Comune
GENOVA
Provincia
GENOVA

Titolo del progetto

AMMODERNAMENTO IMPIANTO DI POTABILIZZAZIONE ISOVERDE
Condotta adduttrice Lavezze - Isoverde

Livello di progettazione	Settore di business	Disciplina
D	I1	GEN

Numero	Titolo	Scala
RT-005	**INTEGRAZIONE SCREENING AMBIENTALE**	

ID Progetto	Titolo sintetico	Codifica WBS
2016GESI0007-00	2016GESI0007-00-D-I1-GEN-RT-005-00	C10I1-L072-03-0194

00	21/12/2020	Emissione	ITEC engineering	AS-CC-MC	CC
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

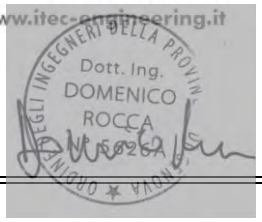
Redatto:	Verificato	Approvato
Pietro Misurale Domenico Rocca	Andrea Serafini Christian Cagnes Michele Callegari	Claudio Casale

Funzione Ingegneria e Realizzazioni
IRETI.S.p.A. - Società con socio unico IREN S.p.A.
Sottoposta a direzione e coordinamento di IREN S.p.A.
Sede legale : Via Piacenza, 54 – 16138 Genova
Cod. fisc. E P.IVA n° 01791490343 pec: ireti@pec.ireti.it

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it





INDICE

1 PREMESSA 2

2 RISPOSTE E INTEGRAZIONI 3

2.1 COMPONENTE IDROGEOLOGIA 3
2.1.1 Elaborati grafici 3
2.1.2 Studio idraulico 5
2.1.3 Geologia 9
2.2 COMPONENTE ACQUA 10
2.3 COMPONENTE ECOLOGIA 11
2.3.1 Cronoprogramma 11
2.3.2 Caratterizzazione e gestione terre e rocce da scavo 12
2.3.3 Rumore 12

Allegati:

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche rio Tinelle

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo HecRas 4.1

1 PREMESSA

In relazione al contesto ambientale di pregio e al tipo di intervento che interessa opere facenti parte della centrale idroelettrica di Isoverde, caratterizzata da una potenza superiore a 100 kW, ai sensi dell'Allegato IV alla Parte II del D.Lgs. 152/2006 il 18 febbraio 2020 IREN Acqua S.p.A. ha presentato domanda alla Regione Liguria per la verifica di assoggettabilità a VIA (screening ambientale), corredata da apposita relazione e relativi allegati ambientali.

Nell'ambito di tale iter procedurale la Regione Liguria ha inviato tramite PEC (Prot. ME004417-2020 A del 09-12-2020) una lettera con richiesta di alcune integrazioni.

Le integrazioni riguardano:

- componente idrogeologia: la definizione di maggior dettaglio delle opere in progetto e del loro tracciato, la verifica idraulica del rio Tinelle in corrispondenza dell'attraversamento della nuova condotta, la valutazione della fattibilità dell'intervento sotto il profilo geologico;
- componente acqua: richiesta di chiarimenti sul mantenimento della portata di derivazione;
- componente ecololgia: cronoprogramma dei lavori, caratterizzazione dei materiali di scavo e loro gestione, individuazione dei possibili ricettori della componente rumore nell'area di intervento;
- compilazione della "Scheda screening" (Modello F).

La presente relazione contiene le risposte e i chiarimenti relativi alle richieste di integrazione.

Oltre all'Allegato A (Verifiche idrauliche del rio Tinelle) alla presente relazione sono allegati i seguenti documenti:

- ***Elaborati grafici:***
  2016GESI0007-00-D-I1-GEN-EG-018-00
  2016GESI0007-00-D-I1-IDR-EG-023-00
- ***Relazione geologica***
  2016GESI0007-00-D-I1-GEO-RT-006-00
- ***Relazione sulla caratterizzazione e gestione terre e rocce da scavo***
  2016GESI0007-00-D-I1-GEO-RT-007-00
- ***Scheda Screening - Modello F***

2 RISPOSTE E INTEGRAZIONI

2.1 COMPONENTE IDROGEOLOGIA

2.1.1 Elaborati grafici

a) Elaborati grafici minimi atti a individuare le opere a progetto ed il loto tracciato, in particolare in relazione all'attraversamento del Rio Tinelle;

Allegati alla presente relazione sono riportati la planimetria e il profilo della condotta con l'indicazione delle opere in progetto.

In corrispondenza del rio Tinelle sono presenti allo stato attuale due manufatti di attraversamento: il primo è la passerella portatubi che regge la condotta esistente, il secondo è un ponte carrabile della strada di accesso alle case sparse poco più in alto.

La passerella è una struttura metallica, di lunghezza 12 m, larghezza 3 m, spessore 0.5 m e luce libera tra fondo alveo e intradosso di 4 m circa.

Il ponte carrabile è una struttura ad arco in muratura, di lunghezza 10 m, larghezza 3.5 m, luce libera tra fondo alveo e intradosso di 5.3 m circa.

La nuova passerella portatubi necessaria per il sostegno della nuova condotta in progetto verrà posizionata a valle di tali attraversamenti; essa è costituita da una struttura metallica reticolare di lunghezza 22 m circa, larghezza 2.0 m, luce libera in mezzeria tra fondo alveo e intradosso pari a circa 6 m.

L'intradosso della passerella rimane in ombra alla volta del ponte ad arco di monte e superiore alla quota della passerella esistente a monte.

Nelle figure seguenti è riportata una planimetria ed una sezione del nuovo manufatto di attraversamento della condotta di progetto con l'indicazione del ponte carrabile ubicato immediatamente a monte.

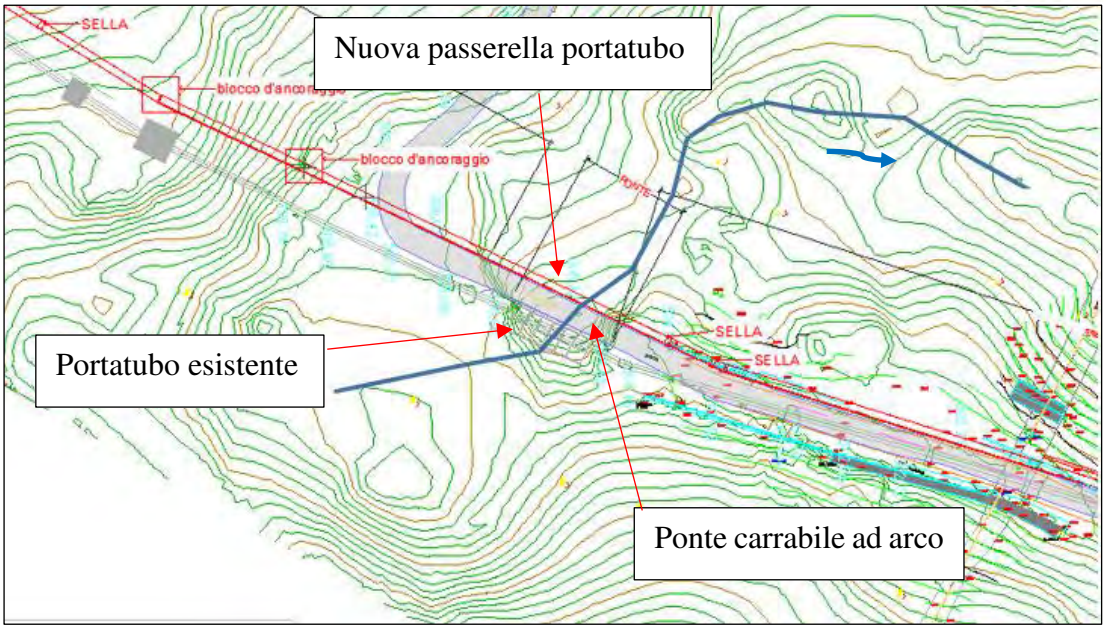


Figura 1: Planimetria tratto di attraversamento rio Tinelle

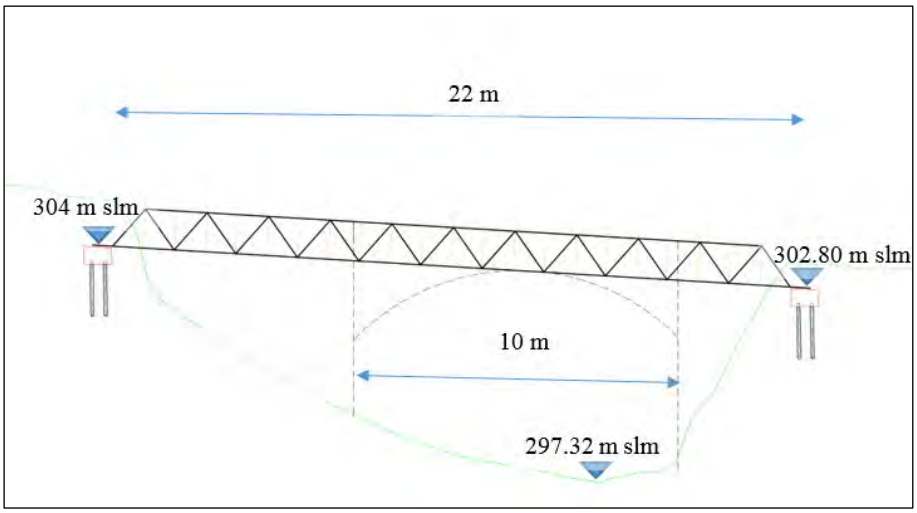


Figura 2: Sezione longitudinale passerella portatubo per attraversamento rio Tinelle

