 11 – Idrogrammi di progetto per i differenti tempi di ritorno.

I risultati dello studio idraulico del corso d'acqua effettuato dalla Provincia di Bolzano, che porta a definire una portata centennale di 2.25 m³/s del tutto paragonabile con i risultati ottenuti (portata centennale ricavata nell'ambito del presente studio pari a 2.4 m³/s) hanno evidenziato una notevole capacità di trasporto solido ordinario del corso d'acqua, a fronte di una disponibilità di materiale, caratterizzata da una concentrazione massima pari a 44%; pertanto nel presente studio si considererà una portata di progetto duecentennale pari a **4.5 m³/s**, che tiene conto della portata liquida e della portata solida.

3.3 Corso d'acqua B310

Il corso d'acqua in esame, affluente sinistro dell'Isarco, ha un un bacino idrografico di 0.4 km² ed è situato circa 2.6 km in linea d'aria a sud dell'abitato di Albes. Il bacino imbrifero, caratterizzato da una pendenza media del 19.5% è ricoperto prevalentemente da aree boscate e seminativo. La seguente tabella riporta i parametri morfometrici del bacino, mentre le figure successive riportano invece gli istogrammi (area-quota, area-pendenza), la curva ipsometrica e l'esposizione dei versanti del bacino.

Tabella 3 – Parametri morfometrici del bacino

Area (Km ²)	0.4
Quota minima (m)	545.72
Quota massima (m)	950.64
Quota media (m)	803.49
Pendenza minima (%)	0.28
Pendenza massima (%)	35.11
Pendenza media (%)	19.50

Coefficiente di Gravelius	1.72
Esposizione prevalente	Ovest Nord Ovest
Indice di circolarità	0.34

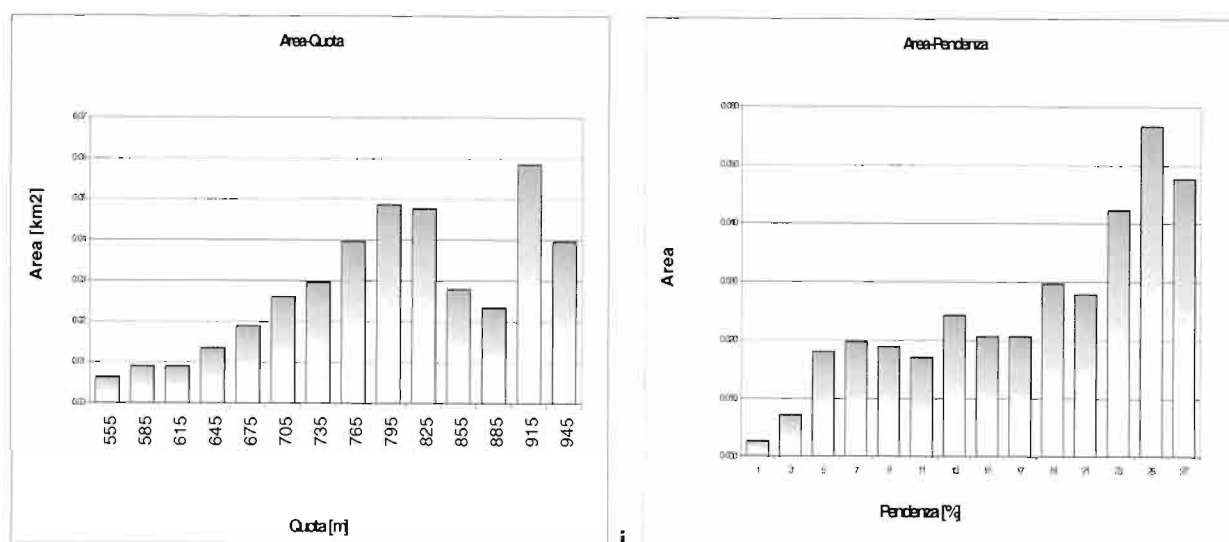


Figura 12 – Istogrammi.

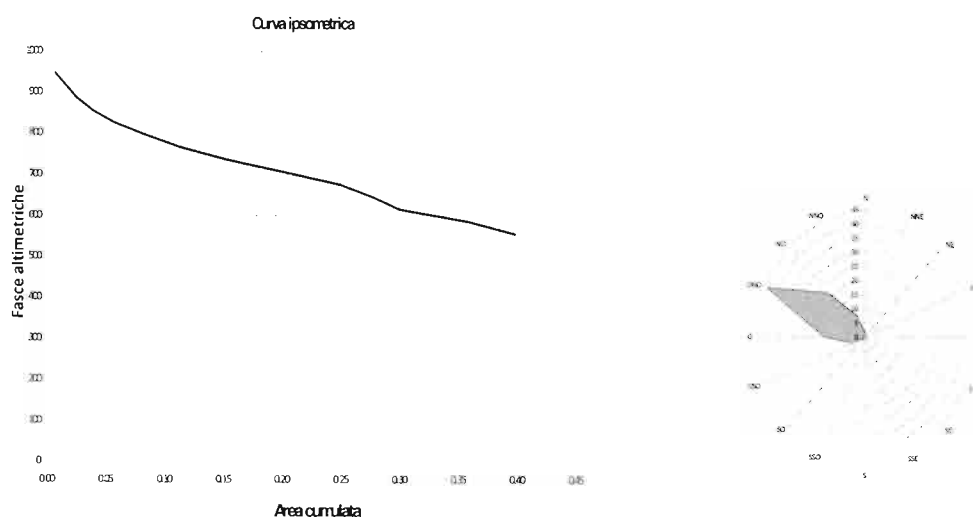


Figura 13 – Curva ipsometrica (a sinistra) ed esposizione (a destra).

Si riportano di seguito i parametri della linea di possibilità pluviometrica del bacino, ricavati nell'ambito dello studio di bacino condotto dalla Provincia di Bolzano (e riportati nella relazione idrologica IBL110D11RIID0001001 A) ed il grafico relativo.

a									n	
Tempo di Ritorno									Durata Precipitazione	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
24.1	33.4	39.5	45.4	48.8	53.0	58.7	64.4	67.7	0.37	0.27

