

COMUNE DI COLICO



Revisione sistema di perimetrazione della pericolosità e del rischio idrogeologico ed idraulico del conoide del Torrente Perlino in Comune di Colico (LC)

ALLEGATO 1

VERIFICA IDRAULICA



Lecco – Dicembre 2012

Dott. Massimo Riva Geologo - c.f. RVI MSM 61H17 E507N - Part. Iva 01776580134
Via Previati 16, 23900 LECCO - Tel (0341) 286095 - Fax (0341) 361843
E-Mail ufficiotecnico@sgtl.it - Sito www.sgtl.it - Posta certificata sgtl@epap.sicurezzapostale.it

Redatto	Verificato	Approvato
FC	MR	MR

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	CARATTERISTICHE DEL TORRENTE PERLINO	3
3	MODELLAZIONE DEL TORRENTE PERLINO MEDIANTE HEC – RAS	4
3.1	INSERIMENTO DATI GEOMETRIA.....	4
3.2	INSERIMENTO PERDITE DI CARICO.....	5
3.3	INSERIMENTO SEZIONI CRITICHE	9
3.4	INSERIMENTO SEZIONI DA INTERPOLAZIONE HEC-RAS.....	15
3.5	INSERIMENTO VALORE DELLA PORTATA	15
3.6	INSERIMENTO CONDIZIONI AL CONTORNO E DI FLUSSO	17
3.7	RISULTATO MODELLAZIONE HEC-RAS	18
3.8	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DELLE SEZIONI CRITICHE	25
4	MODELLAZIONE SCENARIO DI SBARRAMENTO MEDIANTE HEC-RAS.....	32
4.1	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DELLE SEZIONI CRITICHE	32
5	CONCLUSIONI	36

1 INTRODUZIONE

Dal punto di vista idrografico il territorio del Comune di Colico, situato su un'ampia conca glaciale, è caratterizzato principalmente dalla presenza dei bacini dei Torrenti Inganna e Perlino che scorrono in direzione NNW – SSE; in prossimità del conoide la traiettoria dei torrenti curva verso E. A differenza del Torrente Inganna che scorre interamente nel territorio del Comune di Colico, l'alveo del Torrente Perlino rappresenta per gran parte il confine amministrativo con il vicino Comune di Dorio. Oltre a questi due torrenti, sul territorio comunale di Colico, scorrono in parte i Torrenti Merla e Noh.

Il bacino del Torrente Perlino, nel Comune di Colico, è il secondo per estensione dopo quello del Torrente Inganna al quale è attiguo. La superficie complessiva si estende per circa 3,33 km² dai 1930 m s.l.m. del Monte Zoppello d'Agrognò fino ai circa 435 m s.l.m. dell'apice del conoide in corrispondenza della frazione Posallo con una pendenza media dei versanti superiore al 30%.

Il corso d'acqua del Perlino appartiene al reticolo idrico principale con il codice LC017 (n. 367 dell'iscrizione all'elenco acque pubbliche) dallo sbocco a lago sino alla confluenza a sudest del M. Bedolessò.



Figura 1 – Vista aerea del Comune di Colico con in evidenza le aste dei Torrenti Inganna, Perlino e Merla.

2 CARATTERISTICHE DEL TORRENTE PERLINO

Il bacino del Torrente Perlino è per gran parte caratterizzato da coperture superficiali; il substrato roccioso affiora con discontinuità in prevalenza alla testata di valle e, a tratti, lungo il corso d'acqua.

Le numerose vallecole laterali all'asta principale del torrente contribuiscono decisamente all'apporto detritico, a causa della presenza anche in tali piccoli bacini di frequenti punti di crollo e di erosione, soprattutto in corrispondenza del versante orografico sinistro nel tratto completamente in territorio comunale di Dorio.

Nel tratto di monte il Torrente Perlino scorre all'interno di un versante mediamente acclive con frequenti fenomeni erosivi e piccoli dissesti superficiali soprattutto nelle aree interessate da un'elevata circolazione sotterranea. Nella parte di fondovalle il torrente scorre in un ampio cono di deiezione con pendenza non elevata. In passato la foce era situata in corrispondenza dell'attuale Hotel Risi.

In seguito agli interventi realizzati negli ultimi anni, il torrente si presenta quasi completamente regimato a partire dalla briglia selettiva a fessura e relativa vasca di accumulo posta in località Navascia a quota 513 m s.l.m. fino alla suo foce. In particolare, lungo questo tratto, si possono trovare 35 tra briglie e soglie, mentre i ponti che attraversano l'asta del Torrente Perlino sono sei.



Figura 2 – Briglia selettiva a fessura e vasca di accumulo in località Navascia (513 m s.l.m)

In conseguenza dei lavori di regimazione effettuati dall' Amministrazione Comunale e dal Magistrato del Po lungo il Torrente Perlino a quota compresa tra 320 m s.l.m e 337 m s.l.m. per una lunghezza di 130 m relativi all'Intervento 4, si è scelto di rimodellare tale tratto sostituendo la sezione precedentemente estrapolata dal fotogrammetrico (evidenziata in magenta in figura) con quelle relative al progetto esecutivo (in verde).

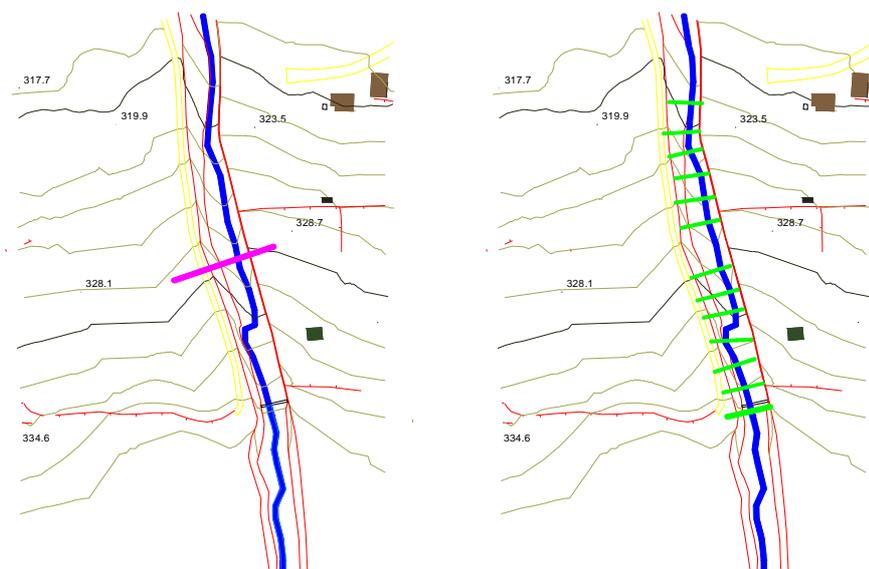


Figura 4 – Sezioni inserite in Hec-Ras nell'area interessata dall'Intervento 4.

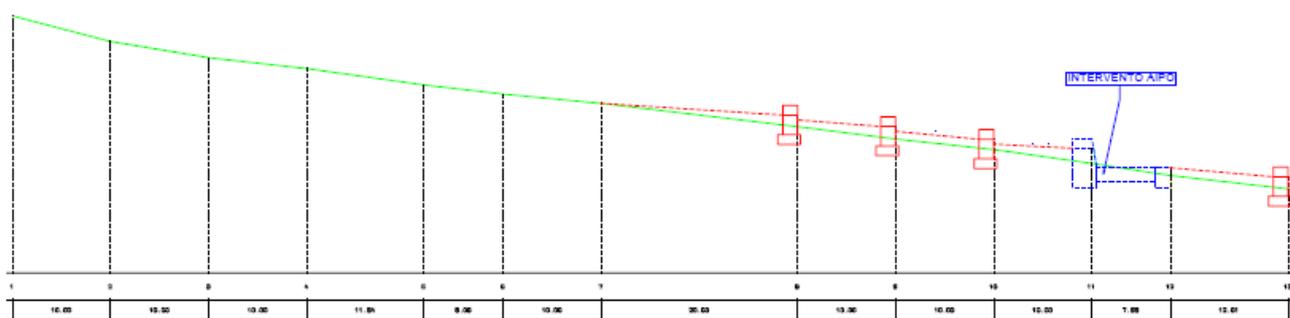


Figura 5 – Profilo del Torrente Perlino prima e dopo le opere relative all'Intervento 4.

3.2 Inserimento perdite di carico

Il software utilizzato permette di calcolare le perdite di carico distribuite derivanti dallo scorrimento dell'acqua su di una superficie non liscia mediante la formula di Chezy:

$$Sf = V^2 / (C^2_{Chezy} R)$$

Si può notare come tale perdita di energia dipenda sostanzialmente dalla velocità della corrente V , dal raggio idraulico della sezione R e dal coefficiente di Chezy. Tale coefficiente è a sua volta funzione del numero di Reynolds Re , dalla scabrezza relativa e dalla forma dell'alveo.

Dal momento che il regime dei canali naturali è assolutamente turbolento, la dipendenza dal numero di Reynolds è poco influente, per questo il coefficiente di Chezy viene determinato attraverso il metodo di Manning con relativo coefficiente n [$s/m^{1/3}$]:

$$C_{Chezy} = (1 / n) R^{1/6}$$

Il valore del coefficiente di Manning dipende da vari fattori quali la scabrezza superficiale (superfici artificiali, roccia, sedimenti), la vegetazione, la forma del fondo, le irregolarità al contorno (irregolarità sponde, forma sezione, curve) ed eventuali ostruzioni e singolarità.

Data la complessità della scelta di tale coefficiente, Hec-Ras fornisce una tabella che propone un range entro il quale scegliere il corretto valore in base ad una breve descrizione delle caratteristiche che dovrebbe avere la sezione. In particolare vengono richiesti tre diversi valori di questo coefficiente relativi alle tre parti in cui viene divisa la sezione ossia l'alveo centrale, la golena sinistra e quella destra.

Stazione	Golena Sinistra	Centro Alveo	Golena Destra
43	0.05	0.04	0.05
42	0.05	0.03	0.05
41	0.05	0.03	0.05
40	0.05	0.03	0.05
39	0.05	0.035	0.05
38	0.05	0.035	0.05
37	0.05	0.037	0.05
36	0.05	0.037	0.05
35	0.05	0.037	0.05
34.13	0.04	0.035	0.04
34.12	0.04	0.035	0.04
34.11	0.04	0.035	0.04
34.10	0.04	0.035	0.04
34.09	0.04	0.035	0.04
34.08	0.04	0.035	0.04
34.07	0.04	0.035	0.04
34.06	0.02	0.018	0.02
34.05	0.02	0.018	0.02

34.04	0.02	0.018	0.02
34.03	0.04	0.035	0.04
34.02	0.04	0.035	0.04
34.01	0.02	0.018	0.02
33	0.06	0.037	0.06
32	0.06	0.037	0.06
31	0.06	0.037	0.06
30	0.06	0.037	0.06
29	0.065	0.037	0.06
28	0.013	0.035	0.013
27	0.024	0.018	0.018
26	0.02	0.018	0.018
25	0.05	0.038	0.05
24	0.02	0.018	0.02
23	0.05	0.038	0.05
22	0.05	0.038	0.05
21	0.02	0.018	0.02
20	0.02	0.018	0.02
19	0.045	0.018	0.045
18	0.045	0.018	0.045
17	0.045	0.018	0.045
16	0.045	0.018	0.045
15	0.045	0.018	0.045
14	0.045	0.018	0.045
13	0.045	0.018	0.045
12	0.045	0.018	0.045
11	0.045	0.018	0.045
10	0.013	0.018	0.045
9	0.045	0.018	0.045
8	0.045	0.018	0.045
7	0.045	0.018	0.045
6	0.045	0.018	0.045
5	0.045	0.018	0.045
4	0.045	0.018	0.045
3	0.045	0.018	0.045
2	0.045	0.018	0.045
1	0.045	0.018	0.045

Tabella 1 – Elenco delle sezioni inserite in Hec-Ras con relativi coefficienti di Manning per ogni parte della sezione (si evidenzia come il numero delle sezioni sia crescente da valle verso monte)

