

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## S.O. IDRAULICA E IDROLOGIA

## PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

ELABORATI GENERALI

OPERE IDRAULICHE DI ATTRAVERSAMENTO

Relazione idraulica corsi d'acqua minori

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 2 6 R I I N 0 0 0 0 0 0 1 C


Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A.Figgiaconi	12/2021	L. Barni	12/2021	G. Fadda	12/2021	F. Cabas 06-2024
B	Emissione esecutiva	D. Polverelli	02/2022	L. Barni	02/2022	G. Fadda	02/2022	ITALFERR S.p.A. Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n. 15744 Ing. Fabrizio Cabas
C	Emissione esecutiva	M. Angione	06-2024	C. Cesali	06-2024	M. Firpo	06-2024	

File: IV0100D26RIIN000001C.doc

n. Elab.:

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1. ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	4
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI E STUDI IDROLOGICI ESISTENTI.....</b>	<b>5</b>
2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2. PIANI NORMATIVI DI RIFERIMENTO.....	5
<b>3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ATTRAVERSAMENTI DELLA SEDE FERROVIARIA E DELLA VIABILITÀ 11</b>	
4.1. DESCRIZIONE ATTRAVERSAMENTI.....	11
4.2. DATI DI BASE.....	28
4.3. TIPOLOGIA DI ATTRAVERSAMENTI SECONDARI/ FORNICI DI TRASPARENZA .....	29
4.4. PORTATE PER GLI ATTRAVERSAMENTI MINORI .....	30
4.5. PROCEDURA DI VERIFICA IN IPOTESI DI MOTO UNIFORME .....	32
4.6. PROCEDURA DI VERIFICA IN IPOTESI DI MOTO PERMANENTE CON HY-8.....	33
4.1. PROCEDURA DI VERIFICA IN IPOTESI DI MOTO PERMANENTE CON HEC-RAS.....	36
<b>5. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>41</b>
<b>6. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA .....</b>	<b>43</b>
6.1. VERIFICA OPERE DI PROGETTO.....	43
6.2. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO SECONDARIO IN69.....	52
6.1. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO SECONDARIO IN31 .....	59

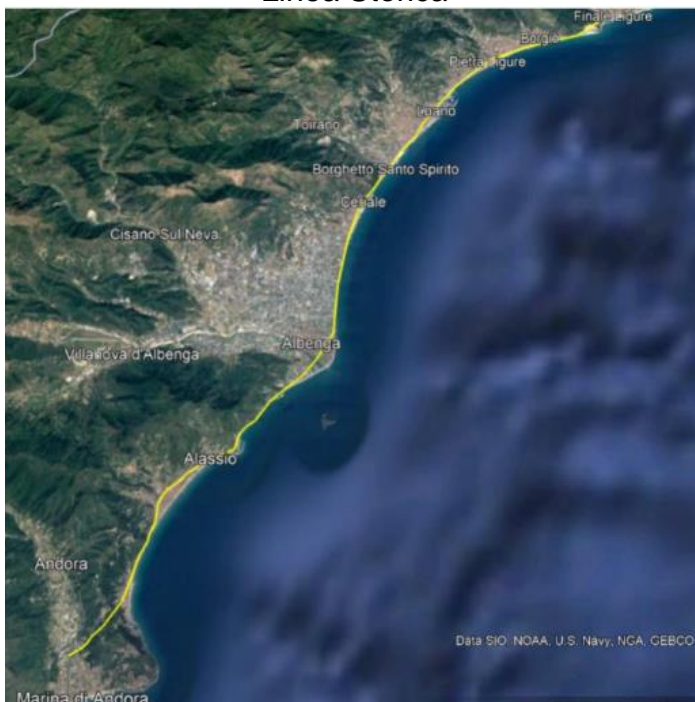
 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Relazione idraulica corsi d'acqua minori</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0000 001</p>	<p>REV. C</p>	<p>FOGLIO 3 di 66</p>

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto l'analisi delle opere di attraversamento idraulico nell'ambito del Progetto Definitivo relativo alla realizzazione del raddoppio della linea esistente Genova – Ventimiglia, nel tratto tra Finale Ligure ed Andora, in Provincia di Savona.

Il progetto prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale dell'estesa di circa 32 km, di cui 25 km in galleria, completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio. Nell'ambito del progetto è compresa anche la realizzazione della nuova stazione di Albenga e delle fermate di Alassio (in galleria), Borghetto - Ceriale - Loano e Pietra Ligure. La realizzazione del tracciato ferroviario in variante comporterà anche l'adeguamento di viabilità esistenti ed una serie di nuove viabilità. Di seguito si riporta l'inquadramento delle aree di intervento su ortofoto, dove in giallo si evidenzia il tracciato esistente e in rosso quella di progetto.

Linea Storica



Raddoppio Tratta Andora – Finale L.

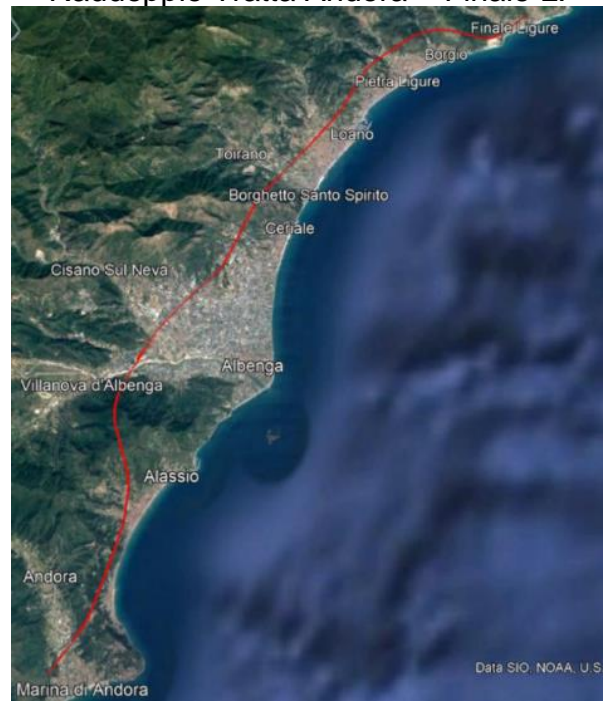


Figura 1 Inquadramento area di intervento

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C

Le autorizzazioni già acquisite a monte della redazione del Progetto Preliminare in Legge Obiettivo n. 443/01, della tratta Finale Ligure - Andora, consistono in:

- Pronuncia di compatibilità ambientale (VIA) ottenuta con Decreto Interministeriale DEC/VIA 2535 del 29/7/1996;
- Accordo di Programma sottoscritto, ai sensi dell'art.25 della Legge 210/85, in data 19/1/98 tra il Ministro dei Trasporti, le F.S., la Regione Liguria e i Comuni interessati dal nuovo tracciato; ciò al fine di ottenere le varianti agli strumenti urbanistici generali vigenti nei Comuni interessati nonché per derogare alle indicazioni del vigente Piano territoriale di Coordinamento Paesistico;
- Approvazione del Progetto Preliminare con delibera n° 91 del CIPE del 29-07-05 pubblicata sulla G.U.R.I. n° 58 del 10-03-06
- Protocollo di Intesa tra Regione Liguria, Provincia di Savona, Comuni e RFI del 11-04-2011

Il presente documento ha lo scopo di verificare le interferenze del tracciato con il reticolo idrografico minore, valutando caso per caso la compatibilità con la portata di progetto.

In accordo con i Piani di Bacino competenti per le varie aree di intervento e il Manuale di Progettazione RFI i manufatti idraulici di attraversamento verranno verificati considerando eventi meteorologici caratterizzati da tempi di ritorno pari a 200 anni.

### 1.1. Elenco elaborati di progetto di riferimento

Si riepilogano di seguito gli elaborati inerenti alle opere di attraversamento minore.

OPERE IDRAULICHE DI ATTRAVERSAMENTO	SCALA	CODIFICA
Relazione idraulica corsi d'acqua minori	-	IV0100D26RIIN0000001A
Relazione di calcolo opere di attraversamento	-	IV0100D26CLIN0000001A
Opere tipologiche - Carpenteria e dettagli 1/4	1:50	IV0100D26BBIN0000001A
Opere tipologiche - Carpenteria e dettagli 2/4	1:50	IV0100D26BBIN0000002A
Opere tipologiche - Carpenteria e dettagli 3/4	1:50	IV0100D26BBIN0000003A
Opere tipologiche - Carpenteria e dettagli 4/4	1:50	IV0100D26BBIN0000004A

Tabella 1: Elenco elaborati

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  5 di 66

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E STUDI IDROLOGICI ESISTENTI

### 2.1. Normativa di riferimento

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- Regolamento 14 luglio 2011, n. 3 "Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua" Bollettino Ufficiale n. 20 del 20 luglio 2011;
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

### 2.2. Piani normativi di riferimento

La Regione Liguria, con decreto del Consiglio regionale n.94/1990, ha delimitato i bacini di competenza regionale, raggruppati in venti ambiti, che rappresentano le unità territoriali sulle quali attivare i processi conoscitivi e le successive fasi di programmazione e di intervento della pianificazione di bacino di propria competenza.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0000 001</p>	<p>REV. C</p>	<p>FOGLIO 6 di 66</p>

L'attività di pianificazione è stata prioritariamente sviluppata mediante i piani stralcio dell'assetto idrogeologico che riguardano gli aspetti connessi alle criticità conseguenti all'elevato rischio idrogeologico al quale è particolarmente esposto il territorio regionale.

L'intervento, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, ricade nel Distretto idrografico Appennino Settentrionale le cui competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con il PGRA in vigore.


I piani stralcio per l'assetto idrogeologico, approvati aggiornati e variati fino al 1 luglio 2015 dalle quattro Province quali organi dell'Autorità di bacino regionale, data in cui la Regione è subentrata nella competenza, sono stati, in vari casi, ulteriormente articolati in singoli bacini.

I Piani disponibili includono i seguenti corpi idrici:

- Arroscia;
- Merula;
- Carrenda;
- Nimbalto;
- Bottassano;
- Maremola;
- Pora.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi da analizzare sono:

- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b></p>	<p>COMMESSA <b>IV01</b></p>	<p>LOTTO <b>00</b></p>	<p>CODIFICA <b>D 26 RI</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IN0000 001</b></p>	<p>REV. <b>C</b></p>	<p>FOGLIO <b>7 di 66</b></p>

### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio interessato è caratterizzato, a differenza dell'andamento più generale della Regione Liguria, da una rapida variazione altimetrica tra il mare e la zona montuosa come testimoniano le pendenze dei corsi d'acqua che si aggirano intorno ad un valore medio del 10%.

I bacini di afflusso non presentano in generale un'alta densità di drenaggio, con la conseguenza di una rappresentazione planimetrica netta dei corsi d'acqua principali definiti spesso da un unico ramo significativo.

Il tracciato della linea si sviluppa su un territorio montuoso con incisioni percorse da vie d'acqua a regime prevalentemente torrentizio, caratterizzate cioè da forti pendenze e modesti bacini di afflusso.

Di seguito si riporta l'inquadramento del tracciato di progetto su ortofoto.

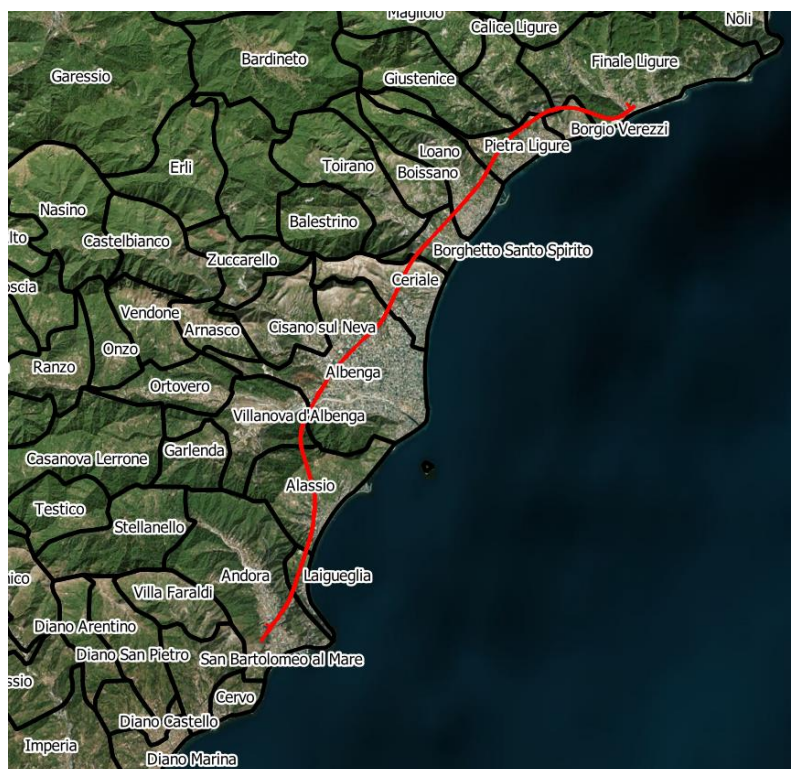


Figura 2 Inquadramento territoriale – in rosso il tracciato oggetto di studio

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  8 di 66

L'immagine seguente mostra in azzurro il reticolo idrografico, in blu i tombini di attraversamento/fornice di trasparenza oggetto di studio nel presente documento e in rosso il tracciato di progetto.



*Figura 3 Inquadramento idrografico – tratti oggetto di studio segnati in blu – tracciato di progetto in rosso*

Si riepilogano di seguito le opere oggetto di studio nel presente elaborato.



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	9 di 66

Bacino	WBS Interferenza	Descrizione	Comune
Sez. Chiusura progr. 76+492m IN61	IN60.a	Nuovo attraversamento	Borghetto Santo Spirito
	IN61	Nuovo canale in terra	Borghetto Santo Spirito
Sez. Chiusura progr. 76+890m	IN62	Nuovo attraversamento	Borghetto Santo Spirito
	IN62.a	Nuovo canale in terra	Borghetto Santo Spirito
IN63	IN63	Nuovo attraversamento	Borghetto Santo Spirito
		Nuovo canale di scolo	Borghetto Santo Spirito
	IN63.a	Nuovo attraversamento	Borghetto Santo Spirito
		Nuovo canale di scolo	Borghetto Santo Spirito
	IN63.b	Nuovo attraversamento	Borghetto Santo Spirito
Sez. Chiusura progr. 82+410m	IN64	Nuovo fornice di trasparenza	Albenga
Sez. Chiusura progr. 82+462m	IN65	Nuovo attraversamento	Albenga
Sez. Chiusura progr. 82+641m IN31	IN66	Nuovo fornice di trasparenza	Albenga
	IN31	Nuovo attraversamento	Albenga
Sez. Chiusura progr. 83+591m	IN67	Nuovo attraversamento	Albenga
Sez. Chiusura progr. 83+591m	IN68	Nuovi scatolari e nuovi attraversamenti	Albenga
Sez. Chiusura progr. 83+591m	IN69	Nuovi scatolari e nuovi attraversamenti	Albenga
Sez. Chiusura progr. 86+237m e sez. chiusura progr. 86+000m	IN70	Nuovo attraversamento	Albenga

Tabella 2: Elenco Interferenze oggetto di studio nel presente elaborato

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 8 distretti idrografici in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 4 Suddivisione territoriale in distretti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  10 di 66

L'intervento, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, ricade nel Distretto idrografico Appennino Settentrionale le cui competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con il PGRA in vigore.

L'immagine seguente mostra in rosso in tracciato di progetto, in verde il Distretto idrografico Appennino Settentrionale di interesse e in blu il Distretto Padano.



Figura 5 Inquadramento idrografico distrettuale, in rosso il tracciato di progetto

## 4. ATTRAVERSAMENTI DELLA SEDE FERROVIARIA E DELLA VIABILITÀ

### 4.1. Descrizione attraversamenti

Lungo la tratta oggetto di studio, il tracciato della linea ferroviaria e delle nuove viabilità intersecano i tratti di una serie di rii, fossi e fornici di trasparenza. Di seguito si riporta la descrizione di tali tratti e le risoluzioni per le interferenze individuate.

- IN60 – Fornice di trasparenza e IN60.a – Attraversamento corso d'acqua minore

Alla progressiva 76+471m è stata individuata un'interferenza con un fosso di scolo.

Dal rilievo celerimetrico effettuato non emerge la presenza di un canale.

L'individuazione di tale tratto è avvenuta mediante l'analisi delle curve di livello. Come è possibile notare dallo stralcio riportato di seguito, si riconosce infatti un'incisione del terreno con pendenza da nord verso sud, ovvero verso l'infrastruttura di progetto.

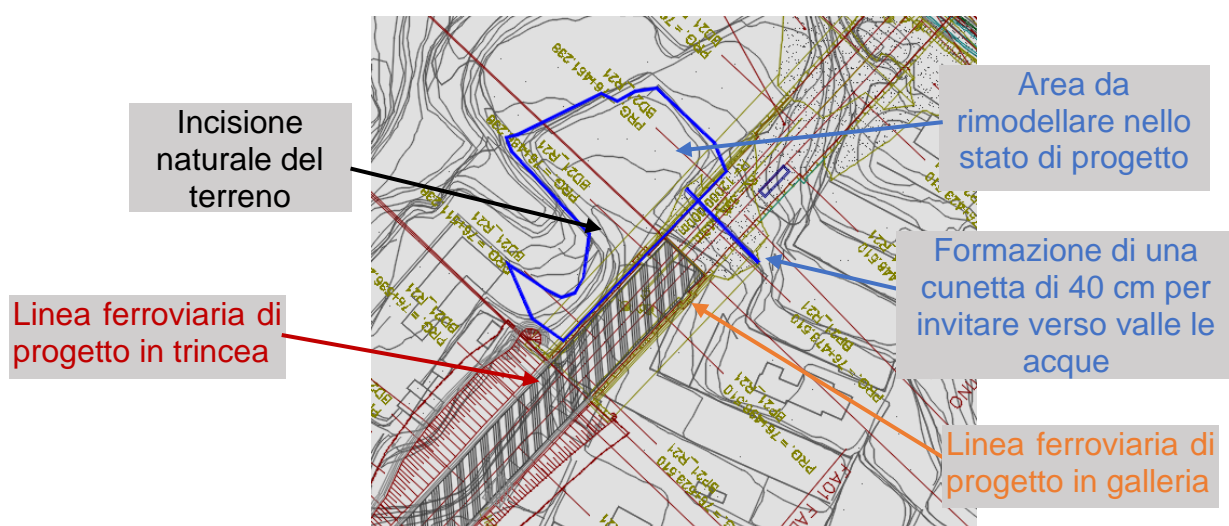


Figura 6 Inquadramento interferenza IN60

In corrispondenza della linea ferroviaria di progetto, che si sviluppa in galleria in tale tratto, le quote del terreno si aggirano intorno a circa 21 m slm, mentre l'estradosso della galleria intorno a 25.10 m slm.

Al fine di non ostacolare il regolare deflusso delle acque, il progetto prevede il riempimento dell'area a monte dell'attraversamento fino alla quota di 25.5 m lsm e la realizzazione di una scarpata al fine di evitare bruschi salti di quota nel lato a valle della galleria. Sarà anche prevista una depressione nel nuovo piano campagna con una cunetta di altezza 40 cm atta a invitare le acque a defluire verso sud. Tale cunetta è stata posizionata dove le quote a valle della galleria raggiungono una quota intorno a 25 m slm, coadiuando ulteriormente a non creare dislivelli tra lo scarico della cunetta e il terreno naturale.

A valle di tale tratto, il fosso di drenaggio viene identificato all'interno dello shapefile del reticolo idrografico della regione. Tale fosso risulta interferente con la nuova viabilità di progetto NV10.

Dalla delimitazione del bacino imbrifero, è emerso che la superficie dell'area scolante è pari a 0.015km<sup>2</sup>. Secondo l'Art. 6 - *Reticolo idrografico significativo Sezione II - Norme di Carattere idraulico dell'elaborati "Normativa di Piano" del "Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Autorità di Bacino Regionale" ultima modifica Decreto del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018* tale fosso rientra nella categoria "corsi d'acqua minori".

La risoluzione prevede un nuovo tombino in cls di dimensioni interne 1500mm e pendenza 0.2%.