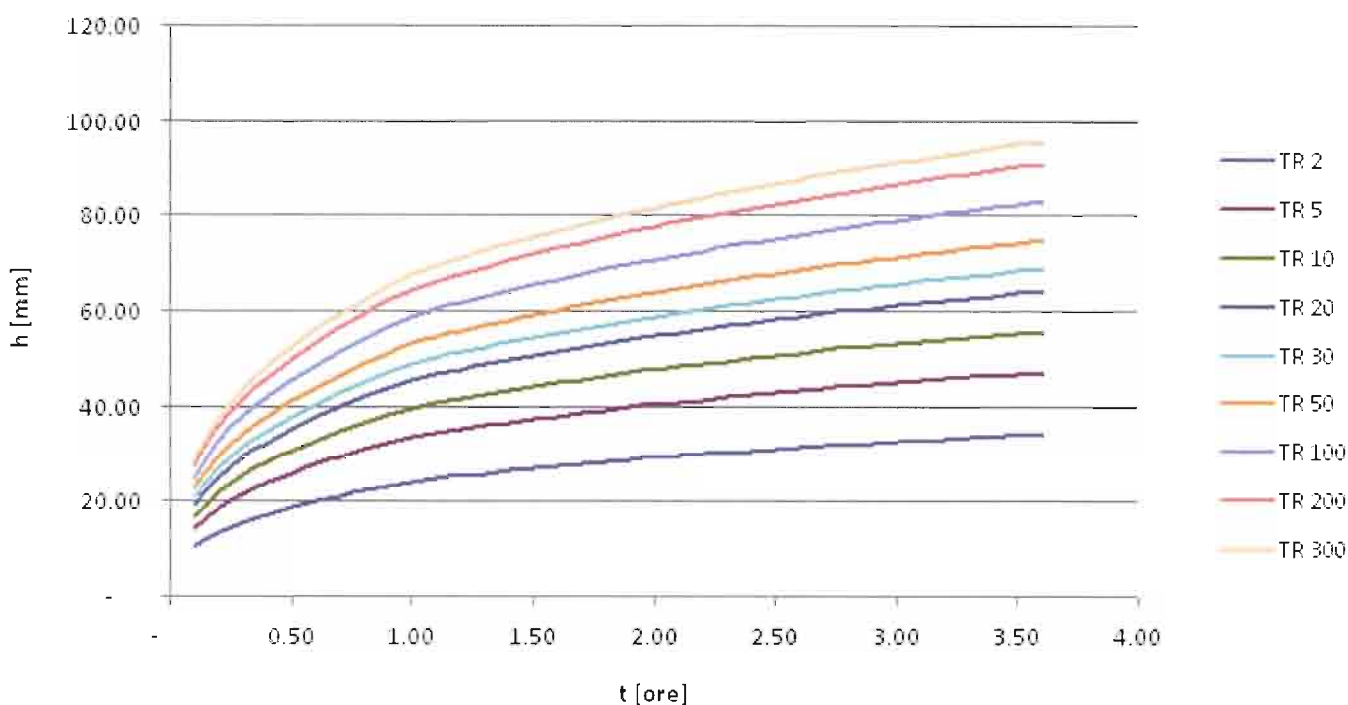


Figura 14 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

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 $T_c = (4\sqrt{A} + 1,5L)/[0,8\sqrt{Hm}]$	10 min
Ferro I $T_c = 0,022(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	5 min
Pezzoli $T_c = 0,055(Lc/\sqrt{i_c})^{0,8}$	3 min
SCS $T_c = \{0,342(i_b^{-0,5})(L^{0,8})[(1000/CN) - 9]^{0,7}\}/0,6$	16 min
media	9 min
tempo di corrivazione adottato (media esclusa formula SCS)	10 min

dove: A superficie del bacino (in km²), L lunghezza del collettore principale prolungato allo spartiacque (in km), Lc lunghezza effettiva del collettore principale (in m), i_c pendenza effettiva media del collettore principale (in m/m), i_b pendenza media del bacino (in %), Hm altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura (in m).

Considerando una durata di pioggia critica pari a 30 minuti (circa 3 volte il tempo di corrivazione), si ottiene per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni un'altezza di pioggia lorda pari a 49.8 mm.

Per definire lo ietogramma di progetto, tra le diverse distribuzioni disponibili, si è scelto lo ietogramma a intensità costante, in analogia anche agli studi già effettuati dalla Provincia di Bolzano.

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 al 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) e all'idrogramma unitario del 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.

In base ai dati di uso del suolo e geologici del bacino in esame, è stata effettuata la mappatura del CN, il cui valore medio è risultato pari a 69. La determinazione della pioggia efficace, nel caso in esame, ha considerato le condizioni più critiche del suolo AMC(III), pertanto il valore di riferimento del Curve Number, calcolato mediante la relazione

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{(10 + 0.13CN(II))}$$

è risultato pari a 86.

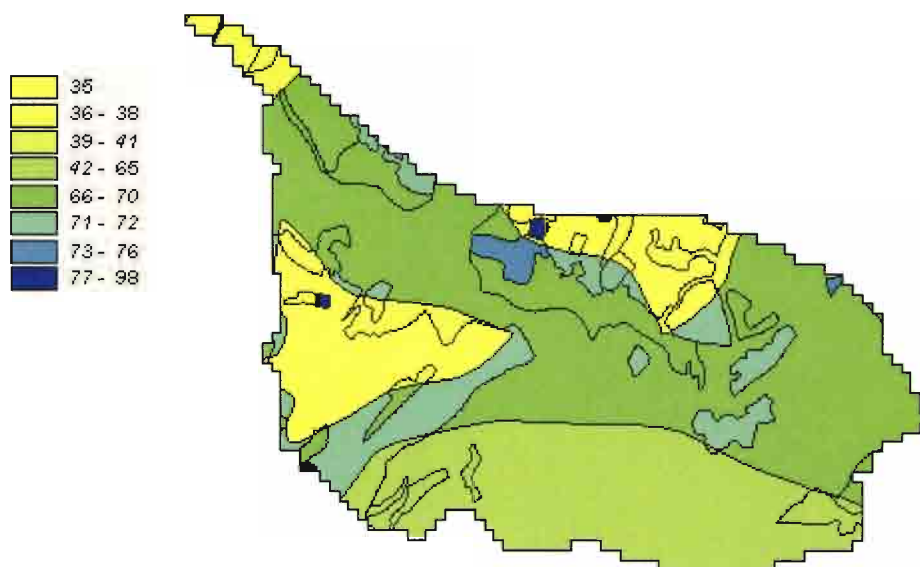


Figura 15 – Mappa del CN del bacino del rio delle Lumache.

La Figura 6 riporta gli idrogrammi calcolati per i diversi tempi di ritorno. La portata caratterizzata da TR 200 anni è pari a **2.03 m³/s**.

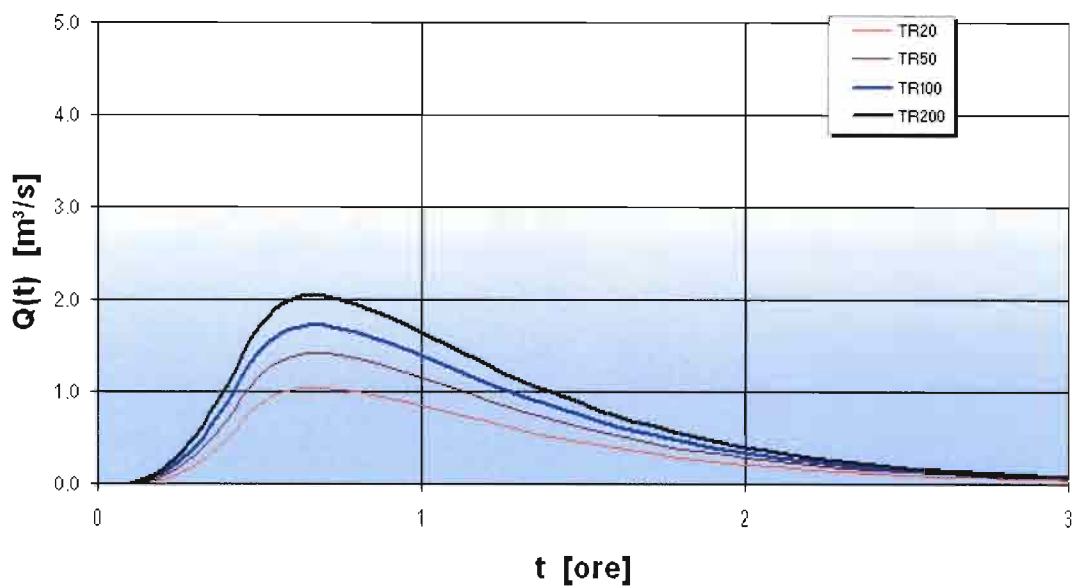


Figura 16 – Idrogrammi di progetto per i differenti tempi di ritorno.