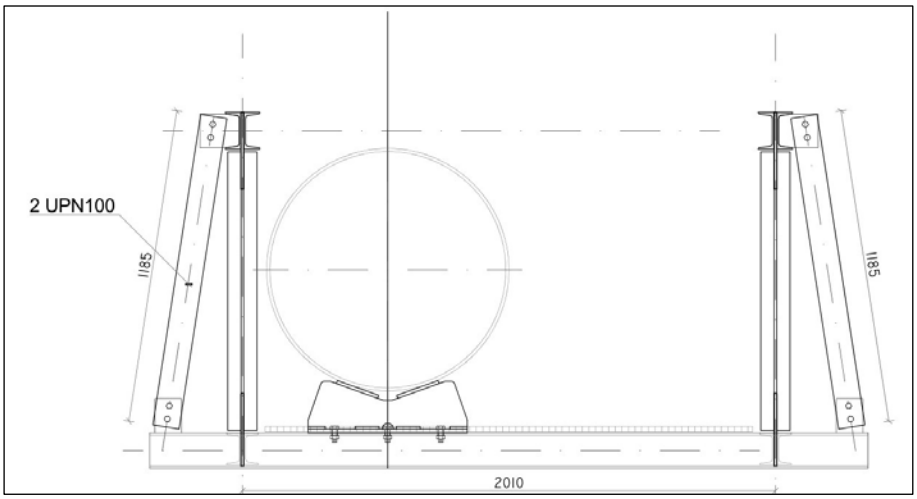


Figura 3: Sezione trasversale passerella portatubo per attraversamento rio Tinelle

2.1.2 Studio idraulico

b) studio idraulico di un tratto significativo del corso d'acqua in esame, conformemente a quanto indicato dalla normativa vigente (regolamento regionale n. 3/2011 e Piano di Bacino T. Polcevera)

Descrizione

La condotta attraversa il rio Tinelle poco a monte della sua confluenza nel rio Gallaneto, nella parte montana del bacino del torrente Verde che fa parte del più ampio bacino del torrente Polcevera.

Nella figura seguente è riportato il bacino del rio Tinelle chiuso alla confluenza nel rio Gallaneto (area 0.78 km^2, lunghezza asta principale circa 2.3 km, pendenza media 28%).

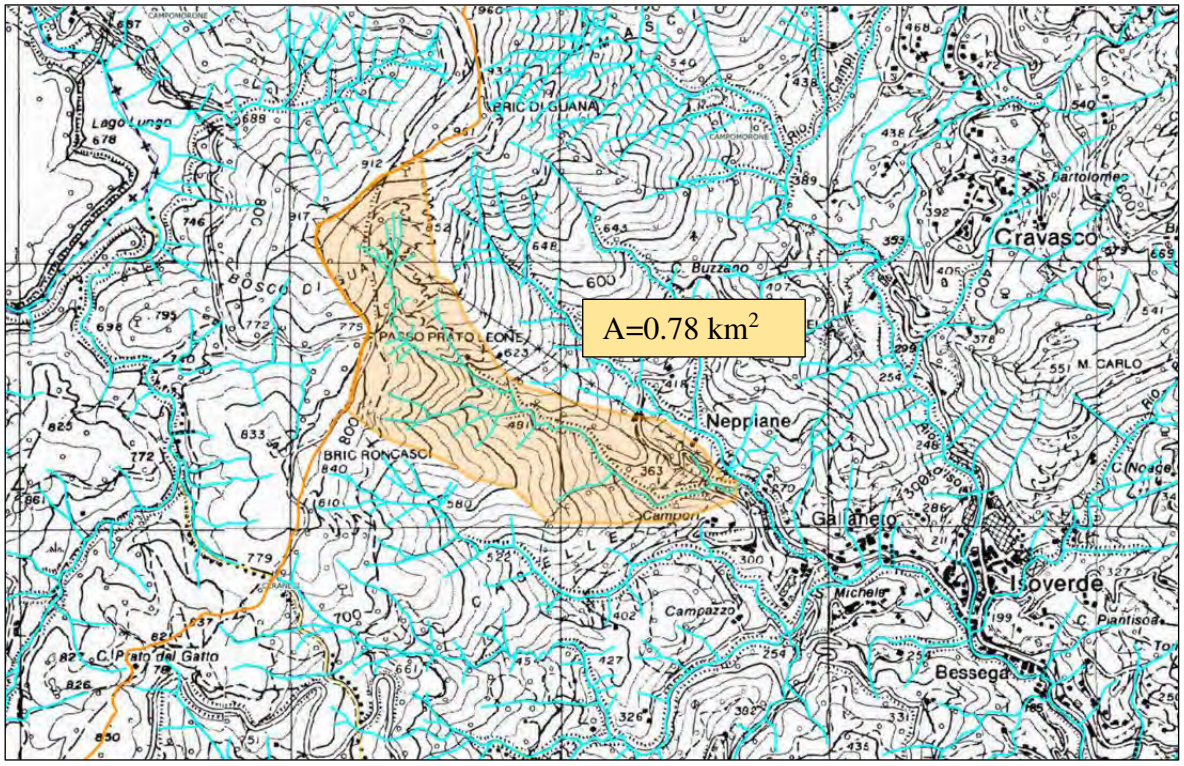


Figura 4: Corografia bacino rio Tinelle

L'attraversamento della nuova tubazione è ubicato circa 150 m a monte della confluenza nel rio Gallaneto.

In tale tratto il corso d'acqua scorre incassato sul substrato roccioso affiorante con sezioni di forma trapezia con larghezza al fondo di circa 5 m e sponde inclinate di 45 % circa.

La pendenza del fondo è del 10 % circa a valle dell'attraversamento e di oltre il 20% nel tratto a monte.

In corrispondenza dell'interferenza della nuova condotta con il rio Tinelle attualmente sono presenti due manufatti di attraversamento contigui:

- a monte una passerella portatubi in acciaio, di lunghezza 12 m, larghezza 3 m, spessore 0.5 m e luce libera tra fondo alveo e intradosso di 4 m circa;
- a valle un ponte carrabile ad arco in muratura, di lunghezza 10 m, larghezza 3.5 m, luce libera tra fondo alveo e intradosso di 5.3 m circa.

La nuova passerella portatubi necessaria per il sostegno della nuova condotta verrà posizionata a valle di tali attraversamenti; essa è costituita da una struttura metallica reticolare di lunghezza 22 m circa, larghezza 1.5 m, luce libera in mezzeria tra fondo alveo e intradosso pari a circa 6 m.

L'intradosso della passerella rimane in ombra alla volta del ponte ad arco di monte e superiore alla quota della passerella esistente a monte.

Aspetti normativi

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del torrente Polcevera[1] e dal Regolamento Regionale n° 3 del 14 luglio 2011 così come modificato dalla DGR n°181 del 11/03/2016[2], recante le disposizioni in materia di tutela delle acque di pertinenza dei corsi d'acqua.

Il Piano individua il rio Tinelle come corso d'acqua di secondo livello non indagato.