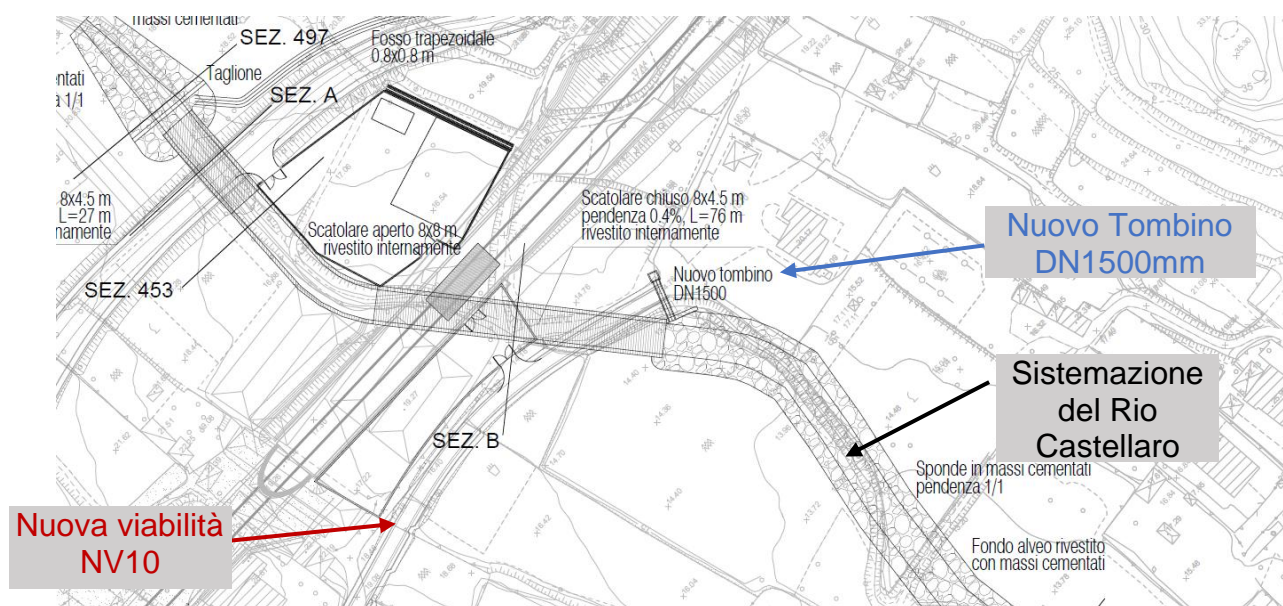
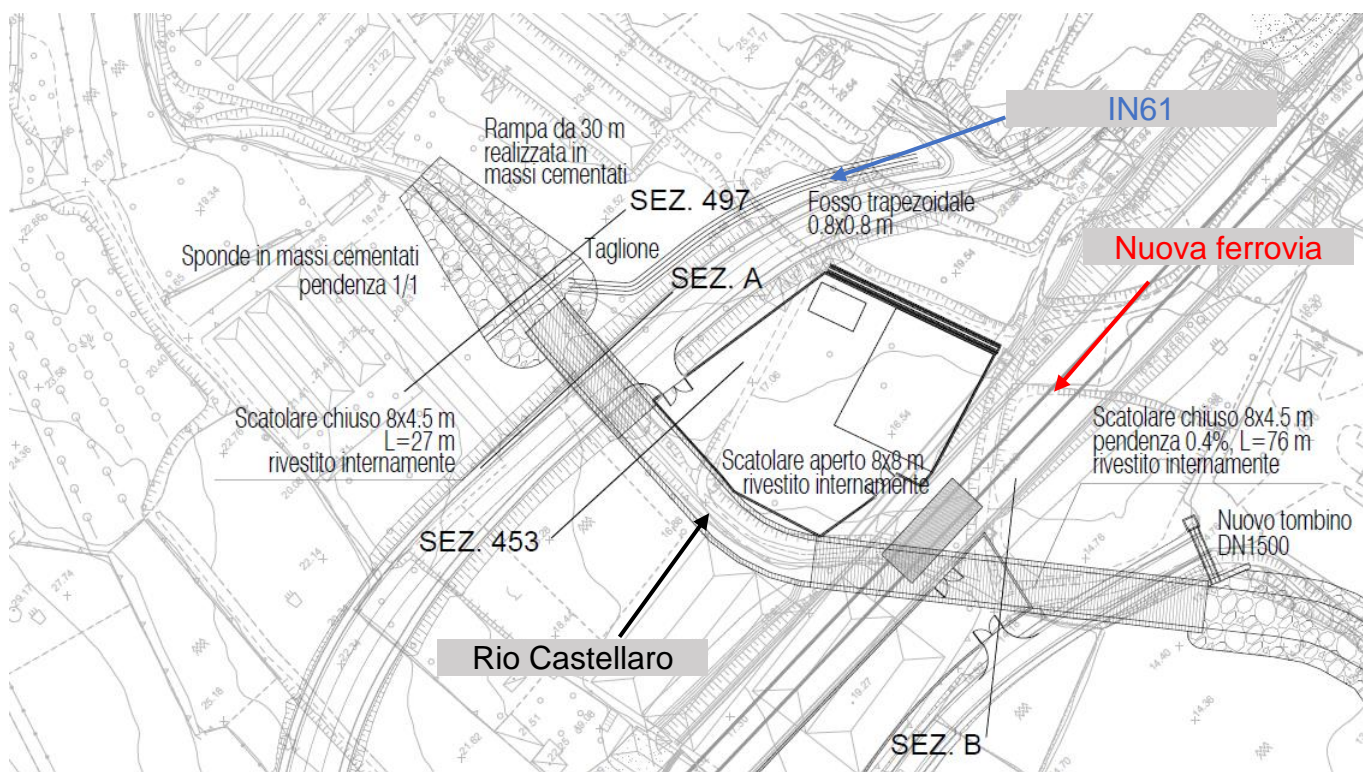


Figura 7 Inquadramento interferenza IN60.a

- IN61 – Nuovo fornice di trasparenza

Dall'analisi delle curve di livello è stato individuato uno scolo naturale interferente con la strada di progetto di accesso al piazzale di emergenza della Galleria Pineland GA07.

Il progetto prevede la realizzazione di una viabilità in mezza costa. È stato quindi previsto un canale di gronda trapezoidale in terra di dimensioni 80x80cm con pendenza delle sponde 3H:2V e pendenza longitudinale 5%. Tali opere garantiranno la continuità del deflusso delle acque, le quali scorrono da nord verso sud, verso il Rio Castellaro.



*Figura 8 Inquadramento interferenza IN61*

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	14 di 66

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

- IN62 – Nuovo Attraversamento secondario

Dall'analisi del rilievo celerimetrico e del reticolo idrografico è stata individuata un'interferenza alla progressiva 76+882m tra un corso d'acqua minore e la linea ferroviaria di progetto. In tale tratto la linea si sviluppa in galleria.

Dalla delimitazione del bacino imbrifero, è emerso che la superficie dell'area scolante è pari a 0.036km<sup>2</sup>. Secondo l'Art. 6 - *Reticolo idrografico significativo Sezione II - Norme di Carattere idraulico dell'elaborati "Normativa di Piano" del "Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Autorità di Bacino Regionale" ultima modifica Decreto del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018* tale fosso rientra nella categoria "corsi d'acqua minori".

La risoluzione dell'interferenza consiste nella realizzazione di un fosso trapezoidale in cls di dimensioni interne 1.5mx0.8m con quota di fondo 1 m al di sopra della quota dell'estradosso della galleria di progetto. La pendenza delle sponde sarà 3H:2V e la pendenza longitudinale pari a 4%.

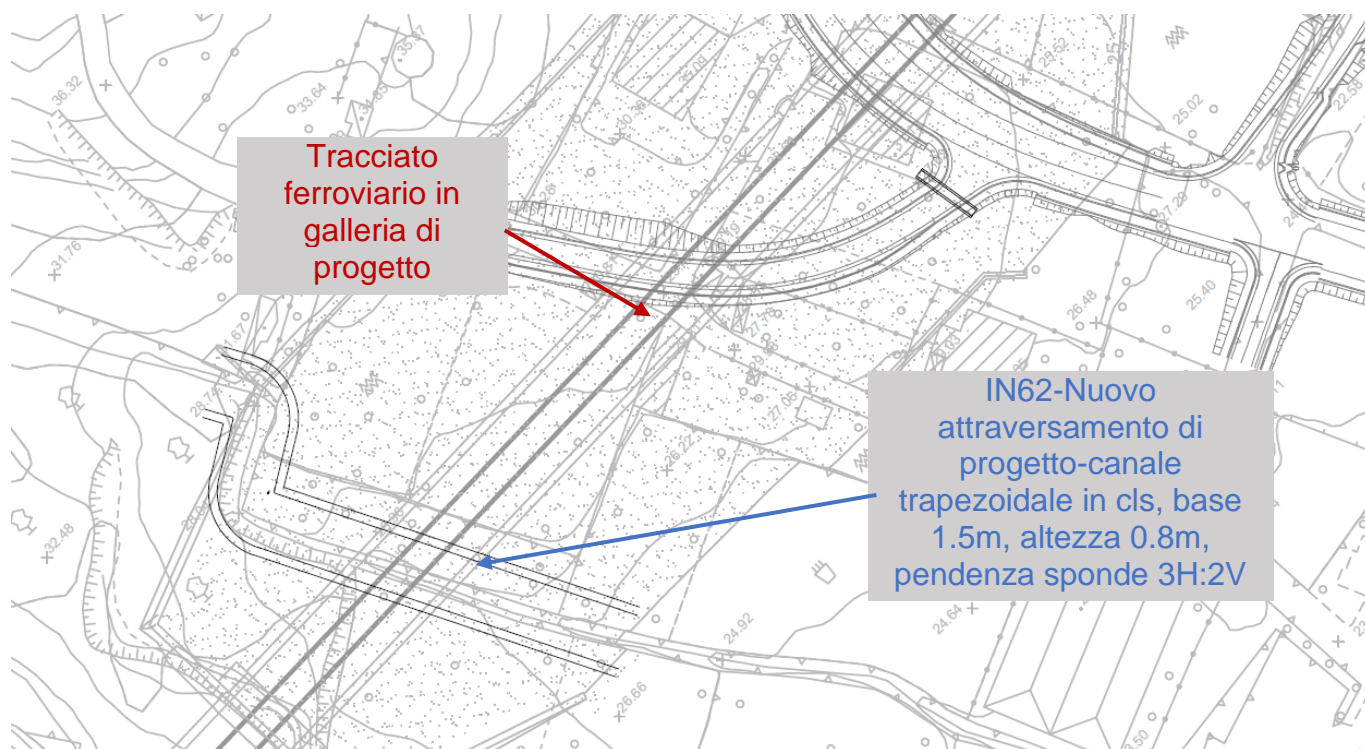


Figura 9 Inquadramento interferenza IN62

- IN62.a – Nuovo fornice di trasparenza

Dall'analisi delle curve di livello è stato individuato uno scolo naturale interferente con la strada di progetto. La risoluzione dell'interferenza prevede la realizzazione un tombino in cls di diametro DN1000mm di attraversamento della viabilità, rendendo quindi il più possibile trasparente la nuova viabilità rispetto al deflusso delle acque.

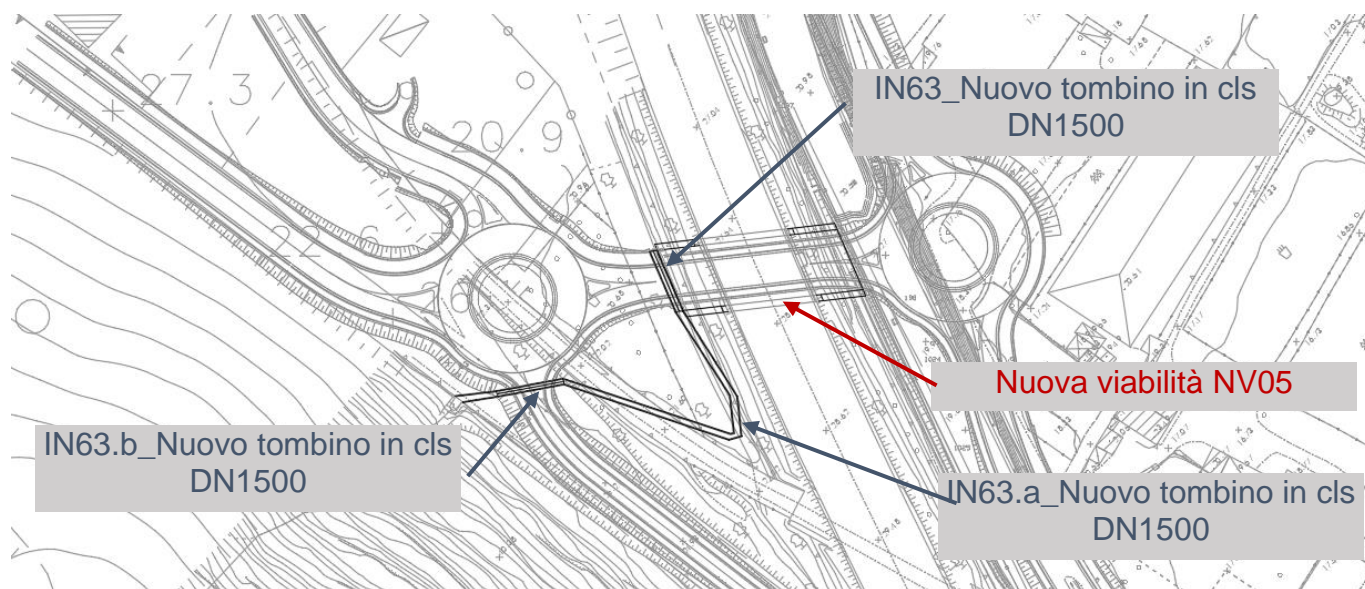
Nuovo fornice di trasparenza DN1000 con pendenza 0.2%



Figura 10 Inquadramento interferenza IN62.a

- IN63 IN63.a IN63.b – Nuovi attraversamenti secondari

La viabilità di progetto NV05 si trova ai piedi di un rilevato. Sia dall'analisi della cartografia, in particolare delle curve di livello, che dal rilievo celerimetrico, sono individuabili fossi di scolo con direzione da sud verso nord, ovvero verso l'infrastruttura di progetto. Allo stato attuale esiste una viabilità e nel tratto a sud-est, come mostrato nell'immagine seguente, è attualmente esistente un tombino di trasparenza.



*Figura 11 Inquadramento interferenza IN63 IN63.a IN63B*

La risoluzione dell'interferenza prevede la realizzazione di tre tombini in cls di DN1500mm di attraversamento della viabilità, rendendo quindi il più possibile trasparente la nuova viabilità rispetto al deflusso delle acque. I tombini saranno collegati da un fosso trapezoidale in cls di base interna 1.5m e altezza 0.8m. Le sponde avranno un'inclinazione 1H:1V. Tutte le opere di progetto avranno una pendenza 0.2%.

- IN64 e IN65 Nuovi attraversamenti

In corrispondenza delle progressive 82+413m e 82+461m il progetto prevede l'inserimento di due nuovi forni di trasparenza, rispettivamente con wbs IN64 e IN65.

Entrambi consistono in tombini in cls di DN 1500mm e pendenza 1.5% il primo e 2.0% il secondo.

Il secondo tombino, IN65, permetterà il deflusso verso Sud delle acque provenienti dal tombino di trasparenza esistente, il quale attraversa l'autostrada.



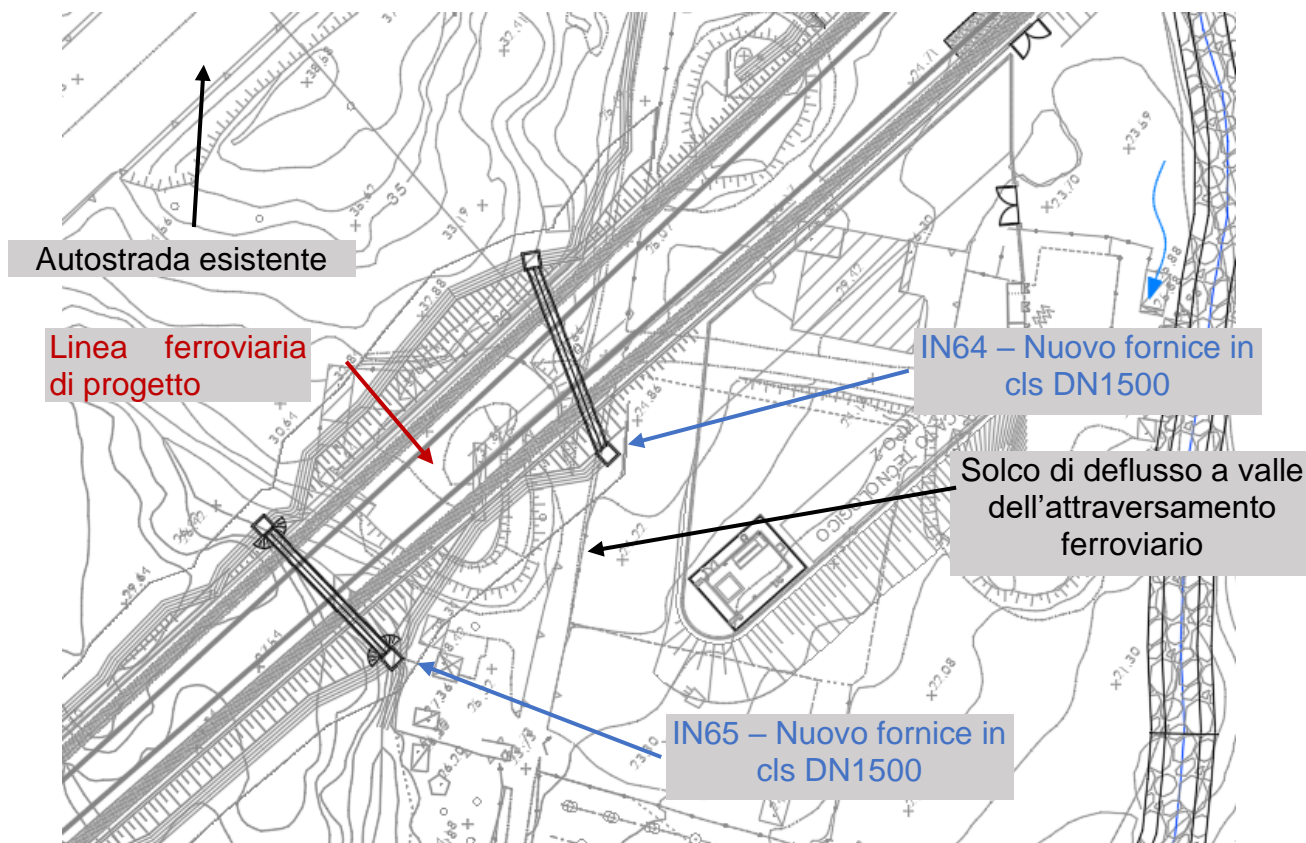


Figura 12 Inquadramento interferenze IN64 e IN65

- IN66 Fornice di trasparenza

Il progetto ha previsto alla progressiva 82+641m un fornice di trasparenza scatolare in cls di dimensioni interne 2.0x2.5m. Tale opera avrà l'obiettivo di invitare le acque meteoriche incidenti l'area interclusa tra il rilevato dell'autostrada esistente e quello della nuova linea ferroviaria di progetto a defluire verso sud, a valle della linea ferroviaria.

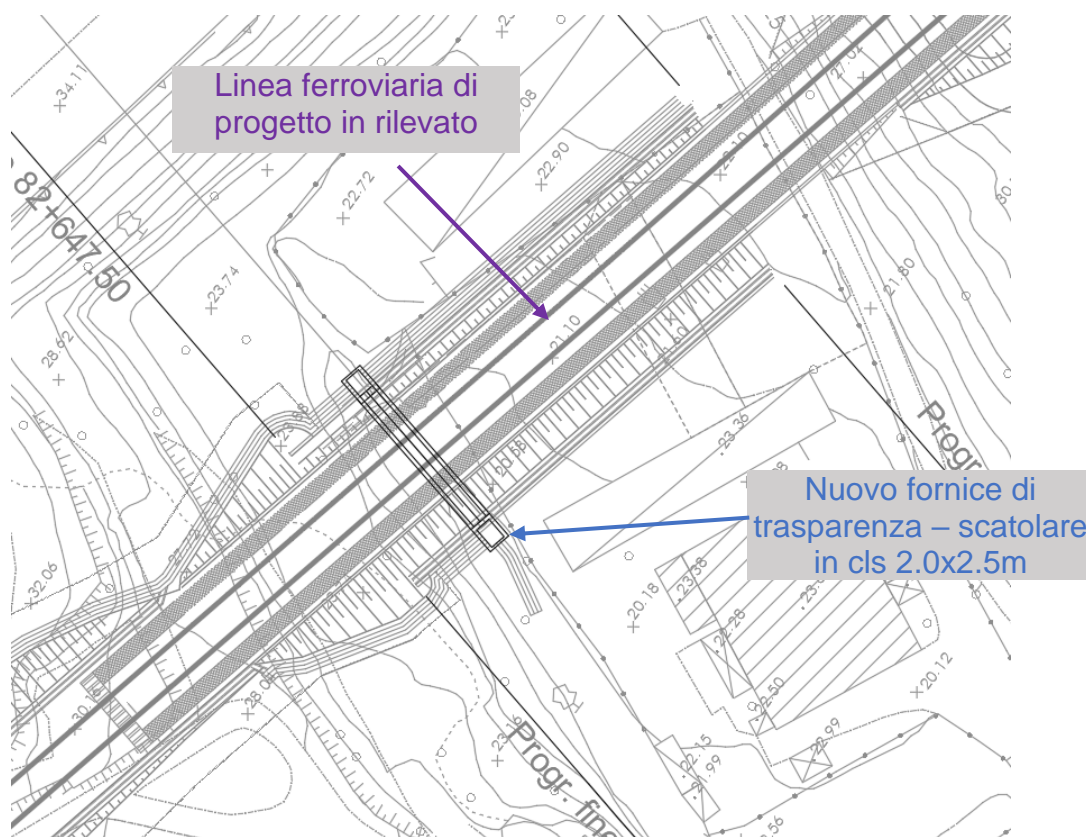


Figura 13 Inquadramento interferenze IN66

- IN31 – Nuovo tombino di trasparenza

La zona di interesse è ubicata alla progressiva 82+900 nel Comune di Albenga (SV), e precisamente vicino alla frazione di Campochiesa, per un tratto dell'impluvio di circa 150 m, subito a valle dell'attraversamento dell'autostrada A10. La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova in un'area poco lontana dalle abitazioni della sopracitata frazione, dove sono presenti anche alcune serre.

L'opera di scavalco del corso d'acqua è costituita da uno circolare di diametro 2000 mm in calcestruzzo armato, ubicato alla progressiva km 82+900 e prevede anche la sistemazione spondale e dell'alveo del rio a monte e a valle del nuovo attraversamento. La sistemazione prevede la regolarizzazione del fondo alveo in una sezione trasversale a forma trapezia di larghezza al fondo pari a 6.00 m.

Lo sviluppo totale dell'intervento è pari a 6 m a monte e 35 m a valle e prevede un rimodellamento dell'alveo attuale con la posa di massi intasati con materiale d'alveo, su letto di scapolame e strato di geotessile in polipropilene, posizionato in questa sede per evitare l'asportazione del materiale fine sottostante. Le sponde sono anch'esse realizzate con massi ed hanno pendenza di 1 su 1.