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	22 di 42

4 ANALISI IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state effettuate mediante implementazione del modello in *HEC-RAS RIVER ANALYSYS SYSTEM (versione 4.0 del marzo 2008)*, un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce una adeguata rappresentazione del fenomeno, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, descritto in Appendice A.

4.1.1 Taratura dei modelli

Come per ogni modello matematico, anche nel caso del modello monodimensionale HEC-RAS la taratura ricopre un aspetto particolarmente delicato.

Il modello dovrebbe cioè essere tarato e validato prima di essere usato a scopo revisionale. In questo caso la taratura del modello numerico consiste nella valutazione dei coefficienti di scabrezza da adottare nelle differenti sezioni.

Tale operazione è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

I dati di letteratura per le diverse condizioni ambientali sono fornite dalla Tabella 4. Occorre tener presente che questi valori sono comunque suscettibili di modificazioni per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

- perdite localizzate prodotte dall'interazione della corrente con irregolarità geometriche come presenza di ostacoli di vario genere, espansioni brusche, incisioni nelle golene, brusche variazioni di larghezza;
- perdite energetiche dovute alla modificazione del fondo dell'alveo, alla risospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

Si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino moderatamente a favore di sicurezza.

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico ≤ 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corse d'acqua di pianura	
<ul style="list-style-type: none"> alvei con fondo compatto, senza irregolarità alvei regolari con vegetazione erbacea alvei con diotoli e irregolarità modeste alvei fortemente irregolari 	45-40 30-35 25-30 25-15
Torrenti montani	
<ul style="list-style-type: none"> fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi alveo in roccia regolare fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi alveo in roccia irregolare 	30-25 30-25 20-15 25-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico ≥ 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
<ul style="list-style-type: none"> sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debile copertura erbosa sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea 	45-40 35 25-30 20-25
AREE GOLENALI (Raggio idraulico ≤ 1 m)	
<ul style="list-style-type: none"> a pascolo, senza vegetazione arbustiva coltivate con vegetazione arbustiva spontanea con vegetazione arborea coltivata 	40-20 50-20 25-10 30-20
Alveo artificiale in terra	
<ul style="list-style-type: none"> materiale compatto, liscio sabbia compatta, con argilla o pietrisco sabbia e ghiaia, scarpate lisciate ghiaietto 10-30 mm ghiaia media 25-60 mm ghiaia grossa 50-150 mm limo in zolle grosse pietre sabbia, limo o ghiaia, con forte rivestimento vegetale 	60 50 50-45 45 40 35 30 30-25 25-20
Alveo artificiale in roccia	
<ul style="list-style-type: none"> con lavorazione accurata con lavorazione media con lavorazione grossolana 	30-25 25-20 20-15
Alveo artificiale in muratura	
<ul style="list-style-type: none"> muratura in pietra da taglio muratura accurata in pietra da cava muratura normale in pietra da cava pietre grossolanamente squadrate scarpate lisciate, fondo in sabbia e ghiaia 	80-70 70 50 50 50-45
Alveo artificiale in calcestruzzo	
<ul style="list-style-type: none"> pavimentazione in cemento calcestruzzo con casseforme metalliche calcestruzzo con ripanaco calcestruzzo ricicco 	100 100-90 95-90 90 90-80


Tabella 4 - Valori di scabrezza secondo la deliberazione n. 2/99, in data 11 maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Po.

4.2 Rio Eores (B340)

4.2.1 Geometria del modello

La geometria implementata nel modello comprende il tratto di corso d'acqua a monte dell'interferenza stradale, per una lunghezza di circa 2 km.

Le sezioni implementate nel modello sono state ricavate dal DEM della Provincia di Bolzano, con cella di lato pari a 2.5 m.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

La pendenza media del corso d'acqua è pari a 8%.

4.2.2 Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza

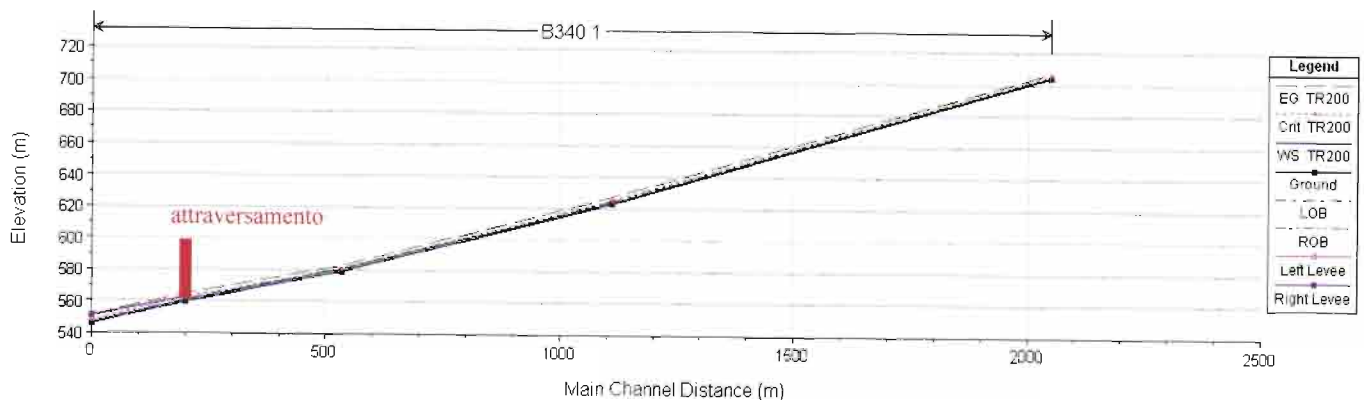
Le simulazioni numeriche sono state condotte in condizione di “mixed flow”. Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezioni di monte, sia su quella di valle. A monte, oltre al valore di portata, è stata imposta la condizioni di moto uniforme nella forma della pendenza della linea dell'energia, considerata pari alla pendenza media del fondo. Medesima condizione al contorno è stata imposta nella sezione di valle.

La portata di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni ha un valore di **66.2 m³/s**.

Il coefficiente di scabrezza secondo Manning impostato per le sezioni idrauliche nelle simulazioni è pari a 0.033 ms^{-1/3} per quanto riguarda l'alveo e 0.035 ms^{-1/3} per le sponde.

4.2.3 Risultati

La Figura 17 riporta i risultati ottenuti in termini di profilo idraulico e in corrispondenza della sezione di valle, immediatamente a monte dell'interferenza stradale, dove la sezione risulta sufficiente a smaltire la portata duecentennale.



