



Comune di TOSCOLANO MADERNO
Provincia di Brescia

OGGETTO:

Sistemazione del movimento franoso avvenuto nella Valle delle Cartiere nel Comune di Toscolano Maderno (Bs) nel tratto compreso tra loc.Vago e loc.Luseti.

COMMITTENTE:

Comune di Toscolano Maderno - BS

PROGETTO ESECUTIVO

Marzo 2017

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Allegato

E.3

Studio Tecnico di progettazione-idraulica
AVANZI ING GIAN PIETRO
via Nestore Baronchelli,2-25085-Gavardo (Bs)
Tel/Fax:0365-374972
Mail: studioavanzigp@alice.it
Posta certificata: gianpietro.avanzi@ingpec.eu

Sommario

Relazione idrologica-idraulica

- 1) Premessa
- 2) Idrologia, descrizione de bacino idrografico
- 3) Dati idrologici e dati idraulici (pluviometria)
- 4) Analisi delle piogge intense delle curve di possibilità pluviometrica del bacino del torrente Toscolano
- 5) Stima della portata di piena del torrente Maderno
- 6) Valutazione del coefficiente d'afflusso e di ragguaglio delle precipitazioni
 - 6.1) Metodo razionale
 - 6.2) Determinazione della portata attraverso le curve di inviluppo e formule empiriche
 - 6.3) Determinazione della portata attraverso il coefficiente udometrico: Metodo di Fantoli- Supino
 - 6.4) Stime regionali- metodo index-flood
 - 6.5) Metodo dell'invaso lineare
 - 6.6) Tempo di ritorno e valutazione della portate di progetto
- 7) Verifica idraulica del Torrente Maderno attraverso il modello di calcolo Hec-Ras
- 8) Conclusioni

1) Premessa

Lo studio idrologico idraulico di seguito proposto, rappresenta un'analisi condotta su una porzione di asta del Torrente Toscolano, situata nella valle delle cartiere tra le località Vago e Luseti. La presente verifica, si rende necessaria al fine di accertare la compatibilità idraulica della sezione idrica del torrente con la portata di piena, a seguito di un intervento di regimazione/sistemazione dell'alveo situato nei pressi di un movimento franoso di versante che ne ha causato occupazione. L'impossibilità di trasportare il materiale proveniente dalla frana ad altro sito di stoccaggio, comporta la necessità di ricollocarlo lungo l'alveo del torrente Toscolano, causando in dette circostanze ad una variazione della sezione idrica del torrente rispetto a quella originaria. Sulla base dell'intervento proposto, la presente relazione tecnica, si propone pertanto l'obiettivo di verificare che le sezioni idriche del torrente derivate a seguito dell'intervento proposto, risultano compatibili con la portata di piena sviluppata dal bacino imbrifero di monte.

2) Idrologia, descrizione de bacino idrografico

Il Torrente Toscolano rappresenta il corso d'acqua principale, con un bacino idrografico che si estende a tutta la Valvestino. Esso divide i due abitati, di Maderno e di Toscolano, ed è sbarrato, immediatamente a monte dei confini comunali, dalla diga di Ponte Cola. L'alveo, nel suo tratto più alto, presenta larghezze abbastanza ampie per poi in corrispondenza del ponte per le Valli di Campiglio e di Archesane restringersi sensibilmente in una forra molto profonda e stretta (buco di S. Antonio - sorgenti dell'Acqua Salata). In corrispondenza della Valle della Cartiere in località "Covoli" la sezione idrica dell'alveo aumenta, per poi stringersi nuovamente in corrispondenza della Stretta delle Garde.

Il corso del torrente, dalla diga di Ponte Cola alla Stretta delle Garde, è caratterizzato da fenomeni diffusi di instabilità e da forti accumuli in alveo. Questi sono particolarmente ingenti prima della stretta della Valle delle Cartiere in località "Covoli". Il Torrente Toscolano tributario di destra del Garda, sbocca nel lago in prossimità dell'abitato di Toscolano Maderno dopo un percorso di circa 23 Km che si sviluppa fra le quote massima di 1947 (Cima Tombea) e minima di 63 m s.l.m. (quota lago).

Il bacino è limitato dalle creste delle cime attorno all'abitato di Capovalle (verso Ovest), dalla dorsale che va dal Monte Cingia al Monte Tombea (verso Nord) e dalla Catena

Monte Camiolo- Monte Caplone (verso Est). Il sottobacino idrografico interessato dalle opere di progetto appartiene alla valle del Torrente Toscolano, sbarrato in località Santa Maria di Valvestino (Ponte Cola) con sezione di chiusura posta in località Caneto, area nella quale si è registrata la frana. L'area del sottobacino del T.Toscolano sottesa alla sezione di chiusura individuata, presenta una estensione pari a 27,6 km² con lunghezza dell'asta principale pari a 6,84 Km

3) Dati idrologici e dati idraulici (pluviometria)

Nella progettazione (o verifica) di un sistema idraulico complesso, o di una semplice struttura, occorre vagliare accuratamente le curve di possibilità pluviometrica.

Cioè in definitiva occorre fare delle scelte circa il grado di rischio che si vuol correre per le opere da realizzare, questo nel caso delle piene e quindi delle piogge che le generano comporta la scelta di una probabilità (o meglio di un tempo di ritorno "T" inteso come intervallo di anni in cui mediamente un certo evento viene eguagliato o superato mediamente una sola volta) dall'evento. Ne consegue che le indagini delle piogge intese vengono fatte con criteri statistici andando alla ricerca delle curve di possibilità pluviometrica corrispondenti ai prefissati valori del tempo di ritorno

4) Analisi delle piogge intense delle curve di possibilità pluviometrica del bacino del torrente Maderno

Un passo fondamentale dell'analisi idrologica per la stima della portata critica consiste nella determinazione delle curve di possibilità pluviometrica medie puntuali del bacino. L'operazione deve essere condotta in modi differenti a seconda delle informazioni disponibili. Se all'interno dell'area d'interesse del bacino cadono più stazioni pluviometriche o pluviografiche appare ragionevole fare riferimento ai metodi che stimano tale curva come media spaziale dei valori determinati per le singole stazioni pluviografiche. Quando invece, come accade in questo caso, nel bacino non ricade nessuna stazione di misura, un modo più articolato per la determinazione delle curve di possibilità climatica è quello di fare riferimento a tutte le stazioni circostanti valutando in tale modo per l'area d'interesse delle curve ottenute dalla media pesata di quelle delle stazioni prese in esame. Per curva caratteristica di possibilità pluviometrica si intende la relazione tra l'altezza di pioggia, h, caduta nella generica durata, "d", e il tempo di ritorno, "T", della stessa; tempo

definito come il numero medio di anni in cui “h”, nella durata “d” viene superata in media una sola volta. La sua espressione per campi di durate abbastanza ampi, può essere rappresentata da relazioni del tipo:

$$h(d,T)=a_T d^n \quad (4.1)$$

dove a_T [mm/hⁿ] rappresenta la pioggia oraria di tempo di ritorno T ed n è un esponente di scala. Le piogge massime annuali che si verificano in una data località per un assegnata durata, date le loro caratteristiche di variabilità, possono essere assimilate a una variabile aleatoria. Della variabile aleatoria disponendo di una serie di osservazioni è possibile definire la distribuzione di probabilità “P(h)”, la quale è legata al tempo di ritorno dalla relazione:

$$T(h)=1/[1-P(h)] \quad (4.2)$$

ove “P” è la probabilità di non superamento.

Disponendo in una serie di osservazioni, di massimo annuale, h, dell’altezza di precipitazione con durata “d”, scelta un tipo di legge probabilistica che si presta bene a interpolare le osservazioni è possibile pervenire alla determinazione del quantile h(d). La distribuzione di probabilità scelta in questo particolare caso è la distribuzione a due parametri di Gumbel definita dalla relazione:

$$P(h)=\exp(-\exp(-y)) \quad (4.3)$$

dove y è la variabile ridotta tale per cui:

$$y =\alpha_d (h - u_d) \quad (4.4)$$

dalla quale si consta che per definire la probabilità di non superamento di un evento è necessario stimare i parametri “ α_d ”, “ u_d ”. Stimando i parametri ad esempio con il metodo dei momenti (si considera la media, “ μ ”, e la deviazione standard, “ σ ”), supponendo che la media e lo scarto della popolazione coincidano con la media “m(h)” e lo scarto “s(h)” del

campione delle osservazioni si determinano i quantili d'altezza di precipitazione a tempo di ritorno assegnato:

$$h(d) = u_d - 1/(\alpha_d) \ln \ln(T/(T-1)) \quad (4.6)$$

dove:

$$\alpha_d = 1,283/\sigma$$

$$u_d = \mu - 0,45\sigma$$

Stimati i parametri attraverso i metodi sopra definiti, nella progettazione di un sistema idraulico complesso, o di una semplice struttura, occorre fare una scelta circa il "grado di rischio" che si vuol conseguire per l'opera da realizzare, questo implica nel caso delle portate critiche e quindi delle piogge che le generano la scelta di un tempo di una probabilità, "P" e quindi di un tempo di ritorno "T". La valutazione delle curve di possibilità pluviometrica, nella nostra particolare circostanza, sono state determinate in funzione dei dati messi a disposizione dall'Arpa (dati del servizi idrologico; <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>)



Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località:
 Coordinate:

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

- A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26,83
- N - Coefficiente di scala 0,28940001
- GEV - parametro alpha 0,2809999
- GEV - parametro kappa -0,0143
- GEV - parametro epsilon 0,833599

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni)

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]
 Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

- <http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
- http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

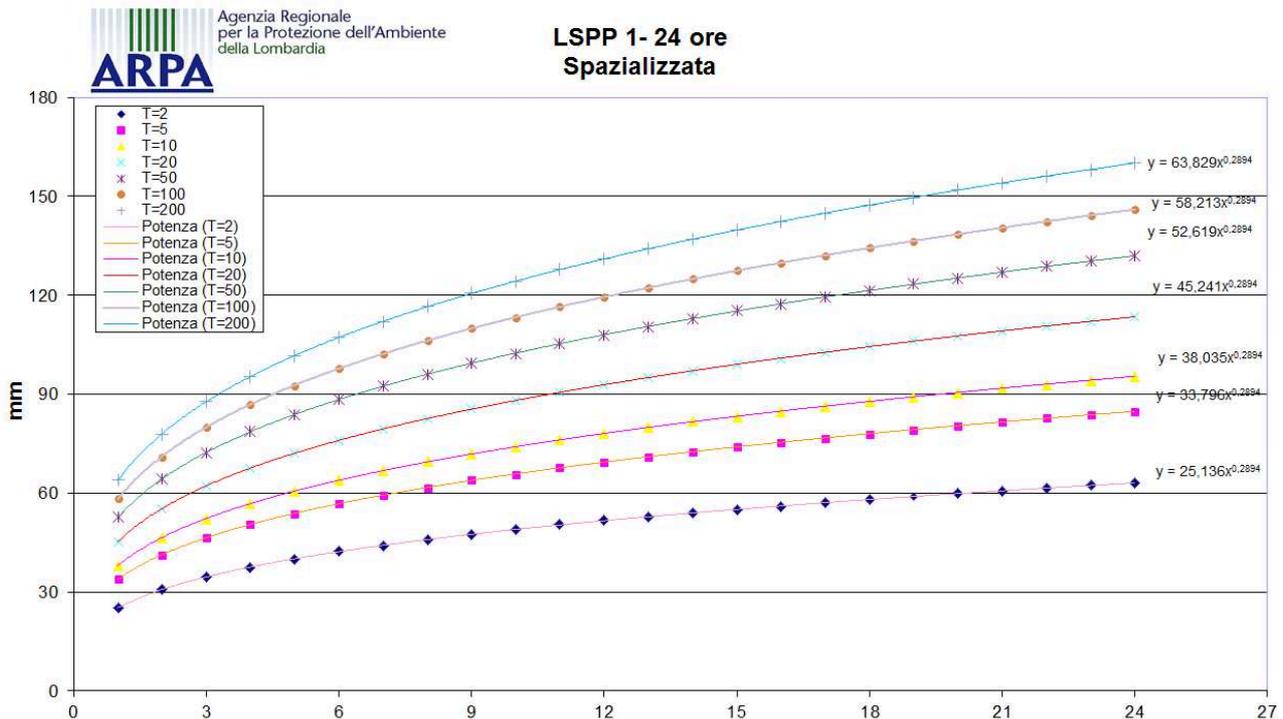
Durata dell'evento: 1 ore
Precipitazione osservata: 63,835 mm
Tempo di ritorno: 200,0 anni

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	26,83
N - Coefficiente di scala	0,28940001
GEV - parametro alpha	0,28099999
GEV - parametro kappa	-0,0143
GEV - parametro epsilon	0,8333
w	2,379
F	0,995

Tr	2	5	10	20	50	100	200
wT	0,93686	1,25963	1,47624	1,68620	1,96121	2,16970	2,37952
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	25,1	33,8	39,6	45,2	52,6	58,2	63,8
2	30,7	41,3	48,4	55,3	64,3	71,1	78,0
3	34,5	46,4	54,4	62,2	72,3	80,0	87,7
4	37,5	50,5	59,2	67,6	78,6	86,9	95,4
5	40,0	53,8	63,1	72,1	83,8	92,7	101,7
6	42,2	56,8	66,5	76,0	88,4	97,8	107,2
7	44,1	59,4	69,6	79,5	92,4	102,2	112,1
8	45,9	61,7	72,3	82,6	96,1	106,3	116,5
9	47,5	63,8	74,8	85,4	99,4	109,9	120,6
10	48,9	65,8	77,1	88,1	102,5	113,3	124,3
11	50,3	67,6	79,3	90,6	105,3	116,5	127,8
12	51,6	69,4	81,3	92,9	108,0	119,5	131,0
13	52,8	71,0	83,2	95,0	110,5	122,3	134,1
14	53,9	72,5	85,0	97,1	112,9	124,9	137,0
15	55,0	74,0	86,7	99,1	115,2	127,5	139,8
16	56,1	75,4	88,4	100,9	117,4	129,9	142,4
17	57,1	76,7	89,9	102,7	119,5	132,2	144,9
18	58,0	78,0	91,4	104,4	121,5	134,4	147,4
19	58,9	79,2	92,9	106,1	123,4	136,5	149,7
20	59,8	80,4	94,3	107,7	125,2	138,5	151,9
21	60,7	81,6	95,6	109,2	127,0	140,5	154,1
22	61,5	82,7	96,9	110,7	128,7	142,4	156,2
23	62,3	83,7	98,1	112,1	130,4	144,2	158,2
24	63,1	84,8	99,4	113,5	132,0	146,0	160,2

Curve di possibilità pluviometrica



5) Stima della portata di piena del torrente Maderno

L'individuazione dell'ordine di grandezza del valore delle varie portate massime e delle loro probabilità è un elemento di primaria importanza per la compilazione di progetti idraulici e deve precedere ovviamente ogni altro studio sul bacino in esame.

La determinazione di tali valori dovrebbe fondarsi soprattutto su osservazioni sperimentali, in quanto le portate massime conseguenti i vari eventi meteorici, variano notevolmente in relazione ad un gran numero di fattori locali, di carattere geografico, orografico, morfologico, geologico e forestale.

Sarebbe cosa ideale l'aver elementi sufficienti per stabilire direttamente la portata massima del torrente attraverso il riconoscimento delle massime altezze d'acqua raggiunte a memoria d'uomo attraverso punti di misura ben determinati (stramazzi etc.). Purtroppo, la mancanza di rilevazioni sistematiche dirette, non permette tale indagine con risultati soddisfacenti ed attendibili. E' gioco forza perciò risalire ai valori, attraverso formule e metodi che basati sui dati morfologici e idrografici, con formule empiriche che possono portare a dati attendibili. Si è proceduto ad una disamina oculata delle varie formule a disposizione ed ai valori ottenibili dall'applicazione delle stesse. I modelli di piena che sono stati utilizzati in questo studio sono stati scelti in modo tale da rappresentare quella che,

ragionevolmente deve essere la forma della risposta idrogeologica di questa tipologia di bacini. Si tratta infatti di aree collinari dove la piena evolve in tempi abbastanza lunghi in relazione alle dimensioni dei bacini scolanti. La portata di colmo è quindi stata valutata attraverso l'uso di diversi metodi, in modo tale da avere una più ampia visuale del campo di variabilità delle portate. Il primo metodo utilizzato, detto metodo razionale, può essere ricavato a partire dal metodo della corrivazione e consiste nel determinare il valore della portata considerando le L.S.P.P, attraverso una relazione che tiene conto di un fattore di ragguglio γ delle precipitazioni all'area ed un coefficiente d'afflusso ϕ . Il secondo metodo si basa sulla determinazione della portata attraverso l'utilizzo di formule empiriche note in letteratura, il terzo fa riferimento al metodo di Fantoli e Supino, mentre il quarto di recente composizione viene comunemente chiamato Index-flood.