Tutte le zone di sistemazione sono delimitate a monte e a valle da un taglione al fine di garantirne l'ottimale e duraturo contenimento.

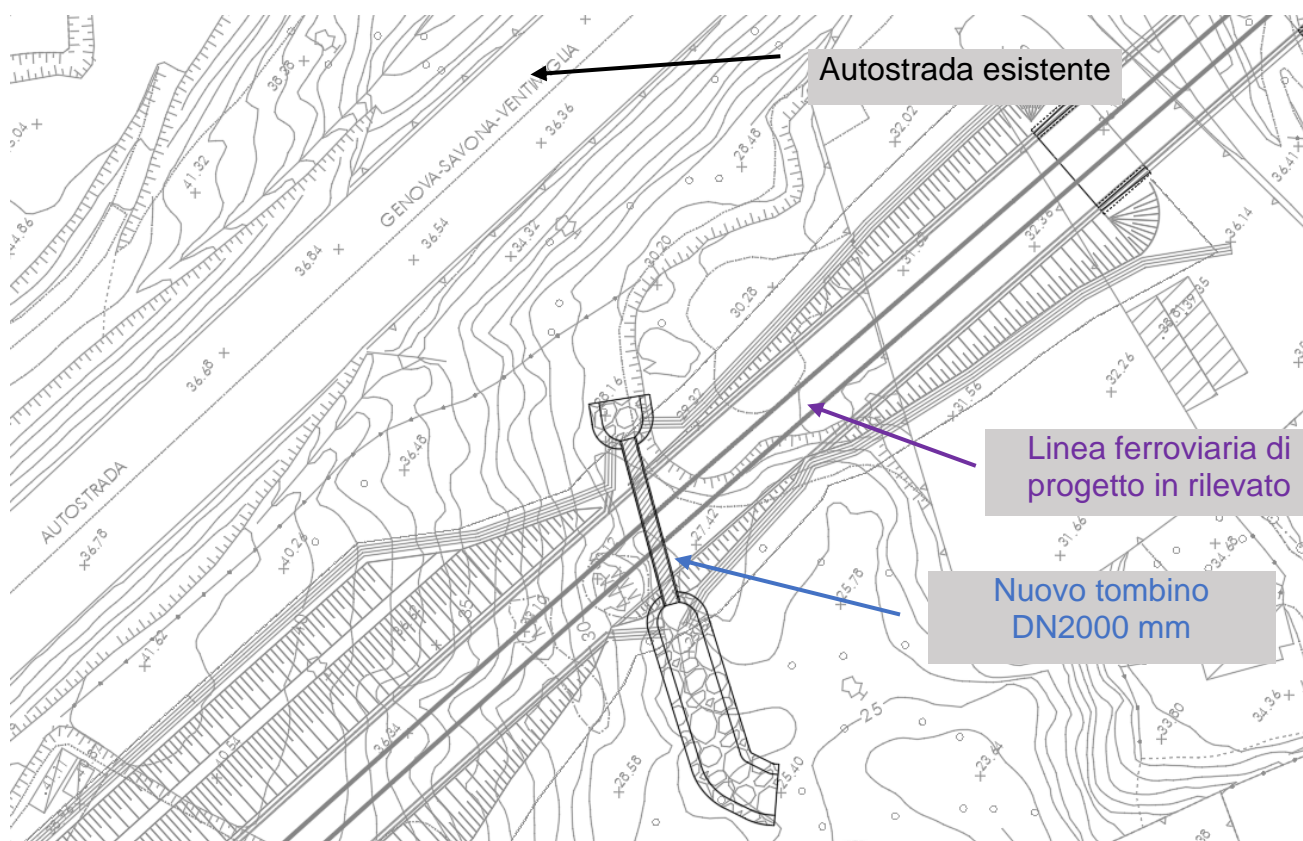


Figura 14 Inquadramento interferenze IN31

- IN67 – Nuovo tombino di trasparenza

Alla progressiva 83+586m tra il rilevato autostradale e quello della nuova ferrovia è individuabile dalla cartografia tecnica un fosso di scolo verso il Torrente Carenda. Lo stato di progetto prevede la realizzazione di un tombino in cls di diametro DN 1500mm e di un canale rettangolare in massi 1.50x0.80m al fine di permettere la continuità del deflusso delle acque verso il recapito finale. Le opere avranno una pendenza dello 0.4%.

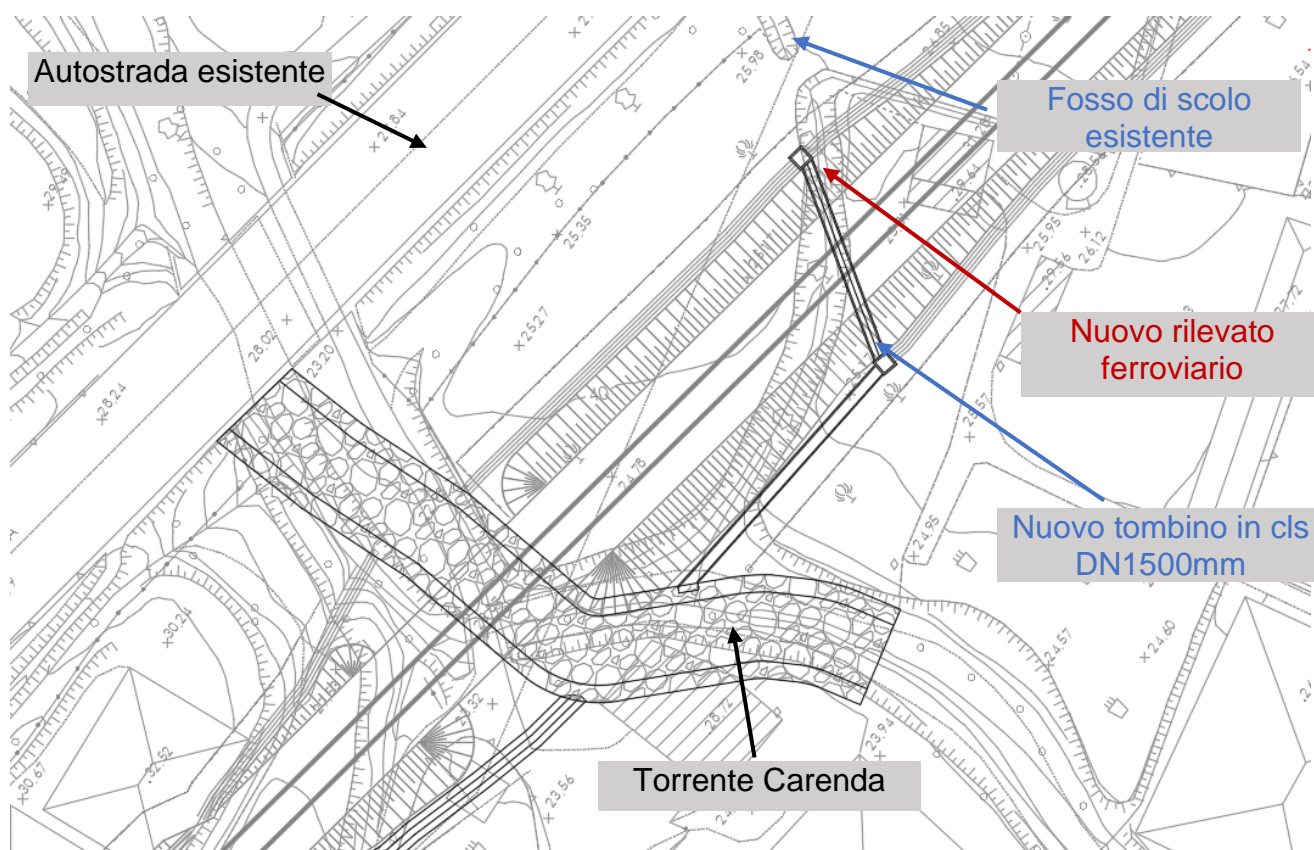


Figura 15 Inquadramento interferenze IN67

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  21 di 66

- IN68 – Nuovo canale di scolo

Alla progressiva 84+191m è attualmente presente un tombino di drenaggio, il quale attraversa il rilevato autostradale, consentendo il deflusso delle acque da nord verso sud.

Il raddoppiamento della linea ferroviaria prevede la nuova sede a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Il tratto della linea interessato dall'interferenza si sviluppa in galleria (i.e. GA11 – Galleria Parei). Parte dell'infrastruttura è prevista fuori terra, in rilevato. Il dislivello tra l'estradosso della galleria e il piano campagna risulta essere pari a circa 1.7m.

Il dislivello geodetico non ha pertanto reso possibile prevedere l'attraversamento della linea ferroviaria da parte del fosso di scolo, in quanto la scelta progettuale è stata quella di evitare sifoni.

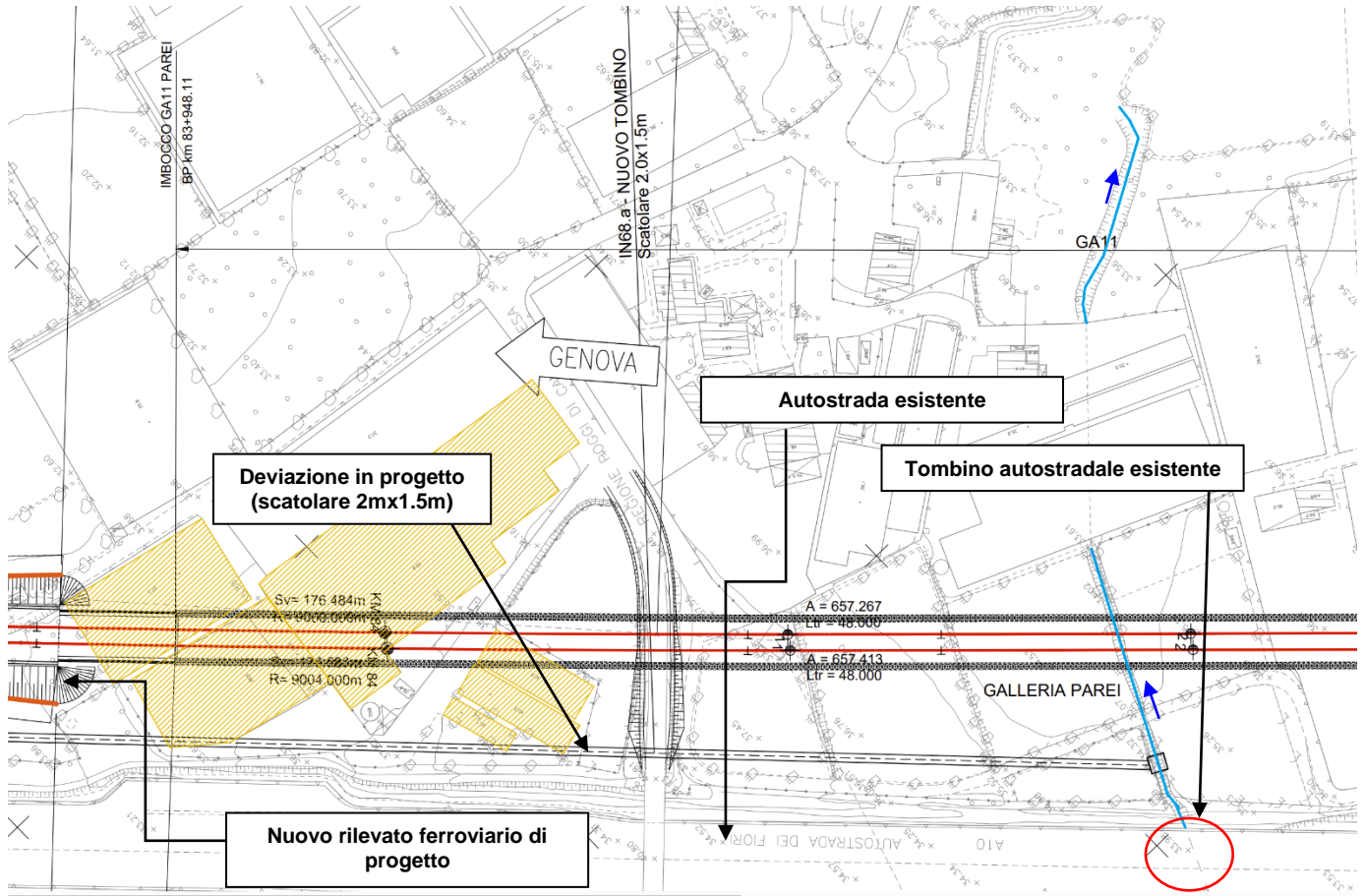
Per via dello sviluppo della nuova linea ferroviaria in galleria, la risoluzione dell'interferenza consiste quindi in una deviazione con sviluppo longitudinale all'autostrada A10 (a partire da una sezione subito a valle del tombino esistente autostradale): nella parte iniziale si prevede uno scatolare interrato in cls di dimensioni interne 2.0x1.5m, il quale scorre da sud-ovest verso nord-est sotto-attraversando la viabilità esistente *Regione Poggi di Campochiesa*. Successivamente lo scatolare risulta fuori terra con una sezione trapezoidale realizzata con massi, di base 2m, altezza 1m con pendenza delle sponde 3H:2V, che recapiterà le acque nel Torrente Carenda, nel quale già defluiscono per la naturale morfologia del terreno.

Il canale avrà una pendenza longitudinale pari a 0.5% nei primi 238m, segue un tratto di 3.1%. Il canale rivestito in massi avrà una pendenza di 3.6%.

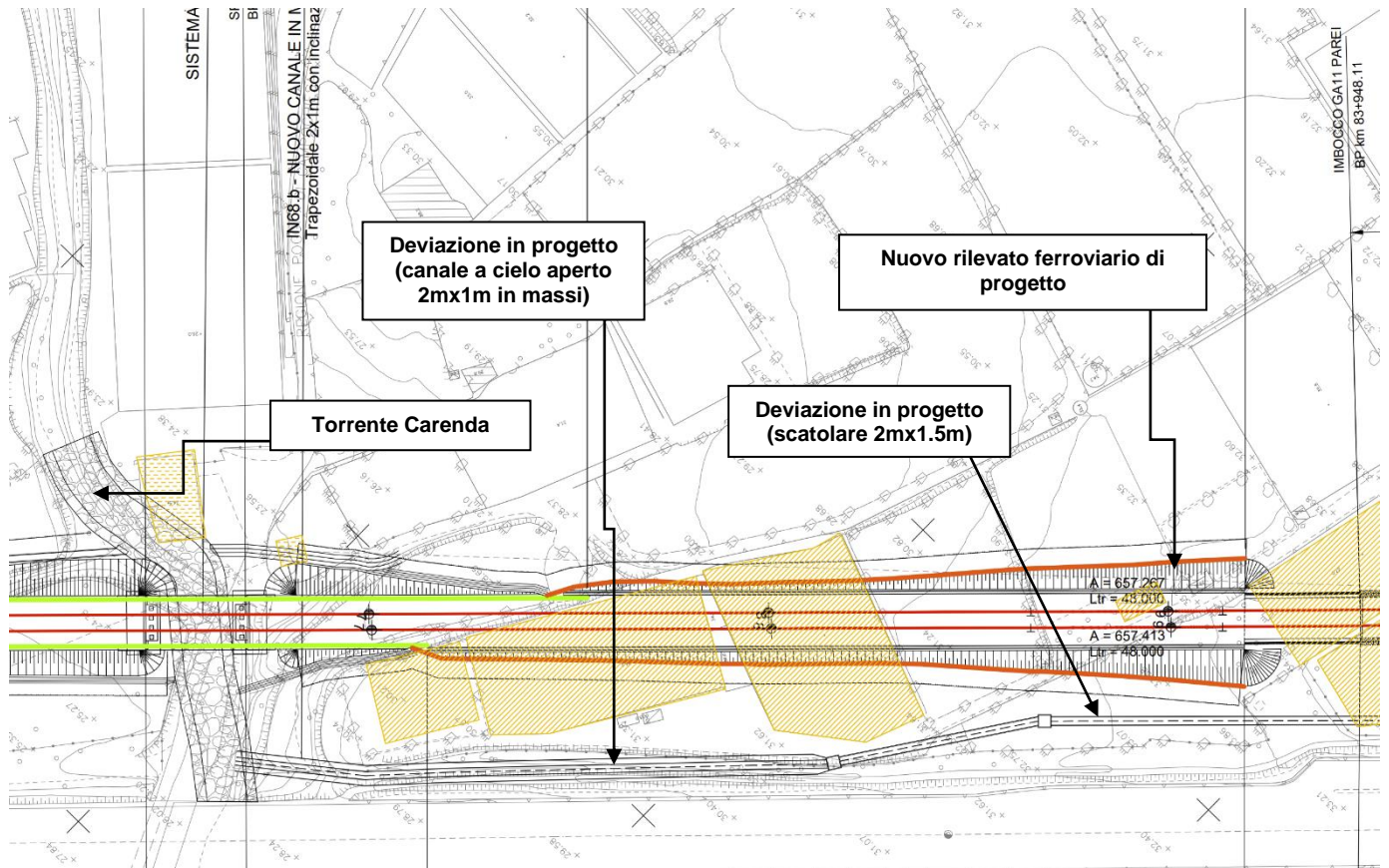
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	22 di 66



*Figura 16 Inquadramento n.1 interferenza IN68*



*Figura 17 Inquadramento n.2 interferenza IN68*

Le dimensioni 2.0mx1.5m dello scatolare sono quindi dettate da vincoli plano-altimetrici delle infrastrutture viarie esistenti, interferenti con la deviazione in progetto, dovuta a sua volta allo sviluppo altimetrico del nuovo tracciato ferroviario previsto.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  24 di 66

- IN69 IN69.c IN69.e IN69.g - Tombini attraversamento secondario

In corrispondenza della progressiva 84+636m della linea di progetto è attualmente esistente un corso d'acqua, il quale attraversa con un tombino scatolare di 5m e altezza 4m il rilevato autostradale.

Dalla delimitazione del bacino imbrifero, è emerso che la superficie dell'area scolante è pari a 0.101km<sup>2</sup>. Secondo l'Art. 6 - *Reticolo idrografico significativo Sezione II - Norme di Carattere idraulico dell'elaborati "Normativa di Piano" del "Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Autorità di Bacino Regionale" ultima modifica Decreto del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018* tale fosso rientra nella categoria "corsi d'acqua minori".

La risoluzione dell'interferenza ha previsto la deviazione a Nord della linea ferroviaria e successivo attraversamento del rilevato ferroviario, ricongiungendo così il canale al suo naturale percorso.

La geometria del nuovo canale è variabile da tratto a tratto in funzione della morfologia del terreno e delle infrastrutture interessate. Sono previsti 3 tratti di tombino, il primo IN68.c 2x1.5m il secondo IN68.e 2x1.5 m e il terzo IN68.g 2x2 m. L'immagine seguente mostra la disposizione planimetrica delle varie opere e le dimensioni delle stesse.



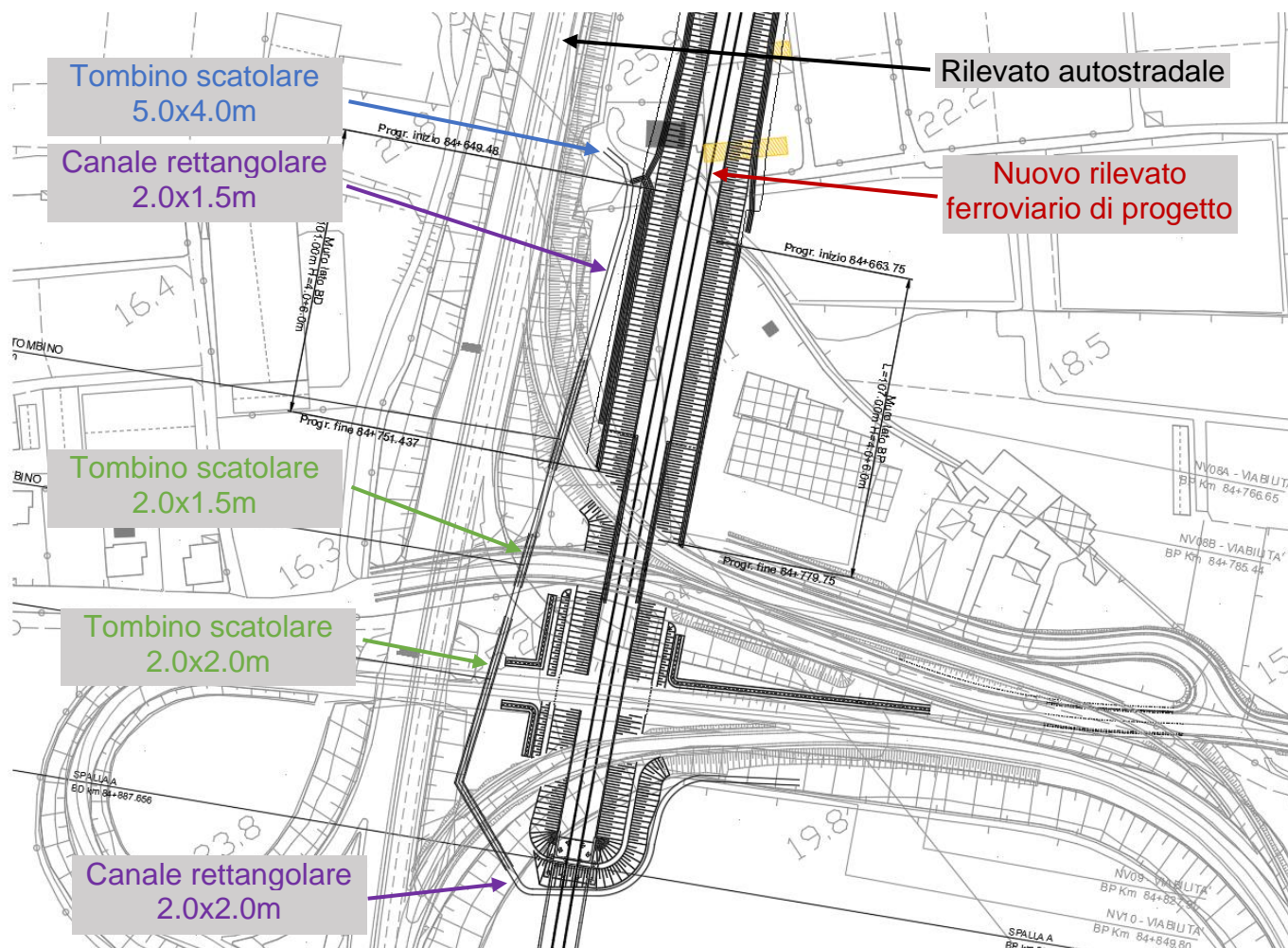


Figura 18 Inquadramento interferenze IN69 - IN69c IN69.e IN69.g

- IN70 – Tombino di attraversamento secondario

Alla progressiva 86+011m stata individuata un'interferenza con il reticolo idrografico minore.