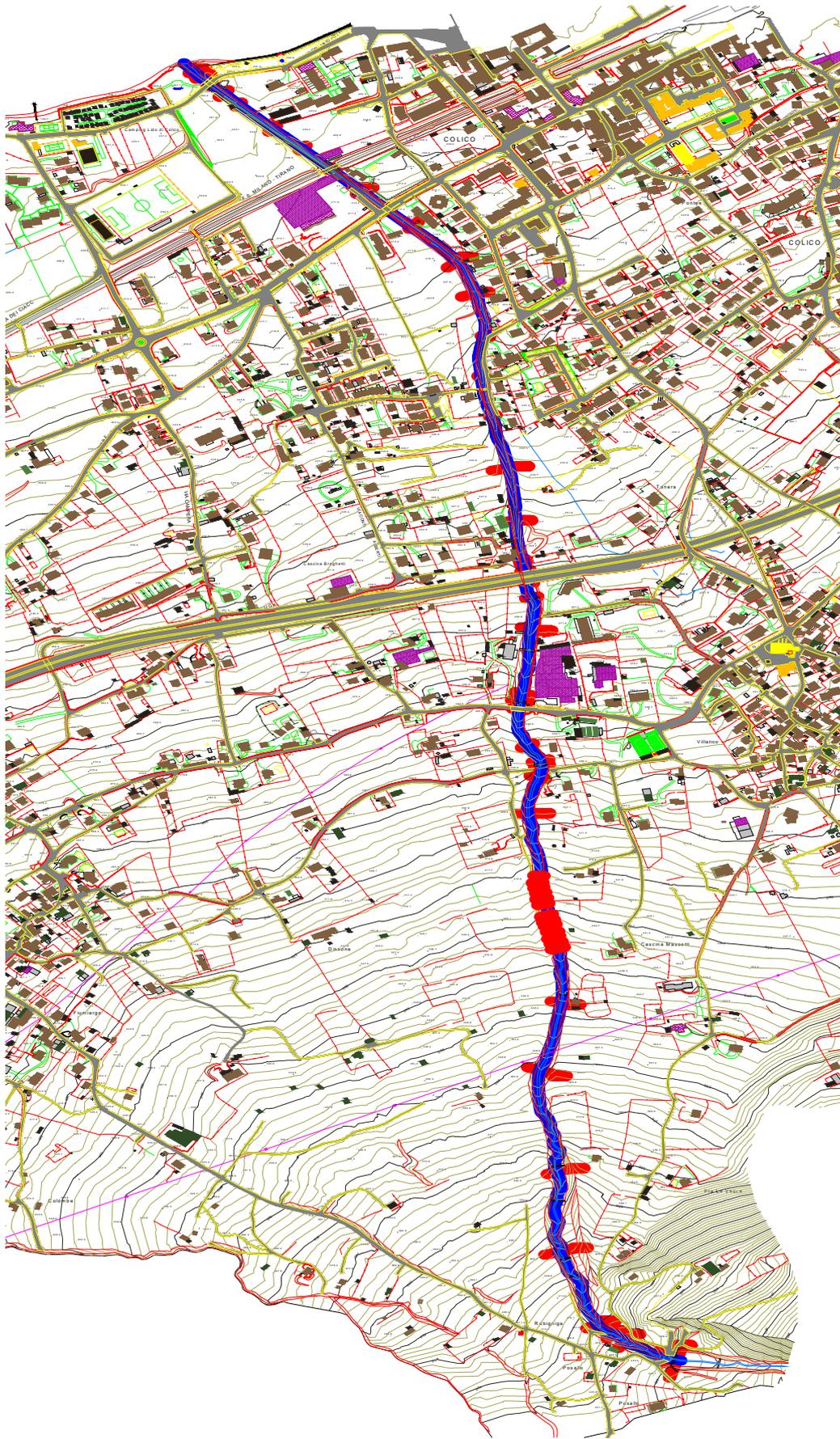


Figura 6 – Fotogrammetria con riportata l'ubicazione delle sezioni inserite nella modellazione Hec-Ras.

3.3 Inserimento sezioni critiche

Come descritto in precedenza, il tratto di Torrente Perlino considerato è caratterizzato dalla presenza di diverse opere di regimazione idraulica e ponti. Tali strutture creano all'interno dell'alveo una sezione critica dal momento che interferiscono più o meno negativamente sul flusso del corso d'acqua. Ad esempio la presenza di un ponte causa una variazione delle condizioni al contorno dal momento che la sezione immediatamente a valle di quest'ultimo vedrà ricevere il flusso solo dalle zone consentite dal ponte precedente. Questa possibile limitazione dell'area di passaggio comporta delle problematiche relative al deflusso della portata in quanto l'acqua sarà costretta a diminuire la propria velocità innalzando il livello idrico a monte creando così una sorta di bacino che, nei casi più critici, potrà causare un'esondazione nelle aree circostanti al corso d'acqua specialmente nella parte precedente all'attraversamento.

Inserimento briglie e soglie

Il software Hec-Ras esegue un'interpolazione lineare tra le diverse sezioni inserite. Per questo, nel caso siano presenti briglie e/o soglie bisogna inserire due sezioni, una appena a monte ed una appena a valle della struttura così da riprodurre correttamente l'andamento dell'alveo.

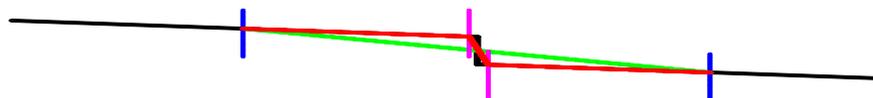


Figura 7 – Esempio di modellazione Hec-Ras: in verde il profilo modellato da software inserendo solamente le sezioni indicate in blu; in rosso il profilo elaborato dopo aver inserito le due sezioni a monte ed a valle della briglia (in magenta).

Inserimento ponti

Nel caso di ponti che attraversano il corso d'acqua, Hec-Ras permette la loro modellazione inserendo la geometria della struttura. I ponti che attraversano il Torrente Perlino nel tratto considerato sono sei:

Ponte Lungolario Polti:

Questo ponte ad arco ha causato in passato alcuni problemi come quando, durante il sovralluvionamento del 27-28 Giugno 1997, il materiale trasportato dal torrente ha provocato la chiusura della sezione con conseguente esondazione. La massima altezza dell'intradosso dal letto del torrente è di 3 m per la sezione di valle e di 2,90 m per quella di monte dove è presente una struttura rettangolare che ne limita l'altezza. La larghezza massima della luce del ponte è di 4,90 m e la lunghezza è di 6,4 m.

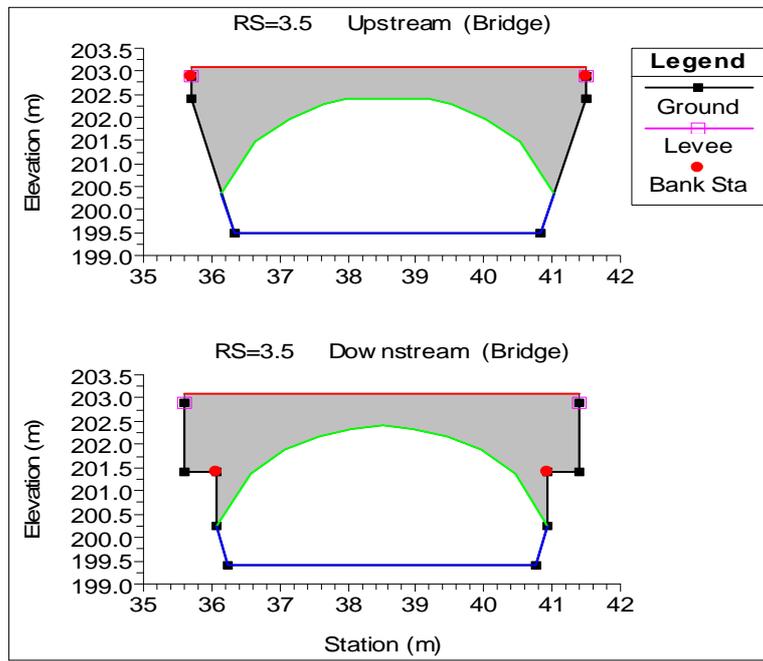


Figura 8 – Sezione del ponte di via Lungolario Polti vista da monte e da valle.

Ponte nuovo all'altezza del campo sportivo:

La presenza di questo ponte stradale non è indicata sulle carte utilizzate in quanto di recente costruzione. Esso si trova tra i ponti di via Lugolario Polti e quello della ferrovia all'altezza del campo sportivo comunale. Ha la funzione di collegare via Lido con via Pontile. L'altezza dell'intradosso è di 5,40 m per una larghezza superiore ai 14 m. Il corso d'acqua scorre al di sotto della struttura per una lunghezza di 6 m.

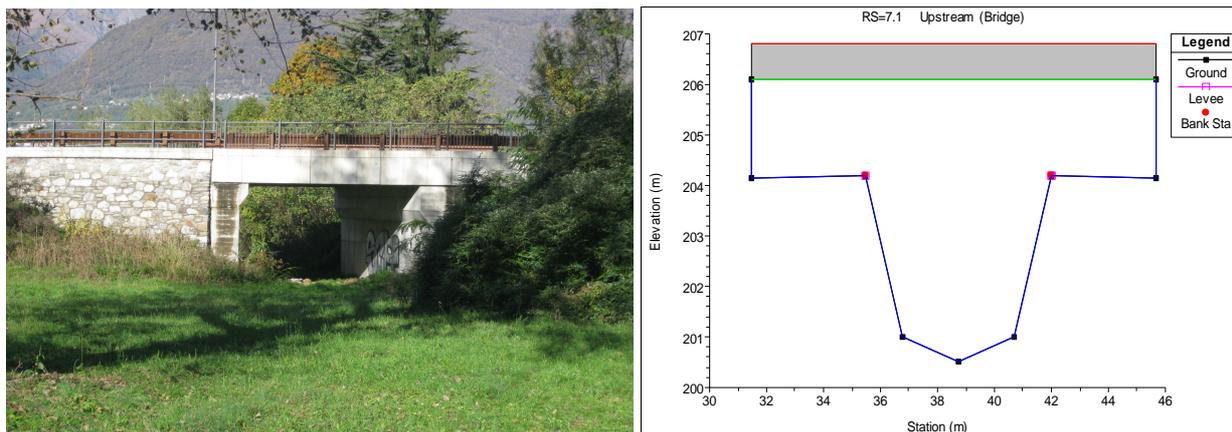


Figura 9 – Vista della sezione del ponte da monte nel caso reale e nella rielaborazione in Hec-Ras.

Ponte della Ferrovia:

Questo ponte ad arco permette il collegamento ferroviario tra la Valtellina e Milano. Per quanto riguarda il trasporto su rotaia non esistono altre alternative a tale collegamento fino alla stazione di Lecco. La massima altezza dal letto dell'alveo è di 5 m, mentre la massima larghezza è pari a 6 m. La struttura sovrasta il Torrente Perlino per una lunghezza di 5,08 m.



Figura 10 – Vista della sezione del ponte della Ferrovia da monte.

Ponte di via Nazionale:

Permette il collegamento tra la frazione Campera ed il centro di Colico. È anche il collegamento su gomma più veloce tra Lecco e la Valtellina dopo la SS 36 del Lago di Como e dello Spluga. Il

ponete ad arco ha la massima altezza nel punto centrale dove raggiunge i 4,30 m dal letto dell'alveo e la minima in corrispondenza degli argini laterali dove raggiunge i 3,50 m. Il corso d'acqua scorre al di sotto della struttura per una lunghezza di 10 m.

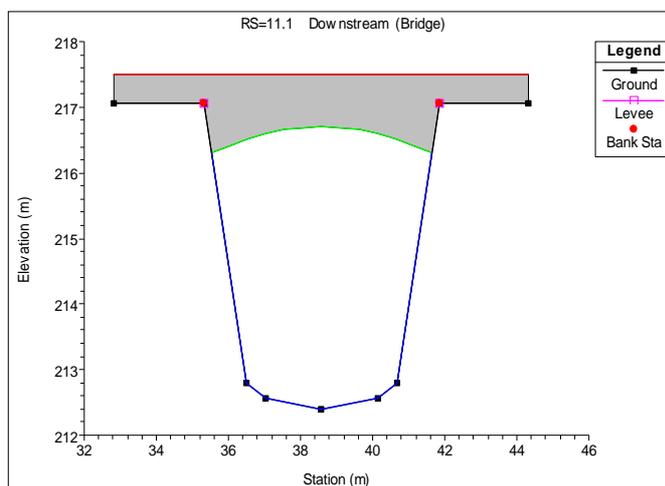


Figura 11 – Vista della sezione del ponte di via Nazionale da valle.

