



COMUNE DI BEURA CARDEZZA

VARIANTE STRUTTURALE AL PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE **Progetto Definitivo**

- Legge Regionale 5 dicembre 1977, n° 56 e s.m.i.;
- Circolare P.G.R. del 08.05.1996, n° 7/LAP "Specifiche tecniche per l'elaborazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici", e successiva Nota Tecnica Esplicativa dicembre 1999;
- D.G.R. del 15/07/2002 n. 45-6656, approvazione della "Legenda Regionale per la redazione della carta geomorfologica e del dissesto dei P.R.G.C."
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, successiva D.G.R. del 17/11/2003 n. 61-11017 e Circ. P.G.R. 1/DOP 27-04-2004;
- "Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Variante delle Fasce Fluviali del F. Toce"; D.P.C.M. del 10/12/2004;
- D.G.R. n. 2-11830 del 28/07/2009, Allegato B

Elab. GEO-17	VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA LUNGO I CORSI D'ACQUA PRINCIPALI (D.G.R. n. 2-11830 del 28/07/2009, All. B, punto 2.4.2)	ALLEGATO 7
-------------------------	---	-----------------------

Aggiornamento a seguito delle Prescrizioni contenute nel Parere del Settore Prevenzione Territoriale del Rischio Geologico - Area di Torino, Cuneo, Novara e Verbania, con Nota del 16/05/2013, prot. n. 36495/DB14.20

Data: FEBBRAIO 2014	Adozione Progetto Preliminare Delibera C.C. n° 14 del 28/06/2013	
	Adozione Progetto Definitivo Delibera C.C. n° del	
IL SEGRETARIO COMUNALE dott. Cerizza Dario	IL SINDACO geom. Carigi Davide	IL PROGETTISTA geol. D'Elia Francesco
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO dott. Cerizza Dario		

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. ANALISI MORFODINAMICA DEI CORSI D'ACQUA	2
2.1. Rio Fieschi	2
2.2. Rio di Cuzzego	3
2.3. T. Ogliaia di Pozzolo	4
3. ANALISI DEGLI ELEMENTI FISICI NATURALI ED ANTROPICI	5
3.1. Rio Fieschi	5
3.2. Rio di Cuzzego	6
3.3. T. Ogliaia di Pozzolo	7
4. ANALISI IDROLOGICA	8
4.1. Caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici	8
4.2. Afflussi	9
4.3. Deflussi di piena	12
4.4. Valutazioni sul trasporto solido	14
4.4.1. Rio Fieschi	15
4.4.2. Rio di Cuzzego	16
4.4.3. T. Ogliaia di Pozzolo	16
5. VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	17
5.1. Rio Fieschi	18
5.1.1. Verifiche in moto permanente	21
5.2. Rio di Cuzzego	24
5.2.1. Verifiche in moto permanente	27
5.3. T. Ogliaia di Pozzolo	30

ALLEGATI

- ✓ *Carta dei bacini idrografici, in scala 1: 25.000;*
- ✓ *Rio Fieschi: Documentazione fotografica
Planimetria, in scala 1: 1.000;
Sezioni trasversali, in scala 1: 100*
- ✓ *Rio di Cuzzego: Documentazione fotografica
Planimetria, in scala 1: 1.000;
Sezioni trasversali, in scala 1: 100*
- ✓ *T. Ogliaia di Pozzolo: Documentazione fotografica
Planimetria, in scala 1: 1.000;
Sezioni trasversali, in scala 1: 100*

1. PREMESSA

A supporto della classificazione di sintesi del territorio e per fornire un ulteriore elemento di analisi, relativamente alle effettive condizioni di pericolosità indotte dalla dinamica torrentizia dei corsi d'acqua, con riferimento al punto 2.4.2 "valutazioni idrauliche", dell'Allegato B alla D.G.R. n. 2-11830 del 28/07/2009, si è proceduto ad eseguire un approfondimento che ha riguardato alcuni corsi d'acqua, dei quali si sono analizzati sia i caratteri morfodinamici delle aste torrentizie e dei bacini imbriferi, sia gli aspetti idrologici, così da poter elaborare, sia pure in maniera preliminare, delle verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, sono stati analizzati i bacini dei principali corsi d'acqua, così come rappresentati nell'estratto della Carta Tecnica Regionale (Sez. 051120 "Villadossola" e 051160 "Vogogna"), in scala 1:25.000, la cui dinamica interessa ed interferisce potenzialmente con la porzione urbanizzata del territorio comunale di Beura Cardezza:

- Rio Fieschi (sezione di chiusura in corrispondenza della tratta canalizzata, a monte della S.P.);
- Rio di Cuzzego (sezioni di chiusura in apice di conoide);
- T. Ogliana di Pozzolo (sezioni di chiusura in apice di conoide).

Per il calcolo degli afflussi-deflussi, non è stato possibile utilizzare il programma "VA.PI.", messo a punto dalla Regione Piemonte, Direzione Difesa del Suolo, poiché detto modello di calcolo risulta affidabile per corsi d'acqua caratterizzati da bacini imbriferi di estensione superiore a 100 km²; per bacini imbriferi minori, come è nel caso dei corsi d'acqua esaminati, aventi estensione di gran lunga inferiore, non fornisce risultati affidabili.

2. ANALISI MORFODINAMICA DEI CORSI D'ACQUA

2.1. RIO FIESCHI

Il bacino idrografico del Rio Fieschi è ubicato interamente all'interno del territorio comunale di Beura Cardezza.

Il bacino del corso d'acqua, partendo dalla sezione di chiusura considerata, individuata in apice di conoide (a monte della tratta canalizzata VALCCA001), si estende fino all'Alpe Provo, a circa 1.200 m s.l.m. di quota, risultando caratterizzato da un'estensione areale di circa 0,813 km², allungato in direzione SE-NO.

Dal punto di vista geologico, i litotipi del substrato roccioso presenti all'interno del bacino idrografico, sono rappresentati principalmente dagli ortogneiss e dai paragneiss della Zona Monte Rosa.

Il substrato è affiorante con continuità solo in corrispondenza dell'incisione del corso d'acqua e nei settori di versante maggiormente acclivi; l'orientazione della valle a "V" del Rio Fieschi, è legata al controllo strutturale da parte di una linea di debolezza tettonica dell'ammasso roccioso.

Lungo il versante montuoso, fittamente boscato, il substrato risulta estesamente ricoperto da spessori variabili di coltri di depositi di versante a granulometria eterogenea, in funzione dei meccanismi deposizionali responsabili della loro messa in posto, comprendenti sia depositi detritici di versante,

grossolani, spesso stabilizzati e ricoperti da una coltre pedogenetica, sia depositi colluviali ed eluvio-colluviali, a tessitura prevalentemente fine e spessore per lo più esiguo.

Solo nella parte alta del bacino, oltre quota 1.100 m s.l.m., nella zona dell'Alpe Provo e dell'Alpe Carregia, si rinvencono depositi di versante dotati di maggiore spessore e caratterizzati da frammenti rocciosi di dimensioni variabili, a matrice prevalentemente fine.

Dal punto di vista del quadro del dissesto, si segnalano i seguenti elementi di cautela:

- il Rio Fieschi, caratterizzato da dinamica torrentizia, con pendenze medio-elevate e possibilità di trasporto solido, presenta caratteristiche compatibili con un grado di pericolosità lineare molto elevato;
- nell'ambito dei versanti afferenti l'incisione, possono verificarsi scollamenti delle coltri di copertura (*soil slip*), solitamente di modesta entità e non cartografabili, tranne che in un caso, documentato storicamente avvenuto nell'agosto 1978, la cui mobilitazione in alveo ha originato un fenomeno di trasporto solido di massa (*debris flow*) con conseguente ostruzione del manufatto di attraversamento della S.P. (vedi Ricerca storica).

2.2. RIO DI CUZZEGO

Il bacino idrografico del Rio di Cuzzego è ubicato interamente all'interno del territorio comunale di Beura Cardezza.

Il bacino del corso d'acqua, partendo dalla sezione di chiusura considerata, individuata in apice di conoide (a monte del ponte stradale secondario VALCPO011), si estende fino alla dorsale montuosa spartiacque, avente come culmine il Pizzo Colla Bassa (1.710 m s.l.m.), risultando caratterizzato da un'estensione areale di circa 1,580 km², allungato in direzione SE-NO.

Dal punto di vista geologico, i litotipi del substrato roccioso presenti all'interno del bacino idrografico, sono rappresentati principalmente dagli ortogneiss e dai paragneiss della Zona Sesia-Lanzo.

In corrispondenza dell'incisione del corso d'acqua e nei settori di versante maggiormente acclivi il substrato risulta affiorante con continuità; l'incisione valliva a "V" del Rio di Cuzzego è legata al controllo strutturale da parte di una linea di debolezza tettonica dell'ammasso roccioso.

Lungo il versante montuoso a minore acclività, generalmente fittamente boscato, il substrato risulta ricoperto da spessori variabili di coltri di depositi di versante a granulometria eterogenea, in funzione dei meccanismi deposizionali responsabili della loro messa in posto, comprendenti sia depositi detritici di versante, grossolani, spesso stabilizzati e ricoperti da una coltre pedogenetica, sia depositi colluviali ed eluvio-colluviali, a tessitura prevalentemente fine.

Dal punto di vista del quadro del dissesto, si segnalano i seguenti elementi di cautela:

- il Rio di Cuzzego, caratterizzato da dinamica torrentizia, con pendenze medio-elevate e possibilità di trasporto solido, presenta caratteristiche compatibili con un grado di pericolosità lineare molto elevato, con rischio di fenomeni di debris flow;

- nell'ambito dei versanti afferenti l'incisione si possono verificare (e risultano documentate nella Ricerca Storica) sia frane dovute a fluidificazione dei terreni di copertura superficiale (*soil slip*), sia processi dissestivi più consistenti, in grado di coinvolgere il materiale detritico di versante e parte del substrato roccioso fratturato, la cui causa predisponente è rappresentata dall'orientamento dei principali sistemi di fratturazione del substrato roccioso, con parziale ostruzione dell'alveo del torrente ed alimentazione del trasporto solido.

2.3. T. OGLIANA DI POZZOLO

Il bacino idrografico del T. Ogliana di Pozzolo si estende all'interno del territorio comunale di Beura Cardezza.

Partendo dalla sezione di chiusura, individuata in apice di conoide, a monte dell'abitato di Beura, il bacino si estende fino alla dorsale montuosa spartiacque, compresa tra la Punta Pozzolo a Nord (2.080 m s.l.m.) ed il Pizzo della Rossola a Sud (2.087 m s.l.m.), risultando caratterizzato da un'estensione areale di circa 13,688 km², allungato in direzione SE-NO.

Il substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante risulta costituito principalmente dagli gneiss (ortogneiss e paragneiss) appartenenti alla Zona Monte Rosa, nel settore settentrionale del bacino, e dagli gneiss (ortogneiss e paragneiss) appartenenti alla Zona Sesia-Lanzo, nel settore meridionale del bacino, in cui sono presenti modeste intercalazioni di metagabbri e metadioriti, a grana medio-minuta.

Il bacino presenta una pendenza media generalmente elevata (dell'ordine di 40°); in corrispondenza dell'incisione del corso d'acqua, attestata lungo una linea di debolezza tettonica, e nei settori di versante maggiormente acclivi il substrato è affiorante con continuità.

Nei settori di bacino caratterizzati da minore acclività, generalmente fittamente boscati, il substrato roccioso è ricoperto da coltri di depositi di versante di spessore variabile ed a granulometria eterogenea, in funzione dei meccanismi deposizionali responsabili della loro messa in posto, comprendenti sia depositi detritici di versante, grossolani, spesso stabilizzati e ricoperti da una coltre pedogenetica, sia depositi colluviali ed eluvio-colluviali, a tessitura prevalentemente fine.

Dal punto di vista del quadro del dissesto, si segnalano i seguenti elementi di cautela:

- il T. Ogliana di Pozzolo è caratterizzato da dinamica torrentizia, con pendenze medio-elevate e possibilità di trasporto solido; presenta caratteristiche compatibili con un grado di pericolosità lineare molto elevato;
- nell'ambito dei versanti afferenti l'incisione si possono verificare (e risultano documentate nella Ricerca Storica) sia frane dovute a fluidificazione dei terreni di copertura superficiale (*soil slip*), sia processi dissestivi che coinvolgono il materiale detritico di versante e parte del substrato roccioso fratturato, con conseguente parziale ostruzione dell'alveo del torrente ed alimentazione del trasporto solido (pur senza arrivare al vero e proprio debris flow).

3. ANALISI DEGLI ELEMENTI FISICI NATURALI ED ANTROPICI

Per poter effettuare le verifiche di compatibilità idraulica lungo i corsi d'acqua in esame, si è proceduto effettuando il rilievo speditivo delle tratte canalizzate nei settori di conoide, così da definirne i profili longitudinali del fondo alveo e le sezioni di deflusso maggiormente significative.

Il rilievo geometrico delle tratte canalizzate è stato integrato con informazioni relative alla presenza di depositi e di vegetazione in alveo, nonché di tutte le altre informazioni funzionali alla determinazione dei coefficienti di scabrezza; nella presente relazione, per ogni corso d'acqua, si allega inoltre una documentazione fotografica, esplicitativa dello stato di fatto e delle caratteristiche fisiche delle tratte analizzate.

Non è stato svolto un rilievo topografico di dettaglio delle aree latitanti il corso d'acqua, eventualmente interessate dalla propagazione delle acque di esondazione ma, in ogni caso, sono stati rilevate puntualmente le quote e l'andamento del piano campagna, latistante ogni canalizzazione, in maniera da fornire visivamente, nelle sezioni idrauliche, una informazione immediata sul grado di rischio, maggiore od inferiore, relativo ai terreni lungo ogni sponda dei corsi d'acqua.

3.1. RIO FIESCHI

Il Rio Fieschi, al piede della tratta montana, in cui scorre incassato in una forra incisa nel substrato roccioso, edifica l'apparato di conoide alluvionale, che, in sinistra idrografica, risulta parzialmente edificato (periferia settentrionale dell'abitato di Beura).

In particolare, in apice di conoide, nel tratto a monte della prima soglia della tratta canalizzata (VALCSO002), l'alveo presenta una larghezza di circa 25 m, con sponde protette da scogliere in blocchi lapidei d'alveo per un'altezza di circa 2 m; il fondo è naturale, con numerosi blocchi eterometrici ed abbondante vegetazione arbustiva infestante ed arborea di piccolo diametro (sez. 1).

A valle di tale soglia di fondo (in blocchi cementati), il Rio Fieschi è stato regimato con un ampio canale che ha rettificato in parte l'andamento catastale originario del corso d'acqua; le sponde sono delimitate da imponenti muri in blocchi lapidei cementati di altezza compresa tra 2,0 e 2,5 m, mentre il fondo alveo è pavimentato con massi annegati nel calcestruzzo (sez. 2).

Nella tratta in conoide, il profilo longitudinale è stato stabilizzato, realizzando complessivamente n. 7 salti in blocchi cementati, aventi la funzione di rallentare la corrente idrica, di altezza variabile 0,8÷1,0 m.

La pendenza media di questa tratta canalizzata è di circa 11°, per uno sviluppo di circa 175 ml, fino all'attraversamento della Strada Provinciale Masera-Vogogna (VALCAG001), dove, all'imbocco di tale manufatto, la pendenza si riduce a circa 5°.

Il citato attraversamento della S.P. è costituito da manufatto in muratura di pietrame e malta, avente sezione ad arco (altezza al colmo = 1,60 m e larghezza = 2,60 m – sez. 3).

La sezione di deflusso all'interno risulta parzialmente ostruita da depositi vegetali (foglie e residui di taglio) e di materiale sciolto, che tendono a depositarsi a causa delle modeste pendenze presenti all'imbocco (5°) che si riducono ulteriormente a valle del ponticello, dove il corso d'acqua presenta per lo più alveo e sponde non regimate, assumendo le caratteristiche di un fosso scolatore fino all'immissione nel T. Ogliana.

3.2. RIO DI CUZZEGO

In corrispondenza della località Cantoni (situata in sinistra idrografica), termina la tratta prettamente montana del Rio di Cuzzego, caratterizzata da versanti molto acclivi, ed ha inizio l'apparato di conoide alluvionale, su cui è in parte edificato l'abitato di Cuzzego.

Per quanto concerne le opere presenti lungo il corso d'acqua, si segnala la presenza di tre briglie selettive in c.a. con gaveta rivestita in pietrame, con strutture filtranti costituite da aperture rettangolari nel corpo della briglia, sia lungo la tratta montana del Rio di Cuzzego, che in apice di conoide (VALCBR003-4-5, rispettivamente da valle a monte); in particolare, quella più a valle, posta circa a quota 275 m s.l.m., è stata realizzata a seguito dell'alluvione del 1978.