6) Valutazione del coefficiente d'afflusso e di ragguglio delle precipitazioni

Non avendo delle misure effettuate dalla stazione pluviometrica su scale oraria e, non disponendo di alcuni parametri fondamentali del suolo del bacino quali le condizioni di imbibimento dello stesso, il coefficiente d'afflusso è stato determinato in funzione delle caratteristiche del bacino e del suolo e ricavabile dalle raccomandazioni fornite da American Society of civil Engineers e da Pollution Control Federation, facenti riferimento prevalentemente ai bacini urbani piuttosto che a quelli naturali. Dagli studi geologici condotti in sito, si è potuto rilevare che il territorio d'interesse del bacino del rio Gombra è caratterizzato nella parte settentrionale da un territorio prevalentemente carsico, mentre nella parte valliva si ritrova la presenza di uno strato impermeabile d'argilla. Nella tabella sottostante si riportano i valori del coefficiente d'afflusso valutato in funzione delle caratteristiche del bacino e al tipo di suolo;

Caratteristiche del bacino	Coefficiente d'afflusso ϕ
Superfici impermeabili o pavimentate (strade, aree coperte, etc)	0,70 ÷ 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 ÷ 0,10
Suoli sabbiosi a media pendenza (2 ÷ 7%)	0,10 ÷ 0,15
Suoli sabbiosi a forte pendenza (7%)	0,15 ÷ 0,20

Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 ÷ 0,17
Suoli argillosi a media pendenza (2 ÷ 7%)	0,18 ÷ 0,22
Suoli argillosi a forte pendenza (7%)	0,25 ÷ 0,35

Tab 6.1–Valori del coefficiente d'afflusso valutato in funzione delle caratteristiche litologiche del bacino

Tipo di suolo	φUso 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 o 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

Tab 6.2-Valori del coefficiente di afflusso definiti da Handbook of Applied Hydrology, Veri Te Chow, 1964

Dalle analisi condotte e, in base alle raccomandazioni fornite dalle due tabelle sopraccitate si è supposto di considerare il coefficiente d'afflusso come una media ponderata dei valori ricavati dalle indicazioni fornite dalle due tabelle e posto pari ad $\phi=0,25$. Per il fatto che le misure sono condotte in modo puntuale e a causa della variabilità spaziale della pioggia, si deve ragguagliare all'area i quantili di pioggia calcolati con le curve di possibilità climatica per differenti tempi di ritorno. Si deve quindi considerare un coefficiente di ragguaglio γ , che appare ragionevole determinare attraverso la formula di Moisello e Papiri (1986) dedotto rispetto al centro dell'area d'interesse. L'espressione del coefficiente è:

$$\gamma(A,d)=1-\exp[-2,472A^{-0,242}d^{0,6\exp(-0,643A^{0,235})}] \quad (6.1)$$

$$5 \leq A \leq 800 \text{ km}^2$$

$$15' \leq d \leq 12 \text{ ore}$$

Dove:

A= area della superficie scolante considerata

d= durata della precipitazione in ore

Sulla scorta di quanto definito è possibile quindi dedurre che il coefficiente di ragguglio valutato tramite la (6.1) vale per le due superficie scolante considerata:

$$\gamma(A,d)=0,69$$

6.1) Metodo Razionale

Il metodo razionale consiste nella determinazione della portata a partire dalle precipitazioni attraverso il metodo della corrivazione. Tale metodo prevede l'applicazione della legge fondamentale dell'idrologia tecnica, che consente di determinare la portata critica con tempo di ritorno "T" fissato tale per cui:

$$Q = (\varphi \times \gamma \times A \times t_c^{(n-1)} \times a_T) / 3,6 \quad (6.2)$$

La metodologia di calcolo proposta prevede la definizione del tempo di corrivazione del bacino, definito come il tempo impiegato dalla pioggia per scorrere superficialmente dal punto d'afflusso idraulicamente più lontano del bacino idrografico alla sezione. Le metodologie per il calcolo di tale tempo sono diverse e ciascuna è rappresentata da una relazione ricavata da studi effettuati per singoli bacini o comprensori di bacini e pertanto valida per zone aventi caratteristiche molto simili tra loro. Nel nostro caso si è calcolato il tempo di corrivazione con la formula di Giandotti, la cui espressione è:

$$t_c = (4\sqrt{A} + 1,5 \times L) / 0,8 \times \sqrt{H_m} \quad (6.3)$$

dove i simboli assumono il seguente significato:

A = area del bacino

L = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo (km)

H_m = altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Superficie del Bacino	S =	27,60	Km ²
Lunghezza percorso idraulico principal	L =	6,84	Km
Altitudine max percorso idraulico	H _{max} =	505,00	m (s.l.m.)
Altitudine min percorso idraulico	H ₀ =	200,00	m (s.l.m.)
Pendenza media percorso idraulico	P =	0,04	(m/m)
Altitudine max bacino	H _{max} =	1510,00	m (s.l.m.)
Altitudine sezione considerata	H ₀ =	200,00	m (s.l.m.)
Altitudine media bacino	H _m =	855,00	m (s.l.m.)
Dislivello medio bacino	H _m - H ₀ =	655,00	m

Tab 6.2-Parametri identificativi del bacino idrografico

Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} = 1,53$

Tab 6.3-Tempo di corrivazione del torrente Toscolano alla sezione di chiusura considerata

Attraverso la relazione 6.2, si ricava che il valore di portate ricavate per i diversi tempi di ritorno considerati vale:

T(anni)	at	nt	Q(mc/s)	d (ore)
2	25,136	0,2894	24,69	1,527484
5	33,796	0,2894	33,19	
10	38,035	0,2894	37,36	
20	45,241	0,2894	44,43	
50	52,619	0,2894	51,68	
100	58,213	0,2894	57,17	
200	63,289	0,2894	62,16	

Tab 6.4-Valori di portata al colmo determinata con il metodo razionale

6.2) Determinazione della portata attraverso le curve di inviluppo e formule empiriche

Attraverso gli studi di regolarizzazione dei contributi di piena unitari, si sono ottenute delle curve d'inviluppo, ossia delle curve che regolarizzano i valori massimi delle portate specifiche, osservate in alcune zone considerate da un punto di vista idrologico.

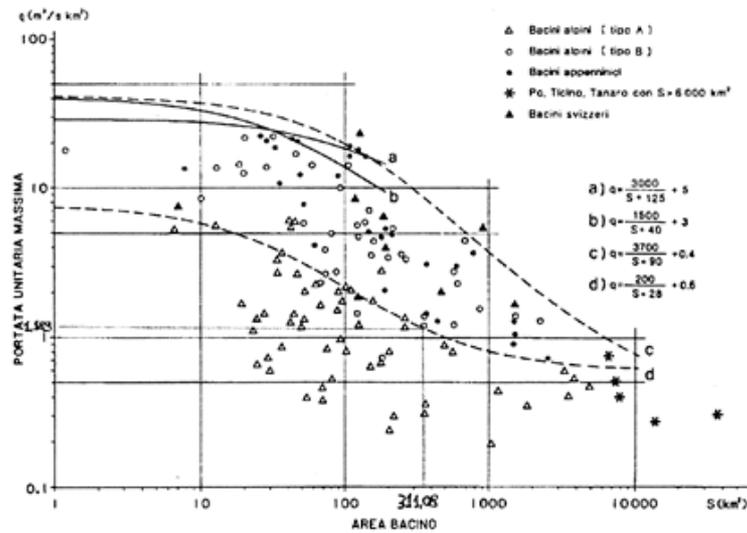


Figura - Valori dei contributi specifici calcolati rispetto ad un centinaio di sezioni di chiusura di corsi d'acqua dell'Italia nord-occidentale e della Svizzera. Sono riportate anche le curve inviluppo.
 Formula di De Marchi: curva a);
 Formula di Tourmon, curva b);
 Bacini orientati secondo Nord-Sud: curva c)
 Bacini orientati secondo Est-Ovest: curva d) (da Anselmo, 1985).

Dalle quattro curve messe a disposizione rappresentanti i valori specifici calcolati rispetto ad un centinaio di sezioni di chiusura di corsi d'acqua dell'Italia nord-occidentale e della Svizzera, si è individuato come la curva più appropriata per le portate specifiche del territorio bresciano sia la curva "d", cioè la curva che caratterizza tutti i bacini orientati secondo la direttrice Est-Ovest.

Lo stesso risultato può essere ottenuto considerando la relazione che identifica la curva "d" ed espressa dall'equazione:

$$q = \frac{200}{A + 28} + 0,6 \quad (6.4)$$

Area bacino kmq	q (mc/s*kmq)	Q (mc/s)
27,6	4,20	115,8406

Tab 6.5-Valori di portata valutati attraverso il metodo delle curve di inviluppo

6.3) Determinazione della portata attraverso il coefficiente udometrico: Metodo di Fantoli- Supino

L'esperienza in materia, suggerisce come confacente alla realtà e già applicato con ottimi risultati sia il metodo del coefficiente udometrico di Fantoli-Supino. La metodologia di calcolo della portata al colmo viene sempre ottenuta considerando le curve di possibilità pluviometrica definite nei paragrafi precedenti. Trattandosi di misure effettuate puntualmente in una particolare zona ben definita, la verifica viene condotta a partire dal curve che devono essere raggugliate attraverso le relazioni sotto definite

$$a^1 = a [1 - 0,06 (A)^{0,40}] \quad (6.5)$$

$$n^1 = n_0 + 0,003 (A)^{0,60} \quad (6.6)$$

$$n^1_0 = \frac{4}{3} n^1 \quad (6.7)$$

Stabilita la nuova curva di possibilità pluviometrica raggugliata per ogni evento considerato, la portata di piena conseguente, viene determinata prendendo a riferimento il metodo del volume d'invaso il quale, come è noto, per scale dalle portate lineari, conduce alla seguente espressione del coefficiente udometrico:

$$u = \frac{2168 \times n^1_0 \times (\psi \times a^1)^{1/n^1_0}}{v^{1/n^1_0 - 1}} \quad (6.8)$$

dove

n^1_0 = esponente della curva di possibilità pluviometrica raggugliata;

a^1 = coefficiente delle curve di possibilità pluviometrica raggugliata;