Ponte della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga:

Permette il collegamento veloce tra Milano e la Valtellina. La strada è composta da due carreggiate separate entrambe di due corsie con unico senso di marcia ed è di fondamentale importanza per la viabilità. La larghezza della sezione del ponte adibita al passaggio del Torrente Perlino è di 12 m per un'altezza della sezione di valle che varia dai 4 m in sinistra idrografica ai 2,60 m in destra idrografica. Nella sezione di monte del ponte l'altezza dell'intradosso dal letto del torrente è pari rispettivamente a 1,60 m in sinistra e 2,30 m in destra idrografica. Questa variazione d'altezza è dovuta al grande deposito detritico presente sotto il ponte come si può notare nella figura seguente. Il corso d'acqua scorre al di sotto della struttura per una lunghezza di 22 m. Durante l'evento del sovralluvionamento del 1997 il materiale detritico ed il legname flottante trasportato ha causato l'ostruzione della luce del ponte con conseguente allagamento della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga.

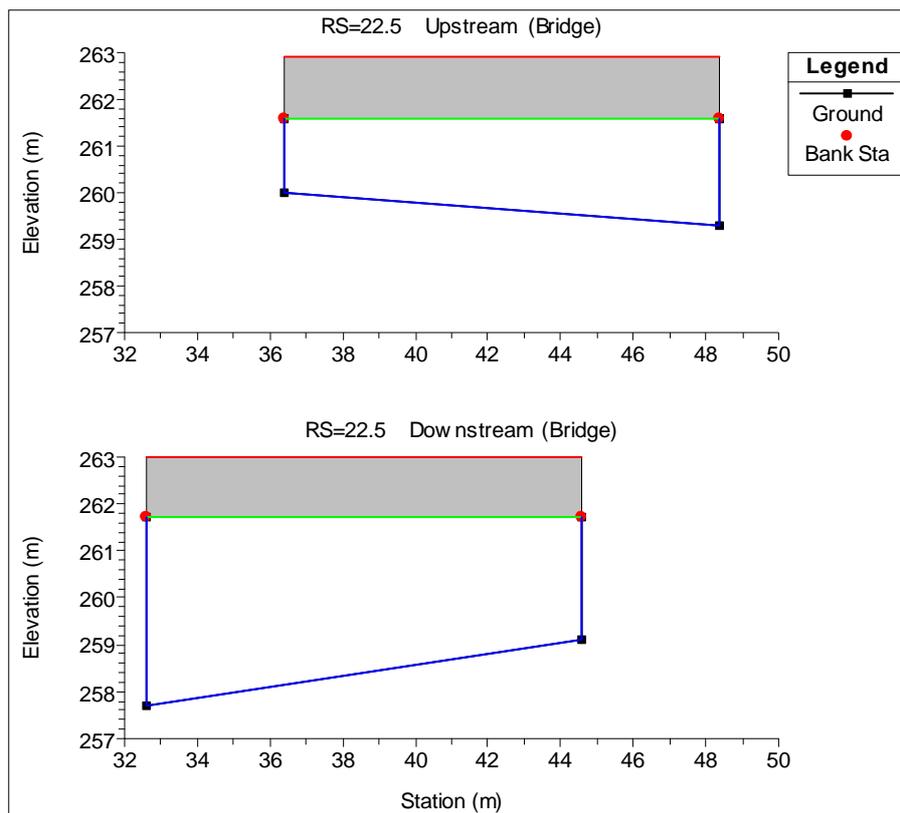


Figura 12 – Vista da valle della sezione di monte al di sotto del ponte della SS 36 e sezioni di monte e di valle modellate in Hec-Ras.

Ponte di via Perlino:

Questa struttura è l'unico attraversamento stradale presente a monte del ponte della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga. Unisce le frazioni di Borgonuovo e Villatico rispettivamente in sinistra e destra idrografica. La differenza massima di quota tra il letto del torrente e l'intradosso è di circa 3 m per una larghezza della luce del ponte di 17,20 m. L'impalcato della struttura è alto 1,75 m e ricopre il corso d'acqua per una lunghezza di 7 m.

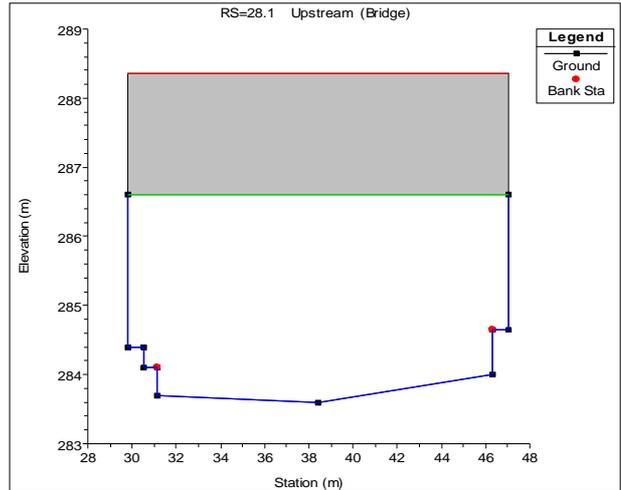


Figura 13 – Vista della sezione di monte del ponte di via Perlino.

Inserimento briglia selettiva in località Posallo

È stata infine inserita la briglia selettiva situata in località Posallo ad una quota di 440 m s.l.m..

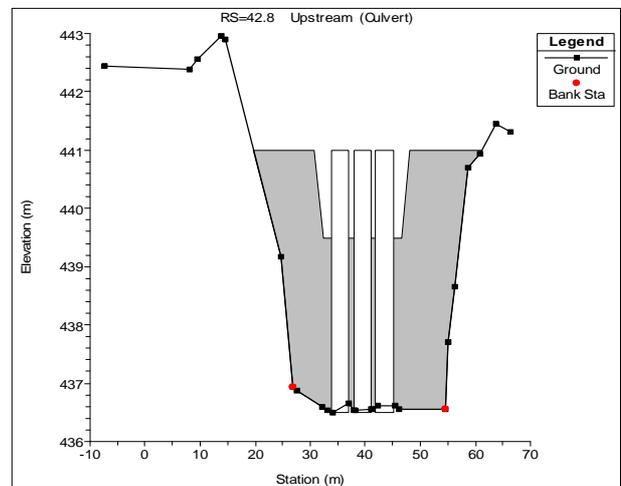


Figura 14 – Vista della briglia selettiva in località Posallo da monte.

3.4 Inserimento sezioni da interpolazione Hec-Ras

Prima di procedere all'inserimento della portata liquida si vuole migliorare la modellazione della geometria del Torrente Perlino inserendo una distanza massima di 10 m tra una sezione e l'altra. Questa modellazione è eseguita automaticamente dal software Hec-Ras che esegue una interpolazione lineare basandosi sulle sezioni precedentemente inserite.



Figura 15 – Modellazione della geometria del Torrente Perlino con Hec-Ras dalla prima vasca di accumulo in località Posallo allo sbocco nel lago di Como.

3.5 Inserimento valore della portata

Per la definizione dei caratteri idrologici si è fatto riferimento ai dati disponibili nei documenti relativi agli interventi progettuali della L. 102/90.

La portata al colmo è stata stimata tenendo conto dei caratteri pluviometrici della zona e quindi dei dati raccolti e di quelli utilizzati in vari studi passati (tra cui lo “*Studio geologico, geotecnico,*

geomeccanico e di pericolosità del versante fronte lago comprendente i comuni di Colico, Dervio, Dorio e Bellano” redatto dal Prof. Crosta nel 2004).

La stima della portata di piena è stata effettuata applicando la Formula Razionale che tiene conto delle caratteristiche pluviometriche del bacino. Il procedimento di stima della portata di piena consiste nel valutare gli afflussi per assegnati periodi di ritorno e determinare i corrispondenti deflussi mediante diverse tecniche di trasformazione afflussi-deflussi. La portata al colmo di piena Q_L è stata calcolata utilizzando una pioggia di intensità costante, pari ad un tempo di ritorno T di 100 anni, e di durata corrispondente al tempo di corrivazione t_c del bacino:

$$Q_L = (A \Phi h_c \varepsilon) / t_c$$

Dove con A si intende la superficie del bacino espressa in km^2 , con Φ il coefficiente di afflusso definito in funzione delle caratteristiche morfometriche del bacino, con h_c l'altezza critica di precipitazione in mm caduta nel tempo di corrivazione t_c e uniformemente distribuita sulla superficie del bacino e con ε il coefficiente di laminazione che per bacini di ridotte dimensioni e pendenze elevate è posto pari ad 1. Eseguendo il calcolo utilizzando come valore del tempo di corrivazione t_c quello definito mediante la formula di Giandotti (1934) e pari a 0,91, si ottiene:

$$Q_L = 45,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tenendo in considerazione il valore di magnitudo del materiale mobilizzabile durante un evento di trasporto di massa (stimato per il Torrente Perlino in 87.357 m^3) proposto nella relazione per la “Proposta ridefinizione aree sotto vincolo L. 267/98 nel Comune di Colico” redatta dal Dott. Leoni e dall' Ing. Fenaroli nel 2006 seguendo le indicazioni contenute nei “Criteri Attuativi della L.R. 12/05 per il Governo del territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio” si procede alla stima della portata di un'eventuale colata detritica Q_{CD} utilizzando il metodo semi-empirico e speditivo proposto da Takahashi ed ottenendo:

$$Q_{CD} = 53,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

pari ad un incremento del 18% della portata liquida Q_L .

Bisogna comunque osservare che dalla Relazione Geologica relativa alle “Opere di regimazione idraulica e realizzazione nuova briglia di trattenuta sul Torrente Perlino” redatta dal Dott. Tedoldi nel 2011, le nuove opere allestite tra le due vasche di trattenuta già esistenti in località Posallo ed in località Navascia permetteranno la deposizione ed accumulazione di una quantità superiore ai $140.000/150.000 \text{ m}^3$ di materiale. Questo comporterebbe una totale immobilizzazione della

magnitudo precedentemente proposta prima del tratto di Torrente Perlino modellato in Hec-Ras e quindi la presenza della sola portata di piena liquida Q_L .

Nonostante questo, si sceglie di eseguire la modellazione inserendo entrambe le portate (liquida e con un'eventuale colata detritica) così da mantenere nella realtà un fattore di sicurezza. Tali portate saranno considerate costanti lungo tutta l'asta del torrente in quanto si sceglie di utilizzare un moto permanente.

3.6 Inserimento condizioni al contorno e di flusso

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle). Questo dato è necessario al programma per poter effettuare i calcoli e determinare l'integrale particolare dell'equazione differenziale che regola il moto permanente:

$$(\delta E / \delta s) = s_0 - s_f$$

Dove s_0 ed s_f rappresentano rispettivamente la pendenza e la cadente piezometrica. In particolare, nel caso di un regime di corrente lenta (altezza dell'acqua d maggiore dell'altezza critica d_c corrispondente alla minima quantità di energia), la condizione al contorno necessaria è quella di valle di fatti la corrente non risente di ciò che accade a monte. Viceversa, nel caso di un regime di corrente veloce ($d < d_c$) la condizione di contorno necessaria sarà quella a monte.

Data l'elevata pendenza e le caratteristiche dell'alveo si ipotizza un regime di corrente veloce nel tratto di torrente considerato e quindi si impone come condizione al contorno nella sezione di monte l'altezza critica d_c . A causa della presenza di numerose briglie ed attraversamenti che possono causare un ostacolo al normale deflusso delle acque, soprattutto nel caso di piena, è possibile il verificarsi di situazioni di passaggio da corrente veloce a lenta e viceversa nell'intorno di tali sezioni; per questo la scelta finale per la modellazione Hec-Ras è quella di adottare un regime di corrente mista (lenta-veloce) ed inserire oltre alla condizione al contorno di monte vista precedentemente anche quella di valle ponendola sempre pari all'altezza critica d_c .

