

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Torrenti Neva e Arroscia - pk 85+500

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 3 C

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|--|
| A | Emissione esecutiva | D. Polverelli | Dic. 2021 | C. Cesali | Dic. 2021 | G. Fadda | Dic. 2021 | A. Vittozzi Giugno 2023 ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° 420783 |
| B | Emissione esecutiva | D. Polverelli | Gen. 2022 | C. Cesali | Gen. 2022 | G. Fadda | Gen. 2022 | |
| C | Emissione esecutiva | C. Cesali | Giu. 2023 | F. Cabas | Giu. 2023 | G. Fadda | Giu. 2023 | |
| | | | | | | | | |

File: IV0I00D09RIID0002003C.doc

n. Elab.:

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 2 di 73 |

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PREMESSA | 5 |
| 1.1 | RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 6 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO..... | 13 |
| 2.1 | OBIETTIVI DELLO STUDIO..... | 14 |
| 2.2 | ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO..... | 14 |
| 3 | STUDIO IDRAULICO..... | 15 |
| 3.1 | GENERALITÀ | 15 |
| 3.2 | DATI DI BASE..... | 15 |
| 3.2.1 | DATI TOPOGRAFICI | 16 |
| 3.2.2 | DATI IDROLOGICO-IDRAULICI | 17 |
| 3.3 | IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO | 22 |
| 3.3.1 | APPROCCIO MATEMATICO (2D) | 22 |
| 3.3.2 | GENERAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO..... | 26 |
| 3.3.3 | DEFINIZIONE DEL DOMINIO E DELLA GRIGLIA DI CALCOLO | 28 |
| 3.3.4 | STRUTTURE IDRAULICHE ALL'INTERNO DEL MODELLO 2D..... | 33 |
| 3.3.5 | CONDIZIONI AL CONTORNO..... | 35 |
| 3.3.6 | CALIBRAZIONE..... | 36 |
| 3.4 | RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE | 39 |
| 3.4.1 | SCENARIO "ANTE OPERAM" | 39 |
| 3.4.2 | SCENARIO "POST OPERAM"..... | 41 |
| 4 | VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO | 46 |
| 5 | VERIFICA ALLO SCALZAMENTO..... | 48 |
| 6 | OPERE DI SISTEMAZIONE/PROTEZIONE IDRAULICA | 56 |
| 7 | VERIFICA DELLE FASI DI REALIZZAZIONE DI OPERE IN ALVEO | 58 |
| 8 | EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO..... | 71 |
| 9 | COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO | 72 |

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL’AREA DI STUDIO..... | 13 |
| FIGURA 2: INFORMAZIONI TOPOGRAFICHE A DISPOSIZIONE..... | 17 |
| FIGURA 3: IDROGRAMMA DI PIENA DEL TORRENTE NEVA ALL’INTERSEZIONE CON LA FERROVIA PER Tr 50,200 E 500 ANNI..... | 19 |
| FIGURA 4: IDROGRAMMA DI PIENA DEL TORRENTE ARROSCIA ALL’INTERSEZIONE CON LA FERROVIA PER Tr 50,200 E 500 ANNI..... | 19 |
| FIGURA 5: ESTRATTO DELLE MAPPE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEI TORRENTI NEVA E ARROSCIA IN QUEL DI ALBENGA (FONTE: PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI, AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL’APPENNINO SETTENTRIONALE). | 21 |
| FIGURA 6 – SOFTWARE HEC RAS 6.0: SISTEMA DI RIFERIMENTO. | 24 |
| FIGURA 7 – SOFTWARE HEC RAS: IN GRIGIO IL DATO DELLA GRIGLIA DTM, IN ROSSO LA CELLA DI CALCOLO DEL MODELLO IDRAULICO. A DESTRA LA SCHEMATIZZAZIONE EFFETTUATA DA HEC RAS SULLE FACCE DEL BORDO DELLA CELLA. | 26 |
| FIGURA 8: ESTRATTO DEL DTM OTTENUTO INTEGRANDO IL DTM ORIGINARIO CON LE SEZIONI TRASVERSALI; IL RIQUADRO DI DETTAGLIO MOSTRA IL PASSAGGIO AL TRATTO INTERPOLATO | 28 |
| FIGURA 9: ESTENSIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO..... | 29 |
| FIGURA 10: DOMINIO DI CALCOLO E POSIZIONE DEI RILEVATI UTILIZZATI PER LA DEFINIZIONE DELLA MESH..... | 30 |
| FIGURA 11: DETTAGLIO DELLA MESH DEL TORRENTE NEVA A MONTE DELLA CONFLUENZA..... | 31 |
| FIGURA 12: DETTAGLIO DELLA MESH ALLA CONFLUENZA TRA NEVA E ARROSCIA..... | 31 |
| FIGURA 13: ESEMPIO DI DEM A SINISTRA ESTRAZIONE DEI PROFILI LUNGO I CONFINI DELLE CELLE, A DESTRA CURVA LIVELLO-VOLUME INVASATO | 32 |
| FIGURA 14: STRUTTURE IDRAULICHE INSERITE ALL’INTERNO DEL MODELLO..... | 33 |
| FIGURA 15: SCHEMATIZZAZIONE DELL’ATTRAVERSAMENTO DI VIA PACCINI SUL T. NEVA | 34 |
| FIGURA 16: SCHEMATIZZAZIONE DELL’ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE MEDIANTE LA DEFINIZIONE DELL’INGOMBRO DELLE PILE IN ALVEO . | 34 |
| FIGURA 17: CONDIZIONI AL CONTORNO IMPOSTE AL MODELLO..... | 36 |
| FIGURA 18: TORRENTI NEVA E ARROSCIA: CONFRONTO TRA GLI ALLAGAMENTI OTTENUTI CON IL MODELLO 2D E QUELLI DEFINITI DAL PAI..... | 37 |
| FIGURA 19: MODELLO NUMERICO 2D, TORRENTI NEVA E ARROSCIA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, ANTE OPERAM, Tr = 200 ANNI. | 40 |
| FIGURA 20: STRALCIO DELLA PLANIMETRIA DI PROGETTO IN QUEL DI ALBENGA (ATTRAVERSAMENTO DEL TORRENTE NEVA). | 42 |
| FIGURA 21: ADEGUAMENTO MURO ESISTENTE IN GABBIONI A MONTE DELL’ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO IN SINISTRA IDRAULICA DEL TORRENTE NEVA, EVIDENZIATO CON LA LINEA ARANCIONE | 42 |
| FIGURA 22: STRALCIO DELLA PLANIMETRIA DI PROGETTO IN QUEL DI ALBENGA (ATTRAVERSAMENTO DEL TORRENTE ARROSCIA)..... | 43 |
| FIGURA 23: STRALCIO DEL PROFILO DI PROGETTO, NUOVO VIADOTTO VI06 (TORRENTE NEVA)..... | 44 |
| FIGURA 24: STRALCIO DEL PROFILO DI PROGETTO, NUOVO VIADOTTO VI07 (TORRENTE ARROSCIA)..... | 44 |
| FIGURA 25: STRALCIO DEL PROFILO DI PROGETTO, NUOVO VIADOTTO IVX8 (TORRENTE ARROSCIA)..... | 44 |
| FIGURA 26: MODELLO NUMERICO 2D, TORRENTI NEVA E ARROSCIA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, POST OPERAM, Tr = 200 ANNI. | 45 |
| FIGURA 27 - DIFFERENTI TIPOLOGIE DI PILE NON UNIFORMI DOTATE DI FONDAZIONI..... | 51 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

| | |
|---|----|
| FIGURA 28: TORRENTI NEVA E ARROSCIA: CURVE DI DURATA DELLE PORTATE | 58 |
| FIGURA 29: TORRENTE NEVA, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 1. | 60 |
| FIGURA 30: LIVELLI IDRICI FASE 1 - VI06 | 61 |
| FIGURA 31: TORRENTE NEVA, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 2. | 62 |
| FIGURA 32: LIVELLI IDRICI FASE 2 – VI06..... | 62 |
| FIGURA 33: TORRENTE ARROSCIA, VI07, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 1. | 64 |
| FIGURA 34: LIVELLI IDRICI FASE 1 - VI07 | 64 |
| FIGURA 35: TORRENTE ARROSCIA, VI07, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 2 | 65 |
| FIGURA 36: LIVELLI IDRICI FASE 1 - VI07 | 66 |
| FIGURA 37: TORRENTE ARROSCIA, IVX8, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 1 | 67 |
| FIGURA 38: LIVELLI IDRICI FASE 1 – IVX8..... | 68 |
| FIGURA 39: TORRENTE ARROSCIA, IVX8, REALIZZAZIONE PILE IN ALVEO: FASE 2 | 69 |
| FIGURA 40: LIVELLI IDRICI FASE 2 – IVX8..... | 70 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| TABELLA 1 – ELENCO ELABORATI ANNESSI..... | 15 |
| TABELLA 2 – VALORI DI PICCO DEGLI EVENTI ESTREMI CONSIDERATI | 18 |
| TABELLA 3: TORRENTI NEVA E ARROSCIA: SCABREZZE ADOTTATE NEL MODELLO 2D | 38 |
| TABELLA 4: LIVELLI IDRICI MASSIMI A MONTE DEI NUOVI ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI PER VARI TEMPI DI RITORNO (ANTE OPERAM) | 40 |
| TABELLA 5: LIVELLI IDRICI MASSIMI A MONTE DEI NUOVI ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI PER VARI TEMPI DI RITORNO (POST OPERAM)..... | 46 |
| TABELLA 6 – VIADOTTO VI06 (TORRENTE NEVA): VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO. | 46 |
| TABELLA 7 – VIADOTTO VI07 (TORRENTE ARROSCIA): VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO..... | 47 |
| TABELLA 8 – VIADOTTO IVX8 (TORRENTE ARROSCIA): VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO. | 47 |
| TABELLA 9- FORMULAZIONE CSU: VALORI DEI FATTORI CORRETTIVI K1, K2, K3..... | 49 |

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 5 di 73 |

1 PREMESSA

Il presente studio idraulico è stato redatto nell'ambito del progetto definitivo degli interventi di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, nella tratta *Finale Ligure - Andora*.

Nello specifico, in quel di Albenga, la nuova linea ferroviaria attraversa i torrenti Neva e Arroscia, poco prima della loro confluenza, per poi assumere la denominazione di Torrente Centa. Inoltre, in tale area è prevista la realizzazione della nuova stazione di Albenga, in sinistra idraulica al Torrente Arroscia.

Lo studio idraulico in oggetto ha lo scopo quindi di definire l'idrodinamica dei tratti fluviali indagati per i più rilevanti tempi di ritorno di interesse tecnico (50, 200 e 500 anni), ponendo particolare attenzione all'interferenza tra i torrenti Neva e Arroscia e la linea ferroviaria in progetto nel suo complesso.

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 6 di 73 |

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Per quanto riguarda la normativa relativa alla definizione del rischio allagamenti, il riferimento normativo principale è costituito dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE (recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 per ogni distretto idrografico). Lo scopo del PGRA è quello di orientare, nel modo più efficace, l'azione sulle aree a rischio significativo organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio, definire gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le amministrazioni e gli enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale. Allo stato attuale, sia a livello nazionale che all'interno del distretto dell'Appennino Settentrionale, non sussiste completa uniformità relativamente alla valenza dei PGRA quali strumenti tecnico-normativi di riferimento per l'indirizzo e la regolazione delle trasformazioni del territorio e la gestione del rischio idraulico nei confronti dell'attività edilizia e dell'urbanistica. In particolare vario è il rapporto tra PGRA e Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) a suo tempo approvati – e in parte ancora vigenti – alla scala dei bacini idrografici della legge 183/1989, oggi abrogata. Con riferimento a questo importante aspetto, per il territorio del distretto idrografico Appennino Settentrionale, negli ex bacini regionali liguri il PAI si applica sia per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica che per la parte di pericolosità idraulica, sia come norme che come perimetrazioni.

Per quanto riguarda i torrenti Neva e Arroscia, sono presi in esame nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino del Fiume Centa, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 7664 del 05/12/2019.

Altri riferimenti normativi includono:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 7 di 73 |

- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI);
- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria e relative Norme Tecniche di Attuazione;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Nello specifico, in materia di compatibilità idraulica degli attraversamenti fluviali, e in generale di una nuova infrastruttura lineare, al Cap. 5 delle NTC 2018 si asserisce:

".....Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$)..... Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente..... Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1.50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale."

Nella relativa circolare applicativa n.7 del 21 gennaio 2019, si asserisce inoltre:

"Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima e a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $Tr = 200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati. Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, e da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno che sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature."

Relativamente al Manuale di progettazione ferroviaria (RFI),

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

- *il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ($Tr = 200$ anni) non deve essere inferiore a 1,5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;*
- *il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale deve essere almeno pari a 50 cm.*

Inoltre, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d'acqua, "dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto."

Con riferimento alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano stralcio di assetto idrogeologico per gli ambiti regionali di bacino di interesse (Provincia di Savona),

Art. 15 – Fasce di inondabilità

1. *Nelle fasce di inondabilità di cui alla lett. a), comma 2, dell'art. 12, vigono le seguenti norme. Resta fermo che qualsiasi intervento realizzato nelle aree inondabili non deve pregiudicare la sistemazione idraulica definitiva del corso d'acqua, aumentare la pericolosità di inondazione ed il rischio connesso, sia localmente, sia a monte e a valle, costituire significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena, ridurre significativamente la capacità di invaso delle aree stesse.*
2. *Nella fascia A ($Tr < 50$ anni), fermo restando che gli interventi ammessi sul patrimonio edilizio esistente non devono comunque aumentarne la vulnerabilità rispetto ad eventi alluvionali, anche attraverso l'assunzione di misure e accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e non devono comportare cambi di destinazione d'uso, che aumentino il carico insediativo anche temporaneo, non sono consentiti:*

.....

- c) *la realizzazione di nuove infrastrutture non inquadrabili tra le opere di attraversamento, fatti salvi gli interventi necessari ai fini della tutela della pubblica incolumità e quelli relativi a nuove infrastrutture pubbliche connesse alla mobilità, previo parere favorevole della Provincia, purché progettate sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica, non aumentino le condizioni di rischio, e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui al presente Piano e ai piani comunali di protezione civile. Tale studio di compatibilità idraulica è finalizzato a valutare se l'intervento è compatibile con le condizioni dell'area, in termini di pericolosità e di rischio.....*
- d) *interventi di manutenzione, ampliamento o ristrutturazione di infrastrutture pubbliche connesse alla mobilità esistenti, fatti salvi quelli che non aumentano le condizioni di rischio, ed in relazione ai quali*

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 9 di 73 |

risultano assunte le azioni e misure di protezione civile di cui al presente Piano e ai piani comunali di protezione civile.

3. *Nella fascia B ($50 < Tr < 200$ anni) non sono consentiti:*

.....

c) gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture connesse alla mobilità non inquadrabili tra le opere di attraversamento, salvi quelli progettati sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica (i cui contenuti corrispondano a quanto previsto al precedente punto 2, lett. c), che non aumentino le condizioni di rischio ed in relazione ai quali risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui al presente Piano e ai piani comunali di protezione civile.

.....

4. *Nella fascia C ($200 < Tr < 500$ anni) è consentito ogni tipo di intervento purché realizzato con tipologie costruttive finalizzate alla riduzione della vulnerabilità delle opere e, quindi, del rischio per la pubblica incolumità, e coerenti con le azioni e misure di protezione civile previste dal presente Piano e dai piani di protezione civile comunali.*

Art. 15bis - Derogabilità alla disciplina delle fasce di inondabilità per opere pubbliche

1. *In deroga alla disciplina relativa alle fasce A e B, ivi inclusi gli eventuali ambiti normativi, di cui ai commi 2, 3 e 3bis dell'art.15, possono essere assentite opere pubbliche strategiche indifferibili ed urgenti, riferite a servizi essenziali e non diversamente localizzabili, previa acquisizione di parere obbligatorio e vincolante della Provincia, a condizione che:*

- a) non pregiudichino la possibilità di sistemazione idraulica definitiva;*
- b) non si producano effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico;*
- c) non costituiscano significativo ostacolo al deflusso, non riducano in modo significativo la capacità di invaso, e non concorrano ad incrementare le condizioni di rischio, né in loco né in aree limitrofe;*
- d) siano realizzate con tipologie progettuali e costruttive compatibili con la loro collocazione, prevedendo in particolare accorgimenti tecnico-costruttivi o altre misure, anche con riferimento all'allegato 5 al presente piano, che consentano l'adeguata protezione dell'opera dagli allagamenti rispetto alla portata duecentennale senza aggravio di condizioni di pericolosità e rischio in altre aree. In particolare:*
 - la quota del piano di calpestio e tutte le aperture, soglie di accesso e prese d'aria delle edificazioni devono essere poste ad un livello adeguatamente superiore a quello del tirante idrico associato alla portata duecentennale;*

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 10 di 73 |

- non sono ammesse in ogni caso strutture interrato, a meno di locali tecnici di servizio adeguatamente protetti;

e) sia garantito il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;

f) sia prevista nel progetto la messa in opera di tutte le adeguate misure ed azioni di protezione civile, comprese quelle di autoprotezione locale.

.....

2. Ai fini della dichiarazione di indifferibilità ed urgenza di cui al comma 1, deve essere motivato il carattere di impellenza, improrogabilità e non diversa ubicabilità delle opere e deve essere accertata la copertura finanziaria dell'intera opera.
3. La verifica della sussistenza dei presupposti di applicabilità della deroga di cui al comma 1 viene effettuata in sede di Comitato Tecnico di Bacino, su istanza della Provincia.
4. La Provincia esprime il parere previsto sulla base di adeguata documentazione tecnica a corredo della progettazione delle opere in questione e valuta, in particolare, caso per caso, l'effettiva possibilità di messa in opera di misure ed accorgimenti tali da proteggere adeguatamente l'elemento dalle inondazioni e dai connessi possibili danni, nonché l'efficacia e l'affidabilità delle misure di protezione progettate in funzione delle grandezze idrauliche di riferimento. Valuta, inoltre, la possibile influenza sulla dinamica dell'inondazione sia dell'intervento edilizio richiesto sia degli accorgimenti costruttivi proposti, garantendo che non vengano aumentate le condizioni di pericolosità e di rischio nelle aree limitrofe.
5. Il suddetto parere, che ha efficacia per un periodo massimo di 3 anni, viene espresso sulla base del quadro conoscitivo del piano nonché, laddove necessario, di un adeguato studio di compatibilità idraulica che consenta di valutare il rispetto delle condizioni di cui sopra, con particolare riferimento alla compatibilità dell'intervento con le condizioni di inondabilità dell'area, in termini di pericolosità e di rischio, e all'assenza di effetti di incremento dell'esposizione al rischio della popolazione.

Inoltre, all'Allegato 3 delle NTA (*Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici*), si asserisce:

4) Parametri di scabrezza. Nella modellazione di moto permanente monodimensionale il parametro di scabrezza rappresenta, per il tronco fluviale compreso fra due sezioni di calcolo, oltre alla natura e alle condizioni dell'alveo e delle sponde, macroresistenze dovute alla variabilità longitudinale della geometria o a possibili variazioni brusche del perimetro bagnato al crescere della portata; ciò assume particolare rilevanza nei casi in cui il rilievo delle sezioni disponibile non sia fitto lungo il corso d'acqua. In questi casi, il parametro di scabrezza deve tener conto di molteplici processi di resistenza e dovrebbe essere assunto superiore (inferiore in termini di Gauckler-Strickler) a quanto detterebbero condizioni solo locali dell'alveo. I parametri di scabrezza da utilizzare nel calcolo idraulico devono tenere

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua, anche prevedibili per le condizioni di futuro esercizio. I valori di parametro di scabrezza individuati dalla tabella seguente (per semplicità riportati solo in termini di scabrezza di Gauckler-Strickler), devono essere considerati come valori massimi non superabili. Nel caso dei corsi d'acqua con trasporto solido influenzato da fenomeni franosi, devono essere utilizzati i parametri di scabrezza più cautelativi.

| Descrizione corso d'acqua | Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}s^{-1}$) |
|---|---|
| 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 |
| Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque | 40-45 |

La scelta del coefficiente di scabrezza in un alveo naturale deve essere effettuata a seguito di un'accurata ricognizione dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo e la copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti interessate al deflusso.

5) Franchi idraulici. Tutte le opere devono avere franchi adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale, portata di riferimento per la progettazione di opere idrauliche od opere interferenti con l'alveo. La previsione di adeguati franchi tra la sommità arginale o l'intradosso delle strutture in progetto ed il previsto livello della piena di riferimento, è necessaria per garantire il corretto funzionamento delle opere in questione ed assicurare il deflusso della portata di progetto con un adeguato coefficiente di sicurezza, tenendo conto di tutte le incertezze legate alla modellazione idrologico idraulica (concettuale, matematica e numerica) e ai vari fenomeni che possono occorrere durante l'evento di piena, dei quali la modellazione non può tenere solitamente conto.

Alla loro valutazione devono concorrere considerazioni sia relative alla tipologia di opera e alla sua rilevanza determinata anche in funzione della vulnerabilità delle zone limitrofe, sia relative alle caratteristiche cinetiche della corrente, con la fondamentale distinzione dei casi di correnti lente e di correnti veloci. I franchi idraulici non devono essere inferiori ai valori indicati nella tabella seguente, assumendo come riferimento il valore maggiore tra quelli contrassegnati con le lettere (a) e con (b).

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

In particolare, 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). i due valori estremi per il reticolo principale e secondario corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione. Per le opere di cui al punto III, nel caso di modesta rilevanza dell'opera stessa e di bacini ben sistemati, il valore minimo del franco come sopra indicato può essere derogato dall'amministrazione competente fino a 100 cm, sulla base di adeguate valutazioni come riportato nel seguito. Per estensione longitudinale si intende l'estensione dell'opera misurata parallelamente alla direzione della corrente. Per opere non ortogonali alla direzione della corrente si valuta come estensione la distanza, sempre misurata in senso parallelo alla corrente, tra il lembo più a monte e quello più a valle dell'opera stessa. Nel caso di ponti ad arco o comunque con intradosso non rettilineo, il valore del franco deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce e comunque per almeno 40 m, nel caso di luci superiori a tale valore.

| Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b) | | | |
|--|--|---|------------------------|
| | | Reticolo principale e secondario | Reticolo minore |
| (a) | | $U^2/2g,$ | $0,5 U^2/2g,$ |
| (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 |

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

La zona di studio è ubicata nel comune di Albenga e coinvolge diverse frazioni della località savonese: quella di Leca e Poggi, situate in sinistra del Neva, quella di Bastia, collocata poco a monte della confluenza del Neva con l'Arroscia e quella di di Molino, sita in destra idraulica dell'Arroscia. Nell'ambito territoriale analizzato il Torrente Neva e il Torrente Arroscia confluiscono in un unico corso d'acqua, denominato Fiume Centa.