ψ = coefficiente d'assorbimento del bacino, vista la natura permeabile del terreno si è considerato pari ad 0,25

v = invaso specifico della rete idrografica, cui compreso l'invaso superficiale ed i piccoli invasi

T(anni)	at	nt	a'	n'	u(l/sec*ha)	Q(mc/s)
2	25,136	0,2894	19,45	0,31	5,810	16,036
5	33,796	0,2894	26,15	0,31	11,854	32,717
10	38,035	0,2894	29,43	0,31	15,757	43,490
20	45,241	0,2894	35,01	0,31	23,932	66,052
50	52,619	0,2894	40,72	0,31	34,437	95,045
100	58,213	0,2894	45,04	0,31	43,925	121,233
200	63,289	0,2894	48,97	0,31	53,724	148,279

Tab 6.6-Valori di portata valutati attraverso il metodo di Fantoli e Supino

6.4) Stime regionali- metodo index-flood

Nel corso degli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi mirati alla stima delle portate al colmo di piena in molte parti del territorio nazionale. Tali studi, inquadrati nel progetto di ricerca VAPI del CNR-GNDICI, si sono essenzialmente basati su una metodologia di analisi delle portate al colmo massime annuali di regioni geografiche abbastanza vaste detta 'della portata indice'. Il metodo assimila l'intera informazione idrometrica disponibile per un territorio 'idrologicamente omogeneo' che differisce da una sezione idrometrica all'altra solo per alcune caratteristiche. La stima della portata indice 'm(Qc) che, rappresenta la media della portata al colmo, differisce da sezione a sezione in dipendenza delle caratteristiche geomorfoclimatiche dei singoli bacini sono valutate per i bacini dell'area bresciana con le relazioni:

$$1. m(Q_c) = 22,68 \times A^{0,404} \text{ per } 300 \leq A \leq 2000 \text{ km}^2 \quad (6.9)$$

$$2. m(Q_c) = 3,23 \times A^{0,73} \quad \text{per } 1 \leq A \leq 40 \text{ km}^2 \quad (6.10)$$

$$3. m(Q_c) = \beta \times 3,23 \times A^{0,73} + (1 - \beta) \times 22,68 \times A^{0,404} \quad (6.11)$$

per $40 \leq A \leq 300 \text{ km}^2$

$$\text{con } \beta = \frac{300 - A}{260}$$

Nel nostro oggetto in studio, si osserva che la relazione che meglio si presta alle nostre esigenze è la 2, dalla quale si ottiene che la portata indice vale:

$$m(Q_c) = 36,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

La portata al colmo, si ottiene moltiplicando il valore della portata indice ottenuta, con il coefficiente di crescita riferito al tempo di ritorno considerato riportato nella tabella sottostante:

Anni	5	10	20	50	100	200	500	1000
Coef.	0,900	1,674	1,991	2,419	2,754	3,099	3,575	3,950

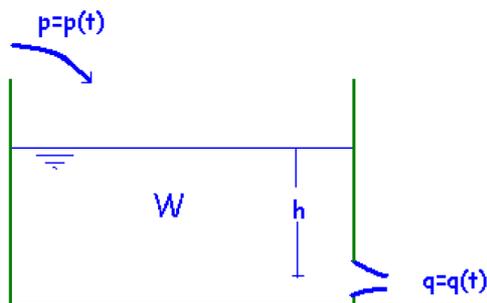
Tab 6.7-Valori dei coefficienti di crescita in funzione del tempo di ritorno

Per il bacino imbrifero considerato si ha che i valori di portata calcolati sono espressi nella tabella 6.8 riportata di seguito

T(anni)	Q(m ³ /s)
5	32,75
10	60,92
20	72,46
50	88,04
100	100,23
200	112,79

Tab 6.8-Valori della portata al colmo

6.5) Metodo dell'invaso lineare



Il metodo dell'invaso assimila il comportamento del bacino a quello di un serbatoio nel quale entra una portata "p" e dal quale esce, attraverso una luce, la portata "q". La portata entrante "p", generalmente variabile nel tempo secondo una legge $p=p(t)$, rappresenta la

precipitazione meteorica che si abbatte sul bacino, portata uscente “q” rappresenta la portata che transita nella sezione di chiusura in seguito all’evento di pioggia. Il serbatoio è provvisto di una propria capacità, indicata con “W” che, simula la capacità del bacino, praticamente coincidente con la capacità della rete idrografica. Il metodo dell’invaso si basa sulle ipotesi:

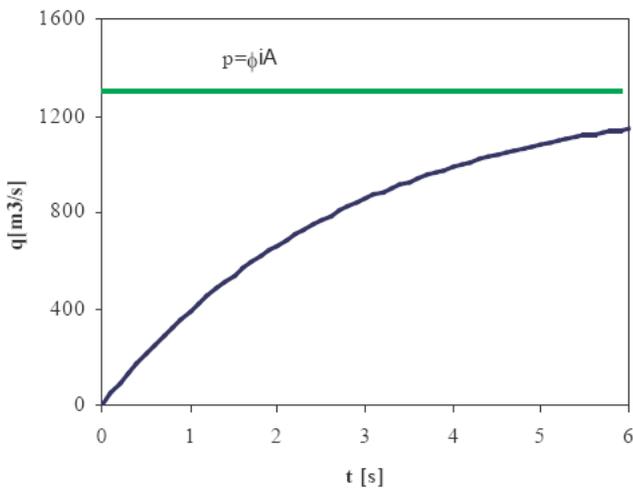
- a) il volume “W” è determinato dalla relazione $W=Kxq$, dove la costante “K” dipende dalla morfologia della rete idrografica, essa può essere stimata attraverso formule empiriche o metodi di taratura. La formula empirica più semplice è quella che lega “K” al tempo di corrivazione del bacino τ_c è data:
 $K=0,7x\tau_c$
- b) quando in una vasca entra un certo volume d’acqua il pelo libero s’innalza con tutti i suoi punti contemporaneamente e di una stessa quantità, pertanto assimilare il comportamento della rete idrografica a quello del serbatoio vuol dire ammettere che i diversi rami di questa si riempiono contemporaneamente (ipotesi di sincronismo)
- c) la precipitazione si realizza con intensità costante nel tempo e pari ad “i”, pertanto la precipitazione $p=i\phi x A$, intendendo con il simbolo “ ϕ ” il coefficiente d’afflusso e con “A” la superficie del bacino idrografico.

L’equazione che regge il funzionamento del serbatoio è quella di continuità:

$$p dt - q dt = dW \quad (6.12)$$

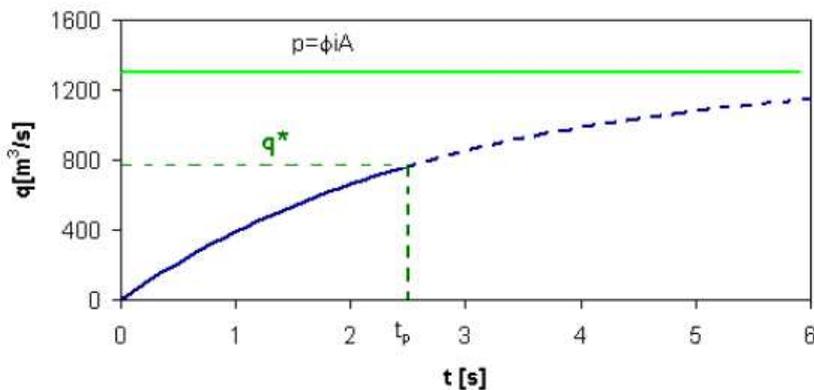
che opportunamente integrata, permette di determinare l’andamento della portata uscente dal serbatoio nel tempo:

$$q(t) = p \left[1 - e^{-\frac{t}{K}} \right] + q_0 e^{-\frac{t}{K}} \quad (6.13)$$



Nella realtà questa curva vale solo fino alla durata della precipitazione t_p , infatti non bisogna dimenticare che l'intensità di pioggia $i = a \tau d^{n-1}$, essa fornisce per assegnato tempo di ritorno "T", l'intensità massima di precipitazione che corrisponde ad ogni durata "d"; viceversa, fissata l'intensità di pioggia, ad essa corrisponde un preciso valore della durata "t". Assegnata l'intensità di pioggia è pure fissata la durata dell'evento meteorico e pertanto si ha che l'andamento dell'onda di piena risulta massima con la durata " t_p " della precipitazione.