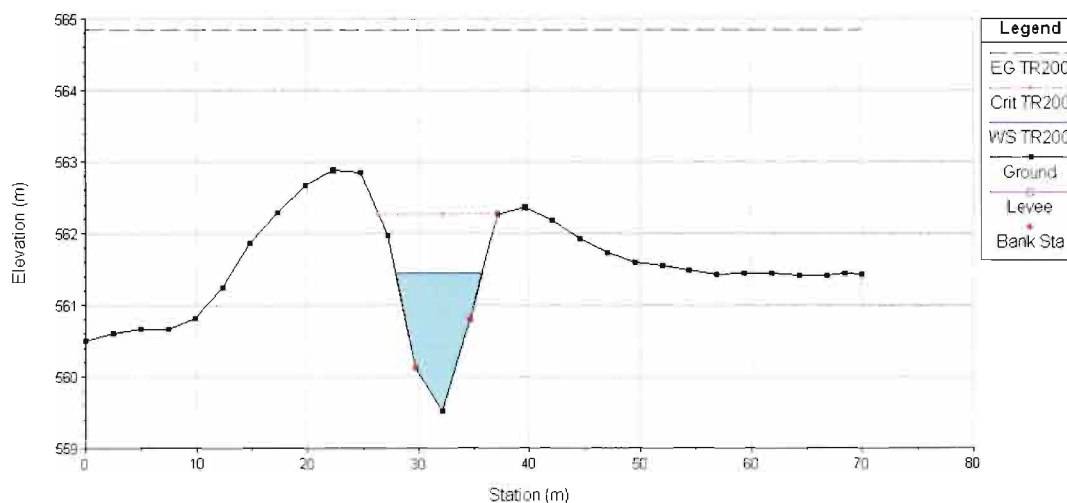


Figura 17 – Profilo idrico e sezione immediatamente a monte dell’interferenza stradale, stato di fatto, TR200 anni

La seguente tabella riporta i risultati ottenuti dall’applicazione del modello idraulico, per la portata duecentennale di 66.2 m³/s.

Progr.	talweg	Livello	Crit W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m/s)	(m ²)	(m)	
2050	703.91	704.8	705.34	706.88	6.4	10.34	18.35	2.72
1110	622.79	623.94	624.75	627.32	8.15	8.13	10.66	2.98
534	579.32	580.34	581	582.75	6.88	9.62	13.14	2.57
200	559.51	561.44	562.26	564.85	8.47	8.68	7.79	2.25
0.1	545.84	546.88	547.83	551.26	9.28	7.16	9.81	3.42

L’opera di attraversamento deve avere le seguenti caratteristiche:

- opera non interferente con l’alveo (no pile);
- larghezza minima 7.8 m;
- quota dell’intradosso ~~6~~2.44 m s.m.m., per garantire 1 metro di franco per la pianat duecentennale (corrispondente ad un’altezza di 2.93 dal fondo alveo).

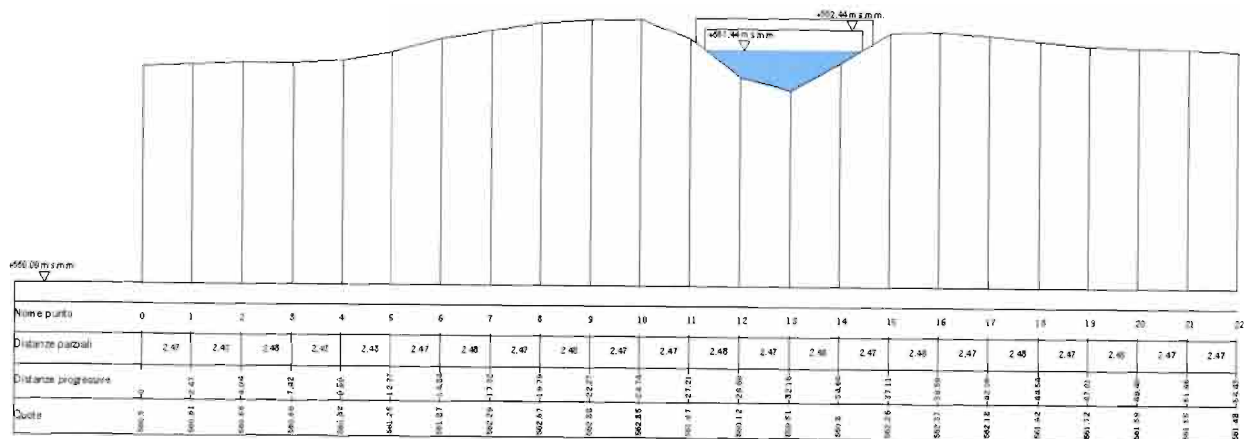


Figura 18 – Sezione trasversale del corso d’acqua con indicazione dell’attraversamento nello stato di progetto

4.3 Rio delle Lumache (B325)

4.3.1 Geometria del modello

La geometria implementata nel modello comprende il tratto di corso d’acqua a monte dell’interferenza stradale, per una lunghezza di circa 520 m.

Le sezioni implementate nel modello sono state ricavate dal DEM della Provincia di Bolzano, con cella di lato pari a 2.5 m.

La pendenza media del corso d’acqua è del 33% nel primo tratto simulato (250 m) e del 10% circa nel secondo tratto.

4.3.2 Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza

Le simulazioni numeriche sono state condotte in condizione di “mixed flow”. Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezioni di monte, sia su quella di valle. A monte, oltre al valore di portata, è stata imposta la condizioni di moto uniforme nella forma della pendenza della linea dell’energia, considerata pari alla pendenza media del fondo. Medesima condizione al contorno è stata imposta nella sezione di valle.

La portata di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni ha un valore di **4.5 m³/s**.

Il coefficiente di scabrezza secondo Manning impostato per le sezioni idrauliche nelle simulazioni è pari a 0.033 ms^{-1/3} per quanto riguarda l’alveo e 0.035 ms^{-1/3} per le sponde.

4.3.3 Risultati

La Figura 17 riporta i risultati ottenuti in termini di profilo idraulico e in corrispondenza della sezione di valle, immediatamente a monte dell'interferenza stradale, dove la sezione risulta sufficiente a smaltire la portata duecentennale.