Dalla delimitazione del bacino imbrifero, è emerso che la superficie dell'area scolante è pari a 0.139km<sup>2</sup>. Secondo l'Art. 6 - *Reticolo idrografico significativo Sezione II - Norme di Carattere idraulico dell'elaborati "Normativa di Piano" del "Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Autorità di Bacino Regionale" ultima modifica Decreto del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018* tale fosso rientra nella categoria "corsi d'acqua minori".

La risoluzione dell'interferenza consiste nella realizzazione di uno scatolare in cls di dimensioni interne di 2.0x2.0m.

Oltre a tale tombino, è stato previsto il convogliamento delle acque scolanti dal fosso esistente, il cui bacino delimitato fino alla progressiva 86+000m.

Di seguito si riporta uno stralcio con la disposizione planimetrica delle opere in oggetto.

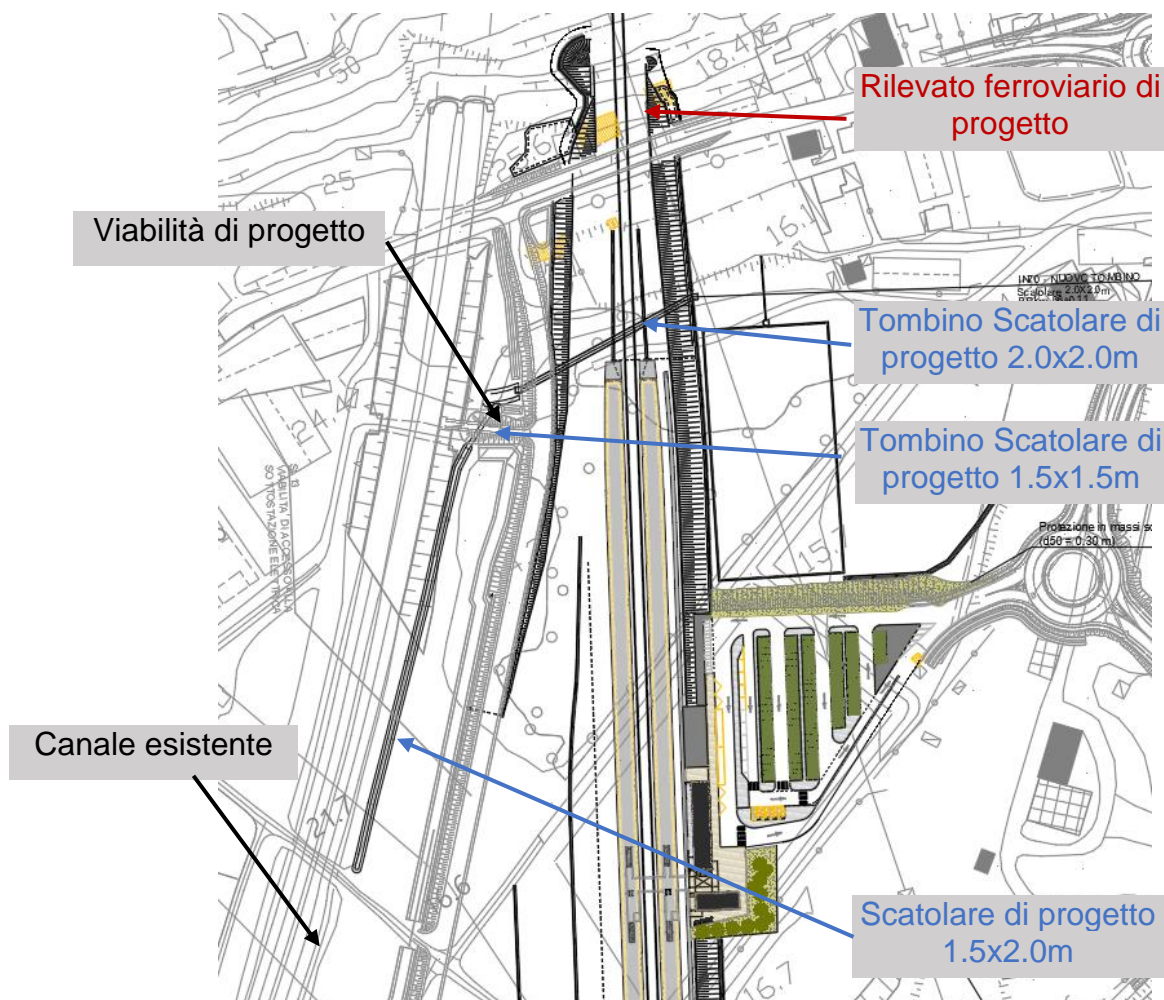
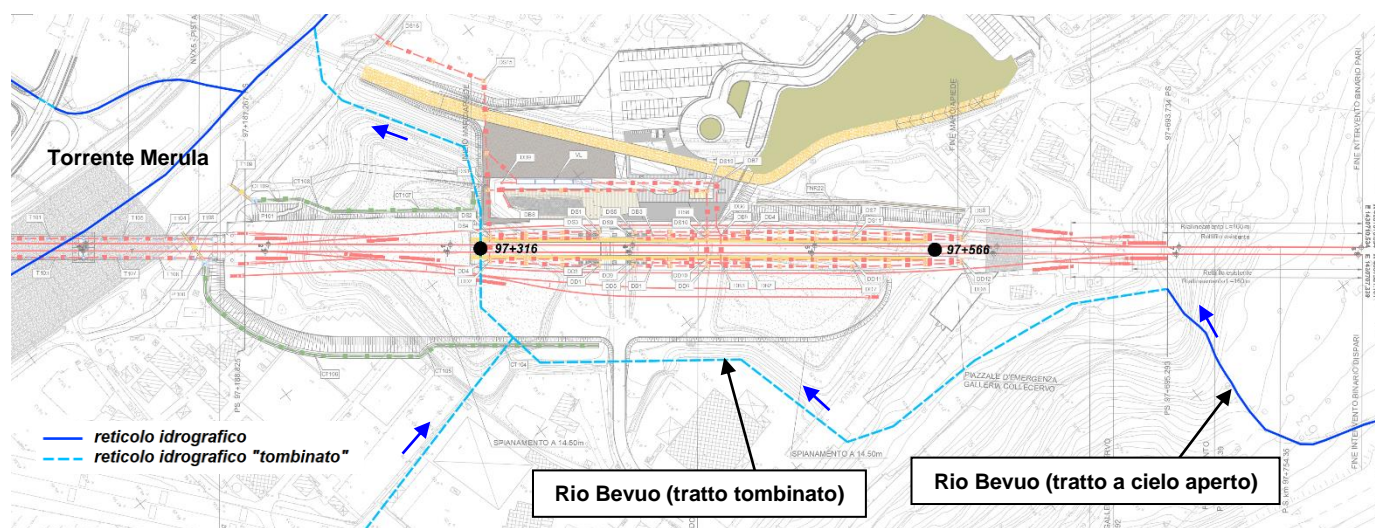


Figura 19 Inquadramento interferenze IN70

- Interferenza alle pk 97+316 e 97+566

Relativamente alle interferenze alle progressive 97+316 e 97+566, come mostrato nella figura seguente riportante uno stralcio della tavola grafica IV0100D26P7ID0002013 al quale è stato sovrapposto il reticolo idrografico regionale disponibile sul Geoportale della Regione Liguria (cfr. <https://srvcarto.regione.liguria.it/geoviewer2/pages/apps/geoportale/index.html?id=2542>), in corrispondenza della progr. 97+566 non vi è interferenza con il Rio Bevuo, il quale si sviluppa parallelamente alla linea ferroviaria fino alla progr. 97+316.



*Figura 20 Inquadramento interferenze alle pk 97+316 e 97+566*

In corrispondenza della progr. 97+316, il Rio Bevuo sotto-attraaversa la linea ferroviaria in progetto. Lungo tutto il tratto di parallelismo e sotto-attraaversamento della linea ferroviaria, il Rio Bevuo risulta già allo stato attuale “tombinato” al di sotto del piano campagna, come mostrato dall’immagine seguente. Non vi sono pertanto interferenze “dirette”.

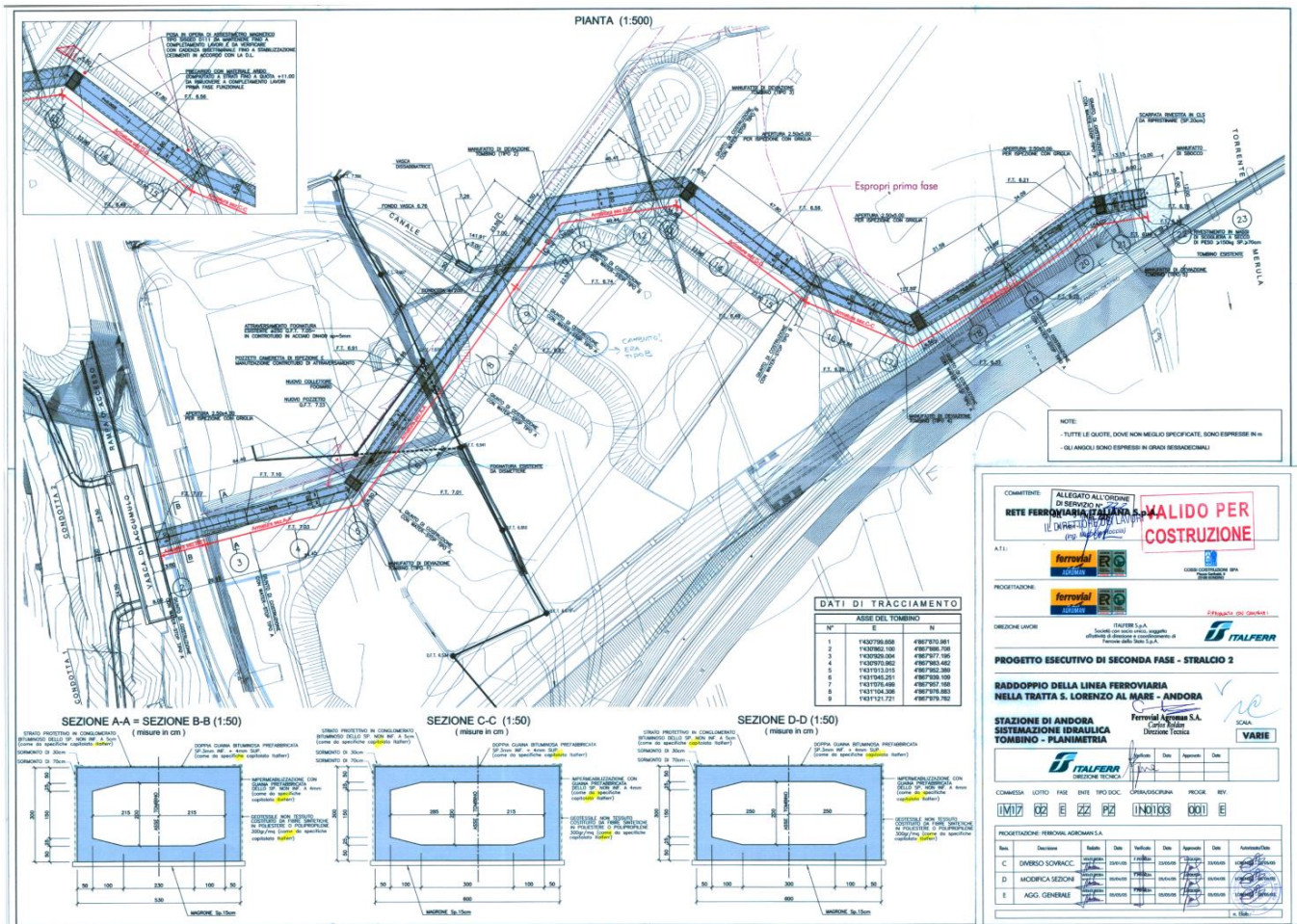


Figura 21 Estratto elaborato di progetto sistemazione idraulica Rio Bevuio (tratto tombinato)

## 4.2. Dati di base

Tutti gli attraversamenti idraulici devono convogliare delle portate, la cui stima ha origine dalla definizione dell'area che darà luogo al deflusso superficiale.

Nel presente progetto definitivo l'analisi idrologica fonda le basi nell'analisi dell'andamento plano-altimetrico del territorio interessato. Utilizzando il Modello Digitale del Terreno (DTM) ricavato dalla nuvola di punti rilevata, è stato possibile definire l'estensione di bacini aggiuntivi rispetto alla precedente fase progettuale di fattibilità tecnica economica.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>C</p>	<p>FOGLIO</p> <p>29 di 66</p>

I dati di base disponibili quindi per tale studio sono:

- DTM (Digital Terrain Model) con risoluzione 5 m della Regione Liguria;
- Carta Tecnica Regionale;
- le informazioni raccolte durante sopralluoghi effettuati mirati a definire gli attraversamenti idraulici e di progetti eseguiti nella zona di interesse, per reperire lo stato di fatto delle opere interessate;
- la rete idraulica della provincia sotto forma di shapefile (fonte Regione Liguria);
- le curve di possibilità pluviometrica definite ampiamente nella relazione idrologica IV0100D09RIID0001001.

La classificazione dei corsi d'acqua è avvenuta in funzione delle estensioni dei bacini imbriferi, a cui corrisponde un diverso approccio nella modellazione idrologica.

Nell'ambito del presente elaborato, in particolare, sono stati considerati gli attraversamenti con bacini non superiori a 0.3 km<sup>2</sup>. In particolare, gli attraversamenti di questa tipologia sono stati verificati, come definito in precedenza con le metodologie descritte nella presente relazione, con le portate duecentennali calcolate nella relazione idrologica a cui si rimanda.

#### **4.3. Tipologia di attraversamenti secondari/ fornicci di trasparenza**

Nella precedente fase progettuale, mediante l'uso del software GIS (ESRI ARCGIS 10.6) sono state studiate sia la rete idrografica sia le principali caratteristiche geomorfologiche e pedologiche dei bacini afferenti ai manufatti di attraversamento esistenti della linea ferroviaria, successivamente ricalcolate nell'attuale fase progettuale.

Di seguito si espongono le differenti modellazioni idrauliche eseguite sugli attraversamenti, differenziando la tipologia e le caratteristiche idrauliche.

Per i dettagli di ciascun attraversamento, informazioni sulle sezioni, rappresentazioni degli imbocchi e sbocchi si rimanda agli elaborati "Opere di carpenteria – Particolari e dettaglio".

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	30 di 66

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

#### 4.4. Portate per gli attraversamenti minori

Di seguito si riportano le portate per gli attraversamenti minori interessanti, ricavate utilizzando il metodo CIMA descritto nella relazione idrologica IV0I00D09RIID0001001, per un tempo di ritorno di 200 anni. Per la delimitazione dei bacini imbriferi si rimanda alle corografie dei bacini idrografici IV0I00D09C3ID0001001, IV0I00D09C3ID0001002, IV0I00D09C3ID0001003.

Progressiva sezione di chiusura Bacino	ID Tombino-Fornice di trasparenza	Tempo di ritorno [anni]	Area del bacino[km <sup>2</sup> ]	Tipo bacino	Portata [m <sup>3</sup> /s]
76+492	IN60	200	0.015	CIMA (tipo C,long.8°14.3')	0.42
76+890	IN62	200	0.036	CIMA (tipo C,long.8°14')	0.99
82+410	IN64	200	0	CIMA (tipo D,long.8°11.8')	0.01
82+462	IN65	200	0.012	CIMA (tipo D,long.8°11.8')	0.28
82+641	IN66	200	0.282	CIMA (tipo D,long.8°11.7')	6.75
82+900	IN31	200	0.080	CIMA (tipo D, long. 8°12.5')	1.90
83+591	IN67	200	0.009	CIMA (tipo D,long.8°11.2')	0.22
84+191	IN68	200	0.116	CIMA (tipo D,long.8°10.7')	2.74
84+657	IN69	200	0.101	CIMA (tipo D,long.8°10.6')	2.39
86+000	IN70	200	0.139	CIMA (tipo D,long.8°9.9')	3.28
86+237	IN70	200	0.023	CIMA (tipo D,long.8°10')	0.54

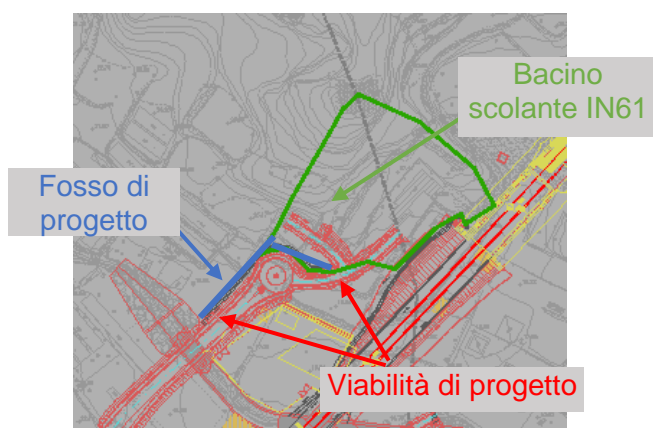
Tabella 3: Portate per gli attraversamenti minori ottenute con il metodo dell'AdB

Nella tabella non sono riportati i bacini con sezione di chiusura alle progressive 80+200, 80+732, 91+850, 97+449 e 97+680 in quanto non considerati interferenti con la linea, per i primi tre in quanto la linea ferroviaria si trova in galleria a elevata profondità e per gli ultimi due per sistemazioni già effettuate durante i lavori nella stazione di Andora.

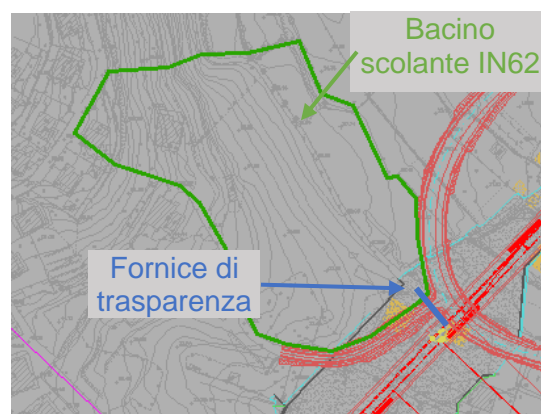
Oltre ai bacini sopra riportati, sono stati delimitati ulteriori tre bacini relativi ai soli attraversamenti stradali.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei bacini imbriferi delimitati, entrambi interessati da aree verdi/scarpate di rilevati.

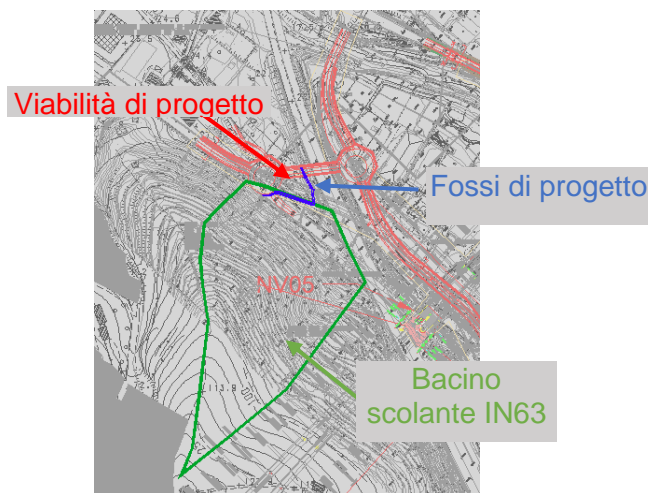
**Bacino scolante IN61**



**Bacino scolante IN62**



**Bacino scolante IN63**



*Figura 22 Bacini scolanti IN61, IN62 e IN63*

Le portate afferenti ai due nuovi fornici, dai bacini limitati, sono state valutate con il metodo razionale, che tiene conto dei fattori morfologici, pluviometrici e del tempo di corrivazione del bacino ( $T_c$ ), tramite la formula:

$$Q = 2.78 \frac{\varphi S h}{t_c}$$

Con  $h$  altezza di pioggia [mm],  $S$  area del bacino [ $\text{km}^2$ ],  $\varphi$  coefficiente di deflusso [-] che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino,  $t_c$  tempo di corrivazione [ore]. Essendo entrambi i bacini in aree verdi,

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C

è stato considerato un coefficiente di deflusso pari a 0.5. Data la ridotta estensione dei bacini imbriferi è stato assunto un tempo di corrivazione pari a 10 minuti.

Di seguito si riporta la stima della portata di picco sulla base delle considerazioni soprariportate.

