Committente:

PROVINCIA DI SAVONA

Settore Gestione della Viabilità, Edilizia ed ambiente

Oggetto:

Evento alluvionale del 26 dicembre 2013
S.P.31 "Urbe - Pianpaludo - La Carta"
Lavori di consolidamento strutturale del ponte con risanamento e ricostruzione delle parti ammalorate nonchè delle fondazioni al km 5+834

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

SCALA: -

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	
E1PE144719A03	E	1	P	D	1447/19	A	03

Dati Progettisti / Consulenti

Ing. Geol. Luigi MARENCO
GEO engineering S.r.l.
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Alessandria n° 1242
Ordine Geologi Piemonte n° 435

Rev.	Redatto	Verificato	Validato	Data	Timbri e Firme
1	Ing. G. Toffoli	Ing. M. Tuberga	Ing. L. Marenco	02/2019	

Il Responsabile del procedimento:	FIRMA

Sede e Uffici: Corso Unione Sovietica n. 560 - 10135 Torino
tel. 0113913194 Fax 0113470903 e-mail: info@geoengineering.torino.it
Iscrizione Tribunale Torino: 2080/87 C.C.I.A.A. di Torino: n.698052
Cod. Fisc. n. P. IVA: 05271990011

N° 948 UNITER CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001

0 PREMESSA 1
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 2
1.1 Stato di fatto 4
2 GLI INTERVENTI IN PROGETTO 6
3 METODOLOGIA DI INDAGINE 7
3.1 Rilievi sul terreno 9
4 ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA 10
4.1 Morfologia 10
4.2 Fisiografia 10
4.3 Geologia 13
4.4 Uso del suolo 15
4.5 Dinamica di versante 16
5 IDROLOGIA 18
5.1 Dati idrologici 18
5.1.1 CPP da analisi statistica: piogge di breve durata e forte intensità 18
5.1.2 CPP da analisi statistica: celle PAI 19
6 METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA 22
6.1 Metodo razionale 22
6.1.1 Tempo di corrivazione 24
6.1.2 Coefficienti di deflusso 24
6.1.3 Altezze di pioggia 25
6.1.4 Portate stimate 25
7 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA 26
7.1 Compatibilità idraulica da normativa 26
7.1.1 PAI 26
7.1.2 NTC 2018 27
7.2 Portata di progetto 27
8 ANALISI IDRAULICHE 28
8.1 Geometria delle sezioni 28
8.2 Valori di scabrezza 30
8.3 Simulazione in moto permanente 30
9 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE 36
10 CONCLUSIONI 38
ALLEGATI 39
Risultati simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto 41
Profilo simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto 43
Sezioni simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto 45
Risultati simulazione TR = 200 anni – Stato di progetto 55
Profilo simulazione TR = 200 anni – Stato di progetto 57
Sezioni simulazione TR = 200 anni - Stato di progetto 59

0 PREMESSA

Il presente elaborato è redatto a corredo del progetto a livello definitivo inerente i "Lavori di consolidamento strutturale del ponte con risanamento e ricostruzione delle parti ammalorate nonché delle fondazioni sito al km 5+834 della S.P. n. 31 Urbe – Piampaludo – La Carta" in comune di Sassello (SV).
Il progetto in esame verte su interventi relativi al ripristino della sicurezza stradale in corrispondenza del manufatto di attraversamento del Rio della Conca (o della Traversa), posto a servizio della viabilità provinciale, soggetto attualmente ad un elevato stato di degrado sia dell'impalcato che delle spalle, sul quale, a seguito alle verifiche condotte, è stato imposto un limite al transito dei veicoli con peso maggiore di 10 t.

Nell'elaborato seguente è stato condotto uno studio di carattere idrologico ed idraulico al fine di verificare le soluzioni progettuali adottate in corrispondenza del settore di alveo interessato dagli interventi di ricostruzione del manufatto di attraversamento stradale.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il tratto di Rio della Conca oggetto di studio si sviluppa entro i limiti amministrativi di Sassello (SV), tra le località Veirera a ovest e Piampaludo a est.

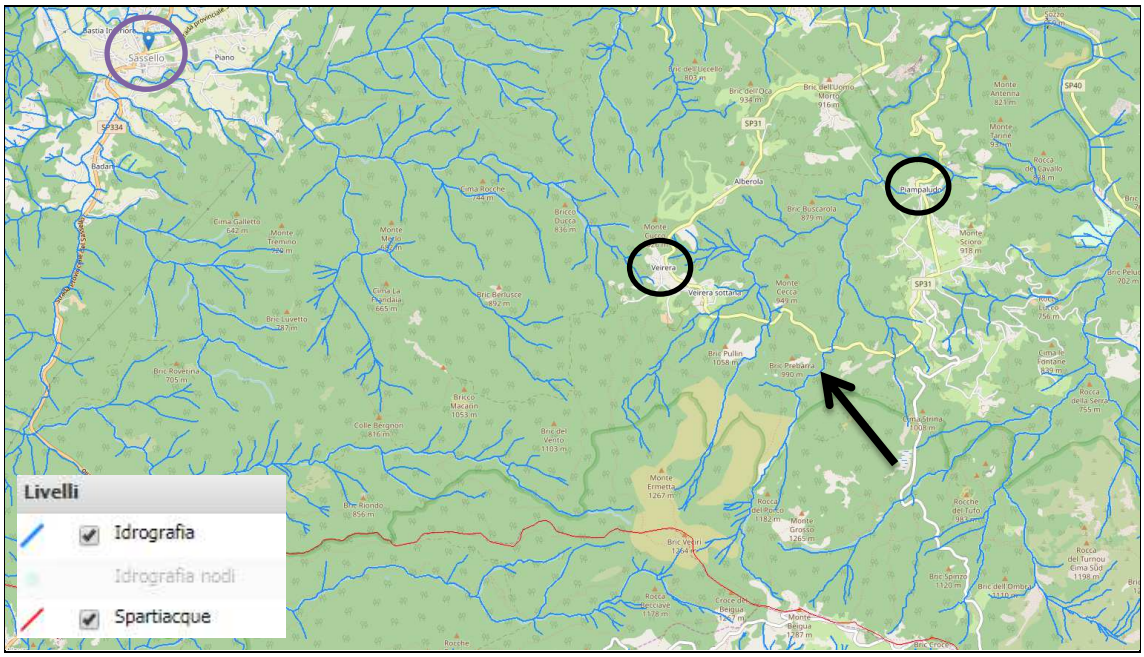


Figura 1: Inquadramento generale dell'asta del Rio della Conca (indicato con la freccia). In viola Sassello, in nero rispettivamente Veirera e Piampaludo (fonte: Regione Liguria - Visualizzatore tecnico – Sovrapposizione OpenStreetMap e Idrografia)

Il settore di interesse si colloca poco ad oriente dell'abitato di Veirera, località del comune di Sassello, a una quota di circa 874 m s.l.m.m.. Si tratta di un settore montano, estesamente boscato e interessato dalla viabilità provinciale distinta con il n. 31 e denominata "Urbe – Piampaludo – La Carta", di sviluppo complessivo di circa 12 km.

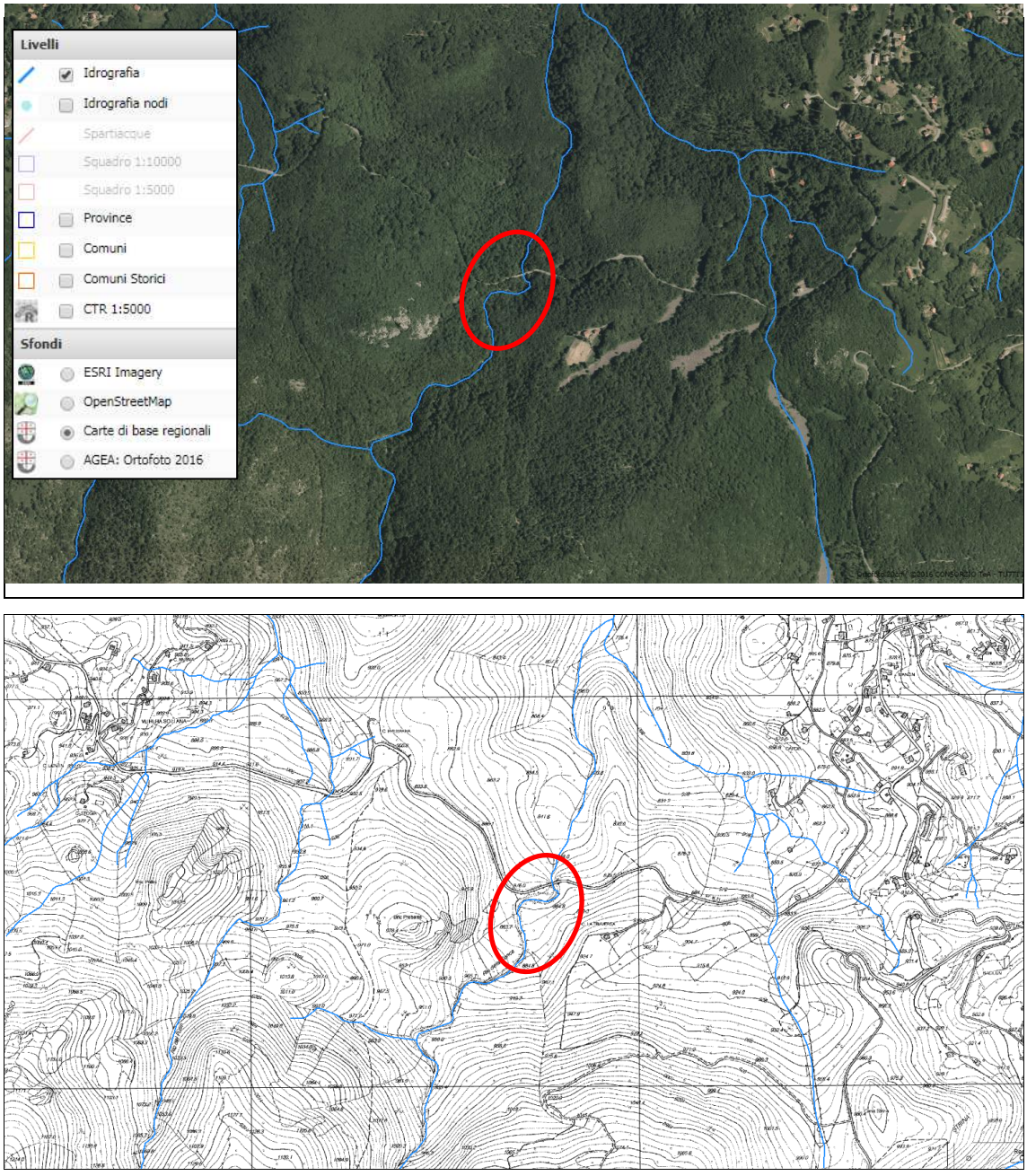


Figura 2: Inquadramento geografico del settore in studio su Ortofoto e CTR Regione Liguria (fonte: Regione Liguria - Visualizzatore tecnico – Sovrapposizione AGEA Ortofoto 2016 e Idrografia, Carte di base regionali e Idrografia)

La viabilità collega i comuni di Sassello, di Urbe e le frazioni montane poste alle pendici del monte Beigua, in alternativa alla S.P. n. 49 che si snoda a fondo valle. La carreggiata, decorrente in un ambito morfologico di tipo montano è inserita prevalentemente con sezione trasversale a mezza costa, associata ad una ampiezza della carreggiata inferiore ai 5 m e a raggi di curvatura modesti che, riducendo sensibilmente la distanza di visibilità per l'arresto, comportano di fatto velocità di

esercizio ridotte non superiori ai 50 km/h. In corrispondenza della progressiva km 5+834 l'asse viario interferisce con l'alveo del Rio della Conca (o della Traversa) superando la vallecola per mezzo di un ponte ad arco in cemento armato.

Il corso d'acqua è ricompreso nell'elenco della acque pubbliche della provincia di Savona, come sotto riportato.

DPR 30/06/1954 - ELENCO DELLE ACQUE PUBBLICHE DELLA PROVINCIA DI SAVONA INTEGRATO DALLE ESCLUSIONI DAL VINCOLO PAESISTICO

N. ord.	Denominazione (da valle verso monte)	Foce o sbocco	Comuni (toccati od attraversati)	Limiti entro i quali si ritiene pubblico il corso d'acqua
420	Rio della Conca o della Traversa	Torrente Orbarina	Sassello	Dallo sbocco alle sorgenti

1.1 Stato di fatto

L'infrastruttura di attraversamento presente lungo la SP 31 si configura come ponte ad arco a via superiore di tipo Maillart in cemento armato gettato interamente in opera, costituito da un arco sottile con spessore di 40 cm in chiave e di 50 cm alle imposte; da un impalcato a tre travi più rigido rispetto all'arco e da setti sottili a sezione piena di collegamento tra le strutture con spessore di 27 cm. Prima e dopo l'arcata principale, di luce pari a 27 m, sono presenti due campate di approccio con luce di 4.70 m poggianti su due spalle di contenimento del corpo stradale.



Figura 3: Vista del ponte dalla sponda sinistra dell'alveo e vista dalla sponda destra della spalla

La sede stradale ha una larghezza di 4.50 – 5.00 m mentre l'impalcato ha una larghezza di 4.90 m.



Figura 4: La SP 31 nel tratto interferente con il ponte - vista direzione Piampaludo

2 GLI INTERVENTI IN PROGETTO

Gli interventi in progetto sono stati suddivisi in tre macro categorie:

- opere strutturali di rifacimento del ponte;
- opere stradali;
- opere di difesa idraulica.

Il ponte sarà ricostruito 11 m a monte (distanza asse-asse) del ponte esistente ed ammalorato e sarà realizzato in struttura mista acciaio calcestruzzo con luce netta tra gli appoggi di 30 m e una lunghezza totale di 31,80 m. Le due travi in acciaio corten, poste a interasse pari a 3.50 m, hanno altezza totale di 1.50 m.

La struttura portante orizzontale, a campata unica, andrà a trasmettere i carichi propri e accidentali a due spalle in cemento armato composte da una platea di fondazione, un muro frontale, muri d'ala e un paraghiaia, entrambe poggianti su micropali.

Al nuovo ponte ci si raccorderà mediante ricostruzione del rilevato stradale su terre rinforzate, soluzione progettuale adottata al fine di minimizzare gli ingombri trasversali del corpo stradale. A partire dal lato di approccio Veirera (lato est) il nuovo manufatto stradale si staccherà dall'esistente sul lato meridionale spostando gradualmente l'asse verso la sponda sinistra del Rio della Conca, a raccordarsi in rettilineo al nuovo attraversamento, disassato di circa 11 m rispetto all'attraversamento in dismissione. Proseguendo nella stessa direzione il tracciato andrà a reimmettersi sulla carreggiata esistente. In corrispondenza dei tratti di transizione, di sviluppo pari a 25 m sul lato Veirera e di circa 15 m sul lato Piampaludo, è previsto l'immorsamento tra rilevato esistente e nuovo rilevato mediante gradonatura del manufatto esistente. Le lavorazioni relative al piano stradale si completeranno con la messa in opera di barriere metalliche di protezione e realizzazione della segnaletica verticale ed orizzontale.

A stabilizzare il deflusso della corrente all'interno dell'alveo e a difesa delle opere fondazionali del nuovo attraversamento stradale, mitigando un fenomeno erosivo in atto lungo la sponda destra conseguente a una brusca curvatura dell'alveo ordinario è previsto l'inserimento di due tratti di difesa antierosiva del tipo a scogliera in massi di pietra naturale giustapposti e mutuamente incastrati tra di loro, intasati in fondazione con calcestruzzo. L'opera avrà altezza mediamente pari a 2.00 m e paramento inclinato 2 su 3 a favorire la rivegetazione della sponda.

Per tutti i dettagli circa le opere si rimanda alle relazioni specialistiche ed agli elaborati grafici facenti parte del progetto definitivo.

3 METODOLOGIA DI INDAGINE

Relativamente alla metodologia di definizione delle portate attese occorre osservare come una cospicua parte di territorio delle province di Genova e Savona e una piccola parte della provincia di Imperia, per un totale di circa 1.556 chilometri quadrati, ricade nell'ambito del bacino del fiume Po e risulta quindi soggetta alla pianificazione redatta dall'Autorità di Bacino di rilievo nazionale del fiume Po. Il comune di Sassello rientra in tale ambito e pertanto agli studi idrologici ed idraulici riferiti a tali aree si applicano le norme derivanti dagli strumenti di pianificazione stralcio: *Piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF*) e *Piano stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino del fiume Po (PAI)* relativi al bacino del Tanaro, sottobacino dell'Orba, come rappresentato nell'immagine che segue.

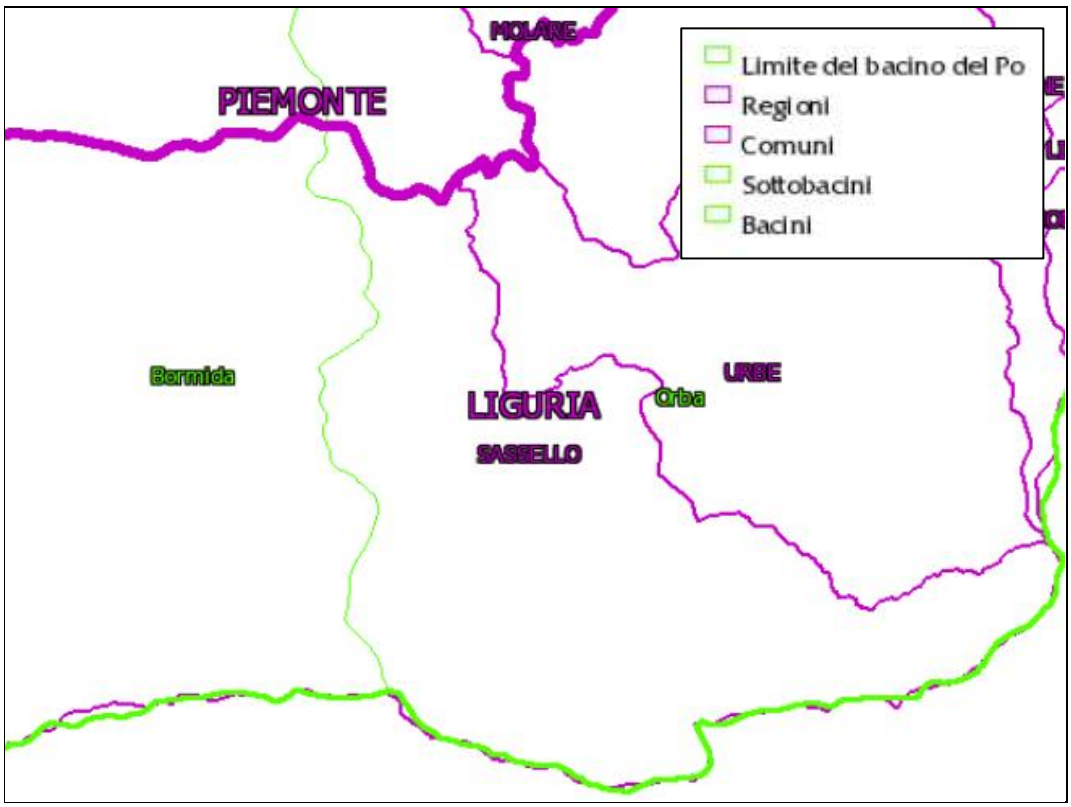


Figura 5: Il settore in studio (fonte: Atlante dei Piani AdBPO webGIS)

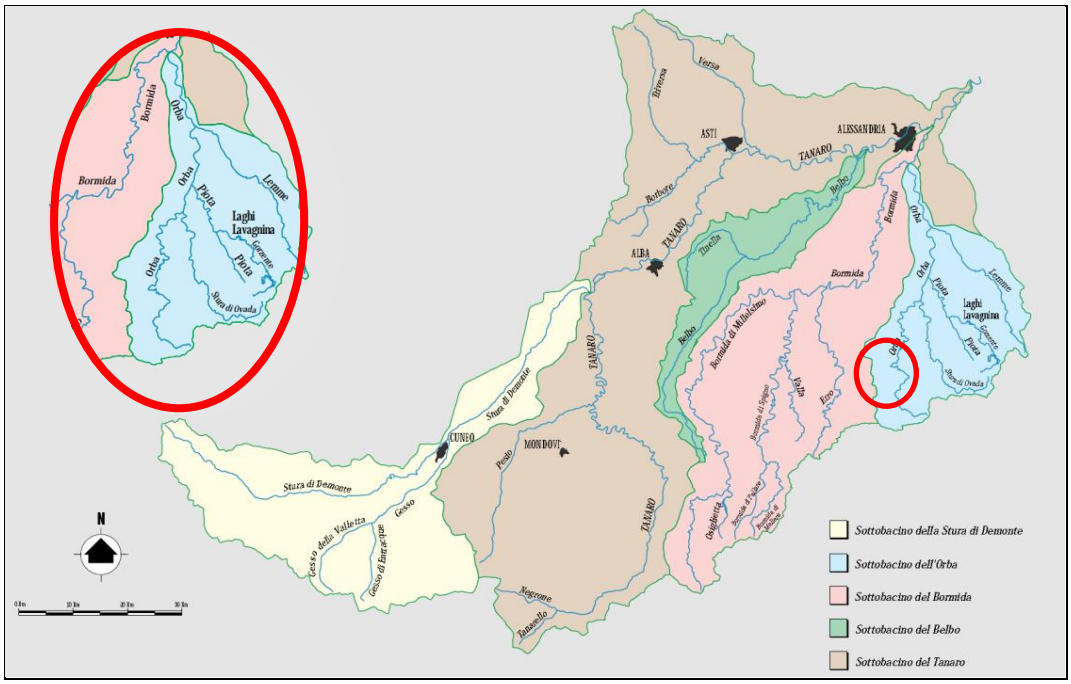


Figura 6: Bacino del Fiume Tanaro – fonte: Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del Tanaro – In rosso il dettaglio del sottobacino del Torrente Orba (fonte: Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi Bacino del Tanaro – AdBPo)

Inoltre le norme di attuazione del PAI prevedono l'obbligo a carico dei Comuni, in sede di formazione e adozione degli strumenti urbanistici generali o di loro varianti, di conformare le loro previsioni alle delimitazioni e relative disposizioni PAI. Questo mediante l'elaborazione di una verifica di compatibilità idraulica e idrogeologica tra le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti e le condizioni di dissesto, presente o potenziale, individuato nel Piano stesso, anche avvalendosi di analisi di maggior dettaglio disponibili presso altri enti.

Il comune di Sassello risulta adeguato al PAI come evidenziato dal Geoportale della Liguria nell'immagine sotto riportata.

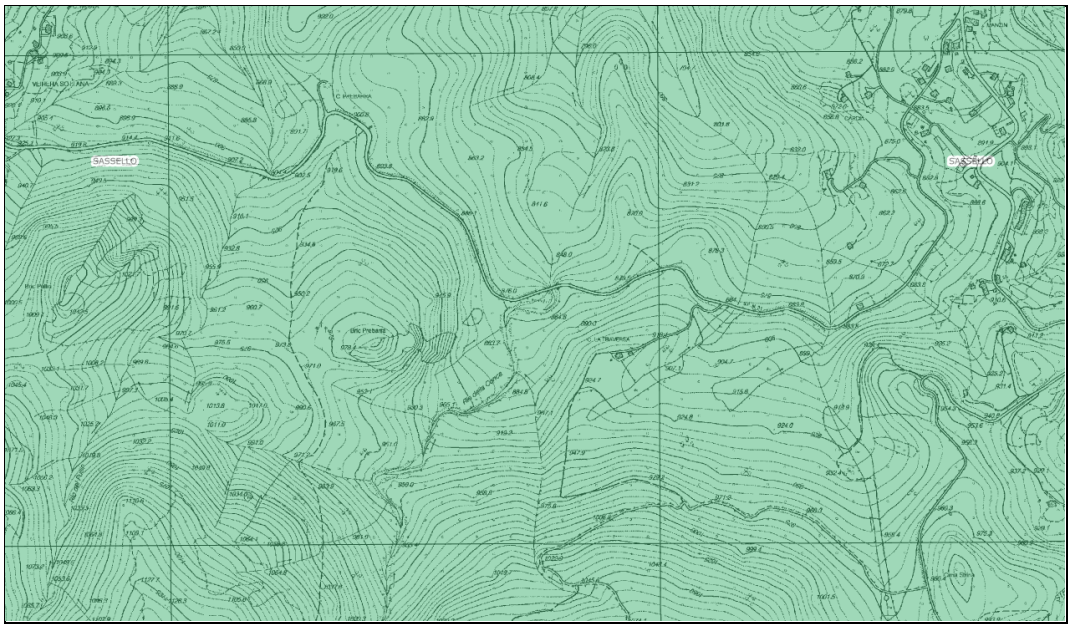


Figura 7: PAI Piano Assetto Idrogeologico del F. Po - Dissesti e Vincoli – Situazione normativa vigente a livello comunale. In verde il comune di Sassello, nel settore su cui si sviluppa l'intervento in progetto, il cui PRG è adeguato secondo le norme PAI (fonte: Geoportale Regione Liguria)

Lo studio, nei suoi aspetti generali, ha pertanto previsto un'indagine idrologica, sostanzialmente riferita alle informazioni desumibili dal *Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del Tanaro* (compreso all'interno del Piano di Assetto Idrogeologico - PAI), finalizzata alla definizione di una portata di progetto con tempo di ritorno duecentennale necessaria per le verifiche idrauliche da condurre sul bacino delimitato a monte del ponte.

Per quanto concerne l'adozione della cartografia necessaria agli opportuni inquadramenti territoriali di rappresentazione, ci si è avvalsi delle Carte Tecniche Regionali e di ulteriori basi messe a disposizione dalla Regione Liguria.

Nei paragrafi che seguono sono esposti la metodologia di lavoro adottata e i risultati a cui si è pervenuti.

3.1 Rilievi sul terreno

Per le verifiche di tipo idraulico e per la verifica degli interventi di progetto ci si è basati sui rilievi topografici di dettaglio rappresentativi dello stato attuale dei luoghi e delle strutture ivi esistenti.

4 ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

4.1 Morfologia

Morfologicamente ci si colloca a nord dello spartiacque (nella figura sopra in rosso) che separa i bacini idrografici Tirreno (versante ligure) e Padano (versante appenninico).
Nel dettaglio il settore in studio si colloca in corrispondenza del versante idrografico sinistro della valle del T. Orba di cui il Rio della Conca, tributario di destra del T. Orbarina, costituisce un ramo di testata traendo le sue origini dal versante settentrionale del M. Beigua (1286 m s.l.m.m.).