L'area interessata dal progetto si sviluppa dalla confluenza tra i due Torrenti Neva e Arroscia per circa 2.5 km verso monte lungo entrambi i corsi d'acqua.



Figura 1 – Inquadramento generale dell'area di studio

NOTA: il sistema di riferimento adottato per le coordinate indicate nelle mappe presentate nel presente rapporto è Gauss Boaga Fuso Ovest.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

2.1 OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare allo stato attuale e nella configurazione “*post operam*” i processi idrodinamici che caratterizzano gli eventi estremi relativi ai torrenti Neva e Arroscia, in particolare all'intersezione con la linea ferroviaria in progetto.

L'obiettivo sopra riportato è stato raggiunto articolando lo studio secondo le seguenti attività principali, descritte nella presente relazione:

- studio delle normative di riferimento;
- reperimento di analisi idrauliche esistenti nell'area di studio;
- analisi dei dati idrologico-idraulici;
- implementazione di un modello numerico bidimensionale per l'analisi dello stato attuale.

2.2 ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

| ELABORATO | SCALA | CODIFICA |
|---|--------|----------------------|
| Relazione idrologica generale | - | IV0I00D09RIID0001001 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - ante operam - Tr 50 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002001 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002002 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - ante operam - Tr 500 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002003 |
| Planimetria valori velocità Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002007 |
| Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - ante operam – Tav. 1 di 2 | varie | IV0I00D09WZID0002005 |
| Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - ante operam – Tav. 2 di 2 | varie | IV0I00D09WZID0002006 |
| Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - post operam | varie | IV0I00D09FZID0002003 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - post operam - Tr 50 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002004 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - post operam - Tr 200 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002005 |
| Planimetria livelli idrici Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - post operam - Tr 500 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002006 |

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV0I | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

| ELABORATO | SCALA | CODIFICA |
|---|--------|----------------------|
| Planimetria valori velocità Torrenti Neva e Arroscia - Modello 2D - post operam - Tr 200 anni | 1:2000 | IV0I00D09P6ID0002008 |
| Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - post operam - Tav. 1 di 2 | varie | IV0I00D09WZID0002007 |
| Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - post operam - Tav. 2 di 2 | varie | IV0I00D09WZID0002008 |
| Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrenti Neva e Arroscia - post operam | varie | IV0I00D09FZID0002004 |
| Planimetria sistemazione idraulica - Torrente Neva - Pianta e sezioni | varie | IV0I00D09PZID0002002 |
| Planimetria sistemazione idraulica - Torrente Arroscia - Pianta e sezioni | varie | IV0I00D09PZID0002006 |

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.

3 STUDIO IDRAULICO

3.1 GENERALITÀ

Lo studio idraulico è stato basato sull'implementazione di un modello numerico atto a rappresentare le dinamiche idrauliche durante gli eventi di piena del fiume in fase di studio. L'approccio metodologico seguito è partito dall'integrazione ed elaborazione di dati di base, fondamentale di natura topografica per poter correttamente implementare la geometria del sistema. Una volta elaborata la base topografica è stato possibile sviluppare un modello idraulico con il software HEC-RAS¹(ver. 6.1), con schema puramente bidimensionale. La taratura dei modelli è stata effettuata in riferimento a quanto riportato nel Piano stralcio di assetto idrogeologico. Gli scenari analizzati sono quelli relativi allo stato di fatto e alla configurazione di progetto.

3.2 DATI DI BASE

I dati di base utilizzati per lo sviluppo dello studio idraulico includono:

- dati topografici;

¹<https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 16 di 73 |

- dati idrologico-idraulici.

3.2.1 Dati topografici

I dati topografici utilizzati per la ricostruzione della geometria del sistema comprendono diverse tipologie di informazione, provenienti da fonti differenti:

- Rilievo delle sezioni trasversali del 2010;
- Rilievo delle sezioni trasversali del 2021;
- Modello Digitale del Terreno del Ministero dell’Ambiente con risoluzione a 1 m;
- Batimetria di dettaglio della Regione Liguria con isobatimetriche ad 1 m².

La Figura 2 fornisce la mappa con il dettaglio dell’estensione delle informazioni topografiche a disposizione.

²<https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html?typeEvent=detailFromSearch&idmap=2114;p-t-a-m-c-c04-sintesi-dei-processi-costieri>

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV0I | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

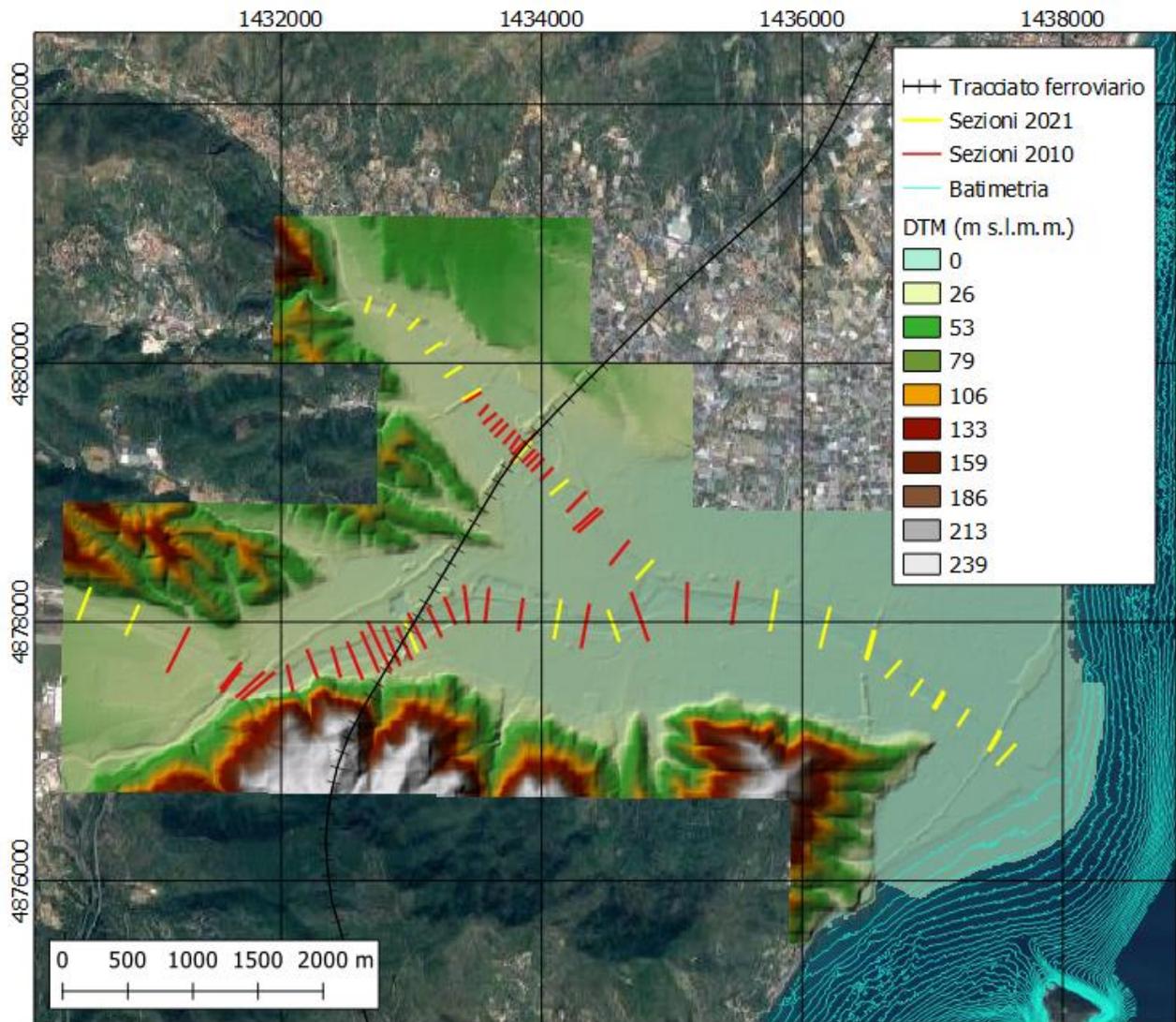


Figura 2: Informazioni topografiche a disposizione

3.2.2 Dati idrologico-idraulici

Le informazioni di base di carattere idrologico-idraulico includono i dati utilizzati per la definizione delle condizioni al contorno dei modelli e per la loro calibrazione.

Per quanto riguarda l'idrologia, si è fatto riferimento all'elaborato IV0I00D09RIID0001001, che ha portato alla definizione degli idrogrammi di piena per assegnato tempo di ritorno immediatamente a monte del tratto di asta analizzato.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Tali idrogrammi sono stati determinati secondo diversi approcci statistici applicati ai dati di precipitazione, sia secondo Gumbel sia secondo VAPI, comunemente accettati in letteratura nella valutazione degli eventi estremi, implementando su tale base un modello di trasformazione afflussi-deflussi e scegliendo poi i valori più cautelativi per la condizione al contorno del modello idraulico.

Gli idrogrammi più cautelativi sono risultati quelli ottenuti con il metodo VAPI per il torrente Neva, e quelli ottenuti con il metodo di Gumbel per il torrente Arroscia e sono stati utilizzati per la determinazione delle aree potenzialmente inondabili di riferimento.

| TEMPO DI RITORNO | VALORE AL COLMO (m³/s) |
|--------------------------|--|
| Torrente Neva | |
| Tr 50 | 1033 |
| Tr 200 | 1440 |
| Tr 500 | 1770 |
| Torrente Arroscia | |
| Tr 50 | 1732 |
| Tr 200 | 2149 |
| Tr 500 | 2424 |

Tabella 2 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 19 di 73 |

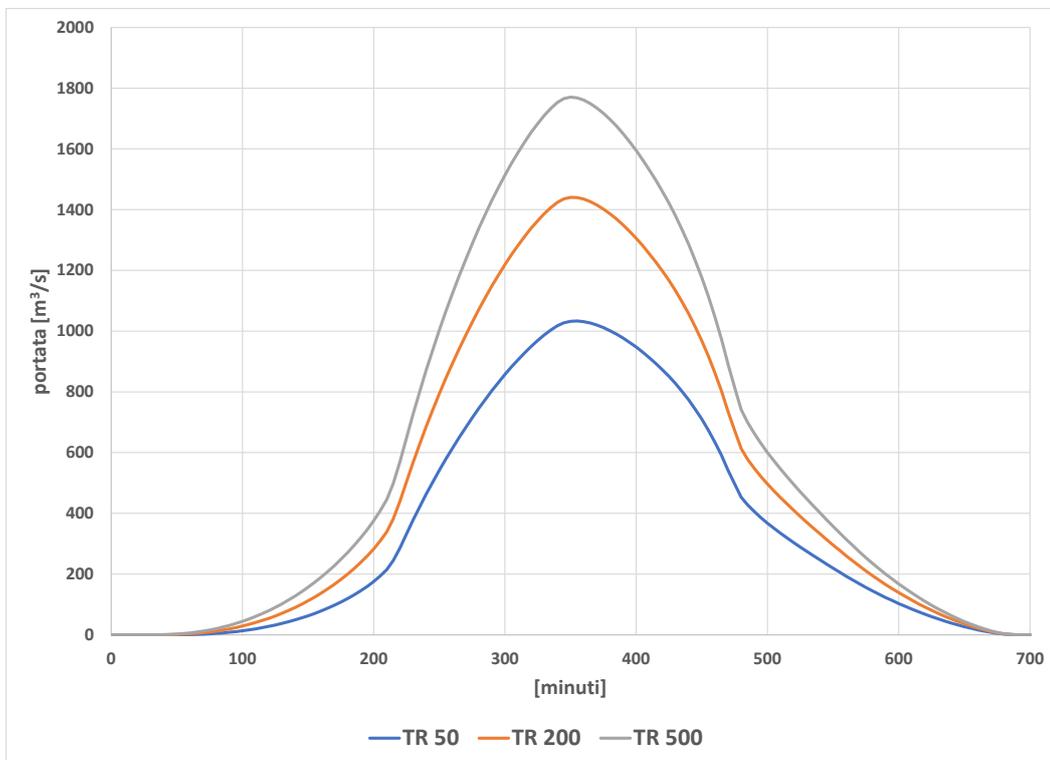


Figura 3: idrogramma di piena del Torrente Neva all'intersezione con la ferrovia per Tr 50,200 e 500 anni

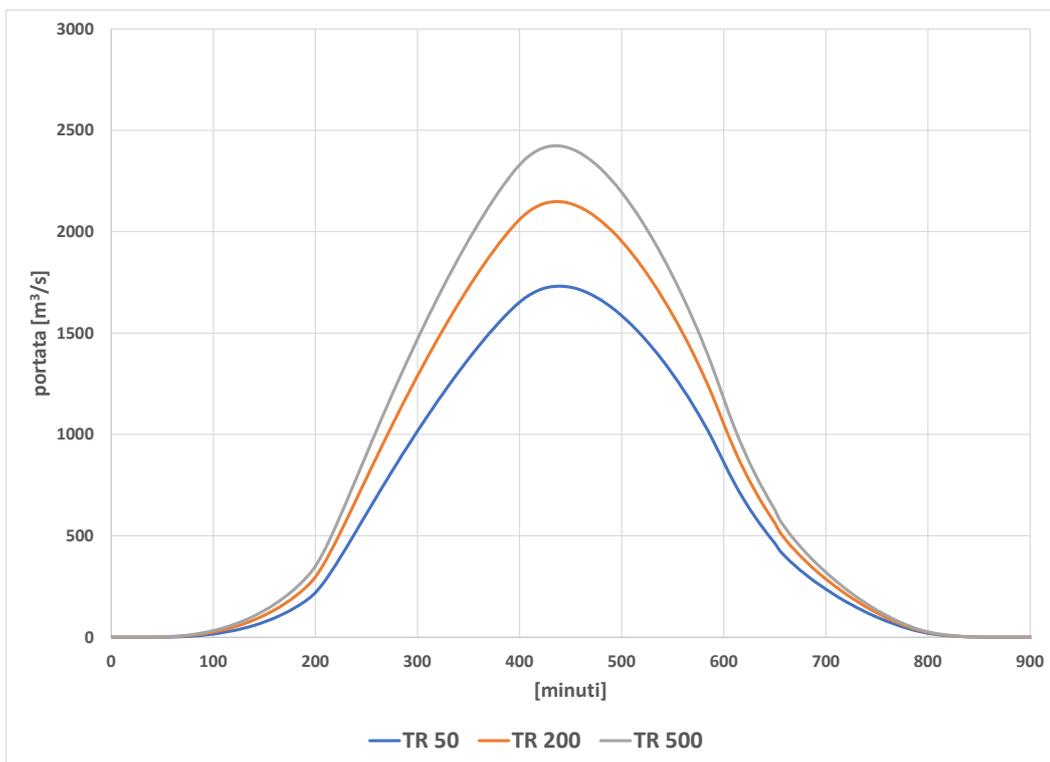


Figura 4: idrogramma di piena del Torrente Arroscia all'intersezione con la ferrovia per Tr 50,200 e 500 anni

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 20 di 73 |

Altra informazione utilizzata è costituita dalle aree di pericolosità idraulica, in particolare per il tempo di ritorno di progetto (200 anni), definite nell’ambito della pianificazione di bacino vigente (i.e. *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale*).

Nello specifico, per la redazione delle mappature di pericolosità da alluvione da corso d’acqua, sono state definite e rappresentate le aree di possibile inondazione per dato tempo di ritorno secondo il seguente schema derivante dall’art. 6 del d.lgs. 49/2010, e in accordo con quanto già effettuato nei piani di bacino regionali vigenti:

- **classe P3 / scenario H**: elevata probabilità di accadimento, *TR= 50 anni*;
- **classe P2 / scenario M**: media probabilità di accadimento, *TR = 200 anni*;
- **classe P1 / scenario L**: bassa probabilità di accadimento; *TR= 500 anni*.

Si evidenzia inoltre che, nelle more di approfondimenti tecnici adeguati, sono state classificate nella classe di pericolosità più elevata *P3* le aree soggette ai più recenti eventi alluvionali, che hanno colpito molto pesantemente il territorio ligure.

In particolare, sono state recepite, fin dalla prima mappatura, le perimetrazioni delle aree oggetto di inondazione negli eventi alluvionali del 2010 e 2011, e nella fase di aggiornamento sono state inserite anche le aree inondate negli eventi dell’autunno 2014.

La mappatura delle aree a pericolosità di inondazione da corsi d’acqua è stata recentemente aggiornata al fine di recepire le modifiche ed integrazioni avvenute con gli aggiornamenti ai piani di bacino vigenti, oltre alle aree interessate dagli eventi 2014.

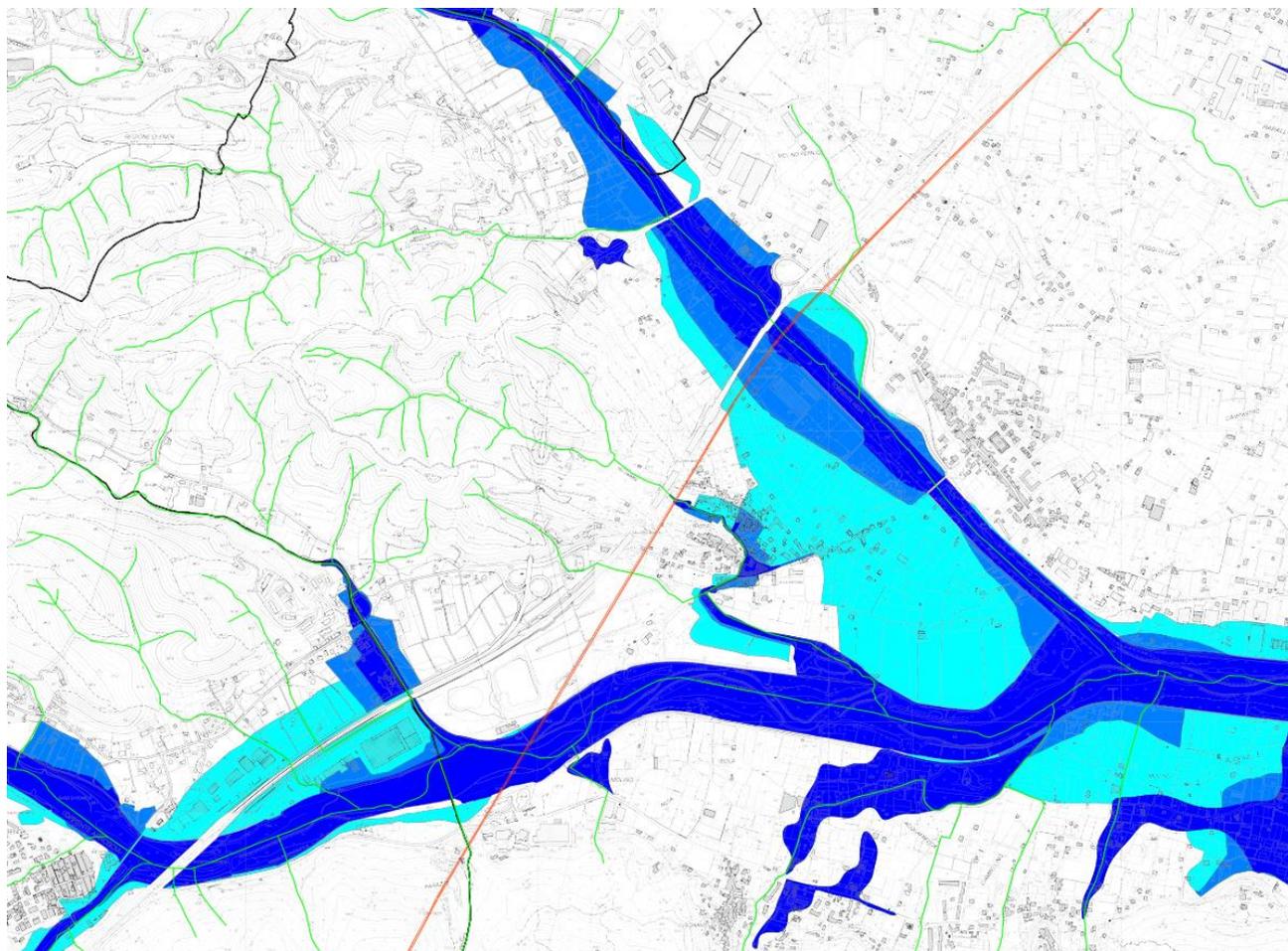
Nella figura seguente, è riportata la sovrapposizione del tracciato di progetto con le aree di pericolosità idraulica riportate nella pianificazione di bacino.

La nuova linea attraversa aree a pericolosità P1, P2, P3, in corrispondenza dell’attraversamento dei due torrenti Neva e Arroscia. Le opere “accessorie”, come la nuova stazione di Albenga e le relative nuove viabilità di accesso, non ricadono in area di pericolosità idraulica.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 21 di 73 |



Legenda

SCENARI DI ALLUVIONE

| | | |
|---|--|--------------------|
|  | Probabilità di alluvioni scarsa (tr. 500) | (L-Rara) |
|  | Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200) | (M-Poco frequente) |
|  | Probabilità di alluvioni elevata (tr. 20/50) | (H-Frequente) |

Nota: Mappatura delle aree di Pericolosità idraulica secondo il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) relativo al distretto idrografico del Po, di cui all'art. 7 del d.lgs. 49/2010

| | |
|---|----------------------------|
|  | Tracciato di progetto |
|  | Rete idrografica regionale |

Figura 5: Estratto delle mappe delle aree di pericolosità idraulica dei torrenti Neva e Arroscia in quel di Albenga (fonte: Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale).

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 22 di 73 |

3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO

3.3.1 Approccio matematico (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale dei tratti in fase di studio è il software HEC-RAS 6.1 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione del software HEC-RAS sono:

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.
- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 23 di 73 |

1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.

- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

(architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.

- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: *HEC-RAS* è dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit.

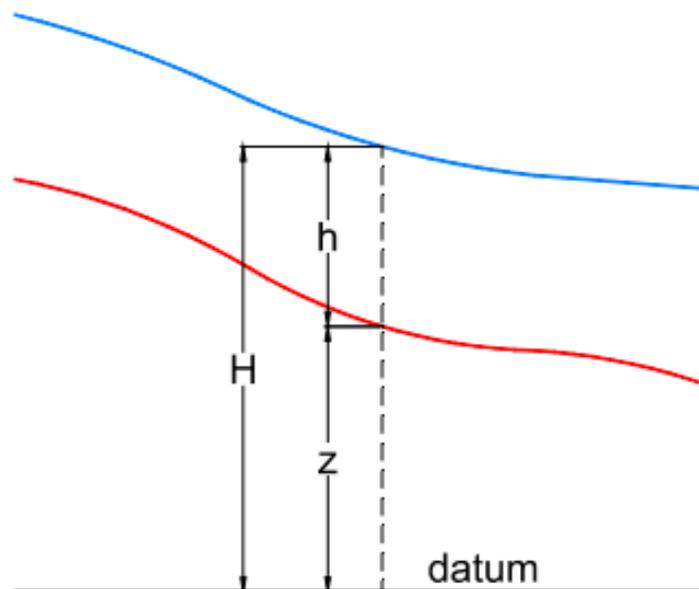


Figura 6 – Software Hec Ras 6.0: sistema di riferimento.