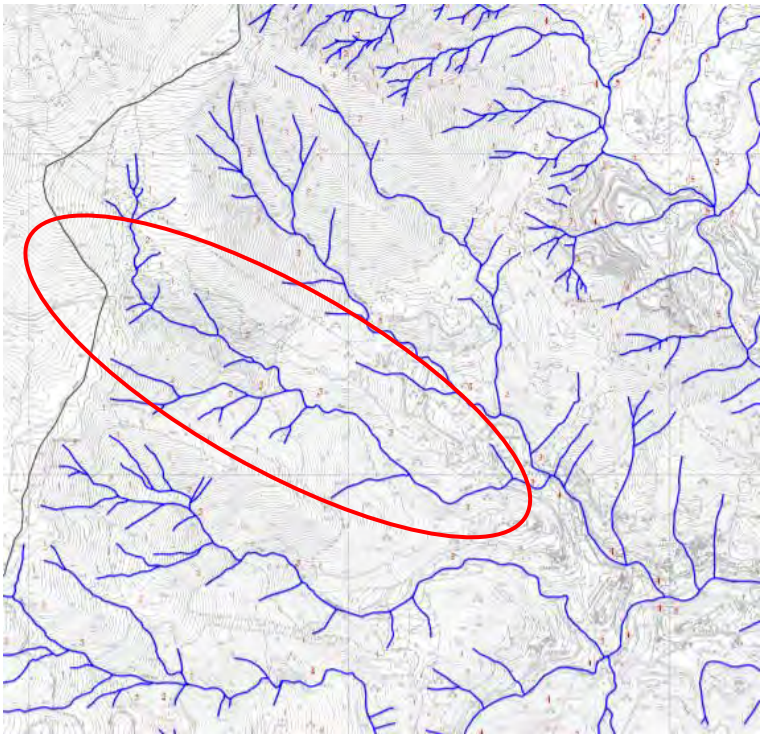


Figura 5: Estratto reticolo idrografico del PdB del t. Polcevera con evidenziato il rio Tinelle

[1] Approvato con D.C.P. n. 14 del 02/04/2003 – ultima variante approvata con D.D.G. n. 88 del 10/04/2017.

[2] ***Disposizioni in materia di tutela*** *delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua*, attuativo della DGR 1360/2010.

Per i corsi d'acqua con bacino inferiore a 2 km^2, laddove non risultino già calcolate in sezioni significative le portate di piena, la normativa di Piano prevede l'assunzione di una portata di progetto (200-ennale) ottenuta assumendo un valore del contributo unitario di 40 $m^3/s/km^2$.

Il Regolamento Regionale N° 3 del 14 Luglio 2011 e s.m. ridefinisce la significatività idraulica dei corsi d'acqua nella pianificazione di bacino e la relativa normativa associata.

In base a tale Regolamento il rio Tinelle rientra tra i corsi d'acqua del reticolo significativo definiti di secondo livello, per i quali è stabilita una fascia di inedificabilità assoluta dai limiti dell'alveo pari a 10 m.

Per tali corsi d'acqua il Regolamento stabilisce che i franchi idraulici minimi non devono essere inferiori al valore maggiore tra:

- Carico cinetico della corrente definito come $U^2/2g$, dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g l'accelerazione di gravità (m/s^2);
- I valori di seguito riportati:

I.	argini e difese spondali	cm 50/100
II.	ponti e similari sino a 10 m	cm100/150
III.	coperture o tombinature, ponti e similari oltre m 10	cm150/200

Per le opere di cui al punto III, nel caso di modesta rilevanza dell'opera stessa e di bacini sistemati, il franco può essere derogato dall'amministrazione competente a valori inferiori.

Il Regolamento fornisce inoltre le indicazioni per la scelta del coefficiente di scabrezza da utilizzare nelle verifiche idrauliche, che devono essere desunti dalla seguente tabella:

Descrizione	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corso d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella I

Metodologia di calcolo

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo ***Hec-Ras 5.0.7***[3] **.**

[3] HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

Il software consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

Portata di verifica e parametri di calcolo

la portata di verifica è quella risultante dall'assunzione del coefficiente udometrico q=40 m^3/s km^2 indicato dalle norme di attuazione del Piano di Bacino.
Nel caso in esame risulta quindi:

$Q=40 \cdot 0.78=31.2\ m^3/s$

Data la notevole pendenza del fondo e la naturalità del corso d'acqua, il profilo di rigurgito è stato integrato a favore di sicurezza per la sola corrente lenta da valle verso monte, con un coefficiente di scabrezza di Manning pari a 0.04.

Il tratto di verifica ha una lunghezza di circa 80 m a cavallo dell'attraversamento Le sezioni sono state

La geometria dell'alveo e dei manufatti interferenti è stata desunta dal rilievo topografico in 3D realizzato per il progetto, integrato con rilievo e misure locali di dettaglio.

Nel tratto in esame sono state individuate una serie di sezioni trasversali del corso d'acqua numerate in senso crescente da valle verso monte da 1 a 9.

Nella figura seguente è riportata l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo.

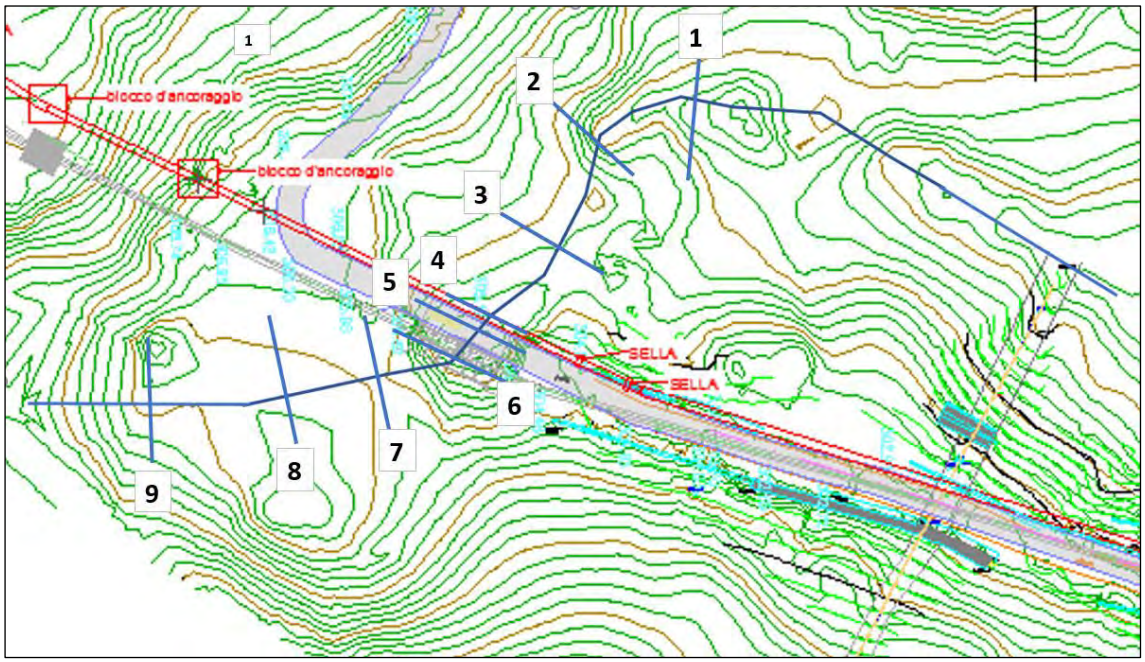


Figura 6

Risultati

Il deflusso della portata 200-ennale avviene in corrente critica (Fr=1) con altezze del pelo libero tra 1 m e 2 m circa, velocità intorno a 3 m/s circa.

Il franco rispetto alle quote di intradosso dei tre attraversamenti risulta variabile tra 2.54 m e 3.0 m per il primo (sez. 6.2), tra 2.14 m e 4.25 m per il ponte ad arco carrabile (sez. 5.2) e tra 4.13 m e 5.34 m per la nuova passerella portatubo (sez. 4.2).

Il carico totale è ampiamente contenuto al di sotto dei rispettivi impalcati.

In Allegato B alla presente relazione è riportata la planimetria con l'indicazione delle sezioni idrauliche, il profilo di rigurgito risultante dal calcolo, le sezioni di calcolo idraulico, la tabella numerica con i risultati della verifica.

2.1.3 Geologia

c) valutazione di massima della fattibilità dell'intervento sotto il profilo geologico, redatta da tecnico competente, per le opere ricadenti in area Pg3b.

Le valutazioni della fattibilità dell'opera sotto il profilo geologico sono riportate nella specifica relazione geologica a firma del Dott. Geol. Francesco Valle allegata alla presente relazione.

La relazione contiene uno specifico capitolo dedicato all'analisi delle aree in cui l'opera in progetto attraversa le zone a pericolosità Pg3b; in particolare sono state eseguite tutte le verifiche previste dall'Allegato 1 delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino del torrente Polcevera.

L'analisi effettuata consente di affermare che l'intervento nel suo complesso non determinerà un peggioramento delle condizioni di stabilità dei luoghi, ed anzi avrà ripercussioni positive sia in termini di stabilità del versante sia in termini di qualità ambientale.

Il tracciato scelto non risulta diversamente localizzabile; le soluzioni alternative ricercate interesserebbero comunque aree con tale grado di suscettibilità, risultando peggiorative rispetto a quella adottata.