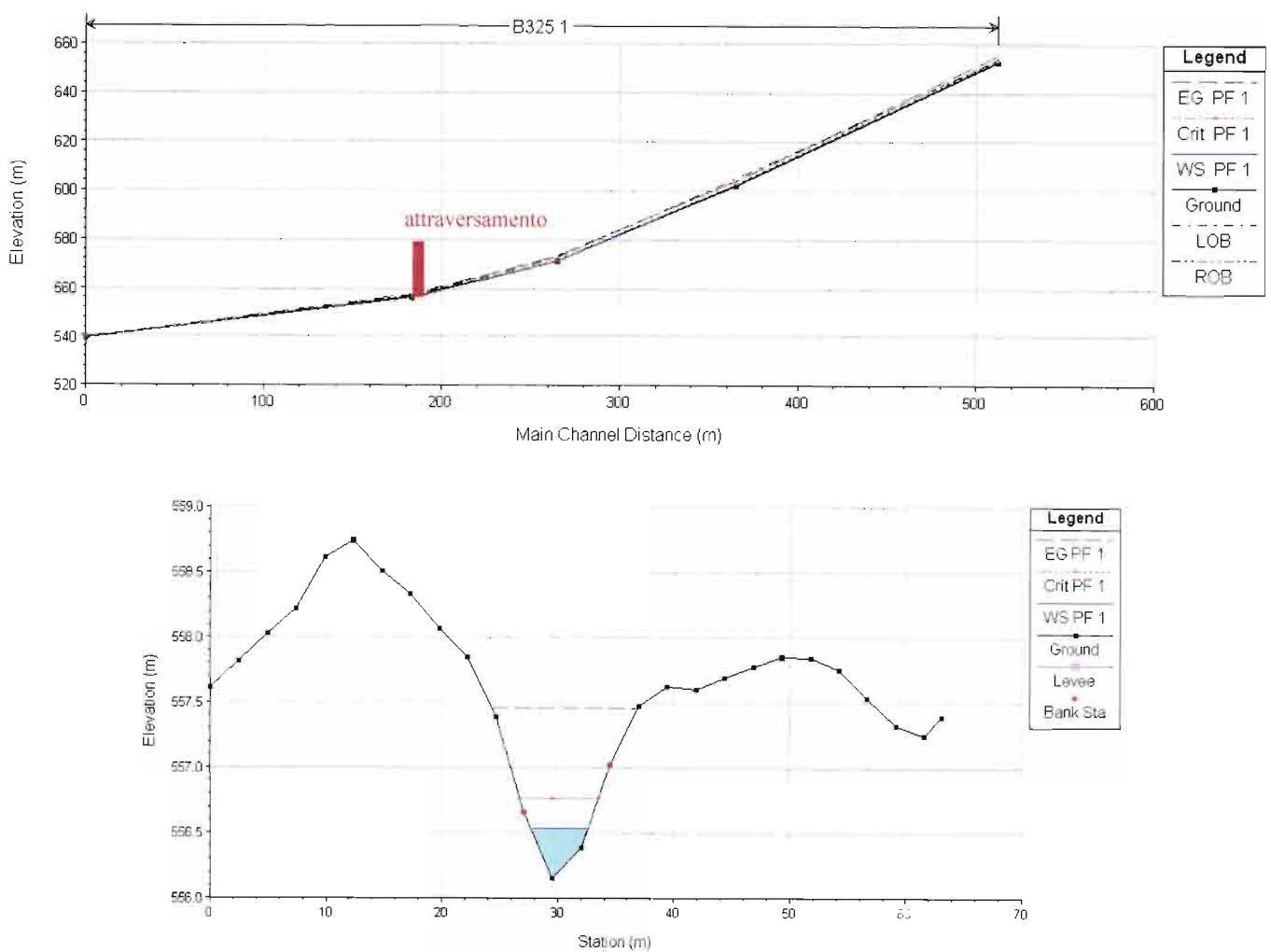


Figura 19 – Profilo idrico e sezione immediatamente a monte dell'interferenza stradale, stato di fatto, TR200 anni

La seguente tabella riporta i risultati ottenuti dall'applicazione del modello idraulico, per la portata duecentennale di 4.5 m³/s (portata liquida + trasporto solido ordinario).

Progr.	talweg	Livello	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
512	652.83	653.21	653.55	655.39	0.35	6.54	0.69	3.50	4.71
365	602.09	602.37	602.65	604.09	0.32	5.81	0.77	4.47	4.46
265	571.04	571.42	571.74	573.30	0.31	6.08	0.74	3.89	4.45
183	556.15	556.54	556.77	557.46	0.13	4.25	1.06	4.90	2.91
0	539.04	539.36	539.52	539.88	0.07	3.18	1.41	6.76	2.22

L'opera di attraversamento deve avere le seguenti caratteristiche:

- opera non interferente con l'alveo (no pile);
- larghezza minima 5.0 m;
- quota dell'intradosso 557.54 m s.m.m., per garantire 1 metro di franco per la piana duecentennale (corrispondente ad un'altezza di 1.5m dal fondo alveo).

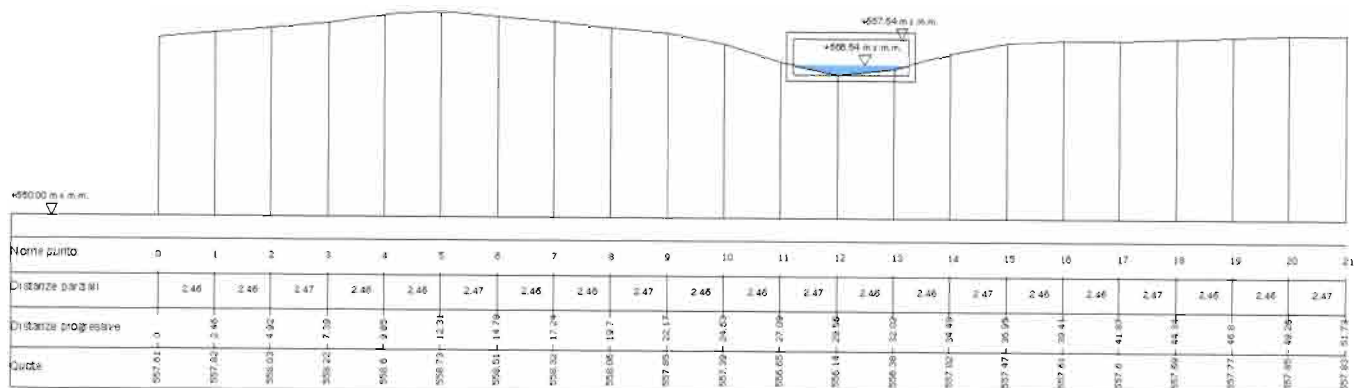


Figura 20 – Sezione trasversale del corso d'acqua con indicazione dell'attraversamento nello stato di progetto

4.4 Corso d'acqua B310

4.4.1 Geometria del modello

La geometria implementata nel modello comprende il tratto di corso d'acqua a monte dell'interferenza stradale, per una lunghezza di circa 310 m.

Le sezioni implementate nel modello sono state ricavate dal DEM della Provincia di Bolzano, con cella di lato pari a 2.5 m.

La pendenza media del corso d'acqua nel tratto simulato è del 42%.

4.4.2 Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza

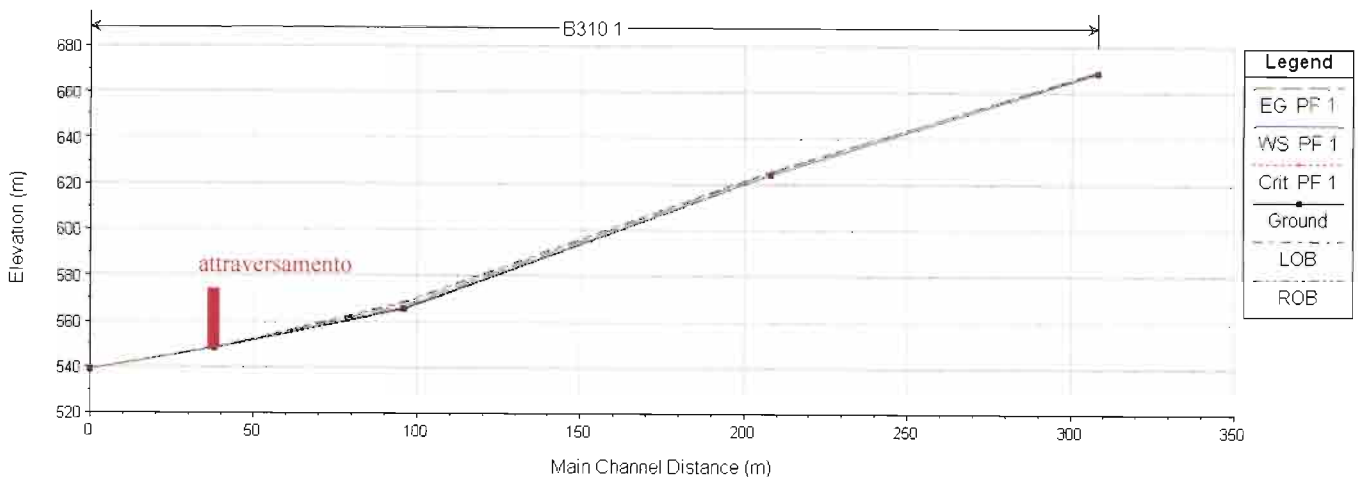
Le simulazioni numeriche sono state condotte in condizione di “mixed flow”. Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezioni di monte, sia su quella di valle. A monte, oltre al valore di portata, è stata imposta la condizioni di moto uniforme nella forma della pendenza della linea dell’energia, considerata pari alla pendenza media del fondo. Medesima condizione al contorno è stata imposta nella sezione di valle.