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$, l'altezza idrica con $h(x,y,t)$ e l'altezza del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$.

Conservazione della massa: assumendo il fluido incompressibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 25 di 73 |

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y , e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy e R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6}/n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \cdot |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli.

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 26 di 73 |

Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa.

Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

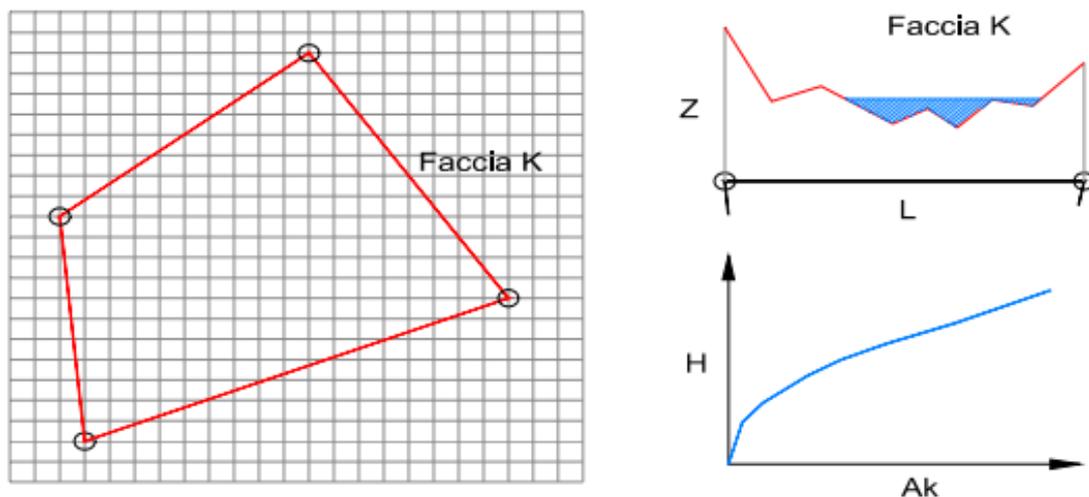


Figura 7 – Software Hec Ras: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

3.3.2 Generazione del Modello Digitale Del Terreno

Il primo passo per l'implementazione della geometria del modello prevede la definizione delle quote del terreno dell'alveo e della pianura alluvionale tramite la generazione di un Modello Digitale del Terreno (DTM). Tali informazioni sono state estratte dai dati topografici disponibili descritti nel paragrafo 3.2.1, avendo cura di integrare le informazioni derivate dalle sezioni trasversali rilevate in alveo con quelle relative al piano campagna provenienti dal modello digitale del terreno.

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 27 di 73 |

Effettivamente si è scelto di sostituire il dato in alveo fornito dal DTM con quello ottenibile dall'interpolazione tra le sezioni, nel tratto in cui il confronto tra le due tipologie di dati ha evidenziato una non corretta definizione dell'alveo nel DTM; tale discrepanza è dovuta principalmente alla presenza di acqua nella fase di acquisizione dei dati lidar, ossia nell'ultimo tratto, sostanzialmente a valle della confluenza tra Neva e Arroscia.

Infatti, benché generalmente la sezione trasversale battuta fornisca valori puntuali più precisi del DTM, dove possibile si è preferito mantenere il DTM che fornisce una rappresentazione continua dell'alveo, considerata più rappresentativa di quella ottenibile da interpolazione dei dati puntuali forniti dalle sezioni.

Nel tratto di valle, dove i valori ottenibili dal DTM appaiono maggiormente influenzati dalla presenza dell'acqua in alveo e si discostano maggiormente dalle sezioni, si è scelto di interpolare queste ultime, integrando la morfologia in alveo ricostruita con il DTM al di fuori dell'alveo.

Pertanto, a tale scopo è stata effettuata una interpolazione geospaziale delle sezioni rilevate, in ambiente GIS tramite il software XS Interpolator³, in modo da poter prendere in considerazione le variazioni puntuali presenti tra due sezioni rilevate, siano esse dovute a restringimenti, allargamenti o cambiamenti di direzione del corso d'acqua; il risultato di tale interpolazione è costituito da un modello digitale dell'alveo, integrato con il DTM per le quote del terreno di piano campagna.

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, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

³<https://shop.m3eweb.com/home/32-xs-interpolator.html>

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 28 di 73 |

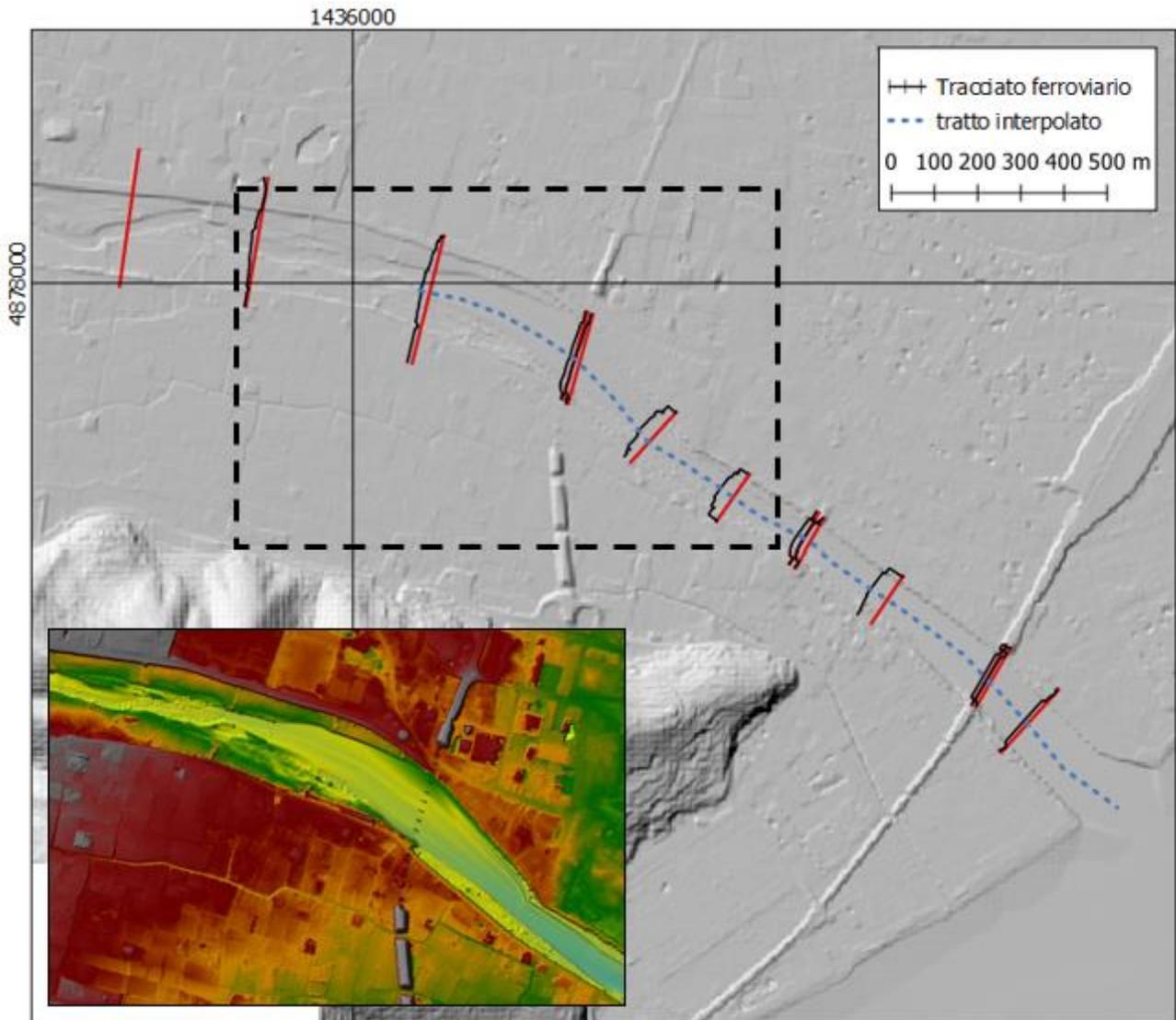


Figura 8: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali; il riquadro di dettaglio mostra il passaggio al tratto interpolato

3.3.3 Definizione del dominio e della griglia di calcolo

Per l'implementazione del modello si è in prima battuta identificato un dominio di calcolo che fosse coperto dalle informazioni topografiche disponibili e che fosse sufficientemente esteso a monte e a valle del nodo di interesse, in modo che il calcolo non risenta delle condizioni al contorno imposte. In particolare, a valle, si è scelto di prendere in esame anche il fiume Centa e chiudere il modello

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 29 di 73 |

alla foce, considerando anche un tratto di mare prospiciente per schematizzare correttamente la condizione al contorno di valle.

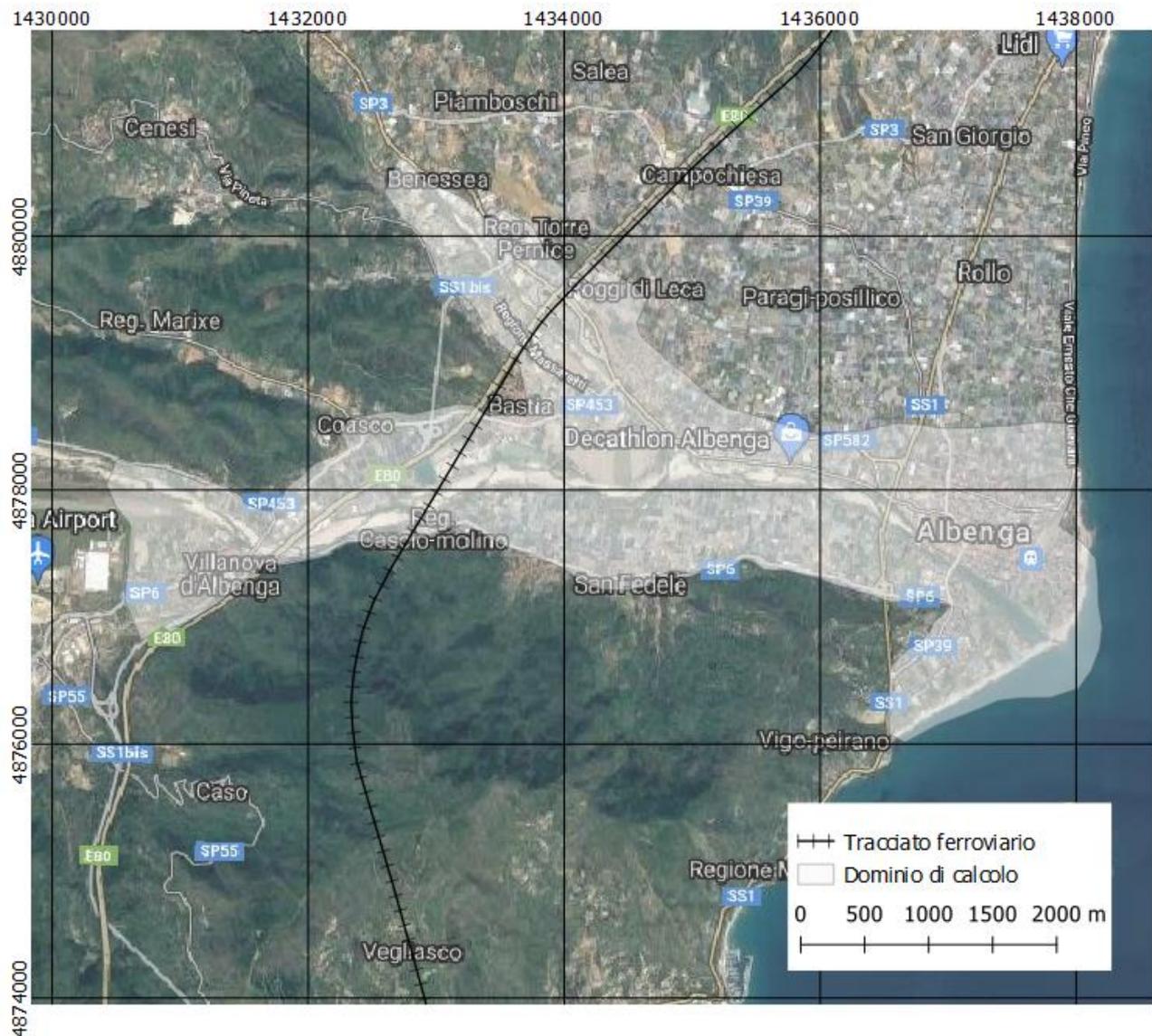


Figura 9: Estensione del dominio di calcolo

Per quanto riguarda la griglia di calcolo, HEC-RAS 2D utilizza uno schema di soluzioni a volumi finiti, che consente l'utilizzo di una griglia di calcolo (mesh) strutturata o non strutturata. Ciò significa che la mesh può essere costituita da celle di calcolo da 3 a 8 lati.

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 30 di 73 |

A partire dal modello digitale del terreno finale implementato come descritto sopra, è stata selezionata una risoluzione nominale della griglia pari a 15 m e sono stati utilizzati gli strumenti automatizzati all'interno di HEC-RAS per la costruzione della griglia di calcolo nel piano campagna, imponendo la posizione dei rilevati, in modo da adattare gli elementi della griglia ai principali ostacoli al deflusso.

L'alveo dei torrenti Neva e Arroscia e del Centaè stato interamente schematizzato con griglia a 5 m. La griglia così definita è costituita da 120'403 celle, di estensione media pari a 98.15 m², con una variazione da 8.31 m² a 459.22 m².

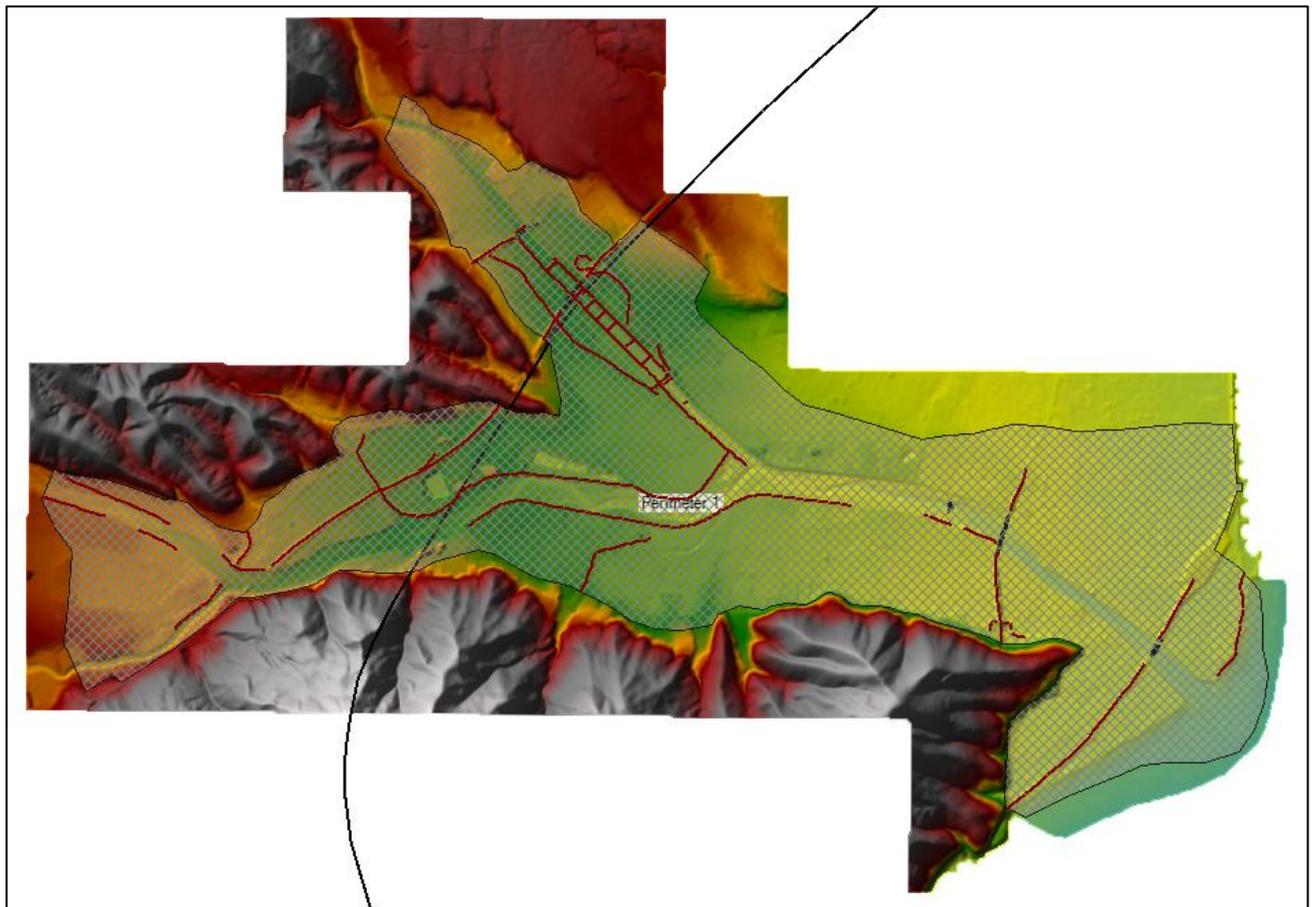


Figura 10: Dominio di calcolo e posizione dei rilevati utilizzati per la definizione della mesh

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 31 di 73 |

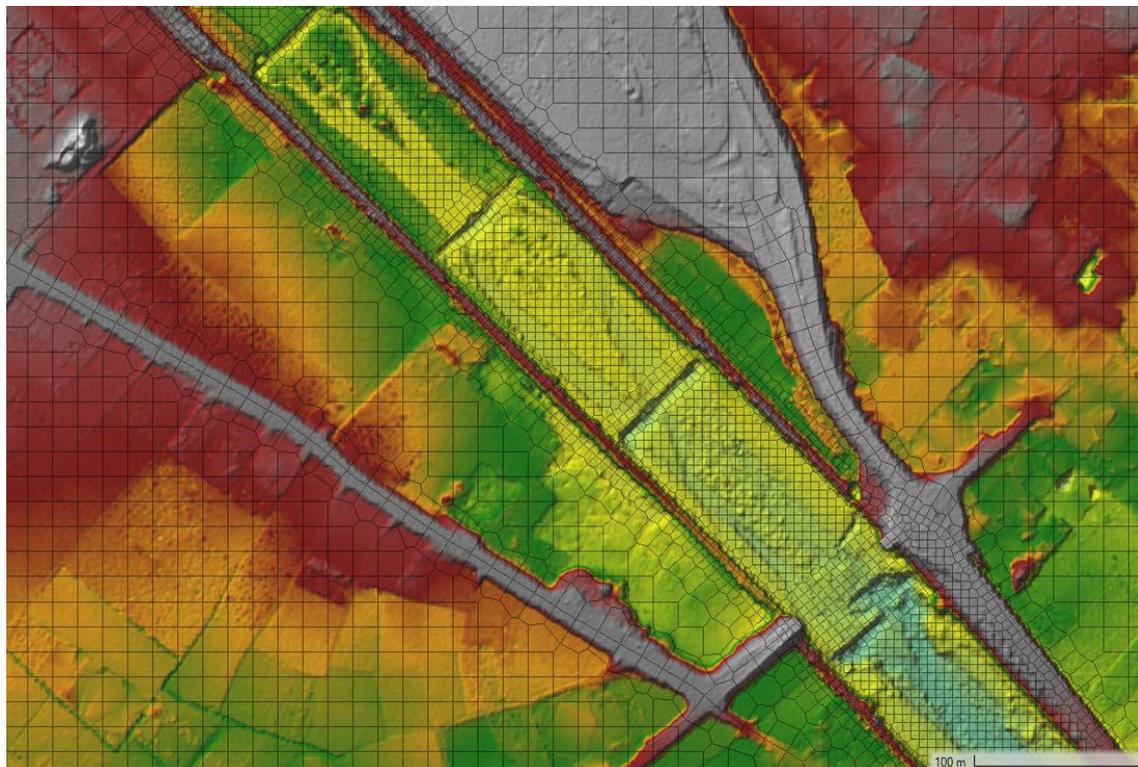


Figura 11: Dettaglio della mesh del torrente Neva a monte della confluenza

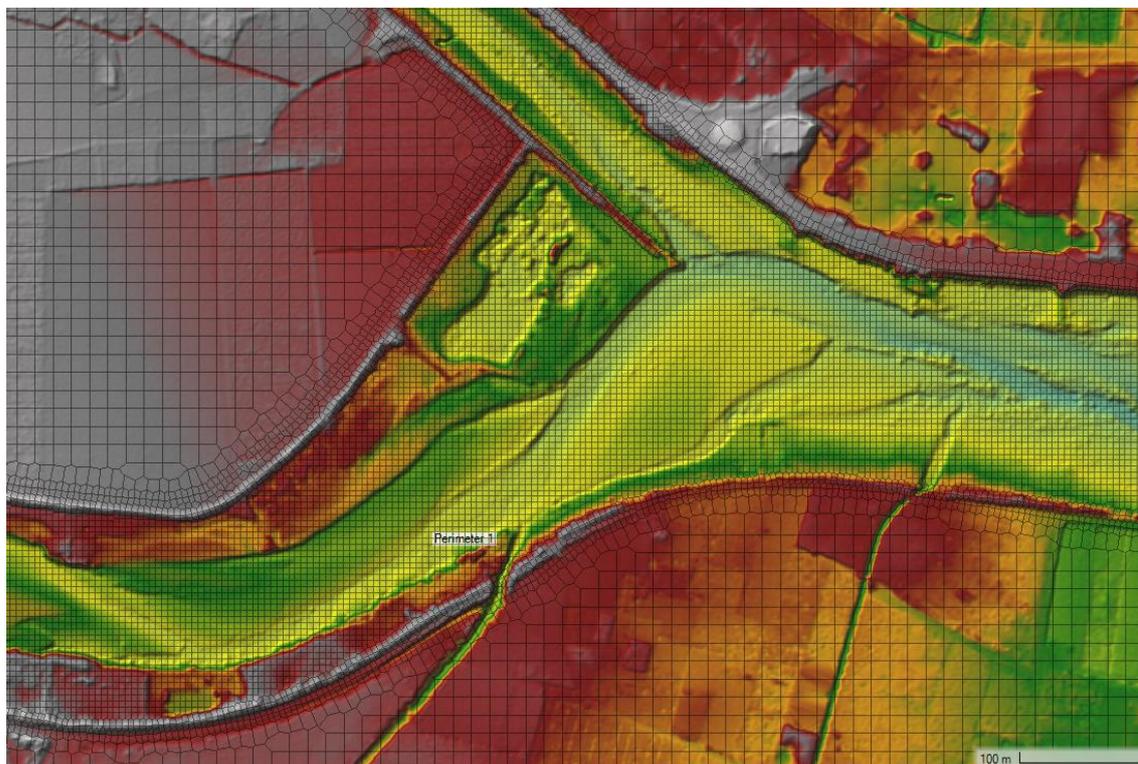


Figura 12: Dettaglio della mesh alla confluenza tra Neva e Arroscia

| | | | | | | |
|--|---|----------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p> | | | | | |
| <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia</p> | <p>COMMESSA IV01</p> | <p>LOTTO 00</p> | <p>CODIFICA D 09 RI</p> | <p>DOCUMENTO ID 0002 003</p> | <p>REV. C</p> | <p>FOGLIO 32 di 73</p> |

La discretizzazione delle celle è stata ritenuta sufficientemente dettagliata per rappresentare la dinamica di allagamento; tuttavia, è opportuno considerare che, in realtà, il livello di dettaglio del modello HEC-RAS non dipende solo dalle dimensioni della cella.