	IN61	IN62	IN63
Coefficiente pluviometrico a (mm/h)	64.70	64.70	64.70
Coefficiente pluviometrico n (-)	0.464	0.464	0.464
<b>Tempo di ritorno <math>T_R</math> (ANNI)</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>
Superficie del bacino imbrifero (mq)	5320	14520.00	48044
Superficie del bacino imbrifero (kmq)	0.0053	0.0145	0.0480
Tempo di corrivazione $t_c$ (h)	0.17	0.17	0.17
Altezza di pioggia h (mm)	39.13	39.13	39.13
Coefficiente di deflusso $\phi$ (-)	0.50	0.50	0.50
Portata di piena Q (l/s)	173.48	473.49	1566.68
<b>Portata di piena Q (mc/s)</b>	<b>0.17</b>	<b>0.47</b>	<b>1.57</b>

Tabella 4: Portate per gli attraversamenti minori IN61, IN62a e IN63

#### 4.5. Procedura di verifica in ipotesi di moto uniforme

Tutti gli attraversamenti delle infrastrutture sono stati rigorosamente verificati in ipotesi di moto permanente.

I soli fossi a cielo aperto di comunicazione tra vari tratti tombinati sono stati verificato in ipotesi di moto uniforme. Tali fossi sono IN61, IN62, IN63, IN63a, IN67, IN68.

La verifica idraulica viene effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy e l'equazione di continuità:

$$V = \chi \sqrt{R_i i_{coll}}$$

$$Q_{max} = A_b V$$

Il coefficiente di scabrezza  $\chi$  è stato valutato, in questa sede, secondo la formula di Gaukler-Strickler:

$$\chi = K_s R_i^{1/6}$$



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>C</p>	<p>FOGLIO</p> <p>33 di 66</p>

ottenendo:

$$Q_{max} = A_b K_s R_i^{2/3} i_{coll}^{1/2}$$

dove:

$Q_{max}$  è la massima portata smaltibile dal collettore, in  $m^3/s$

$A_b$  è la sezione idrica, in  $m^2$

$i_{coll}$  è la pendenza media del fosso, in  $m/m$

$R_i$  è il raggio idraulico, pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato, in  $m$

$K_s$  è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, assunto pari a  $K_s = 40 m^{1/3} s^{-1}$  per i fossi in terra/massi e pari a  $67 m^{1/3} s^{-1}$  per quelli in cls.

In base alle relazioni di cui sopra, è possibile verificare le differenti opere idrauliche, tenendo conto dei seguenti vincoli di progetto:

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a 0.5 m/s, al fine di evitare il deposito di sedimenti sul fondo;
- la velocità massima non deve essere maggiore di 4 m/s, al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- il grado di riempimento per le opere idrauliche deve essere non superiore al 70%.

#### **4.6. Procedura di verifica in ipotesi di moto permanente con hy-8**

Definiti i parametri pluviometrici, il metodo di trasformazione afflussi/deflussi e definite le differenti opere idrauliche in progetto si effettua la verifica delle medesime.

Le verifiche idrauliche sugli attraversamenti idraulici secondari/di trasparenza sono state condotte nell'ipotesi di moto permanente, sfruttando il programma HY8 sviluppato dall'ente federale americano FHWA.

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante. Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che il

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  34 di 66

deflusso relativo agli eventi di piena di riferimento siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura ferroviaria.

Il metodo adottato dal software HY-8 che costituisce uno standard ormai consolidato in questo tipo di progettazione, è fondato - da un lato - su un rigoroso approccio teorico e - dall'altro - su una ricca casistica sperimentale. Esso consente pertanto di trattare in modo semplice ma aderente al fenomeno fisico la relativa complessità del sistema costituito da canali di monte e di valle, imbocchi e canna del tombino.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

- la pendenza;
- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

Il software HY-8 automatizza la procedura di calcolo, tradizionalmente basata sull'impiego di abachi e nomogrammi.

In linea generale le condizioni idrauliche del deflusso attraverso il tombino possono essere governate sia dalla sezione d'imbocco (inlet control), sia dalle condizioni allo sbocco (outlet control).

La procedura si svolge secondo i passi di seguito schematicamente indicati, in cui l'obiettivo è la determinazione della quota di carico idraulico totale (o della quota di pelo libero) necessaria a far defluire la portata di progetto attraverso il tombino:

- viene eseguito il calcolo relativo alla condizione di inlet control, in cui i dati sono costituiti (oltre che dalla portata) dalla forma e dalle dimensioni dell'imbocco;
- viene eseguito il calcolo relativo alla condizione di outlet control, in cui i dati sono costituiti dalla forma, dalle dimensioni e dal materiale (scabrezza) della canna e dall'altezza d'acqua a valle dello sbocco;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C

Il maggiore dei due valori calcolati per le due condizioni viene assunto come quota che governa il deflusso.

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration) ossia l'Agenda del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti che detta i criteri e gli standard di progettazione delle strade, intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

Il "controllo da monte" si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico. Il programma HY-8 ha lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "Hydraulic Design of Highway Culverts," e HEC-14, "Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels".

Si illustra di seguito il modulo relativo alla verifica delle opere d'arte di attraversamento dei corsi d'acqua minori, schematicamente rappresentata nella Figura 23.

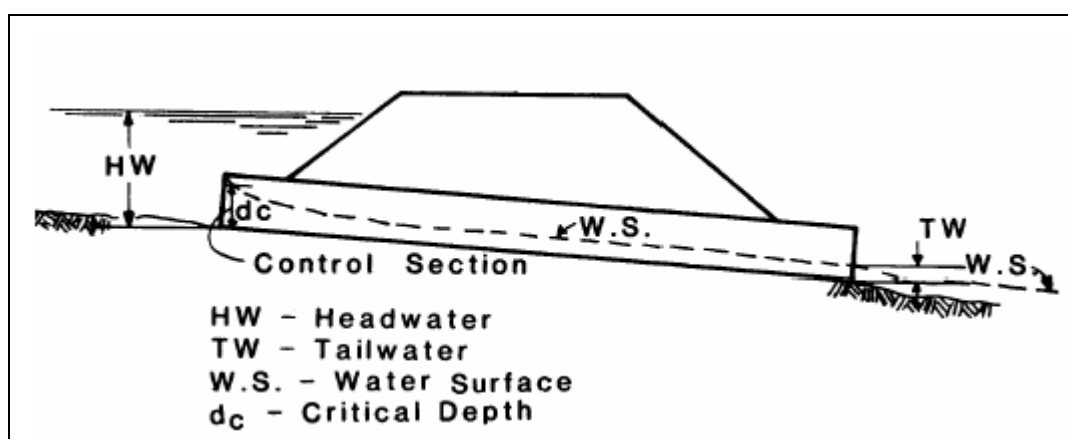


Figura 23 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso.

Il livello idrico a monte è stato valutato sulla base dei diagrammi sperimentali (Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA). I diagrammi nelle figure delle pagine seguenti forniscono tale livello in condizioni di "controllo da

monte” rispettivamente per tombini scatolari e circolari, prendendo in considerazione la portata di progetto e la geometria dell’ingresso (forma e area della sezione).

Il “controllo da valle” si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l’ingresso. La sezione di controllo si localizza all’uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

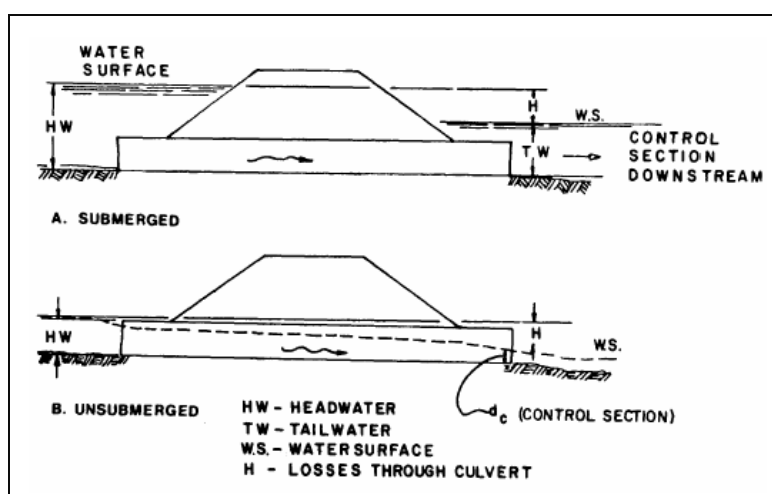


Figura 24 Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino.

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna e il tirante all’imbocco e allo sbocco. Nell’analisi delle strutture di progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell’immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla) o l’altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle.

#### 4.1. Procedura di verifica in ipotesi di moto permanente con HEC-RAS

La verifica in moto permanente mediante l’utilizzo del modello numerico HEC-RAS ha riguardato il tombino IN69, rappresentativo dell’attraversamento sul fosso che si sviluppa dalla progressiva 84+636m alla 84+848m.

### Modello matematico a moto permanente

Per il tracciamento dei profili liquidi a moto permanente, HEC-RAS risolve l'equazione di conservazione dell'energia:

Equazione di conservazione dell'energia:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} + h_e$$

La perdita di carico totale tra due sezioni successive del corso d'acqua  $h_e$  viene calcolata come somma delle perdite di carico per attrito lungo il contorno bagnato e delle perdite di carico per espansione o contrazione della corrente, secondo l'equazione:

$$h_e = S_f \cdot L + C \left| \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} - \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} \right|$$

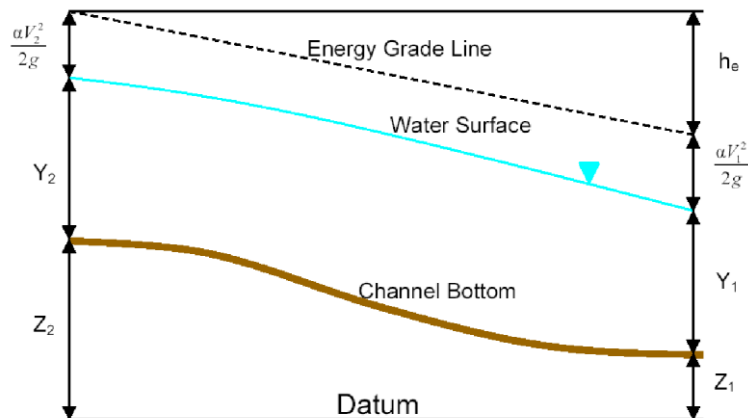


Figura 25 Equazione di conservazione dell'energia

Il significato dei vari termini presenti nelle equazioni precedenti è:  $z$  rappresenta la quota di fondo,  $y$  l'altezza liquida,  $U$  la velocità della corrente,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $\alpha$  il coefficiente correttivo dell'energia cinetica,  $S_f$  la pendenza della linea dell'energia,  $L$  lunghezza del tronco d'alveo tra le sezioni 1 e 2,  $C$  il coefficiente di perdita per contrazione/espansione della sezione liquida.

La lunghezza del tronco d'alveo tra le due sezioni, pesata rispetto alla portata, è espressa dalla formula:

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

dove:

$L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$ : sono le lunghezze del tronco d'alveo rappresentative del canale e delle golene sinistra e destra;

$Q_{lob}$ ,  $Q_{ch}$ ,  $Q_{rob}$ : sono le portate medie transitanti nel canale e nelle golene sinistra e destra.

Il metodo di soluzione adottato da HEC-RAS per l'equazione di continuità dell'energia applicata al moto permanente gradualmente vario richiede l'assunzione che la perdita di carico in una sezione sia la stessa che si avrebbe in moto uniforme a parità di sezione e velocità dell'acqua. HEC-RAS usa la formula del moto uniforme di Manning per valutare le perdite di carico distribuite, ossia la pendenza della linea piezometrica in alveo:

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2$$

dove  $K$ , fattore di trasporto, viene calcolato come:

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

in cui:

$n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning

$A$  è l'area della sezione

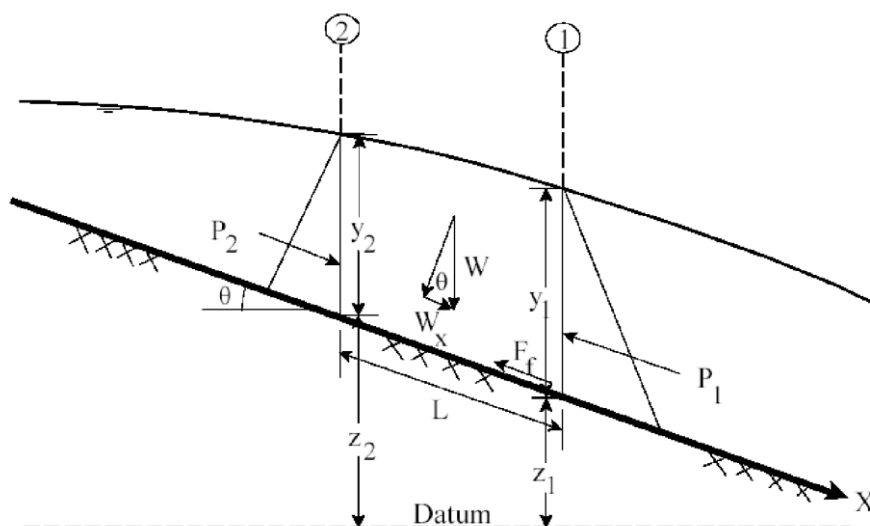
$R$  è il raggio idraulico della sezione bagnata.

Il sistema delle due equazioni consente la determinazione del profilo idrico della corrente una volta note la geometria e la scabrezza dell'alveo e le condizioni del moto alla sezione dalla quale deve iniziare il calcolo del profilo.

Nel caso di passaggio della corrente per lo stato critico o attraverso confluenze, diversivi fluviali e deflusso in corrispondenza di ponti, il flusso perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, si ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto:

Equazione di conservazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = \rho Q (\beta_1 \cdot U_1 - \beta_2 \cdot U_2)$$



*Figura 26 Equazione di conservazione della quantità di moto*

Il significato dei vari termini presenti nelle equazioni precedenti è:  $z$  rappresenta la quota di fondo,  $y$  l'altezza liquida,  $U$  la velocità della corrente,  $g$  l'accelerazione di gravità,  $\alpha$  e  $\beta$  i coefficienti correttivi rispettivamente dell'energia cinetica e della quantità di moto,  $P$  la risultante delle forze di pressione,  $W$  la risultante della forza peso,  $F_f$  la risultante delle forze di attrito,  $S_f$  la pendenza della linea dell'energia,  $L$  lunghezza del tronco d'alveo tra le sezioni 1 e 2,  $C$  il coefficiente di perdita per contrazione/espansione della sezione liquida,  $\rho$  la densità dell'acqua e  $Q$  la portata volumetrica.

Per la risoluzione dell'equazione di conservazione dell'energia (o in alternativa, dell'equazione della quantità di moto) in alvei a sezione variabile, HEC-RAS impiega un metodo noto come

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  40 di 66

"standard step method". Secondo tale metodo, una volta specificate le condizioni al contorno, il programma procede nel calcolo iterativamente, determinando per approssimazioni l'altezza dell'acqua alla successiva sezione di calcolo, sulla base dell'altezza già calcolata alla sezione corrente.

### **Approssimazioni del calcolo**

Le principali ipotesi su cui si basa il modello matematico utilizzato si possono così sintetizzare:

1. Assimilazione dell'onda di piena ad una corrente a pelo libero di tipo unidimensionale.  
 Questa assunzione non si discosta molto dalla realtà se l'alveo ha un andamento regolare, con curve non troppo brusche e con le sezioni trasversali che variano gradualmente nel senso della corrente. Infatti, la presenza di una singolarità produce variazioni delle caratteristiche della corrente, quali velocità e livello del pelo libero, non solo nella direzione longitudinale dell'asse, ma anche nella direzione ad esso perpendicolare.
2. Calcolo delle perdite distribuite secondo la formula di Manning e caratterizzazione del coefficiente di scabrezza  $n$ . Quando sia possibile una buona stima di questo coefficiente, il modello matematico è in grado di calcolare la propagazione di un'onda di piena con una approssimazione accettabile ai fini pratici. In assenza di conoscenze dettagliate delle caratteristiche fisiche delle sezioni ed in considerazioni del basso valore di portata esaminato, risulta opportuna l'adozione di valori comunque cautelativi.
3. Alveo a fondo fisso durante la propagazione della piena, senza risentire dell'azione modellatrice della corrente. Nella realtà, il passaggio di una piena sia naturale che artificiale altera inevitabilmente la morfologia della valle producendo dei mutamenti del tutto imprevedibili.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  41 di 66

## 5. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Di seguito viene analizzata sia la compatibilità idraulica delle opere di attraversamento in progetto con il territorio circostante.

Le nuove infrastrutture che interferiscono con il reticolo devono soddisfare le prescrizioni previste dalle diverse normative vigenti; in particolare gli strumenti normativi a cui si fa riferimento sono:

- Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico, Normativa di Piano per i Piani di Bacino del territorio della Provincia di Savona, Autorità di Bacino Regionale, ultima modifica Decreto del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018;
- Norme Tecniche Costruttive 2018 (NTC) e circolare applicativa;
- Manuale di Progettazione Ferroviaria 2020 (MdP) RFI DTC SI CS MA IFS 001 E.

In accordo con i riferimenti normativi soprariportati ogni manufatto idraulico di attraversamento (tombino/fornice di trasparenza) verrà verificato considerando eventi con tempo di tempi di ritorno pari a 200 anni.

Inoltre, nell'individuare le opere necessarie a garantire la sicurezza idraulica della linea è stato verificato che essa non sia di ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali, garantendo che:

- l'inserimento dell'opera non comporti un aumento del rischio idraulico, ma lasci inalterate le modalità di espansione delle piene in corrispondenza di eventi critici;
- ci sia continuità idraulica dei compluvi minori e sia consentito l'attraversamento dei canali esistenti;
- sia presente un sistema di drenaggio e smaltimento delle acque operativo, se necessario adeguando le opere esistenti con le norme vigenti.
- Le verifiche idrauliche sono state svolte con riferimento alle portate calcolate con i suddetti tempi di ritorno e ai seguenti criteri con riferimento alla tipologia di opere, in particolare per tombini e fornici il criterio più sfavorevole tra i seguenti:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C

- un franco idraulico così come definito nella tabella del paragrafo 5) *Franchi idraulici* della Normativa di Piano di seguito riportato:

<b>Franco idraulico:</b> <b>valore maggiore tra (a) e (b)</b>			
		<b>Reticolo principale e secondario</b>	<b>Reticolo minore</b>
<b>(a)</b>		$U^2/2g,$	$0,5 U^2/2g,$
<b>(b)</b>	I) argini e difese spondali	cm. 50/100	cm 50
	II) ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150	cm 75
	III) coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12	cm. 150/200	cm 100

dove:

- il termine  $U^2/2g$  rappresenta il carico cinetico della corrente con  $U$  velocità media della corrente (m/s) e  $g$  accelerazione di gravità ( $m/s^2$ ),
- Un grado di riempimento non superiore al 70% per i tombini in accordo al manuale di progettazione ferroviaria;
- Un riempimento massimo di 2/3 l'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0.50 m (circolare applicativa NTC2018);

Le dimensioni del canale sono state adattate quanto più possibile all'attuale configurazione, al fine di evitare l'alterazione delle attuali direzioni di deflusso del reticolo presente.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  43 di 66

## 6. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI VERIFICA IDRAULICA

In questo capitolo conclusivo si riportano le tabelle contenenti le verifiche idrauliche condotte sugli attraversamenti in progetto.

Buona parte dei canali esistenti sono stati tombinati esclusivamente per il tratto strettamente necessario al fine di garantire il funzionamento idraulico dell'attraversamento secondo i criteri di sicurezza idraulica (massimo riempimento e franco idraulico) illustrati nella presente relazione e al fine di rendere possibili e agevoli le operazioni di ispezione e manutenzione dei manufatti.

Secondo quanto previsto dal manuale di progettazione ferroviaria, le dimensioni minime per gli attraversamenti idraulici sono pari a  $\Phi 1500$  per gli attraversamenti ferroviari. Tuttavia, in alcuni casi, in cui sussistono vincoli alla modifica altimetrica del piano del ferro e in assenza di incisioni definite, si parla di fornici di trasparenza; in tali situazioni sono stati adottati dimensioni inferiori al minimo, coerentemente con quanto definito dalle NTC 2018, al fine di garantire la continuità idraulica, la corretta trasparenza del rilevato ferroviario ed evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del terreno circostante.

### 6.1. Verifica opere di progetto

La tabella seguente riepiloga le varie interferenze con le WBS assegnate. Per ognuna di esse si riportano:

- La sezione di chiusura del bacino imbrifero;
- La descrizione dell'opera, quindi se interessa un nuovo fornice di trasparenza, oppure un attraversamento di un canale esistente di drenaggio/scolo o di un corso d'acqua minore/minuto;
- La tipologia di opera, quindi se è previsto uno scatolare, un tombino circolare, un fosso in terra/massi oppure in cls;
- La lunghezza, la pendenza e le quote di scorrimento di fondo di valle e monte dei vari tratti;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 26 RI</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>C</p>	<p>FOGLIO</p> <p>44 di 66</p>

- L'area del bacino scolante, la portata di riferimento, il tirante e la velocità ottenuta dai risultati;
- L'esito della verifica in funzione del grado di riempimento e dei franchi così come definiti dagli strumenti normativi di riferimento in funzione della tipologia di opera.

Si sottolinea come i valori minimi di franco idraulico di cui all'Allegato III, punto 5) delle NTA del PAI sono riferiti a corsi d'acqua appartenenti a / classificati come reticolo principale e secondario, e minore, secondo le definizioni riportate nella Sezione II, art. 6 comma 2, delle NTA stesse. Al medesimo articolo 6 comma 3 delle NTA del PAI, si asserisce:

*“Nelle more della definizione della carta regionale univoca del reticolo idrografico da parte della Regione Liguria, ai fini dell'applicazione della presente norma, si fa riferimento alla carta del reticolo idrografico (tav. 13)3, già carta del reticolo idrografico principale, integrato da tutti i tratti individuati dalla base topografica della cartografia della Carta Tecnica Regionale.”*

Con riferimento quindi alla nuova cartografia aggiornata del reticolo idrografico regionale (cfr. deliberazione della Giunta regionale n.1280 del 14 dicembre 2023), si evidenzia che le opere IN62a (DN1000), IN63 (DN 1500), IN63a (DN 1500), IN63b (DN1500) e IN68 (2x1,5) insistono su fossi/scoli non appartenenti al reticolo idrografico regionale ovvero si configurano come opere di trasparenza idraulica. Pertanto, per tali opere non si ritengono applicabili i limiti sul franco idraulico di cui al suddetto Allegato III, punto 5).