2.2 COMPONENTE ACQUA

a) approfondimento relativo all'impianto di produzione idroelettrica nel suo complesso, corredato da dati di prelievo, livelli di invaso e produzione per l'intero sistema dei laghi del Gorzente, comprensiva di analisi idrologica e degli effetti ambientali della diversione di portata dal versante padano al versante tirrenico ed effetti di eventuali aumenti di portata.
b) valutazione dell'incremento di produzione idroelettrica che può essere ipotizzato in conseguenza delle minori perdite di carico e attriti, dovuti all'aumento del diametro della nuova condotta rispetto a quella in uso attualmente.
c) stato di valutazione dei rilasci (DE) per i tre invasi.

In merito a tale componente occorre precisare meglio il tipo e le finalità dell'intervento in progetto.

L'intervento interessa il sistema di derivazione di acqua ad uso prevalente idropotabile dei laghi del Gorzente (Badana, Lungo, Lavezze) a servizio di circa 200.000 abitanti, che viene addotta all'impianto di potabilizzazione di Isoverde mediante un canale in galleria che parte dal lago Lavezze e attraversa la dorsale appenninica, per proseguire in condotta sino all'impianto di Isoverde, sul versante tirrenico.

La condotta ha un carattere strategico sia per la produzione di energia da fonti rinnovabili, sia per l'approvvigionamento idropotabile di un bacino di utenza di circa 200.000 abitanti.

L'intervento consiste nella posa di una nuova condotta DN 900 in acciaio in sostituzione dell'attuale condotta DN 750 in acciaio che trasporta l'acqua dallo sbocco della galleria appenninica (a quota 620 m s.l.m.) sino all'impianto di potabilizzazione di Isoverde (270 m s.l.m.), e che risulta in condizioni di ammaloramento dovuto alla sua durata in servizio, pari ormai a circa un secolo.

L'intervento si configura quindi come manutenzione straordinaria di tale adduttrice.

La nuova condotta verrà posata accanto alla condotta esistente, per consentire l'alimentazione della centrale, e quindi dell'utenza idropotabile ad essa collegata, anche durante il periodo dei lavori; al termine degli stessi la condotta esistente verrà scollegata e messa fuori servizio.

Il maggiore diametro previsto per la nuova condotta implica a parità di portata derivata una minor velocità in condotta e quindi una maggiore stabilità e minore usura della stessa.

Non sono previsti interventi sulle turbine in centrale, che rimangono quindi quelle esistenti, senza alcuna modifica.

Non vengono modificati quindi in alcun modo i parametri della concessione in essere ed in particolare la portata di derivazione e la producibilità di energia definite in tale atto.

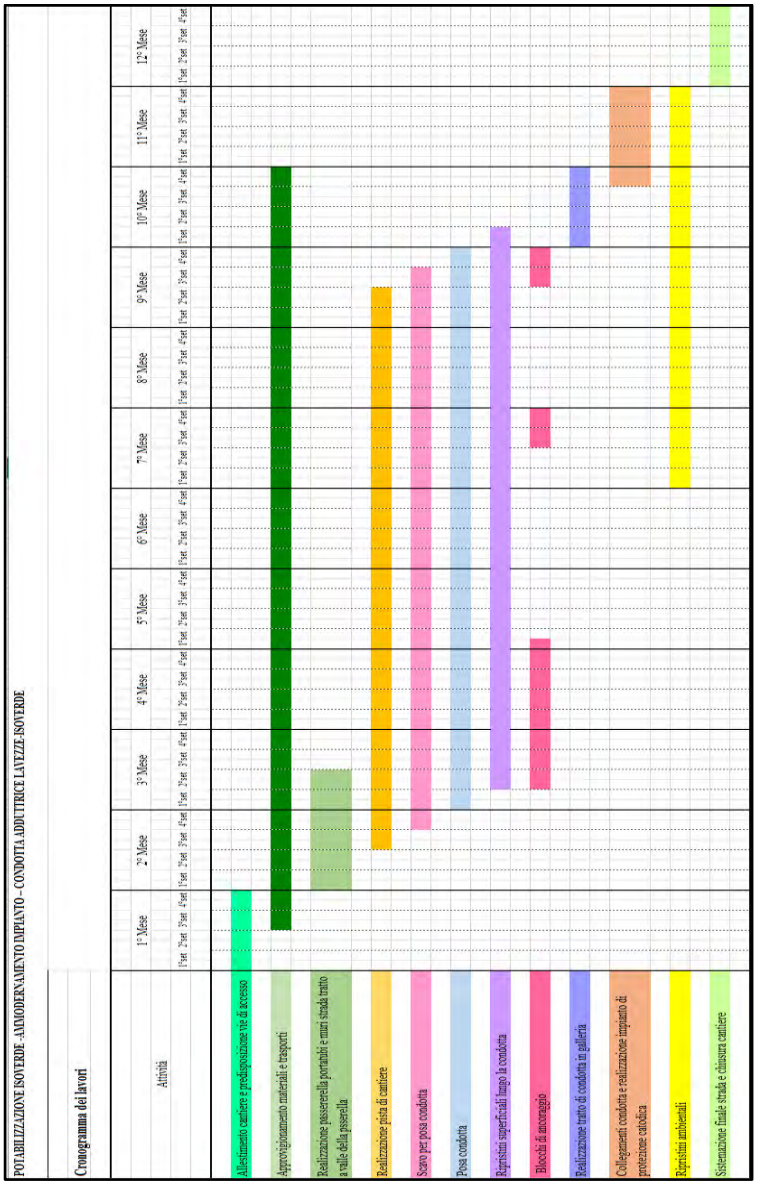
2.3 COMPONENTE ECOLOGIA

2.3.1 Cronoprogramma

a) Trasmissione del cronoprogramma delle opere, necessario per la valutazione dell'impatto in tutte le componenti di competenza;

I lavori avranno una durata di 12 mesi.

Di seguito si riporta il cronoprogramma delle attività



2.3.2 Caratterizzazione e gestione terre e rocce da scavo

b) data la previsione di progetto di scavi in zone caratterizzate dalla presenza di rocce serpentinitiche, occorre fornire dettagli sulla gestione del materiale contenente amianto sia durante la fase di scavo che nella fase di ripristino, nonché della valutazione dell'impatto della dispersione delle fibre di amianto durante gli scavi.
c) occorre l'effettuazione della caratterizzazione preventiva dei materiali di scavo.

La caratterizzazione dei materiali e le modalità operative di gestione delle terre e rocce da scavo sono comunque riportate in apposita relazione a firma del Dott. Geol. Luciano Minetti allegata al presente progetto.

La relazione riporta una breve presentazione della normativa di riferimento, illustra i caratteri geotecnici e ambientali dei materiali prodotti dagli scavi delle trincee di posa e delle opere ancillari previste ed esamina in quale contesto questi potranno essere utilizzati in alternativa a conferimenti in discarica poco sostenibili dal punto di vista ambientale e del costo.

Gli scavi previsti per la realizzazione della trincea che ospiterà la tubazione lungo buona parte del tracciato, e opere ancillari, produrranno volumi di scavo "in banco" pari a circa 5500 m^3.

In un'ottica sia ambientale che di costi, uno degli obbiettivi da perseguire è quello del massimo utilizzo dei materiali di scavo nell'ambito delle lavorazioni previste dal progetto, nel rispetto delle normative vigenti.

Si evidenzia infatti come la scelta del riutilizzo del materiale scavato consenta di abbattere il traffico derivato dai trasporti di materiali da e verso l'esterno e conseguentemente di limitare drasticamente emissioni, polveri, rumore, costi (impatto transitorio) e lo spreco di territorio in caso di materiale proveniente da fonti esterne (impatto permanente), senza dimenticare l'apertura di piste per la movimentazione dei materiali.

Si evidenzia inoltre che la caratterizzazione ambientale sui campioni prelevati non evidenzia nessun supero nella presenza di amianto, anche nei tratti interessati da "Rocce Verdi", ma che, nell'eventualità di superi riscontrati in fasi di controlli successivi, il costo, per gli afferimenti a discariche autorizzate per materiali amiantiferi, sarebbe onerosissimo.

Perciò nel caso in esame gli obbiettivi ambientali ed economici coincidono e ciò rafforza la necessità del massimo utilizzo dei materiali di scavo in cantiere anche in considerazione della qualità geotecniche di detti materiali che ne rendono sostenibile l'impiego.

L'impostazione generale del progetto è pertanto orientata in tal senso.

2.3.3 Rumore

d) Occorre individuare la presenza degli eventuali ricettori nelle zone di intervento

L’opera si sviluppa principalmente lungo la linea di massima pendenza di un versante disabitato.