Infine il terzo passaggio da corrente veloce a lenta si ha prima dell'ultimo ponte, quello ad arco di via Lungolario Polti. In questo caso, oltre alla limitata pendenza dell'alveo, è l'ostacolo causato dalla presenza del ponte a provocare la creazione di una sorta di bacino a monte di quest'ultimo con conseguente passaggio in lenta della corrente ad una distanza di circa 40 m dal ponte stesso. Bisogna però precisare che tale risultato è ottenuto ipotizzando degli argini laterali, nella sezione del ponte, che non permettono al corso d'acqua di esondare lateralmente; nel caso reale questo non avviene e quindi la distanza dal ponte di via Lungolario Polti del passaggio da corrente veloce a lenta si riduce.

Il ritorno in corrente veloce è ottenuto appena sorpassata la struttura.

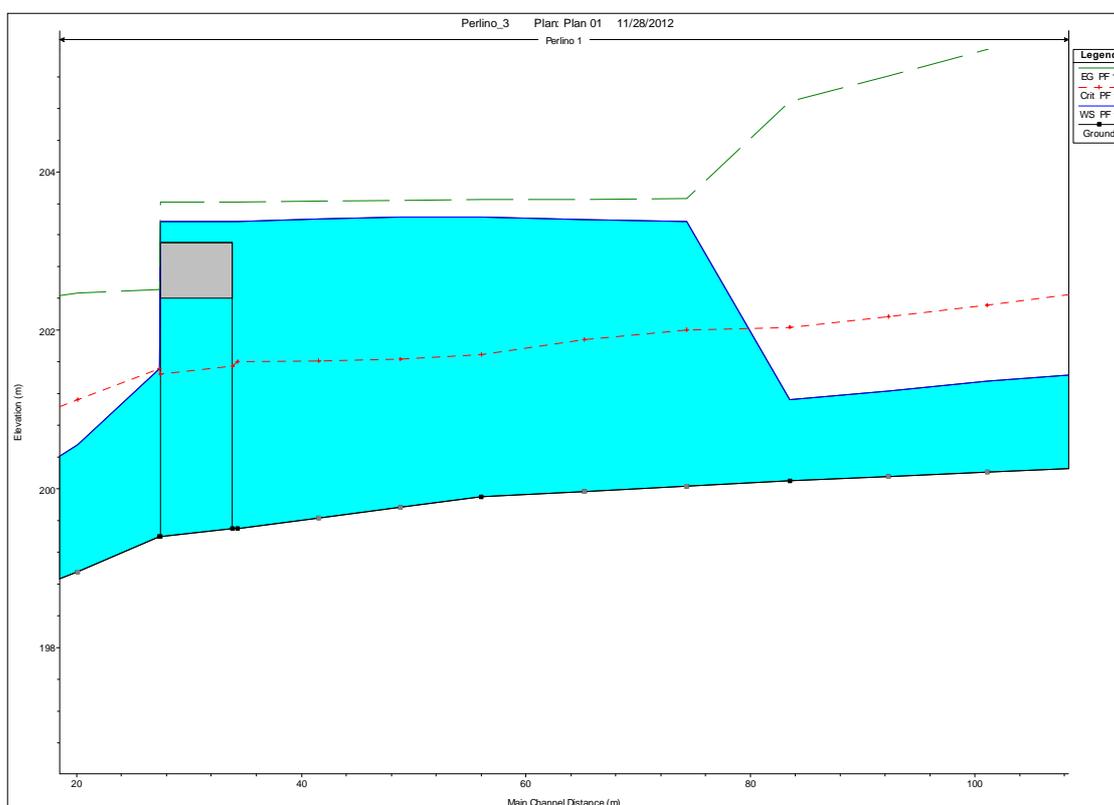


Figura 17 – Profilo della corrente in corrispondenza del ponte di Via Lungolario Polti nel caso di portata pari a 45,2 m³/s. Si nota il passaggio in corrente lenta a circa 70 m a monte del ponte ed il ritorno in corrente veloce non appena sorpassata la struttura.

Questi risultati sono riscontrabili anche dalle tabelle dei risultati restituite da Hec-Ras dove il passaggio da un regime di corrente veloce ad un regime di corrente lenta si verifica quando alla sezione corrisponde un numero di Froude Fr minore di 1; dove:

$$Fr = V/(g d)^{(1/2)}$$

Dove V è la velocità, g l'accelerazione di gravità e d il rapporto tra l'area della sezione idrica trasversale e la larghezza del pelo libero.

Sezione	Portata [m3/s]	Min. Chn. El. [m]	W.S. Elev. [m]	Vel. Chn. [m/s]	N°Froude
43	45.2	437.93	438.68	2.52	1
42.9	45.2	436.5	438.72	0.76	0.17
42.7	45.2	436.5	437.25	2.53	1
42	45.2	433.18	434.06	7.29	2.73
41	45.2	423.49	424.34	10.45	3.68
40	45.2	420.04	420.75	10.66	4.2
39	45.2	417.25	418.3	9.16	3.25
38	45.2	398.38	399.3	7.19	3.11
37	45.2	382.18	383.22	5.75	2.58
36	45.2	358.19	359.09	6.44	2.8
35	45.2	346.72	347.48	6.29	2.47
34.13	45.2	337.64	338.35	6.31	2.54
34.12	45.2	334.49	335.69	8.39	2.74
34.11	45.2	333.06	334.45	8.52	2.57
34.1	45.2	331.91	333.22	8.62	2.72
34.09	45.2	330.27	331.56	8.87	2.83
34.08	45.2	329.24	330.49	8.9	2.87
34.07	45.2	328.09	329.06	8.88	3.19
34.06	45.2	327.18	328.24	8.28	2.79
34.059	45.2	326.08	327.03	9.55	3.41
34.05	45.2	326.01	326.99	9.09	3.2
34.049	45.2	324.74	325.62	10.45	3.87
34.04	45.2	324.7	325.64	9.72	3.49
34.039	45.2	323.64	324.5	10.77	4.02
34.031	45.2	323.79	324.72	9.81	3.53
34.03	45.2	321.55	322.86	11.5	4.34
34.02	45.2	321.57	322.73	9.54	3.16
34.01	45.2	320.85	321.82	9.39	3.33
34.009	45.2	319.59	320.46	10.7	3.98
33	45.2	304.54	305.4	7.11	3.06
32	45.2	297	297.45	5.74	2.74
31	45.2	295	295.5	5.13	2.31
30	45.2	293.4	293.81	6.05	3.02
29	45.2	289	289.89	6.7	2.91
28.2	45.2	283.6	284.25	5.67	2.52
28	45.2	283.6	285.05	2.07	0.57
27	45.2	283.6	284.67	3.35	1.13
26.9	45.2	282.1	282.65	7.09	3.13
26	45.2	282.1	282.72	6.14	2.6
25.9	45.2	280.1	280.53	8.95	4.47
25	45.2	266.8	267.84	7.06	2.72
24	45.2	262.8	263.41	8.01	3.36
23.9	45.2	261.8	262.34	9.21	4.05
23	45.2	259.3	260.19	6.98	3.03
22	45.2	257.7	259.1	5.35	2.03
21	45.2	256.2	257.08	8.07	2.76
20.9	45.2	255.6	256.27	9.17	3.58
20	45.2	255.2	256.2	8.08	2.72
19.9	45.2	254.6	255.33	9.28	3.47

19	45.2	249.71	250.83	10.1	3.48
18	45.2	242.62	243.62	11.29	4.17
17	45.2	233	234.05	12.92	4.34
16	45.2	231.7	232.88	9.9	3.04
15	45.2	226.9	227.69	11.28	4.16
14	45.2	223.38	224.12	10.49	4.02
13	45.2	219	220.01	10.63	3.78
12	45.2	214	215.37	10.68	3.31
11.2	45.2	212.4	213.53	10.48	3.45
11	45.2	212.4	213.58	9.91	3.19
10	45.2	209.94	211.07	10.4	3.46
9.2	45.2	206.27	207.38	11.02	3.68
9	45.2	206.27	207.41	10.69	3.52
8	45.2	203.24	204.35	10.99	3.66
7.2	45.2	200.5	201.75	10.95	3.65
7	45.2	200.5	201.78	10.59	3.48
6	45.2	200.1	201.12	8.59	2.93
5	45.2	199.9	203.43	2.09	0.35
4	45.2	199.5	203.37	2.2	0.37
3	45.2	199.4	201.51	4.45	0.99
2	45.2	198.52	199.92	6.92	2.01
1	45.2	198.49	199.42	7.22	2.57

Tabella 2 – Risultati nel caso di portata pari a 45,2 m³/s. Sono evidenziate in giallo quelle sezioni per cui il numero di Froude è minore di 1 e quindi sono in corrente lenta.

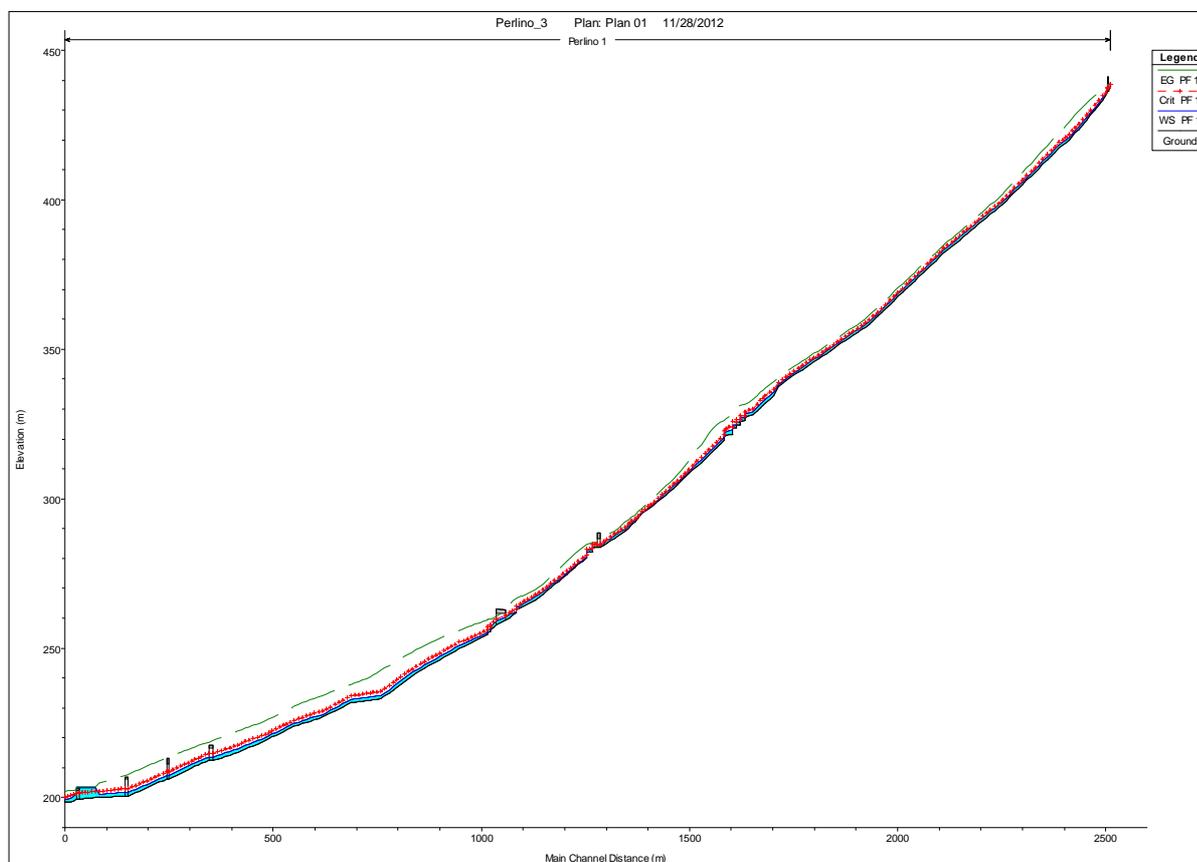


Figura 18 – Profilo dell'intera asta torrentizia modellata nel caso di portata pari a 45,2 m³/s.