La specificità della modellazione in RAS 2D è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Questa prerogativa lo differenzia in maniera netta rispetto a tutti gli altri software di modellazione 2D, dove l'informazione topografica è al più sui nodi di calcolo.

Infatti, pur mantenendo un solo punto di calcolo all'interno di ogni cella della griglia e quindi calcolando un solo livello, il pre-processore del software per ogni cella determina, sulla base del DEM sotteso dalla cella:

- la relazione livello-volume invasato nella cella, che utilizza nella soluzione dell'equazione di continuità,
- la relazione livello area di deflusso per ogni contorno di scambio tra 2 celle, che utilizza nella soluzione dell'equazione del moto.

Questa tecnica permette quindi di considerare dettagli topografici non legati alla dimensione delle celle di calcolo, ma legati alla definizione del DEM di base.

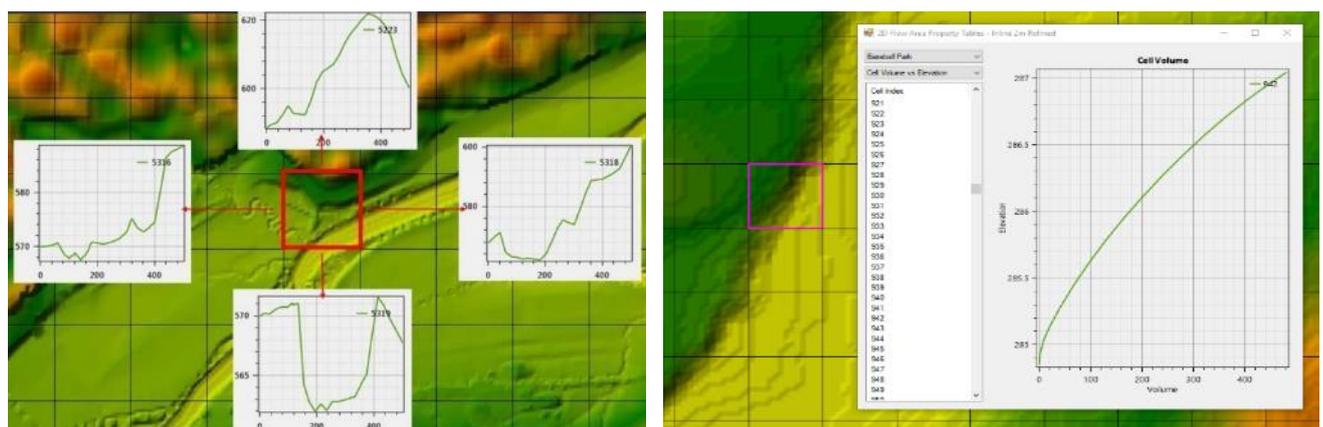


Figura 13: Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato

Anche il post-processore del software per identificare le aree allagate utilizza il DEM, quindi all'interno di una cella di calcolo considera allagati solo i pixel del DEM che hanno una quota inferiore a quella del livello idrico calcolato per la cella stessa.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

3.3.4 Strutture idrauliche all'interno del modello 2D

Nella geometria del modello è stato inserito come struttura specifica l'attraversamento di Via Paccini sul torrente Neva, secondo le informazioni geometriche disponibili. In aggiunta, sono poi stati inseriti anche i muretti che costeggiano il fiume Centa presenti nel dominio di calcolo e che possono influire sulle dinamiche di allagamento; tali rilevati sono stati schematizzati come strutture di sfioro, alle quote definite dalle sezioni di rilievo e poi interpolate linearmente. Per i ponti per i quali l'impalcato è risultato non interferire con i livelli "in gioco", si è scelto di considerare solo l'eventuale ingombro delle pile in alveo, quando presenti, modificando localmente il DTM a rappresentare l'effettiva geometria delle pile; tale approccio è stato applicato al ponte sull'Aurelia, sulla A10, sulla SS1 e al ponte FS esistente. Le figure seguenti mostrano le posizioni delle strutture, la schematizzazione dell'attraversamento esistente all'interno del modello e, a scopo esemplificativo, un estratto della mesh in corrispondenza dell'attraversamento autostradale, che mostra l'ingombro delle pile implementato nel modello.



Figura 14: Strutture idrauliche inserite all'interno del modello

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 34 di 73 |

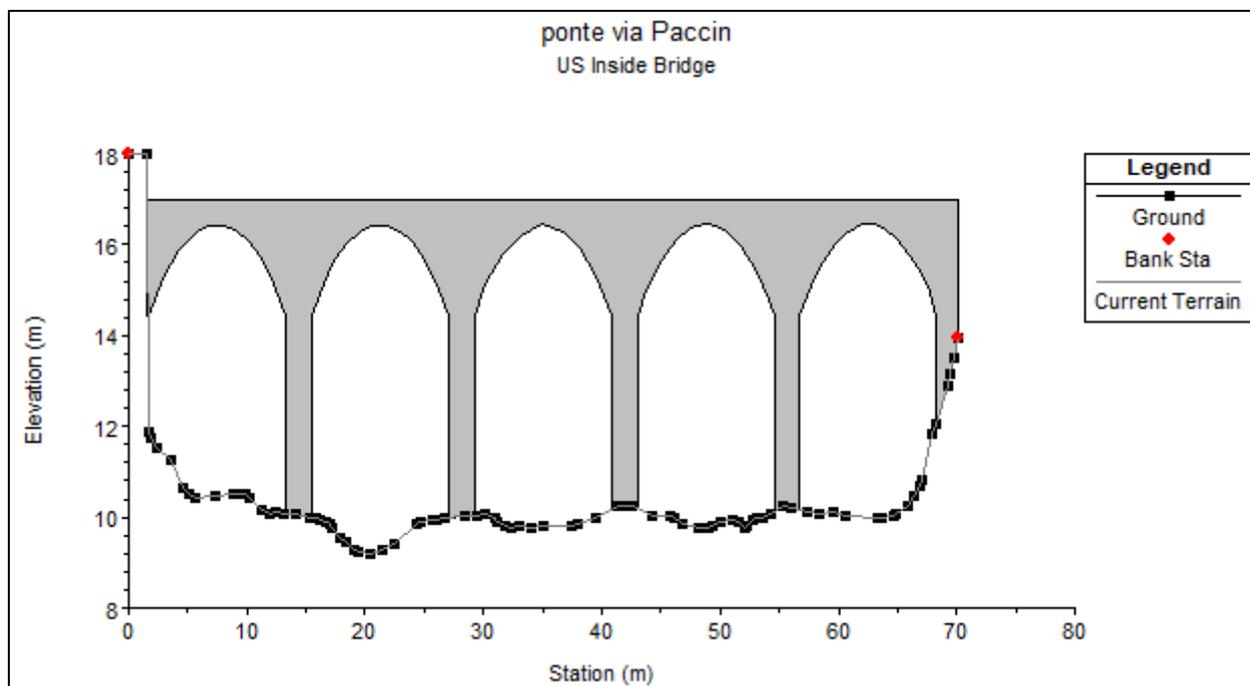


Figura 15: Schematizzazione dell'attraversamento di Via Paccini sul T. Neva

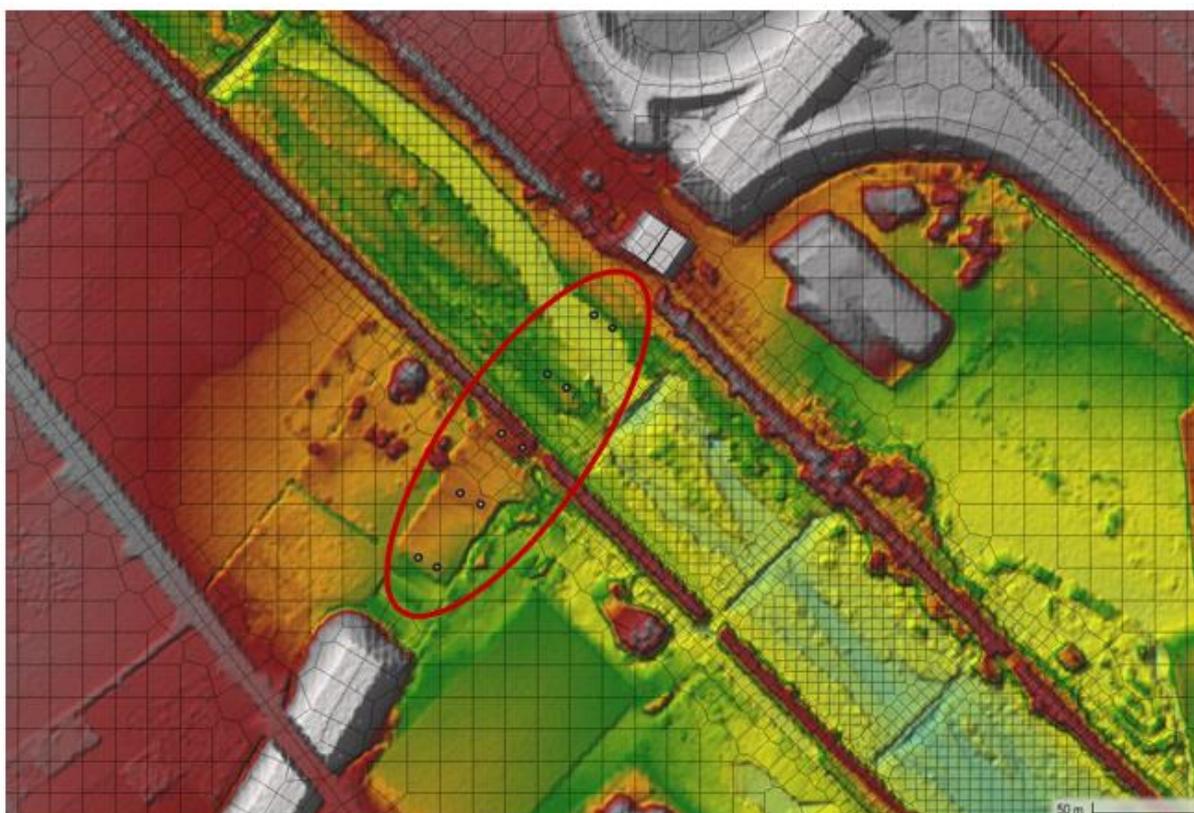


Figura 16: Schematizzazione dell'attraversamento autostradale mediante la definizione dell'ingombro delle pile in alveo

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 35 di 73 |

3.3.5 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- idrogrammi di piena di riferimento in input a monte;
- condizioni al contorno di valle lungo il contorno a mare: è stata imposta la condizione di livello pari a 2 m s.l.m.m. corrispondente ad una condizione estrema che prende in considerazione l'azione di storm surge e l'innalzamento del livello del mare al 2100 dovuto ai cambiamenti climatici, così come definito da studio ENEA disponibile basato sulla stazione di Imperia (rif. IV0I00D09RIID0001001A);
- condizione al contorno di valle sul lato nord dell'area di calcolo dove è previsto il passaggio di acqua attraverso il contorno del dominio: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno.

Si precisa che le simulazioni numeriche sono state eseguite nell'ipotesi di non contemporaneità degli eventi di piena, ossia gli idrogrammi sono stati traslati nel tempo in modo da ottenere, secondo una procedura iterativa, un picco combinato sul fiume Centa pari a quello definito dall'Autorità di Bacino a valle della confluenza per i tre tempi di ritorno di riferimento.

La Figura 17 mostra la schematizzazione delle principali condizioni al contorno imposte.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 36 di 73 |

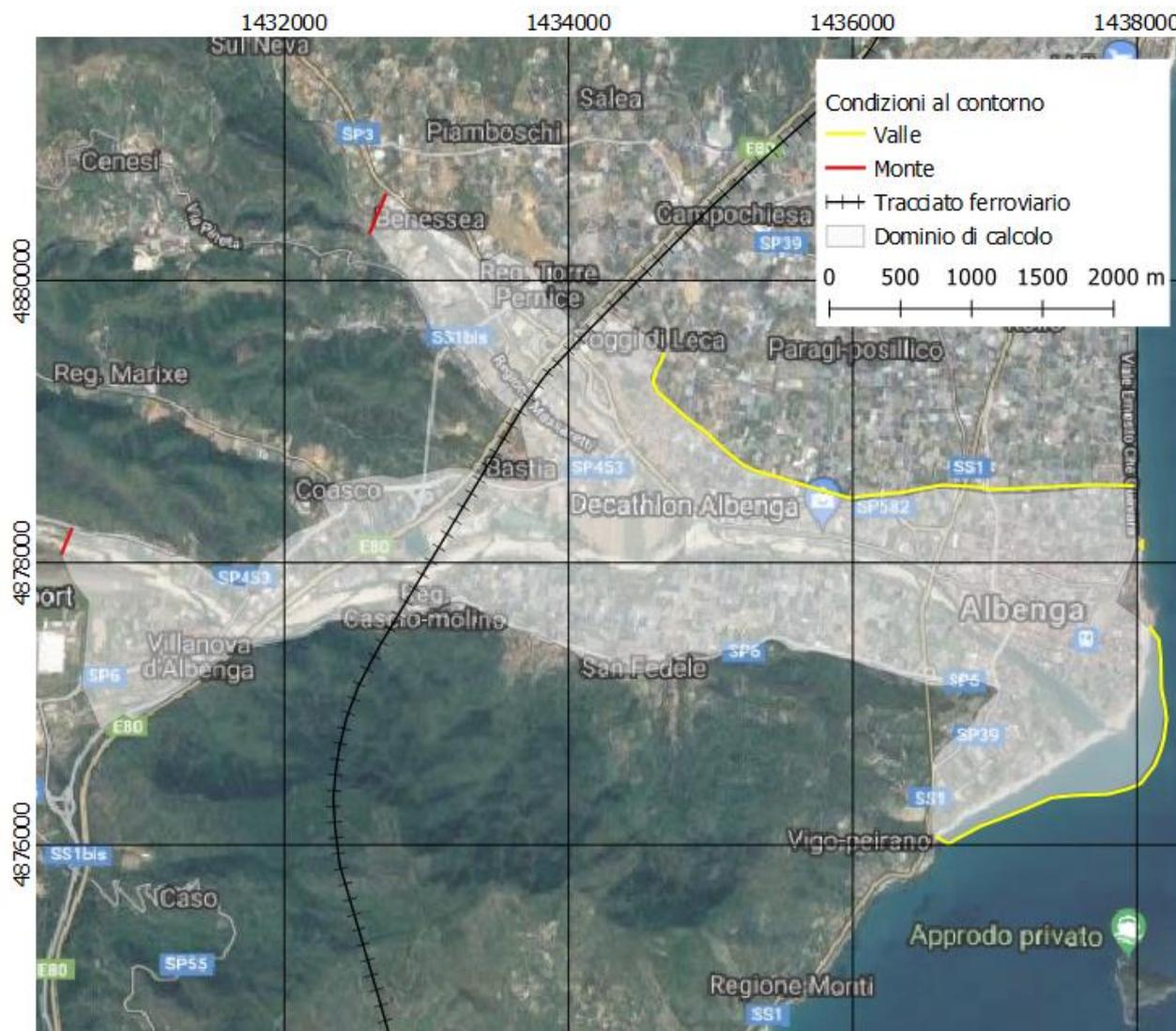


Figura 17: Condizioni al contorno imposte al modello

3.3.6 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, si è potuto calibrare il modello unicamente sulla base delle aree di pericolosità idraulica definite nel PAI dall'Autorità di Bacino, per un evento duecentennale.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 37 di 73 |

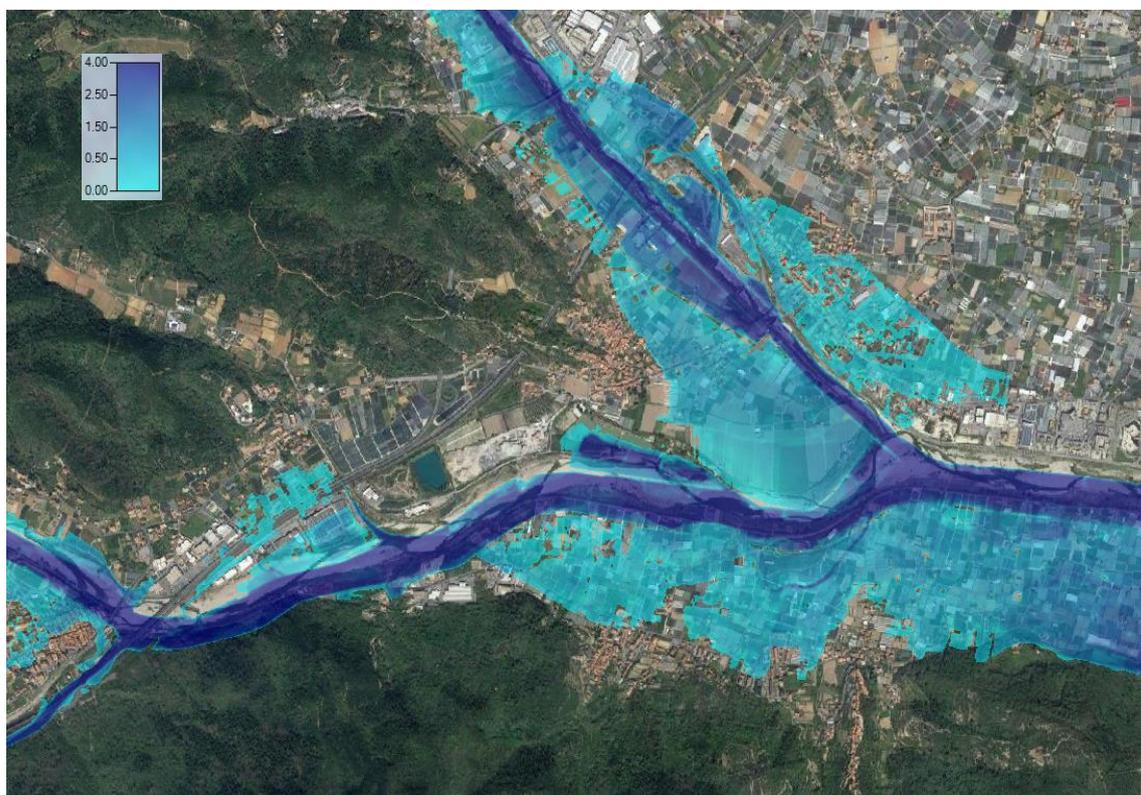
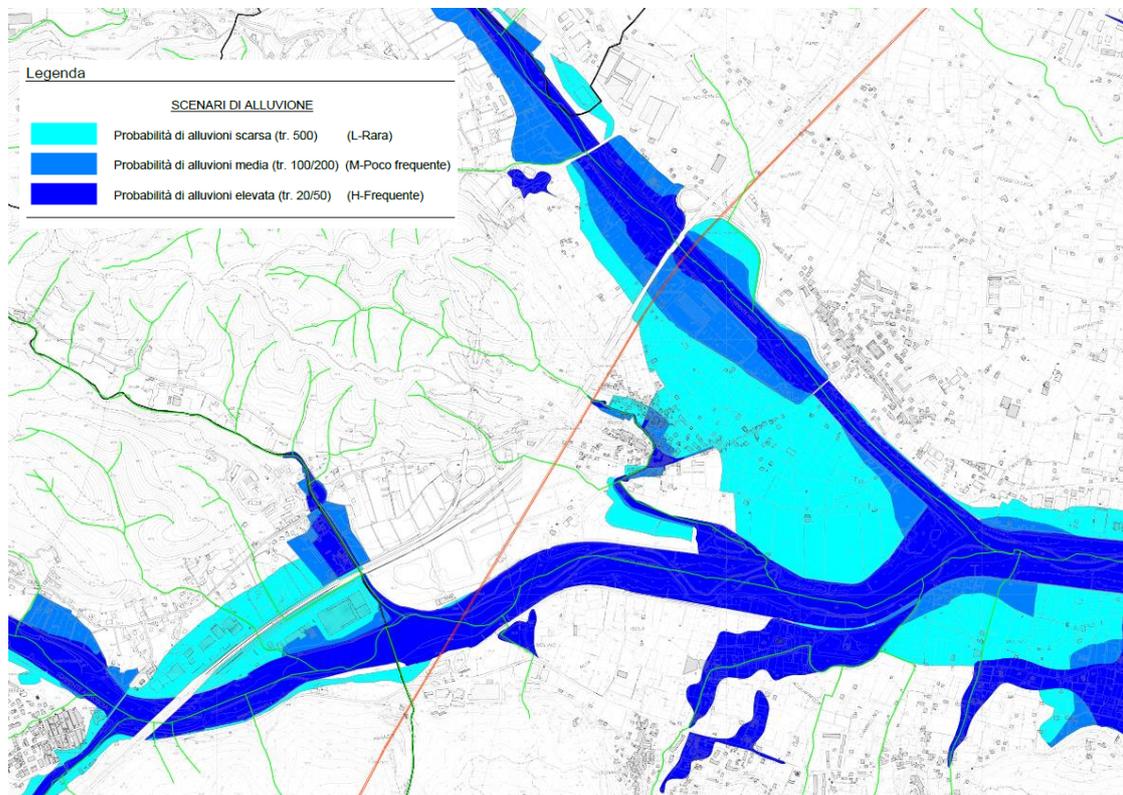


Figura 18: Torrenti Neva e Arroscia: confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello 2D e quelli definiti dal PAI.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

I risultati descritti nella figura precedente sono stati ottenuti con il seguente set di scabrezze, riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

In particolare, il valore assegnato in alveo è stato scelto sia secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla foto-interpretazione di immagini satellitari, che in funzione dell'estensione degli allagamenti definiti dal PAI; il valore assegnato all'area di piana alluvionale è stato invece valutato in modo da considerare la presenza degli edifici; tale scabrezza non appare tuttavia influenzare in modo significativo i livelli in alveo, che costituiscono l'oggetto dell'analisi condotta.

Tabella 3: Torrenti Neva e Arroscia: scabrezze adottate nel modello 2D

| <i>Copertura</i> | <i>n</i> |
|---------------------|----------|
| Alveo | 0.04 |
| Pianura alluvionale | 0.06 |

In linea generale i risultati ottenuti per l'evento duecentennale appaiono più cautelativi, in termini di estensione delle aree allagabili, rispetto a quanto illustrato nelle carte degli allagamenti PAI per lo stesso tempo di ritorno.