La portata di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni ha un valore di **2.0 m³/s**.

Il coefficiente di scabrezza secondo Manning impostato per le sezioni idrauliche nelle simulazioni è pari a 0.033 ms^{-1/3} per quanto riguarda l’alveo e 0.035 ms^{-1/3} per le sponde.

4.4.3 Risultati

La Figura 17 riporta i risultati ottenuti in termini di profilo idraulico e in corrispondenza della sezione di valle, immediatamente a monte dell’interferenza stradale, dove la sezione risulta sufficiente a smaltire la portata duecentennale.



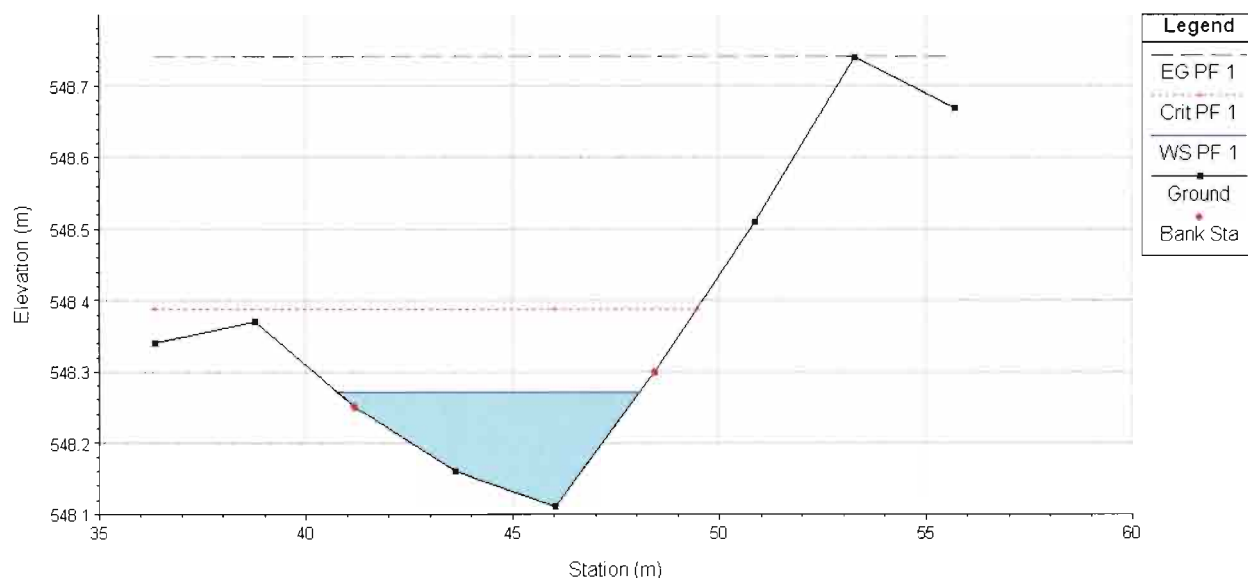


Figura 21 – Profilo idrico e sezione immediatamente a monte dell’interferenza stradale, stato di fatto, TR200 anni

La seguente tabella riporta i risultati ottenuti dall’applicazione del modello idraulico, per la portata duecentennale di 2.0 m³/s.

Progr.	talweg	Livello	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
308	668.35	668.48	668.63	669.37	0.45042	4.18	0.48	5.12	4.37
208	623.88	624.1	624.27	625.13	0.434427	4.5	0.44	4.13	4.38
96	565.66	565.85	566.03	566.92	0.438772	4.59	0.44	3.97	4.42
38	548.11	548.27	548.39	548.74	0.231064	3.04	0.66	7.33	3.14
0	538.67	538.81	538.81	538.86	0.023211	0.82	2.04	20.06	0.96

Si presume che il corso d’acqua in esame, nel tratto finale, che comprende anche l’interferenza stradale in progetto, è caratterizzato da una sezione di dimensioni tali che il dem non è in grado di cogliere con dettaglio. Visti i risultati in termini di area bagnata, si propone una sezione minima di progetto in corrispondenza dell’attraversamento di dimensioni 3x2 m (larghezza x altezza).

4.5 Corsi d’acqua minori

Tra i sottobacini dei corsi d’acqua denominati B325 e B310 sono presenti altri corsi d’acqua minori individuati mediante elaborazione GIS a partire dal DEM della Provincia di Bolzano (Figura 22).

In particolare sono stati individuati altri due corsi d’acqua che sottendono una superficie di 15.16 ha (sottobacino 1) e 6.3 ha (sottobacino 2).

Il calcolo della portata è stato effettuato applicando la formula del metodo razionale:

$$Q_c = 0.28 \cdot c \cdot i \cdot A$$

dove:

- Q_c è la portata al colmo (m^3/s);
- c è il coefficiente di deflusso;
- i è l'intensità di pioggia, espressa in mm/h;
- A è la superficie del bacino [km^2].

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità di sistema e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello dell'intensità di pioggia;
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione, t_c .