Portata $Q = 53,25 \text{ m}^3/\text{s}$

Aumentando la portata del 18% si hanno delle differenze nei risultati; in particolare, come era prevedibile, aumentano i valori della velocità e dell'altezza di pelo libero. Inoltre non si verifica più il passaggio da regime di corrente veloce a corrente lenta nella sezione a valle del ponte di via Perlino in località Villatico.

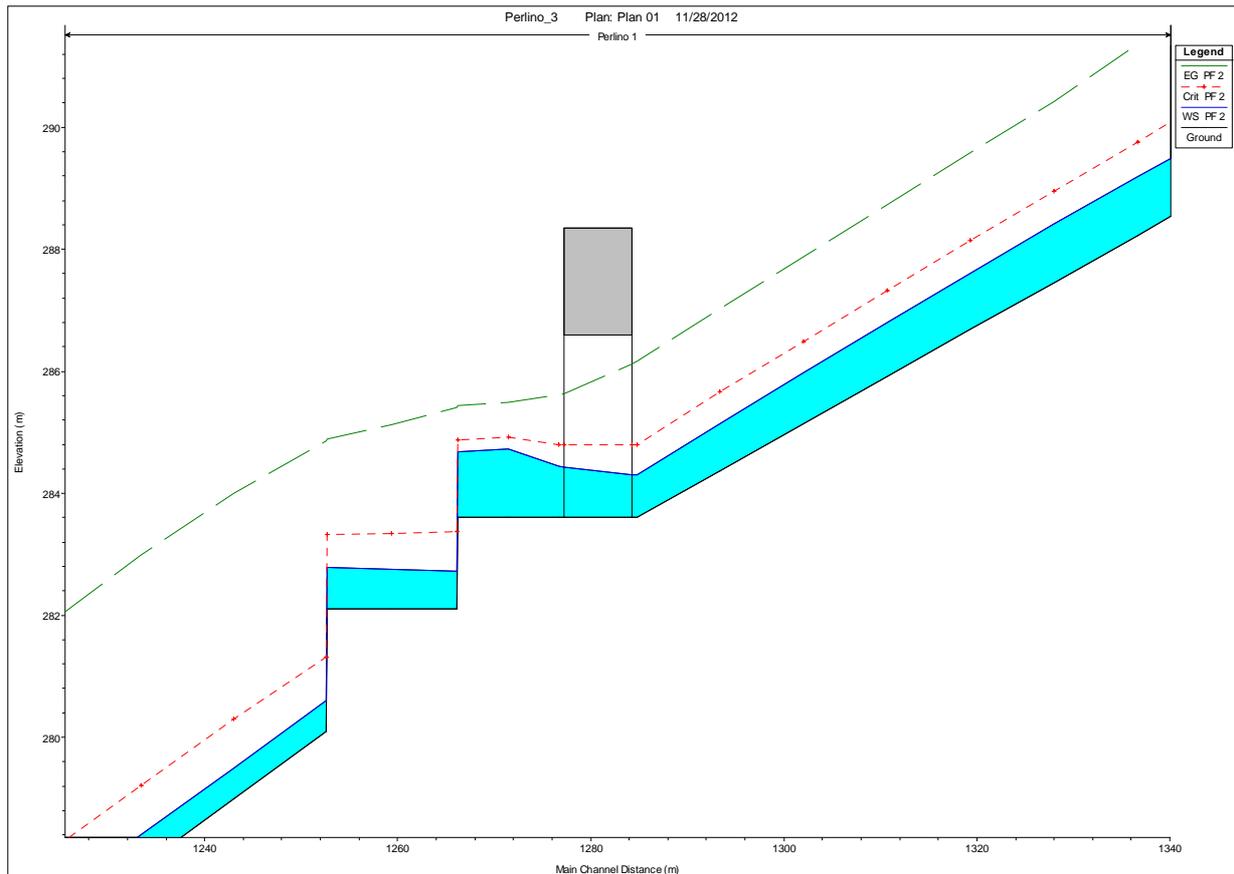


Figura 19 – Profilo della corrente in corrispondenza del ponte di via Perlino per una portata di $53,25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Viene invece mantenuto tale passaggio a monte del ponte di via Lungolaro Polti, anche se la distanza dalla sezione di monte di quest'ultimo è ridotta di una decina di metri rispetto al caso precedente.

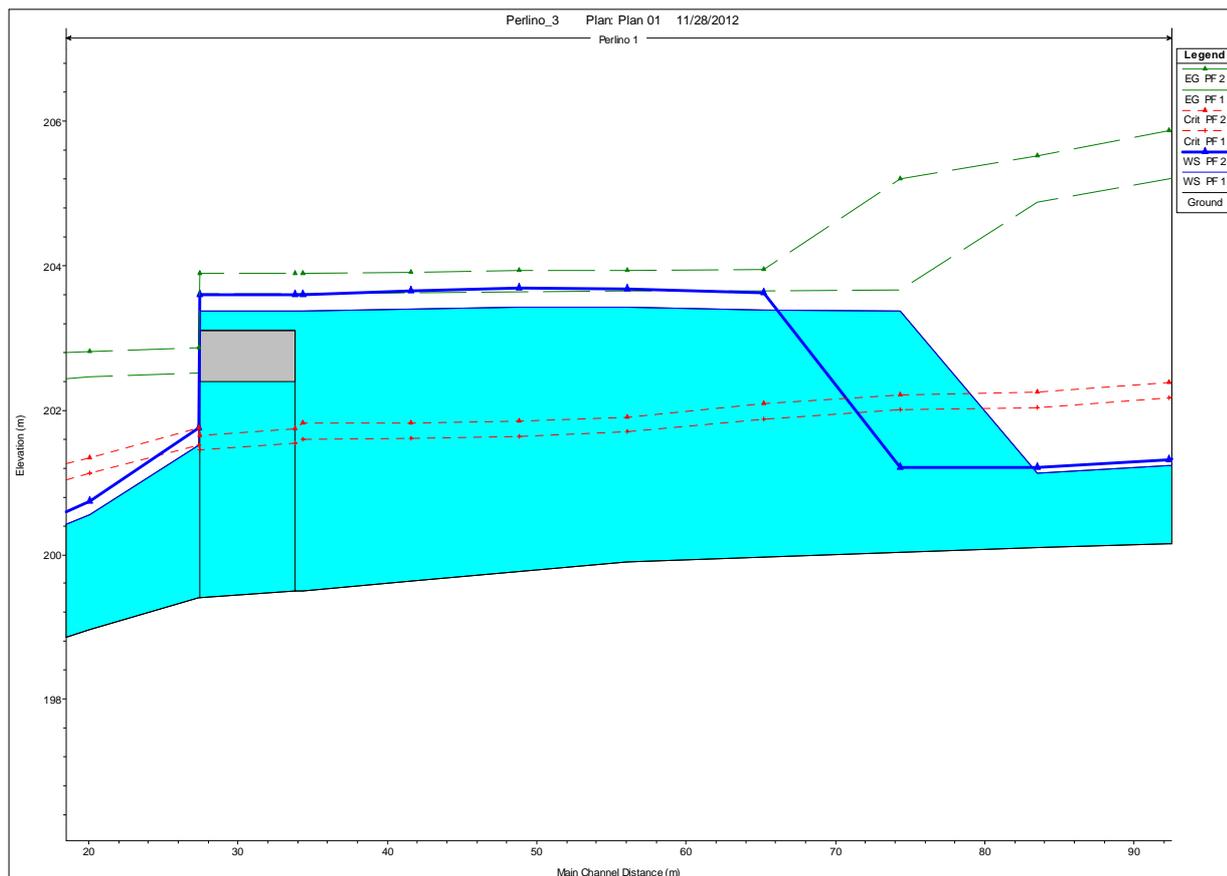


Figura 20 – Confronto tra i profili della corrente in corrispondenza del ponte di via Lungolario Polti per le due portate. Si può notare come nel caso di portata pari a 53,25 m³/s (in **grosseto** in figura) la distanza tra la variazione di regime e la sezione a monte del ponte si riduca di una decina di metri.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Min. Chn. El. [m]	W.S. Elev. [m]	Vel. Chn. [m/s]	N° Froude
43	53.25	437.93	438.76	2.66	1
42.9	53.25	436.5	438.98	0.79	0.16
42.7	53.25	436.5	437.32	2.67	1.01
42	53.25	433.18	434.16	7.44	2.61
41	53.25	423.49	424.43	11.03	3.7
40	53.25	420.04	420.82	11.32	4.25
39	53.25	417.25	418.37	9.81	3.33
38	53.25	398.38	399.35	7.69	3.18
37	53.25	382.18	383.27	6.14	2.63
36	53.25	358.19	359.15	6.77	2.83
35	53.25	346.72	347.54	6.7	2.5
34.13	53.25	337.64	338.41	6.71	2.57
34.12	53.25	334.49	335.82	8.65	2.68
34.11	53.25	333.06	334.6	8.81	2.54
34.1	53.25	331.91	333.36	8.95	2.7
34.09	53.25	330.27	331.69	9.23	2.82
34.08	53.25	329.24	330.62	9.28	2.86
34.07	53.25	328.09	329.15	9.32	3.18
34.06	53.25	327.18	328.31	8.88	2.89
34.059	53.25	326.08	327.13	9.99	3.4

34.05	53.25	326.01	327.08	9.59	3.23
34.049	53.25	324.74	325.71	10.85	3.84
34.04	53.25	324.7	325.73	10.16	3.48
34.039	53.25	323.64	324.6	11.15	3.97
34.031	53.25	323.79	324.82	10.22	3.58
34.03	53.25	321.55	322.96	11.85	4.24
34.02	53.25	321.57	322.84	10.01	3.17
34.01	53.25	320.85	321.91	9.92	3.36
34.009	53.25	319.59	320.55	11.14	3.96
33	53.25	304.54	305.46	7.52	3.13
32	53.25	297	297.49	6.15	2.8
31	53.25	295	295.55	5.49	2.35
30	53.25	293.4	293.86	6.37	3.02
29	53.25	289	289.95	7.06	2.91
28.2	53.25	283.6	284.3	6.03	2.55
28	53.25	283.6	284.45	4.78	1.8
27	53.25	283.6	284.68	3.9	1.31
26.9	53.25	282.1	282.73	7.27	3.02
26	53.25	282.1	282.79	6.41	2.58
25.9	53.25	280.1	280.59	9.15	4.29
25	53.25	266.8	267.93	7.41	2.76
24	53.25	262.8	263.48	8.36	3.33
23.9	53.25	261.8	262.42	9.52	3.94
23	53.25	259.3	260.24	7.46	3.09
22	53.25	257.7	259.2	5.58	1.99
21	53.25	256.2	257.2	8.33	2.68
20.9	53.25	255.6	256.37	9.44	3.43
20	53.25	255.2	256.32	8.32	2.62
19.9	53.25	254.6	255.44	9.49	3.31
19	53.25	249.71	250.94	10.46	3.46
18	53.25	242.62	243.72	11.76	4.17
17	53.25	233	234.17	13.41	4.3
16	53.25	231.7	233	10.51	3.09
15	53.25	226.9	227.78	11.85	4.14
14	53.25	223.38	224.2	11.1	4.04
13	53.25	219	220.11	11.21	3.79
12	53.25	214	215.5	11.2	3.31
11.2	53.25	212.4	213.64	11.02	3.45
11	53.25	212.4	213.69	10.47	3.21
10	53.25	209.94	211.18	10.92	3.46
9.2	53.25	206.27	207.5	11.54	3.65
9	53.25	206.27	207.53	11.22	3.51
8	53.25	203.24	204.47	11.52	3.65
7.2	53.25	200.5	201.86	11.49	3.65
7	53.25	200.5	201.89	11.15	3.5
6	53.25	200.1	201.21	9.21	2.99
5	53.25	199.9	203.68	2.26	0.37
4	53.25	199.5	203.6	2.43	0.4
3	53.25	199.4	201.75	4.68	0.98
2	53.25	198.52	200.08	7.19	1.98
1	53.25	198.49	199.52	7.56	2.57

Tabella 3 – Risultati con portata pari a 53,25 m³/s.