È tuttavia opportuno evidenziare che la morfologia della piana alluvionale e le pendenze esistenti causano un significativo scorrimento superficiale dei volumi esondati, dinamica che è ben rappresentata dalla modellazione bidimensionale, dove i volumi esondati seguono sostanzialmente la pendenza del DTM.

La differenza con i risultati PAI è giustificabile perché il processo sopra descritto è generalmente meno correttamente rappresentato dalla modellazione monodimensionale, su cui è effettivamente basata la definizione delle aree allagabili PAI.

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 39 di 73 |

3.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Dopo le procedure di calibrazione, il modello 2D, così come descritto nel paragrafo 3.3, è stato utilizzato per condurre tre simulazioni sia per lo scenario relativo allo stato attuale sia per la configurazione di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, utilizzando gli idrogrammi definiti nel paragrafo 3.2.2.

Nello specifico, per la configurazione:

- *ante operam*, si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam*, si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica o di sistemazione idraulica dell'alveo.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione del campo dei tiranti e delle velocità in tutto il dominio di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza dei nuovi attraversamenti fluviali sui Torrenti Neva e Arroscia.

3.4.1 Scenario "ante operam"

Di seguito, si riportano gli stralci delle aree potenzialmente inondabili, ottenute da modello 2D, per il tempo di ritorno di progetto ($Tr = 200$ anni). Si rimanda agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 2.2.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

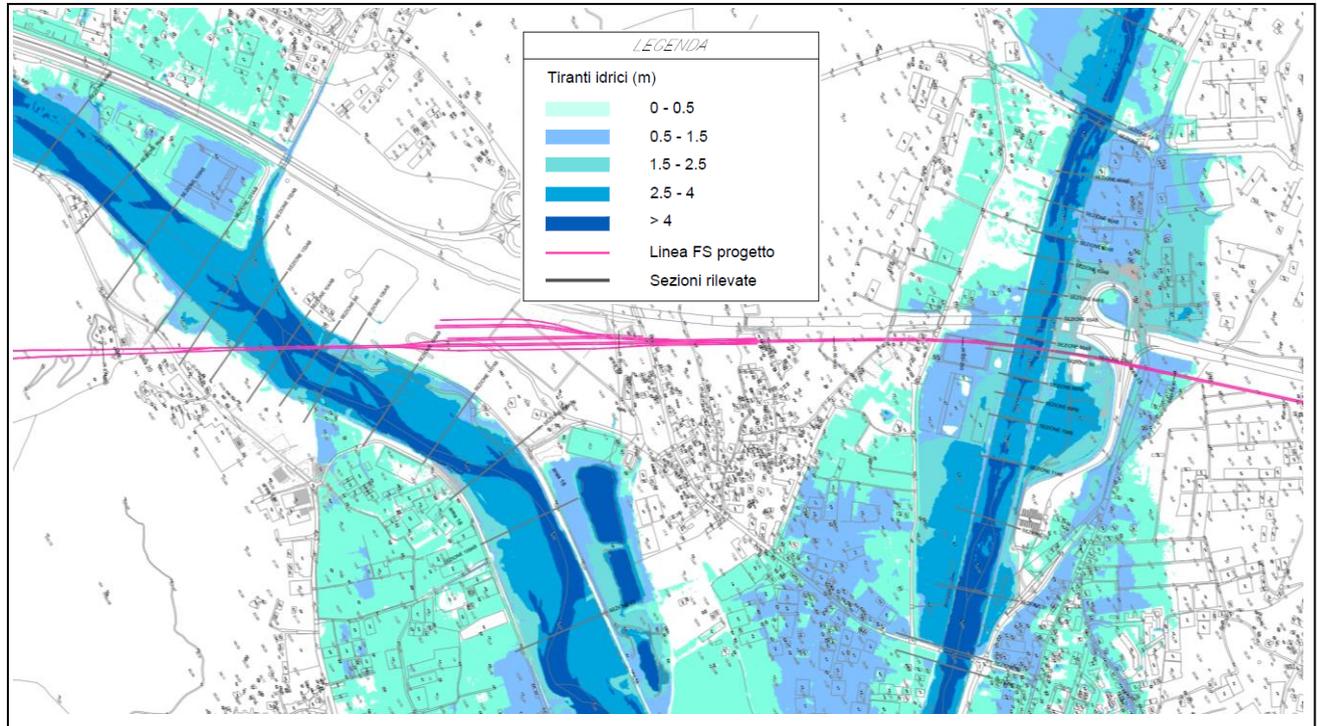


Figura 19: Modello numerico 2D, torrenti Neva e Arroscia: aree potenzialmente inondabili, ante operam, Tr = 200 anni.

Come evidenziato nella figura precedente, l'area di intervento è soggetta ad esondazioni diffuse delle piene dei due torrenti oggetto di studio; l'estensione della zona potenzialmente inondabile, come già mostrato nell'ambito della calibrazione del modello, riproduce quella indicata nelle mappe di pericolosità idraulica del P.G.R.A. di riferimento. Nella tabella seguente sono riportati i livelli idrici ($Tr = 50, 200, 500$ anni), allo stato attuale, in corrispondenza dei nuovi attraversamenti ferroviari.

Tabella 4: Livelli idrici massimi a monte dei nuovi attraversamenti ferroviari per vari tempi di ritorno (ante operam)

| | Livello (m s.l.m.m.) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Torrente Neva | |
| Tr 50 | 18.12 |
| Tr 200 | 18.65 |
| Tr 500 | 18.99 |
| Torrente Arroscia | |
| Tr 50 | 18.99 |
| Tr 200 | 19.45 |
| Tr 500 | 19.73 |

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 41 di 73 |

3.4.2 Scenario “post operam”

Sulla base dei risultati ottenuti nello scenario “*ante operam*”, si è proceduto all’implementazione della configurazione “*post operam*”. Nello specifico, in quel di Albenga, si prevede la realizzazione delle seguenti opere ed interventi:

- nuovo viadotto ferroviario VI06, per l’attraversamento del Torrente Neva;
- adeguamento muro esistente in gabbioni a monte dell’attraversamento ferroviario in sinistra idraulica del Torrente Neva;
- nuovo viadotto ferroviario VI07, per l’attraversamento del Torrente Arroscia;
- nuova stazione di Albenga, con annesso parcheggio;
- nuovo viadotto stradale IVX8 (della nuova viabilità di accesso alla stazione) sul Torrente Arroscia
- opere di sistemazione/protezione idraulica in alveo atte a inibire fenomeni di erosione attorno alle pile in alveo dei nuovi viadotti.

Nella figura seguente uno stralcio della planimetrica di progetto in quel di Albenga.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 42 di 73 |

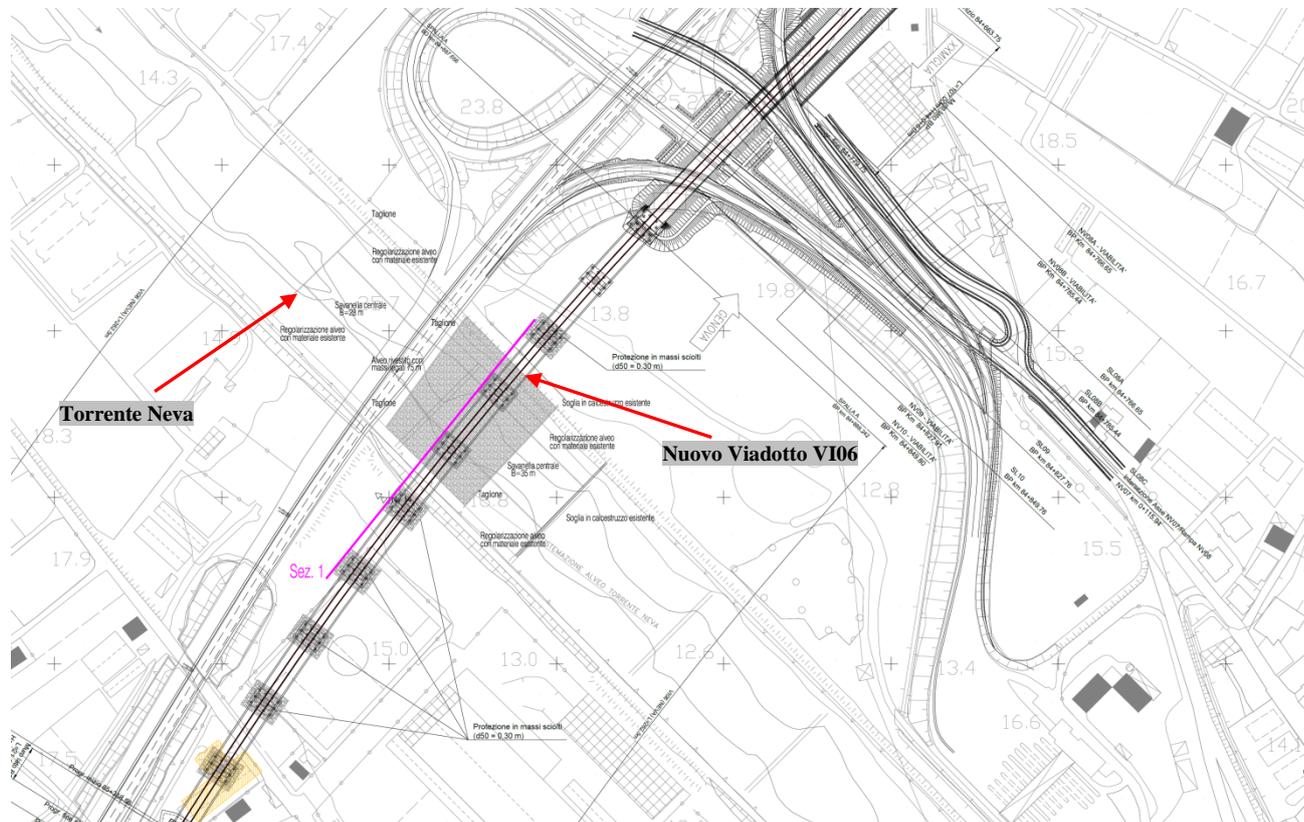


Figura 20: Stralcio della planimetria di progetto in quel di Albenga (attraversamento del Torrente Neva).

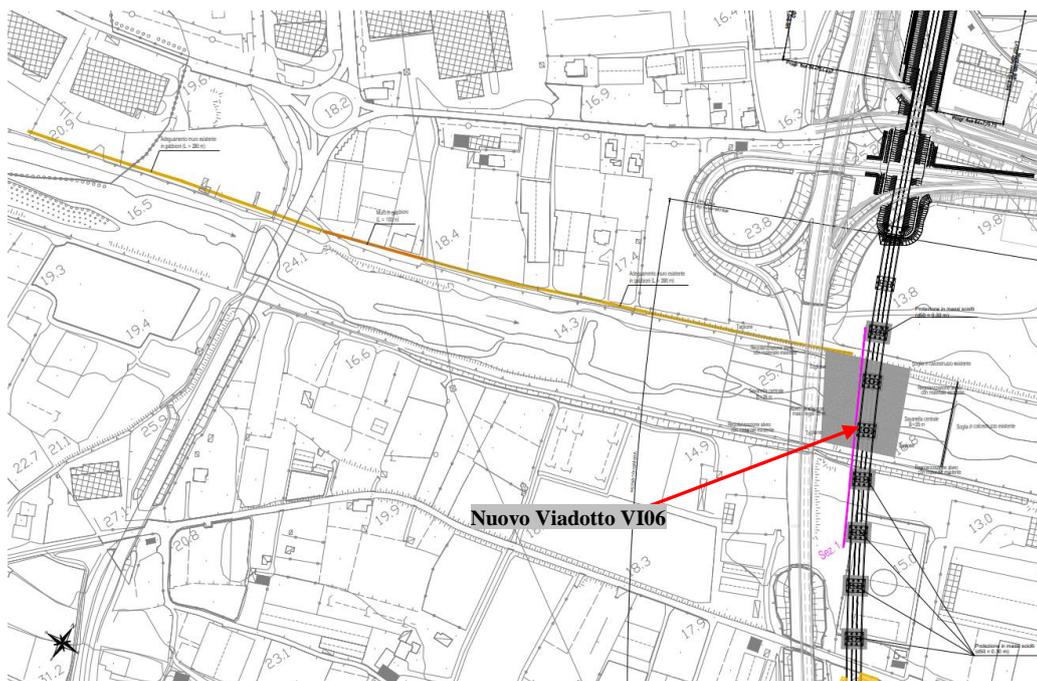


Figura 21: Adeguamento muro esistente in gabbioni a monte dell'attraversamento ferroviario in sinistra idraulica del Torrente Neva, evidenziato con la linea arancione

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 43 di 73 |

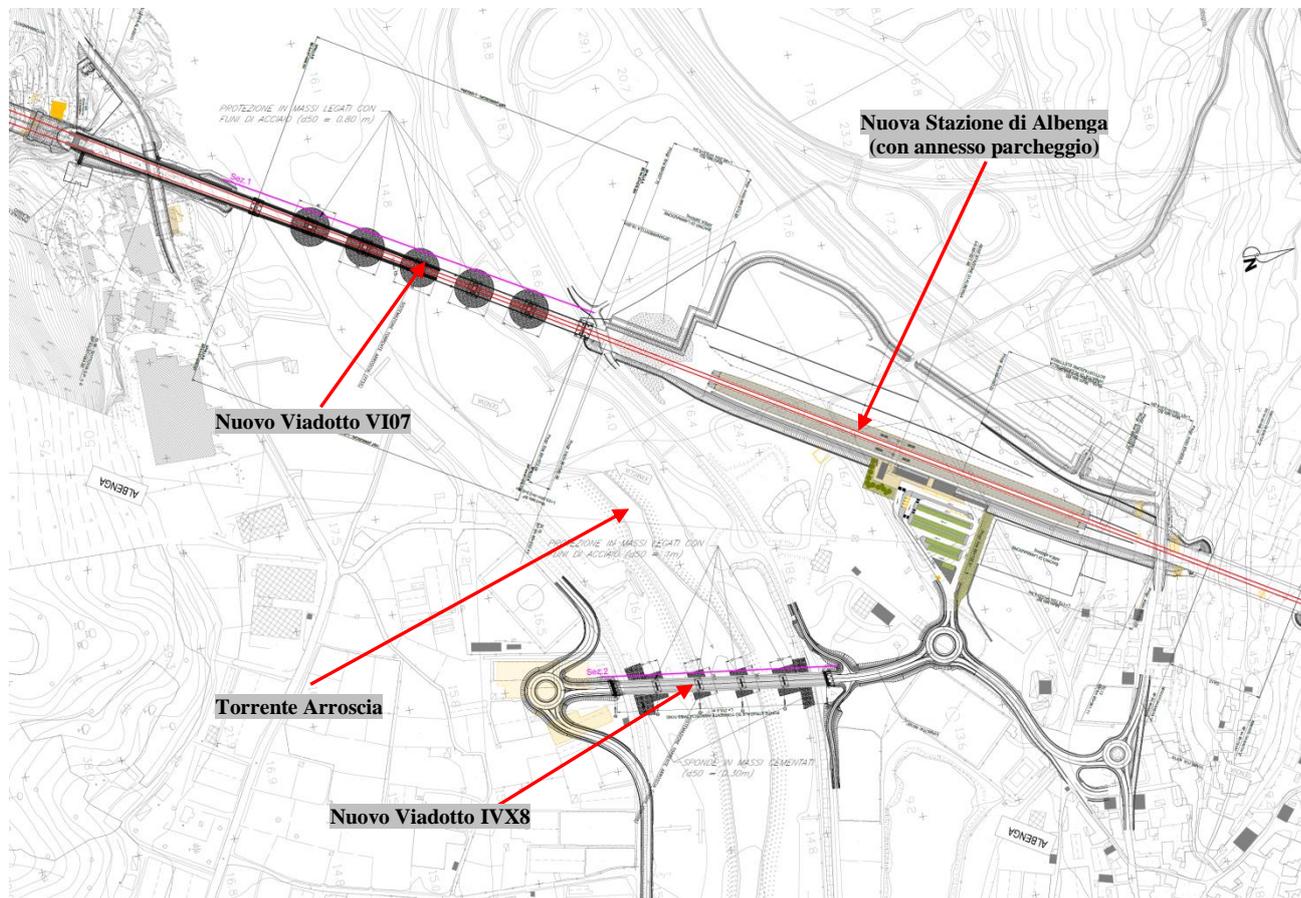


Figura 22: Stralcio della planimetria di progetto in quel di Albenga (attraversamento del Torrente Arroscia).

Di seguito invece uno stralcio del profilo di progetto delle nuove opere di attraversamento, da cui si evince la configurazione/scansione dei nuovi viadotti VI06 (Torrente Neva), VI07 (Torrente Arroscia) e IVX8 (Torrente Arroscia).

Nello specifico, il viadotto VI06 è costituito di 10 campate: 1 campata con luce di 43.50 m, 4 campate con luce di 44.50 m (di scavalco dell'alveo inciso del Torrente Neva), 4 campate con luce di 48 m e 1 campata con luce di 47 m.

Il viadotto VI07 è costituito invece di 6 campate con luce di 60 m (di scavalco dell'alveo inciso del Torrente Arroscia).

Il viadotto IVX8 è costituito di 5 campate con luce di 43.50 m (di scavalco dell'alveo inciso e degli argini del Torrente Arroscia).

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 44 di 73 |

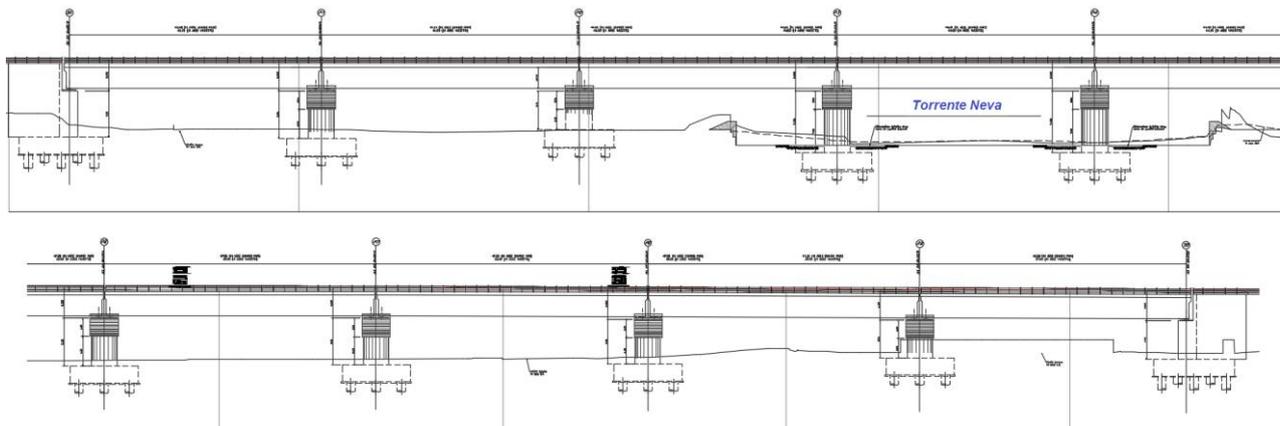


Figura 23: Stralcio del profilo di progetto, nuovo viadotto V106 (Torrente Neva).

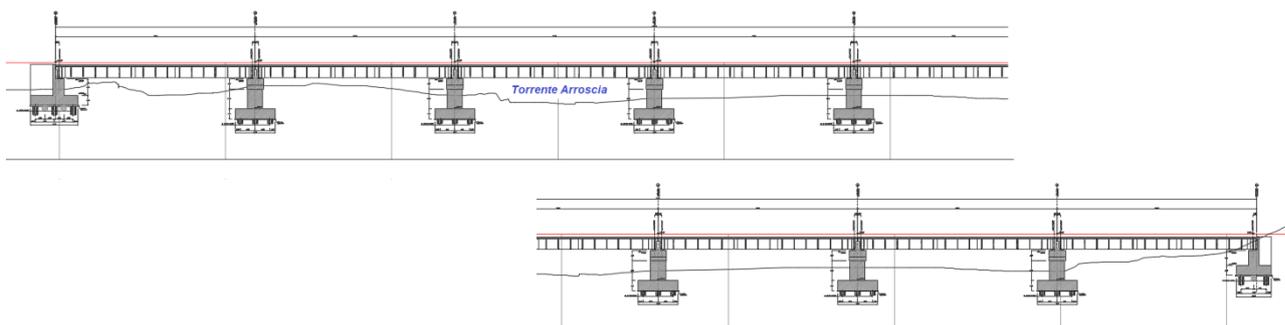


Figura 24: Stralcio del profilo di progetto, nuovo viadotto V107 (Torrente Arroscia).

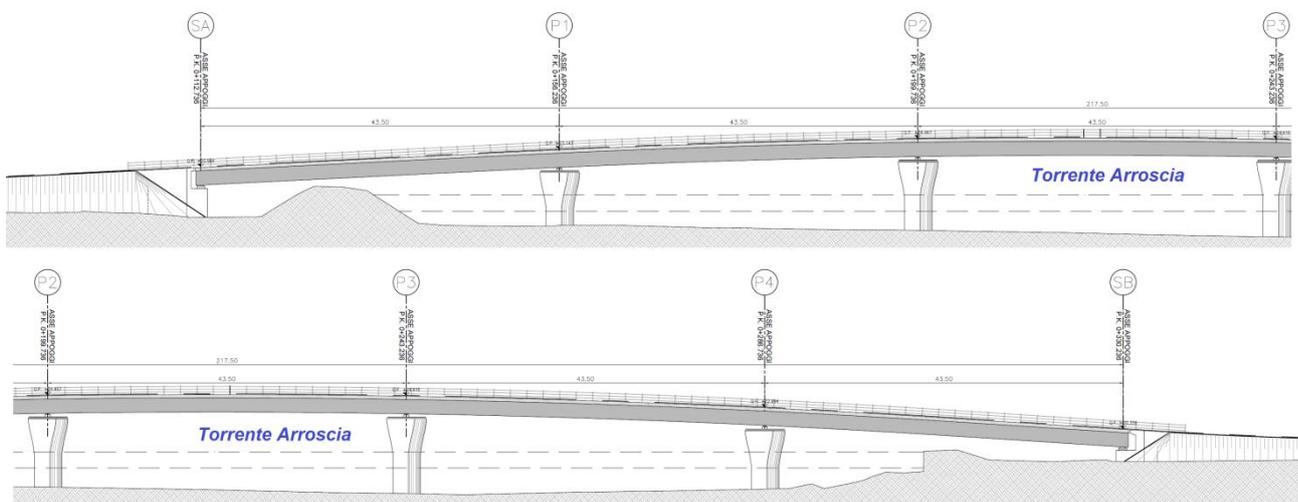


Figura 25: Stralcio del profilo di progetto, nuovo viadotto IVX8 (Torrente Arroscia).