La seconda briglia, ubicata a circa 285 m s.l.m. di quota, è stata costruita nel 1999, mentre è attualmente in fase esecutiva la realizzazione di una briglia di trattenuta filtrante, posta più a monte, a circa 430 m s.l.m.

Nella tratta di valle, compresa tra la prima briglia (q. 275 m s.l.m.) e il ponte della S.P. (VALCPO012), l'alveo è stato regimato mediante la realizzazione di opere di difesa su entrambe le sponde, costituite da muri in c.a., nella tratta di monte, e da scogliere in blocchi lapidei, nella tratta di valle (VALCDS014÷17).

La larghezza delle sezioni di deflusso varia da circa 12,0 m, in corrispondenza del ponte VALCPO011, in loc. Cantoni, a circa 35 m, in corrispondenza della tratta regimata a monte della S.P., dove sono state realizzate anche tre soglie di fondo in massi cementati.

L'alveo del Rio di Cuzzego, nella tratta esaminata, è attraversato dai seguenti tre ponti, da monte verso valle:

- il primo manufatto (VALCPO011) è posto in loc. Cantoni, lungo la S.C. Cardezza-Cuzzego; presenta una soletta in calcestruzzo e profilati metallici di spessore 0,6 m; la luce netta è pari a circa 12,0 x 5,0 m. L'alveo in questo settore è inciso nel substrato roccioso, con locali accumuli di materiale detritico grossolano su cui è attecchita vegetazione arbustiva infestante;
- il ponte lungo la Strada Provinciale Masera-Vogogna (VALCPO012) è costituito da una struttura in c.a., a due campate, con una pila centrale di forma prismatica; la lunghezza complessiva dell'impalcato è di circa 45 m, mentre l'altezza utile è pari a 5,5 m; l'alveo ordinario, inciso nel materiale alluvionale, passa attraverso la campata sinistra, mentre in quella destra c'è un abbondante deposito di materiale detritico;
- l'attraversamento della linea ferroviaria (VALCPO013) è costituito da un manufatto in muratura (laterizio e pietrame), a due campate, aventi sezione ad arco; la lunghezza complessiva dell'impalcato è di circa 24 m.

La tratta d'alveo compresa tra questi ultimi due ponti presenta una pendenza media modesta ($\cong 2^\circ$), con consistenti depositi di materiale alluvionale, in cui è attecchita una folta vegetazione arbustiva infestante; le sponde sono naturali.

3.3. T. OGLIANA DI POZZOLO

La tratta d'alveo del T. Ogliana di Pozzolo ubicata in apice di conoide, in corrispondenza dell'abitato di Beura, presenta imponenti opere di regimazione costituite da diverse tipologie di difese spondali.

In particolare, nella tratta a monte del ponte della S.P. le sponde risultano delimitate da alti muri in conci e blocchi di pietrame cementati (altezza media 3 m), alla cui base sono state recentemente realizzate delle opere di consolidamento, costituite da scogliere in blocchi cementati, aventi dimensioni medie 1,6 x 1,3 m (VALCDS003÷007).

L'alveo presenta una larghezza media di circa 20 m e pendenze modeste (circa 2°).

A valle della Strada Provinciale, l'alveo aumenta la sua larghezza fino a circa 25 m; in sinistra è presente una difesa spondale costituita da scogliera in blocchi di cava (di altezza 1,5-2,0 m), posta a protezione del piede del rilevato stradale, il cui paramento sul lato corso d'acqua è rivestito da blocchi, a formare una mantellata, per un'altezza complessiva di circa 4,0 m (VALCDS009).

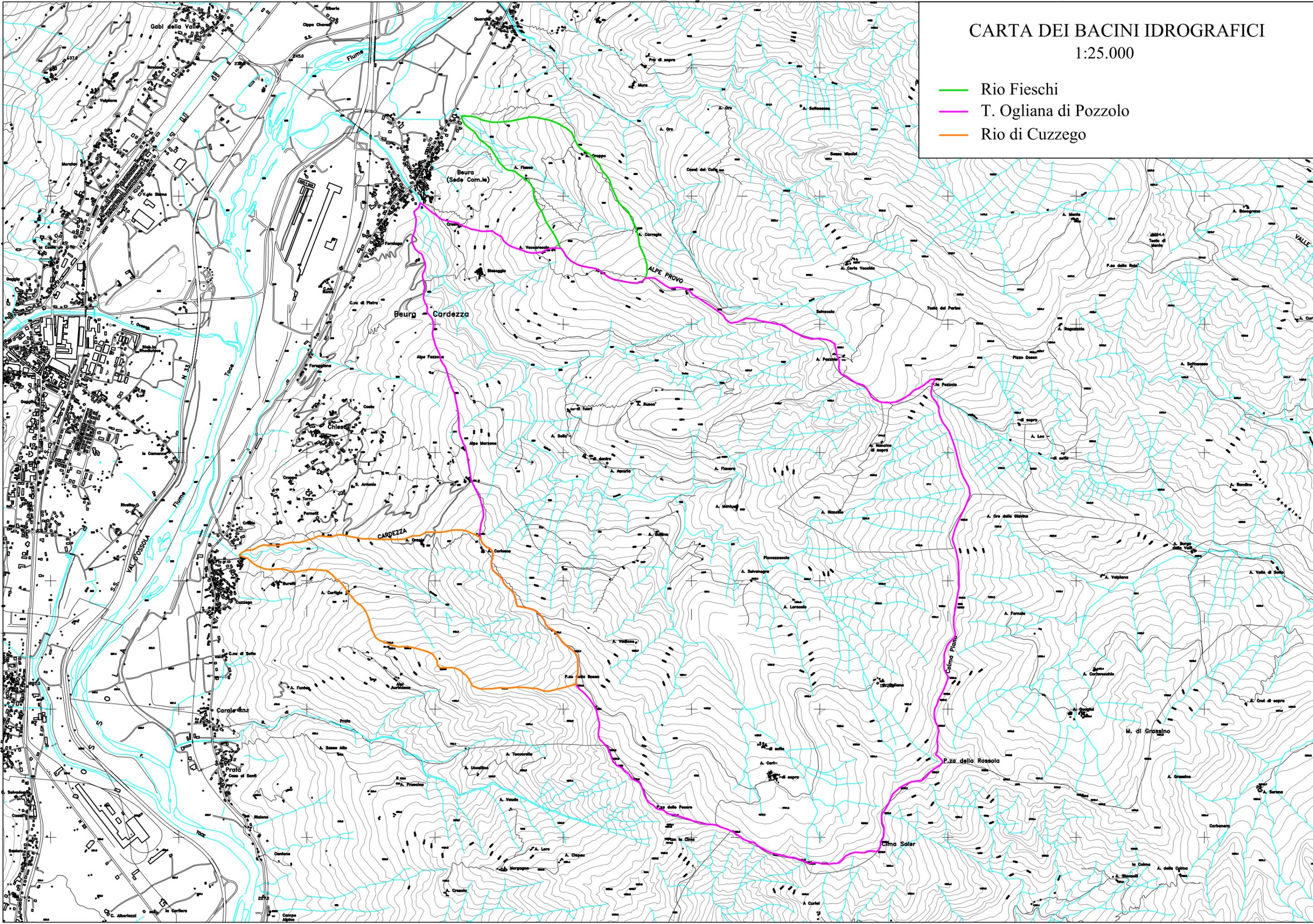
La sponda destra risulta, invece, non regimata, fatta eccezione per un tratto lungo circa 35 m, posto immediatamente a valle del ponte, in cui la sponda è protetta da una struttura fuori terra in massi di cava disposti su 5 ordini, fondata su una soletta in c.a. (VALCDS010)

In questa tratta, inoltre, il fondo alveo è stato stabilizzato mediante la realizzazione di cinque soglie di fondo in massi lapidei cementati (VALCSO006).

CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI

1:25.000

-  Rio Fieschi
-  T. Ogliana di Pozzolo
-  Rio di Cuzzego



4. ANALISI IDROLOGICA

4.1. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI IDROGRAFICI

Qui di seguito vengono elencati i bacini imbriferi considerati nella presente analisi e le loro principali caratteristiche morfometriche; per ciascun bacino è stato calcolato il tempo di corrivazione, con la formula di Visentini-Giandotti, tarata su numerose esperienze reali e che utilizza parametri facilmente misurabili:

$$T_C = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

L'estensione e l'ubicazione dei bacini idrografici presi in considerazione vengono rappresentate nell'apposito elaborato cartografico, avente come base la C.T.R. Piemonte, in scala 1:25.000.

	Area bacino (km ²) S	Lunghezza asta (km) L	Quota max (m s.l.m.) H0	Quota min (m s.l.m.) Hm	Quota media (m s.l.m.) Hm	Pendenza media (%) i _m	Tempo di corrivazione (ore) TC
Rio Fieschi	0,813	1,63	1.197	250	774	75,4% (37°)	0,33
Rio di Cuzzego	1,580	2,63	1.710	265	977	93,5% (43°)	0,42
T. Ogliana di Pozzolo	13,688	7,25	2.087	258	1.229	85,5 (40°)	1,03

La quota media del bacino si ricava come media ponderata delle altezze medie (h_i) di un certo numero di superfici parziali (S_i) delimitate da curve di livello, in cui viene suddivisa tutta la superficie del bacino (S), secondo la formula:

$$H_m = \frac{\sum h_i \times S_i}{S}$$

dove:

h_i = quota media della superficie i-esima, cioè media dei valori delle due curve di livello che delimitano tale superficie (m);

S_i = area della superficie i-esima (m²);

S = area del bacino (m²).

Per il calcolo della pendenza media del bacino (i_m) si è ricorsi al metodo proposto da Horton (1914), riferendosi cioè alla seguente formula:

$$i_m = \frac{e \times \sum l_i}{S}$$

dove:

e = equidistanza tra le curve di livello (m);

$\sum l_i$ = lunghezza complessiva delle linee di livello comprese nel bacino (m);

S = area del bacino (m²).

4.2. AFFLUSSI

Il calcolo delle precipitazioni è stato effettuato considerando la curva di probabilità pluviometrica e, quindi, la relazione che lega l'altezza d'acqua caduta, in assenza di perdite, alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Utilizzando, come comunemente usata, la relazione:

$$h(t) = at^n$$

dove:

h(t) = massimo valore annuale di precipitazione di durata t che può essere raggiunto o superato ogni T anni;

a, n = parametri il cui valore dipende dalle caratteristiche pluviometriche della zona in cui si trova la stazione di misura;

sono state elaborate le curve di probabilità pluviometrica per vari tempi di ritorno (T) ed è stato ricavato il valore della precipitazione massima di durata pari al tempo di corrivazione.

Per i dati idrologici si è fatto riferimento all'Allegato n. 3 della Direttiva n. 2 del PAI, il quale fornisce i parametri "a" e "n" relativi alla regionalizzazione effettuata su tutto il territorio del bacino del Fiume Po, per Tr = 20, 100, 200 anni, da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.

Per ogni bacino idrografico in esame sono state individuate le celle della regionalizzazione in cui esso ricade; ottenendo i seguenti risultati:

	Tr 20		Tr 100		Tr 200	
	a	n	a	n	a	n
Rio Fieschi	47,21	0,499	60,46	0,495	66,07	0,492
Rio di Cuzzego (*)	49,75	0,510	63,62	0,508	69,51	0,506
T. Ogliana di Pozzolo (*)	51,45	0,503	65,81	0,502	71,91	0,500

(*) Valori di "a" e "n" ricavati da una media pesata delle celle della griglia di discretizzazione delle piogge intense in cui ricade il bacino

In particolare, il bacino del Rio Fieschi è contenuto interamente nella cella BV49:

CELLA	Tr = 20		Tr = 100		Tr = 200	
	a	n	a	n	a	n
BV49 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.103.000	47,21	0,499	60,46	0,495	66,07	0,492

Il bacino idrografico del Rio di Cuzzego risulta, invece, contenuto nelle seguenti celle:

CELLA	Tr = 20		Tr = 100		Tr = 200	
	a	n	a	n	a	n
BU50 Coordinate UTM: E 445.000 N 5.101.000	47,25	0,510	60,42	0,507	66,01	0,505
BV50 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.101.000	49,56	0,505	63,41	0,503	69,29	0,501
BU51 Coordinate UTM: E 445.000 N 5.099.000	49,46	0,516	63,20	0,514	69,03	0,513
BV51 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.099.000	51,91	0,510	66,36	0,510	72,51	0,508

Per quanto riguarda il T. Ogliaia di Pozzolo, risulta che il suo bacino imbrifero sia contenuto all'interno delle seguenti celle di discretizzazione:

CELLA	Tr = 20		Tr = 100		Tr = 200	
	a	n	a	n	a	n
BU49 Coordinate UTM: E 445.000 N 5.103.000	44,92	0,504	57,50	0,499	62,83	0,496
BV49 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.103.000	47,21	0,499	60,46	0,495	66,07	0,492
BW49 Coordinate UTM: E 449.000 N 5.103.000	49,51	0,496	63,40	0,493	69,28	0,490
BV50 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.101.000	49,56	0,505	63,41	0,503	69,29	0,501
BW50 Coordinate UTM: E 449.000 N 5.101.000	51,91	0,501	66,41	0,500	72,56	0,498
BX50 Coordinate UTM: E 451.000 N 5.101.000	54,14	0,498	69,23	0,498	75,65	0,496
BV51 Coordinate UTM: E 447.000 N 5.099.000	51,91	0,510	66,36	0,510	72,51	0,508
BW51 Coordinate UTM: E 449.000 N 5.099.000	54,39	0,506	69,52	0,506	75,96	0,505
BX51 Coordinate UTM: E 451.000 N 5.099.000	56,66	0,503	72,42	0,504	79,13	0,503

Sulla base dei parametri "a" e "n" ricavati per ciascun bacino, si possono, quindi, ricavare le altezze di pioggia critiche (per $t = T_c$), riassunte nella tabella seguente.

	Tc (ore)	h₂₀ (mm)	h₁₀₀ (mm)	h₂₀₀ (mm)
<i>Rio Fieschi</i>	0,33	27,17	34,95	38,32
<i>Rio di Cuzzego</i>	0,42	31,98	40,96	44,83
<i>T. Ogliana di Pozzolo</i>	1,03	52,22	66,79	72,98

4.3. DEFLUSSI DI PIENA

Il calcolo delle portate di piena determinate dai vari prevedibili afflussi all'interno del bacino imbrifero considerato può essere effettuato in diversi modi; in carenza di dati sperimentali che consentano un confronto tra ietogrammi ed idrogrammi, si è utilizzato il metodo cinematico, il quale consente di valutare la massima portata di un corso d'acqua in relazione ad un evento critico mediante la seguente relazione:

$$Q_c = 0,278 \cdot \frac{\varphi \cdot Cr \cdot h(t) \cdot S}{T_c}$$

dove:

Q_c = portata al colmo (m³/s)

φ = coefficiente di deflusso

Cr = coefficiente di ragguaglio

$h(t)$ = altezza di precipitazione per t pari al tempo di corrivazione T_c (mm)

S = superficie del bacino (km²)

T_c = tempo di corrivazione (ore)

Il metodo si basa sulla considerazione che una precipitazione, purché uniformemente distribuita, produce colmi di piena sempre crescenti finché la sua durata non supera il tempo di corrivazione, mentre per durate $tr > T_c$ la portata, una volta raggiunta la portata massima, si mantiene approssimativamente costante per un intervallo $\Delta = tr - T_c$ (onda di piena trapezia).

La tabella seguente riporta i valori di portata al colmo di piena relativi ai corsi d'acqua presi in esame e relativi a Tr 20, 100 e 200 anni.