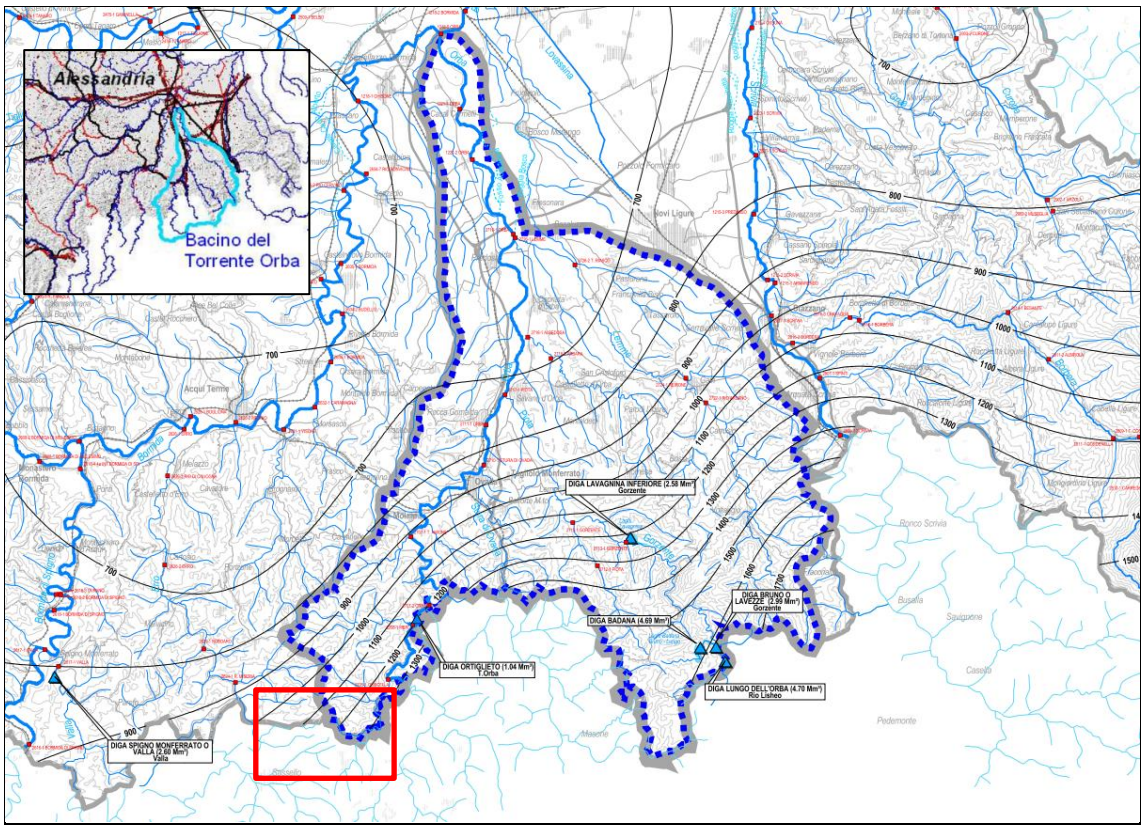


Figura 8: Sottobacino del T. Orba – In rosso il comune di Sassello e l'area fecante parte della Regione Liguria (fonte: P.T.A. Regione Piemonte 2007 - Area idrografica AI 28 - Orba)

4.2 Fisiografia

Il bacino individuato è interamente contenuto all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sassello (SV) e la sua estensione è esigua e pari a 1,95 km^2.

Esso si sviluppa con direzione prevalente SE-NW e la sua sezione di chiusura è individuata in corrispondenza dell'attraversamento esistente sulla SP 31 in corrispondenza dell'alveo del Rio della Conca.

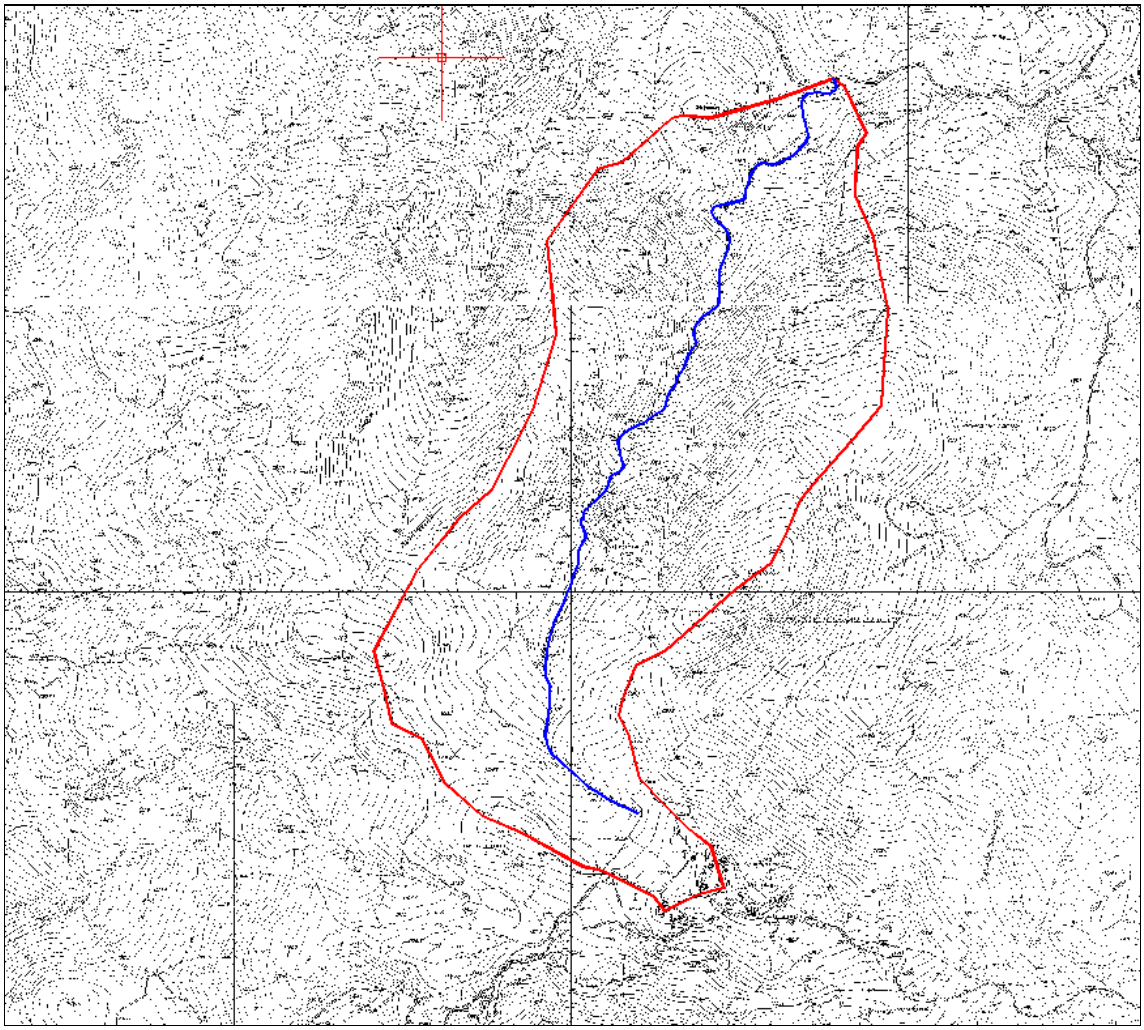


Figura 9: Delimitazione del bacino idrografico (Carta Tecnica Regionale 1:5.000 – sez 212110 e 212150)

La quota massima del bacino è pari a 1276,20 m s.l.m. mentre quella minima è raggiunta in corrispondenza della sezione di chiusura ed è pari a circa 855 m s.l.m..

Noti l'estensione areale, le quote massima e minima del bacino e l'estensione dell'impluvio, si è dato corso all'elaborazione della curva ipsografica il cui dettaglio viene riportato in Tabella 1.

L'altitudine media del bacino è stata stimata tramite la seguente correlazione:

$$h_{media} = \frac{\Sigma h_i \cdot S_i}{S_{tot}}$$

dove:

h_i = quota media della superficie i-esima posta tra due curve di livello

S_i = superficie i-esima compresa tra due curve di livello

S_{tot} = superficie del bacino complessiva

Intervallo tra le isoipse	*Lunghezza parziale*		*Altezza*	*Lunghezza progressiva*		*Area parziale*		*Area cumulata*	
	m	*%*	*m s.l.m*	*m*	*%*	*km²*	*%*	*km²*	*%*
			1300					0.000	
>1250	99.00	3.16	1250	99.00	3.16	0.081	4.16	0.081	4.16
1250-1200	429.90	13.74	1200	528.90	16.90	0.445	22.80	0.526	26.96
1200-1150	592.14	18.92	1150	1121.05	35.83	0.460	23.60	0.987	50.56
1150-1100	466.82	14.92	1100	1587.86	50.75	0.278	14.26	1.265	64.82
1100-1050	275.79	8.81	1050	1863.65	59.56	0.210	10.77	1.475	75.59
1050-1000	216.78	6.93	1000	2080.44	66.49	0.146	7.48	1.621	83.07
1000-950	258.23	8.25	950	2338.67	74.74	0.175	8.96	1.796	92.03
950-900	378.28	12.09	900	2716.94	86.83	0.107	5.47	1.902	97.50
<900	412.01	13.17	850	3128.95	100.00	0.049	2.50	1.951	100.00
Totale	3128.95	100.00				1.951	100.00		

Tabella 1: Curva ipsografica del bacino in esame

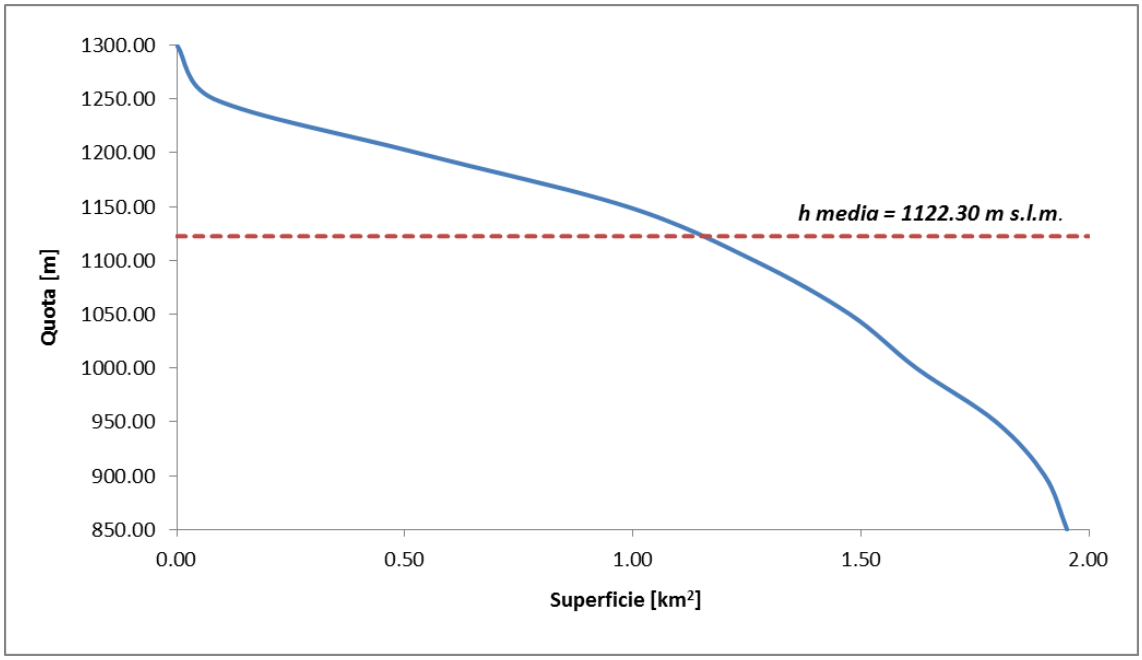


Figura 10: Curva ipsografica del bacino in esame

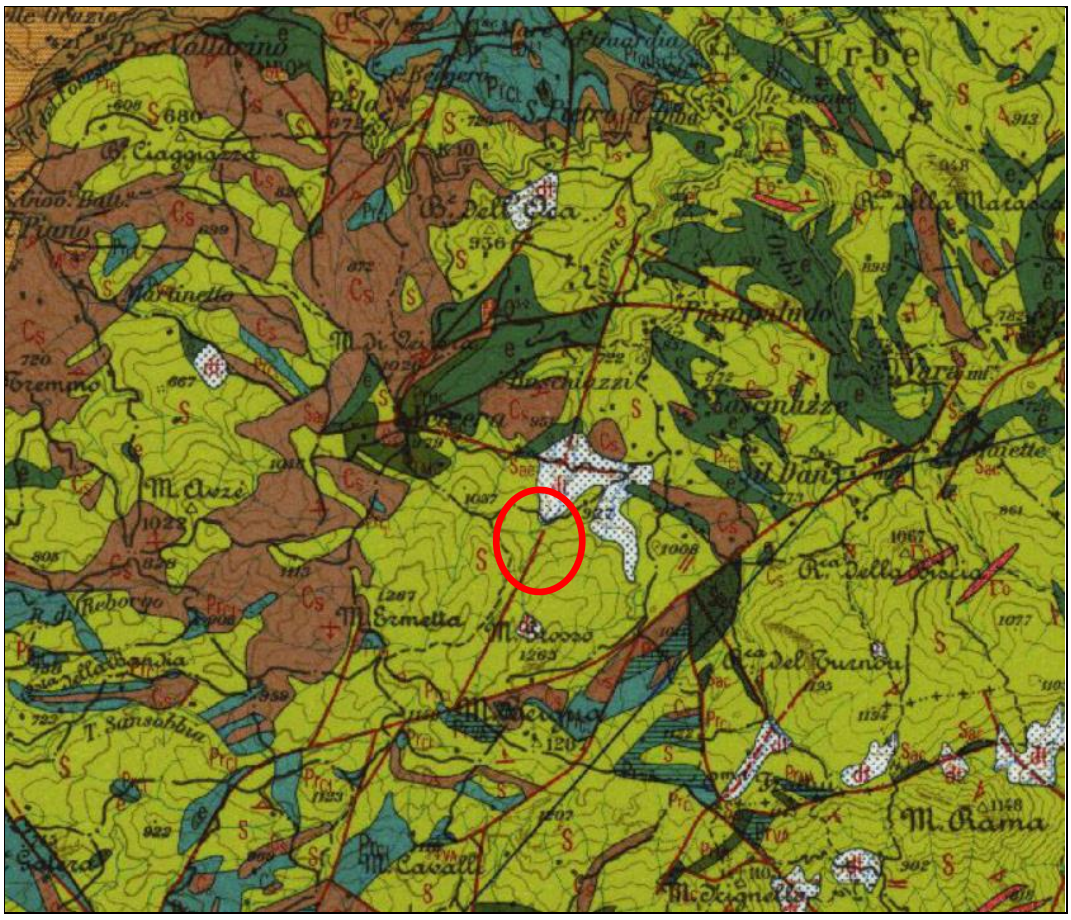
I parametri fisici dei bacini idrografici in esame sono riportati di seguito nella Tabella 2.

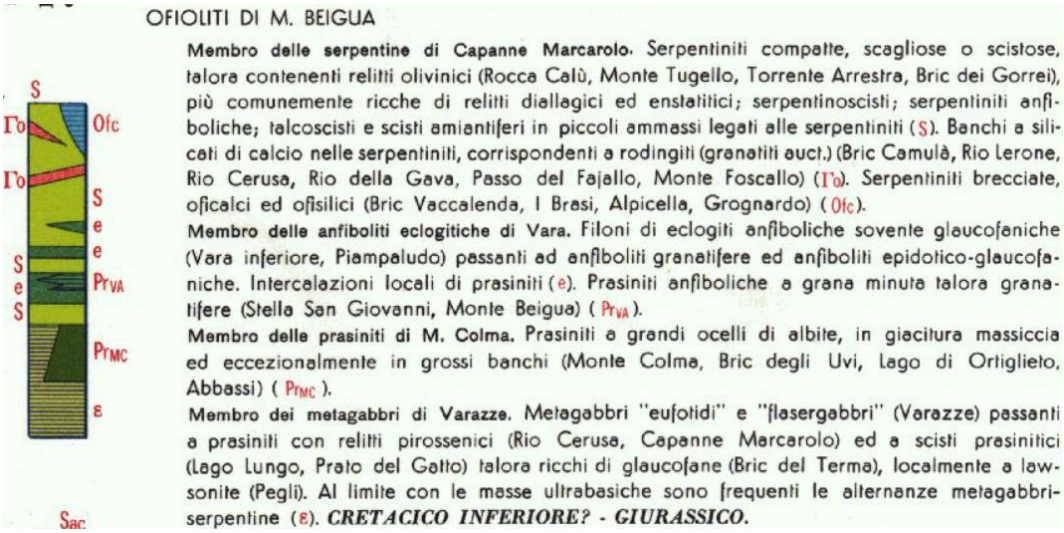
Parametri del bacino			
Superficie bacino	S	1.95	km^2
Altitudine massima	H_{max}	1276.2	m s.l.m.
Altitudine media	H_m	1122.3	m s.l.m.
Quota sez. di chiusura	H_0	855.0	m s.l.m.
Lunghezza asta principale	L_{ap}	3.13	km
Pendenza media asta	i_m	12.7	%

Tabella 2: Parametri fisici del bacino idrografico

4.3 Geologia

Come indicato all'interno dell'elaborato "A02 - Relazione Geologica e Geotecnica", il bacino idrografico si trova all'interno del foglio 82 (Genova) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.00.





OFIOLITI DI M. BEIGUA

Membro delle serpentine di Capanne Marcarolo. Serpentiniti compatte, scagliose o scistose, talora contenenti relitti olivinici (Rocca Calù, Monte Tugello, Torrente Arrestra, Bric dei Gorrei), più comunemente ricche di relitti diallagici ed enstatitici; serpentinoscisti; serpentiniti anfiboliche; talcoscisti e scisti amiantiferi in piccoli ammassi legati alle serpentiniti (S). Banchi a silicati di calcio nelle serpentiniti, corrispondenti a rodingiti (granatiti auct.) (Bric Camulà, Rio Lerone, Rio Cerusa, Rio della Gava, Passo del Fajallo, Monte Foscallo) (Γo). Serpentiniti brecciate, oficalci ed ofisilici (Bric Vaccalenda, I Brasi, Alpicella, Grognardo) (Ofc).

Membro delle anfiboliti eclogitiche di Vara. Filoni di eclogiti anfiboliche sovente glaucofaniche (Vara inferiore, Piampaludo) passanti ad anfiboliti granatifere ed anfiboliti epidotico-glaucofaniche. Intercalazioni locali di prasiniti (e). Prasiniti anfiboliche a grana minuta talora granatifere (Stella San Giovanni, Monte Beigua) (PrVA).

Membro delle prasiniti di M. Colma. Prasiniti a grandi ocelli di albite, in giacitura massiccia ed eccezionalmente in grossi banchi (Monte Colma, Bric degli Uvi, Lago di Ortiglieto, Abbassi) (PrMC).

Membro dei metagabbri di Varazze. Metagabbri "eufotidi" e "flasergabbri" (Varazze) passanti a prasiniti con relitti pirossenici (Rio Cerusa, Capanne Marcarolo) ed a scisti prasinitici (Lago Lungo, Prato del Gatto) talora ricchi di glaucofane (Bric del Terma), localmente a lawsonite (Pegli). Al limite con le masse ultrabasiche sono frequenti le alternanze metagabbri-serpentine (ε). ***CRETACICO INFERIORE? - GIURASSICO.***

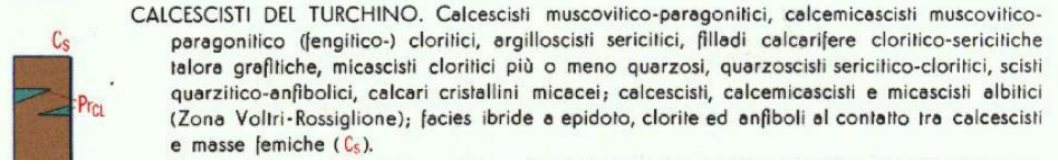


Figura 11: Estratto fuori scala del Foglio n. 82 "Genova" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Con cerchio rosso si evidenzia l'areale di interesse
LEGENDA SINTETICA: CS) Calcescisti del Turchino; S) Ofioliti di M. Beigua (Membro delle Serpentine di Capanne Marcarolo)

In corrispondenza del manufatto di attraversamento, la cartografia geologica ufficiale riporta la presenza dei seguenti litotipi:

- Anfiboliti eclogitiche del gruppo di Vara
- Serpentiniti, pertinenti al Gruppo dei Calcescisti con Pietre Verdi di Voltri
- Calcescisti del Turchino

Si tratta nel complesso di rocce con scarso grado di permeabilità secondaria, per fratturazione.

Nella cartografia geologica della Regione Liguria, consultabile sul Geoportale regionale, la zona in esame ricade nel Foglio 212 Spigno Monferrato - sc. 1:50.000 della Carta Geologica Regionale (CGR) ed è caratterizzata dalla presenza di litotipi afferenti ai "Serpentinoscisti antigoritici del Bric del Dente".

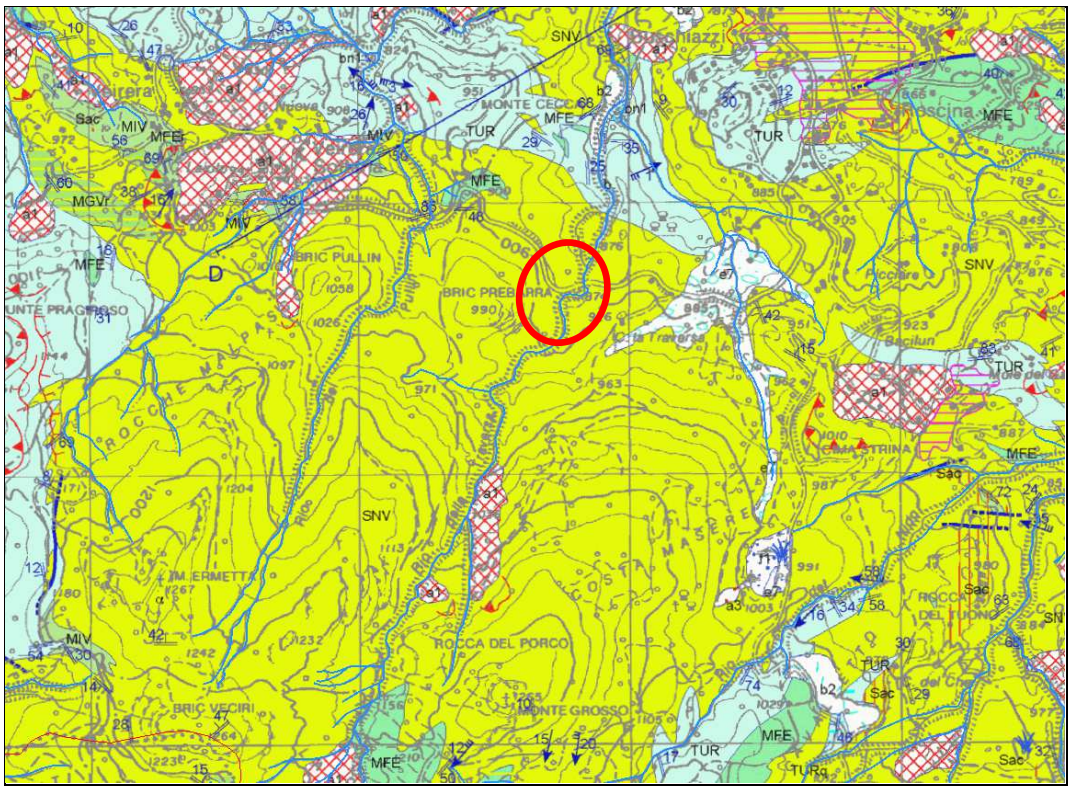




Figura 12: Carta Geologica in scala 1:50.000 – Foglio 212 Spigno Monferrato (fonte: Regione Liguria - Visualizzatore tecnico)

A seguito dei rilevi condotti in sito circa le unità litologiche affioranti, risulta in sintesi:

- in corrispondenza dell'immorsamento della spalla in sponda idrografica destra, la presenza di affioramenti diffusi del substrato metamorfico costituito da serpentiniti da massicce a scistose, con intercalazioni di talcoscisti fortemente argillificati, avvolgenti talora "boudin" di relitti metrici del protolite ultra-basico;
- in corrispondenza dell'immorsamento della spalla in sponda idrografica sinistra, l'assenza di affioramenti rocciosi, sostituiti dalla presenza di depositi eterogenei di origine detritico-torrentizia costituiti da grandi blocchi anche pluri-metrici angolati in matrice ghiaioso-sabbiosa.

Negli affioramenti a monte del ponte sono particolarmente evidenti sistemi di frattura dell'ammasso, a persistenza pluri-metrica, con giacitura 60°≥ 85°, sottolineati da fasce talco-argillose in forte contrasto morfologico negativo rispetto alla roccia incassante. Trattandosi di un ammasso fortemente disomogeneo sia in senso planimetrico che altimetrico le opere fondazionali sono state previste di tipo indiretto mediante utilizzo di micropali.

4.4 Uso del suolo

Per un'analisi relativa all'uso del suolo del bacino delimitato nel presente studio, si è proceduto alla consultazione della carta dell'*Uso del Suolo – ed 2018* in scala 1:10.000 messa a disposizione dalla Regione Liguria all'interno del Geoportale.
La maggior parte del bacino ha una copertura di suolo di tipo boscato, caratterizzato dalla presenza di faggi e castagni, come riportato nell'immagine seguente.