Nella figura seguente è riportato su foto aerea il tracciato della condotta con l’evidenza delle possibili ricettori del rumore prodotto nelle fasi di realizzazione dell’opera.

Tali ricettori sono costituiti da insediamenti e case sparse, ad una distanza superiore a 100 m dal tracciato della condotta in progetto e quindi dalla possibile fonte di rumore.

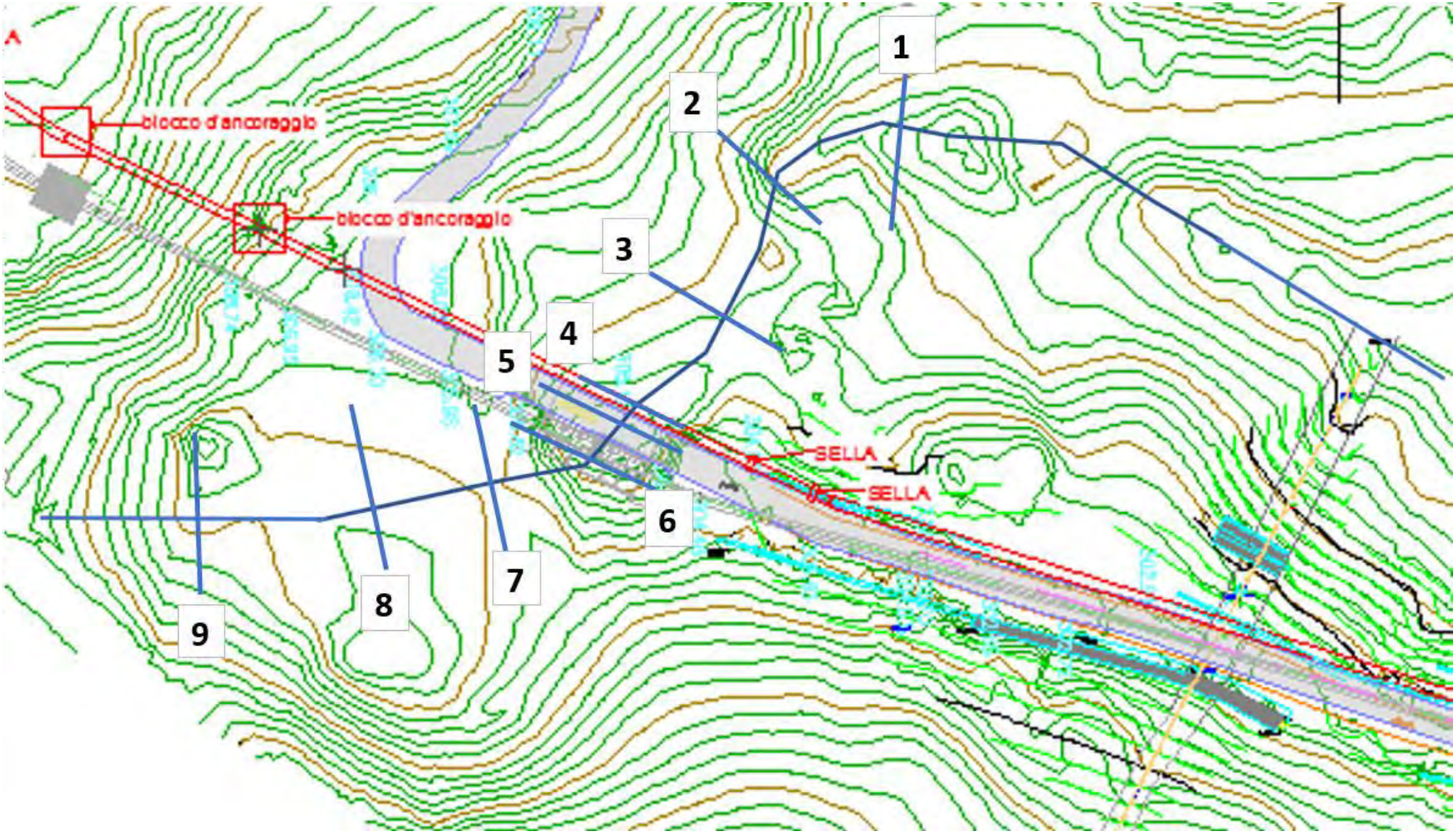
Il rumore prodotto è quello di un normale cantiere edile con presenza di macchine escavatrici e mezzi cingolati.

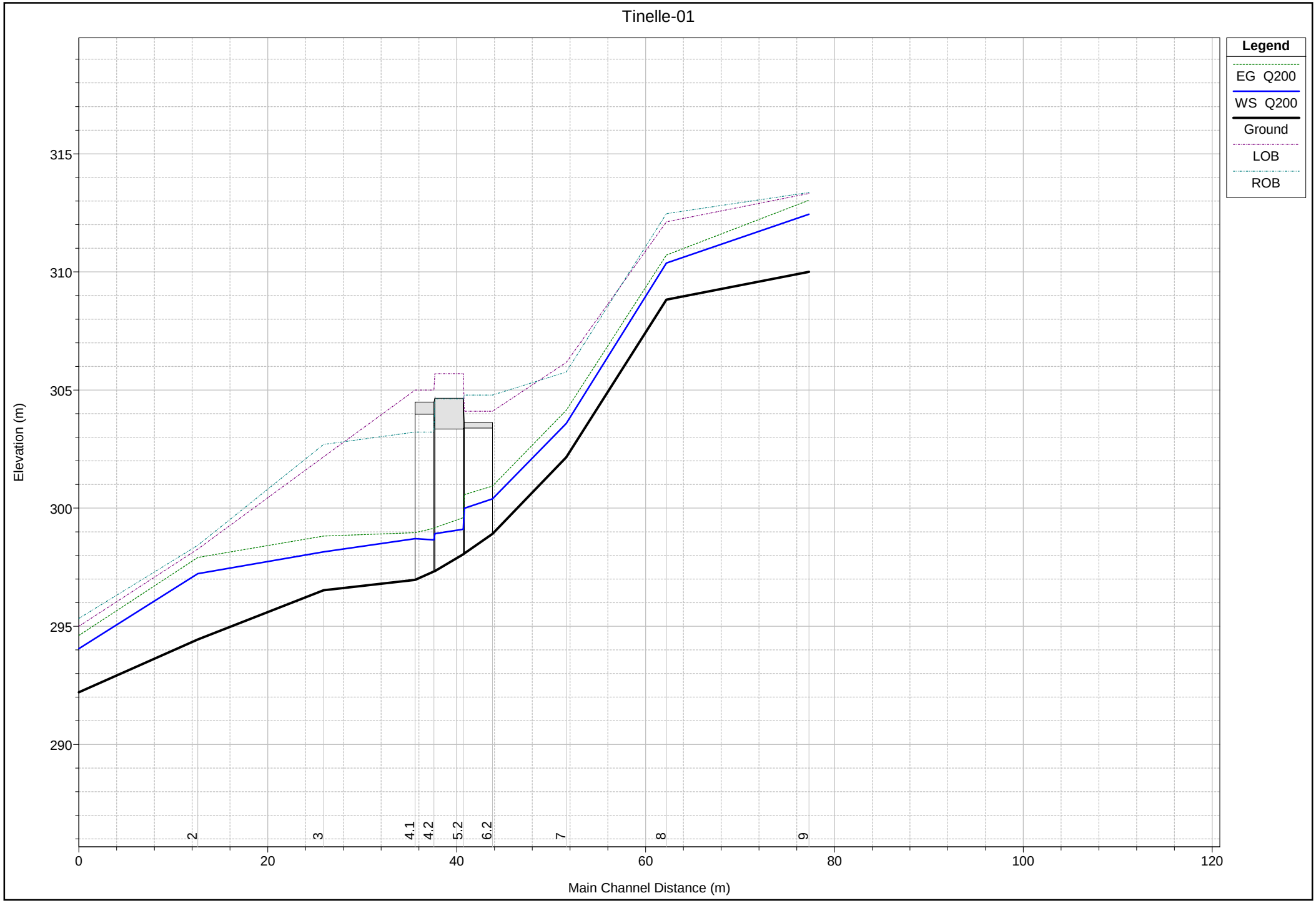


Figura 7: Tracciato della nuova condotta con evidenziati i possibili ricettori del rumore in fase di cantiere