Si fa presente che per la stima del coefficiente di deflusso (φ) si è fatto riferimento al seguente approccio analitico, per cui il coefficiente di deflusso (φ) può essere considerato come il prodotto di numerosi coefficienti, tra cui i principali sono i seguenti (Gabella):

$$\varphi = \varphi_c \cdot \varphi_p \cdot \varphi_i$$

dove:

φ_c : coefficiente dipendente dalla copertura vegetale

φ_p : coefficiente dipendente dalla permeabilità dei terreni

φ_i : coefficiente dipendente dalla pendenza del terreno

Per quanto riguarda il coefficiente dipendente dalle coperture vegetali (φ_c), si possono assumere i seguenti valori cautelativi (superiori di 0,05 a quelli usati da Gabella):

<i>Aree coperte da bosco ceduo o perenne</i>	$\varphi_c = 0,75$
<i>Prati, pascoli e aree coltivate</i>	$\varphi_c = 0,85$
<i>Aree urbanizzate e aree degradate con scarsa vegetazione</i>	$\varphi_c = 0,95$
<i>Zone rocciose denudate</i>	$\varphi_c = 1,00$

Una volta stabilita per ciascun tipo di area la superficie A di competenza, il coefficiente φ_c complessivo si ottiene dalla media ponderata dei vari coefficienti di competenza delle singole aree:

$$\varphi_c = (\sum A_n \varphi_n) / A_n$$

Per quanto concerne il coefficiente φ_p dipendente dalla permeabilità si possono assumere i seguenti valori (sempre superiori di 0,05 a quelli usati da Gabella):

<i>Detriti di falda e depositi alluvionali recenti</i>	$\varphi_p = 0,90$
<i>Coltri moreniche eluvio-colluviali, prati, pascoli e aree coltivate</i>	$\varphi_p = 0,95$
<i>Substrato roccioso affiorante e aree completamente edificate</i>	$\varphi_p = 1$

Risulterà quindi, anche in questo caso:

$$\varphi_p = (\sum A_n \varphi_p) / A_n$$

Per quanto riguarda il coefficiente φ_i dipendente dalla pendenza, si può utilizzare la formula di Gabella:

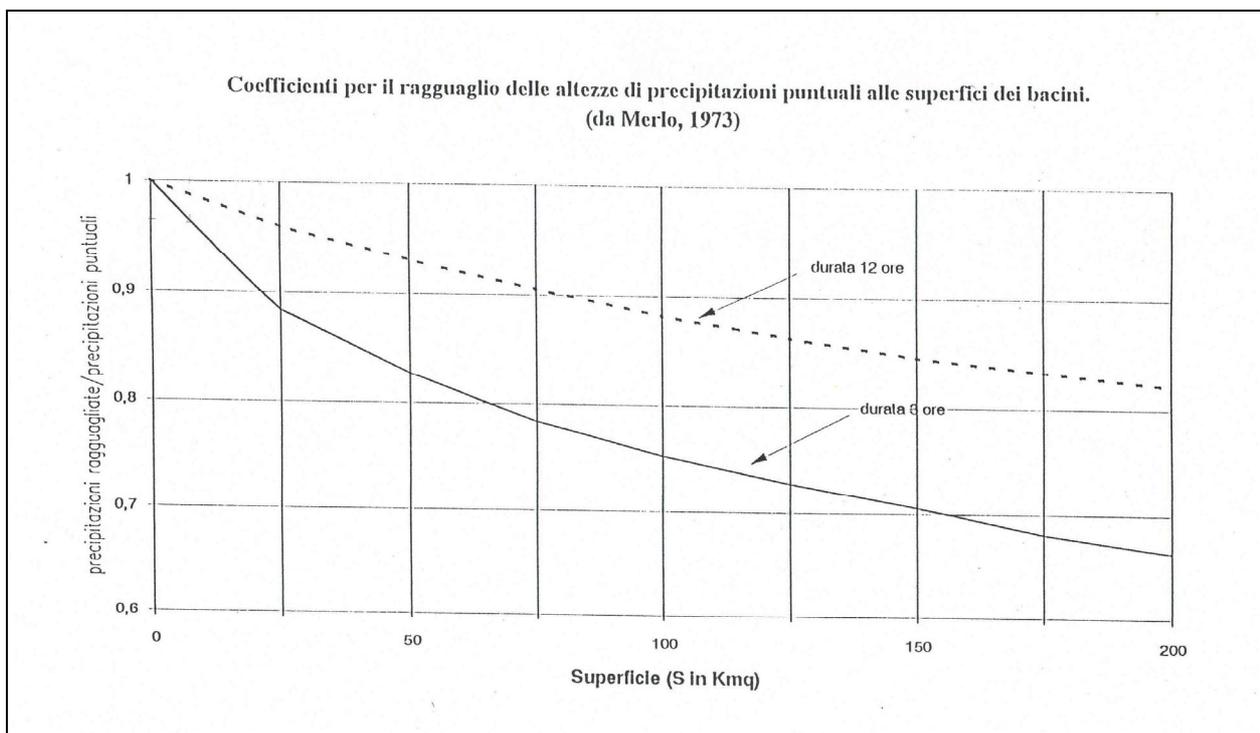
$$\varphi_i = (i(\%) + 1) / (i(\%) + 3)$$

Pertanto, sulla base delle informazioni sul tipo di copertura vegetale presenti nei vari bacini esaminati, sulla pendenza media (dell'ordine di 40°) e sulla natura e permeabilità dei litotipi che li caratterizzano, è stato possibile dare una valutazione del coefficiente di deflusso.

Per la stima del coefficiente di ragguaglio (Cr), per i singoli bacini, si è fatto riferimento al diagramma di Merlo (1973).

I valori di portata al colmo (frazione liquida) ricavati vengono proposti nella seguente tabella:

Bacino	Tc (ore)	ϕ	Cr	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
<i>Rio Fieschi</i>	0,33	0,85	1,00	15,8	20,3	22,3
<i>Rio di Cuzzego</i>	0,42	0,85	1,00	28,4	36,4	39,8
<i>T. Ogliana di Pozzolo</i>	1,03	0,80	0,97	150,5	192,5	210,3



4.4. VALUTAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO

Allo scopo di definire e valutare la predisposizione al trasporto solido durante eventi alluvionali dei corsi d'acqua in esame (Rio Fieschi, Rio Cuzzego e T. Ogliana di Pozzolo), determinando il tipo di processo (trasporto di fondo - *bed load*, *debris flood*, cioè flusso di un fluido ipercritico con ancora comportamento reologico di tipo newtoniano, colata detritica - *debris flow*), si sono adottate le seguenti metodologie di analisi:

1. La prima di carattere descrittivo si basa sul rilievo delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei bacini e delle conoidi, con rilievi di dettaglio delle aste principali e determinazione delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi presenti sia in ambito montano sia, dove esiste, in conoide; la finalità di tale analisi è quella di permettere una valutazione della quantità e delle caratteristiche dei sedimenti disponibili in alveo e sulle fasce spondali, la presenza e l'attività di frane, l'entità dei fenomeni erosivi in alveo, la presenza e le caratteristiche di antichi depositi torrentizi in alveo e in conoide;
2. La seconda metodologia prende in considerazione i parametri morfometrici del bacino e della conoide ed indici ad essi associati, mettendoli in relazione sulla base dei risultati di analisi statistiche, al fine di

fornire in prima approssimazione la tipologia dei processi torrentizi che sono responsabili della formazione delle conoidi alluvionali. In particolare nella letteratura scientifica appare consolidata la possibilità di distinguere conoidi formate da processi di *bed load* da conoidi da *debris flow* attraverso la relazione tra il numero di Melton (Mb) e la pendenza della conoide (Pc). Mb può essere considerato una misura del gradiente attraverso il quale il materiale si muove verso la conoide (più inclinato è il profilo vallivo, più alto è il valore di Mb); tale gradiente inoltre influenza la possibilità di innesco di *debris flow* (più acclive è il pendio, maggiori sono le possibilità di *debris flow*).

4.4.1. Rio Fieschi

Sulla base dell'analisi dell'assetto geolitologico e geomorfologico del bacino del Rio Fieschi, nonché delle informazioni relative ad episodi alluvionali e di dissesto avvenuti nel passato (così come illustrato nella Ricerca Storica), si possono fare le seguenti considerazioni circa la propensione al trasporto solido del Rio Fieschi in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati.

All'interno del bacino montano del Rio Fieschi sono rilevabili le seguenti condizioni:

- presenza in alveo e lungo le fasce spondali di substrato roccioso con qualità geomeccaniche particolarmente scadenti;
- presenza di depositi e coltri superficiali lungo le fasce spondali;
- pendenza dell'alveo superiore, almeno in alcuni punti, al 20%;

inoltre, sono possibili precipitazioni con intensità maggiori di 80-100 mm/ora per durate sufficientemente lunghe, pertanto, si ritiene che tale corso d'acqua abbia una potenzialità principalmente all'innesco di *debris flood* (fluidi iperconcentrati), piuttosto che di colate detritiche vere e proprie (*debris flow*), considerata anche la modesta dimensione del bacino idrografico (< 1 km²) e le contenute estensioni delle fasce spondali.

Anche il valore dell'indice di Melton ($Me \cong 1,0$) indica la possibilità teorica di innesco di colate detritiche, tuttavia, come detto, le evidenze geomorfologiche, geologiche e storiche, fanno propendere per un meccanismo di trasporto solido che dia origine a fluidi iperconcentrati più che a vere proprie colate detritiche.

Pertanto, ai fini delle verifiche di compatibilità idraulica, le portate liquide precedentemente ricavate sono state incrementate di circa il 50%, ai fini di considerare eventuale trasporto solido, ottenendo i seguenti valori:

Bacino	Tc (ore)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
<i>Rio Fieschi</i>	0,33	23,7	30,5	33,5

4.4.2. Rio di Cuzzego

L'analisi dell'assetto geolitologico e geomorfologico del bacino imbrifero del Rio di Cuzzego, nonché le valutazioni più approfondite relative alla sua conoide consentono di poter fare le seguenti considerazioni relativamente alla propensione al trasporto solido del Rio di Cuzzego in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati.

Il bacino idrografico presenta diversi settori soggetti ad instabilità, sia della coltre superficiale, sia del substrato roccioso, il quale è generalmente interessato da diverse famiglie di discontinuità, che ne provocano la progressiva disgregazione in porzioni più o meno voluminose.

Dall'analisi dei dati storici emerge che in passato (in particolare, in occasione dell'evento dell'agosto 1978) si sono verificati fenomeni di piena accompagnati da notevole trasporto solido, con episodi di sbarramento del corso d'acqua e conseguenti fenomeni di pulsazione.

Il numero di Melton superiore all'unità (= 1,11) indica una prevalenza di trasporto del tipo *debris-flow* (colate detritiche), indipendentemente dalla pendenza media della conoide (in questo caso maggiore del 10%).

Pertanto, sulla base delle precedenti considerazioni e tenuto conto, comunque, della presenza di tre briglie di trattenuta del materiale solido lungo l'asta torrentizia del Rio di Cuzzego, a monte della tratta presa in considerazione nelle presenti verifiche, si è ritenuto opportuno, ai fini delle verifiche di compatibilità idraulica, incrementare le portate liquide precedentemente ricavate di circa il 100%, ottenendo i seguenti valori:

Bacino	Tc (ore)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
<i>Rio di Cuzzego</i>	0,42	56,8	72,8	79,6

4.4.3. T. Ogliaia di Pozzolo

La stima della portata solida alla sezione di chiusura è stata basata sulle seguenti osservazioni:

- o dall'analisi dei dati storici emerge che in passato (in particolare, in occasione dell'evento dell'agosto 1900) si sono verificate piene accompagnate da notevole trasporto solido, con episodi di sbarramento del corso d'acqua e conseguenti fenomeni di pulsazione;
- o il numero di Melton e la pendenza media della conoide (Marchi et al., 1993; Ceriani et al., 1998) indicano una prevalenza di trasporto di tipo misto *debris flow* – *debris flood* (colate detritiche – alluvioni con prevalente trasporto solido);
- o il bacino del corso d'acqua è ampio e articolato con settori soggetti ad instabilità, tuttavia nel tratto terminale (a monte della conoide) la morfologia dell'alveo caratterizzato da debole pendenza, tende a favorire il deposito del materiale;

- gli ammassi rocciosi sono scomposti da diverse famiglie di discontinuità pervasive il cui effetto di disgregazione è accentuato dall'azione del crioclastismo.

Ai fini delle verifiche idrauliche si è ipotizzato che il T. Ogliana di Pozzolo possa essere interessato da un evento eccezionale di precipitazioni piovose in grado di provocare elevate portate idriche senza però che si riesca ad innescare un *debris flow* ma con sviluppo di un fluido iperconcentrato (*debris flood*).

A tale scopo, le portate liquide, precedentemente ricavate, sono state incrementate di circa il 100% per considerare l'aliquota del trasporto solido, ottenendo i seguenti valori.

Bacino	Tc (ore)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
<i>T. Ogliana di Pozzolo</i>	1,03	281,6	360,2	393,6

5. VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Sulla base degli esiti dell'analisi idrologica afflussi-deflussi svolta ed illustrata nel precedente capitolo, è stato possibile effettuare il calcolo della capacità di smaltimento dei deflussi di alcune sezioni d'alveo per ciascun corso d'acqua in esame.

La metodologia utilizzata ha fatto riferimento alle **condizioni di moto uniforme**, per cui, considerando una sezione di deflusso dell'alveo, la massima portata smaltibile è data dalla seguente relazione:

$$Q = V \cdot A$$

in cui:

- Q = massima portata smaltibile (m³/s)
- V = velocità media della corrente (m/s)
- A = area della sezione di deflusso (m²).

In condizioni di moto uniforme, la velocità media della corrente può essere determinata mediante la seguente relazione:

$$V = \chi \cdot (R \cdot i)^{1/2}$$

dove:

- χ = coefficiente di attrito, ricavato con la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{1/6}$$

- k_s = indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (figura 1)
- R = raggio idraulico, dato dal rapporto tra area della sezione di deflusso (A) e perimetro bagnato (P),
- i = pendenza dell'alveo nel tratto considerato.

<i>Natura delle pareti</i>	k_s ($m^{1/3}/s$)
Corsi d'acqua naturali	
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua	30-40
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, sinuosi e senza ristagni d'acqua	22-30
tratti lenti con erbacce e stagni profondi	13-20
tratti molto erbosi con stagni profondi, ostacolati da alberi e macchie	7-13
fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi e lati ripidi	20-33
fiumi di montagna, con fondo in ciottoli e grossi massi, lati ripidi	14-25
Golene	
con erba	20-40
con aree coltivate	20-50
con sottobosco	14-29
con molti alberi	8-13
Grandi fiumi (larghezza in superficie maggiore di 30 m)	
sezione regolare, senza massi o vegetazione	17-40
sezione irregolare	10-29

FIGURA 1 – Valori dell'indice di scabrezza di Gauckler-Strickler

5.1. RIO FIESCHI

Con riferimento agli elaborati grafici allegati (planimetria e sezioni), sono state effettuate le verifiche di compatibilità idraulica relative a tre sezioni di deflusso del Rio Fieschi, ubicate nella tratta canalizzata posta a monte della S.P.:

- sez. 1, in apice di conoide;
- sez. 2, nella tratta canalizzata;
- sez. 3, all'imbocco del manufatto di attraversamento della Strada Provinciale.

* Sezione 1

Pendenza alveo (i) = $8^\circ (\cong 0,14)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $15 m^{1/3}/s$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 2).