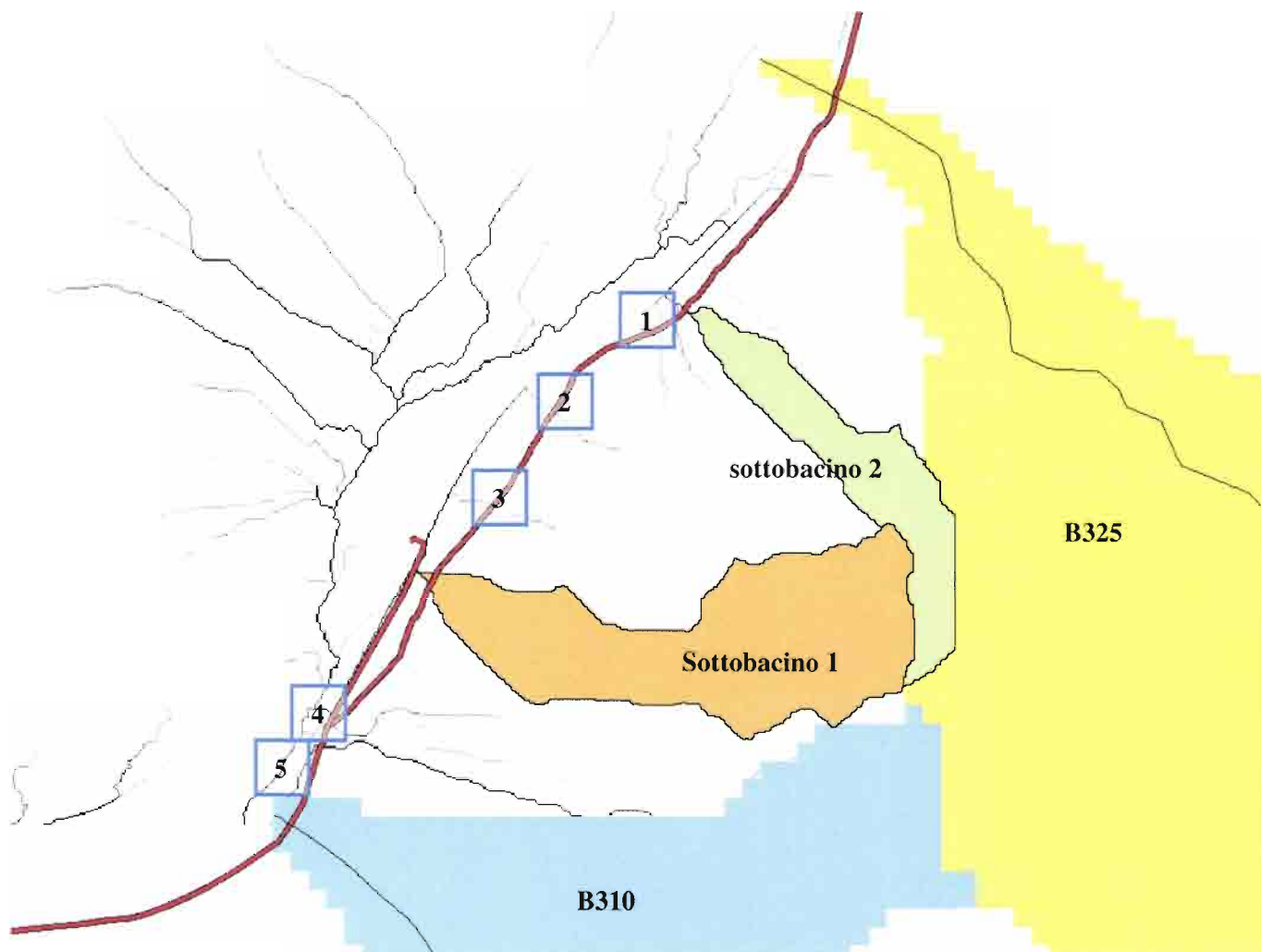


Figura 22 – Corsi d’acqua minori tra i bacini denominati B325 e B310: individuazione di due sottobacini principali (sottobacino 1 e sottobacino 2) e di altre 5 interferenze minori numerate.

Il coefficiente di deflusso tiene conto, in forma implicita, di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l’intensità media di pioggia e varia in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti l’evento. In genere si utilizzano valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica. Per i bacini oggetto di studio si sono assunti i valori riportati in Tabella 5.


	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

Tabella 5 – Valori del coefficiente di deflusso in funzione del tipo e dell'uso del suolo

Tipo di suolo	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0.20	0.10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0.40	0.30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0.50	0.40

Nel caso in esame si è adottato, in base alle caratteristiche dei bacini in studio, un valore di coefficiente di deflusso pari a 0.35.

Per quanto riguarda il calcolo dell'intensità di pioggia si è fatto riferimento a piogge di durata pari a 20 minuti (evento breve e intenso), definite dalle stesse Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica del bacino B325:

a									n	
Tempo di Ritorno									Durata Precipitazione	
2	5	10	20	30	50	100	200	300	< 1h	> 1h
23.2	31.6	37.2	42.5	45.6	49.4	54.6	59.7	62.7	0.37	0.27

Con riferimento all'evento con TR 200 anni, si ottiene un'altezza di pioggia di 39.8 mm (intensità pari a 119.3 mm/h).

I valori di portata al colmo ottenuti, per tempo di ritorno pari a 200 anni, per i due corsi d'acqua analizzati sono riportati nella seguente Tabella 6.

Tabella 6 – Portate ottenute per i corsi d'acqua oggetto di studio, mediante applicazione della formula del metodo razionale.

corso d'acqua	Area [m ²]	Q [m ³ /s]
1	151 575	1.77
2	63 000	0.74

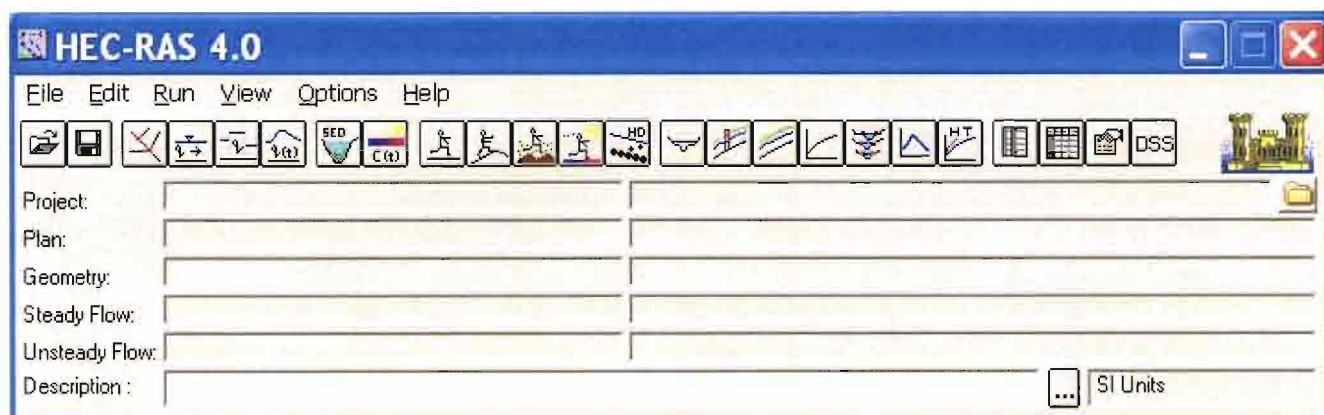
Per risolvere le interferenze con i corsi d'acqua individuati, viste le caratteristiche di pendenza elevata degli stessi (maggiori del 30%) e le portate ottenute, si prescrive di adottare opere di attraversamento di dimensioni pari a 2x2m.

Anche per le altre interferenze minori rilevate si prescrive di adottare un attraversamento di dimensioni pari a ø1500 o 2x2m.

APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso. Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 (HEC, 1991) con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi nonché di una sofisticata interfaccia grafica operante in ambiente Windows.

In seguito, a partire dalla versione 3.0 (HEC, 2001), HEC-RAS è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels (Robert L. Barkau, 1992 and HEC, 1997) che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico.



L'integrazione dei due modelli è avvenuta previa realizzazione di una particolare versione del modello UNET capace di condividere i medesimi algoritmi di analisi delle strutture idrauliche presenti nella libreria di HEC-RAS. In questo modo è stato possibile unificare la struttura dei dati che provvede alla definizione geometrica del corso d'acqua rendendo condivisibile la stessa interfaccia grafica sia per l'inserimento dati che per la visualizzazione dei risultati.

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti. Nonostante ciò la simulazione dei due fenomeni, essendo notevolmente diversi tra loro, avviene sfruttando principi teorici e schemi di calcolo differenti e pertanto si farà loro riferimento come a due distinti modelli idraulici.

IPOTESI DI FUNZIONAMENTO E CAPACITÀ DI CALCOLO

Obiettivo principale del modello, utilizzato ipotizzando un regime di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene. Il suo utilizzo nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni 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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	35 di 42

propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di dispositivi artificiali.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo si basa sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto gradualmente vario;
- moto monodimensionale;
- perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- arginature e geometria del fondo fisse.

Nonostante la prima ipotesi è possibile valutare anche i fenomeni di moto fortemente variato a condizione di inserire opportune condizioni al contorno interne come descritto più avanti. L'errore dovuto all'imposizione di una perdita di fondo costante nel tratto compreso tra due sezioni adiacenti può essere limitata mediante l'introduzione di ulteriori sezioni ottenute per interpolazione.