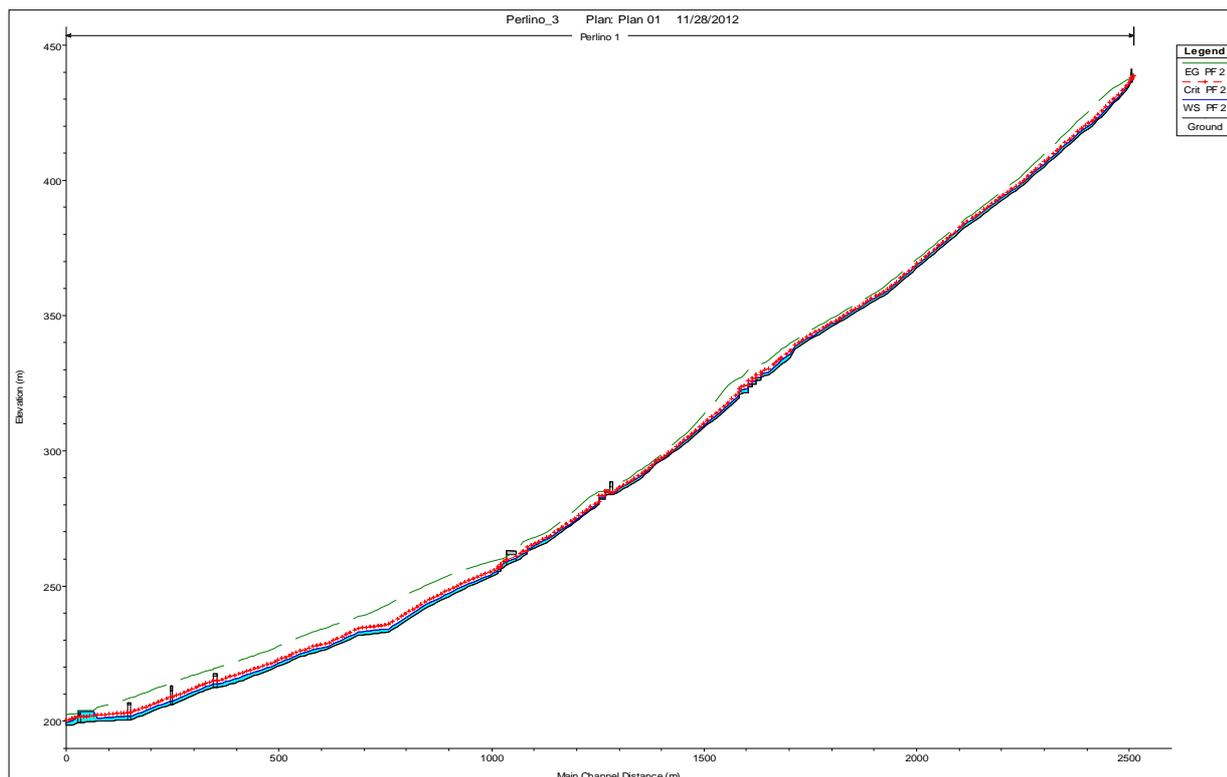


Figura 21 – Profilo dell’intera asta torrentizia modellata per portata pari a 53,25 m³/s.

3.8 Verifica di compatibilità delle sezioni critiche

Si vuole ora verificare la compatibilità delle sezioni critiche inserite all’interno del nostro modello, in particolare la presenza dei ponti, per entrambe le portate prese in considerazione.

Ponte di via Perlino

Procedendo da monte verso valle il primo ponte che si trova è quello che collega le frazioni di Borgonuovo e Villatico. Come si è osservato nel paragrafo precedente, il deflusso della corrente avviene in un regime di corrente veloce, solo nel caso di portata pari a 45,2 m³/s avviene un passaggio in corrente lenta appena più a valle del ponte.

In entrambi i casi studiati il franco di sicurezza si mantiene superiore al metro, come si può vedere dalla seguente tabella:

Portata [m ³ /s]	Quota minima ponte [m]	Quota W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
45.2	286.6	284.25	2.35
53.25	286.6	284.3	2.3

Tabella 4 – Valori relativi al ponte di via Perlino per entrambe le portate studiate.

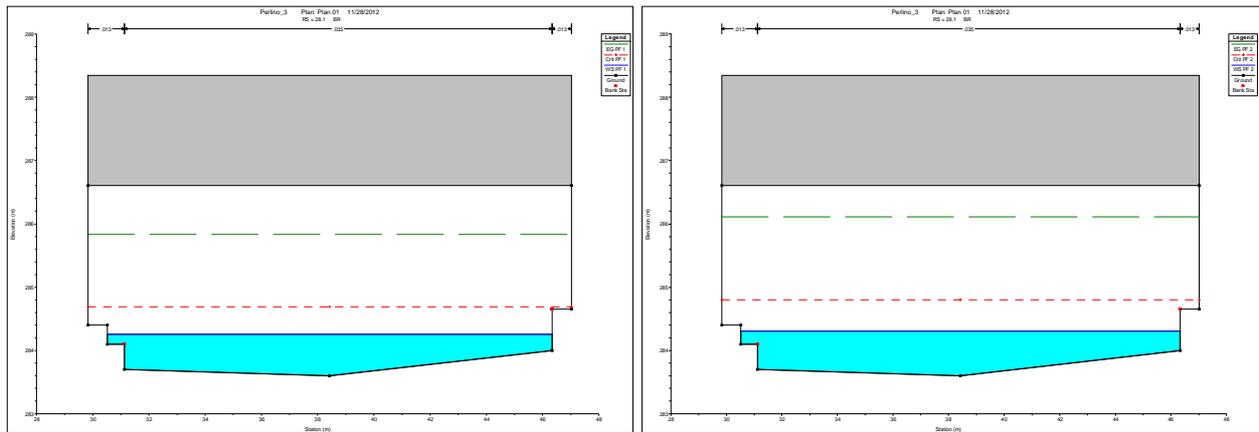


Figura 22 – Vista della sezione di monte del ponte di via Perlino per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

Ponte della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga

Il secondo ponte oggetto di studio è quello della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga. Anche in questo caso si osserva come il franco di sicurezza sia superiore al metro.

Portata [m ³ /s]	Quota minima ponte [m]	Quota W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
45.2	261.6	260.19	1.41
53.25	261.6	260.24	1.36

Tabella 5 - Valori relativi al ponte della SS 36 per entrambe le portate studiate.

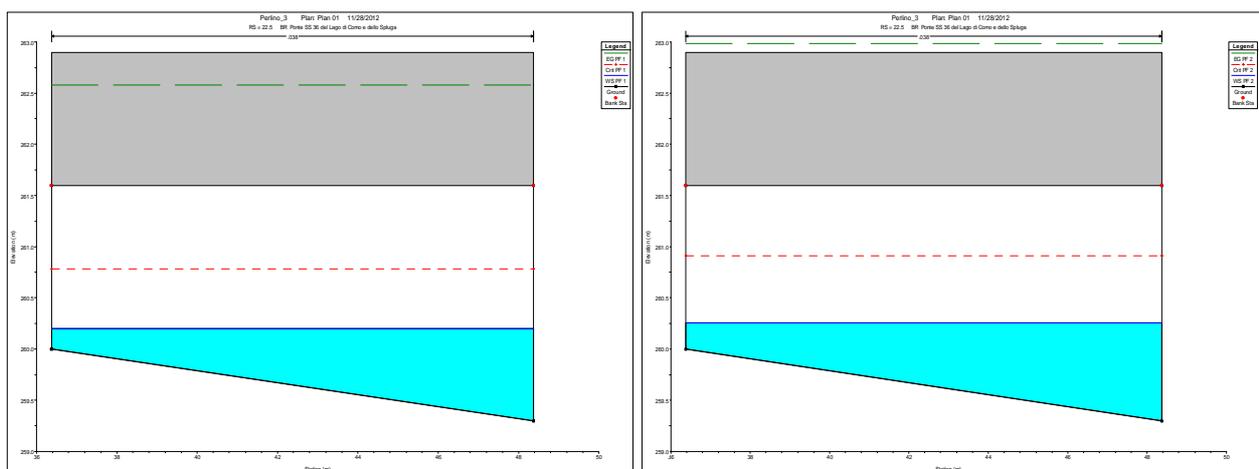


Figura 23 - Vista della sezione di monte del ponte della SS 36 per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

In questo caso, data l'elevata presenza di materiale detritico depositato al di sotto della sezione del ponte riscontrato durante la visita sul campo, si consiglia una pulizia dell'alveo ed un continuo monitoraggio dello stesso.

Ponte di via Nazionale

Il ponte di via Nazionale è il primo ponte ad arco che Torrente Perlino incrocia nella sua corsa verso il Lago di Como. In questo caso è stato calcolato il franco di sicurezza sia in corrispondenza del centro dell'alveo sia ai suoi margini laterali.

Portata [m ³ /s]	Quota min. ponte (centro) [m]	Quota min. ponte (lati) [m]	Quota W.S. [m]	Franco (centro) [m]	Franco (lati) [m]
45.2	216.7	216.3	213.53	3.17	2.77
53.25	216.7	216.3	213.64	3.06	2.66

Tabella 6 - Valori relativi al ponte di via Nazionale per entrambe le portate studiate.

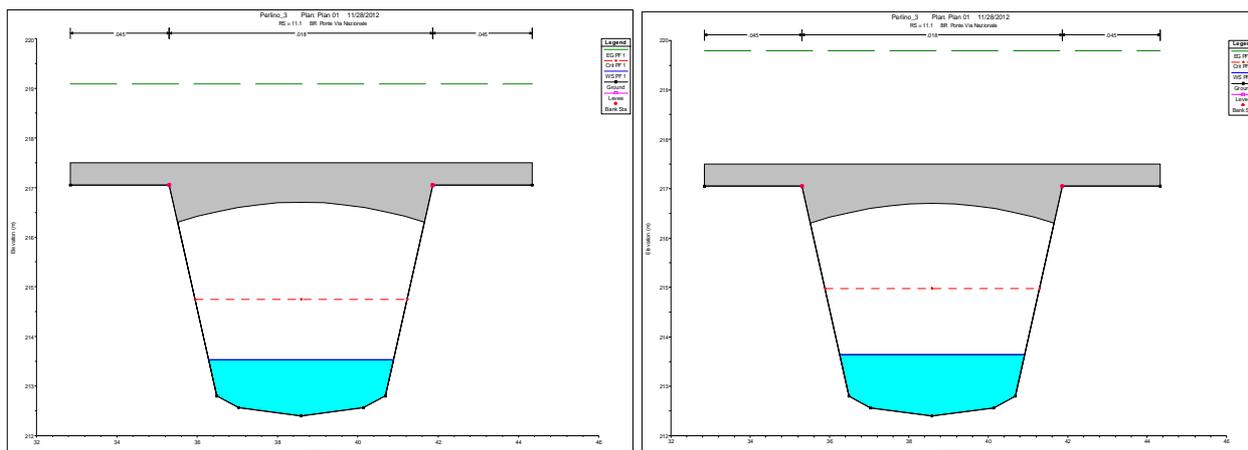


Figura 24 - Vista della sezione di monte del ponte di via Nazionale per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

Si osserva come anche per il ponte di via Nazionale il franco di sicurezza sia superiore al metro su tutta l'arcata della struttura.

Ponte della Ferrovia

Anche questa struttura è di tipo ad arco per cui si esegue la verifica nelle stesse modalità viste per la struttura precedente di via Nazionale:

Portata [m ³ /s]	Quota min. ponte (centro) [m]	Quota min. ponte (lati) [m]	Quota W.S. [m]	Franco (centro) [m]	Franco (lati) [m]
45.2	211.27	209.83	207.38	3.89	2.45
53.25	211.27	209.83	207.5	3.77	2.33

Tabella 7 - Valori relativi al ponte della Ferrovia per entrambe le portate studiate.