$i = \text{costante} - \text{durata} = t_p$



Fissata la durata " t_p " dell'evento si ricava che la portata defluita dalla sezione di chiusura considerata vale:

$$q(t) = \phi i A \left[1 - e^{-\frac{t}{K}} \right] \text{ valida per } t < t_p \quad (6.14)$$

$$q(t) = q^* \left[1 - e^{-\frac{-(t-t_p)}{K}} \right] \text{ valida per } t > t_p \quad (6.15)$$

dove

$$q^* = \phi i A \left[1 - e^{-\frac{t_p}{K}} \right] \quad (6.16)$$

Evento meteorico T=100 anni

a(d)	n(d)	ϕ	A (mq)	Tc (ore)	K (ore)	d (ore)	i (mm/ore)
58,213	0,2894	0,25	27600000	1,52	1,064	1,52	43,23166157

Tab 6.9-Parametri per determinazione portata massima al colmo con metodo dell'invaso lineare

Evento meteorico T=200 anni

a(d)	n(d)	ϕ	A (mq)	Tc (ore)	K (ore)	d (ore)	i (mm/ore)
63,289	0,2894	0,25	27600000	1,52	1,064	1,52	47,00133354

Tab 6.10-Parametri per determinazione portata massima al colmo con metodo dell'invaso lineare

T(anni)	Q(m ³ /s)
100	63,00
200	68,49

Tab 6.11-Valori della portata al colmo valutati con metodo dell'invaso lineare

6.6) Tempo di ritorno e valutazione della portate di progetto

Il primo passo fondamentale per la definizione degli interventi da effettuare all'interno del bacino idrografico considerato, consiste nella definizione di un parametro fondamentale definito dal tempo di ritorno, "T". Questo parametro indica da un lato la frequenza media (statistica) con cui una determinata sistemazione diviene insufficiente, condizionando in tali circostanze sia l'entità dell'opera da eseguire, sia l'ammontare degli impegni finanziari da destinare alla realizzazione dell'opera stessa. La scelta del tempo di ritorno deve essere eseguita in modo accurato, in modo tale da trovare un ragionevole compromesso a quanto enunciato precedentemente. Tuttavia la scelta ideale del parametro deve soddisfare quattro entità:

1. sicurezza dei beni da proteggere
2. danni temibili alle persone e alle cose
3. costo delle opere di sistemazione
4. impatto ambientale delle opere di sistemazione.

L'esperienza ingegneristica porta a considerare solo valori ben determinati del tempo di ritorno, strettamente connessa alla tipologia di opera che si intende realizzare. Trattandosi di verifica idraulica di un tratto di asta torrentizia soggetta ad intervento di regimazione idraulica, vista la natura e tipologia dell'intervento da realizzarsi, la verifica della sezione idrica dell'alveo a seguito dell'intervento è stata condotta ipotizzando di considerare un evento caratterizzato da un tempo di ritorno "T" di 100 e 200 anni. Sulla base dei calcoli effettuati nei paragrafi precedenti, si osserva che la metodologia che si più identifica il bacino imbrifero in oggetto è quella rappresentata dal metodo razionale e da quello dell'invaso lineare. Gli altri metodi di calcolo impiegati risultano troppo cautelativi e pertanto forniscono dei valori eccessivi di deflusso, ciò risulta anche essere confermato da precedenti studi effettuati per lo stesso torrente, ma con bacino tributario superiore a quello individuato nello studio in oggetto. Sulla base di quanto affermato, si stabilisce pertanto che la verifica verrà condotta considerando i valori di deflusso scaturiti dal solo metodo razionale e dell'invaso lineare:

T(anni)	Q _{razionale} (m ³ /s)	Q _{invaso} (m ³ /s)
100	57,17	63,00
200	62,16	68,49

Tab 6.12-Valori della portata al colmo valutati con il metodo razionale e dell'invaso

In favore di sicurezza, in fase preliminare l'analisi rappresentata di seguito viene condotta impiegando i risultati del metodo dell'invaso lineare in quanto maggiormente cautelativi rispetto a quelli del metodo razionale.

7) Verifica idraulica del Torrente Maderno attraverso il modello di calcolo Hec-Ras

La verifica idraulica del torrente Maderno nella zona interessata da processo di regimazione idraulica a seguito della sistemazione del versante interessato dal movimento franoso, è stata condotta utilizzando un modello di calcolo che consente di riprodurre gli eventi naturali in modo pressoché verosimile a quanto avviene realmente. La scelta d'adottare il modello di calcolo Hec-Ras in sostituzione alla relazione di Chèzy basta su

ipotesi di moto uniforme, deriva da alcune semplificazioni insite nella stessa, infatti si riscontra:

1. attraverso la relazione di Chèzy non è possibile attribuire la corretta variazione geometrica della sezione di verifica lungo l'intero tragitto
2. non vengono prese in considerazioni le condizioni di monte e di valle dell'intero reticolo idrografico presente. La valutazione effettuata con Chèzy , viene pertanto condotta in modo localizzato risultando slegata da tutte le variabili idrauliche-idrologiche presenti sulla rete idrica oggetto di studio.

L'impiego del modello matematico proposto, consente di contro, di verificare il livello idrometrico raggiunto dalla corrente all'interno dell'alveo a partire da determinati fattori quali:

1. disposizione plano-altimetrica del canale
2. dimensioni geometriche della sezione idrica di deflusso
3. dalla presenza di eventuali manufatti, responsabili di cambiamenti improvvisi della sezione trasversale dell'alveo.
4. dalla tipologia dei materiali con cui sono realizzate sponde e letto del torrente

La verifica condotta in condizione di moto permanente per l'asta torrentizia oggetto di analisi è stata effettuata considerando la situazione pre e post intervento di regimazione, in maniera tale da verificare se l'intervento proposto possa portare a pregiudizio nei confronti della capacità di trasporto della portata da parte dell'alveo.

La verifica è stata effettuata considerando n.4 sezioni lungo l'asta del torrente, tratto nel quale è previsto l'intervento di sistemazione/regimazione idraulica. I coefficienti di scabrezza impiegati nella verifica, sono stati attribuiti in funzione della tabella riportata di seguito

CANALI CON FONDO IN GHIAIA E SPONDE IN lastre di calcestruzzo	0.017	0.020	0.025
pietrame con giunti stilati	0.020	0.023	0.026
scogliera	0.023	0.033	0.036
CANALI IN TERRA NON RIVESTITI			
rettilinei, non vegetati, buona manutenzione	0.016	0.018	0.020
rettilinei, non vegetati, mediocre manutenzione	0.018	0.022	0.025
rettilinei, non vegetati, con ghiaia	0.022	0.025	0.030
rettilinei, poco inerbiti, rare alghe	0.022	0.027	0.033
ALVEI IN TERRA REGOLARIZZATI O ROGGE			
non vegetati	0.023	0.025	0.030
poco inerbiti, rare alghe	0.025	0.030	0.033
molto vegetati, molte alghe	0.028	0.030	0.035
con sponde in pietrame	0.028	0.030	0.035
con sponde ben inerbite	0.025	0.035	0.040
con fondo in ciotoli e sponde non vegetate	0.030	0.040	0.050
CANALI MANTENUTI CON DRAGAGGIO			
non vegetati	0.025	0.028	0.033
poco inerbiti, rare alghe	0.035	0.050	0.060
ALVEI IN ROCCIA			
con sezione ben regolarizzata	0.025	0.035	0.040
irregolari	0.035	0.040	0.050
CANALI IN TERRA RINATURALIZZATI (CON ALGHE E CESPUGLI)			
con sezione interamente occupata da alghe	0.050	0.080	0.120
con rare alghe e sponde mediamente cespugliate	0.045	0.070	0.110
con alghe e sponde fortemente cespugliate	0.080	0.100	0.140

STATO DI FATTO

Profili di calcolo

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
	River	Reach	RS	T=100 anni	T=200 anni
1	Torrente Maderno	1	4	63	68.49
2	Torrente Maderno	1	3	63	68.49
3	Torrente Maderno	1	2	63	68.49
4	Torrente Maderno	1	1	63	68.49

Condizioni al contorno

Set boundary for all profiles
 Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

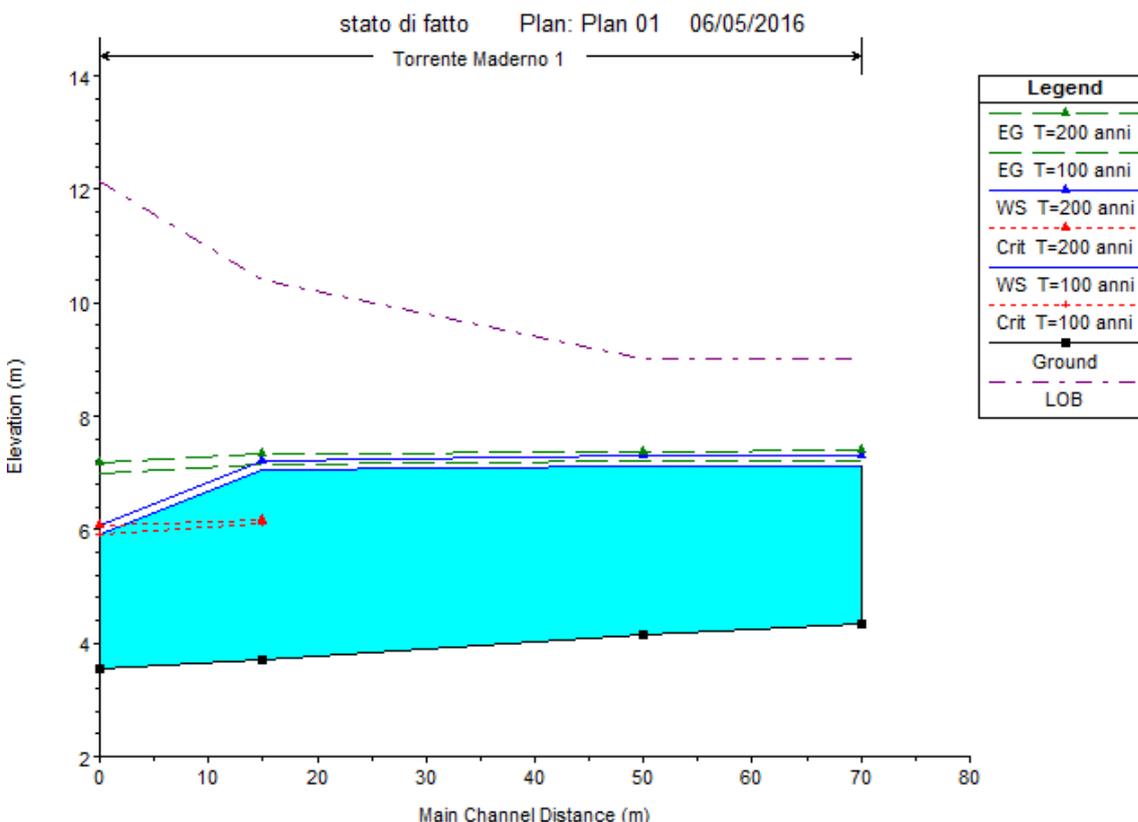
Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Torrente Maderno	1	all		Normal Depth S = 1