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Implementate le opere in progetto nel modello numerico 2D sviluppato, tramite appositi elementi presenti nel codice di calcolo Hec Ras (bridge/culvert) o modifiche locali del DTM di base, si è proceduto alla simulazione della propagazione delle piene dei Torrenti Neva e Arroscia, per i tre tempi di ritorno di riferimento, nello scenario “*post operam*”.

Nella figura seguente, si riportano i risultati ottenuti, in termini di aree potenzialmente inondabili, per il tempo di ritorno di progetto, $Tr = 200$ anni. Si rimanda comunque agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 2.2.

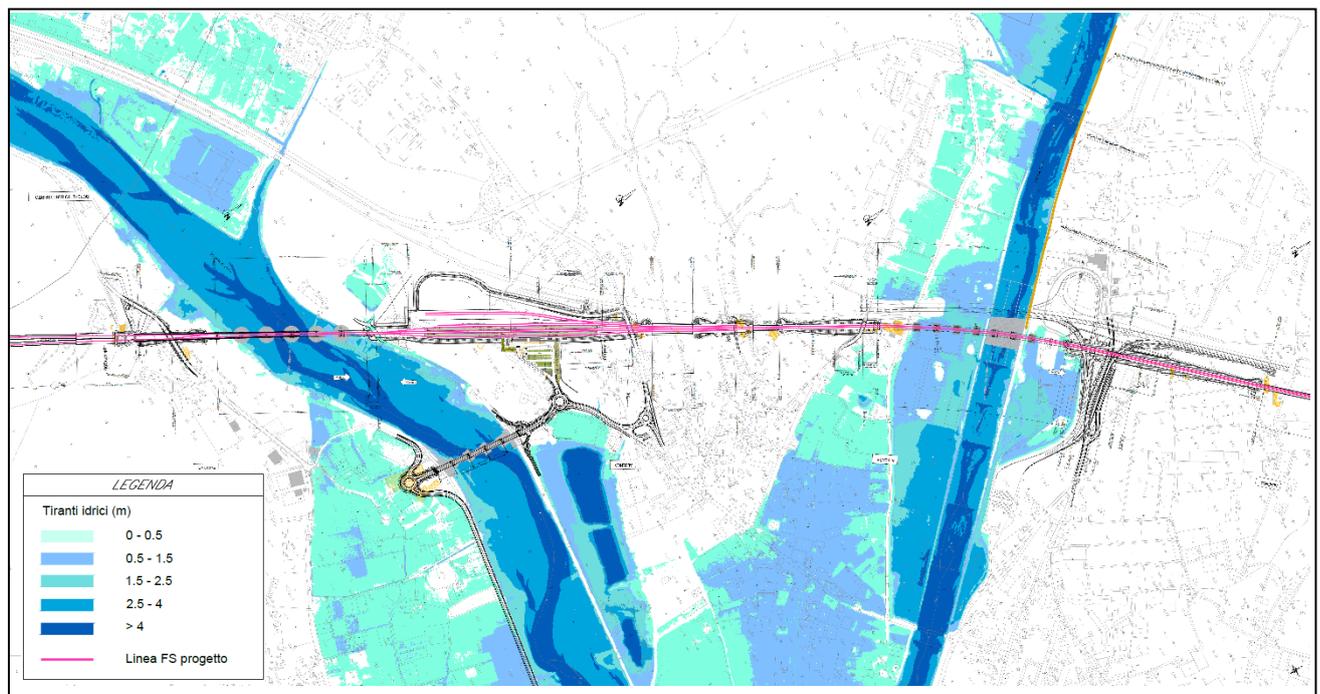


Figura 26: Modello numerico 2D, Torrenti Neva e Arroscia: aree potenzialmente inondabili, post operam, $Tr = 200$ anni.

Nello scenario “*post operam*” vengono limitate le esondazioni in sinistra Neva mediante l’adeguamento del muro esistente in gabbioni a monte dell’attraversamento ferroviario, così da evitare l’allagamento delle viabilità e dei relativi sottopassi annesse allo svincolo autostradale.

Nella tabella seguente sono riportati i livelli idrici ($Tr = 50, 200, 500$ anni), allo stato di progetto, in corrispondenza dei nuovi attraversamenti ferroviari.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Tabella 5: Livelli idrici massimi a monte dei nuovi attraversamenti ferroviari per vari tempi di ritorno (post operam)

| | Livello (m s.l.m.m.) |
|--------------------------|----------------------|
| Torrente Neva | |
| Tr 50 | 18.47 |
| Tr 200 | 19.14 |
| Tr 500 | 19.53 |
| Torrente Arroscia | |
| Tr 50 | 19.00 |
| Tr 200 | 19.46 |
| Tr 500 | 19.75 |

Sulla base dei risultati, in termini di livelli idrici, relativi alla propagazione delle piene con tempo di ritorno di 200 anni, è stata verificata la compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento previste in progetto (nuovi viadotti ferroviari VI06 – T. Neva, VI07 – T. Arroscia, e nuovo viadotto stradale IVX8 – T. Arroscia).

4 VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO

Nelle tabelle seguenti è riportata la verifica del franco idraulico di progetto delle nuove opere di attraversamento: **VI06 (Torrente Neva)**, **VI07 (Torrente Arroscia)** e **IVX8 (Torrente Arroscia)**, eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018, M.d.P. RFI, NTA Pianificazione di Bacino).

Tabella 6 – Viadotto VI06 (Torrente Neva): verifica del franco idraulico di progetto.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico Cinetico Tr200 [m] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica NTC2018; MdP RFI | Verifica NTA-P.A.I. |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| +23.30 | +19.14 | 0.74 | +19.88 | +4.16 (> 1.50 m) | +3.42 (> 0.50 m) | Franco idraulico > 1.5 m → OK Franco sul carico idraulico > 0.5 m → OK | Franco idraulico > max (carico cinetico; 1.5/2.0 m) → OK |

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Tabella 7 – Viadotto VI07 (Torrente Arroscia): verifica del franco idraulico di progetto.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico Cinetico Tr200 [m] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica NTC2018; MdP RFI | Verifica NTA-P.A.I. |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| +21.5 | +19.46 | 0.35 | +19.81 | +2.04 (> 1.50 m) | +1.69 (> 0.50 m) | Franco idraulico > 1.5 m → OK Franco sul carico idraulico > 0.5 m → OK | Franco idraulico > max (carico cinetico; 1.5/2.0 m) → OK |

Tabella 8 – Viadotto IVX8 (Torrente Arroscia): verifica del franco idraulico di progetto.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico Cinetico Tr200 [m] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica NTC2018; MdP RFI | Verifica NTA-P.A.I. |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| +20.0 | +16.79 | 0.92 | +17.71 | +3.21 (> 1.50 m) | +2.29 (> 0.50 m) | Franco idraulico > 1.5 m → OK Franco sul carico idraulico > 0.5 m → OK | Franco idraulico > max (carico cinetico; 1.5/2.0 m) → OK |

È rispettata la prescrizione di distanza minima di 6-7 m tra quota di intradosso e fondo alveo così come indicato nella circolare n.7/2019 delle NTC2018, nel caso di transito di materiale galleggiante/flottante e trasporto solido.

Inoltre, con riferimento al nuovo viadotto IVX8, è rispettato anche almeno un metro di franco tra intradosso e sommità degli argini del Torrente Arroscia.

La scansione scelta per i viadotti in progetto permette di rispettare la prescrizione di distanza minima di 40 metri, in direzione ortogonale alla corrente, tra pile contigue in alveo ovvero interessate dalle a piena di progetto, così come indicato nelle NTC2018 (Cap. 5).

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

5 VERIFICA ALLO SCALZAMENTO

In ragione dei risultati delle simulazioni numeriche idrauliche condotte, si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa, in particolare attorno alle pile dei nuovi viadotti in progetto VI06, VI07 e IVX8, interessate dalle piene dei torrenti *Neva* e *Arroscia*.

Nello specifico, si è fatto riferimento a quanto indicato nelle NTC2018:

“Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $Tr = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente $\Psi 0$ unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all’evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione $\Psi 1$.”

A tal proposito, sono state applicate le seguenti due formulazioni, disponibili nella letteratura tecnica. Come valore di progetto dello scalzamento è stato considerato il valore massimo ottenuto dalle due relazioni.

Formulazione CSU

La profondità di scalzamento attesa può essere stimata come:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2 \cdot K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{a}{Y_1} \right)^{0.65} FR^{0.43}$$

in cui

- K_1, K_2, K_3 sono fattori correttivi legati alla forma delle pile, all’angolo di attacco e alle condizioni del fondo alveo (vedi tabella seguente)
- K_4 è un fattore correttiva legato al materiale di fondo alveo, valutabile come:

$$K_4 = [1 - 0.89(1 - V_r)^{0.053}]^{0.5}$$

dove $V_r = \frac{V_0 - V_i}{V_{c90} - V_i}$, $V_i = 0.645(d_{50}/a)^{0.053} V_{c50}$, $V_{c90} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{90}^{1/3}$, $V_{c50} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{50}^{1/3}$, d_{50}, d_{90} = diametro corrispondente al 50% e al 90 % di passante in peso

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

- Y_s , la profondità di scalzamento;
- Y_l , l'altezza della corrente;
- a , la larghezza della pila;
- FR , il numero di Froude ($FR = V_0/(gh_m)^{1/2}$)

Tabella 9- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K1, K2, K3.

| Correction Factor, K_1 | | Correction Factor, K_2 | | | |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|-------|--------|
| Shape of Pier Nose | K_1 | Angle | L/a=4 | L/a=8 | L/a=12 |
| (a) Square nose | 1.1 | 0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| (b) Round nose | 1.0 | 15 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| (c) Circular cylinder | 1.0 | 30 | 2.0 | 2.75 | 3.5 |
| (d) Group of cylinders | 1.0 | 45 | 2.3 | 3.3 | 4.3 |
| (e) Sharp nose | 0.9 | 90 | 2.5 | 3.9 | 5.0 |

Angle = skew angle of flow
L = length of pier

| Bed Condition | Dune Height ft | K_3 |
|-----------------------------|------------------|------------|
| Clear-Water Scour | N/A | 1.1 |
| Plane bed and Antidune flow | N/A | 1.1 |
| Small Dunes | $10 > H \geq 2$ | 1.1 |
| Medium Dunes | $30 > H \geq 10$ | 1.2 to 1.1 |
| Large Dunes | $H \geq 30$ | 1.3 |

Formulazione di Sheppard – Melville

La profondità di scalzamento attesa può essere valutata come:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c$; $V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

- $$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5y_1}{d_{50} \left[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6 \right]} \right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$$
- $$Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$$
- $y_1 = \text{tirante idrico (m)}$
- $$f_1 = \tanh \left[\left(\frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]; f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}; f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$
- $$a^* = K_s a_p; a_p = a \cdot \cos \theta + L \cdot \sin \theta; K_s = \begin{cases} 1 & \text{(pila circolare)} \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi \theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & \text{(pila rettangolare)} \end{cases}$$

(a = larghezza della pila; L = lunghezza della pila; θ = angolo di attacco [°])

Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (tra cui anche quelle di Melville, Froehlich, Breusers e CSU), la formulazione SM fornisce valori più attendibili (e prossimi a quelli misurati) rispetto alle altre, per i seguenti campi di valori:

$$\frac{V_1}{V_c} = 0.4 \div 7.6 \quad \frac{y_1}{a} = 0.05 \div 10 \quad \frac{a}{d_{50}} = 3.65 \div 65047 \quad FR = 0.03 \div 1.95$$

all'interno dei quali ricadono i valori dei parametri (tirante, velocità, d_{50}, \dots), relativi ai corsi d'acqua oggetto di studio.

In generale, è possibile riscontrare quattro differenti scenari di erosione localizzata:

- CASO I:** la fondazione della pila rimane al di sotto della buca erosiva;

- CASO II: la sommità della fondazione è esposta al flusso della corrente all'interno della buca erosiva;
- CASO III: la sommità della fondazione giace al di sopra del fondo alveo;
- CASO IV: la sommità della fondazione si trova al di sotto o in prossimità del pelo libero.

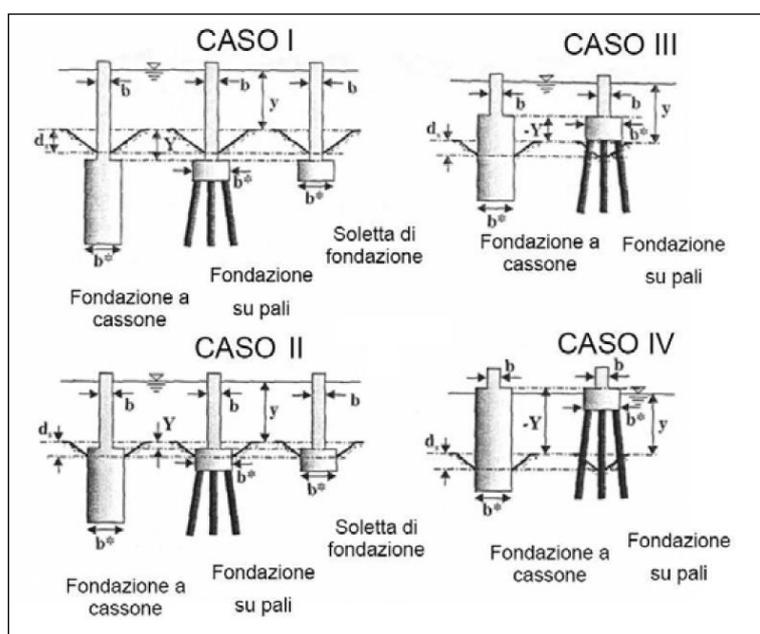


Figura 27 - Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila b in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluenza nel processo erosivo.

Nei CASI II e III invece occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da *Melville e Raudkivi (1996)* che utilizza una larghezza della pila equivalente ben definita come:

$$b_e = b \cdot \left(\frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left(\frac{b^* - Y}{h_0 + b^*} \right)$$

dove h_0 : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo; Y : altezza massima della buca erosiva; b^* : larghezza della fondazione.

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Per quanto riguarda il CASO IV, infine, l'erosione localizzata può essere calcolata utilizzando come larghezza equivalente della pila la larghezza della fondazione b^* dal momento che il fenomeno interessa maggiormente la fondazione stessa.

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alla piena di progetto, $Tr = 200$ anni, e alla piena con $Tr = 1,001$ anni considerando dapprima le dimensioni delle pile.

Per quanto concerne il calcolo dello scalzamento per la piena $Tr = 1,001$ dei due torrenti, si è fatto riferimento ad una simulazione numerica secondo modello numerico monodimensionale HECRAS (in regime di moto permanente), sviluppato appositamente per tale verifica sulla base dei dati topografici/cartografici disponibili e dei parametri di calcolo già adottati nelle simulazioni bidimensionali. Le portate ($Tr = 1,001$) dei due torrenti, determinate sulla base delle informazioni e delle analisi idrologiche condotte, ammontano a 200.2 mc/s (T. Neva) e 485.7 mc/s (T. Arroscia).

Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile sul fondo, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate su campioni prelevati direttamente in alveo; in particolare, per il Torrente Neva (viadotto VI06), il materiale considerato è caratterizzato dalla seguente granulometria: $d_{50} = 4.75$ mm, $d_{90} = 30$ mm. Per il Torrente Arroscia (viadotti VI07, IVX8), il materiale considerato è caratterizzato dalla seguente granulometria: $d_{50} = 4.75$ mm, $d_{90} = 30$ mm (rif. IV0I00D09RGID0002001A).

Nella tabella seguente si riportano i valori di scalzamento attesi per $Tr = 200$ anni e $Tr = 1,001$ anni (i valori dei parametri tirante idrico, h , velocità della corrente, v , e angolo di attacco della corrente, "skew angle" sono dedotti dalle simulazioni numeriche 1D/2D) in corrispondenza delle pile dei viadotti VI06, VI07, IVX8, interessate dalle piene di progetto.

Viadotto VI06 – T. Neva ($Tr = 200$ anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P2 | circolare | 4.5 | 4.5 | 1.5 | 1.2 | 0 | 0.313 | 4.1 | 2.3 | 4.1 |
| P3 | circolare | 4.5 | 4.5 | 4.3 | 3.5 | 0 | 0.539 | 6.3 | 7.3 | 7.3 |
| P4 | circolare | 4.5 | 4.5 | 4.8 | 3.7 | 0 | 0.539 | 6.5 | 7.6 | 7.6 |
| P5 | circolare | 4.5 | 4.5 | 3 | 1.1 | 0 | 0.203 | 4.9 | 1.8 | 4.9 |
| P6 | circolare | 4.5 | 4.5 | 2.3 | 1.3 | 0 | 0.274 | 4.6 | 2.5 | 4.6 |
| P7 | circolare | 4.5 | 4.5 | 2 | 1.1 | 0 | 0.248 | 4.4 | 1.9 | 4.4 |
| P8 | circolare | 4.5 | 4.5 | 1.5 | 0.5 | 0 | 0.130 | 1.2 | 2 | 2 |
| P9 | circolare | 4.5 | 4.5 | 0.5 | 0.1 | 0 | 0.045 | 0.0 | 0.85 | 0.85 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Viadotto VI06 – T. Neva (Tr = 1,001 anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P3 | circolare | 4.5 | 4.5 | 1 | 2 | 0 | 0.639 | 3.9 | 4.1 | 4.1 |
| P4 | circolare | 4.5 | 4.5 | 2.4 | 2 | 0 | 0.412 | 5.0 | 4.3 | 5 |

Viadotto VI07 – T. Arroscia (Tr = 200 anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P1 | circolare | 4.5 | 4.5 | 3 | 3.1 | 45 | 0.571 | 6.0 | 6.4 | 6.4 |
| P2 | circolare | 4.5 | 4.5 | 3 | 3.6 | 45 | 0.664 | 6.1 | 7.1 | 7.1 |
| P3 | circolare | 4.5 | 4.5 | 5 | 3.5 | 45 | 0.500 | 6.8 | 7.3 | 7.3 |
| P4 | circolare | 4.5 | 4.5 | 4.2 | 3.3 | 45 | 0.514 | 6.5 | 6.9 | 6.9 |
| P5 | circolare | 4.5 | 4.5 | 3.1 | 2.5 | 45 | 0.453 | 5.9 | 5.2 | 5.9 |

Viadotto VI07 – T. Arroscia (Tr = 1,001 anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P1 | circolare | 4.5 | 4.5 | 0.1 | 0.65 | 45 | 0.656 | 1.5 | 1 | 1.5 |
| P2 | circolare | 4.5 | 4.5 | 0.1 | 0.56 | 45 | 0.565 | 1.5 | 0.7 | 1.5 |
| P3 | circolare | 4.5 | 4.5 | 2.59 | 2.2 | 45 | 0.436 | 5.1 | 4.7 | 5.1 |
| P4 | circolare | 4.5 | 4.5 | 2.1 | 2.2 | 45 | 0.485 | 4.9 | 4.7 | 4.9 |
| P5 | circolare | 4.5 | 4.5 | 1 | 1.22 | 45 | 0.390 | 3.6 | 2.3 | 3.6 |

Viadotto IVX8 – T. Arroscia (Tr = 200 anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|---------------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P1 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 3.3 | 1.8 | 0 | 0.316 | 3.3 | 1.7 | 3.3 |
| P2 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 5 | 4 | 0 | 0.571 | 3.6 | 4.3 | 4.3 |
| P3 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 6 | 4.1 | 0 | 0.534 | 3.7 | 4.5 | 4.5 |
| P4 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 3 | 2.8 | 0 | 0.516 | 3.3 | 3.1 | 3.3 |

Viadotto IVX8 – T. Arroscia (Tr = 1,001 anni)

| ID PILA | Forma pila | D (m) [pila] | L (m) [pila] | h (m) | v (m/s) | Skew Angle (°) | Fr () | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila |
|---------|---------------------|--------------|--------------|-------|---------|----------------|--------|----------------------------|------------|-------------|
| P1 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 1 | 0.8 | 0 | 0.255 | 2.1 | 0.4 | 2.1 |
| P2 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 2.4 | 1.8 | 0 | 0.371 | 2.9 | 2 | 2.9 |
| P3 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 2.2 | 1.6 | 0 | 0.344 | 2.8 | 1.8 | 2.8 |
| P4 | pseudo-rettangolare | 1.5 | 9.6 | 0.1 | 1 | 0 | 1.010 | 1.1 | 1 | 1.1 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Confrontando i valori di scalzamento atteso con quelli di ricoprimento dei plinti di fondazione (1.5 m per le pile P2-P5 e 1 m per le pile P6-P9 del VI06; 5 m per la pila P1, 4 m per le pile P2-P4, 3 m per le pile P3-P5 del VI07; 1 m per le pile dell'IVX8) si evince che in corrispondenza delle pile dei viadotti in progetto (eccetto per la pila P9 del VI06 – per *Tr*200, e le pile P1, P2 del VI07 – per *Tr*1,001) i fenomeni di erosione (innescati dalle piene *Tr*=200 e 1,001 anni dei torrenti Neva e Arroscia) possono interessare anche le fondazioni (scalzamento atteso maggiore del ricoprimento).

Pertanto, il calcolo dello scalzamento è stato ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema “*pila – plinto*”, valutate con la formulazione proposta da Melville e Raudkivi (1996), precedentemente introdotta (si prevede la realizzazione di fondazioni, rettangolari, “*plinto su pali*” per i viadotti VI06 e IVX8, mentre “*a pozzo circolari*” per il viadotto VI07; nei calcoli è stato considerato anche l’ingombro delle opere provvisionali, paratie di pali, che saranno “scapitozzate” fino all’estradosso dei plinti di fondazione). Di seguito, i valori definitivi di scalzamento per le pile dei nuovi viadotti VI06, VI07 e IVX8, da considerare nel dimensionamento delle relative fondazioni.