Tr (anni)	Q (m^3/s)	P (m)	A (m^2)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	23,7	23,04	8,37	0,36	12,67	2,86	0,39
100	30,5	23,51	9,76	0,42	12,96	3,12	0,45
200	33,5	23,74	10,46	0,44	13,08	3,25	0,48

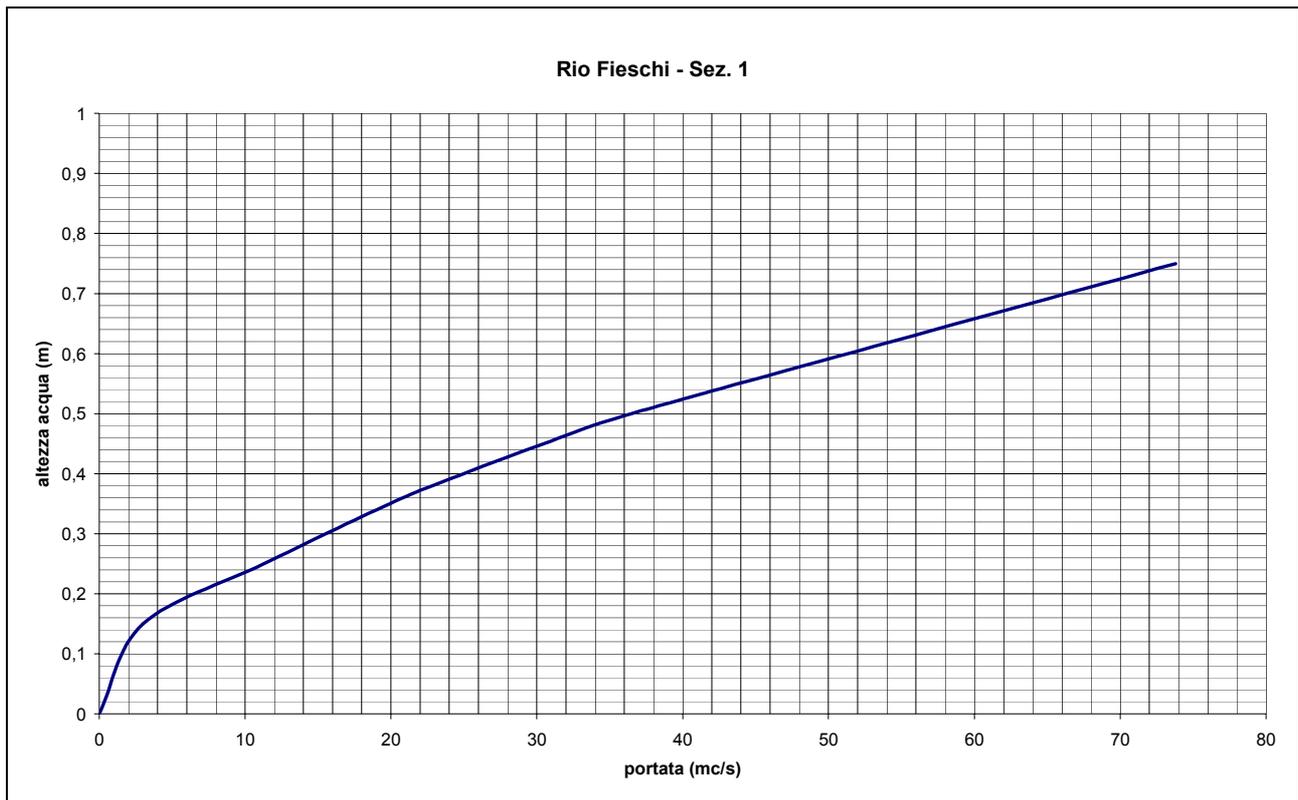


FIGURA 2 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 1 del Rio Fieschi

* Sezione 2

Pendenza alveo (i) = $10^\circ (\cong 0,17)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 3).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	23,7	8,58	3,65	0,43	24,28	6,53	0,47
100	30,5	8,77	4,30	0,49	24,86	7,18	0,55
200	33,5	8,84	4,54	0,51	25,06	7,40	0,58

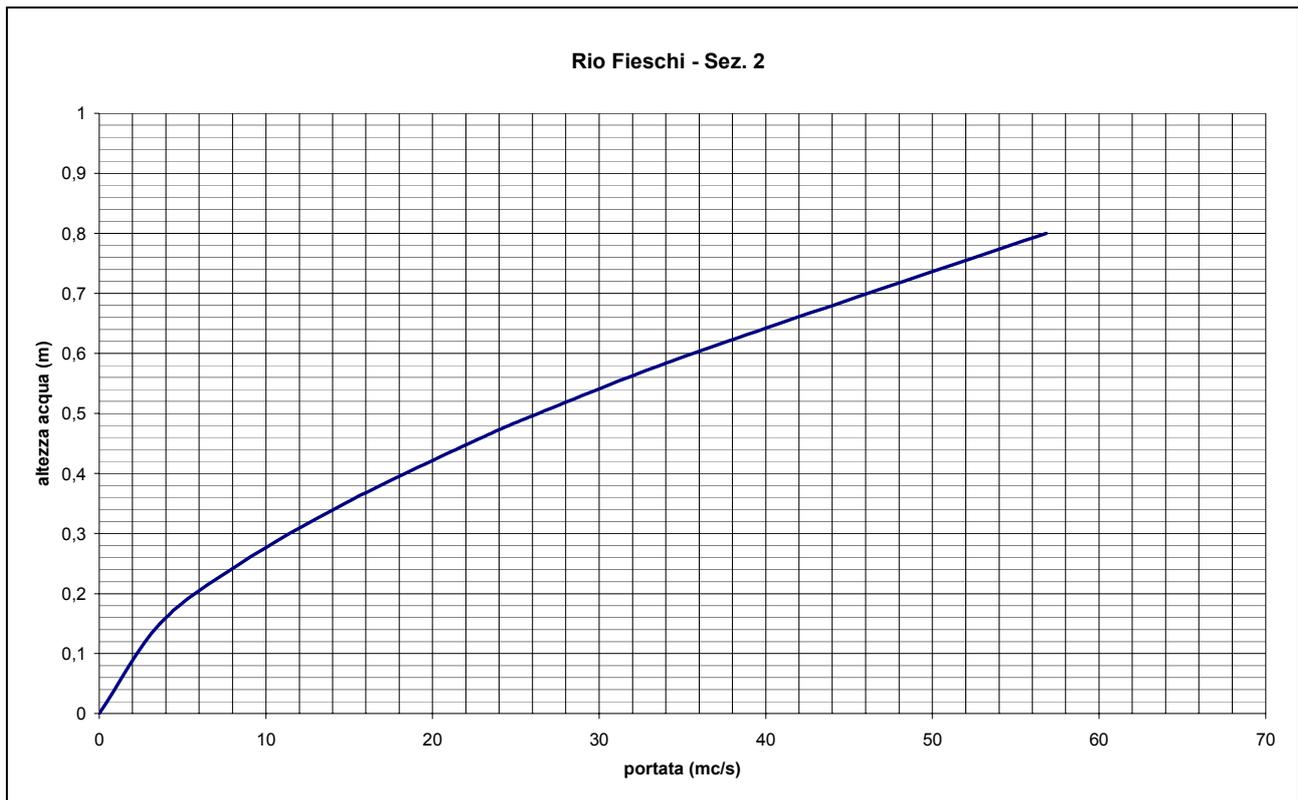


FIGURA 3 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 2 del Rio Fieschi

L'analisi eseguita per le sezioni 1 e 2, ritenute rappresentative della tratta d'alveo in esame, mostra la loro compatibilità con il deflusso dei regimi idrici torrentizi relativi alle piene di riferimento considerate (Tr 20, 100 e 200 anni).

* Sezione 3 (imbocco manufatto di attraversamento della S.P.)

Pendenza alveo (i) = $5^\circ (\cong 0,08)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti dall'analisi di compatibilità idraulica (in regime di moto uniforme) vengono esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione in esame (figura 4).

Come risulta dal grafico, la sezione di deflusso di tale manufatto non risulta sufficiente allo smaltimento dei deflussi di piena di riferimento (Tr 20, 100 e 200 anni), rappresentando un restringimento della sezione d'alveo presente nella tratta canalizzata immediatamente a monte.

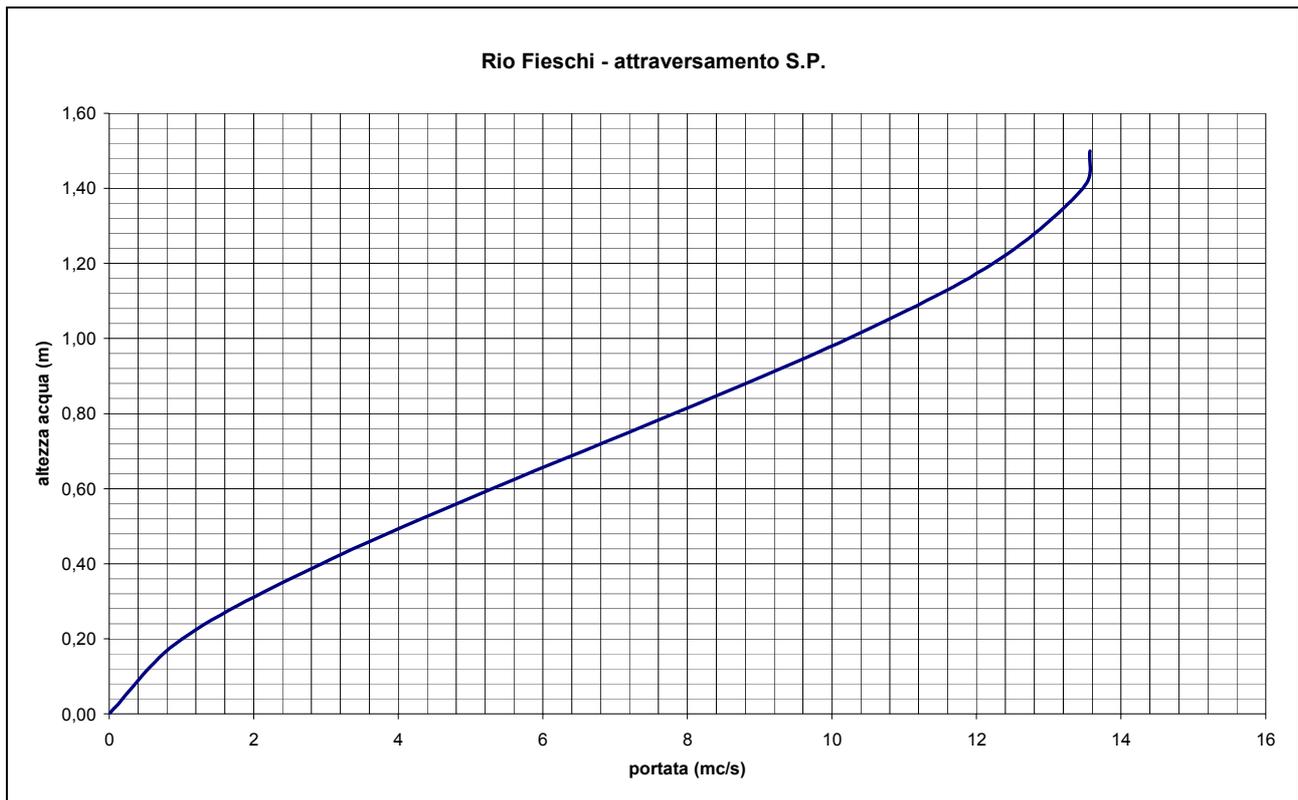


FIGURA 4 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 3 del Rio Fieschi (attraversamento S.P.)

5.1.1. Verifiche in moto permanente

Il tratto d'alveo interessato dall'attraversamento della Strada Provinciale è stato ulteriormente modellato mediante l'utilizzo del software HEC RAS 4.1 (River Analysis System), sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers.

Tale codice di calcolo utilizza uno schema di moto stazionario monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile), che tiene conto della variazione delle dimensioni dell'alveo e delle singolarità localizzate (rappresentate da manufatti, bruschi restringimenti o allargamenti, variazioni di scabrezza, salti di fondo) e permette un'analisi monodimensionale delle correnti e la modellazione del profilo di un regime stazionario in alveo a sezioni variabili, con la presenza di eventuali ponti, sottopassi, ed altri tipi di singolarità geometriche.

La verifica è stata eseguita in regime di "corrente mista" (tratti in corrente veloce abbinati a possibili tratti in corrente lenta).

L'andamento del profilo del pelo libero è ricavato attraverso l'applicazione dell'equazione energetica che impone la conservazione della suddetta grandezza attraverso due sezioni generiche considerate:

$$Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + \Delta h$$

in cui:

Δh = perdita di carico

Y_1, Y_2 = profondità del livello idrico rispetto al fondo

Z_1, Z_2 = quote assolute del fondo
 α_1, α_2 = coefficienti di ragguglio delle velocità
 U_1, U_2 = velocità medie nelle sezioni considerate
 g = accelerazione di gravità

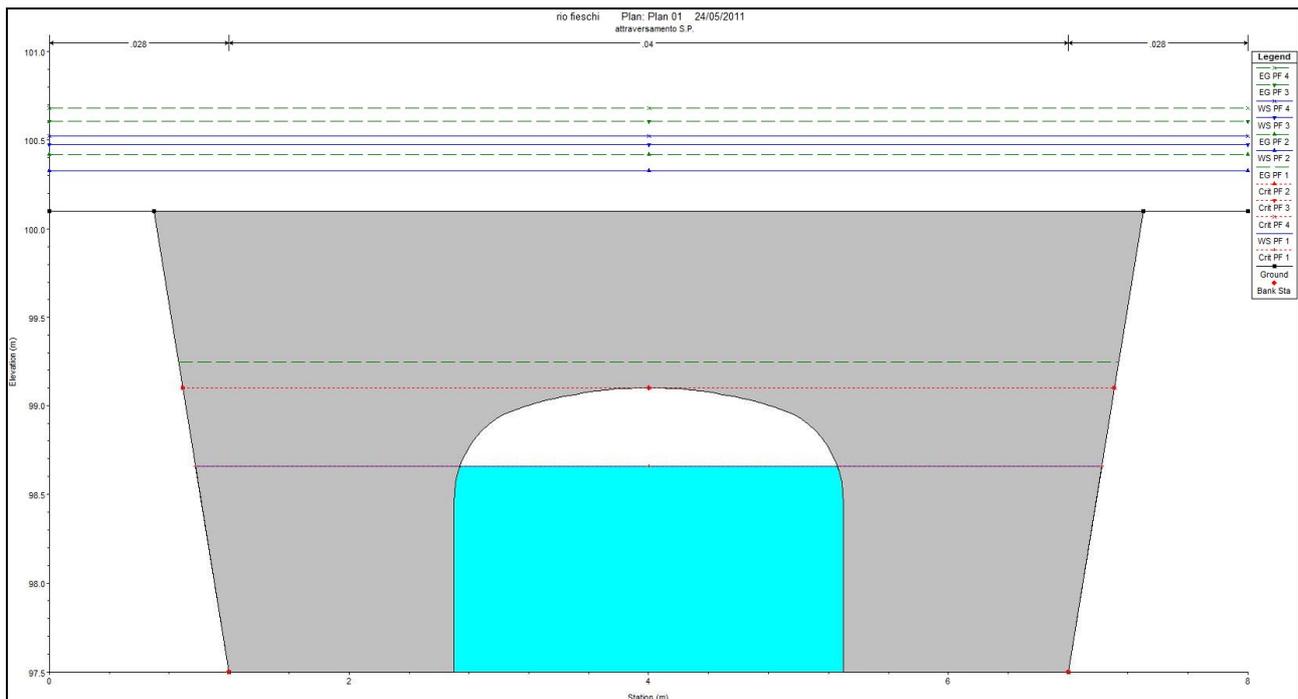
Sono stati introdotti i seguenti dati:

- geometria dell'alveo e del manufatto di attraversamento, così come rilevata in sito;
- scabrezza delle sponde e del fondo alveo;
- condizioni al contorno (altezze di moto uniforme corrispondenti alla pendenza presente nel tratto d'alveo di monte e di valle);
- portate di piena:
 - PF1: $Q = 10,2 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - PF2: $Q_{20} = 20,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - PF3: $Q_{100} = 30,5 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - PF4: $Q_{200} = 33,5 \text{ m}^3/\text{s}$;

I risultati ottenuti ribadiscono la situazione di criticità rappresentata dal restringimento della sezione di deflusso operata dal manufatto di attraversamento in oggetto, che, per le portate di piena di riferimento, causa l'innalzamento dei tiranti idrici, coinvolgendo la sede stradale.

Lo scenario PF1 fa riferimento ad una portata di $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Tr < 10$ anni), in corrispondenza della quale si ha un battente idrico di circa 1,1 m, in conformità a quanto è risultato dall'analisi a moto uniforme, precedentemente sviluppata.

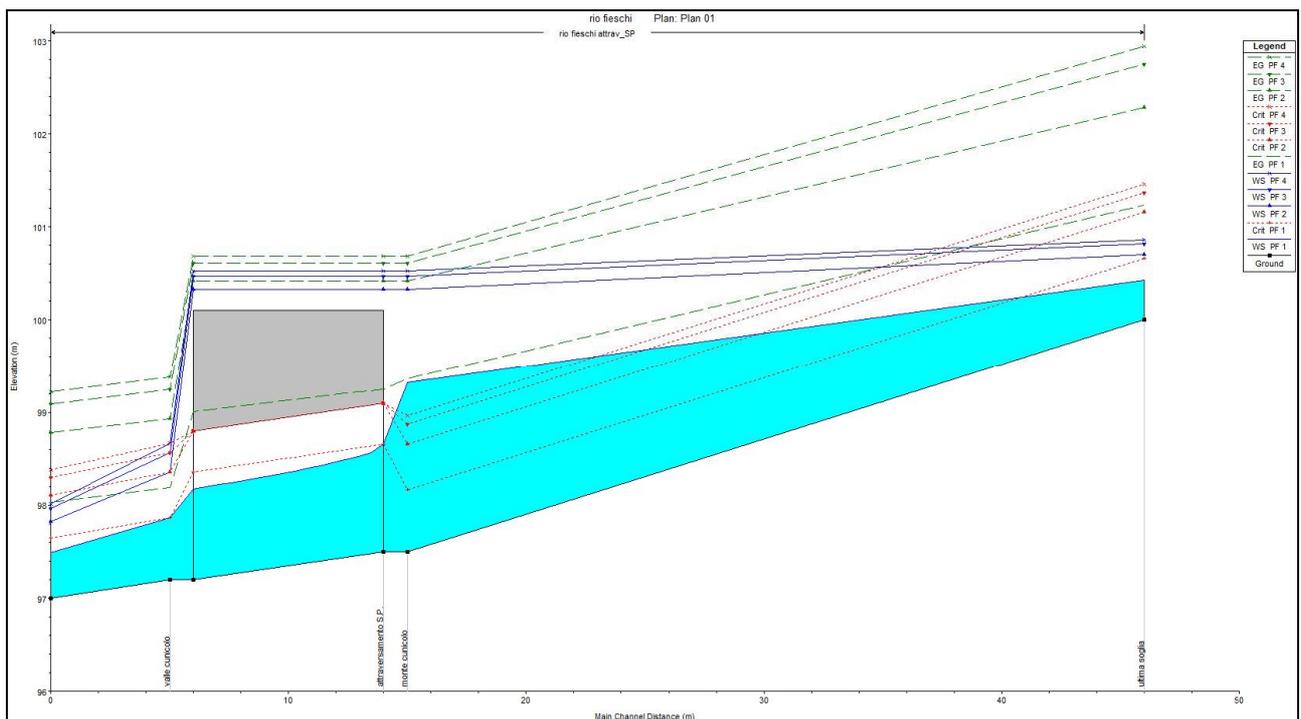
Di seguito vengono proposti i risultati ottenuti, sotto forma di tabelle e grafici (sezioni e profilo in scala distorta).