Per quanto concerne le opere IN70 e IN70b, esse insistono su un affluente (in destra idraulica) del Rio Valletta, appartenente al reticolo idrografico regionale, nello specifico classificabile come “corso d'acqua minore”, in ragione dell'estensione del bacino idrografico afferente (0.139 km<sup>2</sup>).

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	45 di 66

**Tabella 5: Risultati verifiche attraversamenti secondari e fornic di trasparenza**

Bacino	WBS Interferenza	Descrizione	Dimensioni	Base (m)	Altezza (m)	Quota di scorrimento monte (m slm)	Quota di scorrimento valle (m slm)	Lunghezza (m)	Pendenza (m/m)	Area bacino scolante (kmq)	Portata Tr200anni (mc/s)	Tirante massimo Tr200anni (m)	Franco idraulico (m)	Altezza corrisponde ai 2/3 della sezione utile al deflusso	Velocità massima Tr200anni (m/s)	Velocità minima Tr200anni (m/s)	Grado di riempimento %	Verifica
Sez. Chiusura progr. 76+492m	IN60.a	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	13.27	13.25	11.00	0.002	0.02	0.42	0.47	1,03	1.00	1.49	1.29	31%	ok
	IN61	Canale in terra	Fosso Trapezoidale in terra 0.8x0.8m Sponde 3H:2V	0.80	0.60	22.20	18.44	82.00	0.046	0.02	0.17	0.11	0,49	0.40	1.67	1.67	18%	ok
Sez. Chiusura progr. 76+890m	IN62	Nuovo attraversamento	Fosso Trapezoidale in terra 1.5x0.8m Sponde 3H:2V	1.50	0.80	28.79	24.92	87.00	0.044	0.04	0.99	0.22	0,58	0.53	2.50	2.50	28%	ok
	IN62.a	Nuovo attraversamento	DN1000	1.00	1.00	27.14	27.12	10.00	0.002	0.01	0.47	0.56	0,44	0.67	1.68	1.35	56%	ok
IN63	IN63	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	20.76	20.73	15.00	0.002	0.02	1.57	0.94	0,56	1.00	2.18	1.85	63%	ok
		Nuovo canale di scolo	Fosso Trapezoidale in cls 1.5x0.8m sponde 1H:1V	1.50	0.80	20.80	20.76	24.00	0.002	0.02	1.57	0.52	0,28	0.53	1.50	1.50	65%	ok
	IN63.a	Nuovo canale di scolo	Fosso Trapezoidale in cls 1.5x0.8m sponde 1H:1V	1.50	0.80	20.88	20.80	42.00	0.002	0.02	1.57	0.52	0,28	0.53	1.50	1.50	65%	ok
		Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	20.90	20.88	9.00	0.002	0.02	1.57	0.93	0,57	1.00	2.19	1.90	62%	ok
	IN63.b	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	20.93	20.90	16.00	0.002	0.02	1.57	0.94	0,56	1.00	2.18	1.90	62%	ok

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	46 di 66

Bacino	WBS Interferenza	Descrizione	Dimensioni	Base (m)	Altezza (m)	Quota di scorrimento monte (m slm)	Quota di scorrimento valle (m slm)	Lunghezza (m)	Pendenza (m/m)	Area bacino scolante (kmq)	Portata Tr200anni (mc/s)	Tirante massimo Tr200anni (m)	Franco idraulico (m)	Altezza corrisponde ai 2/3 della sezione utile al deflusso	Velocità massima Tr200anni (m/s)	Velocità minima Tr200anni (m/s)	Grado di riempimento %	Verifica
Sez. Chiusura progr. 82+410m	IN64	Nuovo fornice di trasparenza	DN1500	1.50	1.50	25.07	24.67	27.30	0.015	0.00	0.01	0.07	1,43	1.00	0.75	0.21	5%	ok
Sez. Chiusura progr. 82+462m	IN65	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	25.37	25.32	24.00	0.002	0.01	0.28	0.37	1,13	1.00	1.35	1.30	25%	ok
Sez. Chiusura progr. 82+641m	IN66	Nuovo fornice di trasparenza	Scatolare 2.0x2.5m	2.00	2.50	19.47	19.09	21.30	0.018	0.28	6.75	1.65	0,85	1.67	4.33	3.21	66%	ok
Sez. Chiusura progr. 83+591m	IN67	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	25.18	25.05	30.00	0.004	0.01	0.22	0.33	1,17	1.00	1.26	1.26	22%	ok
			Canale rettangolare in massi 1.50x0.80m	1.50	0.80	25.05	24.86	42.00	0.004	0.01	0.22	0.22	0,58	0.53	0.59	0.59	28%	ok
Sez. Chiusura progr. 84+191m	IN68	Nuovo canale di scolo	Scatolare 2.0x1.5m	2.00	1.50	33.97	32.81	232.00	0.005	0.12	2.74	0.90	0,60	1.00	2.47	2.4	60%	ok
			Scatolare 2.0x1.5m	2.00	1.50	32.81	28.50	138.50	0.031	0.12	2.74	0.88	0,62	1.00	4.54	2.31	59%	ok
			Canale trapezoidale rivestito in massi 2.0x1.0m sponde 3H:2V	2.00	1.00	28.50	23.22	148.00	0.036	0.12	2.74	0.35	0,65	0.67	3.15	3.15	35%	ok
Sez. Chiusura progr. 86+000m	IN70.a	Nuovo canale di scolo	Fosso trapezoidale 1.5x1.0	1.50	1.00	15.80	14.90	172.50	0.005	0.02	0.54	0.29	0,71	0.67	1.04	1.04	29%	ok

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 26 RI	IN0000 001	C	47 di 66

Bacino	WBS Interferenza	Descrizione	Dimensioni	Base (m)	Altezza (m)	Quota di scorrimento monte (m slm)	Quota di scorrimento valle (m slm)	Lunghezza (m)	Pendenza (m/m)	Area bacino scolante (kmq)	Portata Tr200anni (mc/s)	Tirante massimo Tr200anni (m)	Franco idraulico (m)	Altezza corrisponde ai 2/3 della sezione utile al deflusso	Velocità massima Tr200anni (m/s)	Velocità minima Tr200anni (m/s)	Grado di riempimento %	Verifica
Sez. Chiusura progr. 86+000m	IN70.b	Nuovo attraversamento	DN1500	1.50	1.50	14.90	14.80	18.50	0.005	0.02	0.54	0.50	1,00	1.00	1.72	1.61	33%	ok
Sez. Chiusura progr. 86+237m+Sez. Chiusura progr. 86+000	IN70	Nuovo attraversamento	Scatolare 2.0x2.0m	2.00	2.00	14.80	14.65	77.50	0.002	0.14	3.82	1.20	0,80	1.33	2.66	2.02	60%	ok

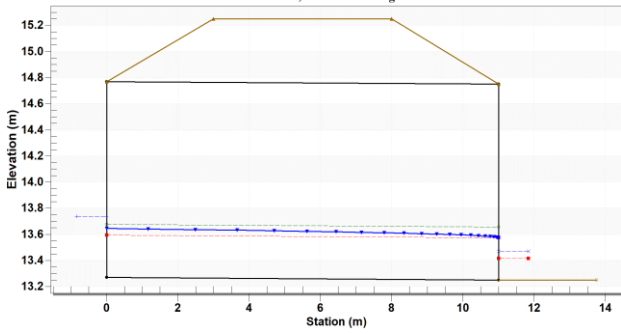
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	48 di 66

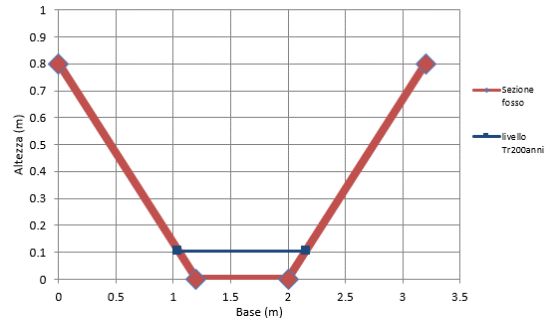
### Interferenza IN60

**Crossing - IN60, Design Discharge - 0.42 cms**  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.42 cms



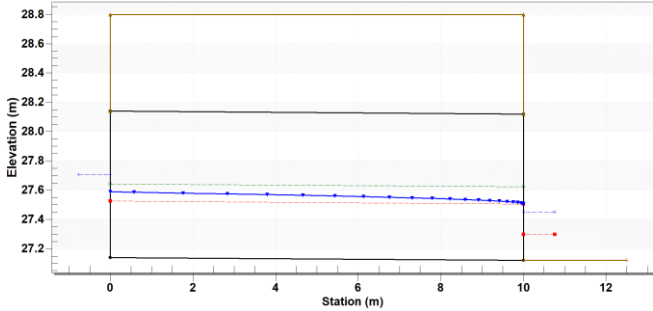
### Interferenza IN61

Fosso trapezoidale in terra IN61



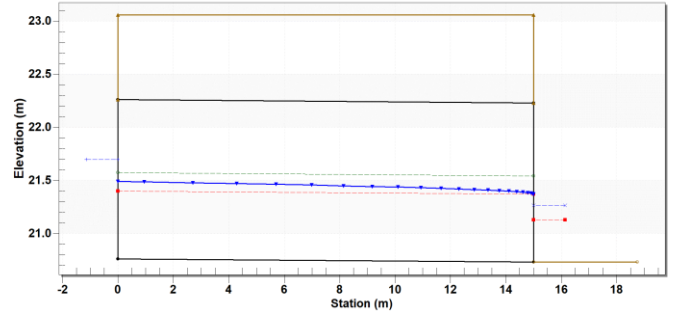
### Interferenza IN62a

**Crossing - IN62a, Design Discharge - 0.47 cms**  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.47 cms



### Interferenza IN63

**Crossing - IN63, Design Discharge - 1.57 cms**  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 1.57 cms



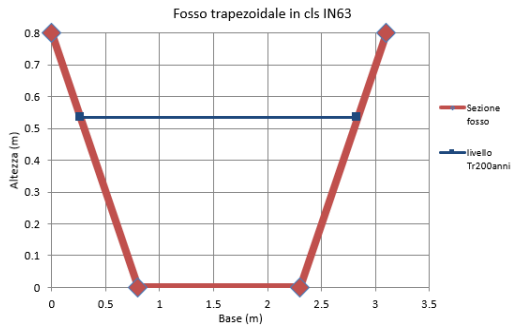


**PROGETTO DEFINITIVO**

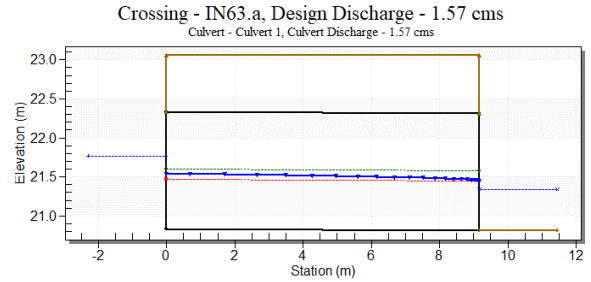
**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	49 di 66

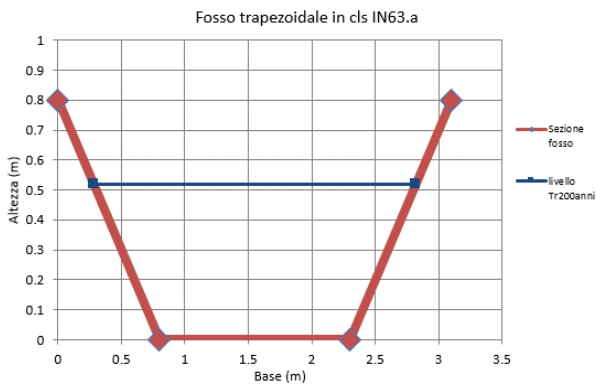
### Interferenza IN63



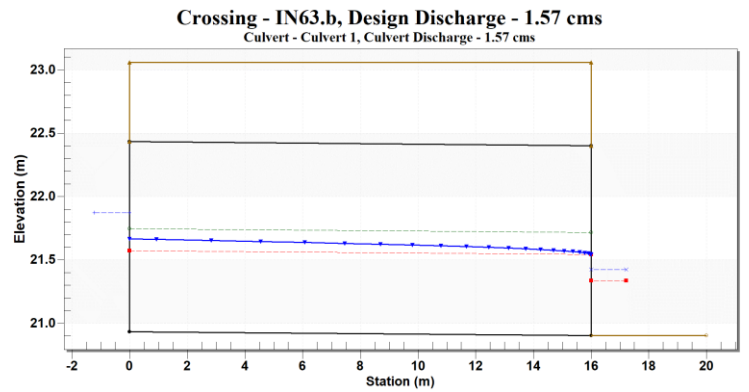
### Interferenza IN63.a



### Interferenza IN63.a

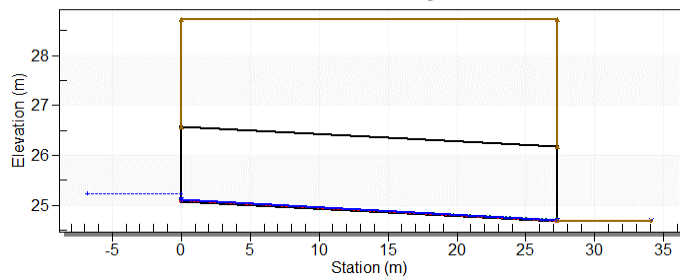


### Interferenza IN63.b



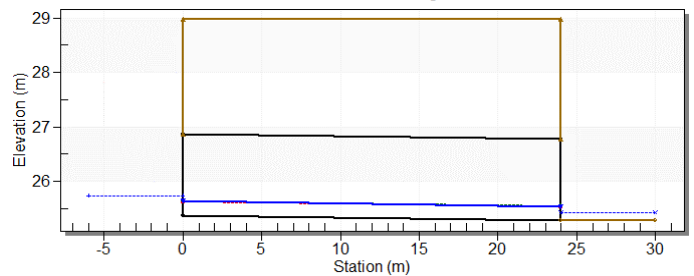
### Interferenza IN64

Crossing - IN64, Design Discharge - 0.01 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.01 cms



### Interferenza IN65

Crossing - IN65, Design Discharge - 0.28 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.28 cms



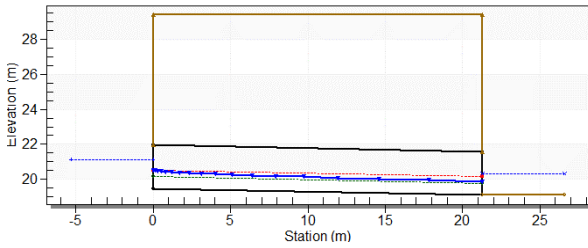
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	50 di 66

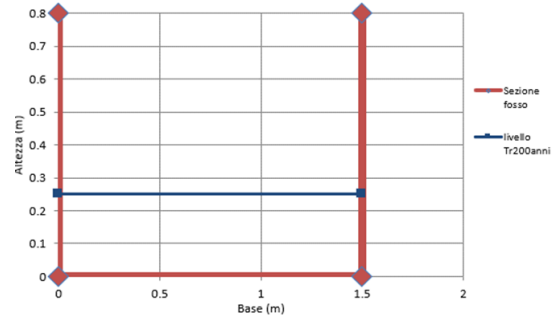
### Interferenza IN66

Crossing - IN66, Design Discharge - 6.75 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 6.75 cms



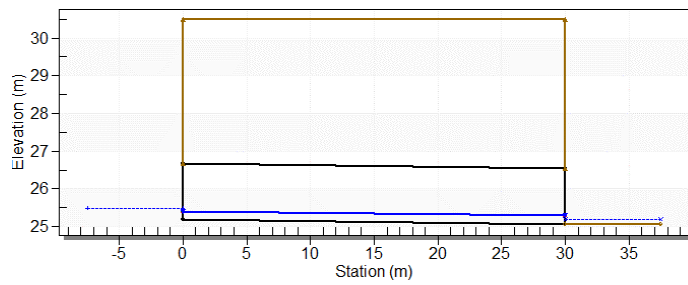
### Interferenza IN67

Fosso in cls in67



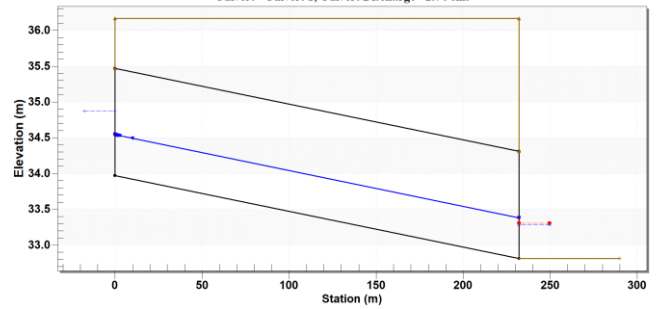
### Interferenza IN67

Crossing - IN67, Design Discharge - 0.22 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.22 cms



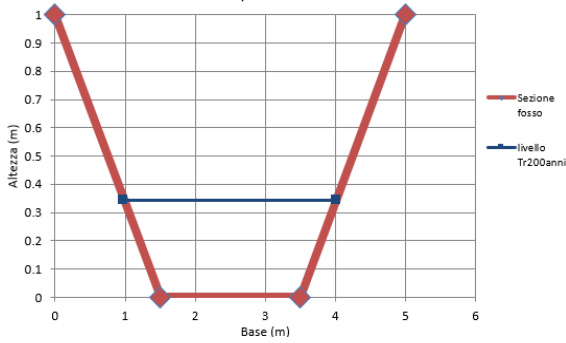
### Interferenza IN68

Crossing - IN68.a, Design Discharge - 2.74 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 2.74 cms



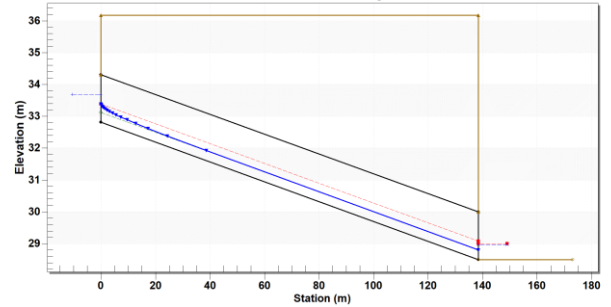
### Interferenza IN68

Fosso trapezoidale in massi IN68



### Interferenza IN68.b

Crossing - IN68.b, Design Discharge - 2.74 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 2.74 cms





**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

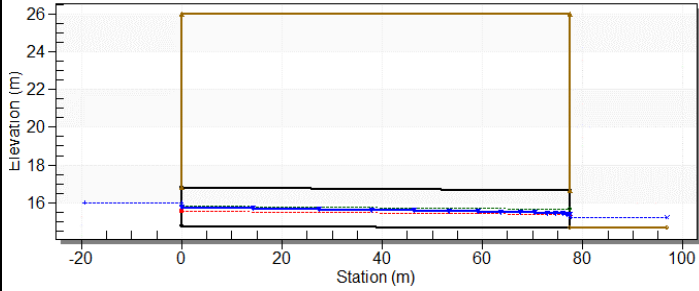
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	51 di 66

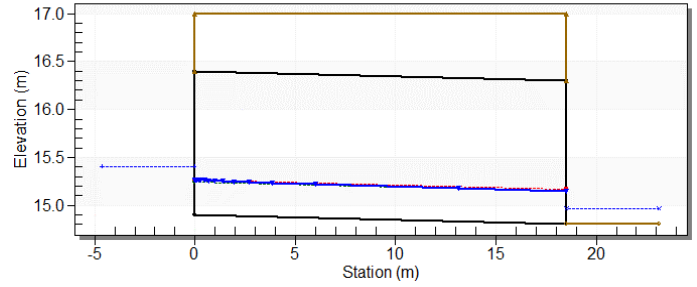
**Interferenza IN70**

Crossing - IN70, Design Discharge - 3.82 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 3.82 cms



**Interferenza IN70**

Crossing - IN70b, Design Discharge - 0.54 cms  
Culvert - Culvert 1, Culvert Discharge - 0.54 cms



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  52 di 66

## 6.2. Verifica attraversamento secondario IN69

L'interferenza in oggetto interessa tre attraversamenti con varie infrastrutture, di cui una ferroviaria e le rimanenti stradali.

A valle dello scatolare esistente di dimensioni 5x4m, il progetto ha previsto la realizzazione di tre scatolari in cls nei casi di attraversamento e di canali a cielo aperto in cls nei tratti interclusi.

Le geometrie possono essere come di seguito sintetizzate:

- Canale rettangolare cls 2.0x1.5m per una lunghezza di 91.5m;
- Tombino scatolare in cls 2.0x1.5m per una lunghezza di 40m;
- Canale rettangolare cls 2.0x1.5m per una lunghezza di 12.2m;
- Tombino scatolare in cls 2.0x1.5m per una lunghezza di 19.2m;
- Canale rettangolare in cls 2.0x1.5m per una lunghezza di 10m;
- Tombino scatolare in cls 2.0x2.0m per una lunghezza di 106.2m;
- Canale rettangolare in cls 2.0x2.0m per una lunghezza di 102m;
- Canale rettangolare in cls 2.0x2.0m e raccordo con canale esistente 1.50x2.0m per una lunghezza di 17m.