Viadotto VI06 – T. Neva (*Tr* = 200 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P2 | 12.0 | 16.5 | 10.33 | 14.50 | 6.7 | 5.2 | 6.70 |
| P3 | 14.6 | 19.1 | 10.81 | 14.67 | 12.6 | 14.1 | 14.10 |
| P4 | 14.6 | 19.1 | 10.80 | 14.64 | 13.2 | 14.8 | 14.80 |
| P5 | 12.0 | 16.5 | 9.75 | 13.73 | 8.0 | 3.5 | 8.00 |
| P6 | 12.0 | 16.5 | 10.27 | 14.39 | 7.8 | 4.8 | 7.80 |
| P7 | 12.0 | 16.5 | 10.39 | 14.55 | 7.3 | 3.8 | 7.30 |
| P8 | 12.0 | 16.5 | 10.61 | 14.83 | 1.9 | 3.8 | 3.80 |
| P9 | 12.0 | 16.5 | - | - | - | - | 0.85 |

Viadotto VI06 – T. Neva (*Tr* = 1,001 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P3 | 14.6 | 19.1 | 12.14 | 16.34 | 7.2 | 8.7 | 8.70 |
| P4 | 14.6 | 19.1 | 11.69 | 15.77 | 9.3 | 8.9 | 9.30 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Viadotto VI07 – T. Arroscia (Tr = 200 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P1 | 19.00 | 19.00 | 13.73 | 13.73 | 11.3 | 13.2 | 13.20 |
| P2 | 19.00 | 19.00 | 14.39 | 14.39 | 12.1 | 15.1 | 15.10 |
| P3 | 19.00 | 19.00 | 14.17 | 14.17 | 13.7 | 15.4 | 15.40 |
| P4 | 19.00 | 19.00 | 13.88 | 13.88 | 12.7 | 14.3 | 14.30 |
| P5 | 19.00 | 19.00 | 15.00 | 15.00 | 11.4 | 11.5 | 11.50 |

Viadotto VI07 – T. Arroscia (Tr = 1,001 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P1 | 19.00 | 19.00 | - | - | - | - | 1.50 |
| P2 | 19.00 | 19.00 | - | - | - | - | 1.50 |
| P3 | 19.00 | 19.00 | 15.25 | 15.25 | 10.1 | 10.6 | 10.60 |
| P4 | 19.00 | 19.00 | 14.81 | 14.81 | 9.3 | 10.2 | 10.20 |
| P5 | 19.00 | 19.00 | 16.10 | 16.10 | 6.3 | 5.3 | 6.30 |

Viadotto IVX8 – T. Arroscia (Tr = 200 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P1 | 7.00 | 16.00 | 4.70 | 14.57 | 6.6 | 4.3 | 6.60 |
| P2 | 7.00 | 16.00 | 4.25 | 14.17 | 7.5 | 8.6 | 8.60 |
| P3 | 7.00 | 16.00 | 4.04 | 13.96 | 7.5 | 8.6 | 8.60 |
| P4 | 7.00 | 16.00 | 4.80 | 14.65 | 6.6 | 6.9 | 6.90 |

Viadotto IVX8 – T. Arroscia (Tr = 1,001 anni)

| ID PILA | B (m) [plinto] | L (m) [plinto] | Deq (m) | Leq (m) | Ys (m) Sheppard & Melville | Ys (m) CSU | Ys (m) Pila-Plinto |
|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| P1 | 7.00 | 16.00 | 5.63 | 15.25 | 4.0 | 1.3 | 4.00 |
| P2 | 7.00 | 16.00 | 5.01 | 14.82 | 5.8 | 4.5 | 5.80 |
| P3 | 7.00 | 16.00 | 5.09 | 14.87 | 5.6 | 4.0 | 5.60 |
| P4 | 7.00 | 16.00 | 6.15 | 15.56 | 2.0 | 2.5 | 2.50 |

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

6 OPERE DI SISTEMAZIONE/PROTEZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di sistemazione/protezione idraulica attorno alle pile dei viadotti VI06, VI07, IVX8 interessate dalle piene dei torrenti Neva e Arroscia.

Nello specifico, attorno alle pile in alveo si prevede la posa in opera di massi legati con funi di acciaio; sul Torrente Arroscia, in corrispondenza dell'IVX8, si prevede anche la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati (pendenza 2/3).

Per il dimensionamento dei massi di protezione attorno alle pile in alveo, si è fatto riferimento alla seguente formulazione (FHWA, 2009), che consente di tenere conto (tramite opportuni coefficienti correttivi) anche di eventuali vortici che possono generarsi, localmente, attorno agli “ostacoli” (rappresentati dalle pile stesse) presenti in alveo:

$$d_{50} = \frac{0.692 \cdot (V_{des})^2}{(S_g - 1)2g} (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi (m); V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s); S_g = peso specifico dei massi (t/m^3). La velocità di progetto deve rappresentare le condizioni nelle immediate vicinanze delle pile. Qualora si dovesse adottare un valore medio di velocità, questo deve essere opportunamente moltiplicato per i fattori che sono funzione della forma della pila e della sua posizione rispetto all'alveo:

$$V_{des} = K_1 K_2 V_{avg}$$

Se si dispone di una distribuzione di velocità risultante da modello fisico o da calcolo idraulico 1D o 2D, allora si può utilizzare solamente il coefficiente della forma della pila. Sarebbe opportuno considerare il valore massimo della velocità nell'alveo attivo V_{max} , dal momento che l'alveo stesso può spostarsi nel tempo e la massima velocità impatterebbe le pile:

$$V_{des} = K_1 V_{max}$$

in cui V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s); K_1 = fattore di forma pari a 1,5 per pile circolari “round-nose” o 1,7 per pile a spigoli vivi; K_2 = fattore di correzione della velocità per l'ubicazione nell'alveo (varia da 0,9 per pile vicino alle sponde in alveo rettilineo, fino a 1,7 per pile immerse nel filone principale della corrente); V_{avg} = velocità media nell'alveo in corrispondenza del ponte (m/s); V_{max} = velocità massima nell'alveo attivo (m/s).

| | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento anche dei massi di protezione spondale, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente. A tal fine, si è fatto riferimento invece alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (**)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio): *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162; tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m; velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s; portate: 35 ÷ 2200 mc/s; d50: 0.15 ÷ 0.70 m.*

Considerando per le pile in alveo del **VI06** i parametri (formulazione ^(*)): $V_{max} = 4.0$ m/s (per $Tr = 200$ anni), $S_g = 2.6$ t/m³; $K_1 = 1.5$, si ottiene un diametro medio dei massi pari a **$d_{50} = 0.80$ m**. A vantaggio di sicurezza, se ne prevede anche la legatura con funi di acciaio. Considerando invece per le rimanenti pile i parametri (formulazione ^(*)): $V_{avg} = 1.5$ m/s (per $Tr = 200$ anni), $S_g = 2.6$ t/m³; $K_1 = 1.5$, $K_2 = 1.7$, si ottiene un diametro medio dei massi pari a **$d_{50} = 0.30$ m**.

Considerando per le pile in alveo del **VI07** i parametri (formulazione ^(*)): $V_{max} = 4.0$ m/s (per $Tr = 200$ anni), $S_g = 2.6$ t/m³; $K_1 = 1.5$, si ottiene un diametro medio dei massi pari a **$d_{50} = 0.80$ m**. A vantaggio di sicurezza, se ne prevede anche la legatura con funi di acciaio.

Considerando per le pile in alveo del viadotto **IVX8** i parametri (formulazione ^(*)): $V_{max} = 4.5$ m/s (per $Tr = 200$ anni), $S_g = 2.6$ t/m³; $K_1 = 1.5$, si ottiene un diametro medio dei massi pari a **$d_{50} = 1.0$ m**. A vantaggio di sicurezza, se ne prevede anche la legatura con funi di acciaio.

Con riferimento ai rivestimenti spondali (massi cementati) previsti sul Torrente Arroscia (in corrispondenza dell'IVX8), applicando la formulazione (**) considerando i parametri: velocità media = 1.8 m/s ($Tr = 200$ anni); tirante = 2 m; $SF = 2$; sponde = 2/3, $\phi = 50^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: **$d_{50} = 0.30$ m**.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi (IV0I00D09PZID0002002; IV0I00D09PZID0002006).

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

7 VERIFICA DELLE FASI DI REALIZZAZIONE DI OPERE IN ALVEO

Durante la costruzione delle opere di attraversamento dei Torrenti Neva e Arroscia, nello specifico dei nuovi viadotti VI06 (Torrente Neva), VI07 (Torrente Arroscia) e IVX8 (Torrente Arroscia) con pile di scavalco dell'alveo inciso in prossimità delle sponde (la cui costruzione richiede la realizzazione di rilevati provvisori in alveo), cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione della portata di riferimento per il dimensionamento delle eventuali opere provvisorie del periodo transitorio, di costruzione.

Nel caso specifico, per la scelta della portata da utilizzare nella verifica della configurazione di cantiere, si è fatto riferimento ai dati di portata e alle curve di durata delle portate dei torrenti Neva e Arroscia, relative alle stazioni idrometriche di Cisano sul T. Neva e di Pogli d'Ortovero sul T. Arroscia, ubicate poco a monte delle sezioni di attraversamento in progetto, reperite negli Annali Idrologici della Regione Liguria. Nella figura seguente sono mostrate le curve di durate delle portate dei due torrenti, più "gravose", registrate nel periodo 1924-2004.

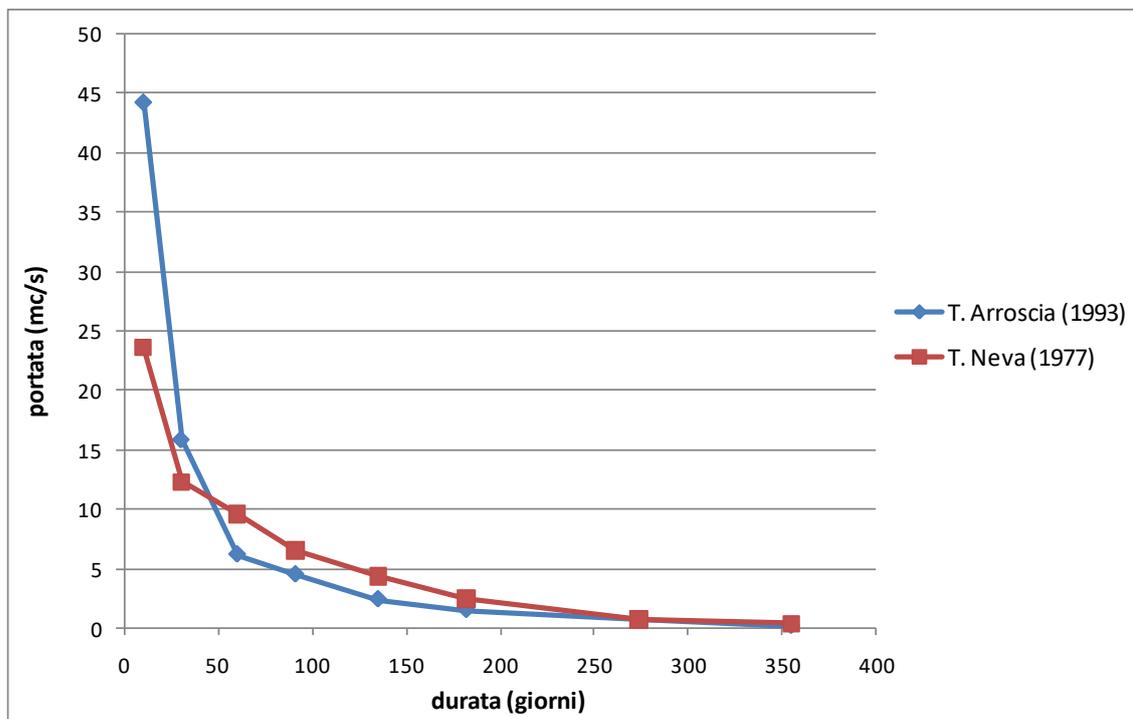


Figura 28: Torrenti Neva e Arroscia: curve di durata delle portate

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 59 di 73 |

In relazione alle lavorazioni che verranno effettuate in alveo e alla loro durata, si è deciso di fare riferimento alla portata corrispondente a 10 giorni, cioè si è ipotizzato che la portata del corso d'acqua che transita in sicurezza nella configurazione di cantiere sia pari o inferiore a quella presente per 355 giorni all'anno nel tratto fluviale di interesse, ovvero si ammette una possibile interruzione dei lavori durante l'anno di almeno 10 giorni. Tale valore di portata si attesta a **44.33 m³/s** (dalla curva di durata delle portate relativa all'anno 1993) per il T. Arroscia e a **23.6 m³/s** (dalla curva di durata delle portate relativa all'anno 1977) per il T. Neva. Inoltre, in ragione dei modesti valori di portata deducibili dalle curve di durata, si è deciso di fare riferimento anche ai valori di portata media giornaliera massima registrati nel periodo 1924-2004, che nello specifico si attestano a **268 mc/s** per il T. Arroscia e **160 mc/s** per il T. Neva.

Si è proceduto quindi alla verifica idraulica della fase transitoria di cantiere (per entrambi i valori di portata, ovvero dedotti dalle curve di durate e medie giornaliere massime), eseguita utilizzando il modello bidimensionale 2D descritto in precedenza, considerando la portata costante, in entrambi i Torrenti Neva e Arroscia, e adottando le medesime impostazioni riguardanti scabrezze, regime della corrente, condizioni al contorno.

Viadotto VI06 – Torrente Neva

Per la realizzazione delle due pile in alveo si prevedono le seguenti due fasi:

Fase 1 – realizzazione della pila P3

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in sinistra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro
- realizzazione delle opere provvisorie (paratia di pali)
- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione della pila
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

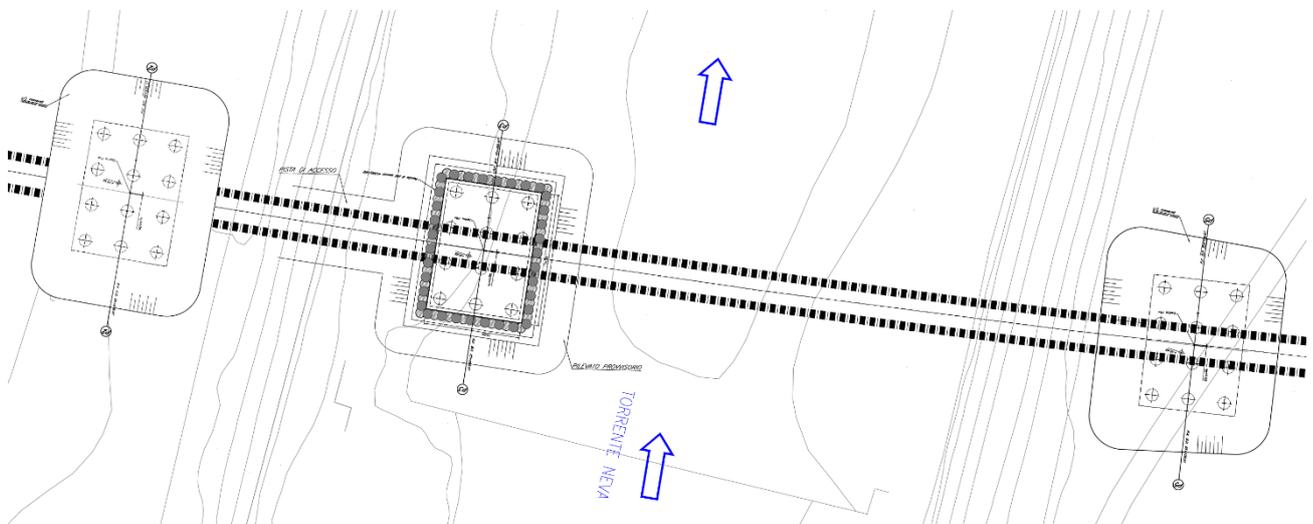


Figura 29: Torrente Neva, realizzazione pile in alveo: fase 1.

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere. Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 1.

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +16.10 m slm con riferimento alla portata di 160 mc/s e a +15.00 m slm con riferimento alla portata di 23.6 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a +16.51 m slm.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV01 | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 61 di 73 |

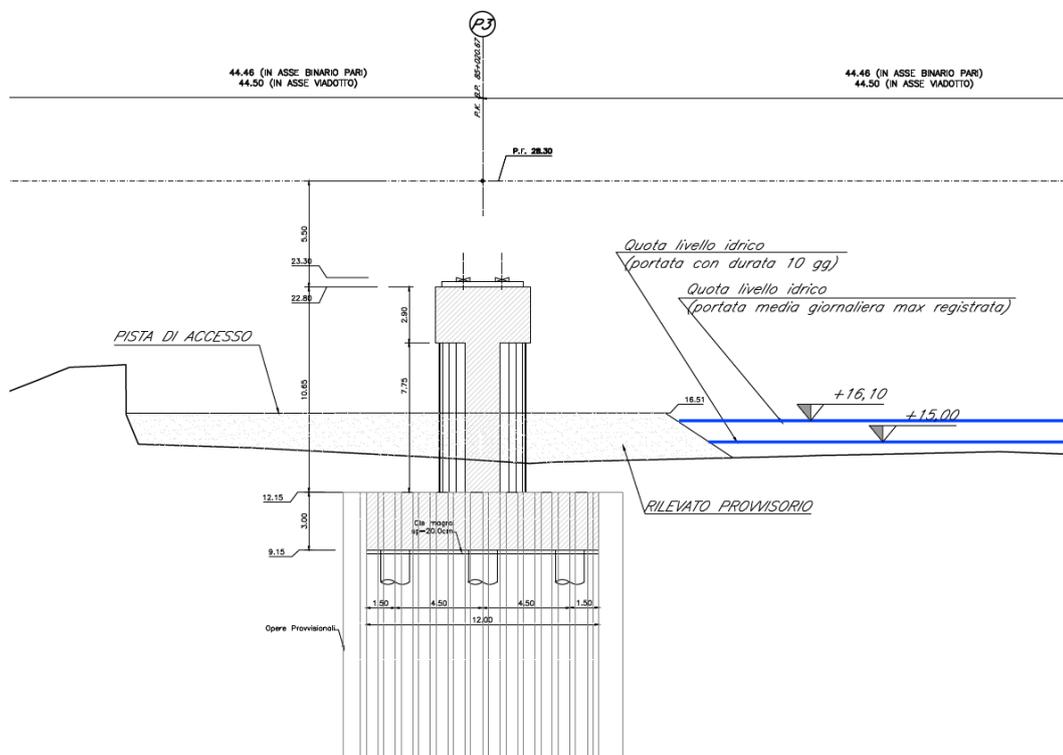


Figura 30: Livelli idrici Fase 1 - VI06

Fase 2 – realizzazione della pila P4

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in destra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro
- realizzazione delle opere provvisorie (paratia di pali)
- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione della pila
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)
- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

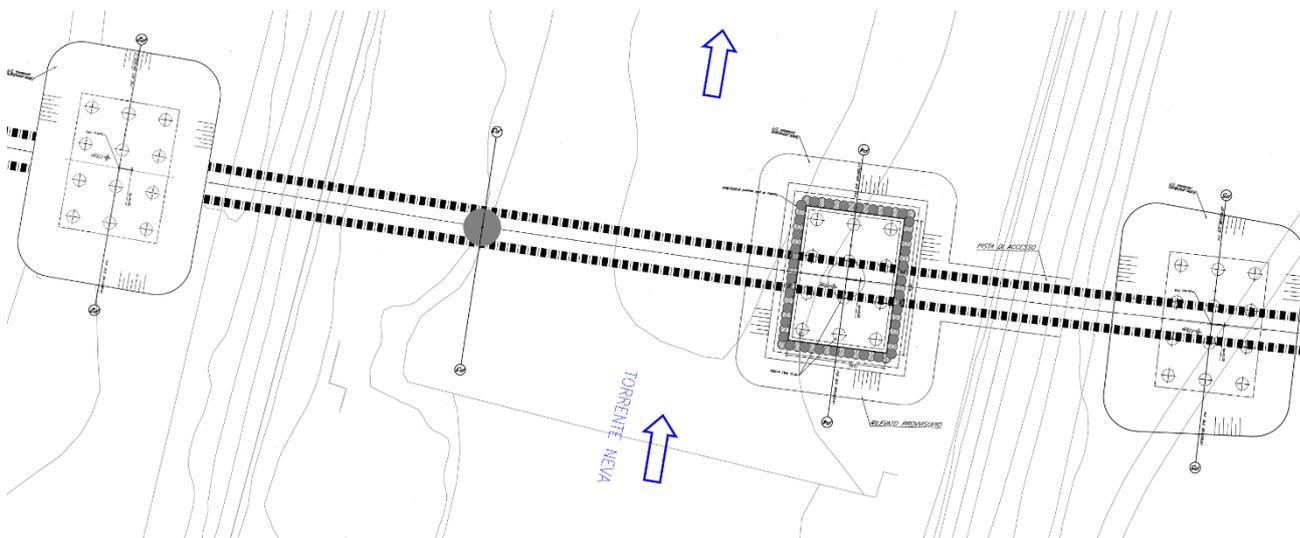


Figura 31: Torrente Neva, realizzazione pile in alveo: fase 2.

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere. Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 2.

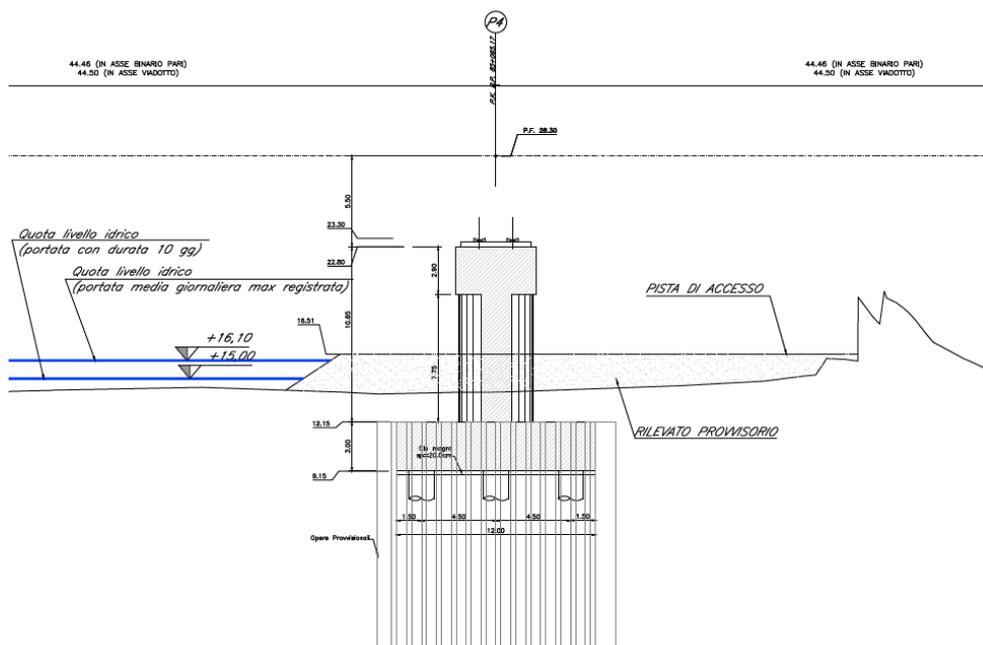


Figura 32: Livelli idrici Fase 2 – VI06

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 63 di 73 |

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +16.10 m slm con riferimento alla portata di 160 mc/s e a +15.00 m slm con riferimento alla portata di 23.6 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a +16.51 m slm.

L'esecuzione delle fasi sopra individuate potrà avvenire anche secondo una sequenza temporale differente, purché non vengano effettuate contemporaneamente.