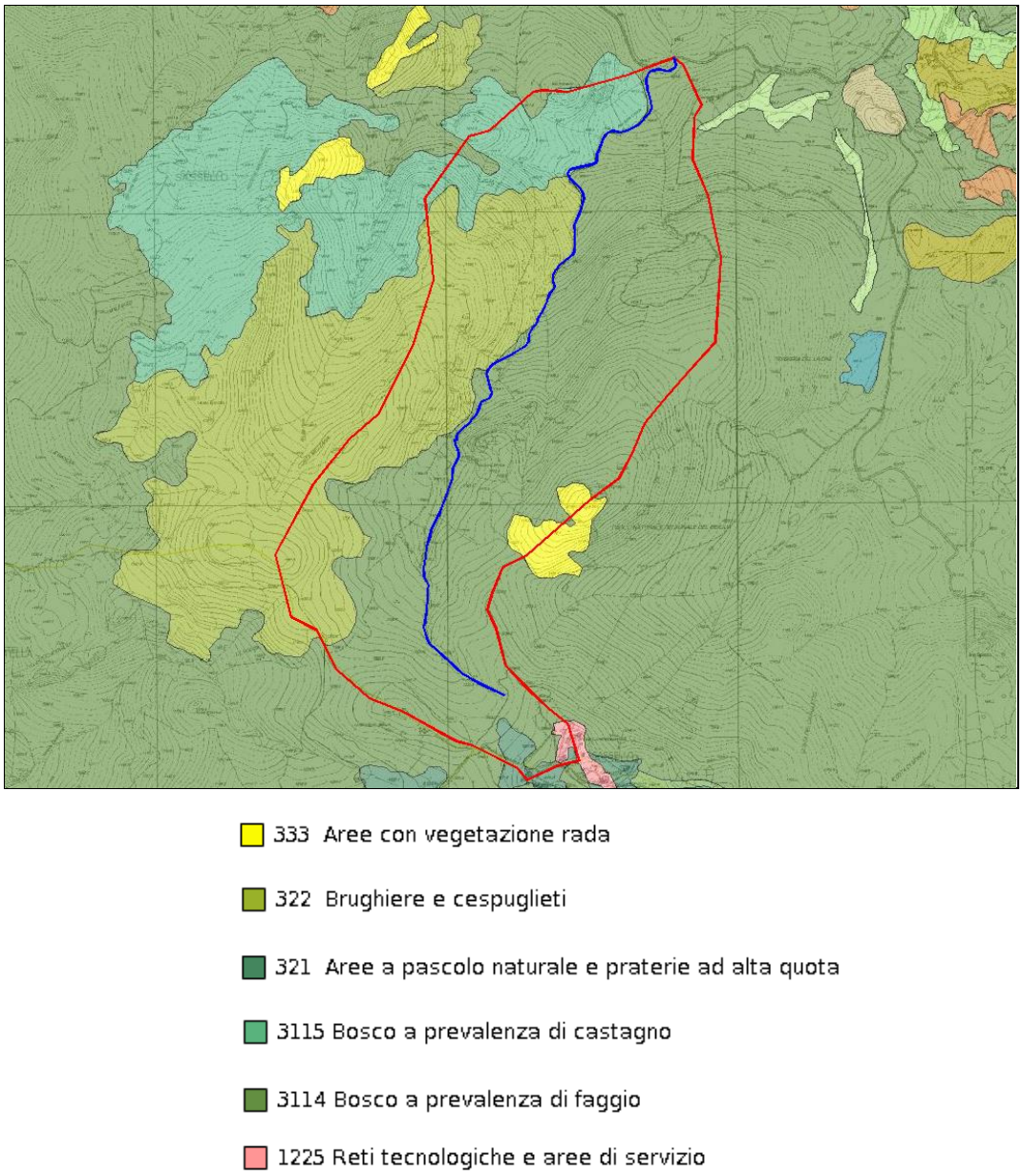


Figura 13: Sovrapposizione bacino delimitato e Carta Uso del Suolo sc. 1:10000 - ed. 2018 del settore in analisi e relativa legenda (fonte: Regione Liguria - Visualizzatore tecnico)

4.5 Dinamica di versante

Per quanto concerne le dinamiche di versante del settore in studio, si è provveduto a consultare il documento dell'Autorità di Bacino del Po facente parte del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico vigente "*Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi - Bacino del Tanaro*".

In esso è descritto il bacino del Tanaro e i relativi sottobacini dal punto di vista fisico, idrografico, geomorfologico, litologico, idrologico e idraulico. In tale documento

vengono individuati dei dissesti sui versanti del bacino del Tanaro fino al confine con la Liguria, generalmente riconducibili a frane con meccanismo evolutivo complesso e frane per scorrimento traslazionale.

La consultazione della cartografia del PAI lungo l'area di intervento non riporta problematiche legate alla dinamica di versante, come riportato nella figura che segue.

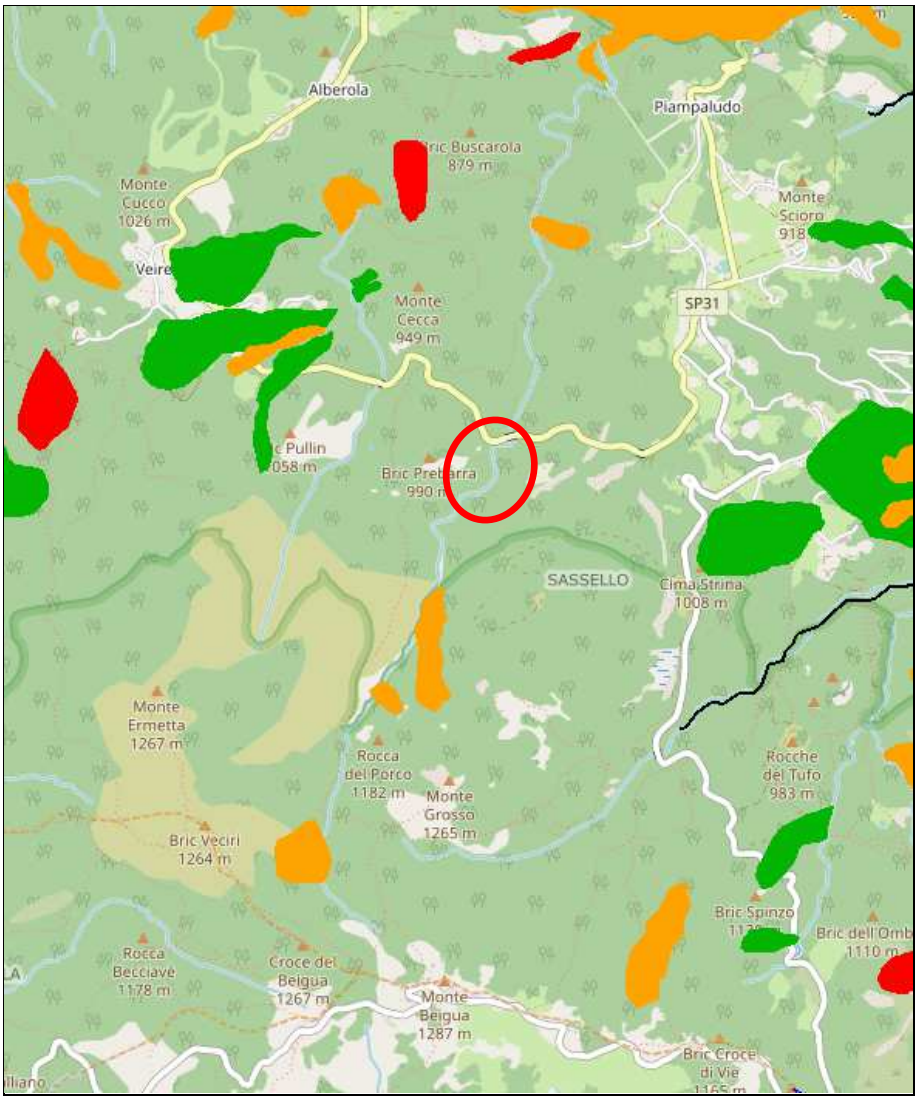


Figura 14: PAI Piano Assetto Idrogeologico del F. Po - Dissesti e Vincoli del settore in studio (fonte: Ambiente in Liguria – Interfaccia cartografica)

5 IDROLOGIA

Il presente capitolo riassume le metodologie, i contenuti ed i risultati dello studio idrologico finalizzato alla determinazione della portate sul bacino oggetto di analisi.
Obiettivo dello studio è stato quello di:

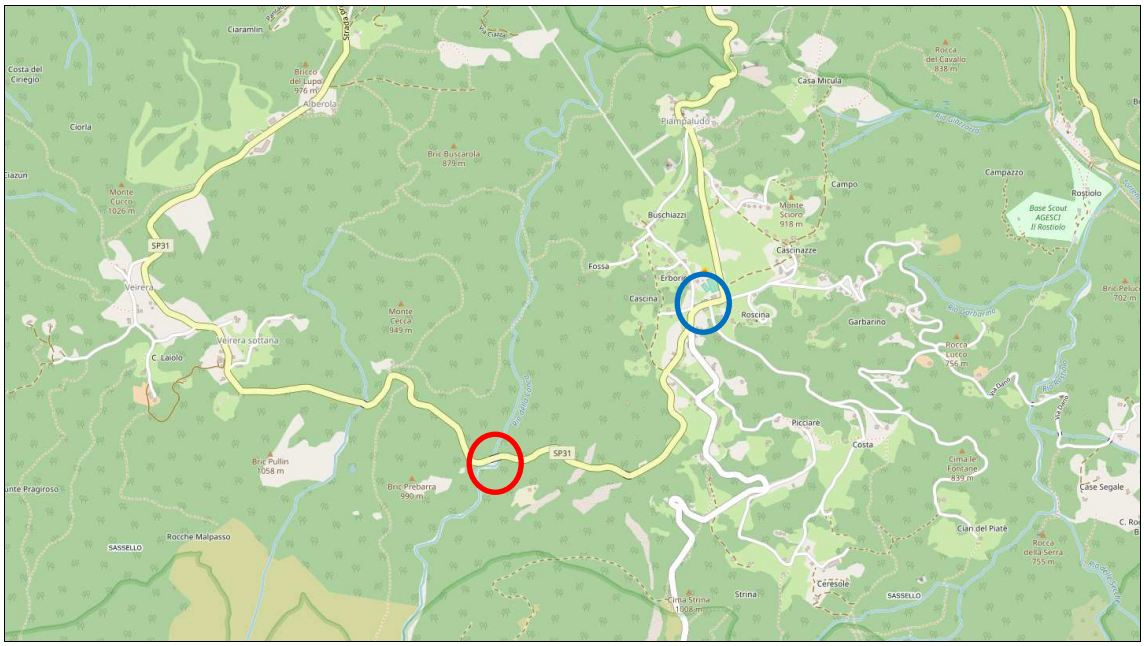
- fornire l'inquadramento idrologico generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici disponibili, delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo;
- analizzare l'effetto dei deflussi delle piene di riferimento nell'ambito del territorio.

5.1 Dati idrologici

Il bacino delimitato oggetto della presente trattazione è parte del bacino dell'Orba, facente a sua volta parte del più ampio Bacino del Tanaro, come si evince dalle trattazioni del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI).
Al fine di reperire gli elementi necessari per la valutazione della portata con tempo di ritorno duecentennale necessaria alla verifica di compatibilità idraulica delle opere, si è proceduto alla valutazione ed all'analisi della piogge intense nell'area del ponte oggetto di intervento.

5.1.1 CPP da analisi statistica: piogge di breve durata e forte intensità

Uno dei metodi per la determinazione delle CPP (curve di possibilità pluviometrica) è di natura statistica ed utilizza come informazione idrologica di base i massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata.
Note pertanto le stazioni di misura ubicate nell'intorno del settore in studio e riferibili ad esso, si procede alla ricostruzione del campione per le piogge di breve durata e forte intensità, avendo a disposizione i dati dei massimi annuali.
La stazione più prossima al ponte della SP 31 è quella di Piampaludo, per la quale si hanno a disposizione i dati di pioggia di breve durata e forte intensità compresi tra gli anni 2002 e 2018.





Stazioni Meteo

Risultato della Selezione	
Identificativo	1522499
Codice punto misura	PIAMP
Descrizione	PIAMPALUDO
Provincia	SAVONA
Bacino	Orba
Proprietario	REGIONE LIGURIA
Consulta i Dati della Stazione	

SITAR Servizi Informativi Territoriali e Ambientali Regionali

Figura 15: In rosso il ponte oggetto di lavorazioni e in blu la stazione di misura di Piampaludo e relativa anagrafica (fonte: Regione Liguria - Visualizzatore tecnico)

5.1.2 CPP da analisi statistica: celle PAI

In base alle osservazioni pluviometriche locali disponibili sono state dapprima eseguite le usuali elaborazioni statistiche necessarie a fornire l'adeguata legge di distribuzione delle probabilità che meglio rappresenta il fenomeno idrologico. Sono state inoltre riportate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e contenute, fra l'altro anche nella D.G.R. 15 luglio 2002 n. 45-6656 "*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po in data 26 aprile 2001, approvato con*

decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 24 maggio 2001. Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico".

Tali curve consentono, per assegnato periodo di ritorno, di definire come variano le altezze massime annuali di precipitazione in funzione della durata considerata.

La forma più comune delle CPP è:

$$h(d,T) = a(T) \cdot d^n$$

con:

h (d,T) altezza di precipitazione massima annuale per durata d e periodo di ritorno T;

a (T) coefficiente moltiplicativo dipendente dal periodo di ritorno;

n esponente della relazione di scala.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po fornisce, nell'ambito della "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*", i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Tali parametri sono discretizzati su un reticolo avente maglia quadrata con lato 2 km.

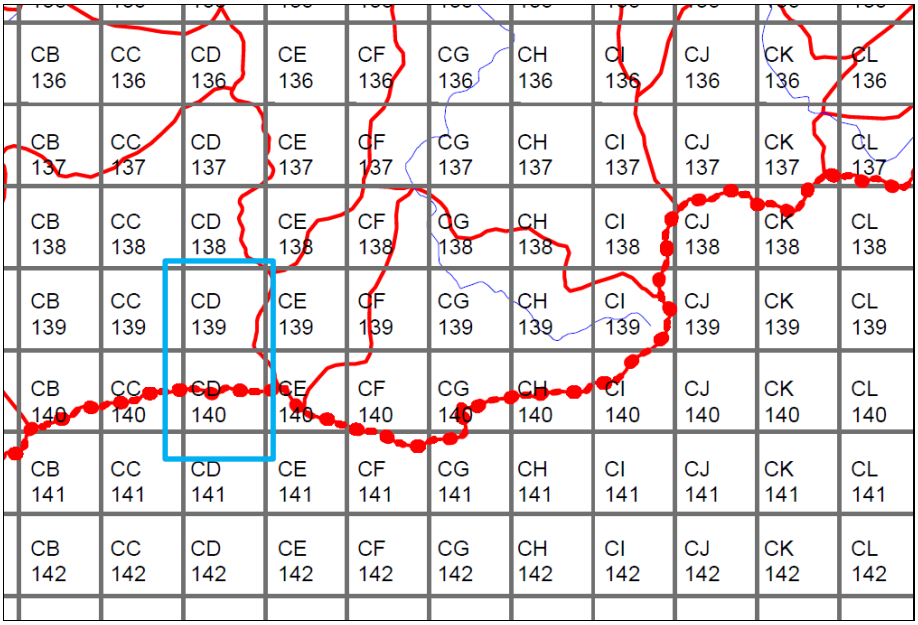


Figura 16: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3: Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense – In azzurro il settore in studio

Nella tabella seguente vengono riportati i valori dei parametri a e n delle curve proposte per le celle che insistono sul bacino delimitato, fornite dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

TR	20		100		200		500	
CELLE	*a*	*n*	*a*	*n*	*a*	*n*	*a*	*n*
CE139	53.83	0.502	67.34	0.513	73.14	0.516	80.77	0.520
CE140	54.11	0.497	67.74	0.507	73.59	0.510	81.30	0.513
media	**53.97**	**0.500**	**67.54**	**0.510**	**73.37**	**0.513**	**81.04**	**0.517**

Tabella 3: Valori della CPP per il bacino sotteso al ponte delimitato

6 METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Per la definizione della portata di progetto si è utilizzato un approccio di tipo indiretto basato sull'uso dei modelli proposti in letteratura. Nel caso specifico sono stati utilizzati i metodi congruenti con quanto proposto dal Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po nell'ambito delle norme di attuazione della "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*".
In particolare per il bacino considerato ci si è riferiti al classico metodo razionale riferito alla stazioni pluviometriche presenti nell'ambito del bacino idrografico di interesse. Per poter giungere a valori congruenti della portata di piena di progetto è stato inoltre considerato il comportamento idraulico del corso d'acqua definito in base alla documentazione storica, ai dati di rilevamento, alla morfologia degli alvei e dei settori ad esso limitrofi nonché alle caratteristiche generali del bacino.

6.1 Metodo razionale

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

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

Tale metodo fa riferimento alla cosiddetta "formula razionale", presentando quindi già caratteri di un modello deterministico di formazione delle piene pur mantenendo nella definizione dei parametri notevole dose di empirismo.
È stato quindi applicato il metodo cinematico che esprime la portata al colmo come segue:

$$Q = \frac{C \cdot h_c \cdot S}{3{,}6 \cdot t_c}$$

dove:

C = coefficiente di deflusso

h_c = altezza di precipitazione, espressa in mm, relativa ad un dato tempo di ritorno ed una durata di pioggia pari a t_c;

S = superficie del bacino espressa in km^2;

t_c = tempo di corrivazione del bacino espresso in ore.

Il tempo di corrivazione rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale. Per valutare il tempo di corrivazione nel presente studio sono state applicate le seguenti formule

- formula di Giandotti

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

dove:

A = superficie del bacino espressa in km^2;

L = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

H_0 = altezza della sezione di chiusura espressa in m;

H_m = altezza media del bacino espressa in m.

- formula di Ventura

$$t_c = 0{,}127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove:

A = superficie del bacino espressa in km^2;

i_m = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

- formula di Pezzoli

$$t_c = 0{,}055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

i_m = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

Normalmente per bacini di ridotte dimensioni l'effetto d'invaso può essere trascurato. Per gli altri parametri diversi autori hanno fornito diverse correlazioni ottenendo valori non univoci.

In definitiva occorre osservare come il valore del coefficiente di deflusso C assume valori molto diversi a seconda delle caratteristiche geomorfologiche e meteorologiche del bacino: esso dipende infatti dalla natura dei terreni, dal grado di saturazione del

suolo al momento della precipitazione (condizione questa che cambia nel tempo in funzione anche dell'intensità dell'evento pluviometrico), dalla pendenza media dei versanti del bacino imbrifero, dall'estensione e dal tipo di copertura vegetale, dalla presenza delle opere realizzate dall'uomo. Inoltre il bacino normalmente non ha caratteristiche uniformi ed è quindi necessario adottare un valore medio. Nella letteratura tecnica esistono diverse tabelle di riferimento che aiutano i progettisti nella valutazione di tale coefficiente. I valori indicati in tali tabelle oscillano mediamente da un minimo di 0,1, per superfici molto permeabili coperte da boschi, a 0,8 per terreni compatti ed utilizzati in agricoltura.
Nel seguito si riportano le indicazioni fornite dalla Direttiva citata in precedenza.

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

Tabella 4: Valori di riferimento coefficiente di deflusso (Ven Te Chow, 1964)

6.1.1 Tempo di corrivazione

Si è scelto di assumere come valore per la progettazione il tempo di corrivazione mediato sui tre valori ottenuti in precedenza e pari a 0,62 ore.

Tempo di corrivazione			
Giandotti	Ventura	Pezzoli	media
0.79	0.50	0.48	0.62

Tabella 5: Tempi di corrivazione del bacino del Rio della Conca

6.1.2 Coefficienti di deflusso

Per quanto concerne i coefficienti di deflusso, si è adottato un coefficiente di deflusso *C* pari a 0,5.

6.1.3 Altezze di pioggia

Sulla base delle curve di possibilità climatica ricavate e disponibili e del tempo di corrivazione definito in precedenza è possibile definire l'altezza della pioggia di progetto. I valori ottenuti sono riportati nelle tabelle di seguito riportate.

$h_{c\ (Tr=20)}$	42.58	[mm]
$h_{c\ (Tr=100)}$	53.02	[mm]
$h_{c\ (Tr=200)}$	57.51	[mm]
$h_{c\ (Tr=500)}$	63.41	[mm]

Tabella 6: Altezze di pioggia da analisi statistica celle PAI

$h_{c\ (Tr=20)}$	77.91	[mm]
$h_{c\ (Tr=100)}$	101.31	[mm]
$h_{c\ (Tr=200)}$	111.31	[mm]
$h_{c\ (Tr=500)}$	124.49	[mm]

Tabella 7: Altezze di pioggia da analisi statistica piogge di breve durata e forte intensità

6.1.4 Portate stimate

Il calcolo delle portate con il metodo cinematico ha condotto ai seguenti risultati.

$Q_{(Tr=20)}$	18.55	[m^3/s]
$Q_{(Tr=100)}$	23.10	[m^3/s]
$Q_{(Tr=200)}$	25.05	[m^3/s]
$Q_{(Tr=500)}$	27.63	[m^3/s]

Tabella 8: Valori di portata da analisi statistica celle PAI

$Q_{(Tr=20)}$	33.94	[m^3/s]
$Q_{(Tr=100)}$	44.14	[m^3/s]
$Q_{(Tr=200)}$	48.49	[m^3/s]
$Q_{(Tr=500)}$	54.24	[m^3/s]

Tabella 9: Valori di portata da analisi statistica piogge di breve durata e forte intensità

7 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

7.1 Compatibilità idraulica da normativa

7.1.1 PAI

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) all'art. 38 delle Norme di attuazione disciplina gli "interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico" che ricadono all'interno delle Fasce A e B.

Nello specifico l'attraversamento in progetto sul Rio della Conca si configura come nuova opera, per le quali vale la seguente:

> 3. Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino."

La Direttiva cui si fa riferimento è la "*Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B - Capo 3: Criteri di compatibilità, prescrizioni ed indirizzi per la progettazione e la verifica idraulica dei ponti"*.

In essa è specificato (*3.2 Criteri di compatibilità idraulica per i ponti e i rilevati di accesso in progetto*):

> 1. Portata di piena di progetto. Il tempo di ritorno della piena di progetto per le verifiche idrauliche del ponte deve normalmente rispettare i seguenti valori:
> - per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, non inferiore a quello assunto per la delimitazione della Fascia B;
> - per i corsi d'acqua non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali non inferiore a 100 anni. […]

La Direttiva dà inoltre prescrizioni sul franco minimo che deve esistere tra la quota di intradosso del ponte (o più genericamente del manufatto di attraversamento) e la quota idrometrica della corrente relativa alla piena di progetto:

> 2. Franco minimo. Il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a un 1.00 m. […]

7.1.2 NTC 2018

Anche le NTC 2018 specificano come valutare la compatibilità idraulica tra il ponte ed il corso d'acqua; ciò all'interno del capitolo *5.1.2.3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA*:

> […] L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni (Tr=200).
>
> […]
>
> Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.[…]

7.2 Portata di progetto

Visto le normative che regolano le interferenze tra i ponti ed i corsi d'acqua, per le verifiche di compatibilità idraulica richieste è stato adottato il valore di portata duecentennale ricavato dall'analisi statistica delle piogge registrate dalla stazione di misura di Piampaludo pari a 48,5 m^3/s.
Sulla base del valore di portata definito nel presente documento si è quindi proceduto alla analisi idraulica oggetto di verifica lungo il Rio della Conca.

8 ANALISI IDRAULICHE

L'obiettivo delle analisi idrauliche in moto permanente riportate successivamente per l'asta del Rio della Conca è quello di verificare la compatibilità tra la piena di progetto duecentennale e le sezioni di deflusso di progetto ubicate lungo l'alveo ed in particolare verificare se i nuovi interventi in progetto risultino in qualche modo interferire e non risultare compatibili con lo smaltimento delle portate.
La modellistica idraulica utilizzata necessita dei seguenti elementi di ingresso:

- piano quotato dell'asta fluviale presa in esame
- valori di scabrezza a caratterizzare la resistenza al moto dovuta all'attrito al contorno;
- condizioni al contorno necessarie per la taratura dei modelli.

8.1 Geometria delle sezioni

La geometria delle sezioni è stata ricavata mediante realizzazione di un rilievo topografico dei settori di interesse, prestando attenzione ai cambiamenti significativi sia di sezione sia di pendenza dei corsi d'acqua in modo tale di ottenere una buona rappresentazione delle aste fluviali. Sono state quindi tracciate delle sezioni trasversali opportunamente infittite nei settori di condizionamento dell'alveo per descrivere numericamente le caratteristiche dei tratti.
Le sezioni traversali, come richiesto dal programma di simulazione idraulica, sono numerate da valle verso monte e sono visualizzate con vista da monte (sponda destra a destra) posizionate il più possibile perpendicolari al corso d'acqua.
Nel presente studio le sezioni utilizzate per la modellazione dell'asta del Rio della Conca nel tratto di interesse sono 15 (di cui due a schematizzare il ponte esistente, rispettivamente 1.5U e 1.5D) per la simulazione allo stato di fatto e 17 per la simulazione allo stato di progetto (di cui due a schematizzare il ponte in progetto, rispettivamente 2.5U e 2.5D).