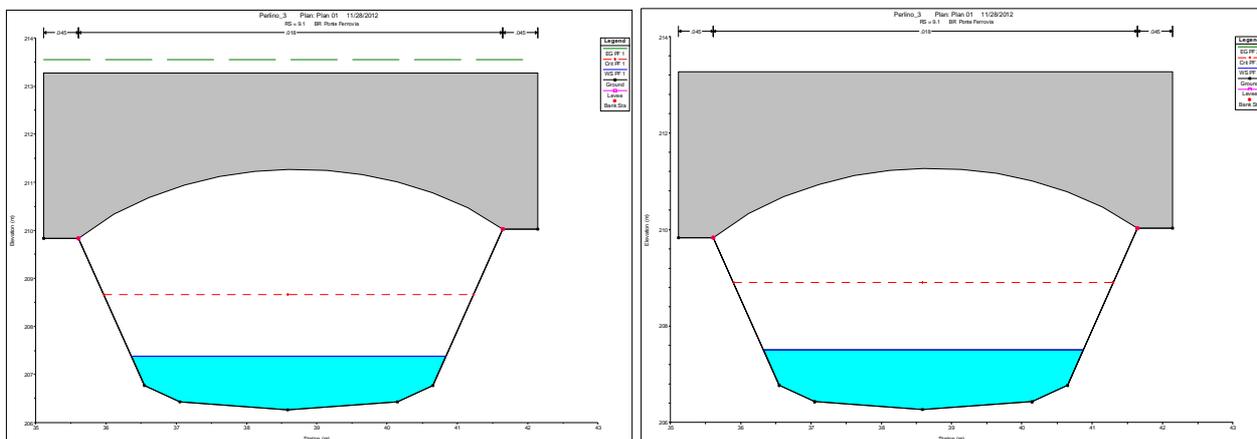


Figura 25 - Vista della sezione di monte del ponte della Ferrovia per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

Il franco di sicurezza è superiore al metro su tutta l'arcata del ponte per entrambe le portate investigate.

Ponte nuovo all'altezza del campo sportivo

La struttura di nuova costruzione presenta un valore del franco di sicurezza tra la quota di pelo libero dell'acqua e quella dell'intradosso del ponte molto superiore al metro:

Portata [m ³ /s]	Quota minima ponte [m]	Quota W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
45.2	206.1	201.75	4.35
53.25	206.1	201.86	4.24

Tabella 8 - Valori relativi al ponte per entrambe le portate studiate.

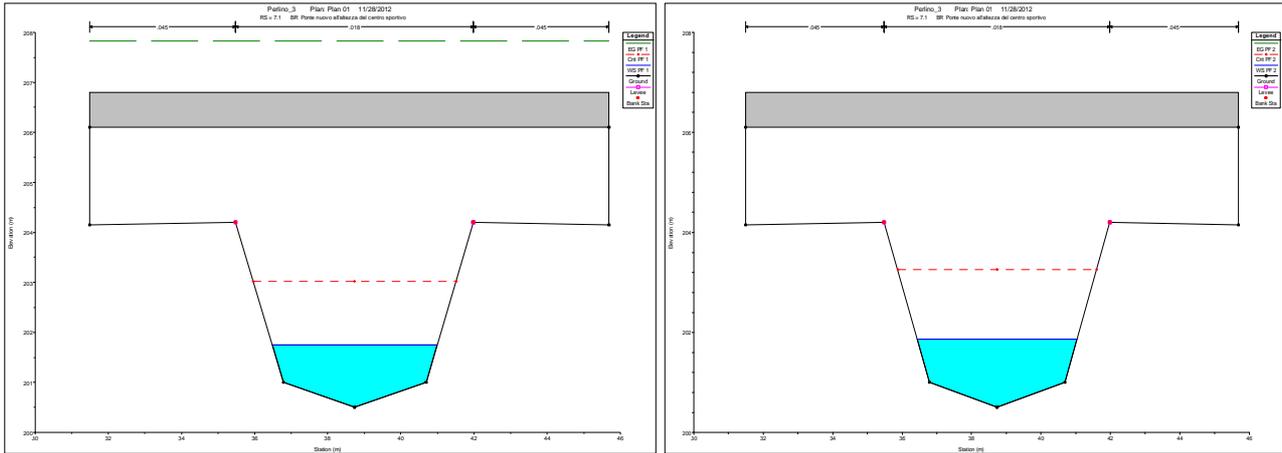


Figura 26 - Vista della sezione di monte del ponte per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

Ponte di via Lungolario Polti

Come si è visto nel paragrafo precedente, la verifica dell'ultimo ponte prima dello sbocco a lago del Torrente Perlino è la più critica. Infatti, in questo caso non solo non è rispettato il franco di sicurezza di un metro per entrambe le portate di piena investigate, ma la quota di pelo libero dell'acqua risulta essere superiore all'impalcato della struttura.

Portata [m ³ /s]	Quota min. ponte (centro) [m]	Quota min. ponte (lati) [m]	Quota W.S. [m]	Franco (centro) [m]	Franco (lati) [m]
45.2	202.4	200.35	203.99	-1.59	-3.64
53.25	202.4	200.35	205.17	-2.77	-4.82

Tabella 9 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte di via Lungolario Polti per entrambe le portate studiate.

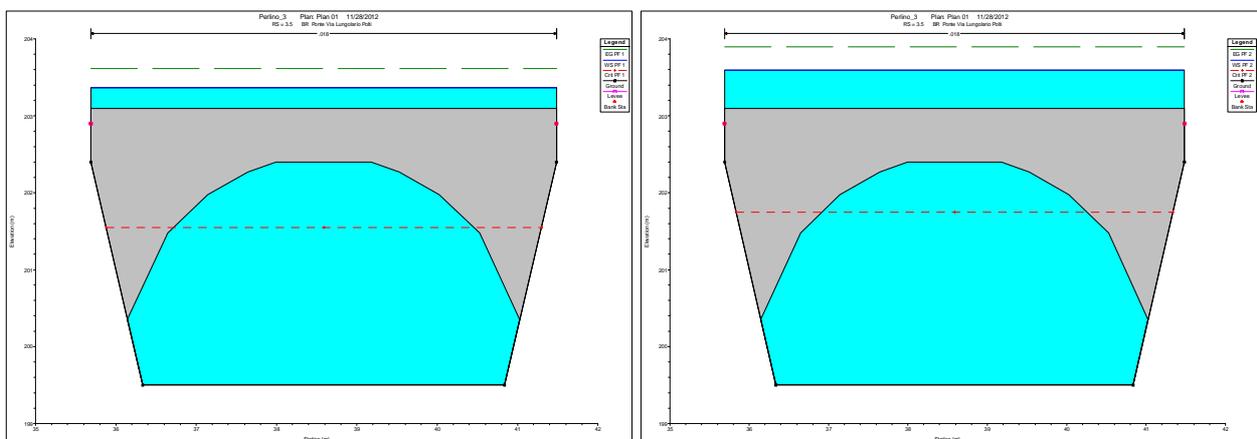


Figura 27 - Vista della sezione di monte del ponte di via Lungolario Polti per le portate di 45,2 m³/s (sinistra) e 53,25 m³/s (destra).

L'altezza d'acqua al di sopra dell'estradosso della struttura nei due differenti casi può essere facilmente ricavata:

Portata [m ³ /s]	Quota estradosso ponte [m]	Quota W.S. [m]	Δ Quota [m]
45.2	203.1	203.99	0.89
53.25	203.1	205.17	2.07

Tabella 10 – Altezza dell'acqua al di sopra dell'estradosso del ponte per entrambe le portate studiate.

La lunghezza della zona di esondazione a monte del ponte è la stessa per entrambe le portate di piena considerate ed in particolare è di circa 40 m in sinistra idrografica e di circa 15 m in destra idrografica (come si può osservare in Figura 28).

Bisogna però tenere in considerazione che il software Hec-Ras considera come possibilità di massima espansione laterale dell'acqua la totalità della sezione immessa e non oltre. Questo significa che non viene data la possibilità all'acqua di uscire lateralmente alla sezione.

Nella realtà del caso studiato questo non avviene, di fatti gli argini laterali si trovano a quote inferiori rispetto all'estradosso del ponte, per cui l'acqua, una volta ostruita la luce del ponte, inizierà ad esondare lateralmente a monte del ponte prima di oltrepassare l'impalcato della struttura riducendo notevolmente anche l'area di esondazione descritta precedentemente.

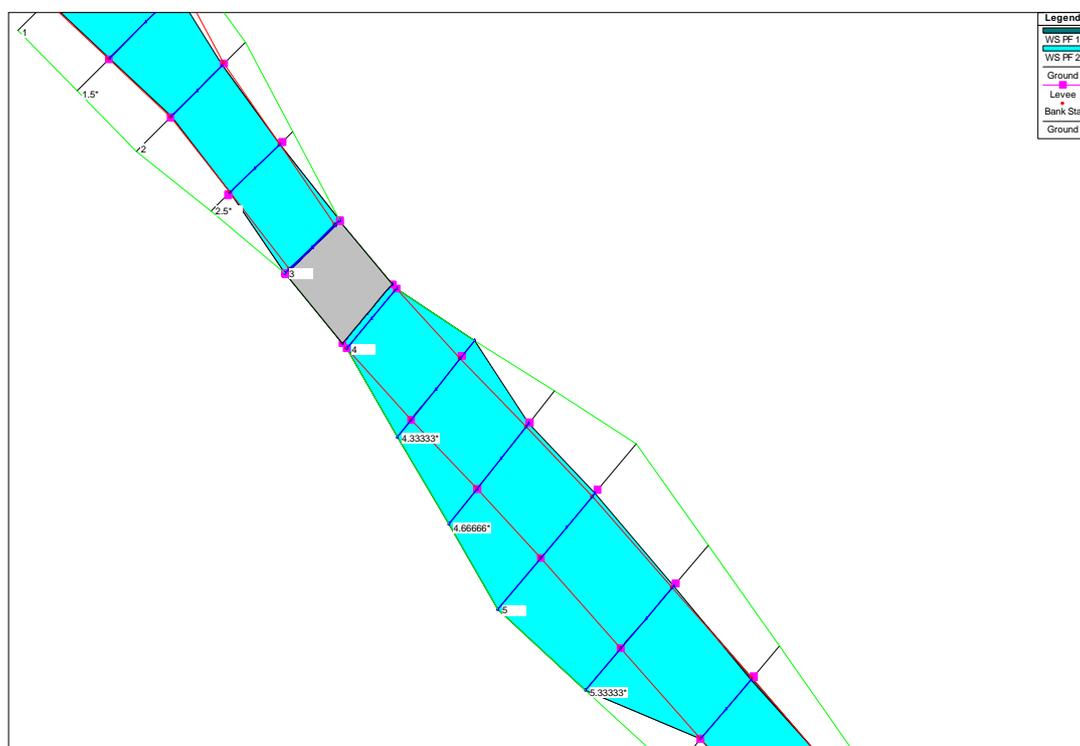


Figura 28 – Tratto di torrente soggetto all'esondazione. Gli argini sono quelli evidenziati in magenta in figura.

Le quote degli argini delle sezioni sono state prese in sito e possono differire da quelle presenti sulla fotogrammetria.

Le sezioni di esondazione ordinate da monte verso valle nel tratto in considerazione sono riportate in sequenza nella figura seguente.