ALLEGATO A

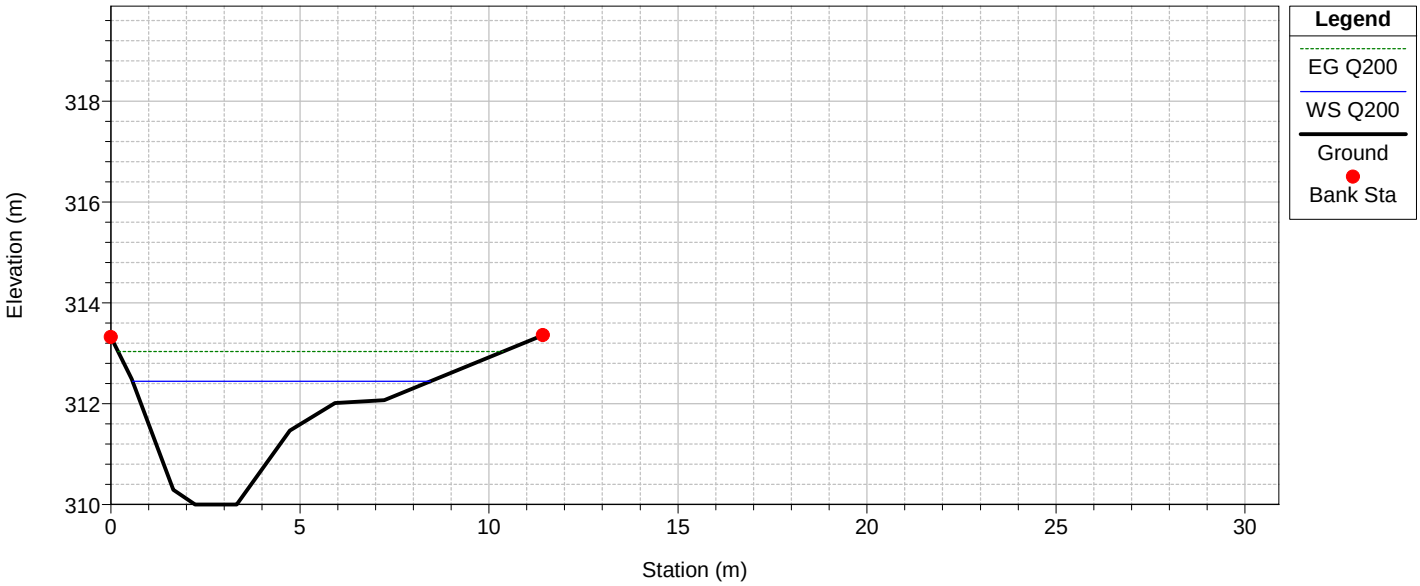
VERIFICHE IDRAULICHE


blocco d'ancoraggio
blocco d'ancoraggio
SELLA
SELLA
1
2
3
4
5
6
7
8
9

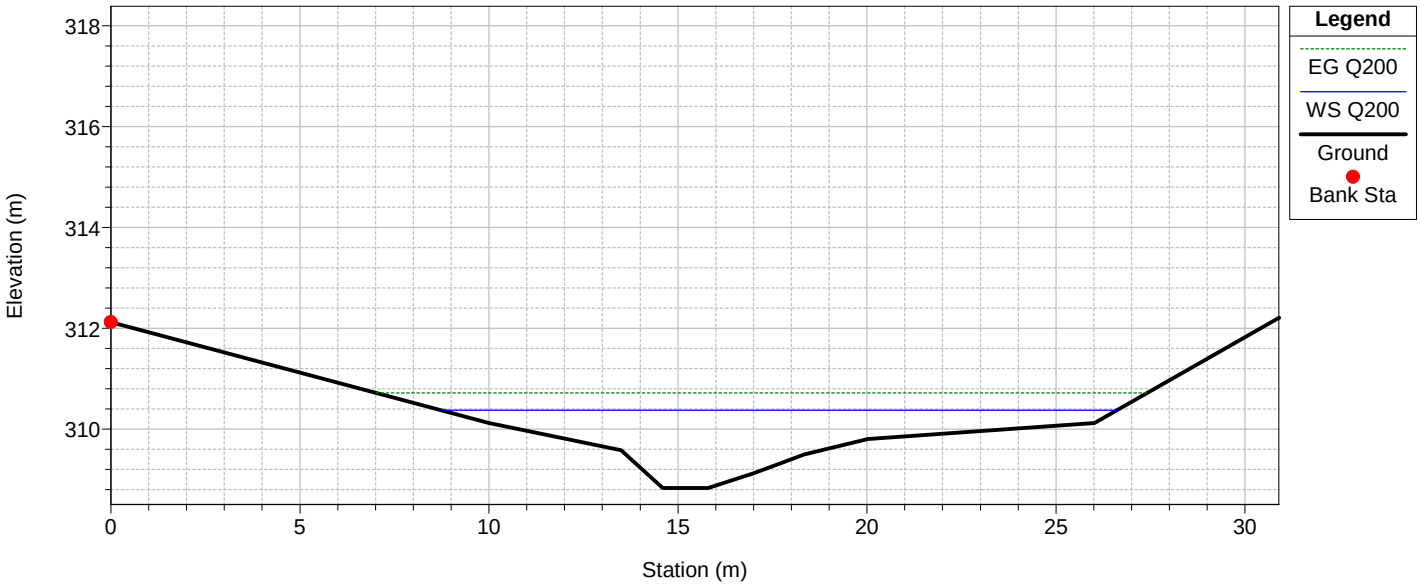


1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 2 m

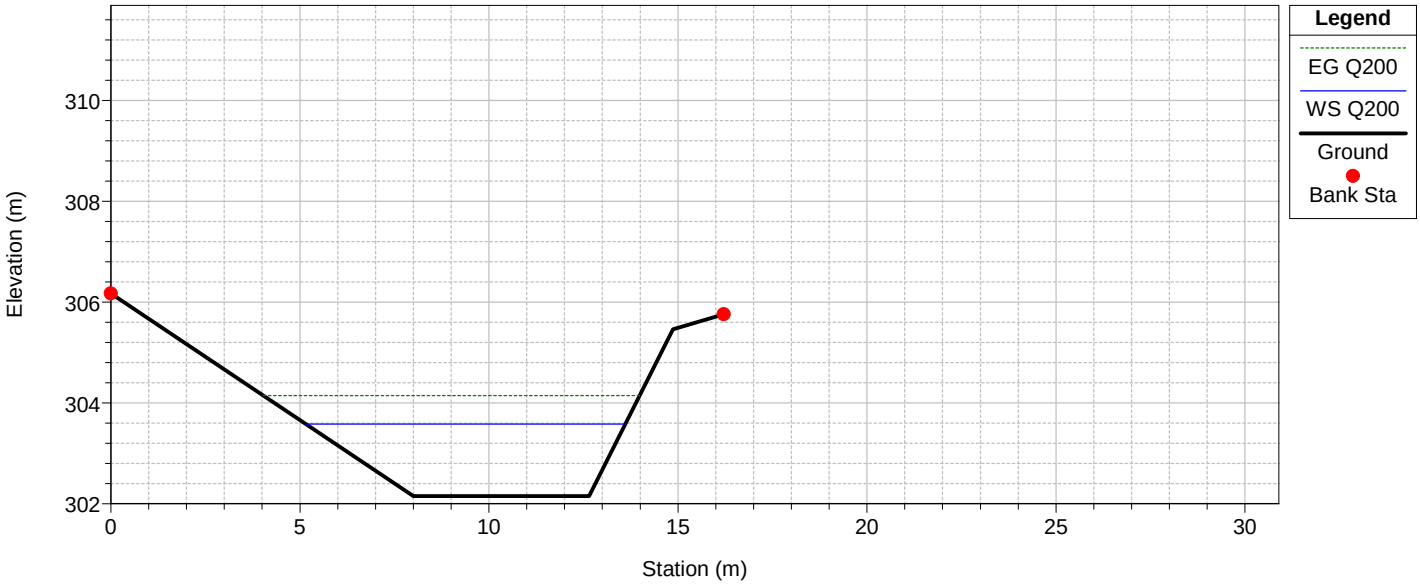
Tinelle-01
9



Tinelle-01
8

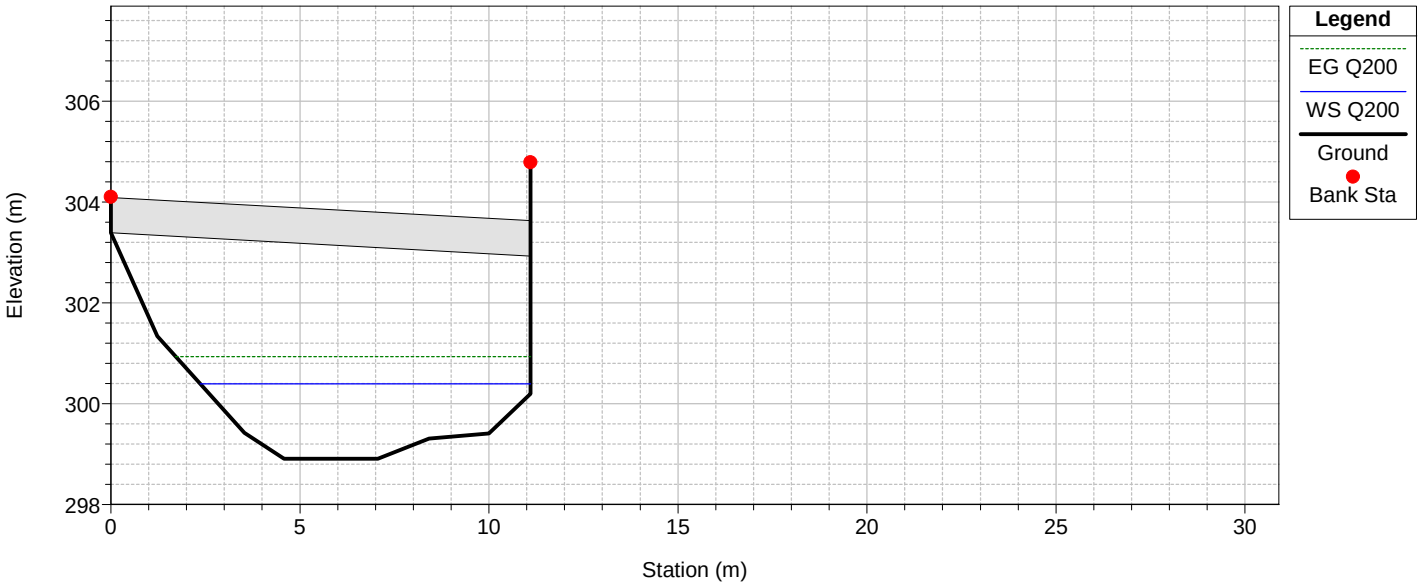


Tinelle-01
7

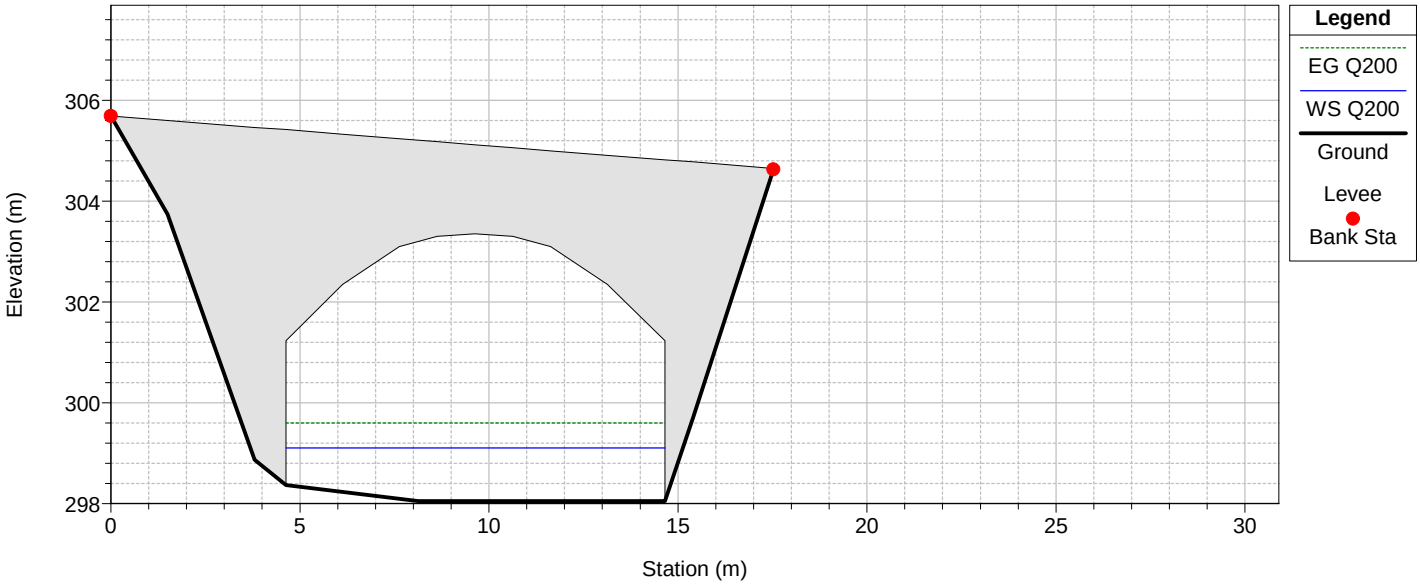


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1.5 m

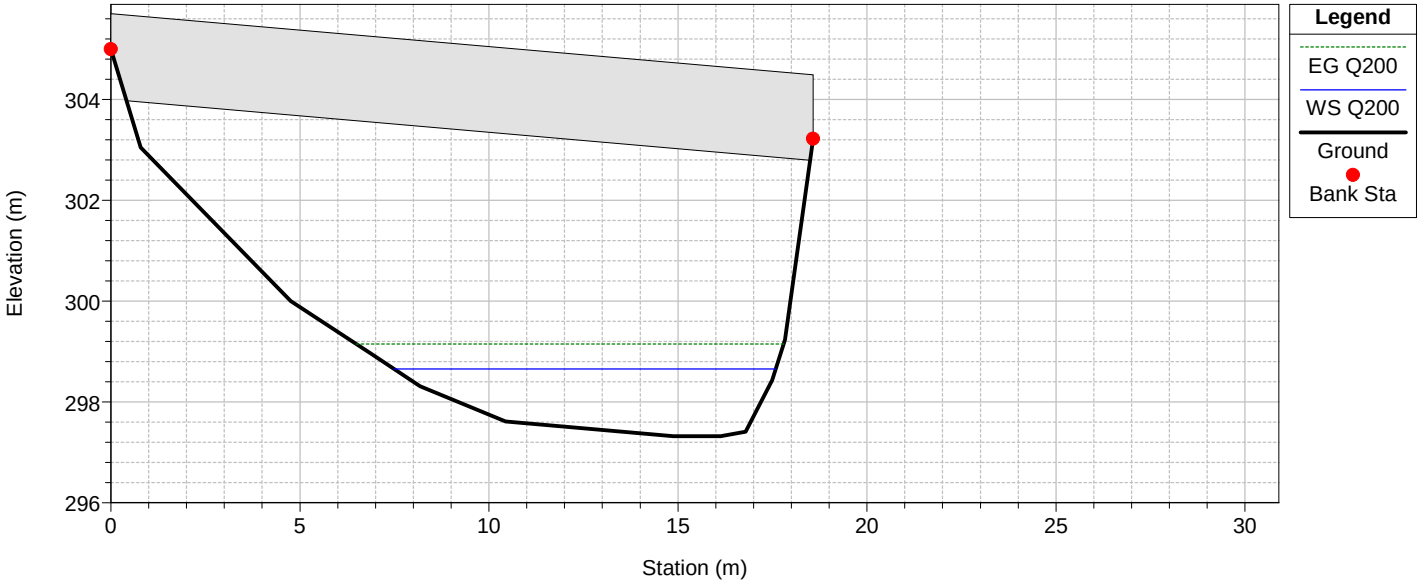
Tinelle-01
6.2



Tinelle-01
5.2

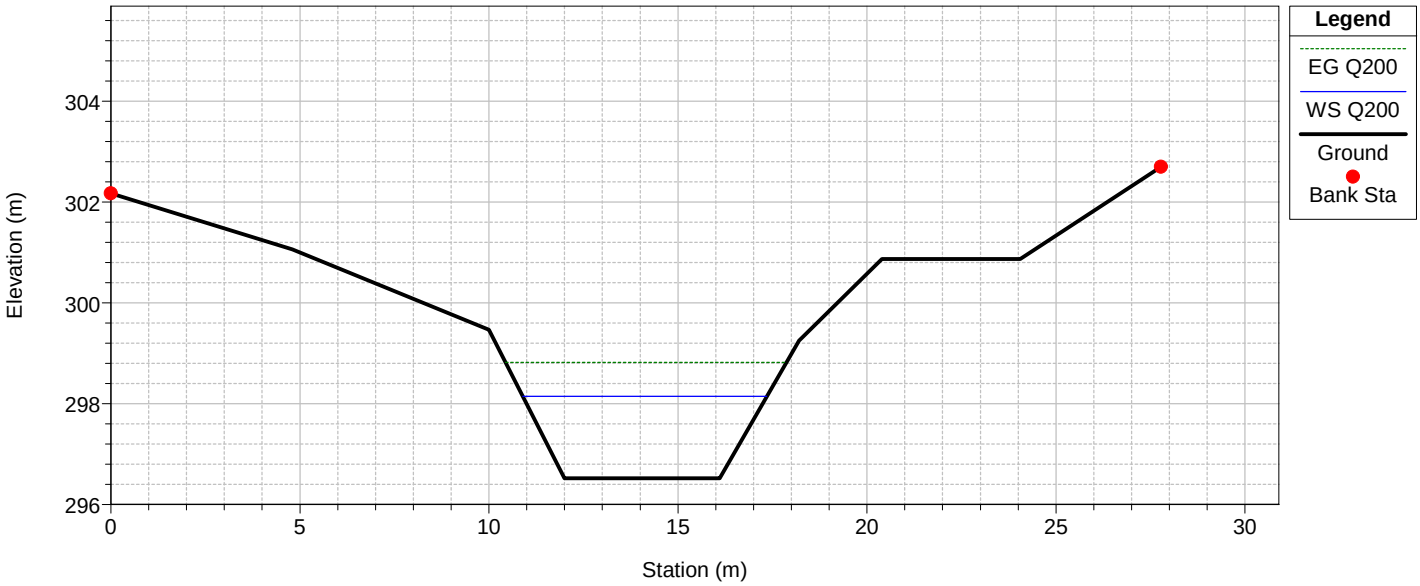


Tinelle-01
4.2

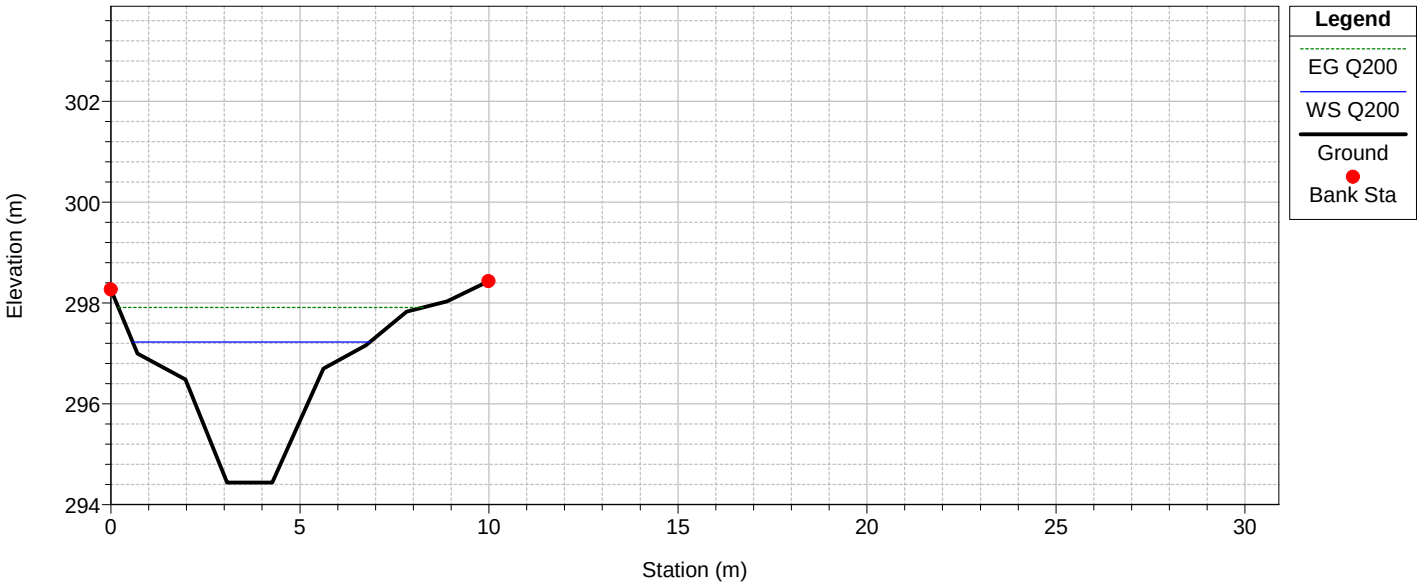


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1.5 m

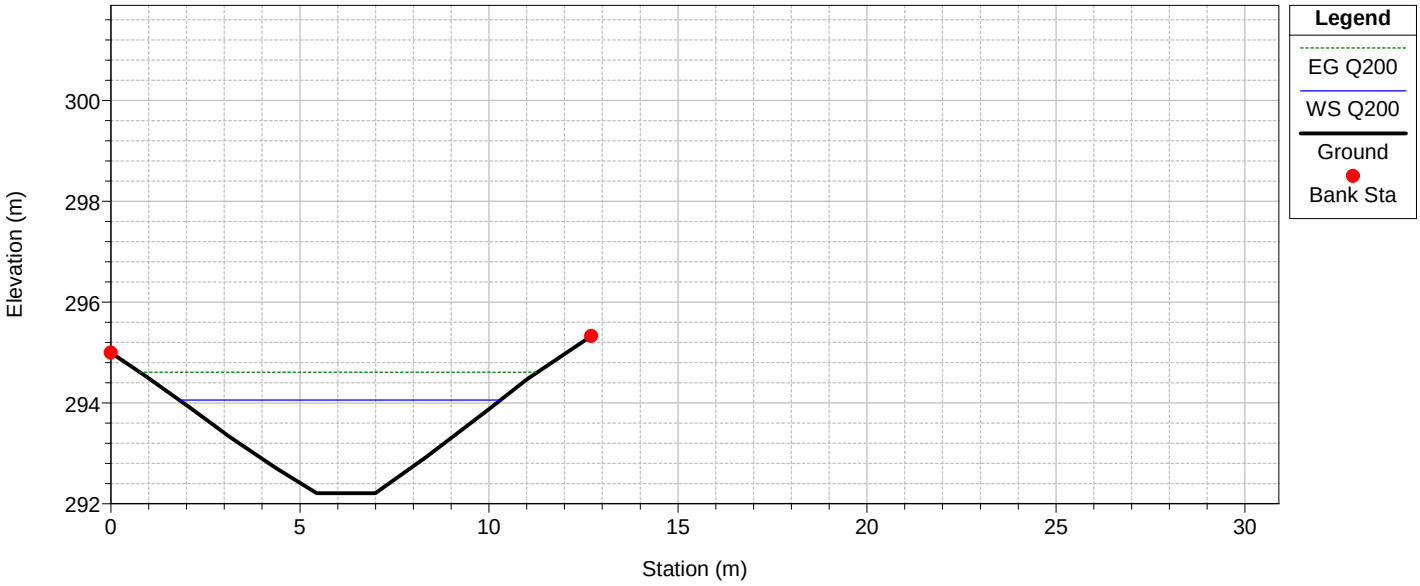
Tinelle-01
3



Tinelle-01
2



Tinelle-01
1