Data la successione delle varie geometrie e lo studio effettuato sull'altimetria al fine di rendere le opere di progetto compatibili con il reticolo idrico esistente, è stato scelto di verificare la compatibilità mediante un modello in moto permanente con HEC-RAS.

Essendo il canale di progetto realizzato completamente in cls è stato fissato un coefficiente di Manning pari a  $0.016 \text{ s/m}^{1/3}$ .

In aggiunta, sono stati assegnati i coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione rispettivamente pari a 0.1/0.3 per ogni sezione corrente di calcolo, ad eccezione di quelle in prossimità degli attraversamenti, per i quali i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA  IV01	LOTTO  00	CODIFICA  D 26 RI	DOCUMENTO  IN0000 001	REV.  C	FOGLIO  53 di 66

Le condizioni al contorno per la verifica sono state poste pari all'altezza critica per quanto riguarda la condizione al contorno di monte e pari all'altezza normale per quella di valle, quest'ultima stimata a partire dalla pendenza dell'alveo, pari a circa 0.675%.

Di seguito si mostra l'ubicazione delle opere su ortofoto.

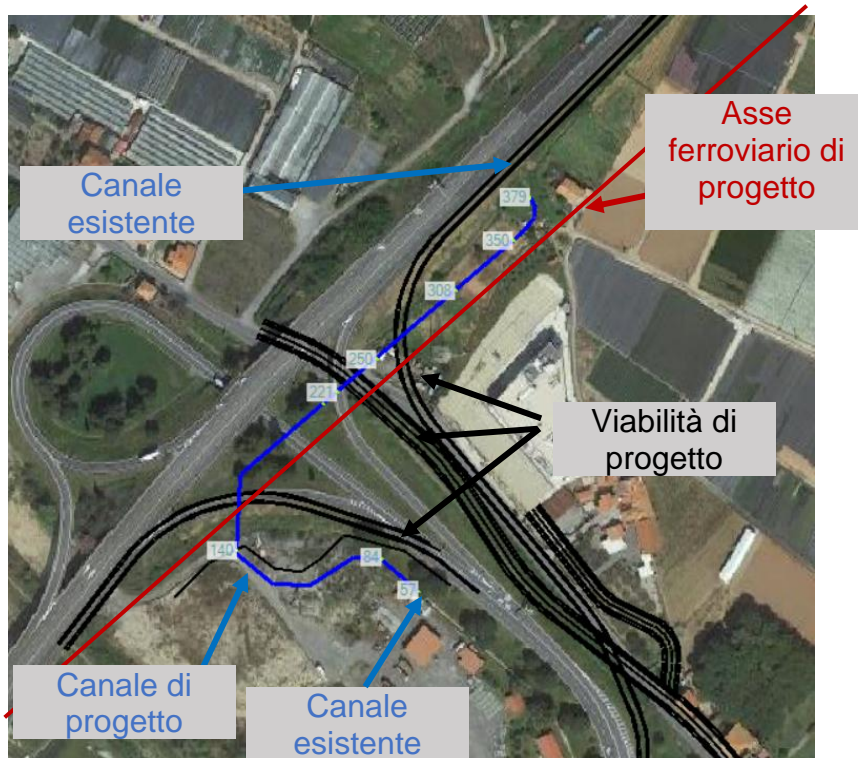


Figura 27 Inquadramento IN69 su Google Earth

Di seguito si riporta l'inquadramento su DTM dove il solco del tombino esistente è ancora più evidente.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C	FOGLIO 54 di 66

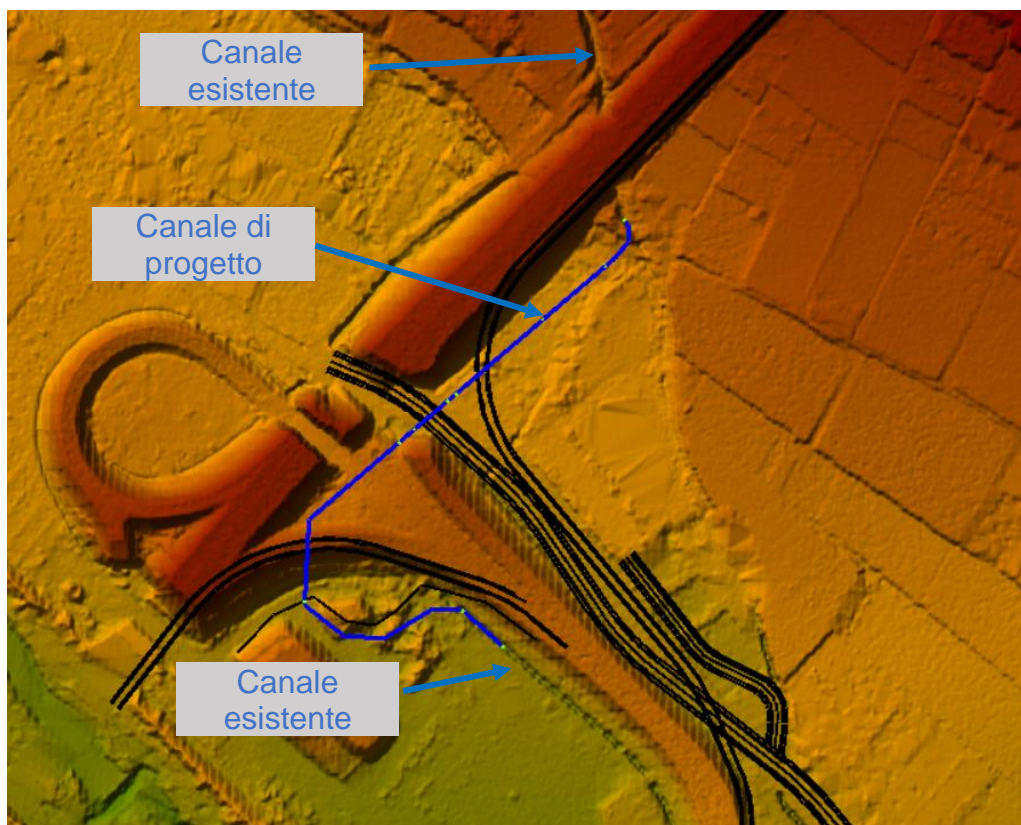


Figura 28 Inquadramento IN69 su DTM

La verifica in moto permanente è avvenuta considerando una portata con  $T_r200$  anni pari a 2.39 mc/s (cfr. relazione idrologica IV0100D09RIID0001001).

A seguire si riportano il profilo longitudinale da valle verso monte e i principali risultati, dove:

- WS Max Ws: è il massimo livello idrico raggiunto
- Crit max WS: è il livello massimo dell'altezza critica raggiunto
- Lat Strut. è la struttura laterale inserita (gli sfioratori laterali)
- Ground: è il livello del terreno
- Qtotal (mc/s): è la portata afferente;
- Min Ch El (m) è la quota altimetrica del punto più basso della sezione;
- W.S Elev (m) è la quota del livello idrico;
- Crit. W. S. (m) è la quota dell'altezza idrica;
- E.G. Elev. (m) è la quota della linea dei carichi totale;
- E.G. slope (m/m) è la pendenza della linea dei carichi totali;

- Vel. Chnl (m/s) è la velocità della corrente nella sezione.
- Flow Area (mq) è l'area bagnata;
- Top Width (m) è larghezza massima della sezione occupata dall'acqua;
- Froude Chl (-) è il numero di Froude.

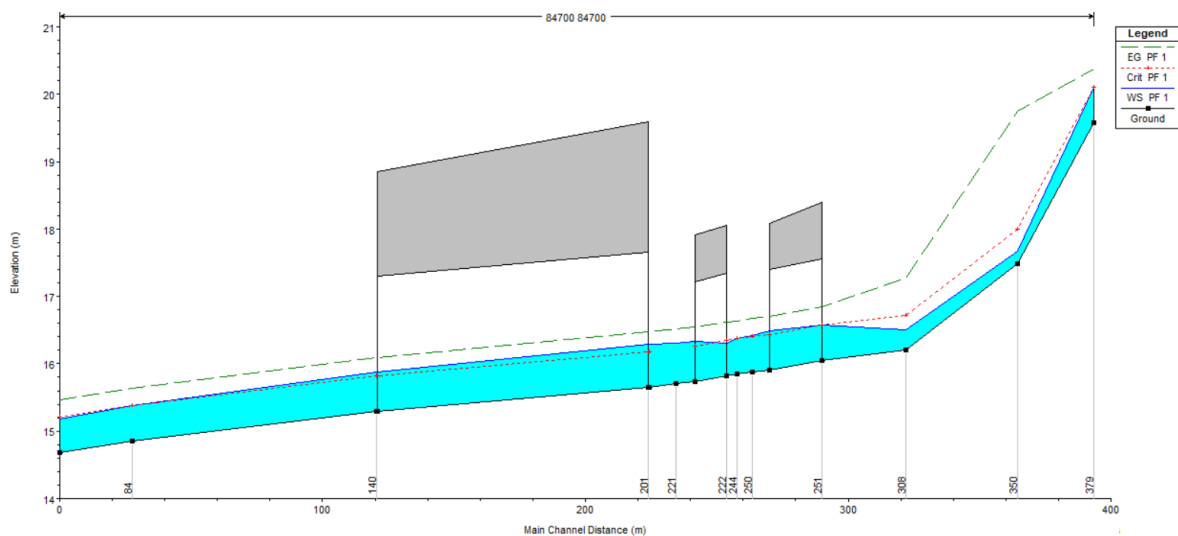


Figura 29 Profilo longitudinale di moto permanente T1200anni

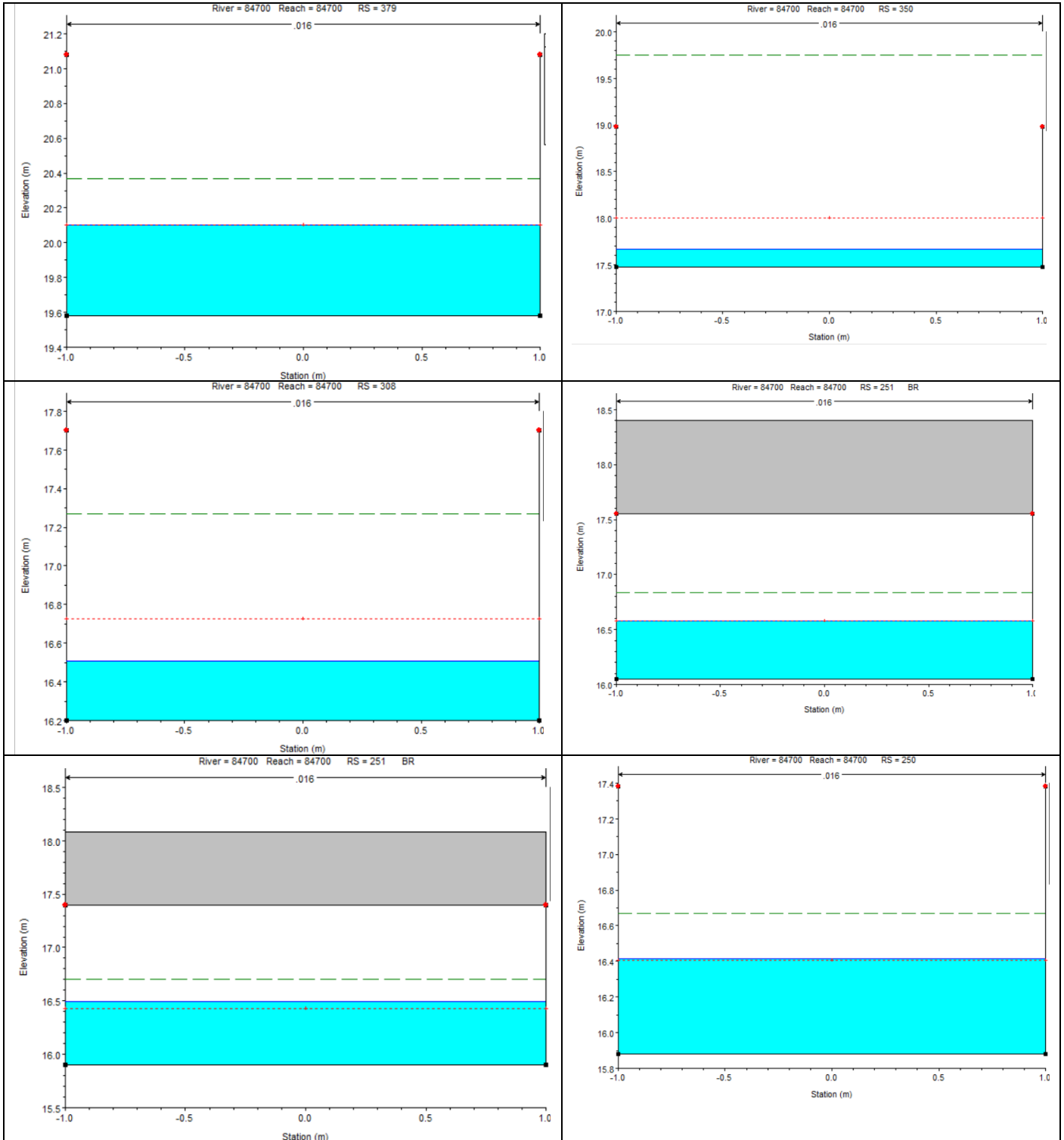
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
84700	379	PF 1	2.39	19.58	20.10	20.10	20.37	0.005524	2.28	1.05	2.00	1.01
84700	350	PF 1	2.39	17.48	17.67	18.00	19.75	0.122837	6.39	0.37	2.00	4.72
84700	308	PF 1	2.39	16.20	16.51	16.72	17.27	0.026162	3.86	0.62	2.00	2.22
84700	251	Bridge										
84700	250	PF 1	2.39	15.88	16.42	16.40	16.67	0.005175	2.23	1.07	2.00	0.97
84700	244	PF 1	2.39	15.85	16.37	16.37	16.64	0.005524	2.28	1.05	2.00	1.01
84700	222	Bridge										
84700	221	PF 1	2.39	15.71	16.31		16.51	0.003724	1.99	1.20	2.00	0.82
84700	203	PF 1	2.39	15.65	16.30	16.17	16.47	0.003046	1.85	1.29	2.00	0.73
84700	201	Bridge										
84700	140	PF 1	2.39	15.30	15.87	15.82	16.09	0.004304	2.09	1.14	2.00	0.88
84700	84	PF 1	2.39	14.85	15.37	15.37	15.64	0.005524	2.28	1.05	2.00	1.01
84700	57	PF 1	2.39	14.68	15.18	15.20	15.47	0.006475	2.41	0.99	2.00	1.09

Figura 30 Risultati della verifica in moto permanente T1200anni

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	56 di 66

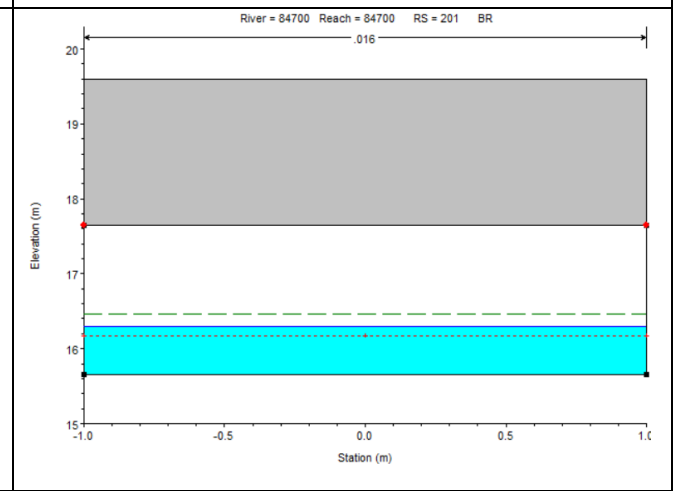
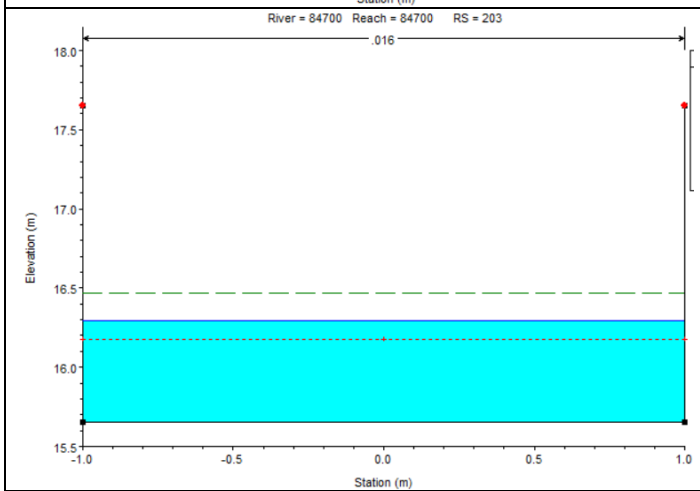
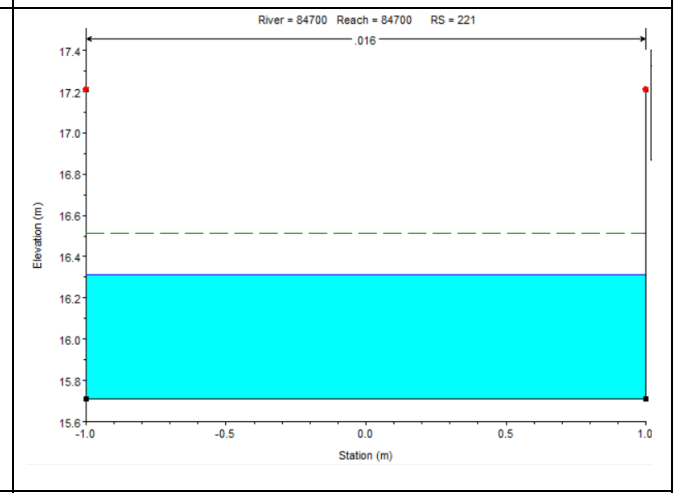
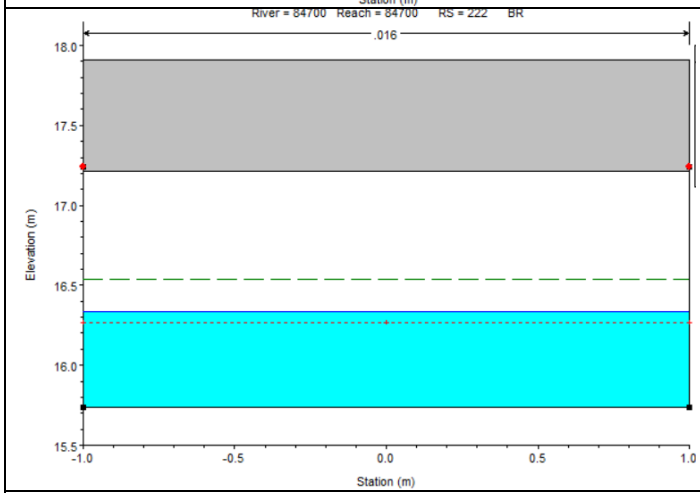
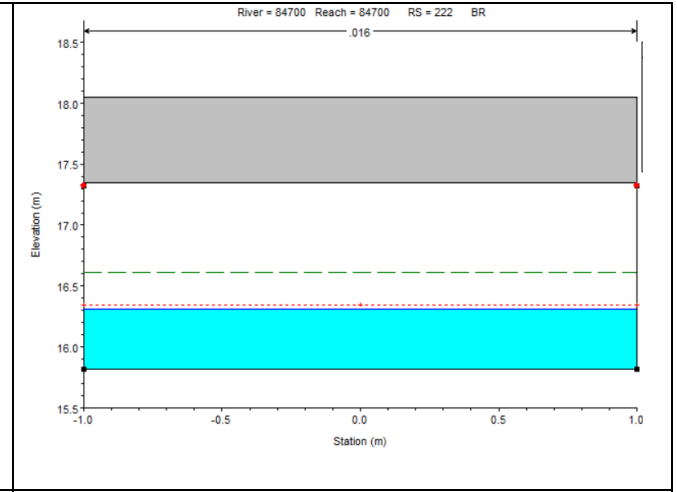
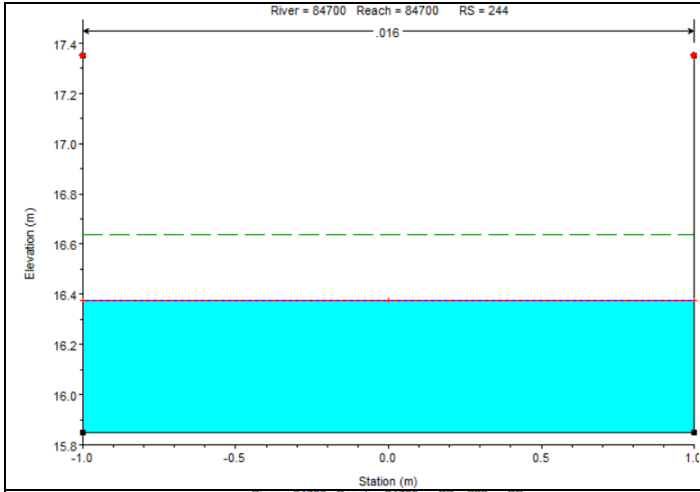