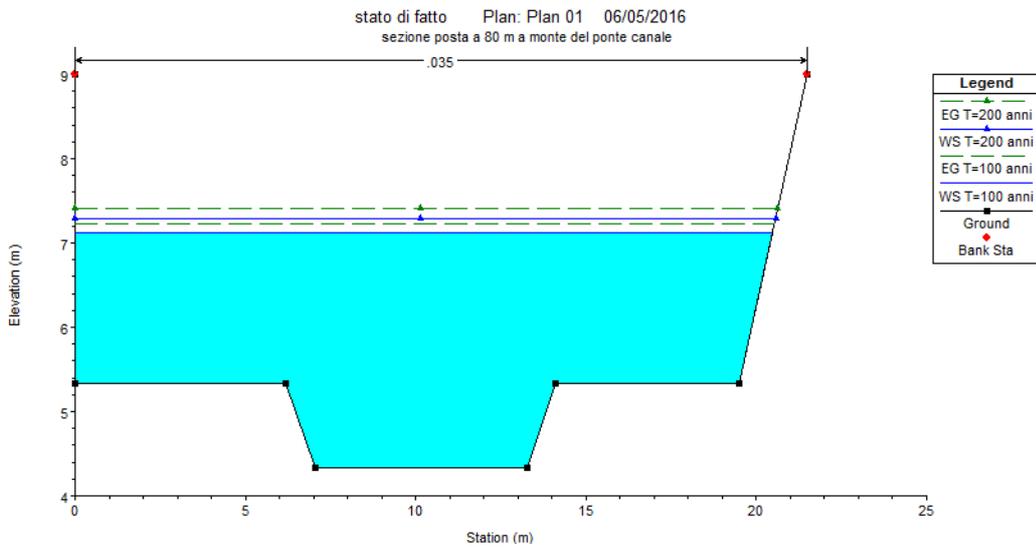
Livello idrometrico raggiunto dalla corrente per eventi caratterizzati da un tempo di ritorno T=100, 200 anni

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Torrente Maderno Reach: 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	4	T=100 anni	63.00	4.34	7.11		7.23	0.001270	1.48	42.52	20.47	0.33
1	4	T=200 anni	68.49	4.34	7.29		7.40	0.001168	1.49	46.12	20.57	0.32
1	3	T=100 anni	63.00	4.14	7.12		7.20	0.000810	1.27	49.76	21.67	0.27
1	3	T=200 anni	68.49	4.14	7.29		7.37	0.000763	1.28	53.59	21.79	0.26
1	2	T=100 anni	63.00	3.69	7.04	6.12	7.15	0.001622	1.51	41.62	23.49	0.36
1	2	T=200 anni	68.49	3.69	7.22	6.18	7.34	0.001407	1.49	46.00	23.75	0.34
1	1	T=100 anni	63.00	3.54	5.93	5.93	7.00	0.015368	3.48	14.10	6.79	0.72
1	1	T=200 anni	68.49	3.54	6.07	6.07	7.19	0.015216	3.51	15.02	6.89	0.71

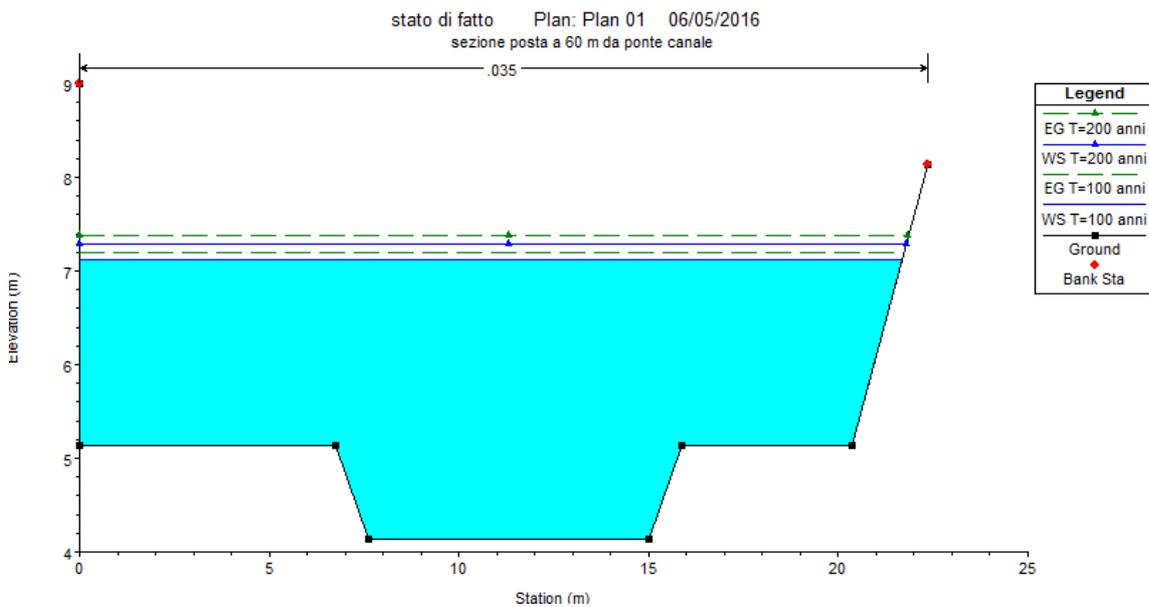
Profilo idrometrico della corrente-Stato di fatto