Rio Fieschi: sezione di imbocco manufatto di attraversamento S.P.

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
attrav_SP	30	PF 1	10.20	100.00	100.42	100.66	101.23	0.080030	3.99	2.58	6.16	1.96
attrav_SP	30	PF 2	23.70	100.00	100.70	101.16	102.28	0.080043	5.59	4.31	6.27	2.13
attrav_SP	30	PF 3	30.50	100.00	100.82	101.37	102.75	0.080046	6.18	5.03	6.31	2.18
attrav_SP	30	PF 4	33.50	100.00	100.86	101.46	102.94	0.080048	6.41	5.32	6.33	2.20
attrav_SP	26	PF 1	10.20	97.50	99.32	98.16	99.36	0.000610	0.92	11.54	6.70	0.22
attrav_SP	26	PF 2	23.70	97.50	100.33	98.66	100.42	0.000738	1.36	18.70	8.00	0.26
attrav_SP	26	PF 3	30.50	97.50	100.47	98.87	100.61	0.001021	1.65	19.89	8.00	0.31
attrav_SP	26	PF 4	33.50	97.50	100.53	98.96	100.68	0.001159	1.78	20.31	8.00	0.33
attrav_SP	25		Culvert									
attrav_SP	24	PF 1	10.20	97.20	97.86	97.86	98.19	0.018157	2.56	4.05	6.25	1.00
attrav_SP	24	PF 2	23.70	97.20	98.36	98.36	98.93	0.015020	3.38	7.20	6.45	1.00
attrav_SP	24	PF 3	30.50	97.20	98.57	98.57	99.25	0.014192	3.67	8.57	6.53	1.00
attrav_SP	24	PF 4	33.50	97.20	98.66	98.66	99.38	0.013763	3.77	9.17	6.56	1.00
attrav_SP	20	PF 1	10.20	97.00	97.49	97.64	98.03	0.045811	3.32	3.17	6.98	1.52
attrav_SP	20	PF 2	23.70	97.00	97.83	98.11	98.78	0.040665	4.44	5.63	7.65	1.56
attrav_SP	20	PF 3	30.50	97.00	97.96	98.30	99.09	0.039644	4.85	6.69	7.92	1.58
attrav_SP	20	PF 4	33.50	97.00	98.02	98.38	99.22	0.039347	5.01	7.13	8.03	1.59

Rio Fieschi: tabella di output della modellazione



Rio Fieschi: profilo longitudinale

RIO FIESCHI



FOTO 1-2 - Settore d'alveo in apice di conoide



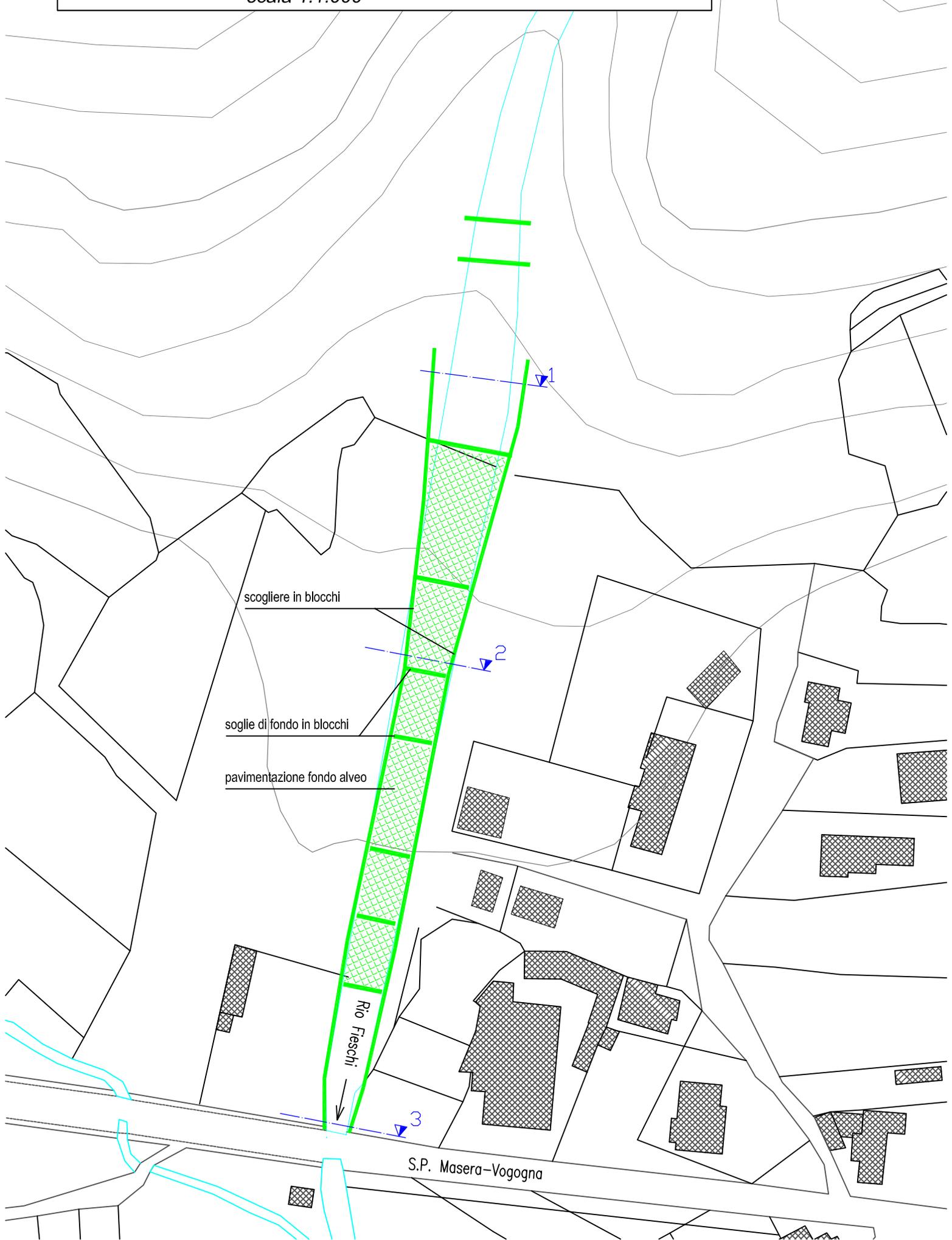
FOTO 3-4 - Vedute da monte e da valle della tratta canalizzata ubicata a monte della Strada Provinciale



FOTO 5 - Imbocco del manufatto di attraversamento della Strada Provinciale, con sezione insufficiente

RIO FIESCHI - PLANIMETRIA TRATTA CANALIZZATA

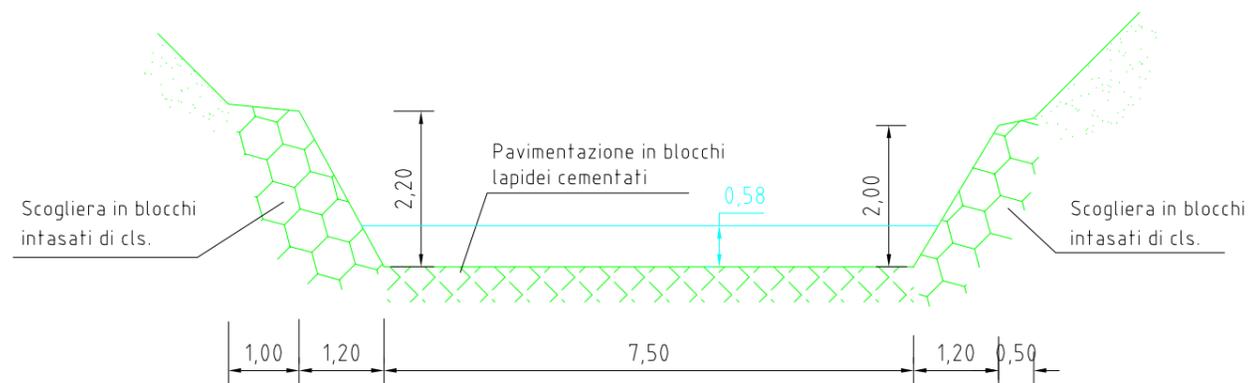
scala 1:1.000



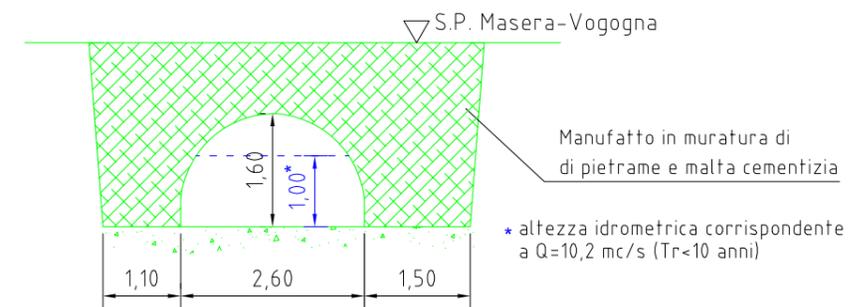
SEZIONE 1



SEZIONE 2



SEZIONE 3



RIO FIESCHI - SEZIONI TRASVERSALI

scala 1:100

— livello idrometrico Tr 200 anni (Q=33,5 mc/s)

5.2. RIO DI CUZZEGO

Con riferimento agli elaborati grafici allegati (planimetria e sezioni), sono state effettuate le verifiche di compatibilità idraulica relative a quattro sezioni di deflusso del Rio di Cuzzego, ubicate nella tratta regimata posta in conoide e ritenute significative:

- sez. 1, in apice di conoide, in corrispondenza di una soglia di fondo;
- sez. 2, in corrispondenza del ponte sulla S.C.;
- sez. 4, a valle della S.P.;
- sez. 5, all'imbocco del ponte ferroviario.

* Sezione 1

Pendenza alveo (i) = $6^\circ (\cong 0,10)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 5).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	56,8	14,14	12,71	0,90	14,74	4,42	1,04
100	72,8	14,51	14,96	1,03	15,08	4,84	1,22
200	79,6	14,66	15,84	1,08	15,19	4,99	1,29



FIGURA 5 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 1 del Rio di Cuzzego

* Sezione 2

Pendenza alveo (i) = $9^\circ (\cong 0,15)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 6).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	56,8	13,50	11,05	0,82	14,51	5,08	1,42
100	72,8	13,86	13,03	0,94	14,85	5,58	1,58
200	79,6	13,99	13,78	0,98	14,96	5,75	1,64

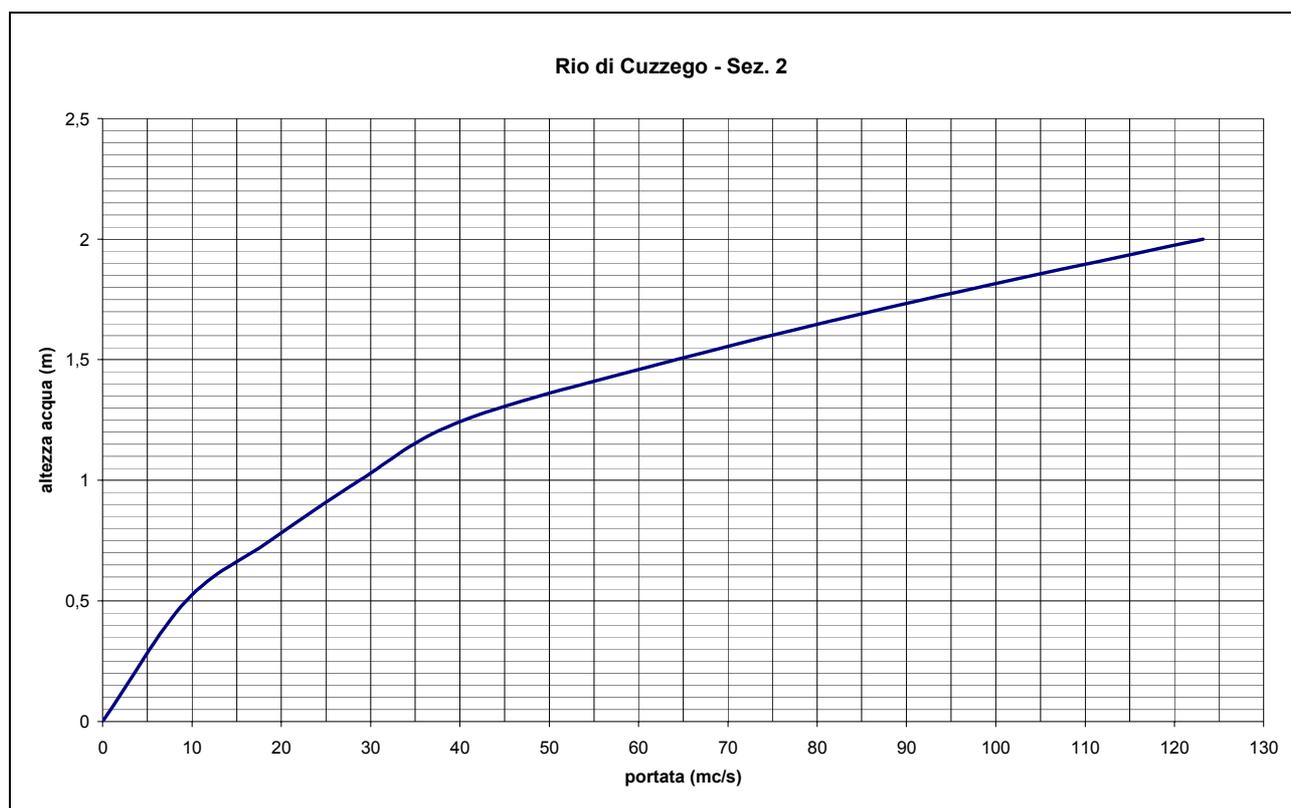


FIGURA 6 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 2 del Rio di Cuzzego (attraversamento S.C.)