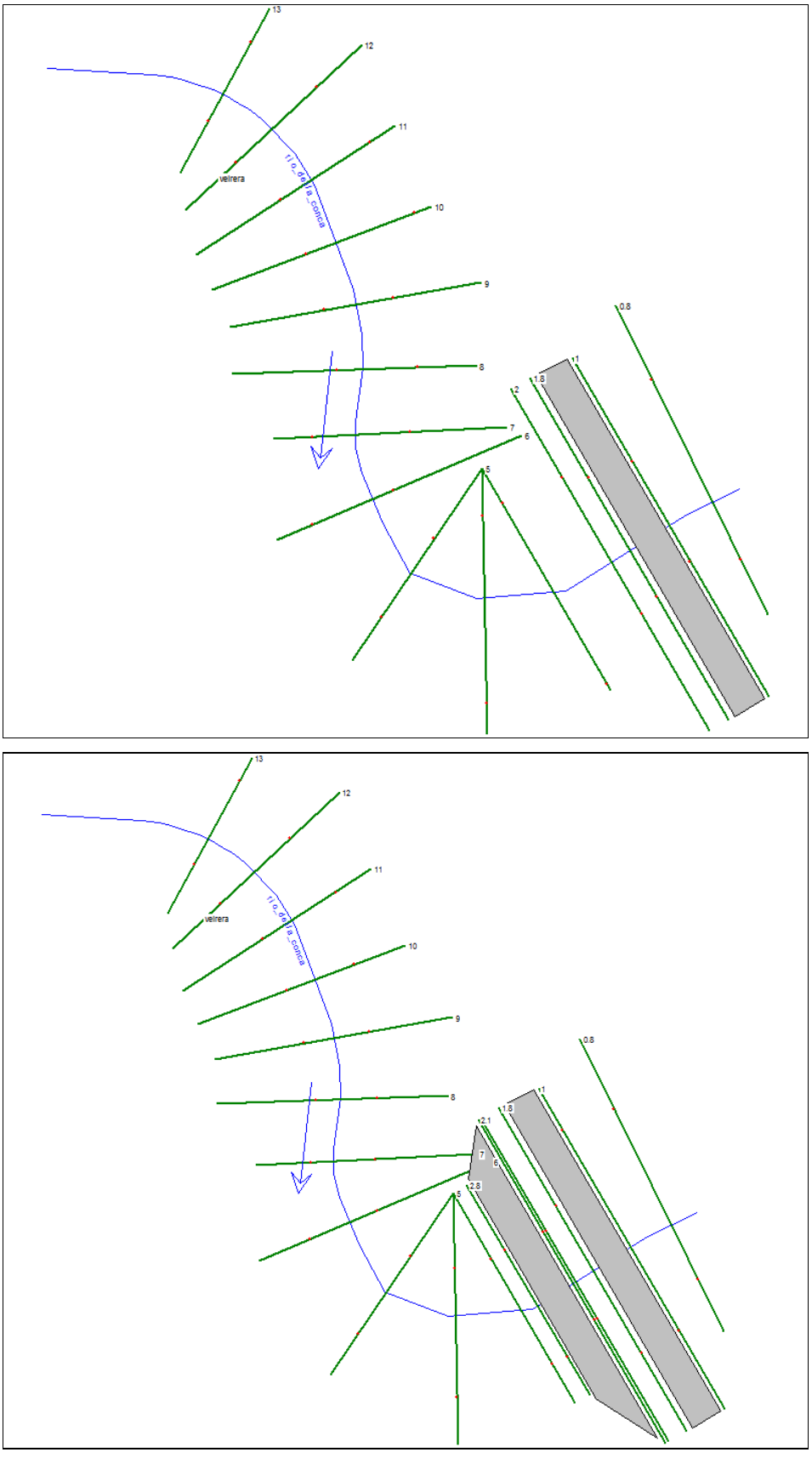


Figura 17: Schemi simulazioni Hec Ras – sopra lo stato di fatto e sotto lo stato di progetto

8.2 Valori di scabrezza

Le condizioni di scabrezza sono state fissate utilizzando i dati presenti in letteratura (Chow V.T., 1959) con riferimento ai valori n di Manning.
I valori introdotti nel modello idraulico intendono rappresentare "la situazione a regime" e non le eventuali situazioni in evoluzione dovute a interventi di sistemazione. In altre parole, i valori di scabrezza introdotti tengono conto di quel degrado strutturale dei materiali e di quella presenza di accumuli (vegetazione, limo o ciottoli) indesiderata, ma comunque sempre presente in un alveo anche se a forte artificialità. In letteratura vengono riportati tali valori di riferimento:

- n = 0,018÷0,030 $m^{-1/3}$ s indicato per *pietrame con giunti stilati*
- n = 0,030÷0,040 $m^{-1/3}$ s indicato per *fondo in terra irregolare con ciottoli, aree golenali regolari prive di copertura arbustiva.*

Per il rio in analisi, in corrispondenza dell'alveo inciso e delle aree golenali è stato fissato un valore del coefficiente di Manning n pari a 0,033 $m^{-1/3}$ s, mentre in presenza di opere idrauliche in muratura di pietrame. si è assunto il valore n = 0,028 $m^{-1/3}$ s.
Come descritto al capitolo 7 i valori della portata di progetto, assunta pari a quella con tempo di ritorno duecentennale, sono stati definiti in corrispondenza della sezione di chiusura rappresentativa del regime idrologico del bacino del Rio della Conca.
Per le condizioni attuali del profilo di fondo si è fatto riferimento a condizioni di tipo misto, al variare della presenza di discontinuità e variazioni di pendenza significative. Come condizione al contorno di monte e di valle è stato assunto il deflusso in moto uniforme secondo le pendenze locali dell'asta.

8.3 Simulazione in moto permanente

La modellazione è effettuata allo stato attuale per simulare gli effetti determinati dall'evento di piena al fine di verificare la compatibilità idraulica tra le aste fluviali e il territorio.
Il motore di calcolo del profilo è costituito dalla versione 5.0.6 di *Hec-Ras*, messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni Sessanta con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI.
Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei

livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata *standard step method* ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y	profondità della corrente nella sezione [m]
z	quota del fondo [m]
V	velocità media della corrente nella sezione [portata totale/area totale]
α	coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione
g	accelerazione di gravità pari a 9.81 [m/s^2]
h_e	perdita di energia [m]

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura 18.

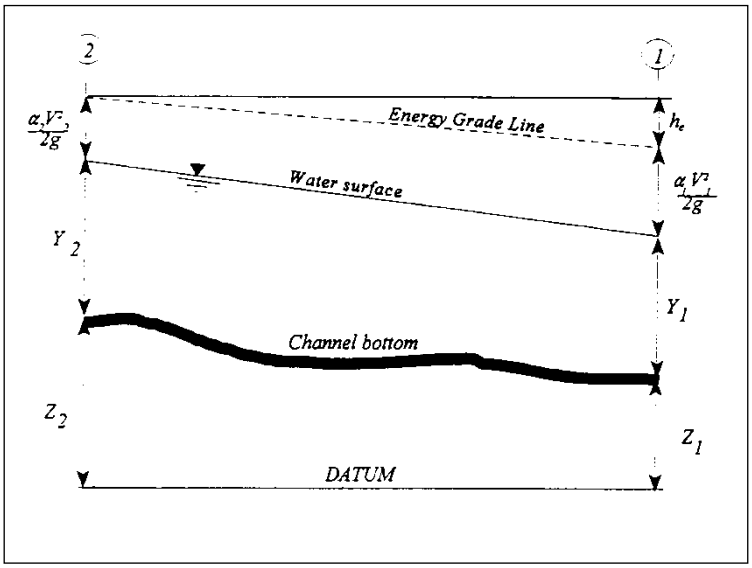


Figura 18: Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da Manuale d'uso Hec-ras 2001)

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice $_{lob}$), canale principale (pedice $_{ch}$), golena destra (pedice $_{rob}$), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e, comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione:

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L = lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa divisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è:

$$L = \frac{L_{lob}\,\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\,\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\,\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}}$$

dove i simboli *L,* ciascuno con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m^3/s);

S_f pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula espressa in m^3/s:

$$Q = K\ S_f^{0.5}$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K capacità di convogliamento di ciascun settore (m^3/s)

espressa come:

$$K = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot A$$

con

n coefficiente di scabrezza [$m^{-1/3}$ s] secondo Manning

A area bagnata del settore [m^2]

R raggio idraulico del settore [m]

	Contrazione	***Espansione***
Nessuna variazione	0.0	0.0
Variazione graduale	0.1	0.3
Tipica situazione in corrispondenza di un ponte	0.3	0.5
Brusca variazione	0.6	0.8

Tabella 10: Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni

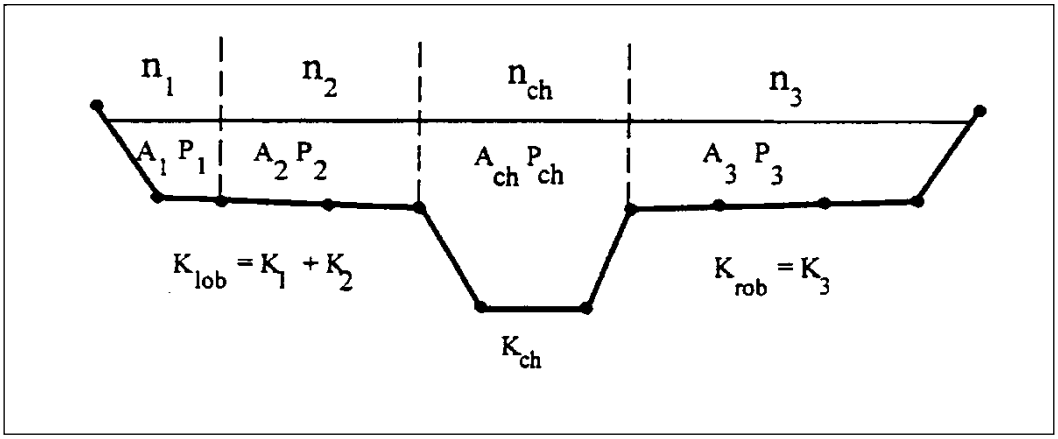


Figura 19: Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(P_i \, n_i^{1/5} \right)}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c coefficiente di scabrezza equivalente

P contorno bagnato dell'intero canale principale

P_i contorno bagnato della i-esima suddivisione

n_i scabrezza della i-esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + ... + Q_N V_N^2}{Q \overline{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. La relazione allora diventa:

$$\alpha = \frac{\left(A_{tot}\right)^2 \left[\frac{\left(K_{lob}\right)^3}{\left(A_{lob}\right)^2} + \frac{\left(K_{ch}\right)^3}{\left(A_{ch}\right)^2} + \frac{\left(K_{rob}\right)^3}{\left(A_{rob}\right)^2} \right]}{\left(K_{tot}\right)^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione:

$$\overline{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.) valutando la corrente a pelo libero e il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato oltre alla combinazione della corrente in pressione con quella determinata dallo scavalcamento dell'impalcato stesso.

Il programma, infine, permette di simulare lunghi tratti tombinati a sezione variabile mediante l'opzione denominata *lid*, che computa le sezioni munite di *lid* come se fossero sezioni a cielo aperto utilizzando l'equazione dell'energia per il bilanciamento del profilo del pelo libero con l'unica differenza di sottrarre area e aggiungere perimetro bagnato quando il pelo libero viene a contatto con la copertura.

Typical drag coefficients for various pier shapes	
Pier Shape	***Drag Coefficient Cd***
Circular pier	1.200
Elongated piers with semi-circular ends	1.330
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.600
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.320
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.029
Square nose piers	2.000
Triangular nose with 30 degree angle	1.000

Tabella 11: Coefficienti di resistenza consigliati dal manuale Hec-ras (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

9 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

Sono state condotte due simulazioni idrauliche in moto permanente: la prima allo stato di fatto e la seconda allo stato di progetto, al fine di realizzare un confronto significativo circa i livelli idrici su ciascuna sezione.

Entrambe le simulazioni lungo l'asta del Rio della Conca hanno uno sviluppo pari a 133 m circa. La pendenza del corso d'acqua nel tratto considerato è mediamente pari al 9,8 %, con settori a pendenza più elevata in corrispondenza di locali variazioni del fondo, quali salti naturali, e settori meno pendenti (circa il 3 % ad esempio in corrispondenza del nuovo ponte in progetto).

I risultati delle simulazioni effettuate sono riportate in allegato sia in forma grafica che numerica, riportando i livelli di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni.

In particolare dalle simulazioni effettuate, si evince quanto segue:

- lungo l'alveo del Rio della Conca la portata duecentennale risulta sempre contenuta dall'alveo di progetto;
- la corrente lungo il tratto d'alveo considerato rimane costantemente di tipo veloce (con altezza di moto uniforme sempre al di sotto di quella critica e numeri di Froude calcolati in corrispondenza di ciascuna sezione sempre superiori all'unità), senza innesco di fenomeni dissipativi.

Le simulazioni condotte evidenziano un profilo di corrente di tipo veloce, come era ragionevole aspettarsi, in quanto l'asta è sita in un settore montano caratterizzato da elevate pendenze del fondo e scabrezze medio-elevate, tale da conferire maggiore velocità alla corrente defluente nell'alveo inciso, la quale peraltro è sempre contenuta al suo interno, non evidenziando problemi di incompatibilità con le opere antierosive in progetto, come riportato nella tabella seguente.

SEZIONI hec ras	*SEZIONI elaborato B05.2*	*Sommità scogliera m*	*Livello idrico (tr 200 anni) m*	Δ *m*
12	B	874.15	872.85	1.30
11	C	873.61	872.32	1.29
10	D	872.20	870.95	1.25
9	E	872.02	870.29	1.73
8	F	870.51	869.37	1.14
7	G	868.33	867.05	1.28
6	H	867.73	866.66	1.07
5	I	866.98	865.57	1.41
4	L	866.28	864.73	1.55
3	M	865.66	864.22	1.44
2	N	864.36	862.96	1.40

Tabella 12: Confronto fra il tirante idrico che si sviluppa in seguito ad una portata con tempo di ritorno di 200 anni e la quota della sommità della scogliera antierosiva in progetto

Le velocità nel tratto indagato si attestano sui 6 m/s di media, e risultano maggiori (circa 8-9 m/s) in corrispondenza delle sezioni collocate appena a monte del ponte in progetto e a valle dell'esistente.

10 CONCLUSIONI

La simulazione effettuata evidenzia che la sistemazione idraulica in progetto lungo il Rio della Conca ed in particolare la sezione del nuovo ponte lungo la SP31 è compatibile con la piena di progetto fissata e pari a 48,50 m^3/s.

Il franco idraulico che si instaura tra il livello idrico di progetto nella sezione immediatamente a monte del ponte (2.8) e l'intradosso della struttura è superiore a 1,50 m (NTC 2018).

SEZIONE	*h (Q tr200) m*	*quota intradosso m*	*franco m*	*VERIFICA*
2.8	863.86	872	8.14	compatibile

La verifica è soddisfatta anche secondo quanto dettato dalla Direttiva PAI, in quanto il franco risulta superiore a 0,5 volte il termine cinetico della corrente e comunque superiore a 1,00 m.

SEZIONE	*h (Q tr200) m*	*v (Q tr200) m/s*	*quota intradosso m*	*franco m*	*0.5 u^2/2g -*	*VERIFICA*
2.8	863.86	5.28	872	8.14	0.71	compatibile
2.1	863.03	5.69	872	8.97	0.83	compatibile

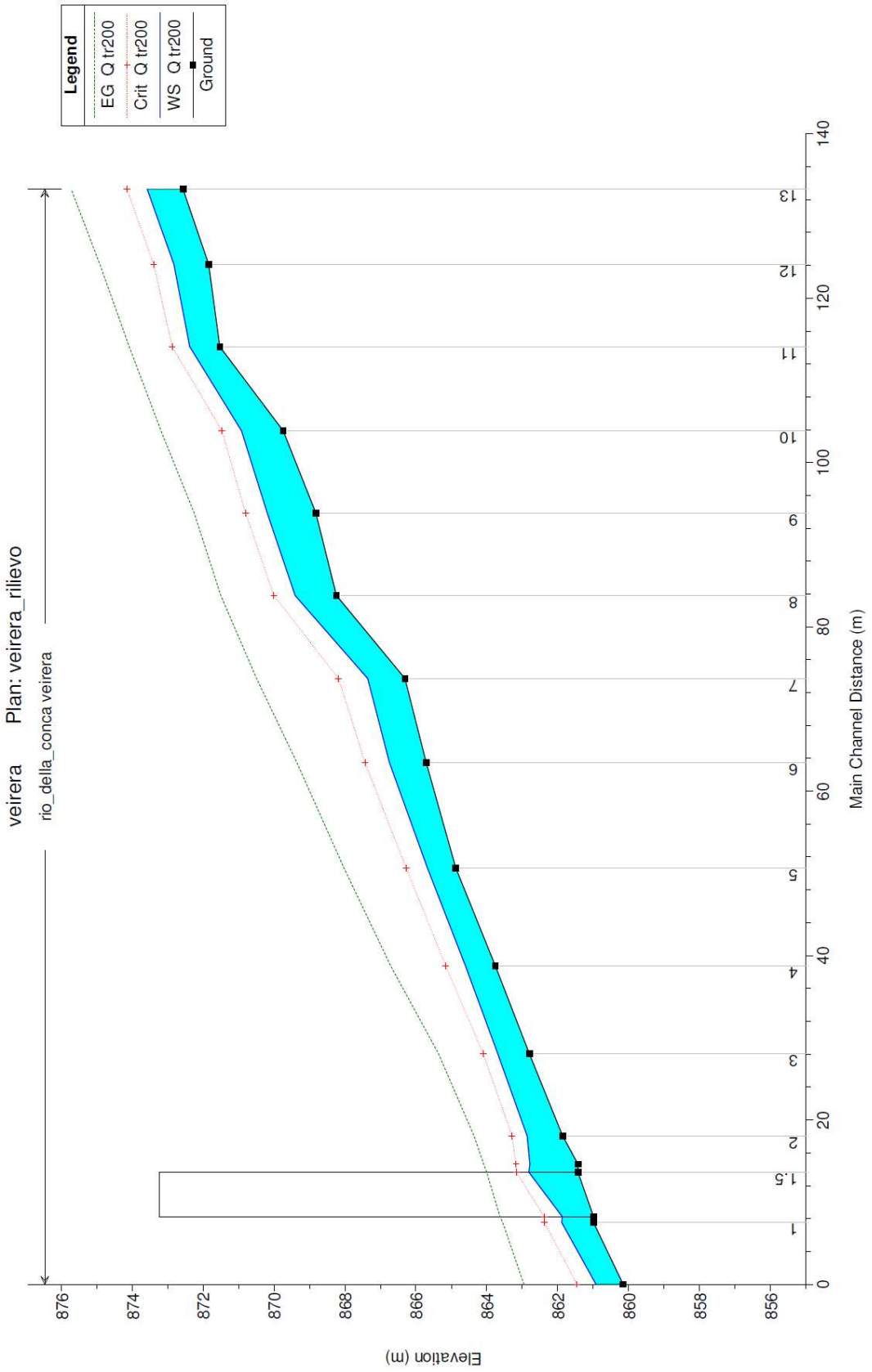
*****

ALLEGATI

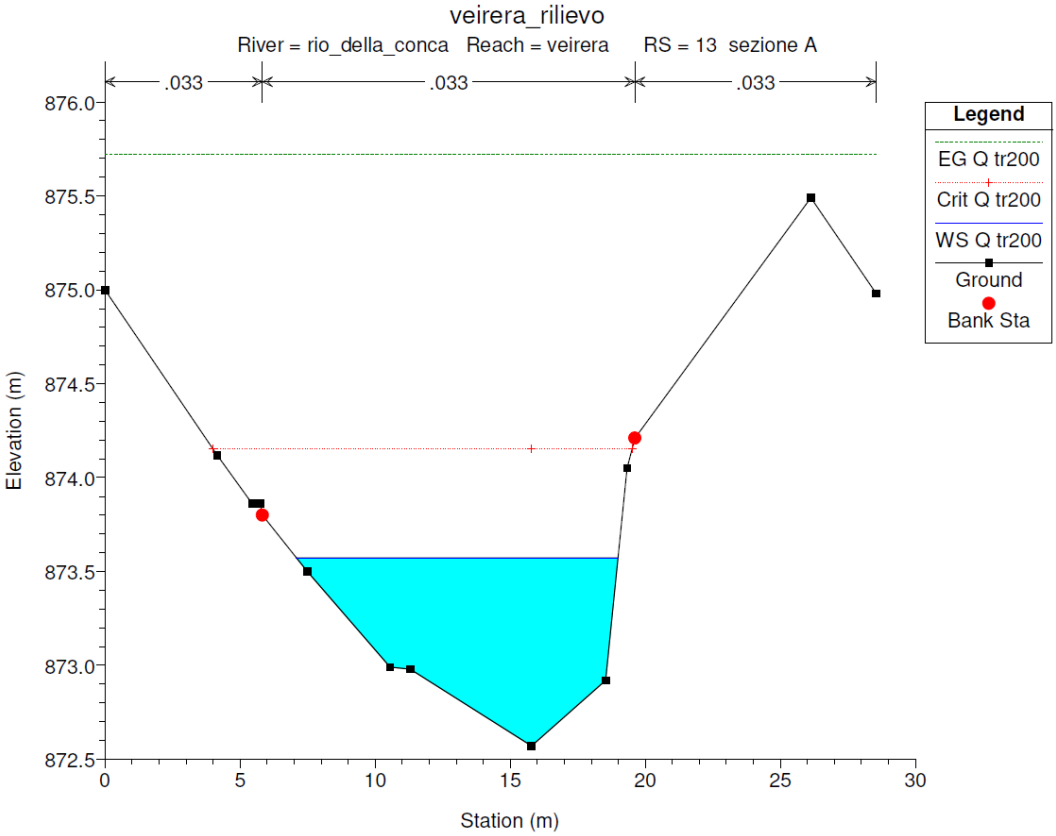
Risultati simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto

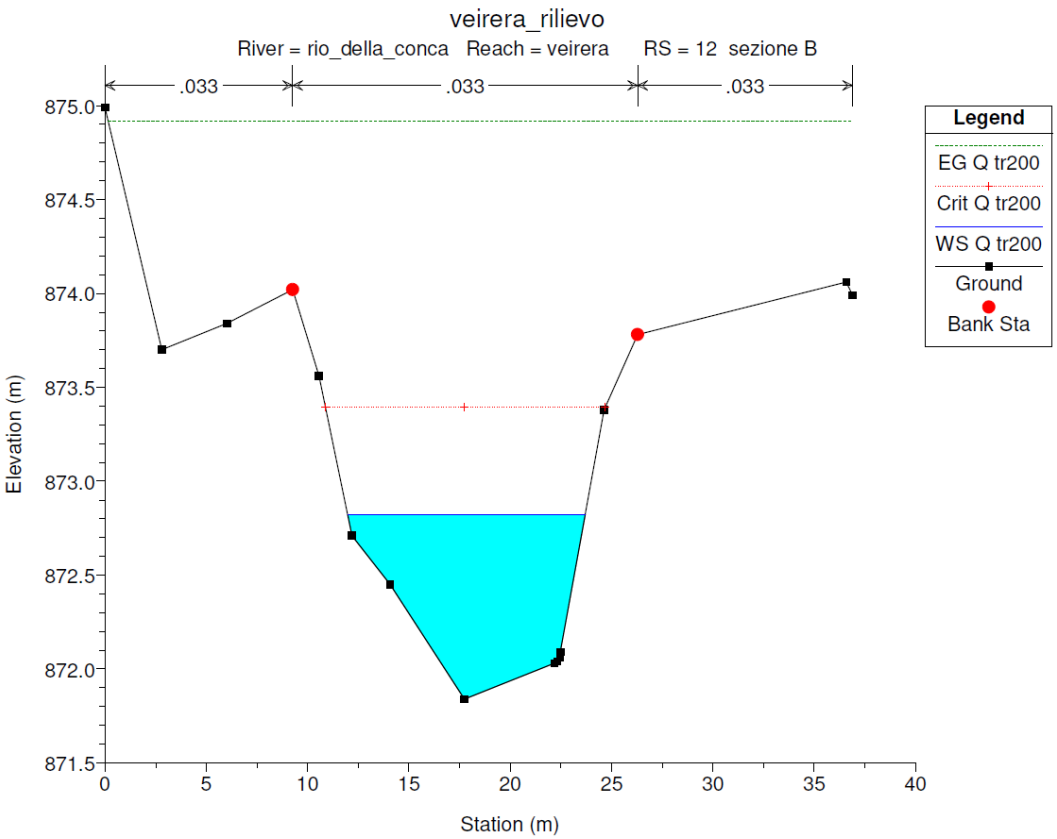
Reach	River Station	Profile	Q Total (m^3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m^2)	Top Width (m)	Froude # Chl
veirera	13	Q tr200	48.50	872.57	873.57	874.15	875.72	0.0897	6.49	7.47	11.91	2.62
veirera	12	Q tr200	48.50	871.84	872.82	873.39	874.92	0.0831	6.41	7.57	11.73	2.55
veirera	11	Q tr200	48.50	871.53	872.38	872.88	874.08	0.0621	5.79	8.38	12.07	2.22
veirera	10	Q tr200	48.50	869.74	870.91	871.47	873.19	0.1127	6.68	7.26	13.07	2.86
veirera	9	Q tr200	48.50	868.82	870.19	870.81	872.25	0.0694	6.36	7.63	9.52	2.27
veirera	8	Q tr200	48.50	868.24	869.40	870.00	871.50	0.0795	6.42	7.56	11.02	2.48
veirera	7	Q tr200	48.50	866.31	867.36	868.18	870.49	0.1028	7.84	6.19	7.98	2.84
veirera	6	Q tr200	48.50	865.71	866.74	867.44	869.36	0.0901	7.16	6.78	8.85	2.61
veirera	5	Q tr200	48.50	864.87	865.67	866.27	868.03	0.1062	6.79	7.14	11.89	2.80
veirera	4	Q tr200	48.50	863.76	864.60	865.16	866.71	0.1019	6.43	7.54	13.56	2.75
veirera	3	Q tr200	48.50	862.80	863.69	864.10	865.36	0.1292	5.72	8.47	21.47	2.91
veirera	2	Q tr200	48.50	861.86	862.86	863.29	864.36	0.0723	5.42	8.95	16.13	2.32
veirera	1.8	Q tr200	48.50	861.43	862.79	863.17	864.09	0.0563	5.05	9.60	15.73	2.06
veirera	1.5	***PONTE ESISTENTE***										
veirera	1	Q tr200	48.50	860.99	861.89	862.37	863.55	0.0641	5.72	8.49	12.63	2.23
veirera	0.8	Q tr200	48.50	860.15	860.92	861.46	862.95	0.0898	6.31	7.68	12.67	2.59

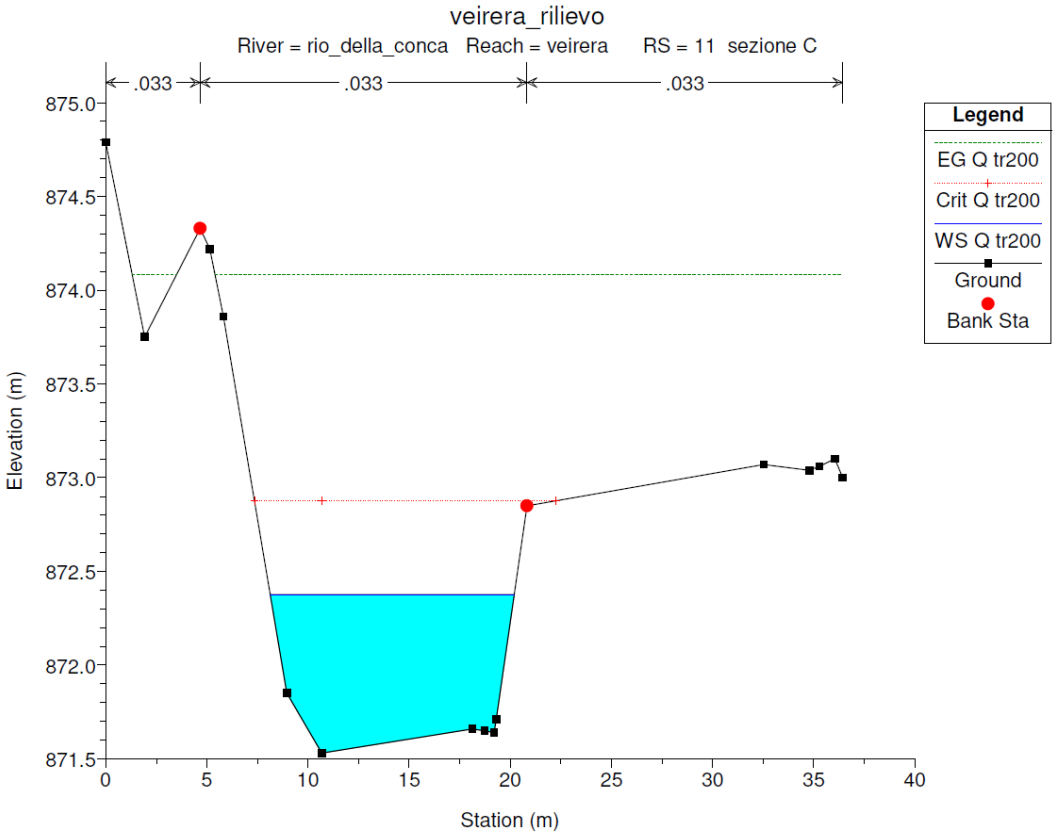
Profilo simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto