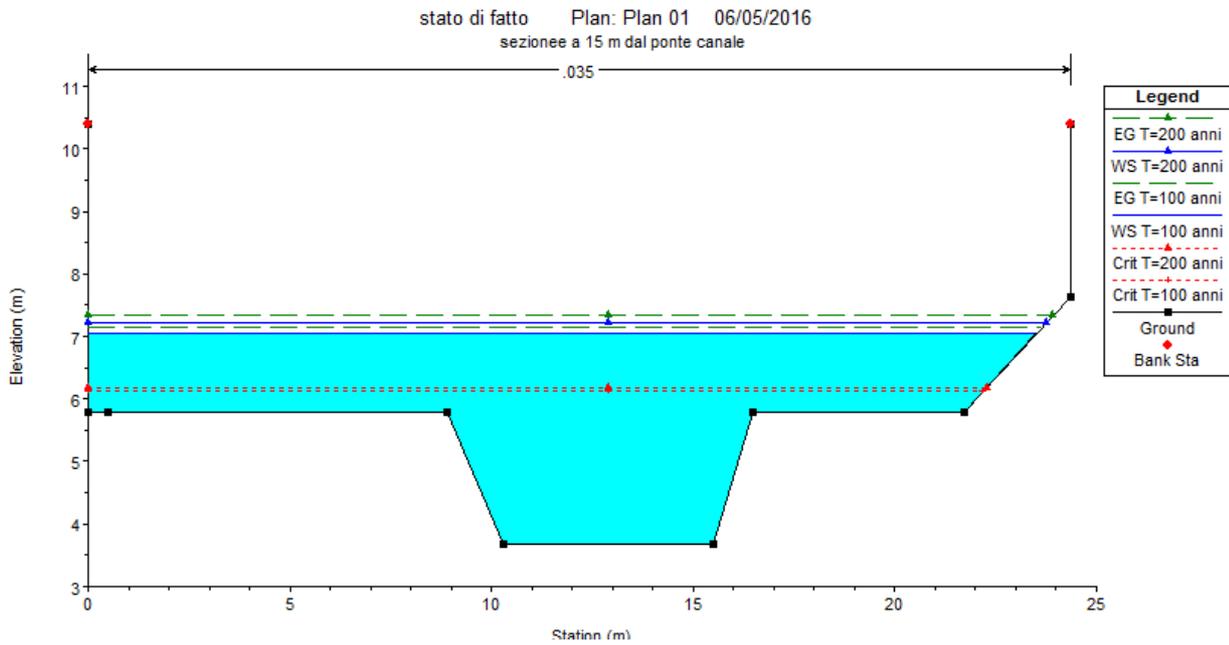
Sezione n.4 stato di fatto



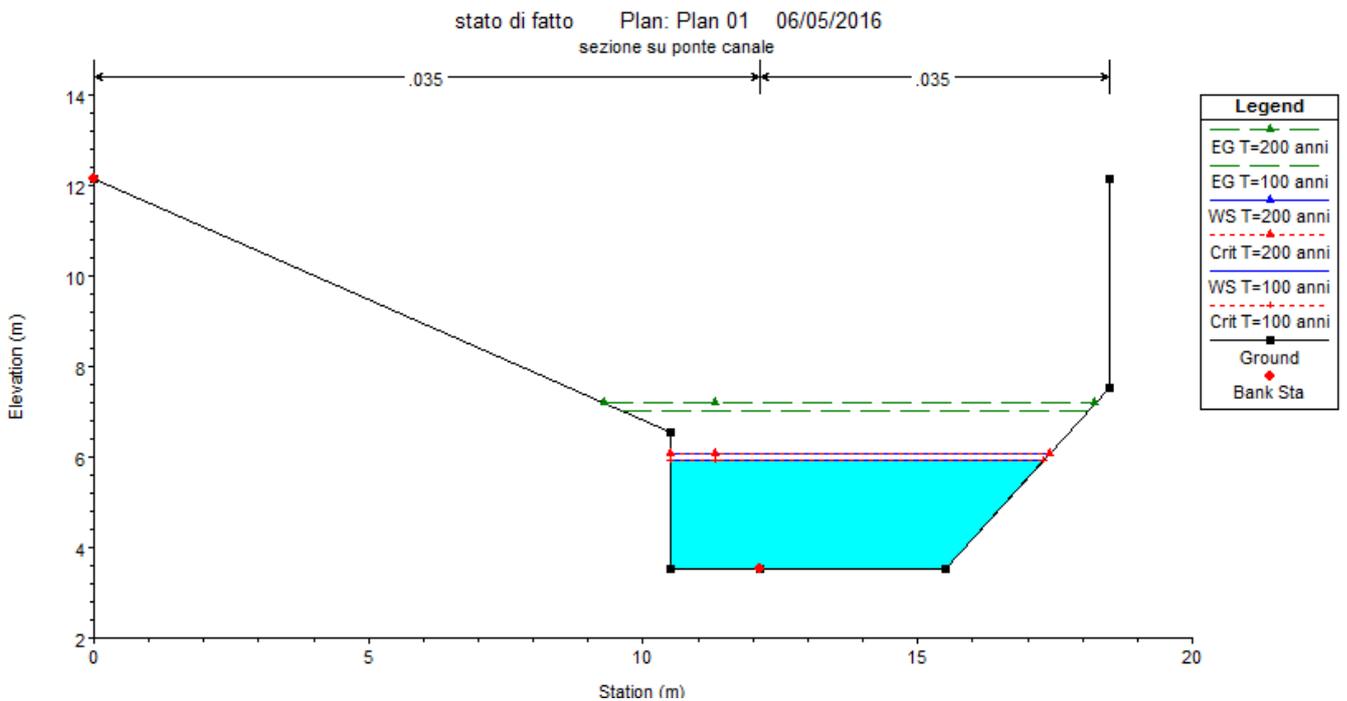
Sezione n.3 stato di fatto



Sezione n.2 stato di fatto



Sezione n.1 stato di fatto



STATO DI PROGETTO

Profili di calcolo

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	T=100 anni	T=200 anni	
1	Torrente Maderno	1	4	63	68.49
2	Torrente Maderno	1	3	63	68.49
3	Torrente Maderno	1	2	63	68.49
4	Torrente Maderno	1	1	63	68.49

Condizioni al contorno

Set boundary for all profiles Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

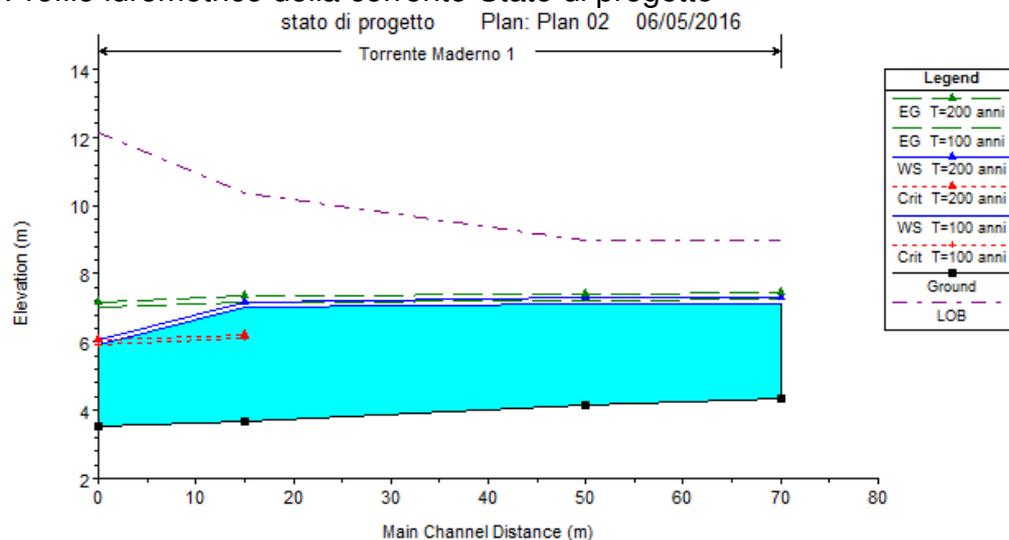
River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Torrente Maderno	1	all		Normal Depth S = 1

Livello idrometrico raggiunto dalla corrente per eventi caratterizzati da un tempo di ritorno T=100, 200 anni

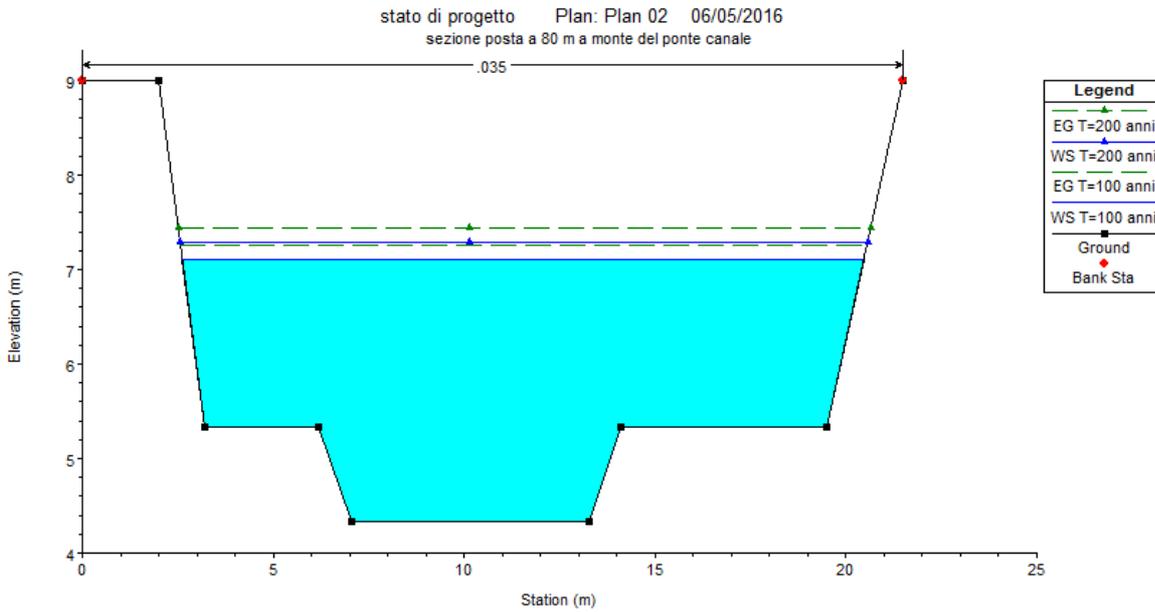
HEC-RAS Plan: Plan 02 River: Torrente Maderno Reach: 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	4	T=100 anni	63.00	4.34	7.11		7.26	0.001629	1.69	37.35	17.86	0.37
1	4	T=200 anni	68.49	4.34	7.29		7.43	0.001510	1.69	40.47	18.01	0.36
1	3	T=100 anni	63.00	4.14	7.11		7.22	0.001050	1.45	43.47	18.90	0.31
1	3	T=200 anni	68.49	4.14	7.29		7.40	0.000995	1.46	46.78	19.09	0.30
1	2	T=100 anni	63.00	3.69	7.00	6.12	7.16	0.002205	1.79	35.10	19.02	0.42
1	2	T=200 anni	68.49	3.69	7.19	6.19	7.35	0.001947	1.77	38.66	19.36	0.40
1	1	T=100 anni	63.00	3.54	5.93	5.93	7.00	0.015368	3.48	14.10	6.79	0.72
1	1	T=200 anni	68.49	3.54	6.07	6.07	7.19	0.015216	3.51	15.02	6.89	0.71