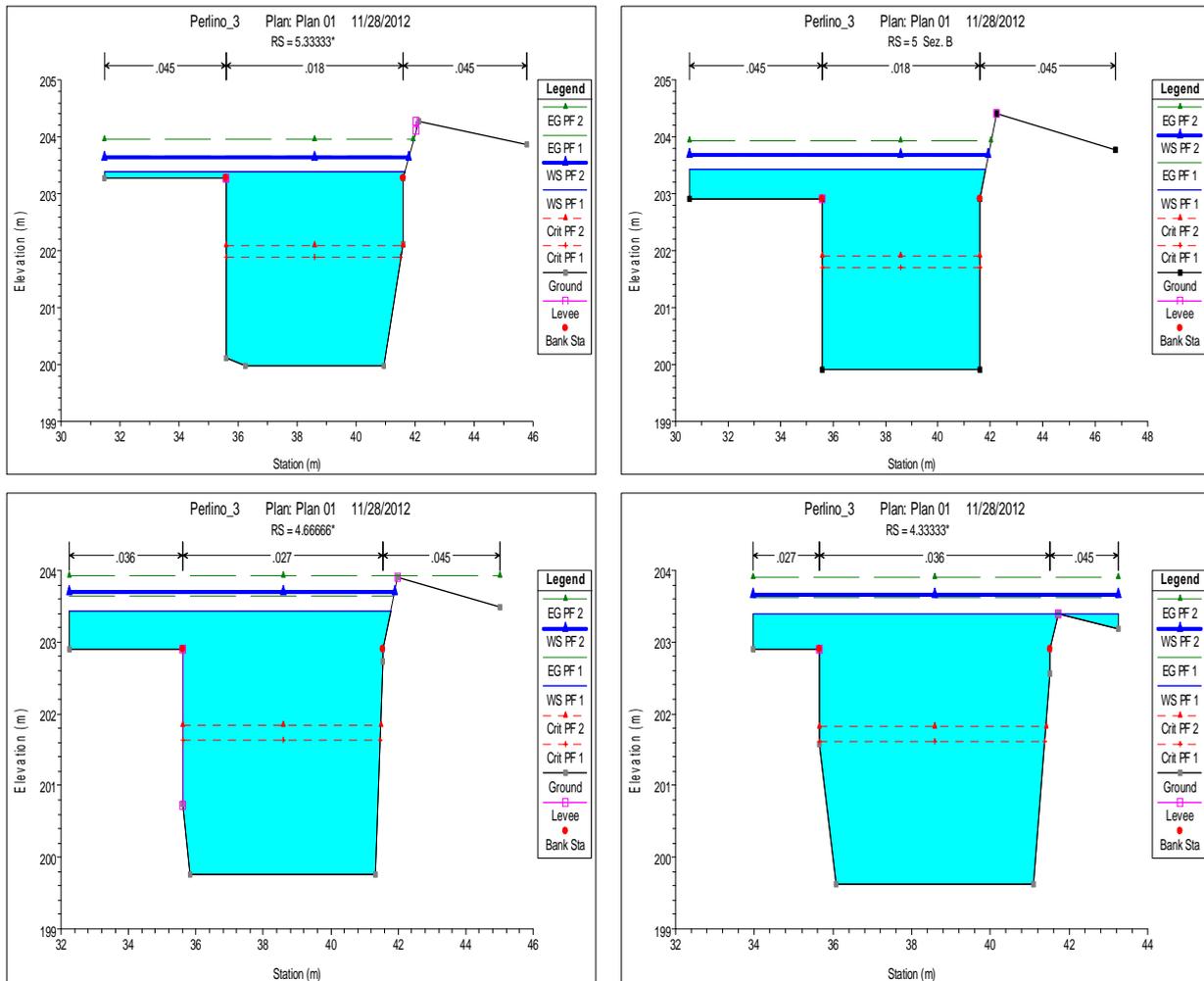


Figura 29 – Vista delle sezioni di esondazione ordinate da monte verso valle.

Si tenga presente che tutte queste verifiche si intendono nel caso di alveo pulito; per questo si invita ad un continuo e costante monitoraggio di quest'ultimo e, nel caso, all'effettuazione di interventi di manutenzione.

Portata [m ³ /s]	Altezza minima ponte [m]	Altezza W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
200	286.6	284.99	1.61

Tabella 11 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte di via Perlino.

Ponte della SS 36 del Lago di Como e dello Spluga

Anche in questo caso la luce del ponte è sufficiente per permettere lo scorrimento del corso d'acqua senza creare ostacolo. Si può però notare in tabella come il franco di sicurezza per la sezione di monte del ponte (quella più critica) sia di soli 54 cm.

Portata [m ³ /s]	Altezza minima ponte [m]	Altezza W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
200	261.6	261.06	0.54

Tabella 12 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte della SS 36.

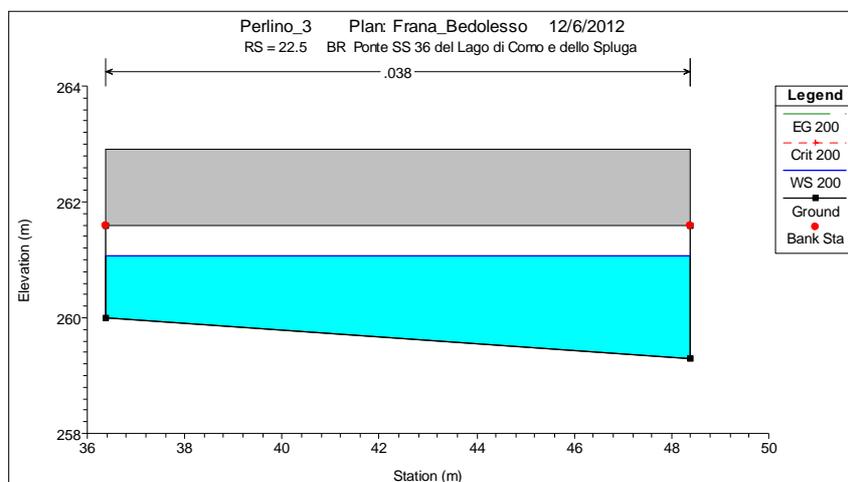


Figura 31 - Vista della sezione di monte del ponte della SS 36.

Ponte di via Nazionale

Nel caso del ponte di via Nazionale, il primo ad arco che il Torrente Perlino incontra nella sua corsa a lago, il franco di sicurezza resta superiore al metro sia al centro sia ai lati della sezione.

Portata [m ³ /s]	Altezza min. ponte (centro) [m]	Altezza min. ponte (lati) [m]	Altezza W.S. [m]	Franco (centro) [m]	Franco (lati) [m]
200	216.7	216.3	215.15	1.55	1.15

Tabella 13 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte di via Nazionale.

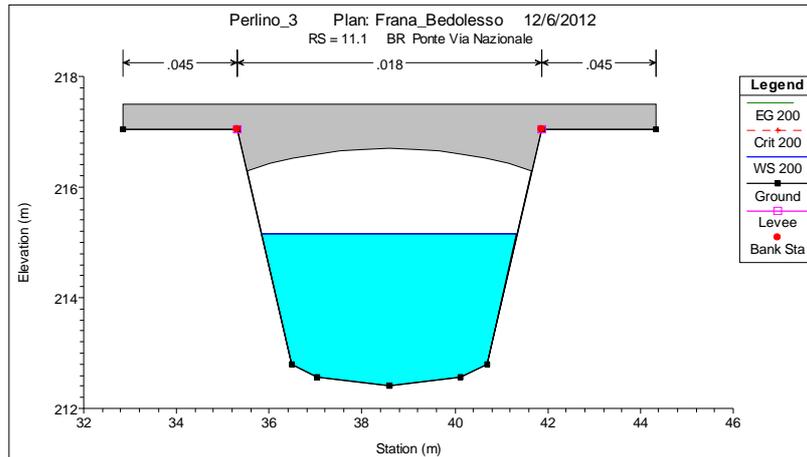


Figura 32 - Vista della sezione di monte del ponte di via Perlino.

Ponte della Ferrovia

In corrispondenza di questa struttura, l'intradosso del ponte non crea problemi al regolare scorrimento delle acque, ma il franco di sicurezza, ampiamente rispettato nella parte centrale dell'arcata, in corrispondenza degli argini laterali è inferiore al metro.

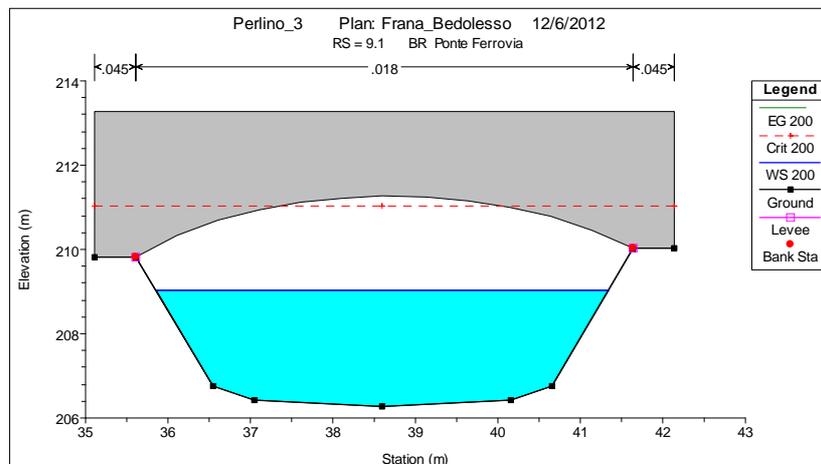


Figura 33 - Vista della sezione di monte del ponte della Ferrovia.

Portata [m ³ /s]	Altezza min. ponte (centro) [m]	Altezza min. ponte (lati) [m]	Altezza W.S. [m]	Franco (centro) [m]	Franco (lati) [m]
200	211.27	209.83	209.03	2.24	0.8

Tabella 14 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte della Ferrovia.

Ponte nuovo all'altezza del campo sportivo

L'ultima struttura che si vuole verificare in questo studio è il nuovo ponte costruito all'altezza del centro sportivo comunale. Come si può vedere in figura ed in tabella, anche in questo caso non si creano ostacoli al deflusso delle acque.

Portata [m ³ /s]	Altezza minima ponte [m]	Altezza W.S. [m]	Franco di sicurezza [m]
200	206.1	203.33	2.77

Tabella 15 - Valori relativi alla sezione di monte del ponte.

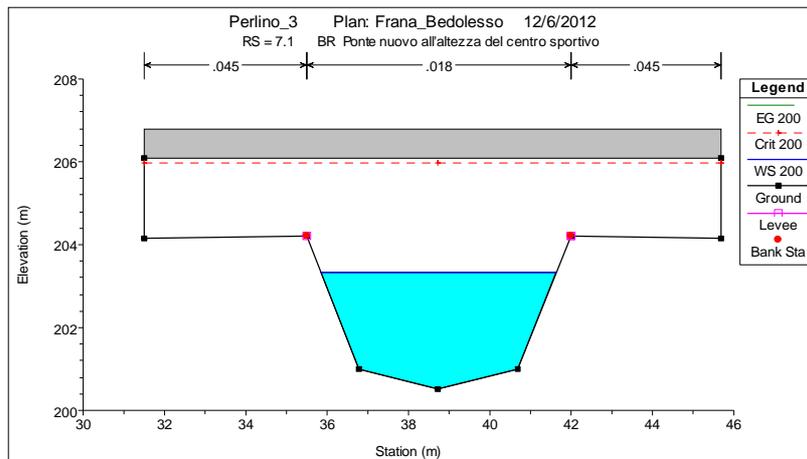


Figura 34 - Vista della sezione di monte del ponte.

5 CONCLUSIONI

Dai risultati delle modellazioni effettuate si può affermare che le nuove opere realizzate lungo l'asta torrentizia del Torrente Perlino permettono di immobilizzare l'intero trasporto solido consentendo un corretto e regolare deflusso di una portata avente un tempo di ritorno T di 100 anni e pari a 45,2 m³/s fino al ponte di via Lungolario Polti, l'ultimo prima dello sbocco a lago. In presenza di tale struttura infatti l'impalcato del ponte crea un ostacolo al deflusso del corso d'acqua provocando l'esondazione dello stesso nella parte di monte.

Questi risultati sono stati confermati anche effettuando una modellazione ipotizzando una portata maggiorata del 18% (53,25 m³/s) e pari alla portata di un'eventuale colata detritica stimata nello studio del 2006 ad opera dell'Ing. Fenaroli e del Dott. Leoni. Tale modellazione è stata effettuata, da un punto di vista cautelativo, sebbene con i nuovi interventi di regimazione si potrebbe escludere una presenza di materiale fluitante in alveo.

Infine si voluto considerare anche il caso di un evento catastrofico come quello ipotizzato nello studio del 2004 dal Dott. Crosta che prevedeva il collasso di uno sbarramento di 20 m creatosi a causa del cedimento della frana del Monte Bedolesso. A seguito delle nuove opere realizzate nel fondovalle e sulla frana del Monte Bedolesso capaci di immobilizzare l'eventuale totalità di una colata detritica, si è ipotizzato comunque un valore di portata di picco cautelativo e pari a 200 m³/s, il quale risulta totalmente sopportabile dall'attuale alveo. Anche le diverse sezioni critiche, ad eccezione del ponte di via Lungolario Polti, risultano compatibili.

A cura di Dott. Massimo Riva Geologo
Con la collaborazione di Dott. Ing. Corti Francesco