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS Plan: Tinelle-01 River: Rio Tinelle Reach: mean Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
mean	1	Q200		31.20	292.21	295.00	295.33	294.05	1.11	1.84	294.61	3.31	9.43	8.49	1.00
mean	2	Q200	12.60	31.20	294.44	298.27	298.43	297.22	1.35	2.78	297.91	3.68	8.47	6.27	1.01
mean	3	Q200	25.90	31.20	296.52	302.17	302.70	298.15	1.33	1.63	298.82	3.63	8.59	6.46	1.01
mean	4.1	Q200	35.60	31.20	296.96	303.97	302.80	298.71	1.37	1.75	298.96	2.22	14.06	10.23	0.60
mean	4.2	Q200	37.60	31.20	297.32	303.97	302.80	298.66	0.99	1.34	299.15	3.11	10.03	10.10	1.00
mean	5.1	Q200	37.70	31.20	297.34	298.37	297.45	298.92	1.39	1.58	299.17	2.23	13.99	10.03	0.60
mean	5.2	Q200	40.70	31.20	298.05	298.37	298.05	299.10	1.00	1.05	299.60	3.12	10.00	10.03	1.00
mean	6.1	Q200	40.80	31.20	298.08	303.39	302.93	300.00	1.16	1.91	300.57	3.37	9.26	7.97	1.00
mean	6.2	Q200	43.80	31.20	298.91	303.39	302.93	300.39	1.09	1.48	300.94	3.26	9.56	8.74	1.00
mean	7	Q200	51.60	31.20	302.15	306.17	305.76	303.58	1.11	1.43	304.15	3.32	9.40	8.47	1.01
mean	8	Q200	62.20	31.20	308.83	312.12	312.47	310.38	0.67	1.55	310.72	2.59	12.06	17.90	1.01
mean	9	Q200	77.30	31.20	310.00	313.32	313.36	312.44	1.17	2.44	313.03	3.40	9.18	7.88	1.01

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.7

Il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.5* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

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

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3}\ s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 $[m/s]$ sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro *n* di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge* and *culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.