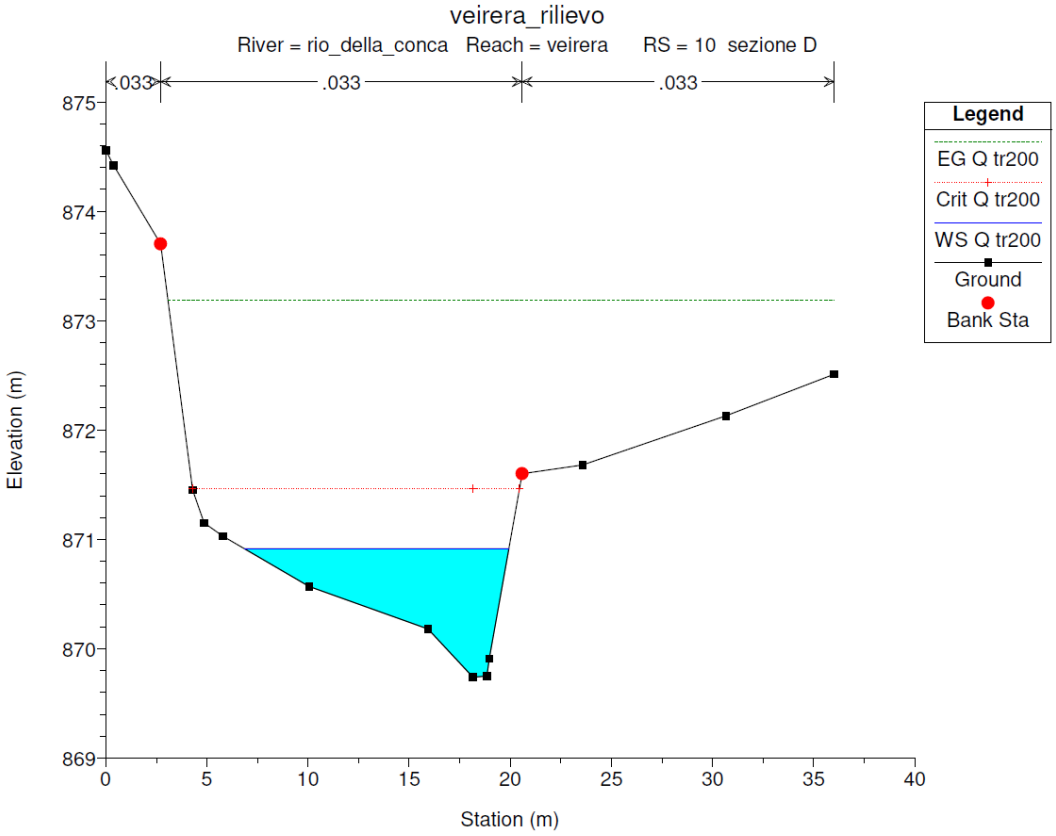


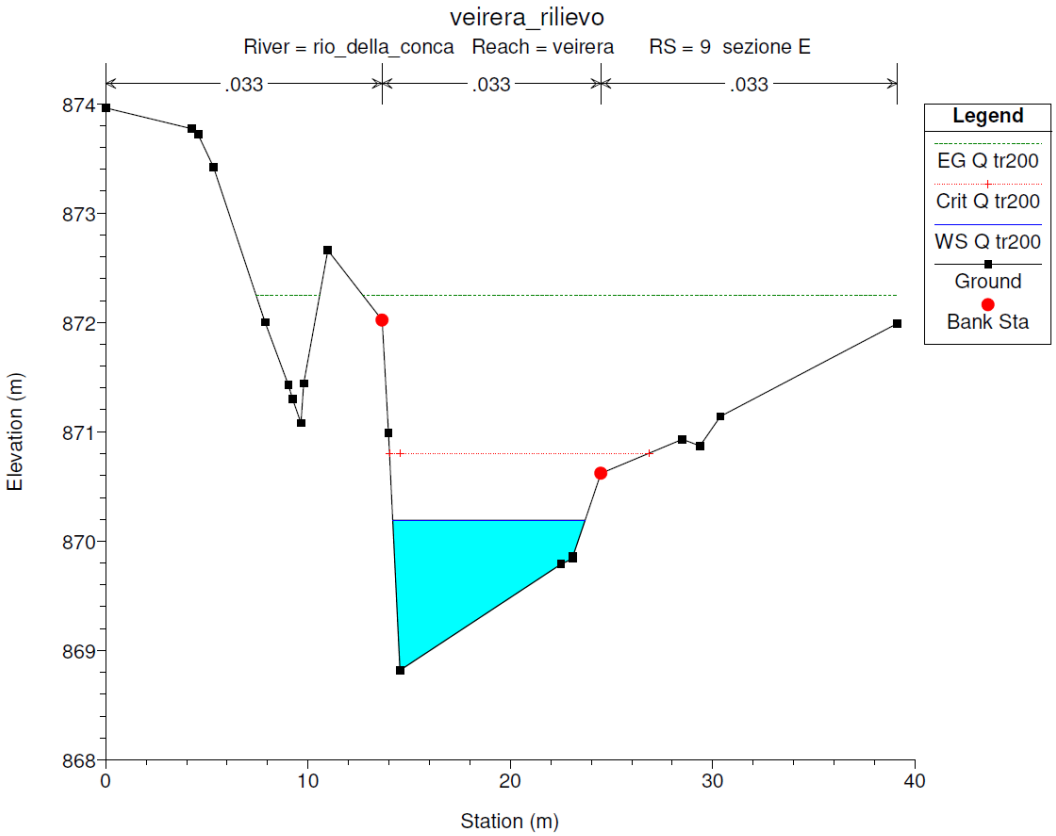
Sezioni simulazione TR = 200 anni – Stato di fatto

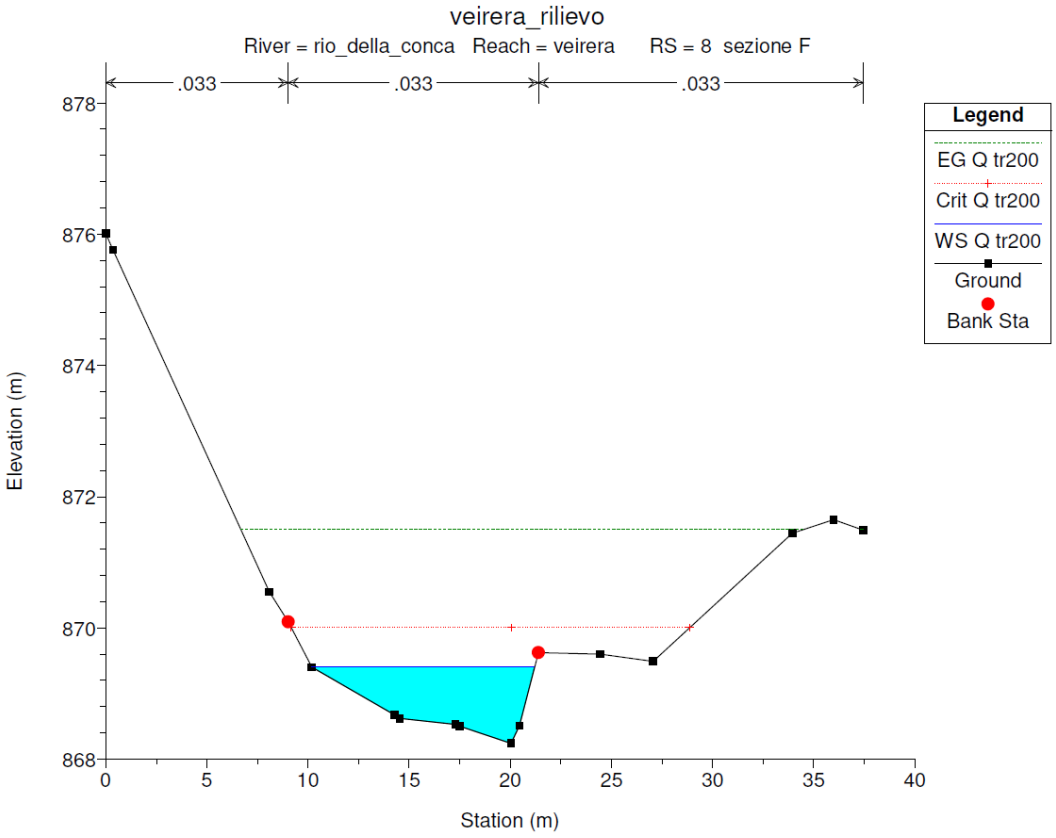


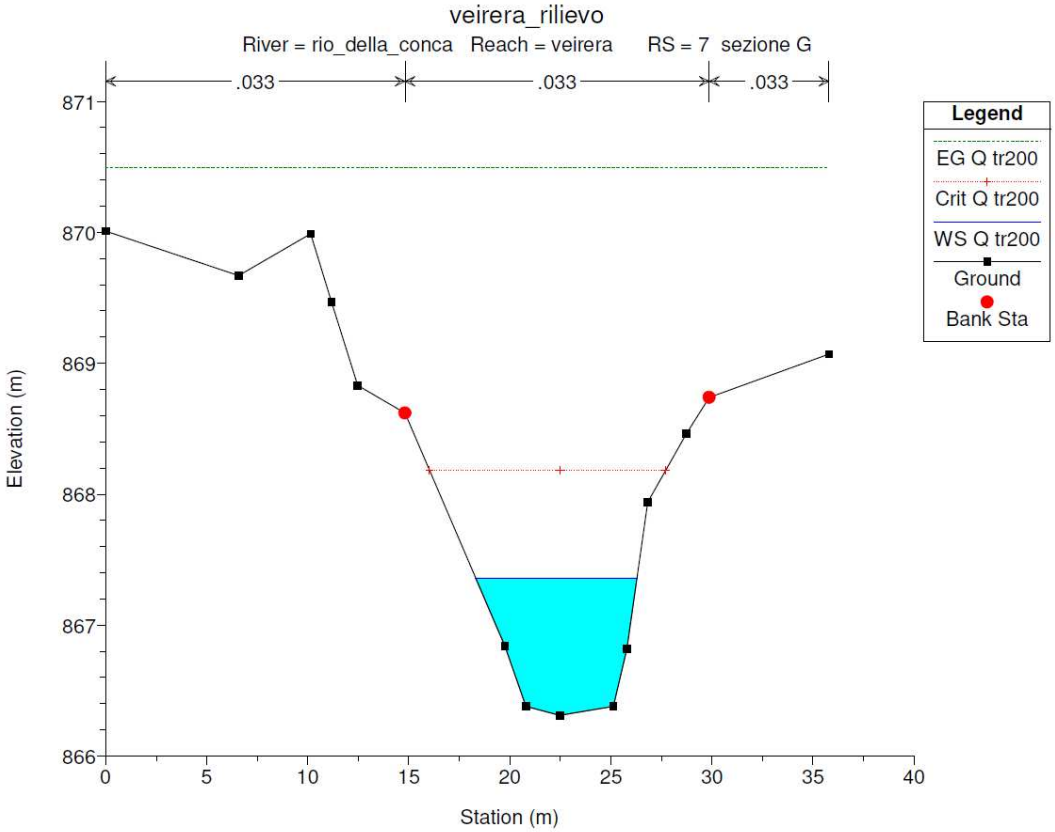


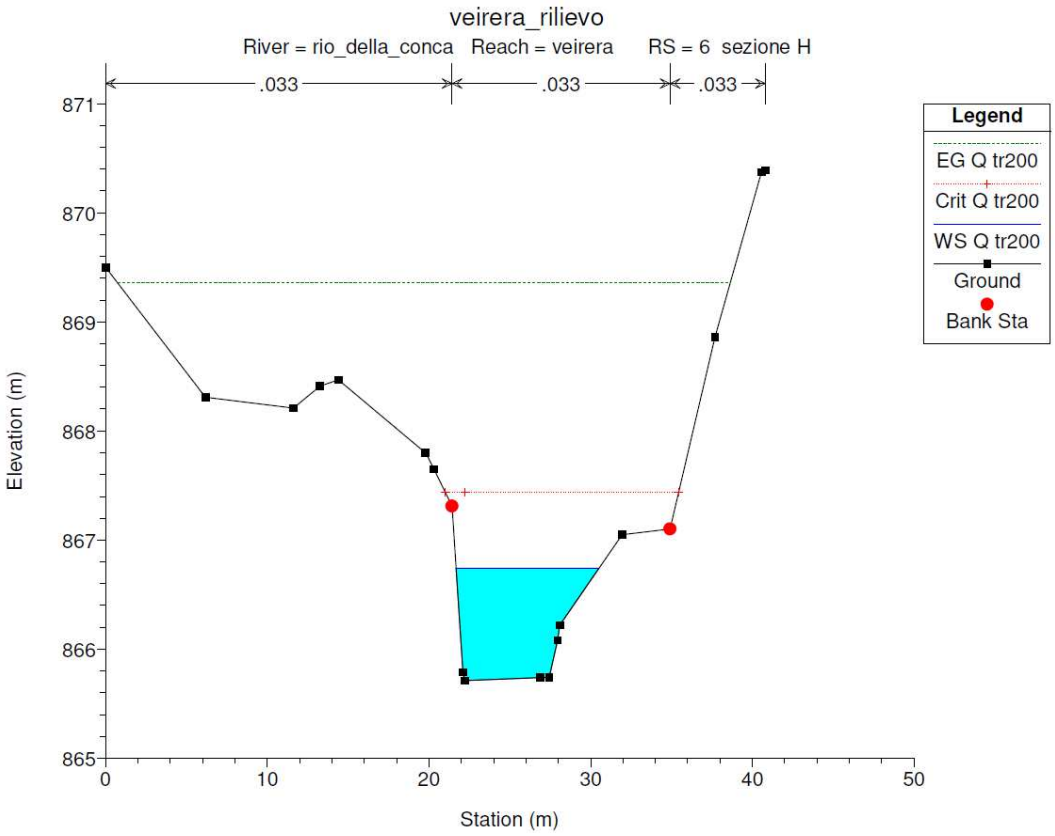

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 11 sezione C
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875.0
874.5
874.0
873.5
873.0
872.5
872.0
871.5
0
5
10
15
20
25
30
35
40

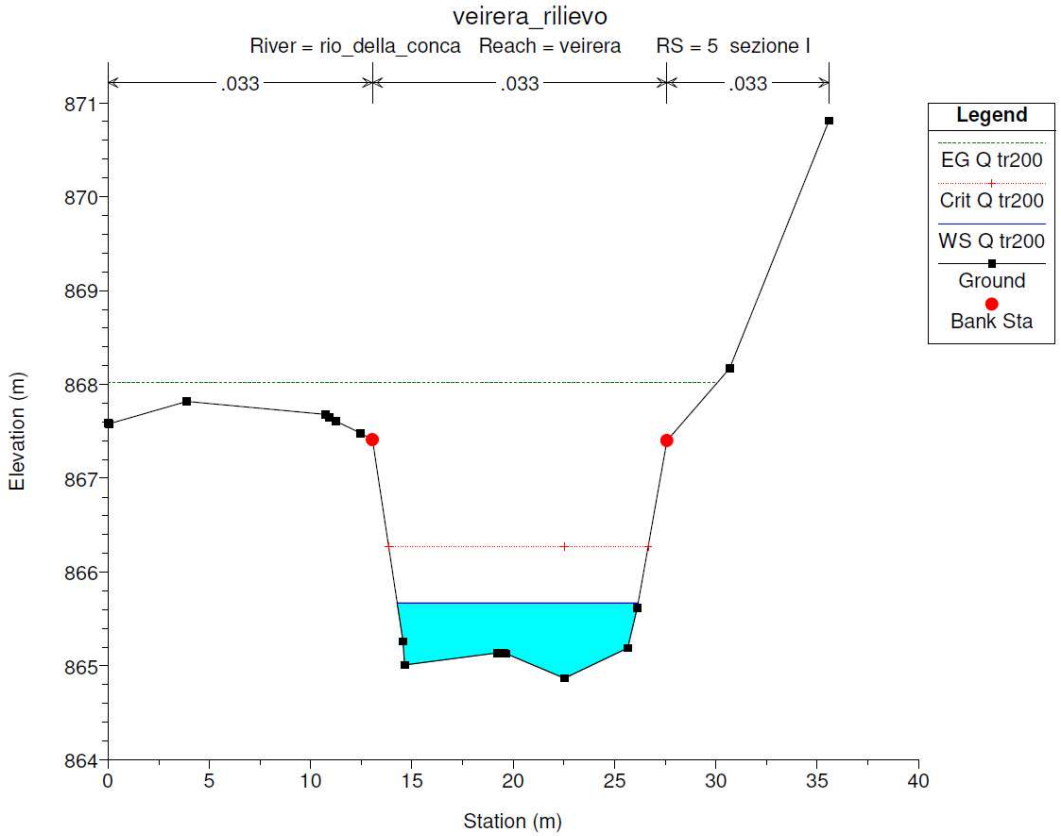

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 10 sezione D
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875
874
873
872
871
870
869
0
5
10
15
20
25
30
35
40

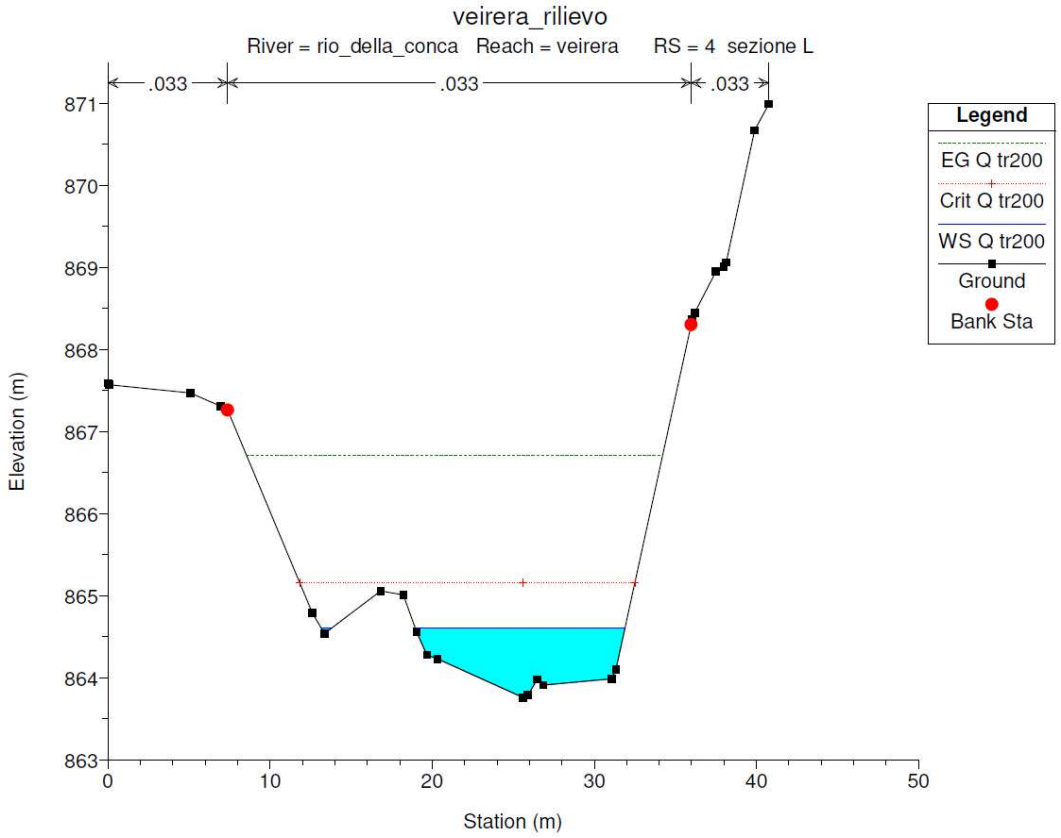

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 9 sezione E
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
873
872
871
870
869
868
0
10
20
30
40

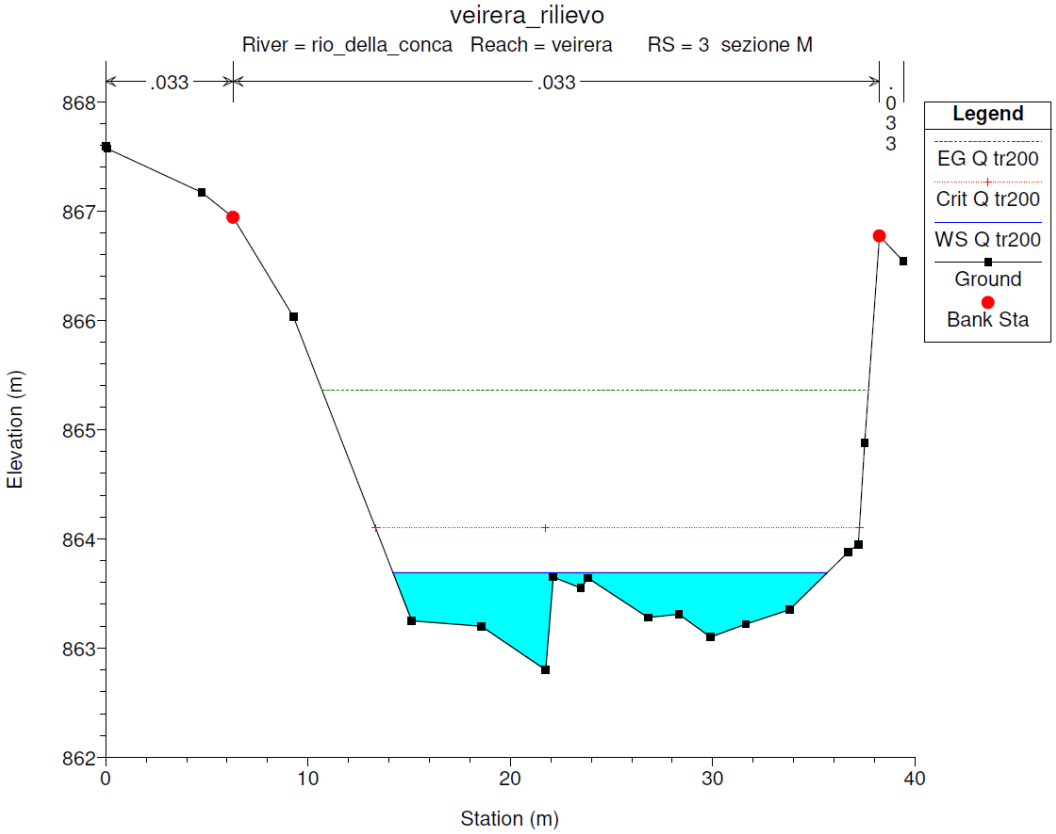

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 8 sezione F
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
878
876
874
872
870
868
0
5
10
15
20
25
30
35
40

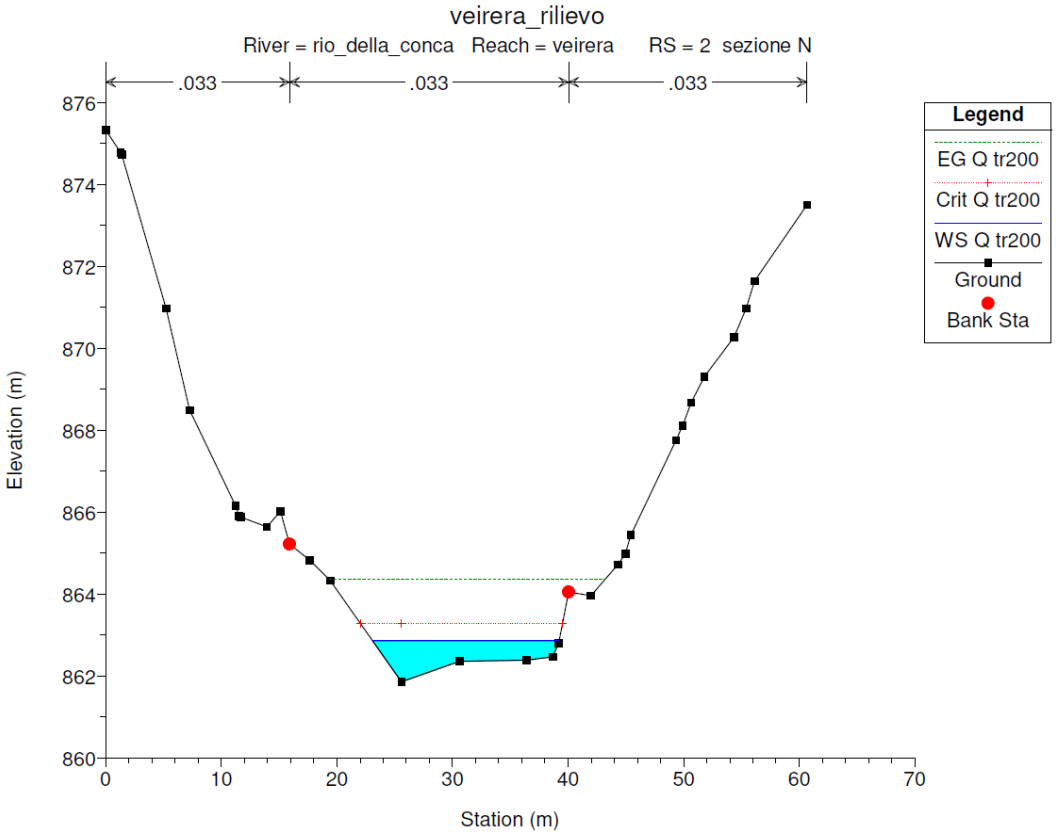

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 7 sezione G
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
0
5
10
15
20
25
30
35
40