**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	57 di 66



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	58 di 66

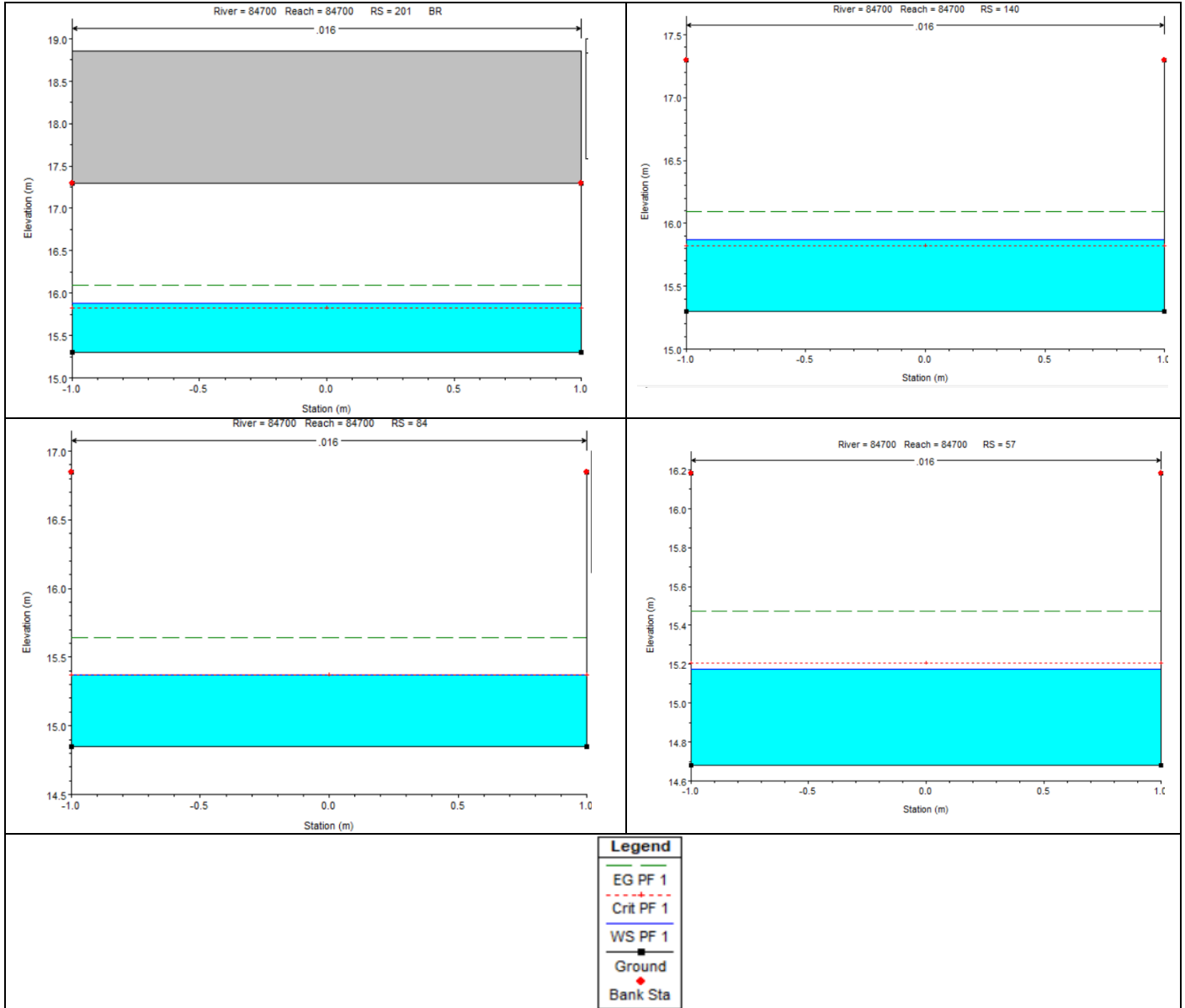


Tabella 6: Profili moto permanente IN69 – Tr200anni – Stato di progetto

Dalla verifica è emerso che in tutte le sezioni il franco non è inferiore a 1m.

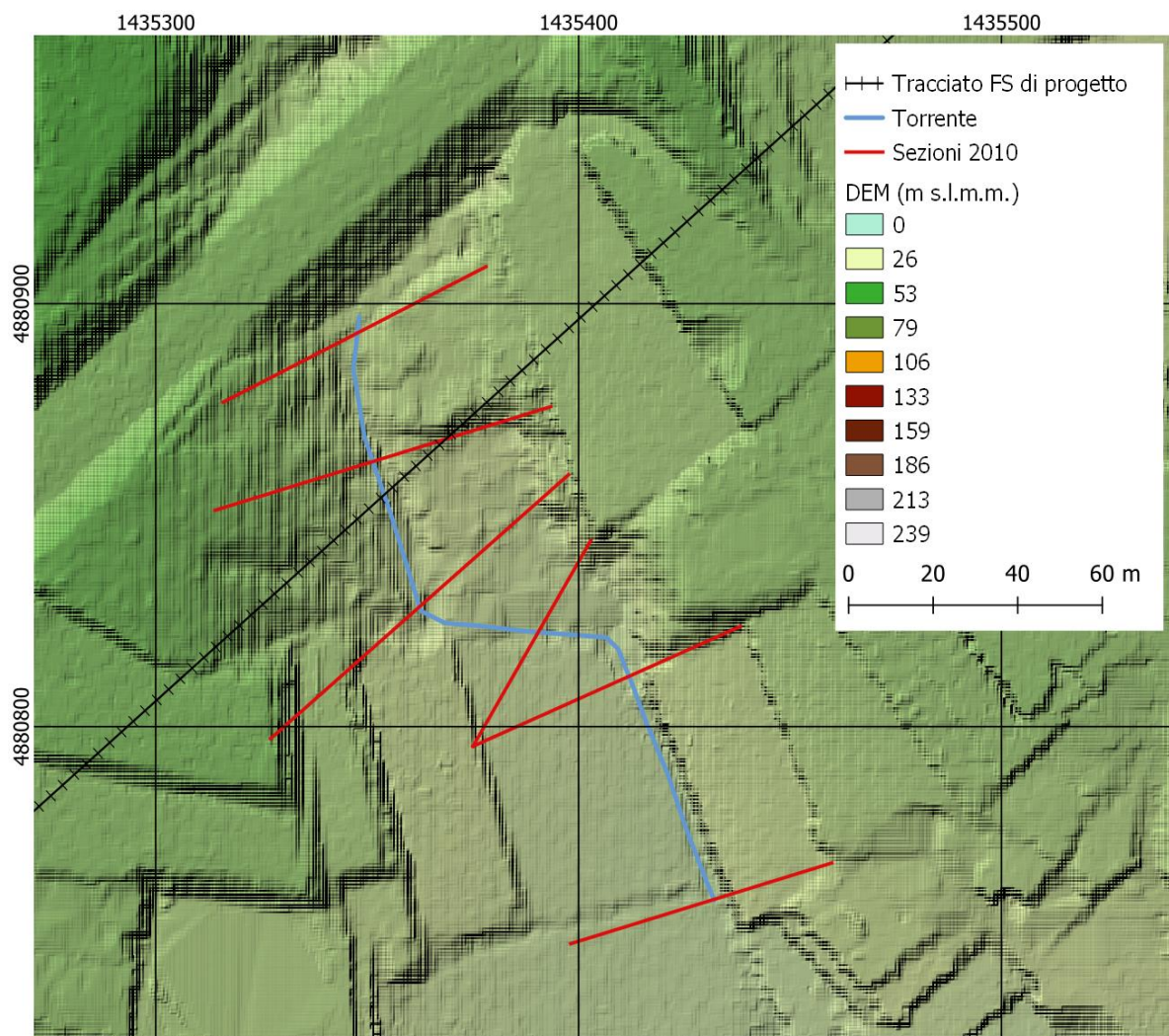
ID Sezione	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Tirante	Altezza sezione	Franco idraulico	Altezza corrispondente ai 2/3 della sezione utile al deflusso	Altezza corrispondente a un grado di riempimento del 70%
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
379	2.39	19.58	20.1	0.52	1.5	1.0	1.00	1.05
350	2.39	17.48	17.67	0.19	1.5	1.3	1.00	1.05
308 (monte tombino)	2.39	16.2	16.51	0.31	1.5	1.2	1.00	1.05
250 (valle tombino)	2.39	15.88	16.42	0.54	1.5	1.0	1.00	1.05
244 (monte tombino)	2.39	15.85	16.37	0.52	1.5	1.0	1.00	1.05
221 (valle tombino)	2.39	15.71	16.31	0.60	2.0	1.4	1.33	1.40
203 (monte tombino)	2.39	15.65	16.3	0.65	2.0	1.4	1.33	1.40
140 (valle tombino)	2.39	15.3	15.87	0.57	2.0	1.4	1.33	1.40
84	2.39	14.85	15.37	0.52	2.0	1.5	1.33	1.40
57	2.39	14.68	15.18	0.50	1.5	1.0	1.00	1.05

*Tabella 7: Verifica limiti normativi*

### 6.1. Verifica attraversamento secondario IN31

Anche per questo attraversamento è stato scelto di verificare la compatibilità mediante un modello in moto permanente con HEC-RAS.

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria dell'Impluvio 82+900, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente e il rilievo delle sezioni del 2010.



*Figura 31: Informazioni topografiche a disposizione*

Ai fini di ottenere un modello del terreno più accurato possibile è stata effettuata un'interpolazione delle sezioni trasversali del torrente, integrando così il DTM del Ministero dell'Ambiente.

Tra il 2010 e il 2021 c'è stata la sistemazione di un tratto (Figura 32), pertanto le sezioni 30 AB e 31 AB sono state utilizzate nell'interpolazione per la creazione del DTM solo considerando le loro quote di fondo e di sponda, ma non la larghezza delle sezioni. Vista la modifica intercorsa nel modello non sono poi state utilizzate queste 2 sezioni, ma nel tratto si sono considerate solo quelle estratte da DTM



Figura 32: Configurazione del tratto modificato: 2010 a sinistra, 2021 a destra

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo; in figura sono indicati anche i profili delle sezioni trasversali rilevate utilizzate per l'implementazione della geometria, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

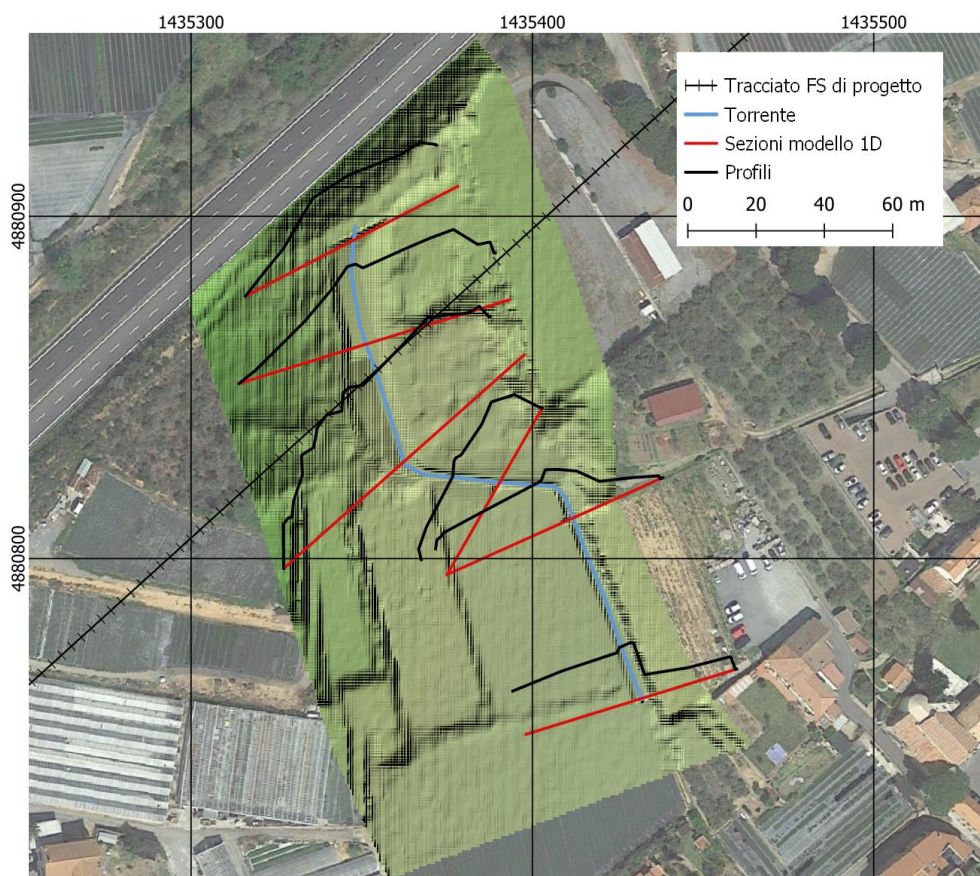


Figura 33: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 25 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo. La distanza tra le sezioni (rilevate e interpolate) è stata mantenuta nell'ordine dei 5 m.



*Figura 34: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)*

### Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di normal depth, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.020.

Le portate al colmo sono state calcolate con il metodo CIMA, descritto nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Carenda e riportato anche nella relazione idrologica, elaborato IV0100D09RIID0001001.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione idraulica corsi d'acqua minori</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN0000 001	REV. C

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m <sup>3</sup> /s)
Tr 200	1.9

Tabella 8 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

### Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall’Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione. Pertanto, i valori di scabrezza sono stati assegnati secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning  $n$  [ $s \cdot m^{-1/3}$ ].

Copertura	$n$ (range)
Alveo	0.05
Pianura alluvionale	0.06 - 0.08

Tabella 9: Scabrezze adottate nel modello

I valori dei coefficienti di scabrezza sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

### Risultati dello stato progettuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all’identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d’alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 2.1.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio Castellaro, avendo un bacino di 0.08 km<sup>2</sup>, è classificato come un bacino del reticolo idrografico minuto. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato dalla tavola 04\_468\_CSDV\_DCP38\_2015\_CARENDA del Piano di Bacino, si è adottato un valore del

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	64 di 66

franco pari a 50 cm.

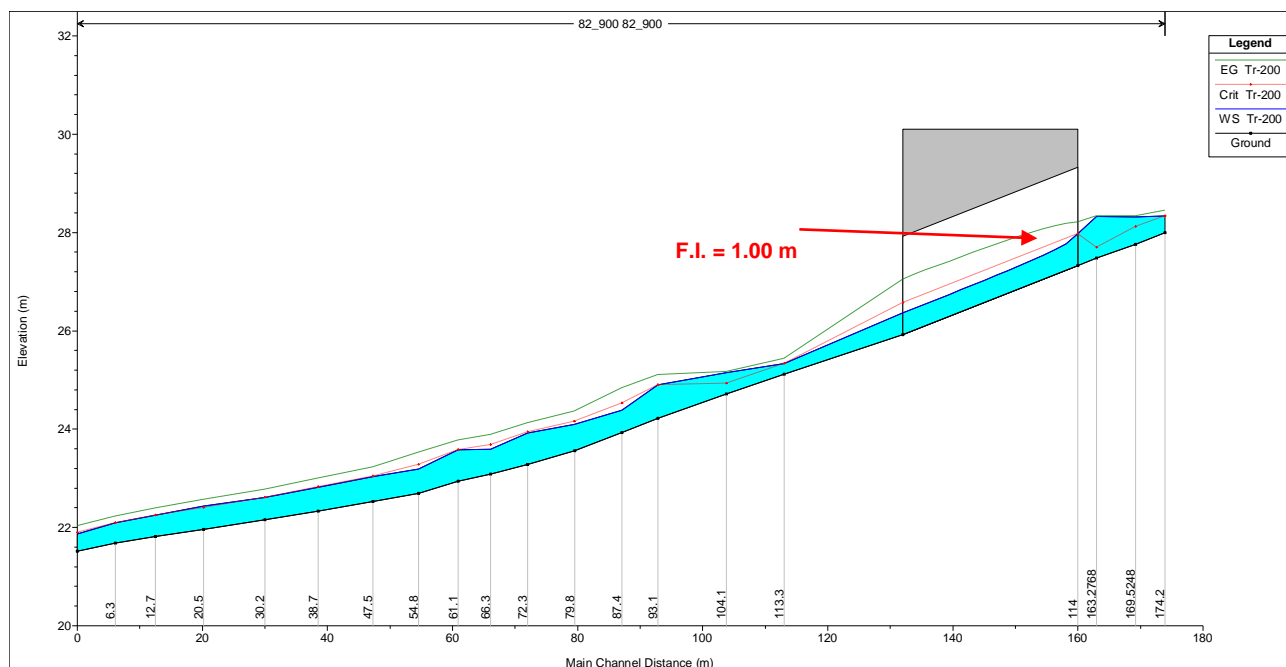
Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Riempimento M.d.P. RFI
IN31	Tombino	Ø 200 cm	1.00 m	1.00 (50%)	67%	0.5 m	70%

*Tabella 10: Verifiche franchi idraulici*

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto saranno sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di minimo 50 cm tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.



*Figura 35: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200*



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	65 di 66

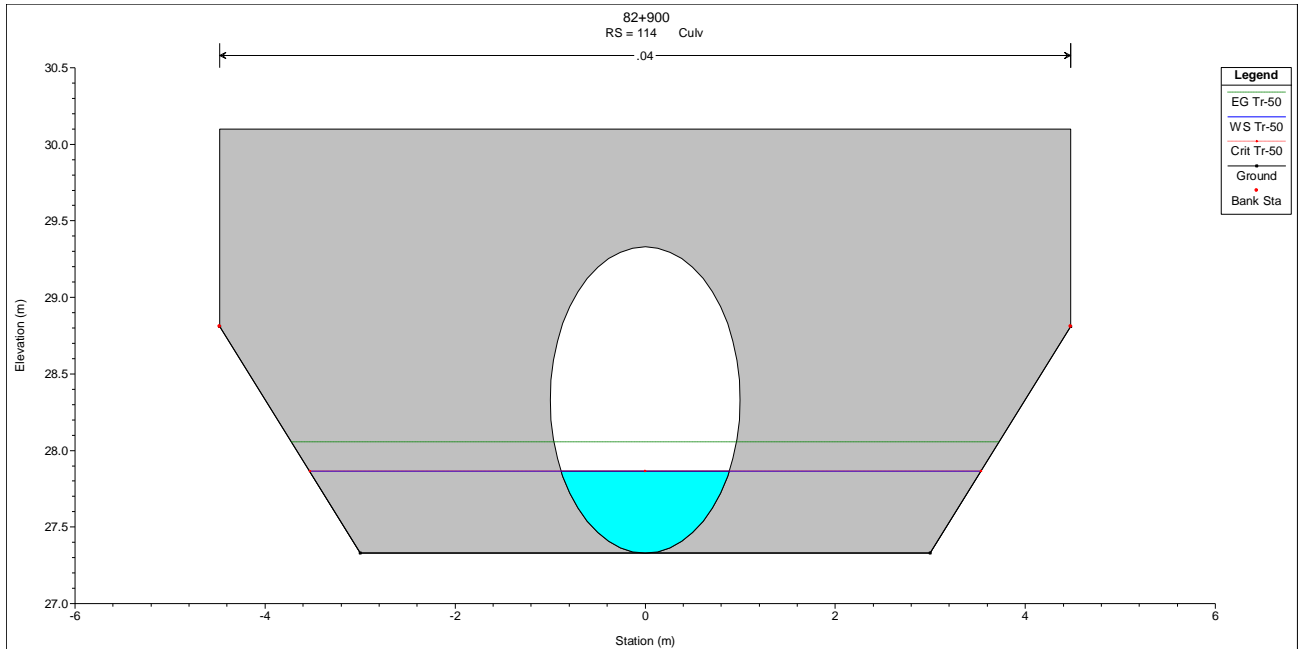


Figura 36 – Impluvio 82+900: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN31

Per completezza, nella tabella seguente si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento, nella configurazione di progetto.

Sezione IN31	28.30
--------------	-------

Tabella 11: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per il tempo di ritorno di riferimento

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da evento con  $Tr = 200$  anni.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione idraulica corsi d'acqua minori**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RI	IN0000 001	C	66 di 66

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
174.2	1.90	0.34	0.21	28.00	28.34	28.34	28.45	0.027577	1.45	1.01
169.5248	1.90	0.56	0.32	27.76	28.32	28.12	28.34	0.002860	0.64	0.35
163.2768	1.90	0.85	0.69	27.48	28.33	27.69	28.33	0.000158	0.33	0.12
113.3	1.90	0.21	0.20	25.12	25.33	25.33	25.44	0.015659	1.43	1.01
104.1	1.90	0.42	0.38	24.72	25.14	24.93	25.17	0.001598	0.70	0.35
93.1	1.90	0.68	0.33	24.22	24.90	24.90	25.11	0.027023	2.02	1.01
87.4	1.90	0.45	0.28	23.93	24.38	24.53	24.84	0.078904	2.97	1.68
79.8	1.90	0.53	0.29	23.56	24.09	24.16	24.37	0.040252	2.30	1.24
72.3	1.90	0.64	0.31	23.28	23.92	23.94	24.12	0.031210	2.01	1.09
66.3	1.90	0.50	0.28	23.09	23.59	23.68	23.89	0.045487	2.50	1.37
61.1	1.90	0.64	0.32	22.94	23.58	23.58	23.77	0.024816	1.95	1.00
54.8	1.90	0.50	0.29	22.69	23.19	23.28	23.53	0.056318	2.59	1.46
47.5	1.90	0.51	0.32	22.53	23.04	23.05	23.23	0.027962	1.94	1.06
38.7	1.90	0.49	0.31	22.33	22.82	22.83	23.00	0.027628	1.90	1.05
30.2	1.90	0.45	0.30	22.16	22.61	22.61	22.78	0.023878	1.82	1.00
20.5	1.90	0.47	0.31	21.96	22.43	22.40	22.56	0.018823	1.62	0.89
12.7	1.90	0.43	0.28	21.82	22.25	22.24	22.40	0.025127	1.71	0.99
6.3	1.90	0.41	0.27	21.68	22.09	22.09	22.23	0.025759	1.67	1.01
0.2	1.90	0.35	0.22	21.52	21.87	21.90	22.04	0.040436	1.82	1.22

Tabella 12: Impluvio 82+900: risultati della modellazione monodimensionale  $T_r=200$  anni, principali grandezze caratteristiche