* Sezione 4

Pendenza alveo (i) = $2^\circ (\cong 0,035)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 7).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	56,8	22,86	21,22	0,93	14,82	2,67	1,01
100	72,8	23,31	24,77	1,06	15,15	2,92	1,17
200	79,6	23,51	26,34	1,12	15,29	3,03	1,24

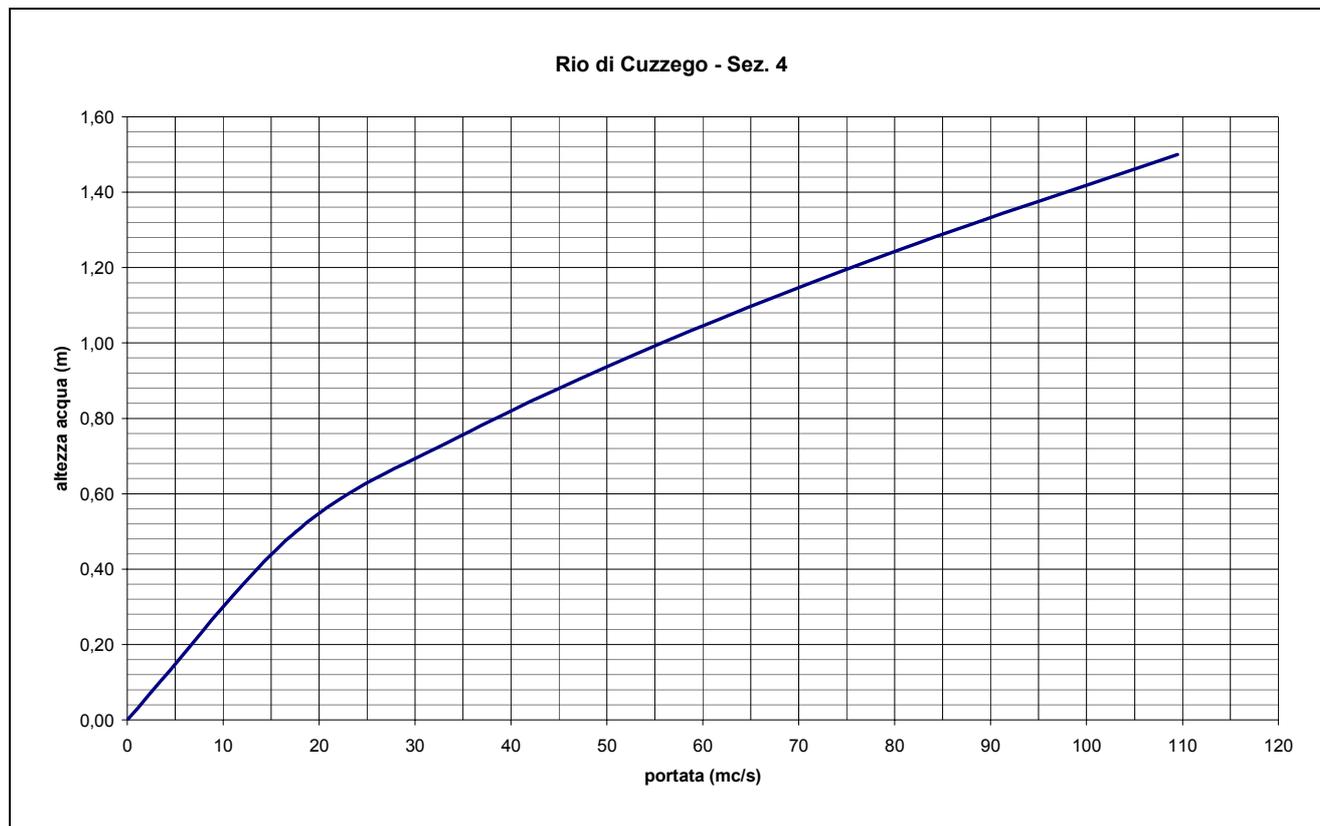


FIGURA 7 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 4 del Rio di Cuzzego

* Sezione 5 (imbocco ponte ferroviario)

Pendenza alveo (i) = $2^\circ (\cong 0,035)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 8).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	56,8	24,36	21,80	0,89	14,72	2,61	1,09
100	72,8	25,12	25,60	1,02	15,05	2,84	1,28
200	79,6	25,44	27,20	1,07	15,17	2,93	1,36

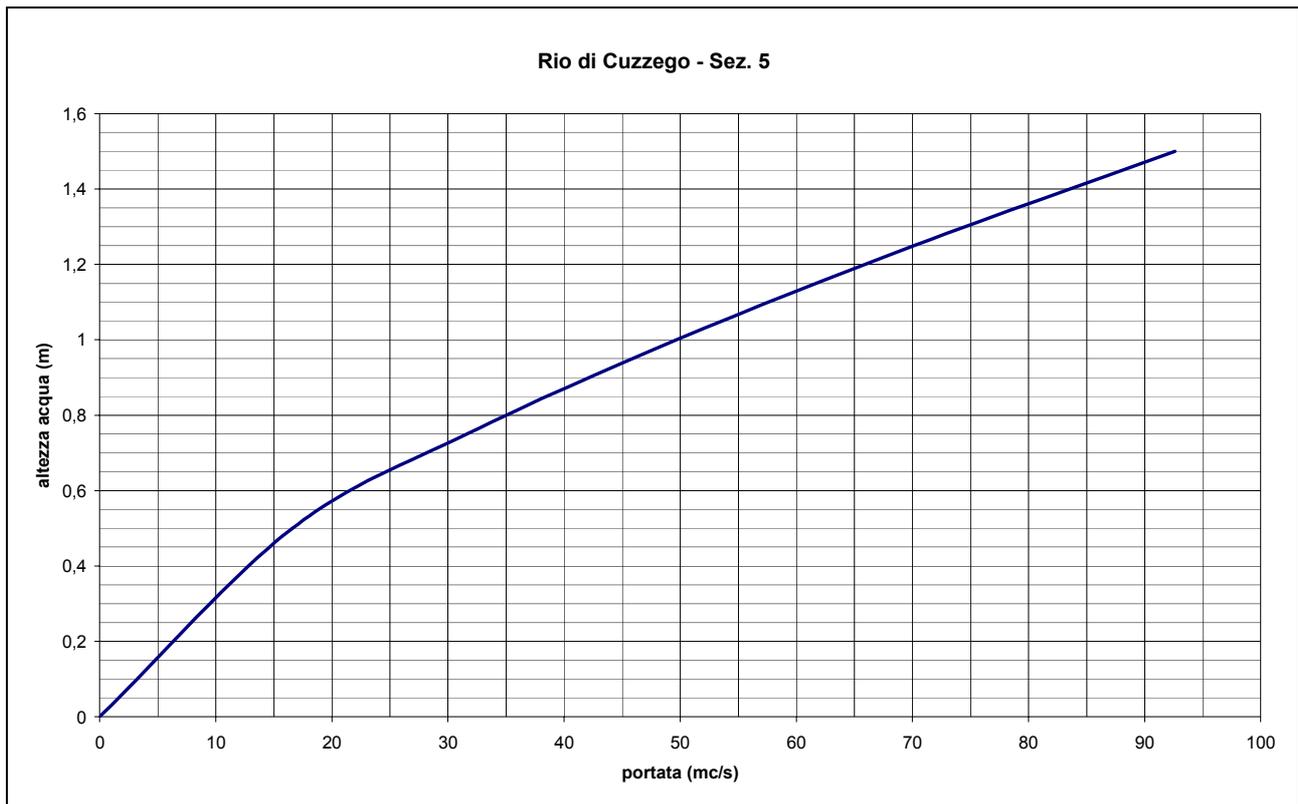


FIGURA 8 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 5 del Rio di Cuzzego

5.2.1. Verifiche in moto permanente

Così come per il Rio Fieschi, il tratto d'alveo del Rio di Cuzzego interessato dal ponte ferroviario è stato ulteriormente modellato mediante l'utilizzo del software HEC RAS 4.1 (River Analysis System), sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers, utilizzando uno schema di moto stazionario monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile).

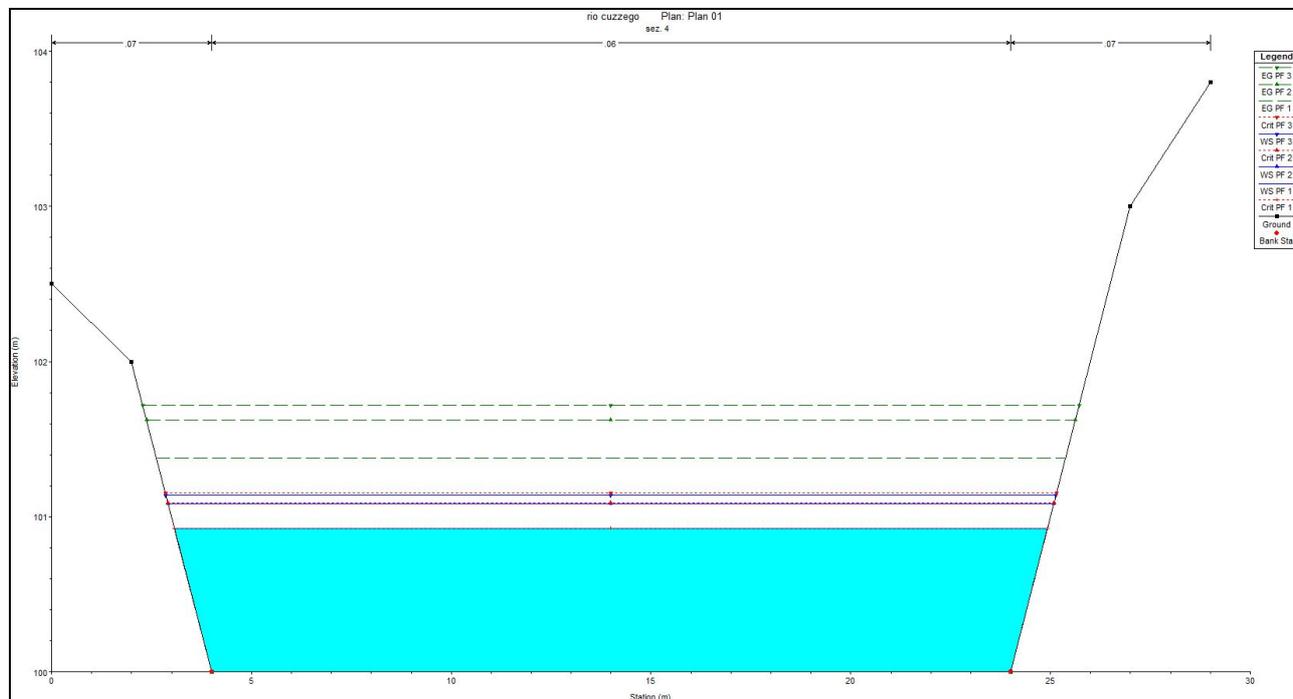
Sono stati introdotti i seguenti dati:

- geometria dell'alveo e del manufatto di attraversamento, così come rilevata in sito;
- scabrezza delle sponde e del fondo alveo;
- condizioni al contorno (altezze di moto uniforme corrispondenti alla pendenza presente nel tratto d'alveo di monte e di valle);
- portate di piena:
 - PF1: $Q_{20} = 56,8 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - PF2: $Q_{100} = 72,8 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - PF3: $Q_{200} = 79,6 \text{ m}^3/\text{s}$;

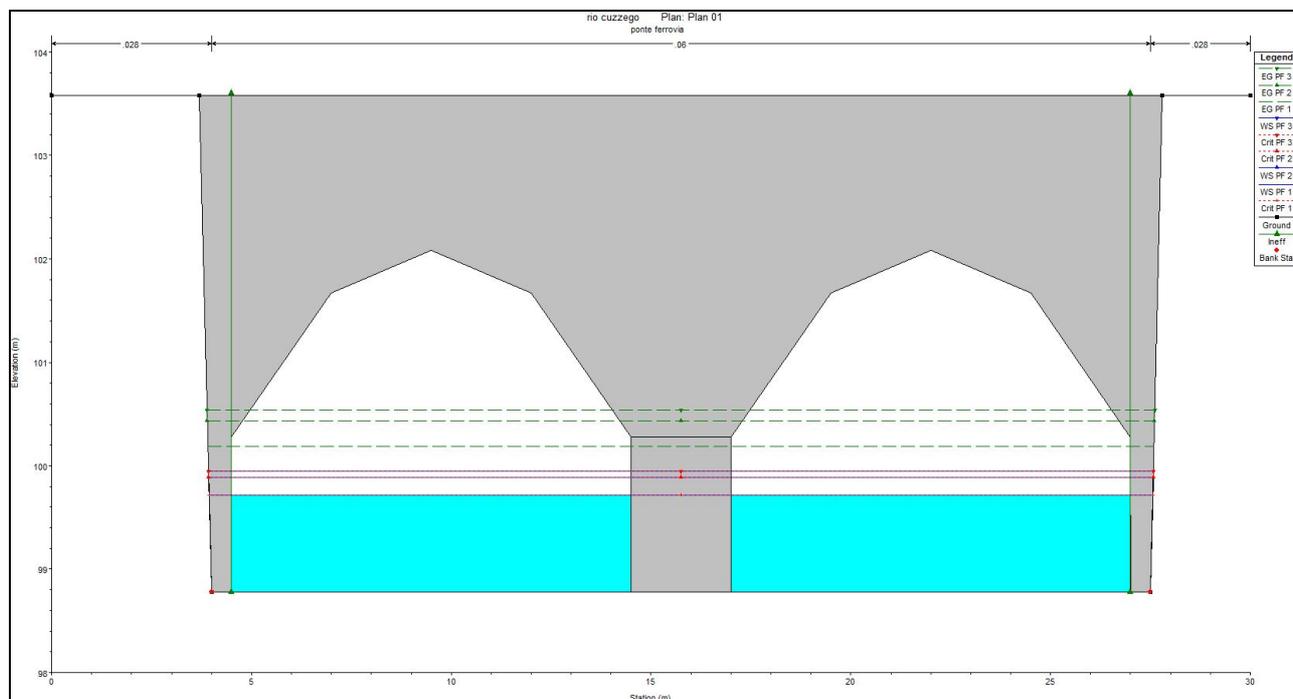
I risultati ottenuti evidenziano la capacità del ponte allo smaltimento delle portate di piena di riferimento, a patto, però, che le due luci siano effettivamente sgombre e non ostruite da materiale vegetale (tronchi, ceppaie, residui di taglio, ecc...), derivante dalla mobilitazione, per opera della corrente, della abbondante vegetazione presente in alveo nella tratta di monte.

I tiranti idrici ottenuti con la presente modellazione sono conformi a quanto ottenuto con l'analisi a moto uniforme, precedentemente sviluppata.

Di seguito vengono proposti i risultati ottenuti, sotto forma di tabelle e grafici (sezioni e profilo in scala distorta).



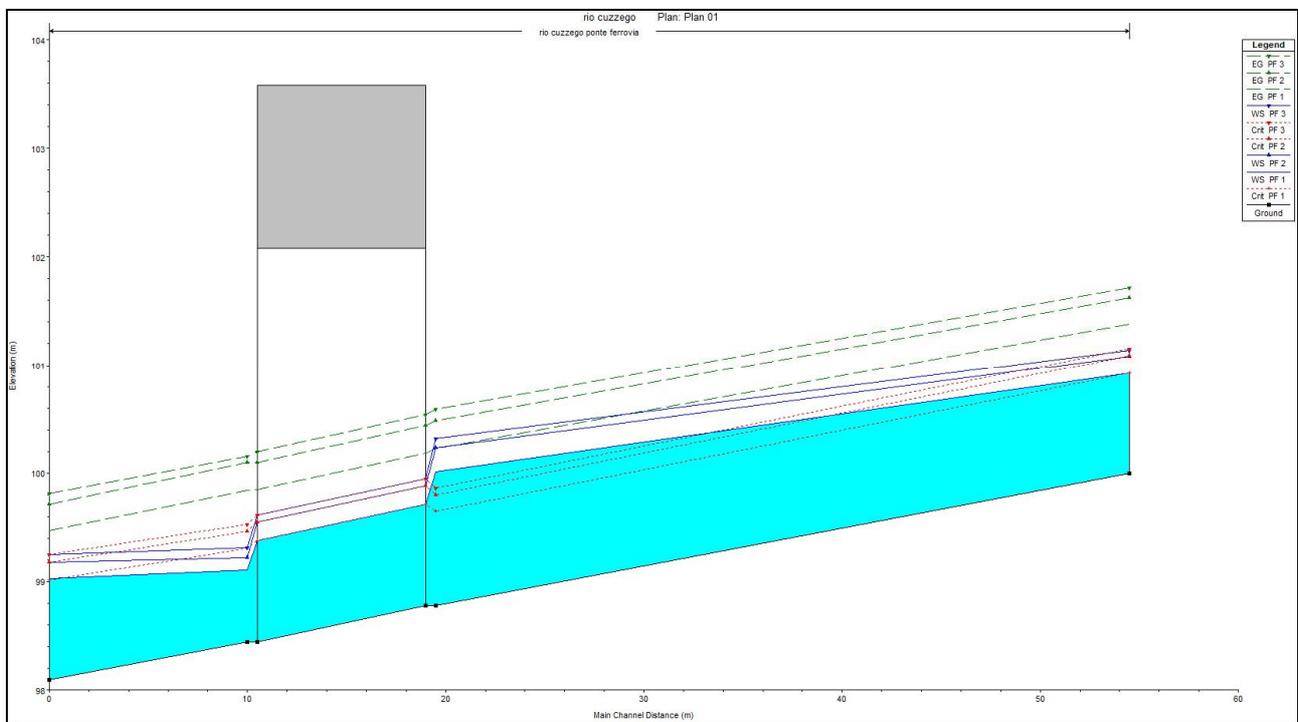
Rio di Cuzzego: sezione n. 4



Rio di Cuzzego: sezione di imbocco ponte ferroviario

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
ponte ferrovia	500	PF 1	56.80	100.00	100.93	100.93	101.38	0.036191	3.01	19.36	21.85	1.00
ponte ferrovia	500	PF 2	72.80	100.00	101.08	101.09	101.62	0.035069	3.29	22.80	22.16	1.01
ponte ferrovia	500	PF 3	79.60	100.00	101.14	101.16	101.72	0.035000	3.40	24.12	22.28	1.02
ponte ferrovia	450	PF 1	56.80	98.78	100.01	99.65	100.23	0.011419	2.05	27.74	23.65	0.59
ponte ferrovia	450	PF 2	72.80	98.78	100.23	99.80	100.49	0.010866	2.23	32.68	23.68	0.59
ponte ferrovia	450	PF 3	79.60	98.78	100.32	99.86	100.59	0.010721	2.30	34.61	23.69	0.59
ponte ferrovia	430	Bridge										
ponte ferrovia	400	PF 1	56.80	98.44	99.11	99.30	99.84	0.088854	3.79	14.99	23.58	1.48
ponte ferrovia	400	PF 2	72.80	98.44	99.22	99.46	100.10	0.086285	4.15	17.55	23.60	1.50
ponte ferrovia	400	PF 3	79.60	98.44	99.31	99.52	100.15	0.071312	4.06	19.60	23.61	1.39
ponte ferrovia	350	PF 1	56.80	98.09	99.02	99.02	99.47	0.035070	2.98	19.55	21.87	0.98
ponte ferrovia	350	PF 2	72.80	98.09	99.18	99.18	99.71	0.034279	3.27	22.97	22.18	1.00
ponte ferrovia	350	PF 3	79.60	98.09	99.24	99.24	99.81	0.033608	3.36	24.43	22.31	1.00