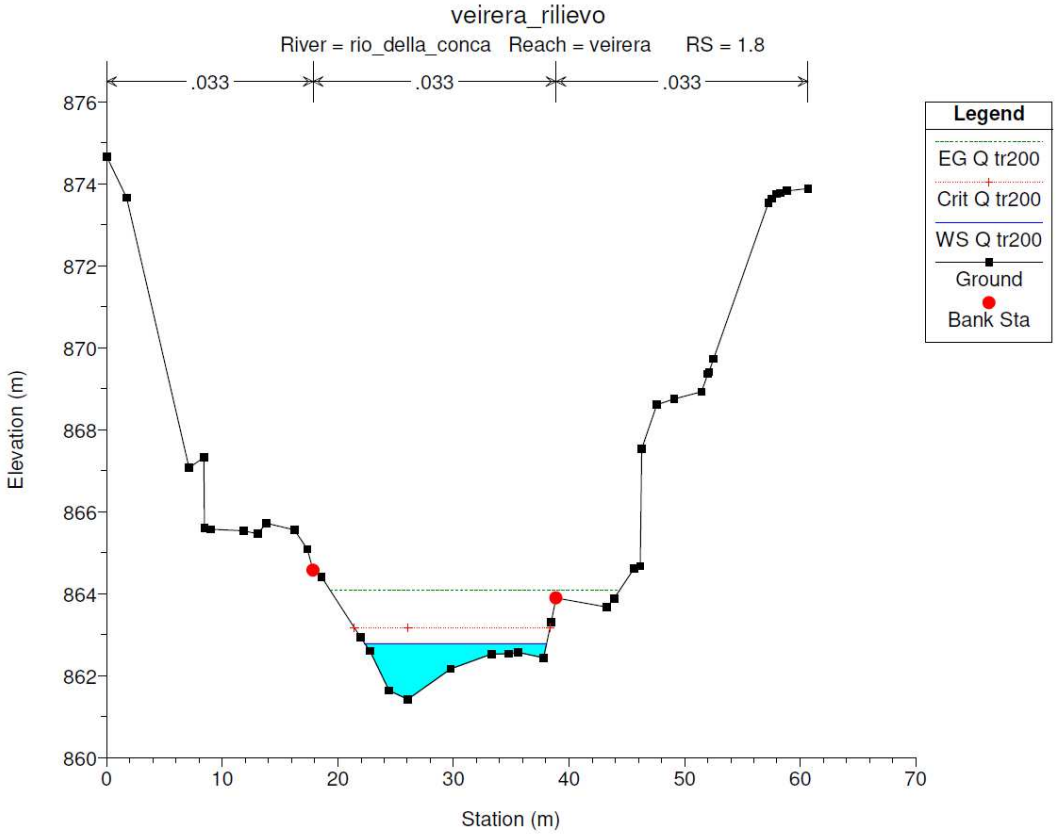

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 6 sezione H
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
865
0
10
20
30
40
50

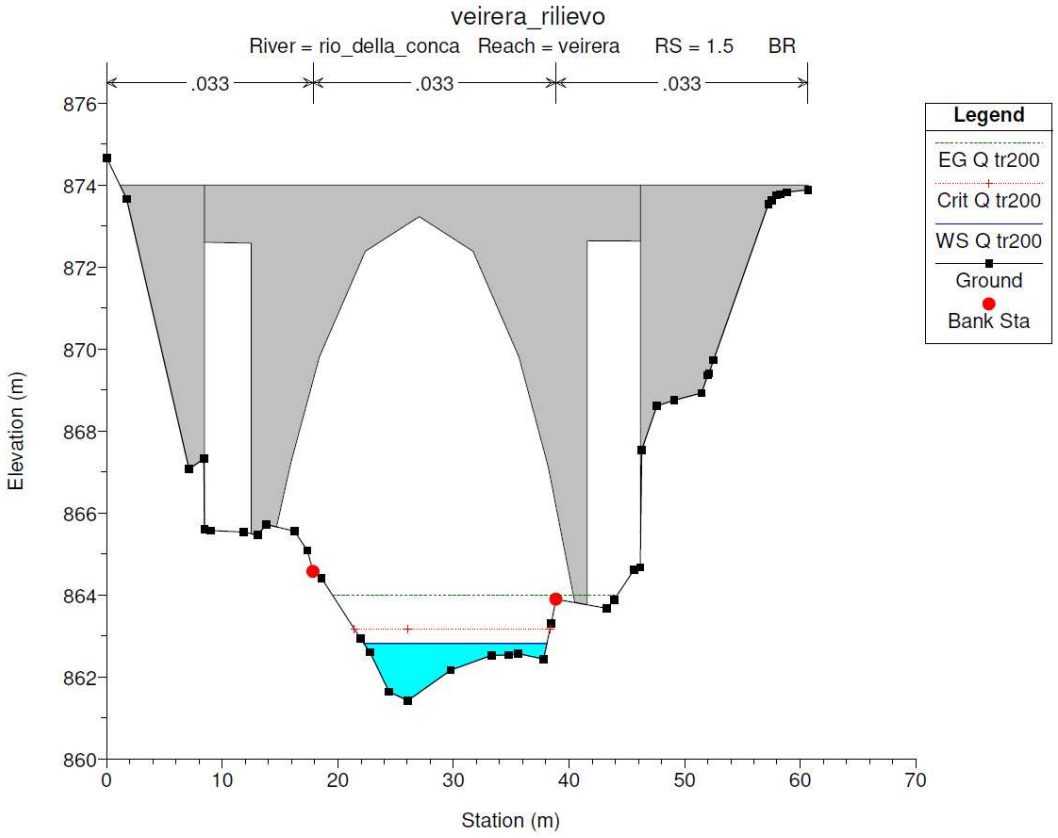

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 5 sezione I
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
865
864
0
5
10
15
20
25
30
35
40

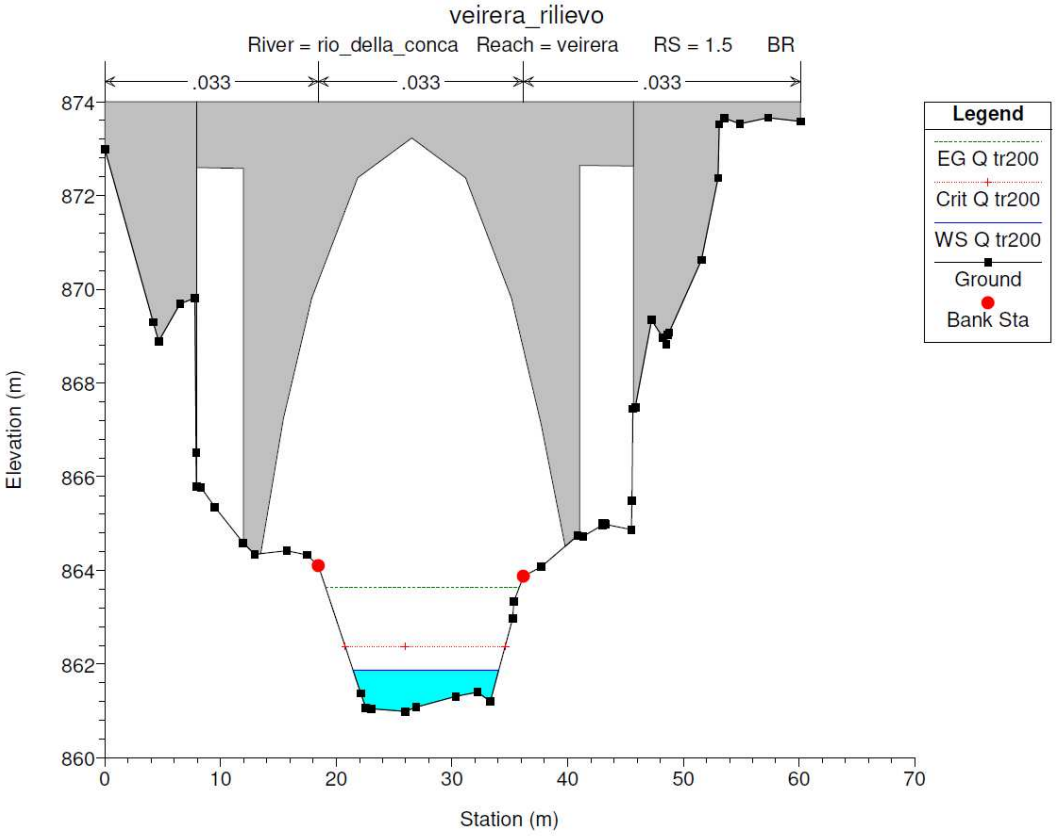

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 4 sezione L
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
865
864
863
0
10
20
30
40
50

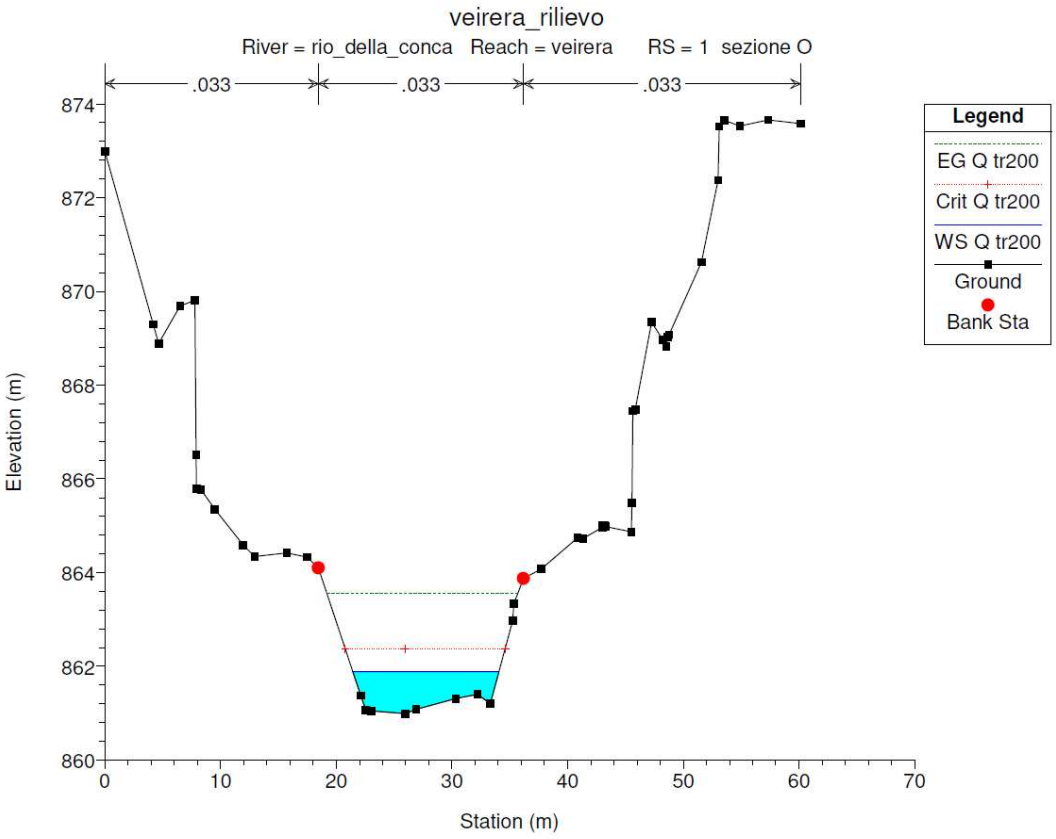

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 3 sezione M
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
868
867
866
865
864
863
862
0
10
20
30
40

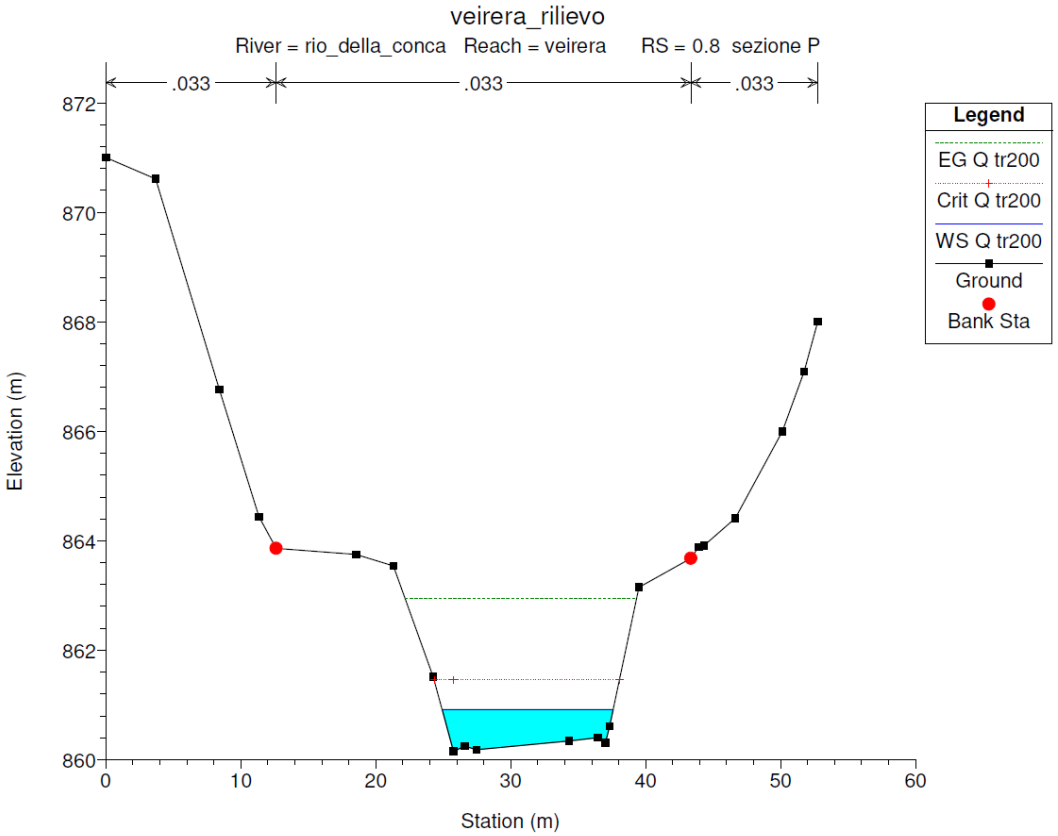

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2 sezione N
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.8
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.5 BR
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.5 BR
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70

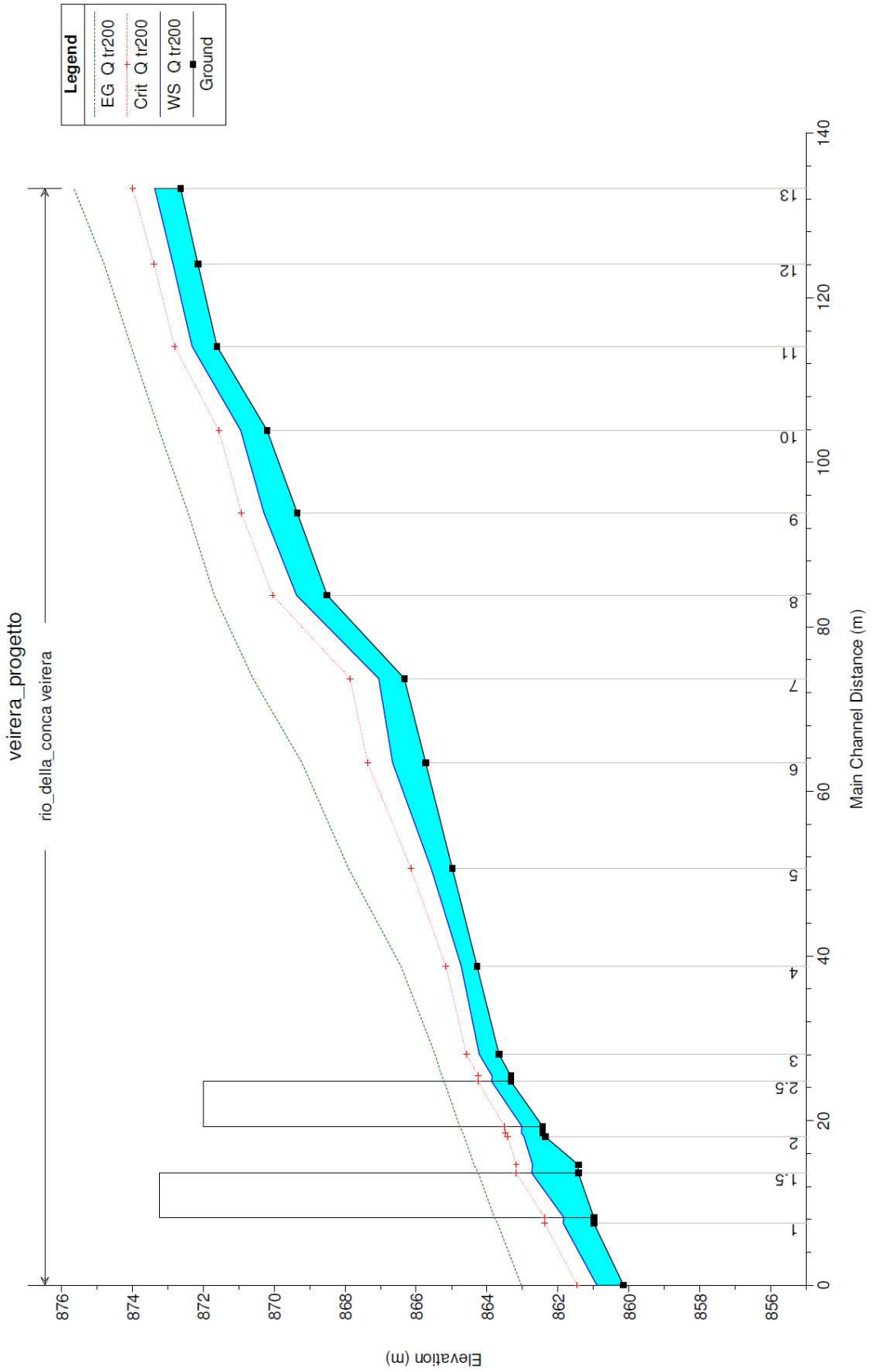

veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1 sezione O
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_rilievo
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 0.8 sezione P
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60

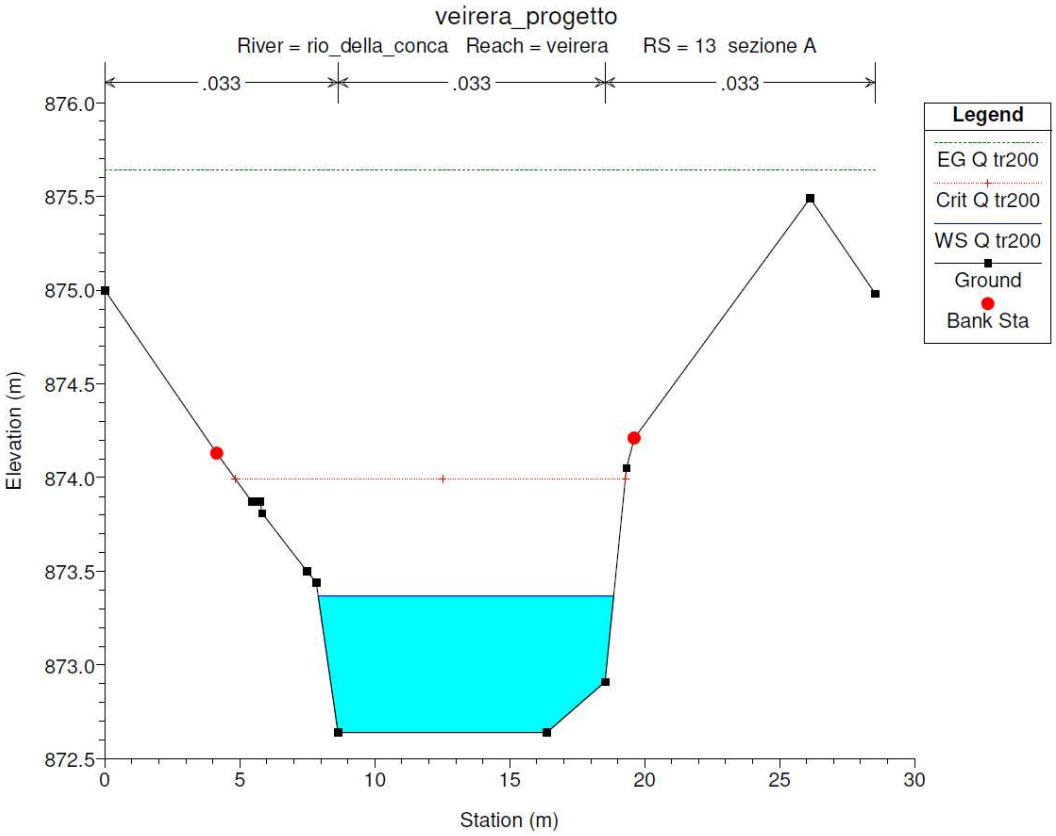
Risultati simulazione TR = 200 anni – Stato di progetto

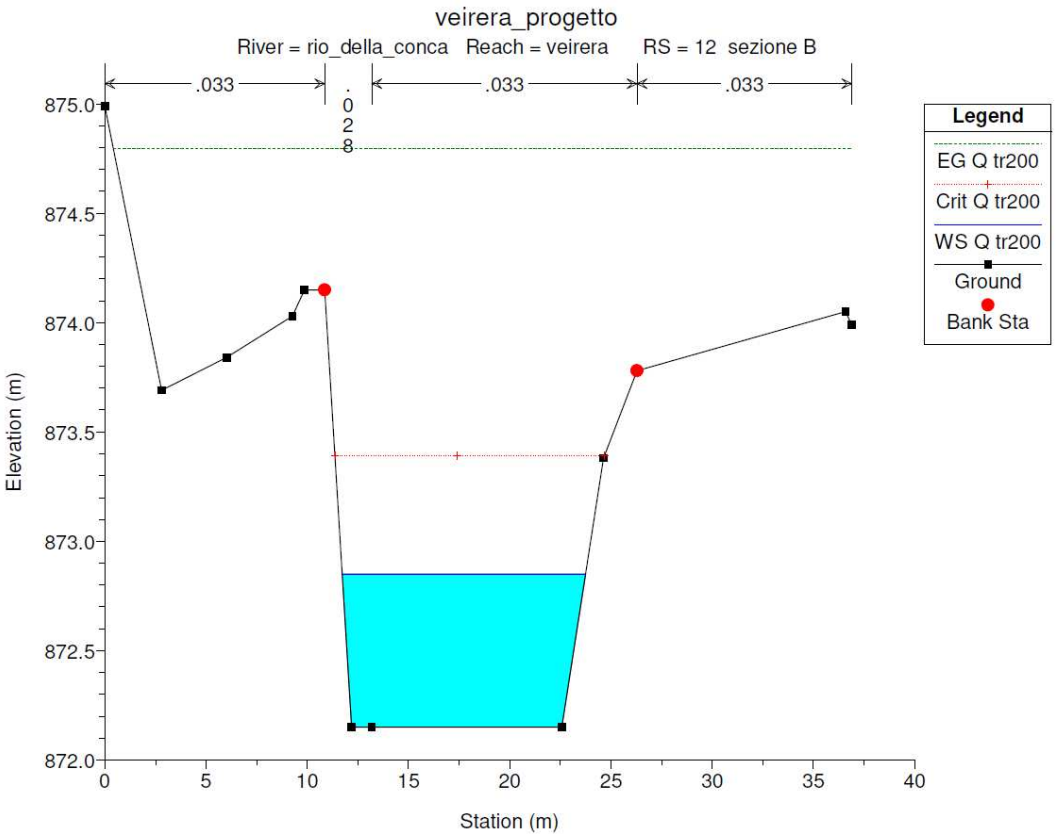
Reach	River Station	Profile	Q Total (m^3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m^2)	Top Width (m)	Froude # Chl
veirera	13	Q tr200	48.5	872.64	873.37	873.99	875.64	0.0897	6.68	7.26	10.95	2.62
veirera	12	Q tr200	48.5	872.15	872.85	873.39	874.80	0.0747	6.18	7.85	12.03	2.44
veirera	11	Q tr200	48.5	871.61	872.32	872.81	874.04	0.0640	5.80	8.36	12.49	2.26
veirera	10	Q tr200	48.5	870.20	870.95	871.56	873.24	0.0813	6.71	7.23	10.28	2.55
veirera	9	Q tr200	48.5	869.35	870.29	870.93	872.43	0.0726	6.48	7.49	9.73	2.36
veirera	8	Q tr200	48.5	868.51	869.37	870.05	871.69	0.0712	6.74	7.19	9.03	2.41
veirera	7	Q tr200	48.5	866.33	867.05	867.86	870.60	0.1348	8.34	5.82	8.75	3.27
veirera	6	Q tr200	48.5	865.73	866.66	867.36	869.22	0.0858	7.08	6.85	9.38	2.64
veirera	5	Q tr200	48.5	864.98	865.57	866.15	867.91	0.1105	6.77	7.17	12.92	2.90
veirera	4	Q tr200	48.5	864.28	864.73	865.16	866.43	0.1062	5.77	8.40	19.00	2.77
veirera	3	Q tr200	48.5	863.66	864.22	864.58	865.47	0.0589	4.95	9.81	17.90	2.13
veirera	2.8	Q tr200	48.5	863.33	863.86	864.25	865.27	0.0727	5.28	9.19	17.86	2.35
veirera	2.5	**PONTE IN PROGETTO**										
veirera	2.1	Q tr200	48.5	862.43	863.03	863.49	864.68	0.0713	5.69	8.52	14.56	2.38
veirera	2	Q tr200	48.5	862.36	862.96	863.42	864.64	0.0738	5.75	8.43	14.55	2.41
veirera	1.8	Q tr200	48.5	861.43	862.72	863.17	864.37	0.0817	5.69	8.53	15.51	2.45
veirera	1.5	***PONTE ESISTENTE***										
veirera	1	Q tr200	48.5	860.99	861.85	862.37	863.7	0.0756	6.02	8.05	12.55	2.40
veirera	0.8	Q tr200	48.5	860.15	860.9	861.46	863.03	0.0969	6.47	7.50	12.65	2.68