Il modello simula il moto gradualmente vario monodimensionale in una rete di canali a pelo libero e può essere applicato per la soluzione di sistemi dalla geometria complessa che includono congiunzioni, biforcazioni, reti chiuse, ecc... Inoltre è consentita l'implementazione di numerose condizioni interne ed esterne che consentono la simulazione degli effetti dovuti alla presenza di paratoie, sistemi di pompaggio, ponti, salti di fondo, ecc..

Il modello è dotato di ulteriori algoritmi che permettono di indagare in dettaglio alcuni fenomeni di interesse nell'ingegneria idraulica. Possono essere studiati i fenomeni erosivi intorno alle pile e alle spalle dei ponti non plateati, valutati gli effetti della parziale ostruzione di una sezione di deflusso a causa dei depositi alluvionali (ipotizzati costanti durante una simulazione) e può essere considerata l'eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie liquida valutando i suoi effetti sul profilo idraulico. Inoltre, pur operando nell'ipotesi di monodimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Si descrivono di seguito i principali fondamenti teorici su cui si basa il modello limitandoci al modulo dedicato alla soluzione del problema del moto permanente.

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI FONDAMENTALI

Il modello utilizza, all'interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell'idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.

Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile "tempo". Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata sezione di un corso d'acqua, il moto



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	36 di 42

è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un'onda di piena lungo un tronco d'alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui un modello di moto permanente può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un'onda di piena, sta nella lentezza con cui l'onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d'acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell'onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell'acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l'area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D'altra parte è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell'energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto "gradualmente vario" quando le variazioni nell'altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo "rapidamente vario" se le variazioni sono brusche.


Quest'ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico. La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell'utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d'alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico. Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell'indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Dove:

- V = velocità media Q/A [m/s]
- g = accelerazione di gravità [m/s²]
- D = raggio idraulico [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente.

Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

Altezza critica


L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato, rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto. Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello. L'energia specifica H di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità y e del termine $V^2/2g$:

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore α di Coriolis. Si ha quindi:

$$H = y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica. La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo al quale

	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

ne consegue un valore di energia specifica dato dalla precedente equazione, che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H.

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione. Se si verifica il caso di avere la presenza dei due regimi nel tronco oggetto di studio, diventa necessario suddividere il tronco in tratti in cui si abbia presenza di un solo regime di moto. Nel punto in cui avviene il passaggio tra un regime e l'altro, infatti, HEC-RAS non effettuerà il calcolo attraverso l'altezza critica, ma assumerà al limite un'altezza pari a quella critica.

PROCEDURE DI CALCOLO PER SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

Come già anticipato il regime di moto permanente ipotizza l'invariabilità nel tempo t della portata Q che attraversa una sezione d'alveo di area A. Di conseguenza tutti i parametri idraulici che definiscono le caratteristiche di una corrente risultano invariabili nel tempo. Il regime di moto resta comunque libero di modificarsi lungo la dimensione spaziale non escludendo la possibilità di assegnare portate diverse ai differenti tratti del corso d'acqua e di studiare gli effetti delle immissioni di portata laterali concentrate e distribuite.

La determinazione del profilo idraulico avviene risolvendo l'equazione del bilancio dell'energia espresso secondo la formulazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}$$

- S_f = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;
- R = raggio idraulico;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning.


L'equazione viene risolta per ogni tratto delimitato da due sezioni trasversali consecutive utilizzando lo "standard step method", tecnica numerica che, una volta nota l'energia in corrispondenza di una sezione, permette il calcolo della velocità e del tirante idraulico della sezione adiacente.

Determinazione della distribuzione del moto in una sezione trasversale

E' stato precedentemente introdotto il significato del coefficiente di Coriolis utilizzato per tener conto della non uniforme distribuzione spaziale della velocità all'interno di una stessa sezione trasversale d'alveo. Per la determinazione del suo valore nel caso di una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}, \quad Q = VA = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}$$

Ponendo quindi: $K = \text{trasporto} = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$ si ha che:

	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

$$Q = K S_i^{1/2}$$

che viene scritta per ognuna delle i-esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico R di una subarea è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due subaree viene trascurato

Tramite alcuni passaggi si trova che:

$$\alpha = \frac{(\sum A_i)^2 (\sum K_i^3 / A_i^2)}{(\sum K_i)^3}$$

Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

Bilancio dell'energia


La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se q rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Il termine $\cos \alpha$ è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata, $\cos q$ è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

o in altri termini: $E_1 = E_2 + h_e$

L'energia totale nella sezione di monte H1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H2 più il termine di perdita di energia h_e . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

Perdite di energia

In HEC-RAS la perdita totale di energia h_e è considerata composta da due componenti: una componente di attrito h_f , dovuta alla scabrezza delle superfici e calcolata secondo l'equazione di Manning, e una componente h_o , che rappresenta le altre perdite, soprattutto dovute a contrazioni ed espansioni.

Il programma determina se il flusso è in contrazione o espansione sottraendo il termine cinetico $V^2/2g$ alla sezione a valle dal termine cinetico alla sezione a monte. Se la differenza risulta un numero negativo, il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Il programma, sulla base di questo controllo, applica un coefficiente appropriato.

Se consideriamo ora un tratto di canale, la pendenza S_f della linea dell'energia in corrispondenza a una determinata sezione può essere determinata con l'equazione di Manning, inserendo la quota del pelo libero, la portata, il coefficiente di rugosità n e la geometria della sezione. L'energia persa a causa dell'attrito tra le sezioni a monte e a valle è calcolata con il seguente integrale:

$$\int_{x_2}^{x_1} S_f dx = \bar{S}_f L$$


dove f è la perdita specifica per attrito e L è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito h_f può essere ottenuta moltiplicando il termine f per la lunghezza L del tronco tra le due sezioni.

Ci sono quattro equazioni in HEC-RAS per l'approssimazione delle perdite tra due sezioni e sono le seguenti:

- $\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$ trasporto medio
- $\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2}$ attrito specifico medio
- $\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}}$ media geometrica attrito specifico
- $\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}}$ media armonica attrito specifico

Se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	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	COMMESSA IB1L	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 04 02 001	REV. A

Standar step method

Per illustrare il metodo “standard step method” utilizzato da HEC-RAS si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l’equazione dell’energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell’energia fra le sezioni U di monte e D di valle:

- $WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e$
- $WS_u = Z_u + y_u$
- $WS_d = Z_d + y_d$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell’equazione sono WS_u , V_u e h_e . V_u è desumibile direttamente dal valore di WS_u , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da $h_e = hf + h_o$, per poter ottenere una soluzione. L’irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo “trail and error”, per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

- viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell’energia pari alla pendenza del tronco d’alveo; quindi, $DWS = (Q/K)^2 L$, dove DWS rappresenta la variazione nella quota del pelo libero, Q è la portata, K il termine di trasporto e L la distanza dalla sezione a monte;
- sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di h_e ;
- con il valore calcolato di h_e , viene calcolata l’altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l’equazione dell’energia;
- viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche (passaggio tra regime di moto subcritico e supercritico).



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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB1L	10	D 11 RI	ID 04 02 001	A	42 di 42

APPENDICE B – RISULTATI DEL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS

Si riportano di seguito i risultati grafici ottenuti in corrispondenza delle sezioni di calcolo per i corsi d'acqua: B340, B325, B310 rispettivamente.