Rio di Cuzzego: tabella di output della modellazione



Rio di Cuzzego: profilo longitudinale

RIO DI CUZZEGO



FOTO 1-2 - Settore d'alveo in apice di conoide



FOTO 3 - Veduta dell'alveo a monte del ponte sulla Strada Provinciale



FOTO 4 - Veduta dell'alveo a valle della Strada Provinciale



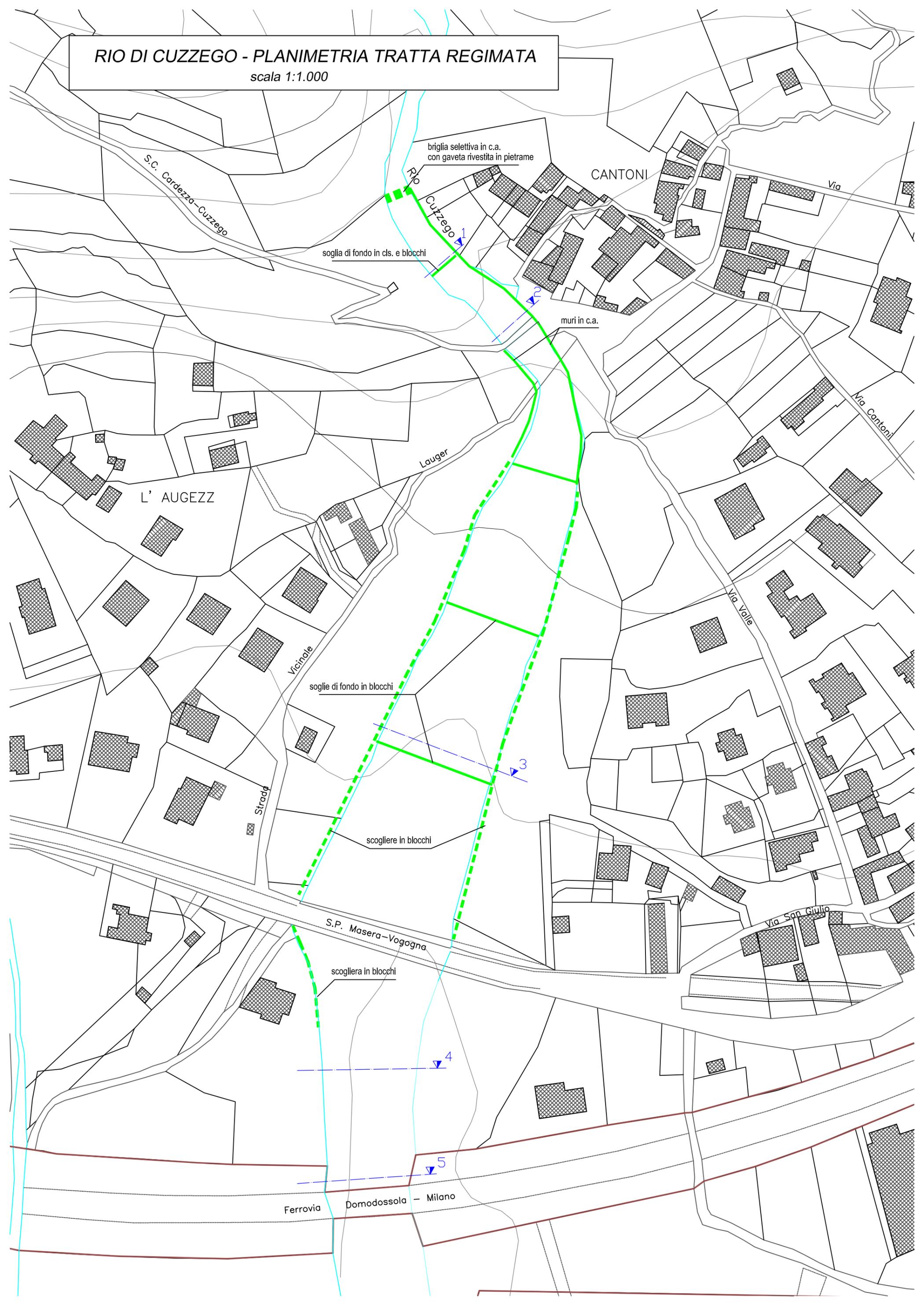
FOTO 5 - Ponte della Strada Provinciale Masera-Vogogna



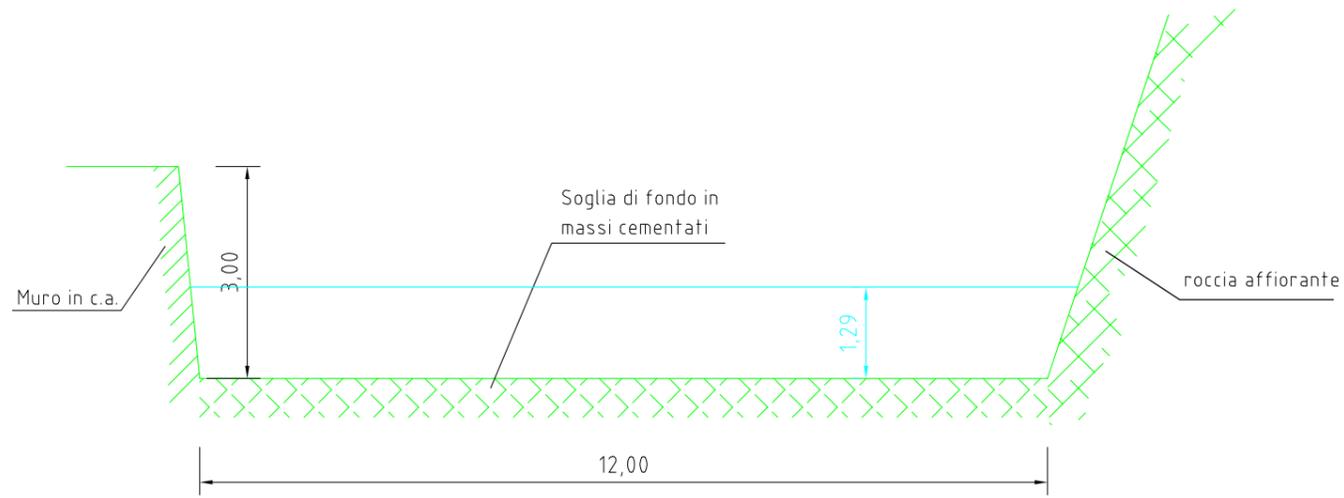
FOTO 6 - Ponte della linea ferroviaria Milano-Domodossola

RIO DI CUZZEGO - PLANIMETRIA TRATTA REGIMATA

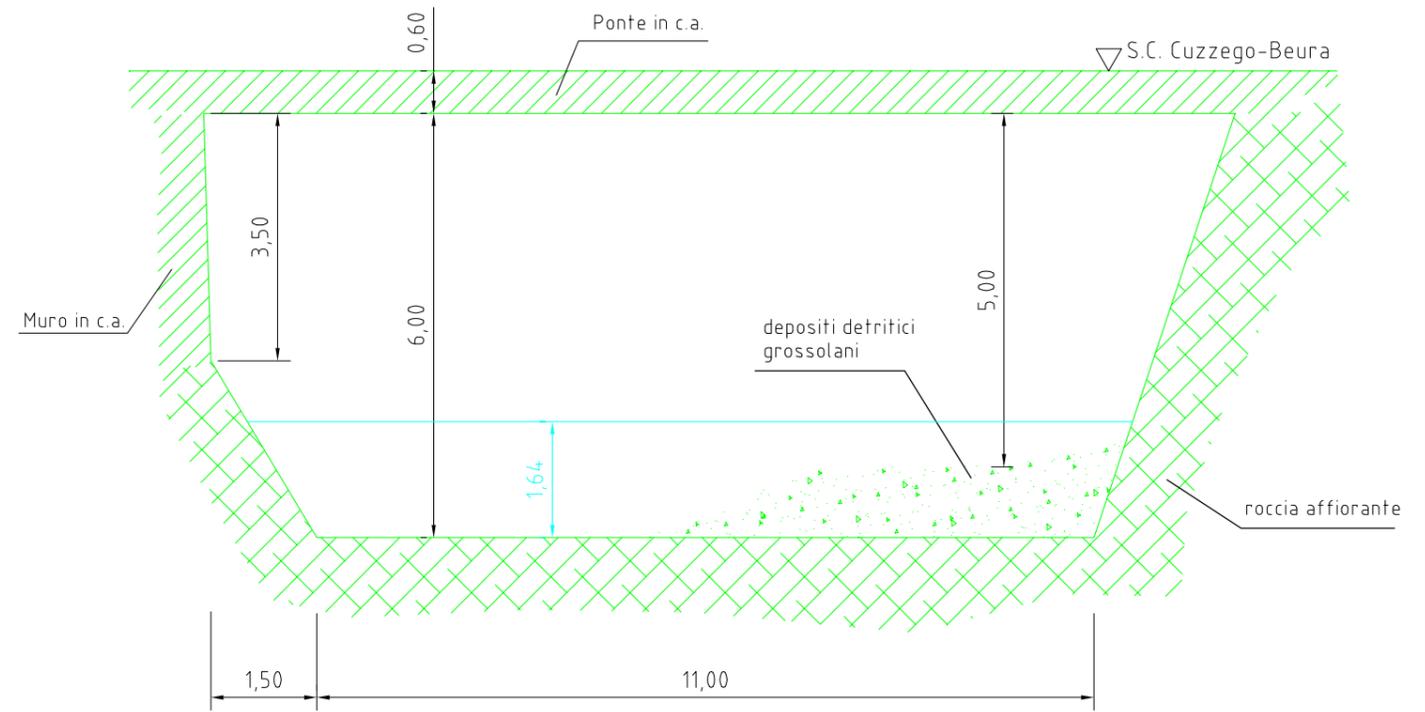
scala 1:1.000



SEZIONE 1



SEZIONE 2



SEZIONE 3

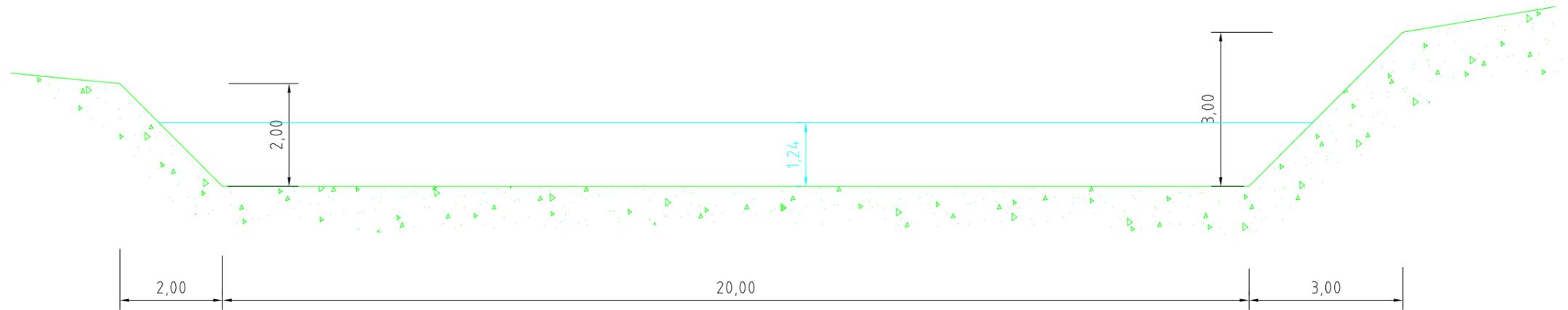


RIO DI CUZZEGO - SEZIONI TRASVERSALI

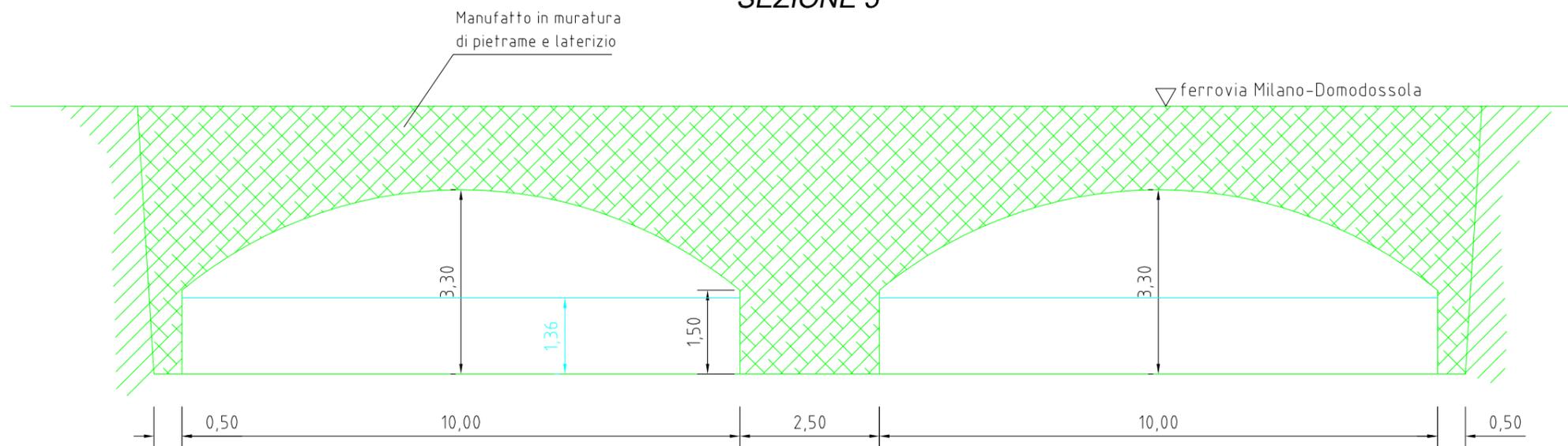
scala 1:100

— livello idrometrico Tr 200 anni (Q=79,6 mc/s)

SEZIONE 4



SEZIONE 5



RIO DI CUZZEGO - SEZIONI TRASVERSALI
scala 1:100

— livello idrometrico Tr 200 anni (Q=79,6 mc/s)

5.3. T. OGLIANA DI POZZOLO

Con riferimento agli elaborati grafici allegati (planimetria e sezioni), sono state effettuate le verifiche di compatibilità idraulica relative a due sezioni di deflusso del T. Ogliana di Pozzolo, ubicate nella tratta regimata posta in corrispondenza dell'abitato di Beura, a monte (sez. 1) ed a valle (sez. 2) del ponte sulla Strada Provinciale.