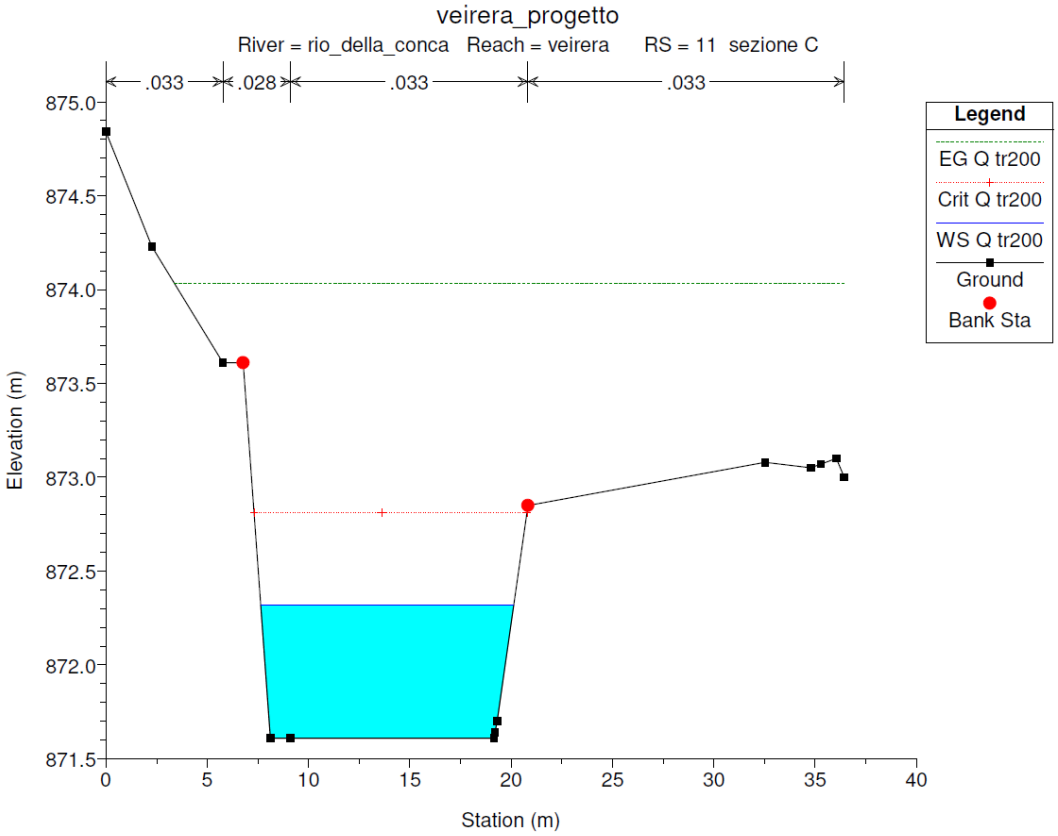
Profilo simulazione TR = 200 anni – Stato di progetto

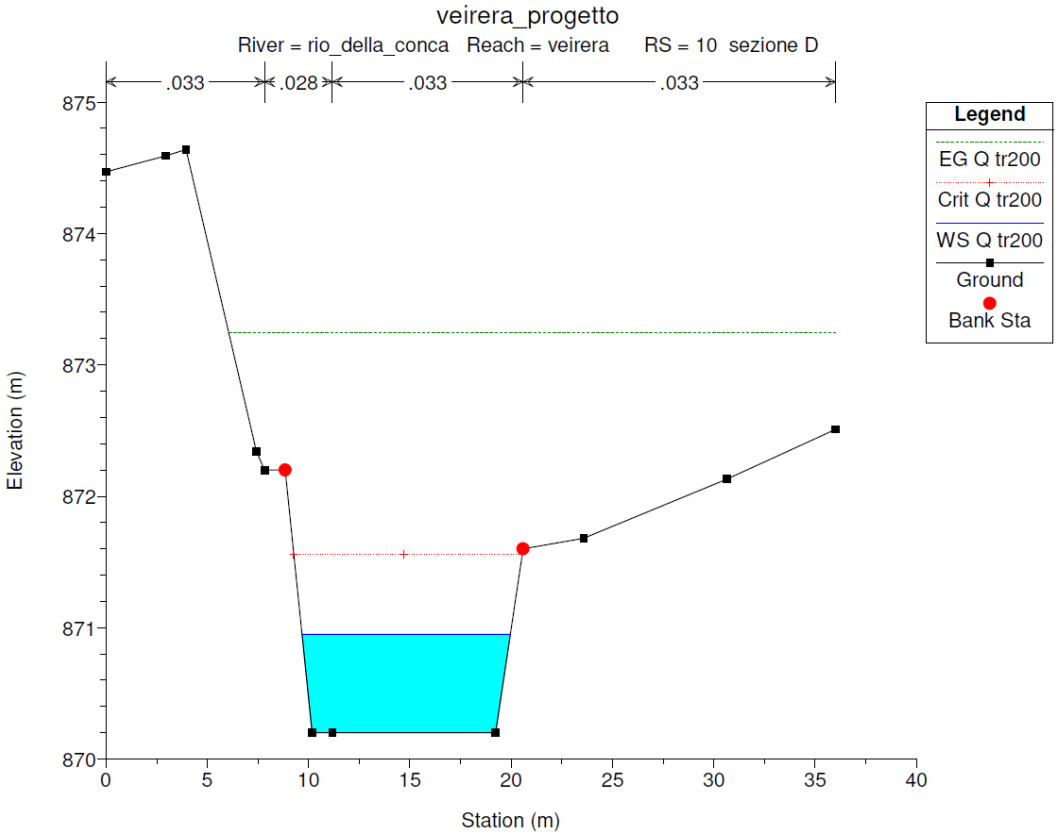


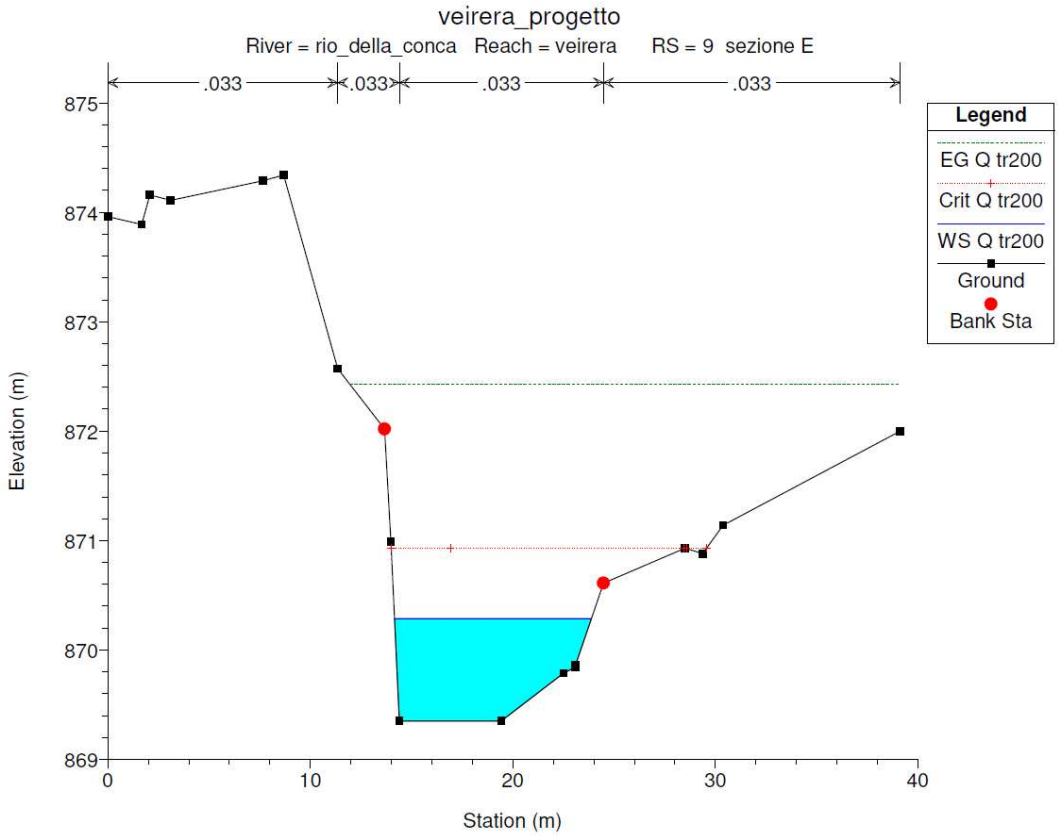
Sezioni simulazione TR = 200 anni - Stato di progetto

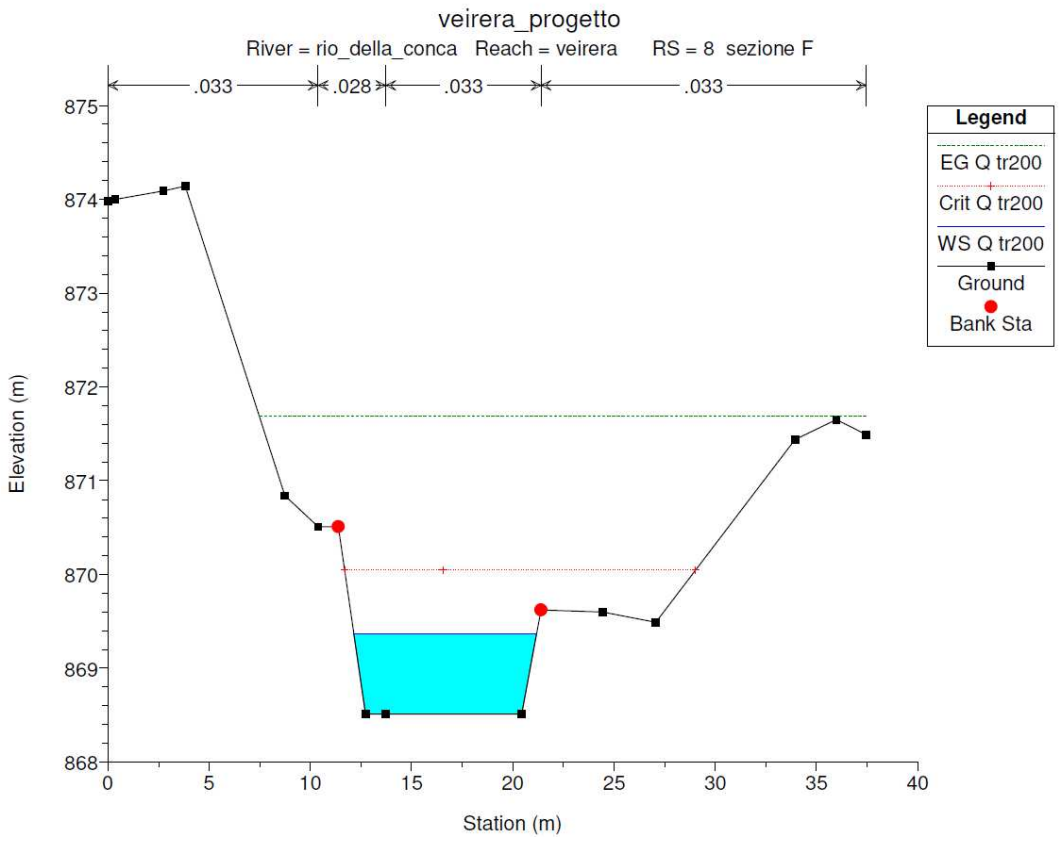


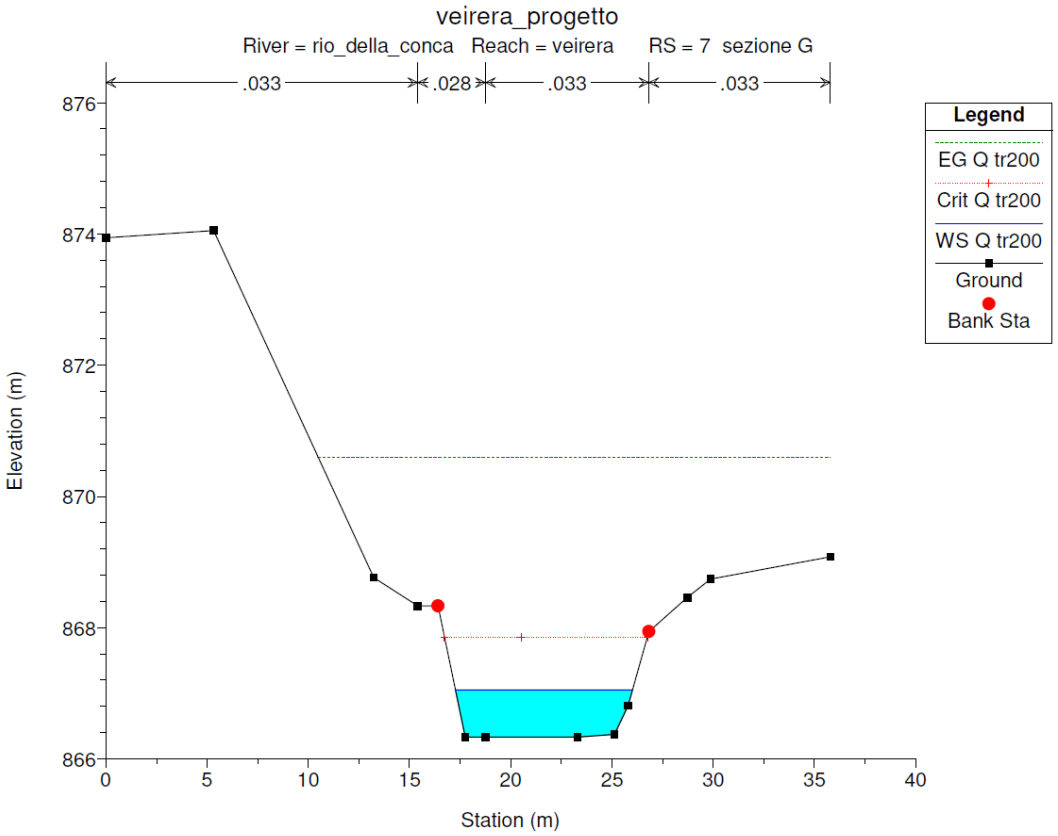


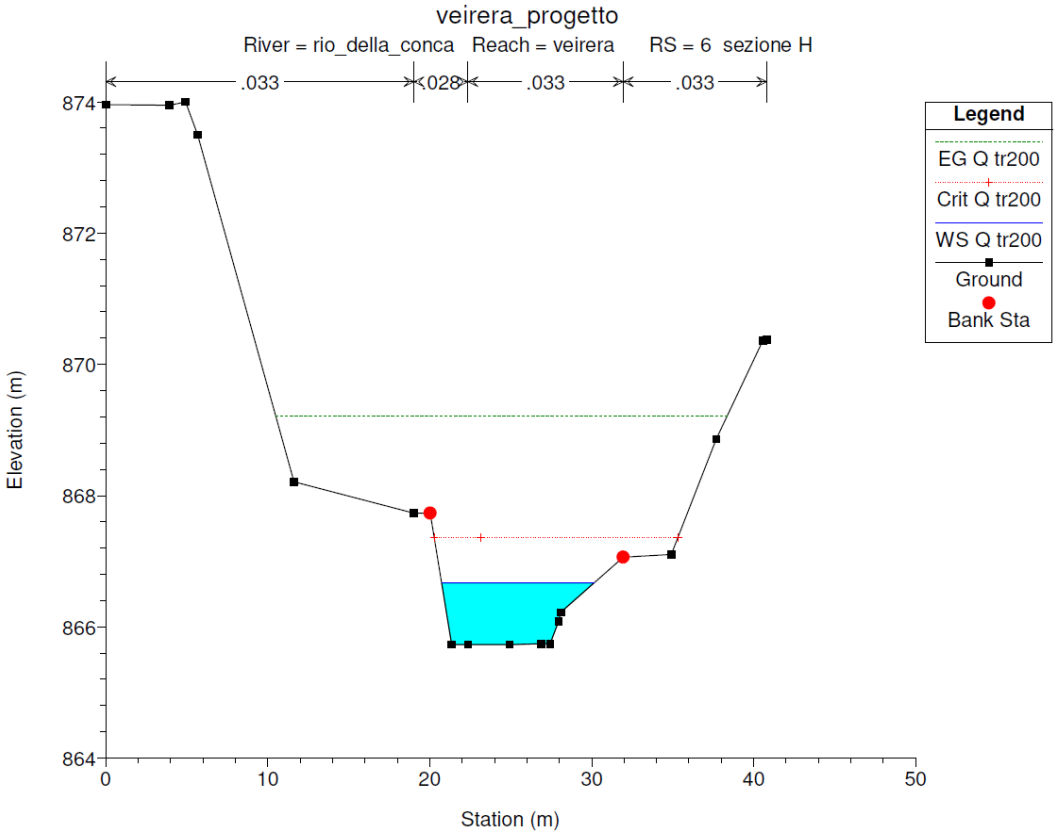

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 11 sezione C
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875.0
874.5
874.0
873.5
873.0
872.5
872.0
871.5
0
5
10
15
20
25
30
35
40

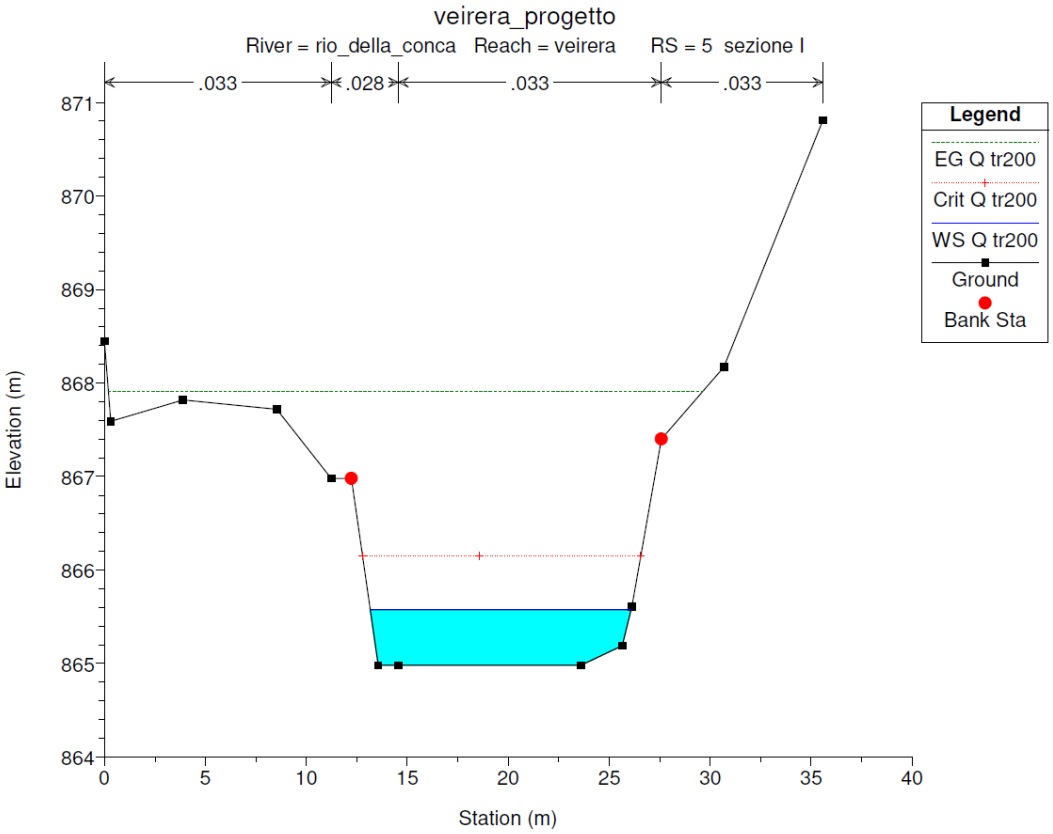

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 10 sezione D
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875
874
873
872
871
870
0
5
10
15
20
25
30
35
40

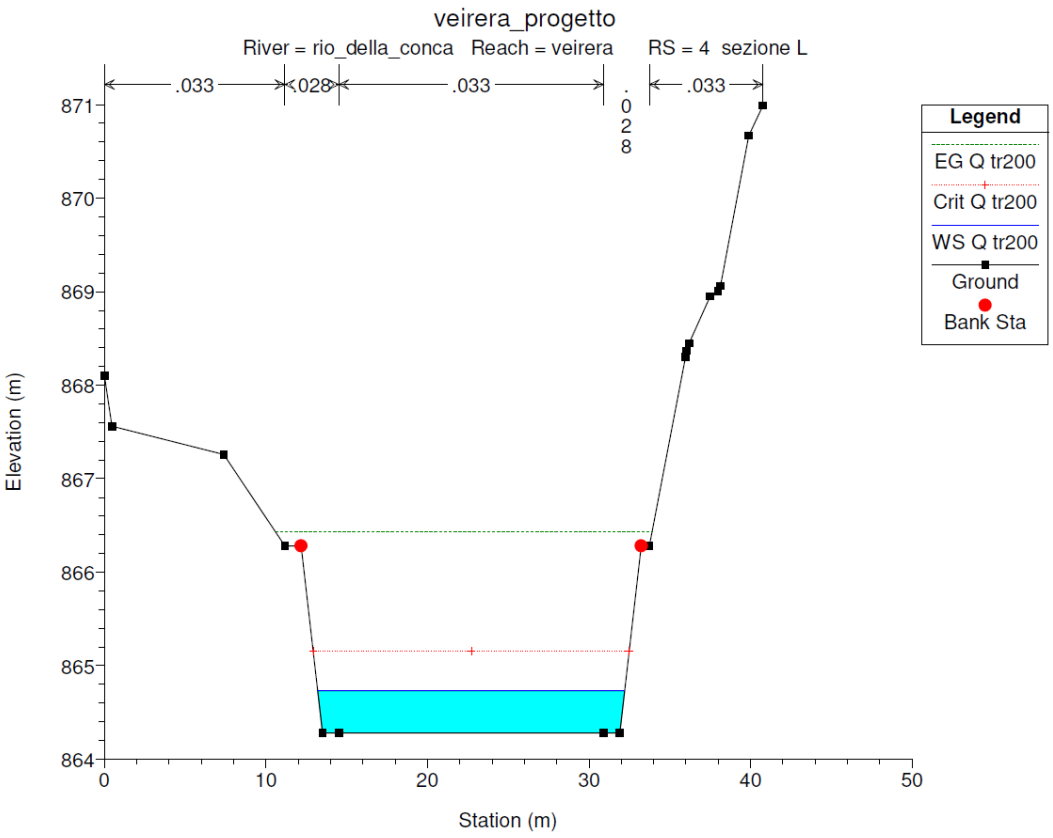

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 9 sezione E
.033
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875
874
873
872
871
870
869
0
10
20
30
40

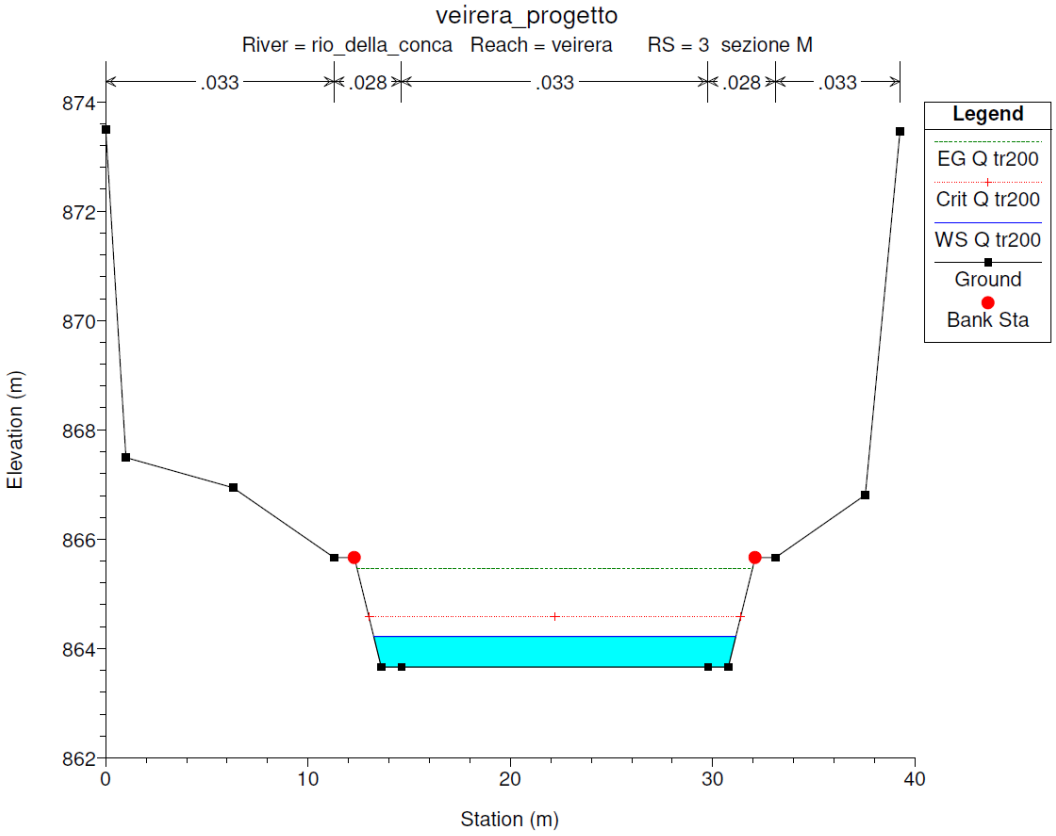

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 8 sezione F
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
875
874
873
872
871
870
869
868
0
5
10
15
20
25
30
35
40

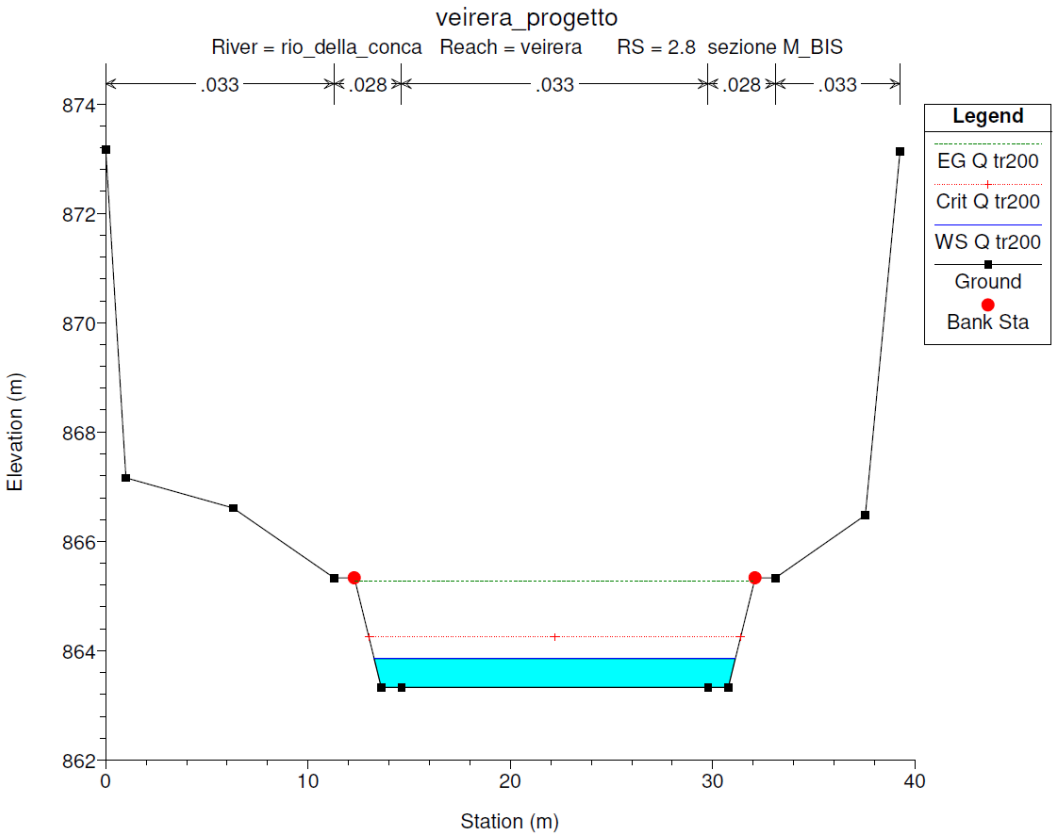

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 7 sezione G
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
0
5
10
15
20
25
30
35
40