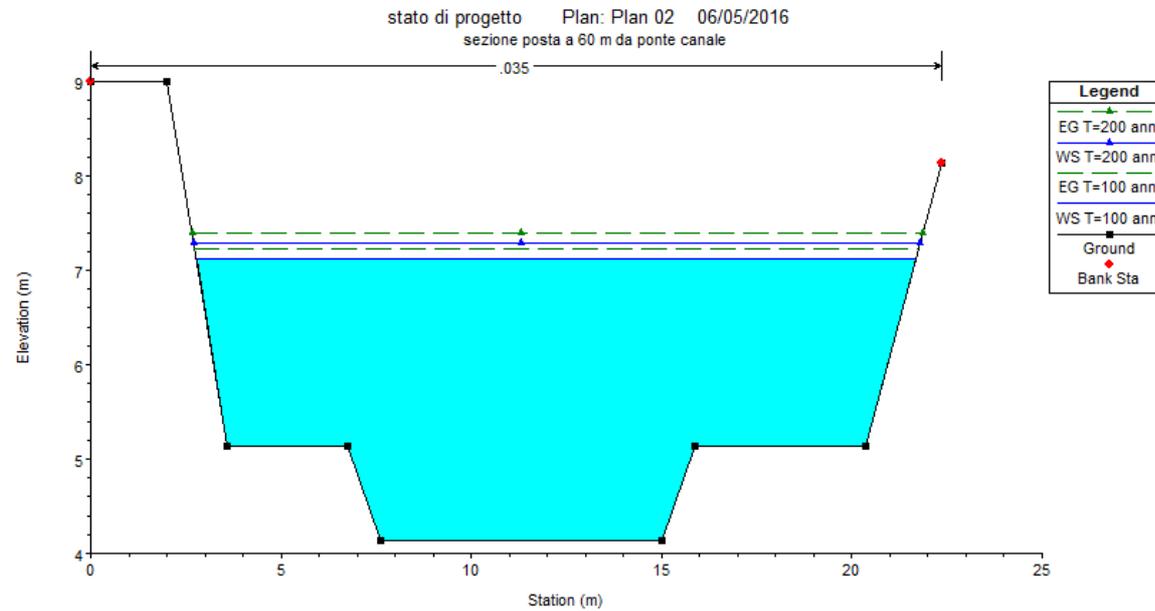
Profilo idrometrico della corrente-Stato di progetto



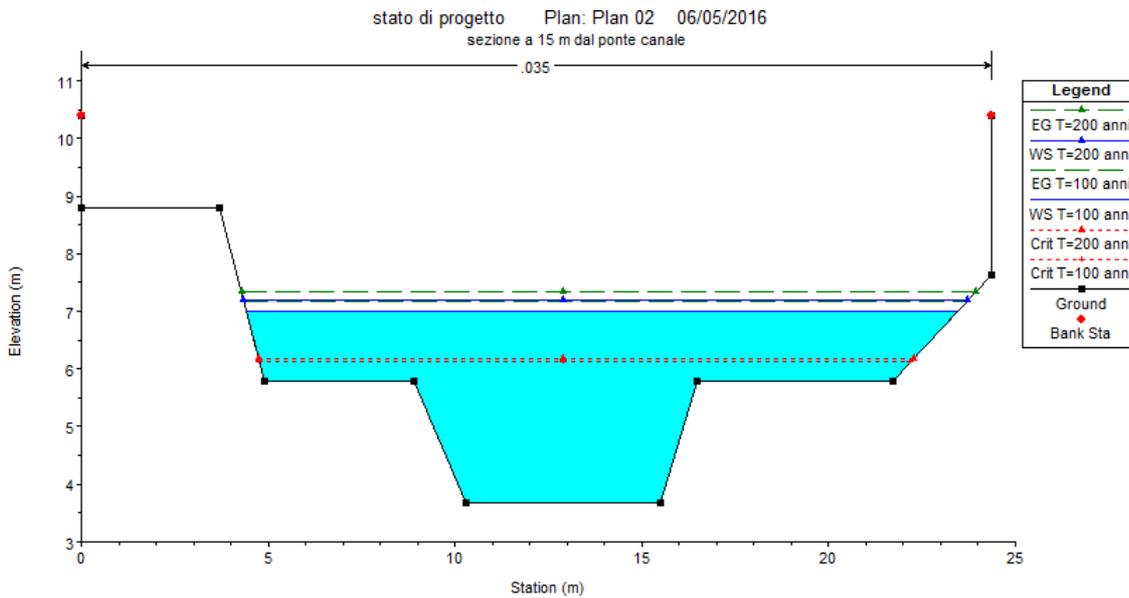
Sezione n.4 stato di progetto



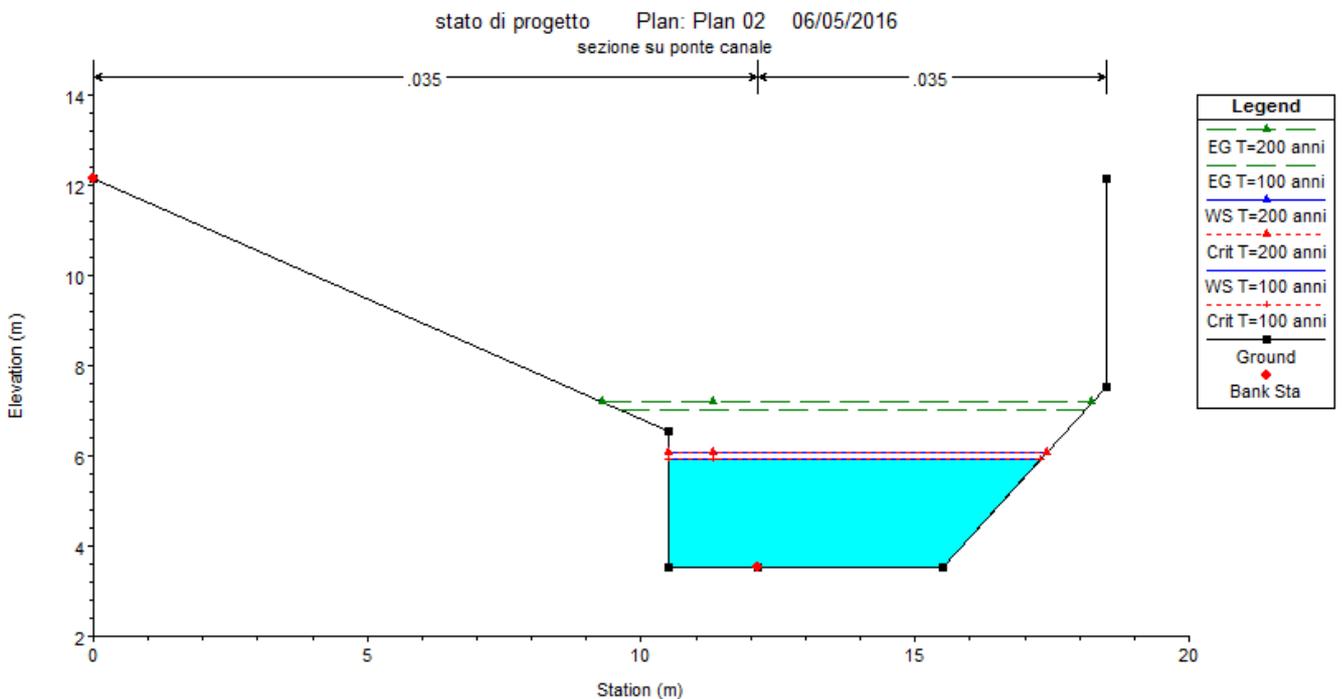
Sezione n.3 stato di progetto



Sezione n.2 stato di progetto



Sezione n.1 stato di progetto



Analizzando le verifiche sopra rappresentate, si osserva che la regimazione del tratto di asta del torrente Toscolano risulta compatibile con la portata da canalizzare. Il

restringimento di parte della sezione idrica esistente, a seguito dell'apporto di materiale proveniente dalla frana, non comporta variazione del livello idrico della corrente, in quanto la riduzione di sezione idrica comporta un aumento di energia della corrente che si manifesta in incremento del campo di velocità della stessa, pur rimanendo all'interno del campo di accettabilità

8) Conclusioni

Dalle verifiche evidenziate nei paragrafi precedenti, si osserva che il restringimento della sezione di deflusso del torrente Maderno consente di canalizzare la portata caratterizzata da un tempo di ritorno $T=200$ anni in totale sicurezza, in quanto il restringimento previsto in suddetto livello di progettazione non comporta innalzamenti significativi del pelo libero della corrente rispetto allo stato attuale. Si ritiene pertanto che l'intervento sia idoneo con la condizione che la nuova scogliera (a limitazione d'alveo e contenente il materiale di frana) dovrà rispettare le dimensioni e la posizione indicata nel progetto in modo che l'alveo abbia larghezza almeno pari alla larghezza delle spalle del ponte canale .

Gavardo 12-03-2017

Il tecnico progettista

Avanzi ing. Gian Pietro