* Sezione 1

Pendenza alveo (i) = 1,8° (≅ 0,032)

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = 20 m^{1/3}/s

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 9).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	281,6	26,92	51,09	1,90	22,25	5,48	2,48
100	360,2	28,00	60,45	2,16	22,74	5,98	2,87
200	393,6	28,37	63,99	2,25	22,90	6,15	3,00

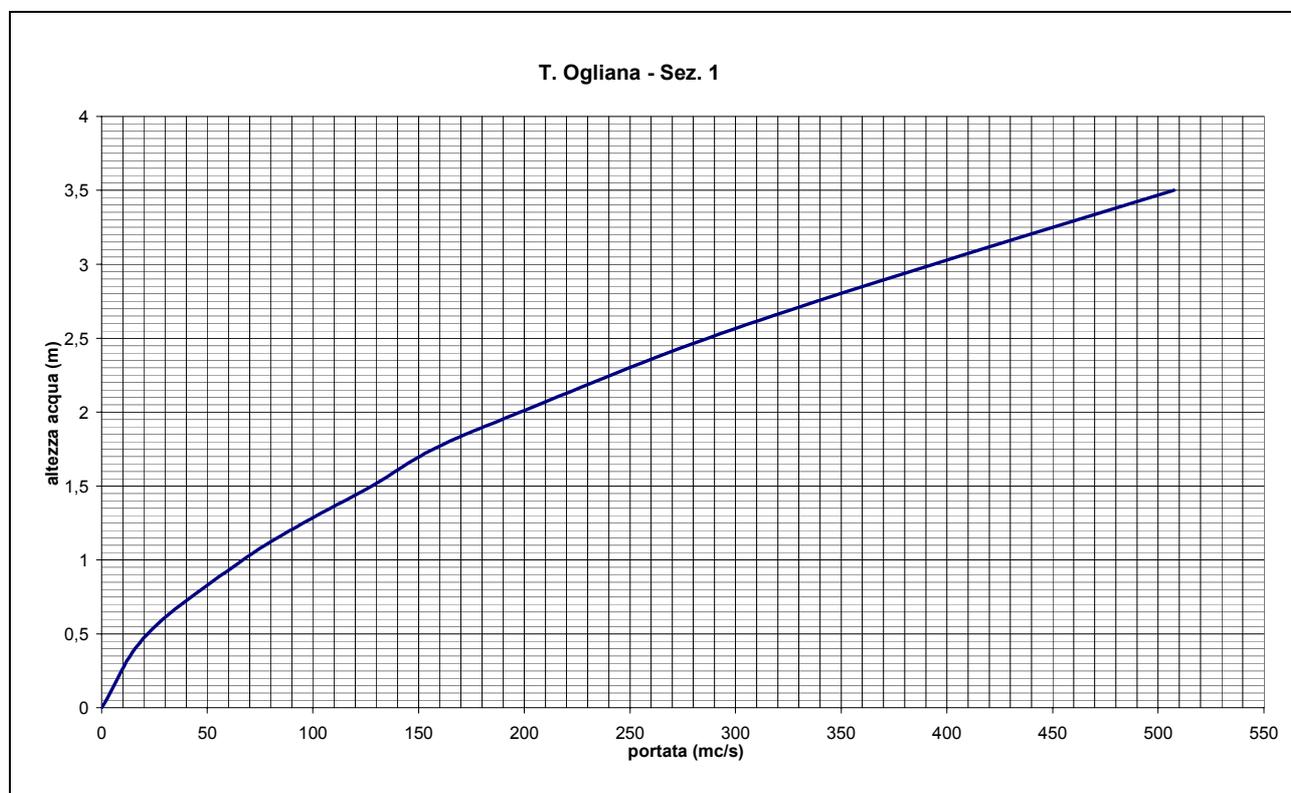


FIGURA 9 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 1 del T. Ogliana di Pozzolo

* Sezione 2

Pendenza alveo (i) = $1,8^\circ (\cong 0,032)$

Indice di scabrezza di Gauckler-Strickler (ks) = $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

I risultati ottenuti vengono riassunti nella seguente tabella e sono stati esplicitati nel grafico che segue, il quale rappresenta la "scala di deflusso" della sezione d'alveo in esame (figura 10).

Tr (anni)	Q (m ³ /s)	P (m)	A (m ²)	R (m)	χ (-)	V (m/s)	h (m)
20	281,6	29,20	52,84	1,81	22,08	5,31	2,35
100	360,2	30,24	62,15	2,06	22,55	5,78	2,70
200	393,6	30,65	65,95	2,15	22,72	5,96	2,84

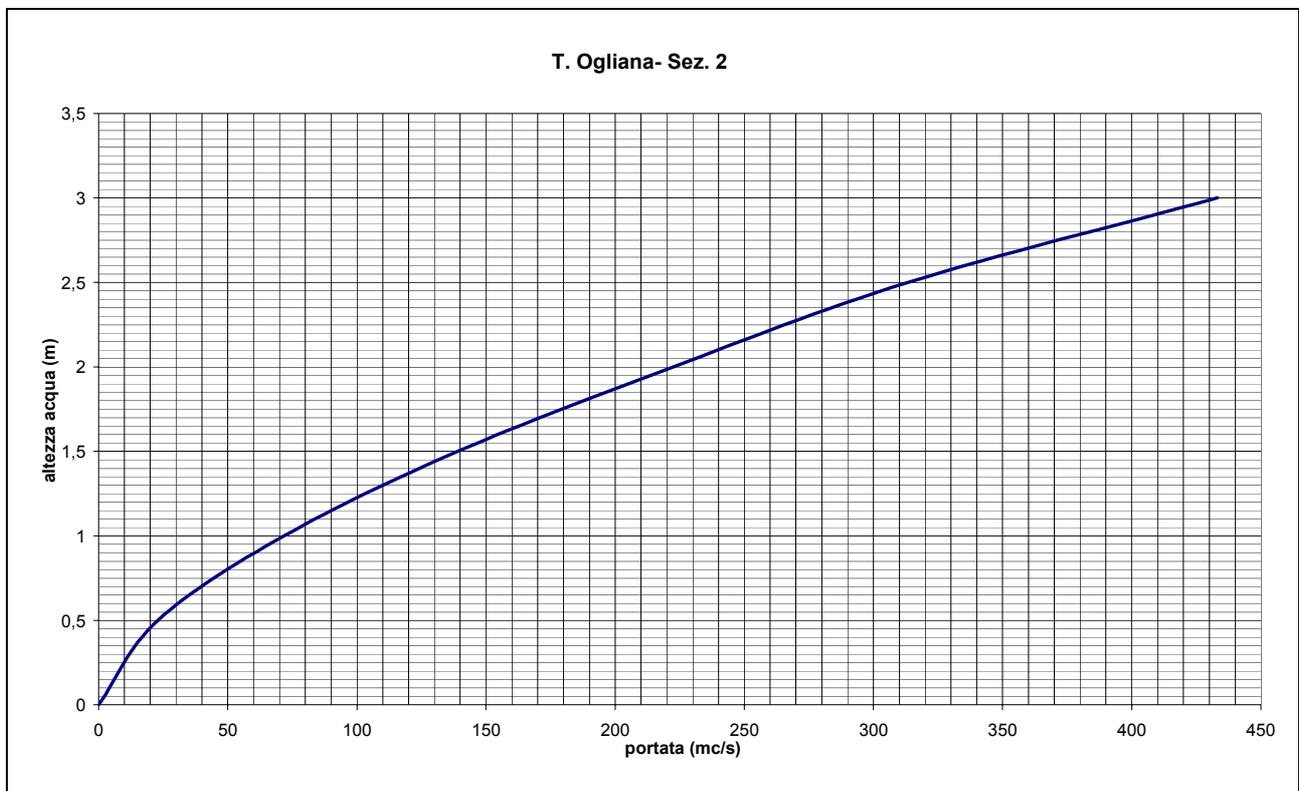


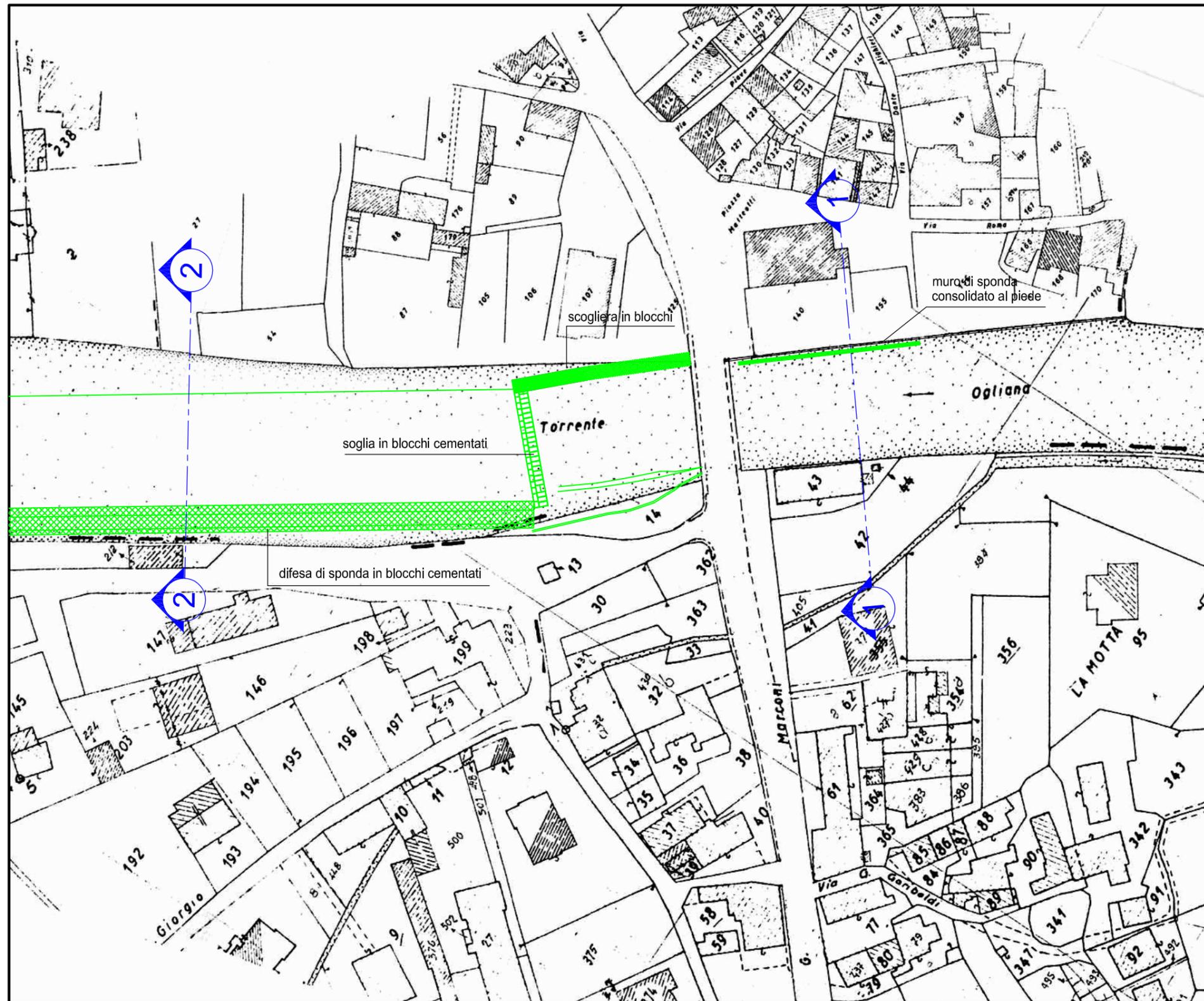
FIGURA 10 – Scala di deflusso delle portate relativa alla sezione 2 del T. Ogliaia di Pozzolo

L'analisi svolta evidenzia la capacità di smaltimento delle sezioni di deflusso considerate (ritenute rappresentative della tratta d'alveo che attraversa l'abitato di Beura) nei riguardi degli scenari di piena di riferimento (Tr 20, 100 e 200 anni).



FOTO 1-2 - Settore d'alveo regimato in apice di conoide, a monte del ponte della S.P.

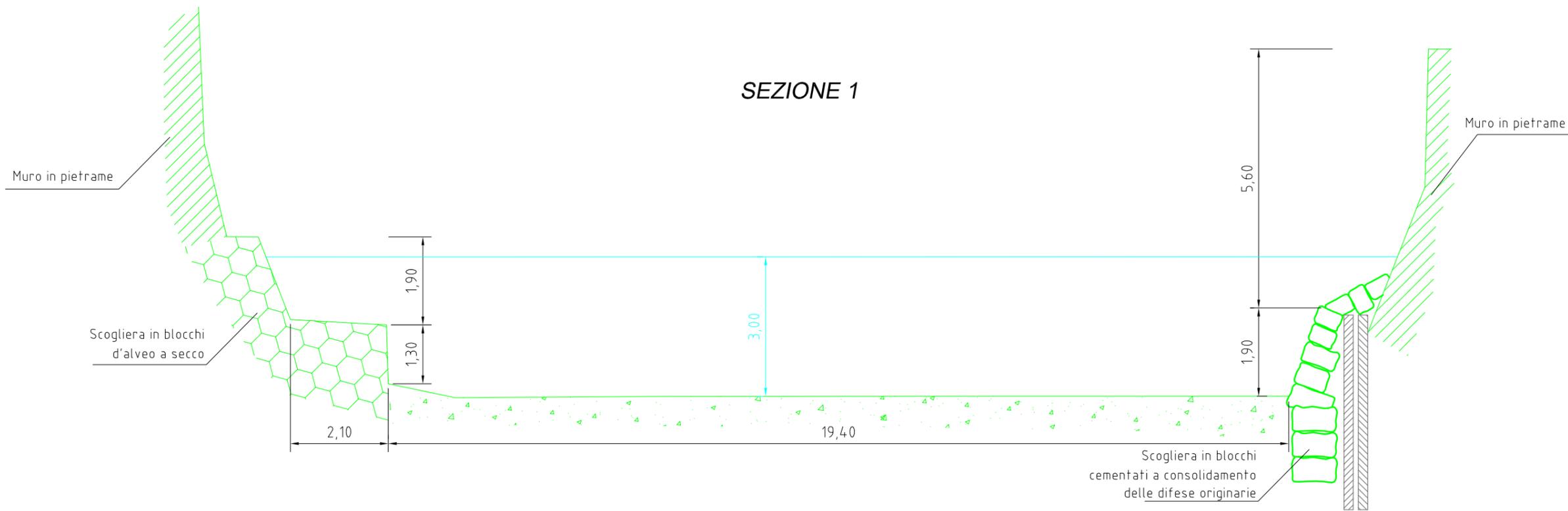
FOTO 3-4 - Tratta d'alveo posta a valle del ponte della S.P.



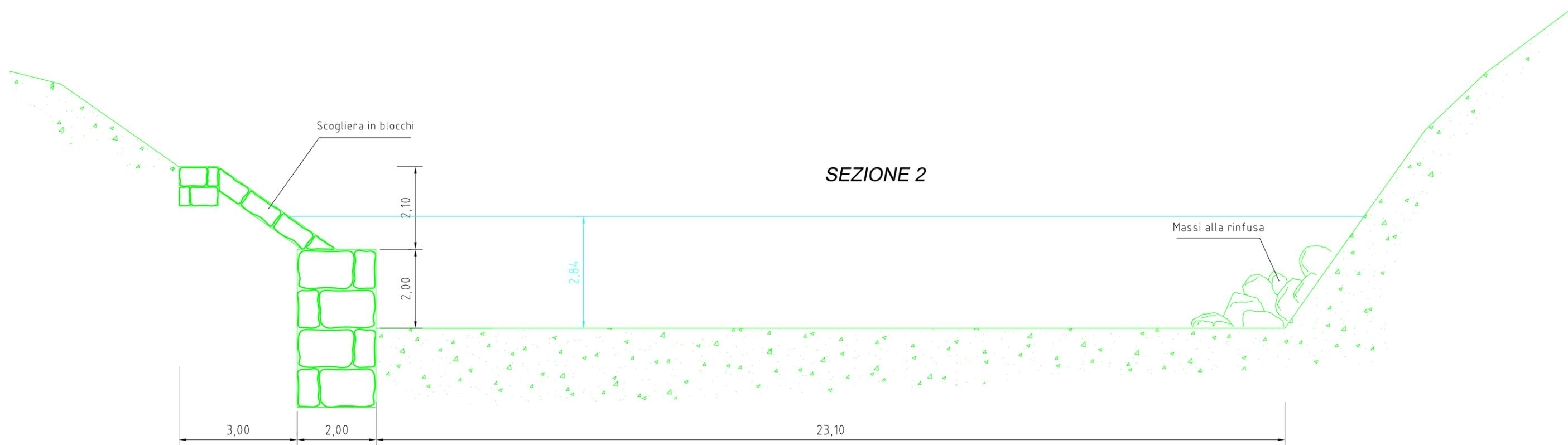
T. OGLIANA DI POZZOLO - PLANIMETRIA

scala 1:1.000

SEZIONE 1



SEZIONE 2



T. OGLIANA DI POZZOLO - SEZIONI TRASVERSALI
scala 1:100

— livello idrometrico Tr 200 anni (Q=393,6 mc/s)