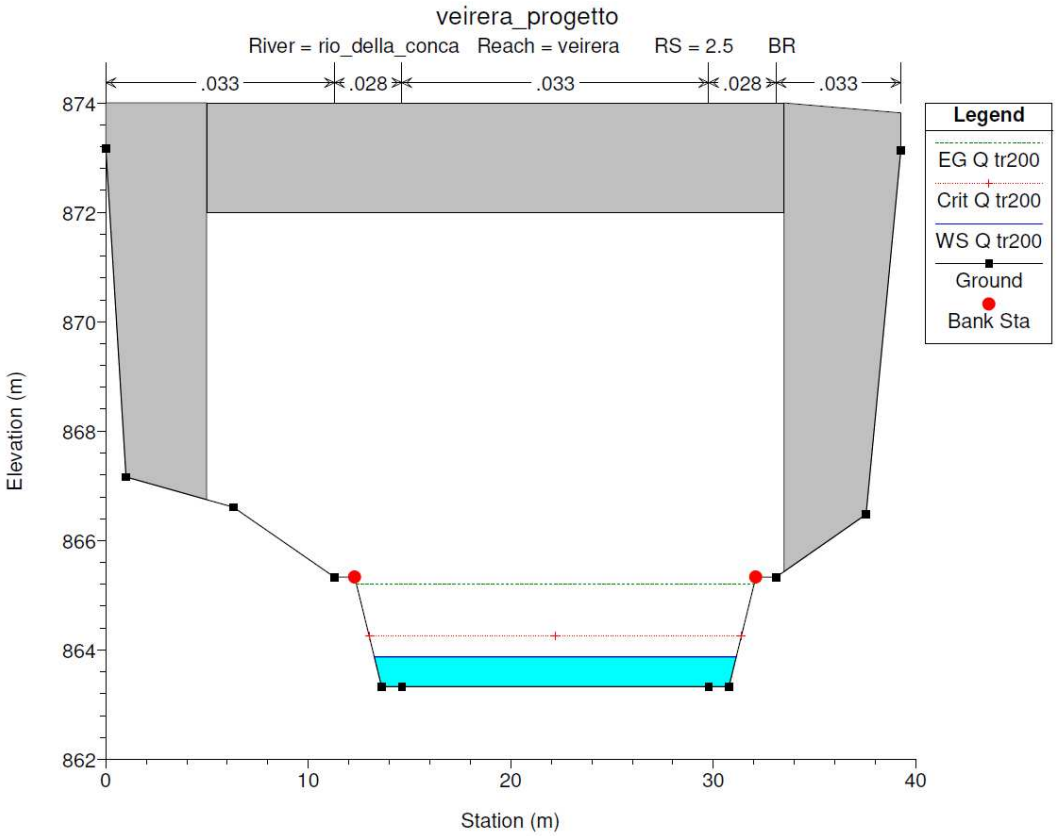

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 6 sezione H
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
0
10
20
30
40
50

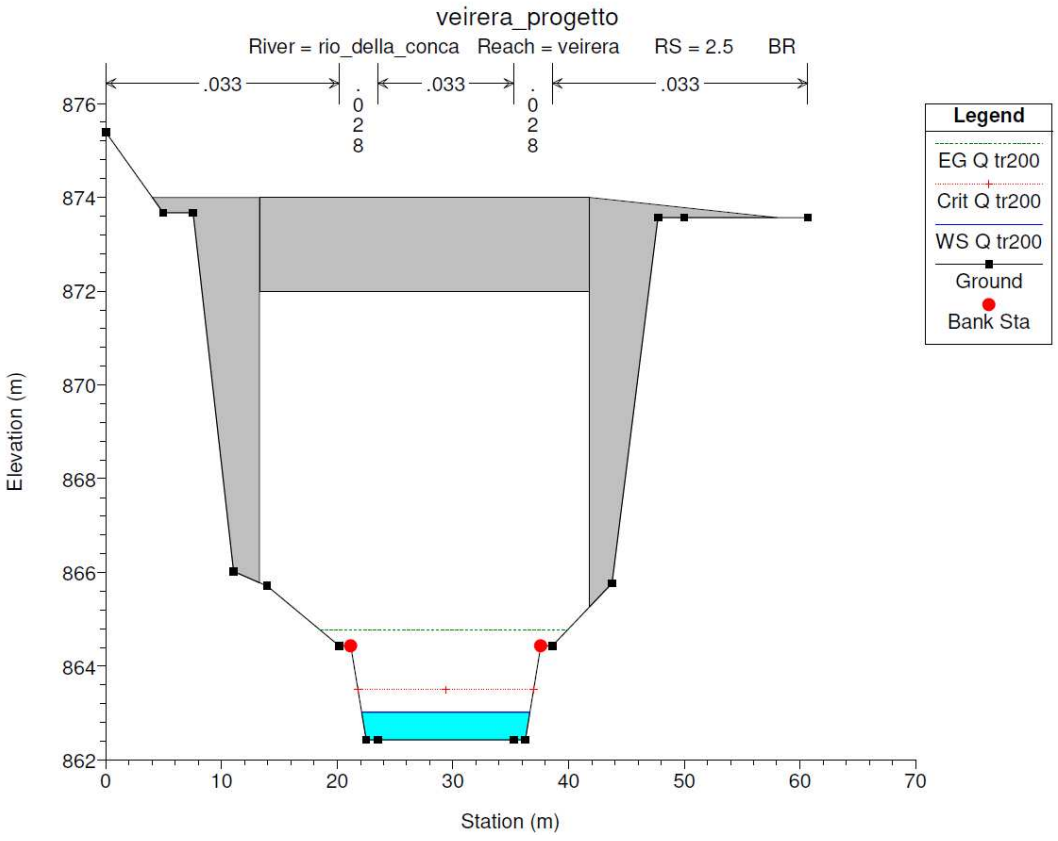

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 5 sezione I
.033
.028
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
865
864
0
5
10
15
20
25
30
35
40

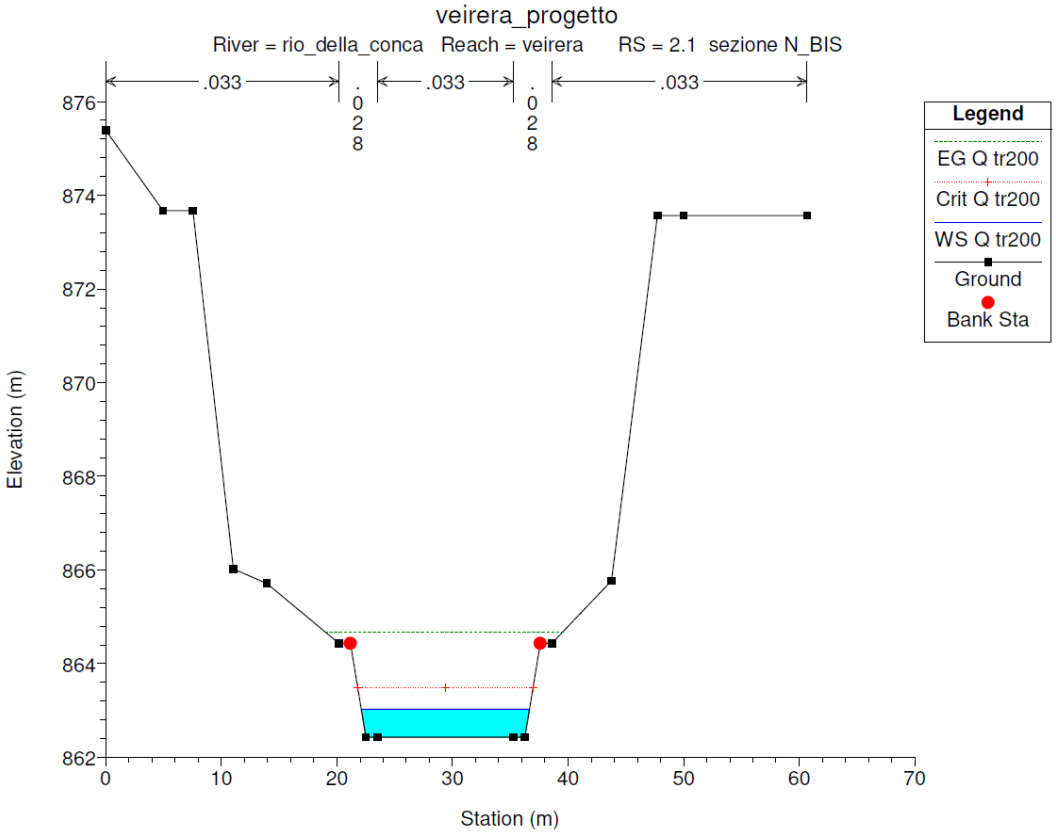

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 4 sezione L
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
871
870
869
868
867
866
865
864
0
10
20
30
40
50

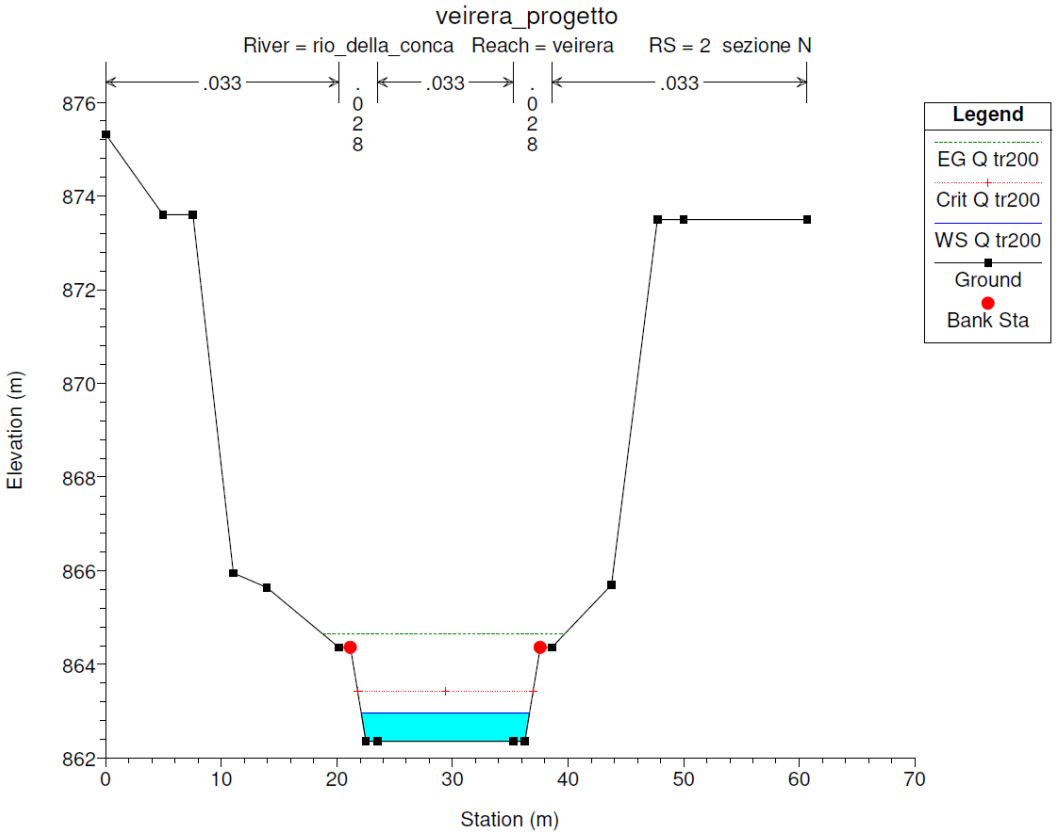

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 3 sezione M
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
0
10
20
30
40

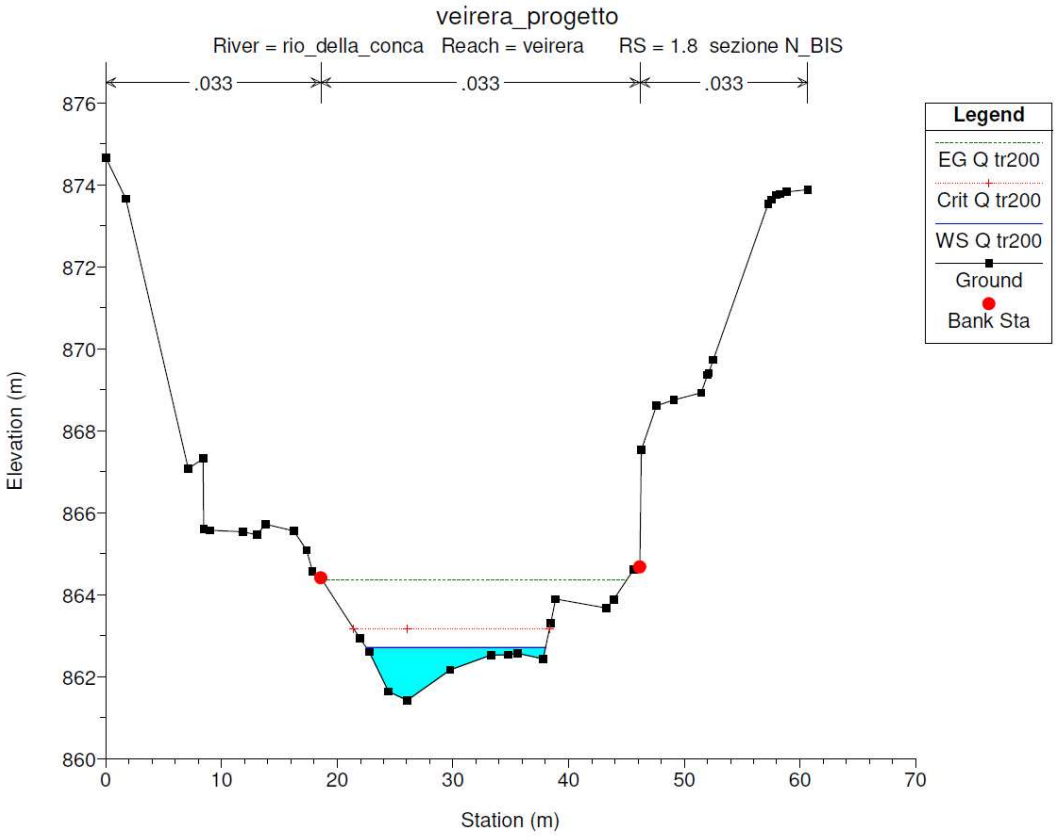

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2.8 sezione M_BIS
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
0
10
20
30
40

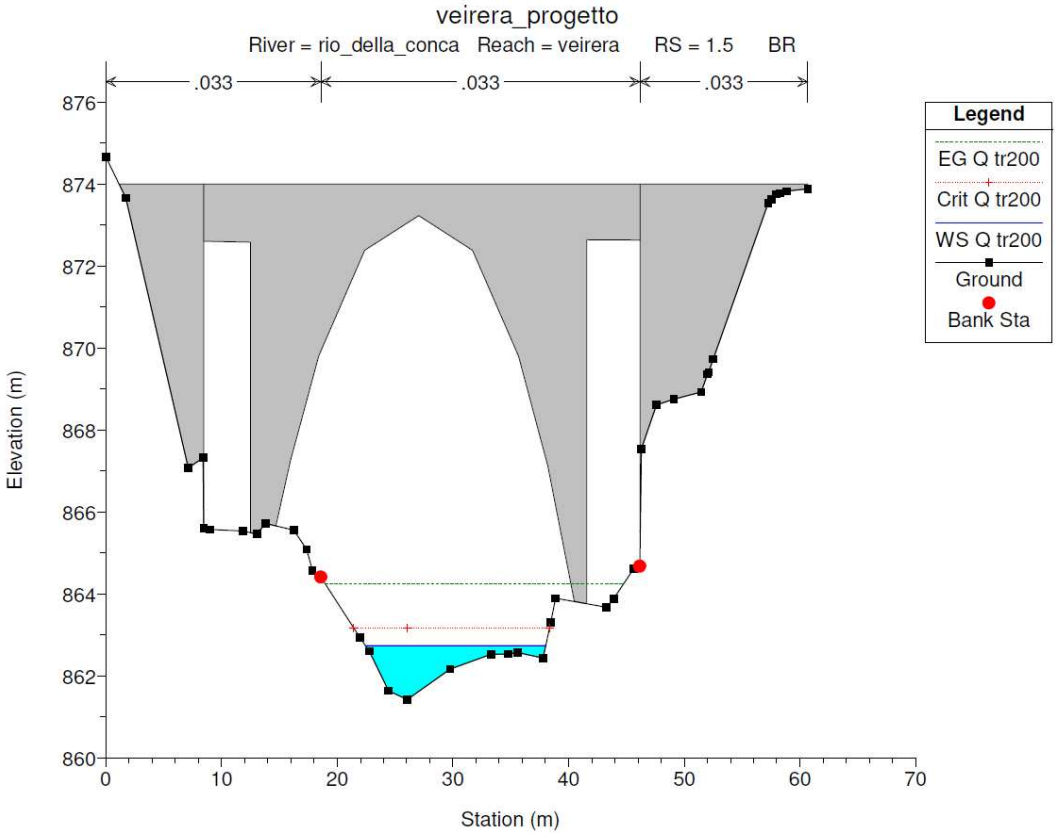

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2.5 BR
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
0
10
20
30
40

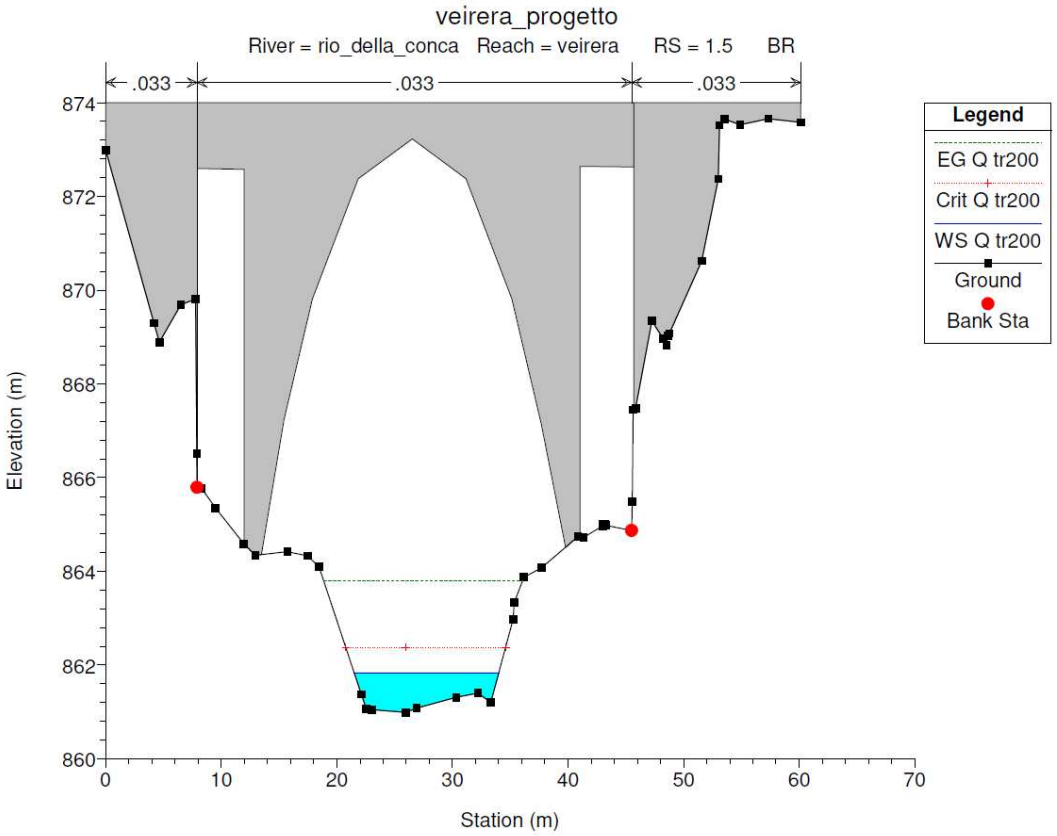

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2.5 BR
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
0
10
20
30
40
50
60
70

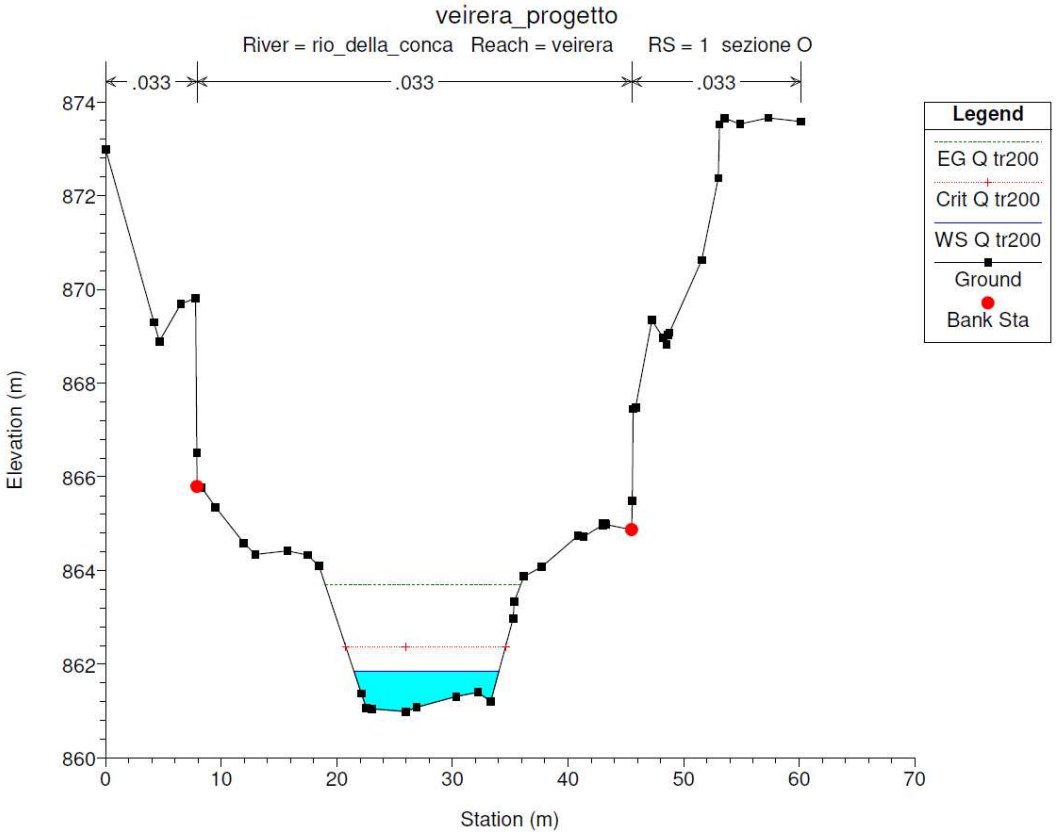

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2.1 sezione N_BIS
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
862
864
866
868
870
872
874
876
0
10
20
30
40
50
60
70

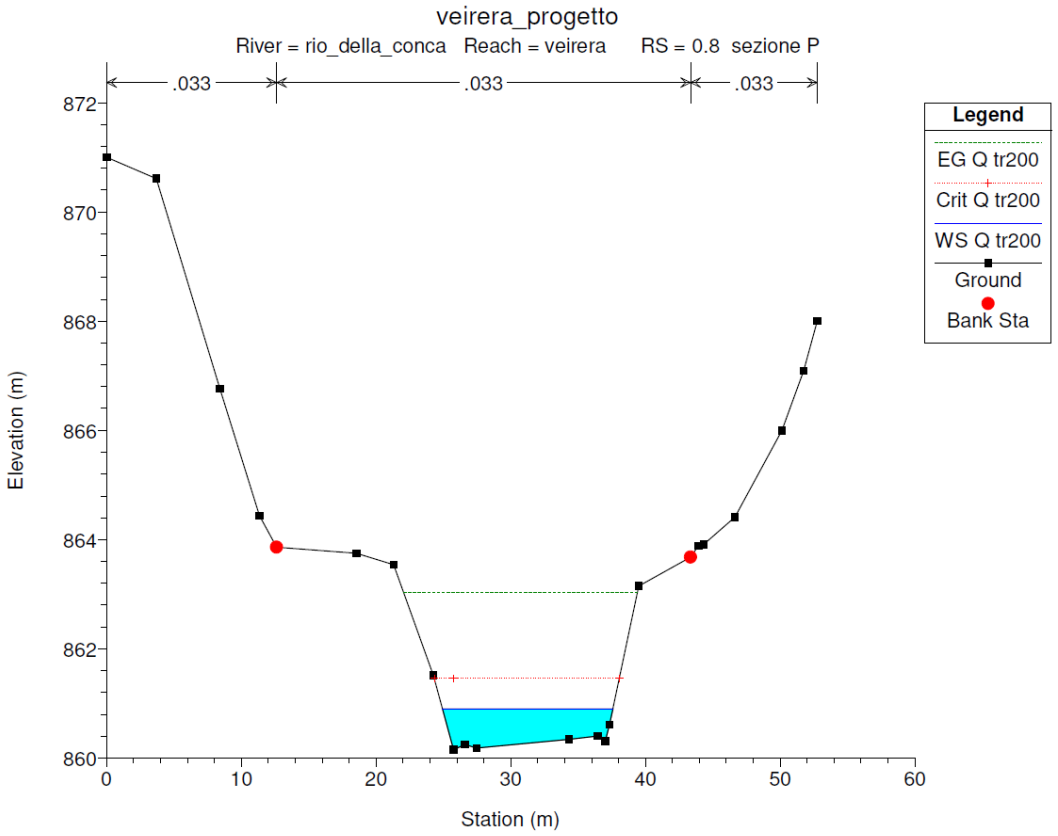

veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 2 sezione N
.033
.028
.033
.028
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
862
864
866
868
870
872
874
876
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.8 sezione N_BIS
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.5 BR
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
876
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1.5 BR
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 1 sezione O
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
874
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60
70


veirera_progetto
River = rio_della_conca Reach = veirera RS = 0.8 sezione P
.033
.033
.033
Legend
EG Q tr200
Crit Q tr200
WS Q tr200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
872
870
868
866
864
862
860
0
10
20
30
40
50
60