Viadotto VI07 – Torrente Arroscia

Per la realizzazione della spalla e delle pile in alveo si prevedono le seguenti due fasi:

Fase 1 – realizzazione della spalla A e delle pile P1, P2 e P3

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in sinistra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro con inserimento di 8 tubi ARMCO circolari di diametro 2 m per contenere l'aumento dei livelli idrici
- realizzazione delle opere provvisionali (paratia di pali)
- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione della spalla e delle pile
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)
- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

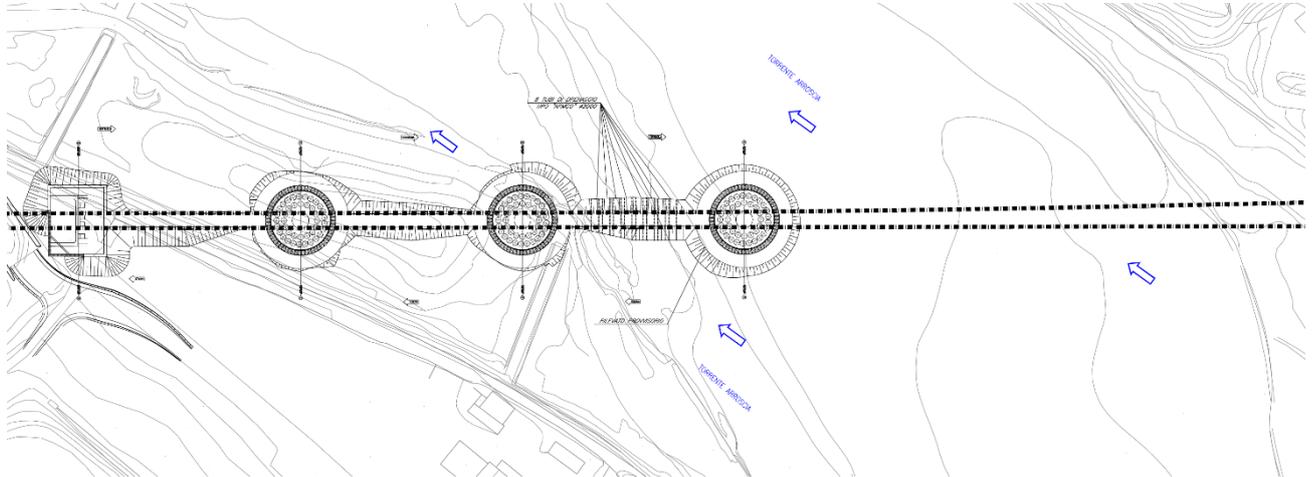


Figura 33: Torrente Arroscia, VI07, realizzazione pile in alveo: fase 1.

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere. Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 1.

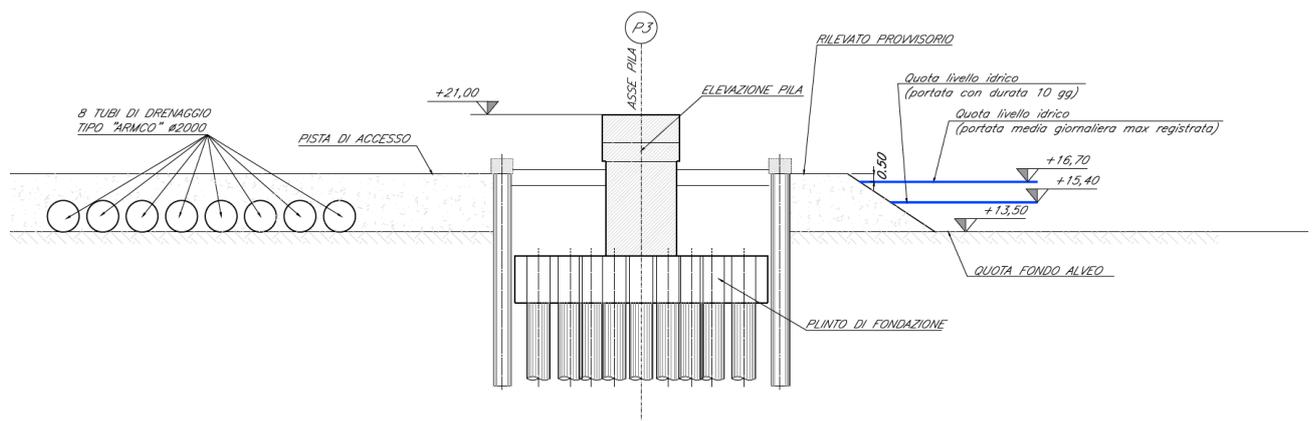


Figura 34: Livelli idrici Fase 1 - VI07

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +16.70 m slm con riferimento alla portata di 268 mc/s e a +15.40 m slm con riferimento alla portata di 44.33 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a 50 cm sopra il livello massimo.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

Fase 2 – realizzazione delle pile P4 e P5

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in destra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro con inserimento di 9 tubi ARMCO circolari di diametro 2 m per contenere i livelli idrici
- realizzazione delle opere provvisorie (paratia di pali)
- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione delle pile
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)
- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

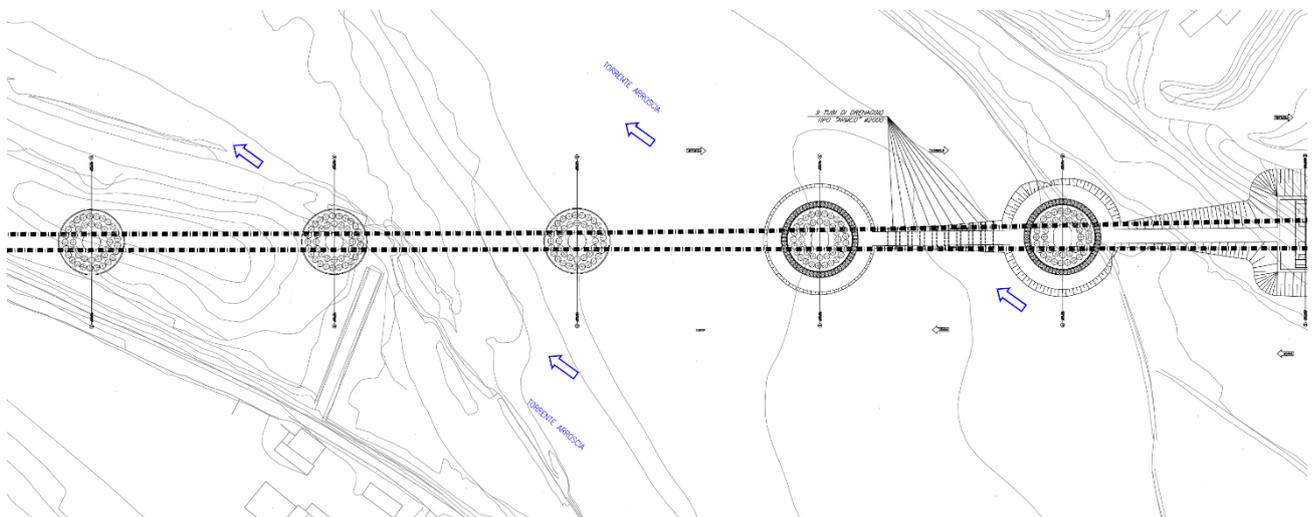


Figura 35: Torrente Arroscia, VI07, realizzazione pile in alveo: fase 2

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere. Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 2.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

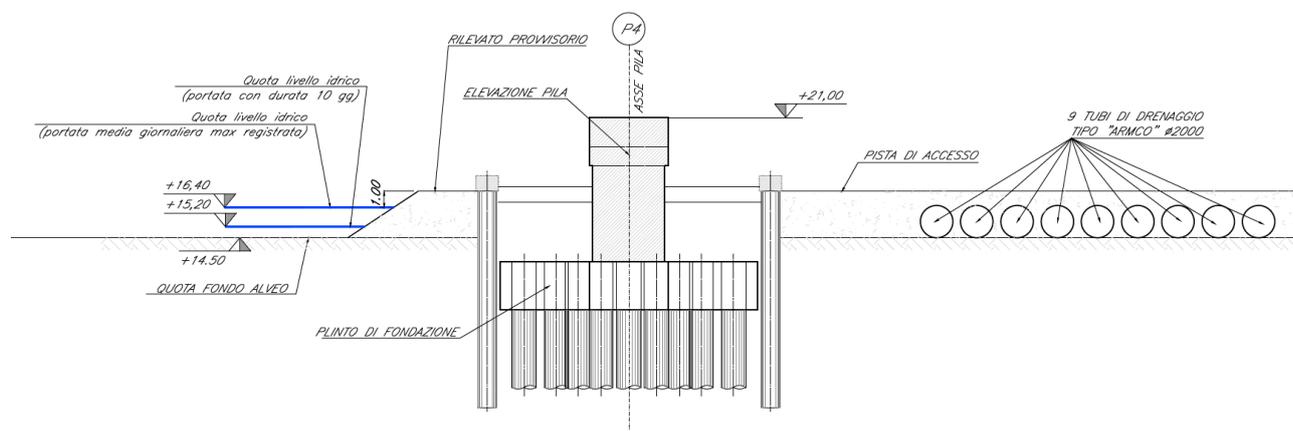


Figura 36: Livelli idrici Fase 1 - VI07

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +16.40 m slm con riferimento alla portata di 268 mc/s e a +15.20 m slm con riferimento alla portata di 44.33 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a 1 m sopra il livello massimo.

L'esecuzione delle fasi sopra individuate potrà avvenire anche secondo una sequenza temporale differente, purché non vengano effettuate contemporaneamente.

Viadotto IVX8 – Torrente Arroscia

Per la realizzazione delle pile in alveo si prevedono le seguenti due fasi:

Fase 1 – realizzazione delle pile P1 e P2

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in sinistra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro con inserimento di 5 tubi ARMCO circolari di diametro 2 m per contenere i livelli idrici
- realizzazione delle opere provvisionali (paratia di pali)

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione delle pile
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)
- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

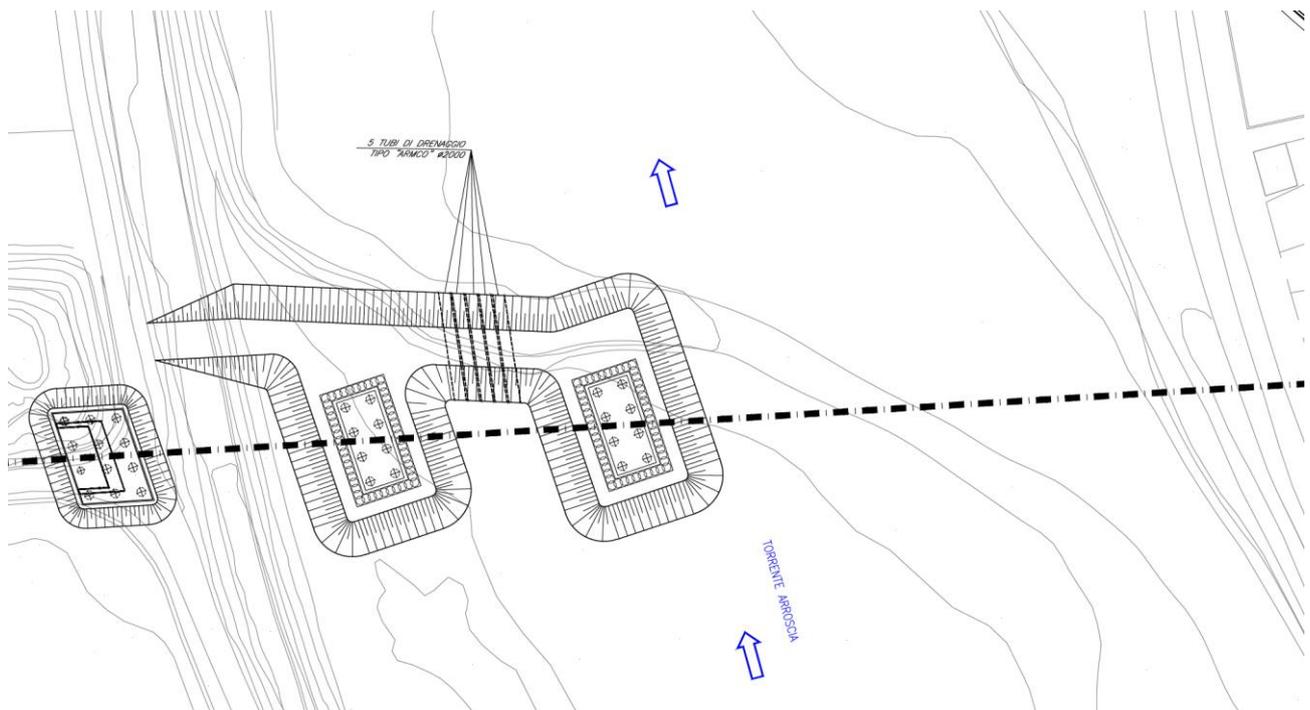


Figura 37: Torrente Arroscia, IVX8, realizzazione pile in alveo: fase 1

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere. Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 1.

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

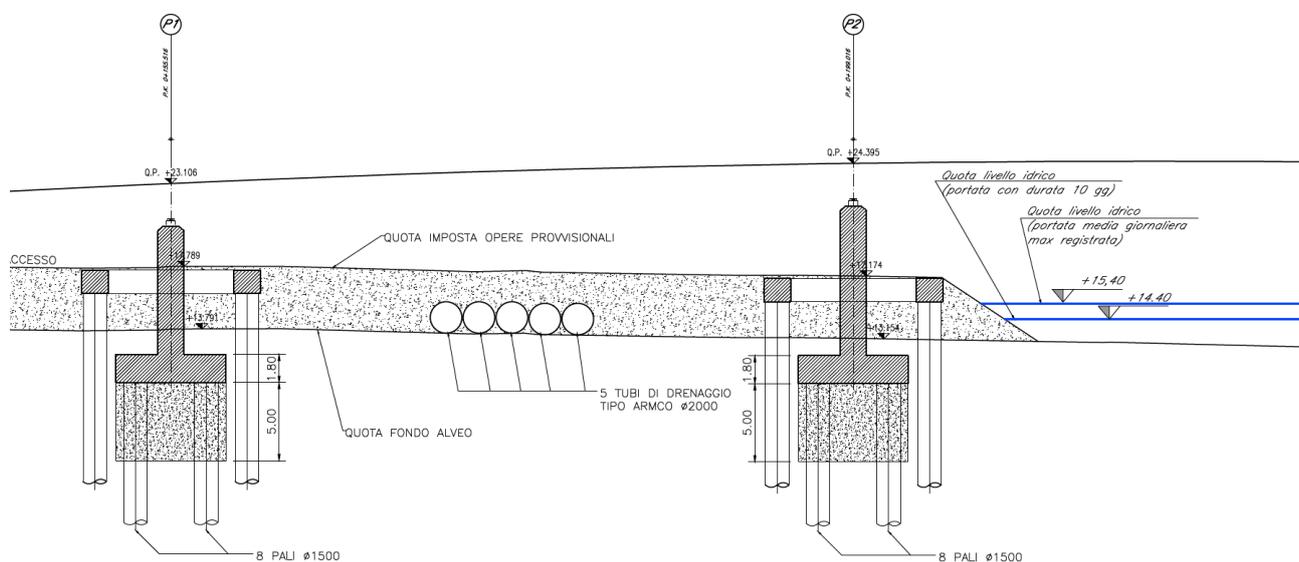


Figura 38: Livelli idrici Fase 1 – IVX8

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +15.40 m slm con riferimento alla portata di 268 mc/s e a +14.40 m slm con riferimento alla portata di 44.33 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a +17.17 m slm.

Fase 2 – realizzazione delle pile P3 e P4

- costruzione del rilevato provvisorio sulla sponda in destra idraulica per la realizzazione del piano di lavoro con inserimento di 6 tubi ARMCO circolari di diametro 2 m per contenere i livelli idrici
- realizzazione delle opere provvisorie (paratia di pali)
- costruzione dell'opera di fondazione
- costruzione della pila
- rimozione delle opere provvisorie (rilevato in alveo e paratia di pali)

| | | | | | | |
|--|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 69 di 73 |

- posa in opera degli interventi di sistemazione/protezione idraulica previsti attorno alla pila/plinto di fondazione

Nella figura seguente, si riporta una schematizzazione grafica della fase sopra descritta.

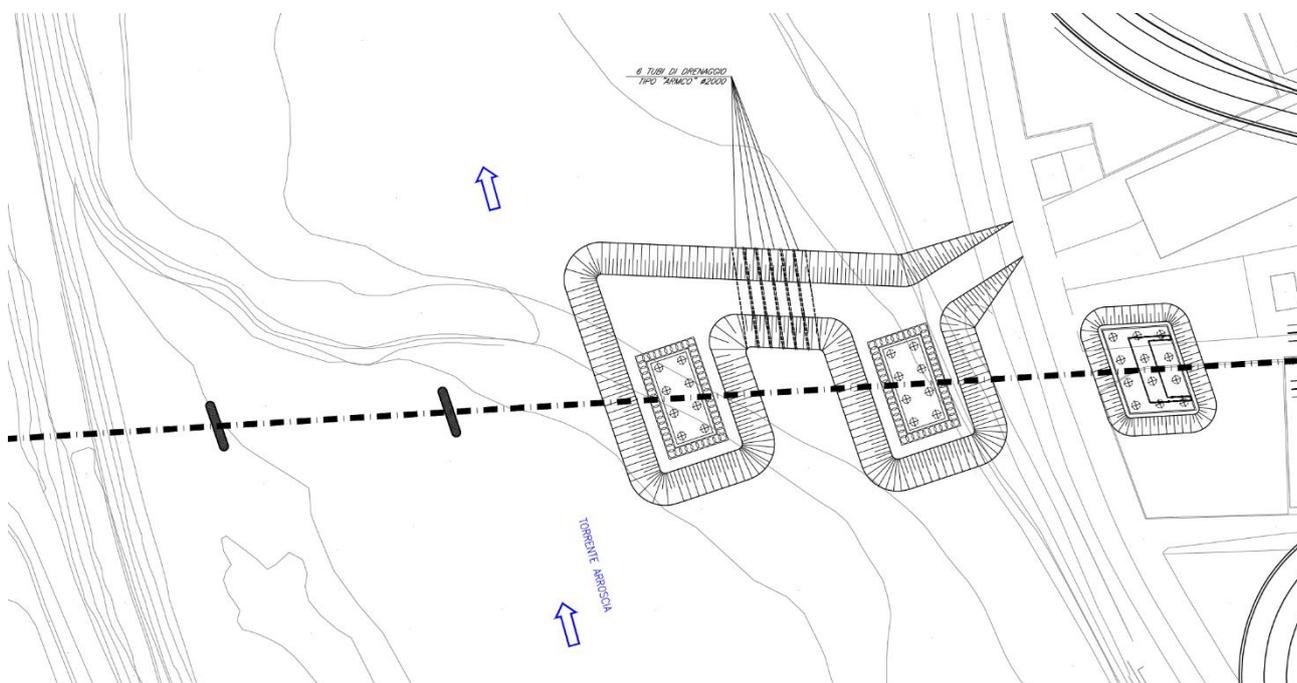


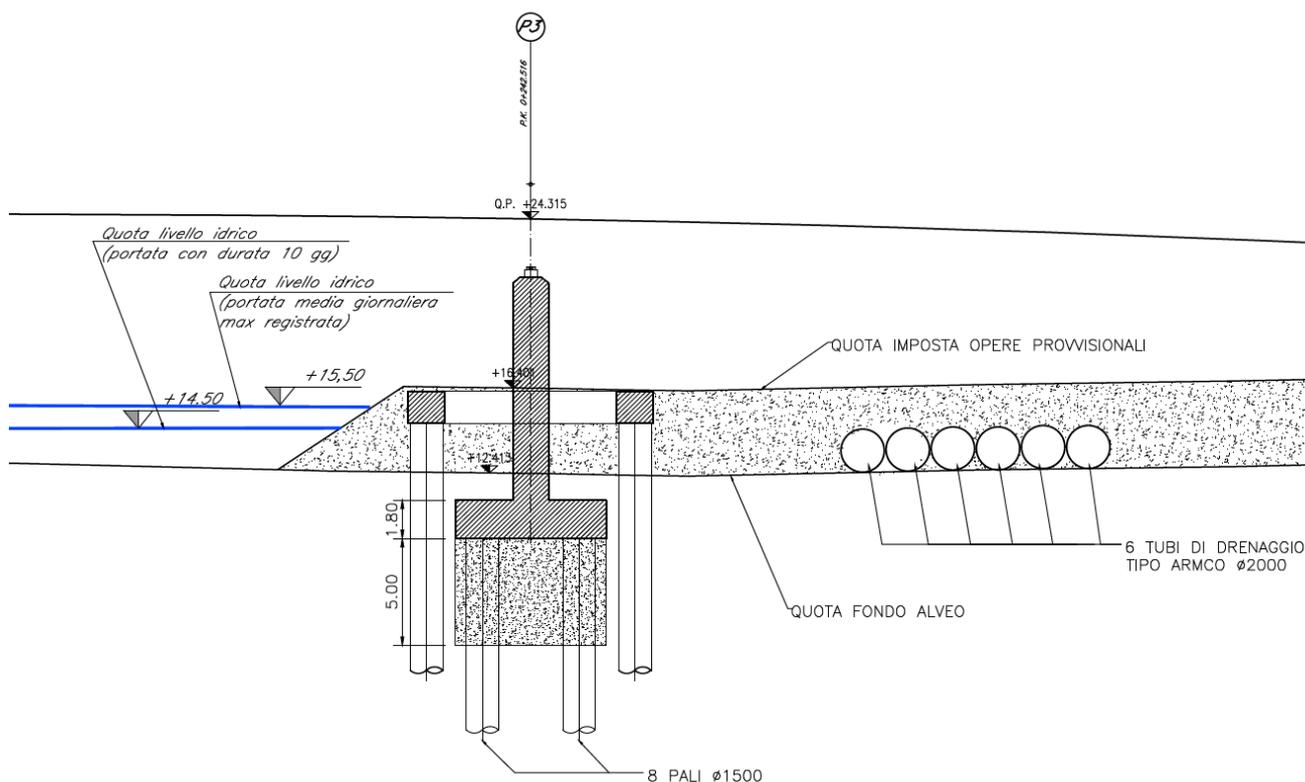
Figura 39: Torrente Arroscia, IVX8, realizzazione pile in alveo: fase 2

Il rilevato provvisorio in corrispondenza della sponda sinistra è stato simulato nel modello 2D HEC RAS modificando il DTM del terreno per inserire l'opera di cantiere.

Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alla fase 2.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia**

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| IV0I | 00 | D 09 RI | ID 0002 003 | C | 70 di 73 |


Figura 40: Livelli idrici Fase 2 – IVX8

Il livello idrico massimo a monte dell'opera si attesta a +15.50 m slm con riferimento alla portata di 268 mc/s e a +14.50 m slm con riferimento alla portata di 44.33 mc/s; la sommità del rilevato provvisorio sulla sponda sinistra si attesta a +16.40 m slm.

L'esecuzione delle fasi sopra individuate potrà avvenire anche secondo una sequenza temporale differente, purché non vengano effettuate contemporaneamente.

Infine, in generale, l'esecuzione delle attività lavorative dovrà avvenire durante il periodo estivo o comunque nei periodi di magra dei torrenti Neva e Arroscia. Dovrà essere inoltre predisposto un sistema di allerta/allarme, sotto il coordinamento della Protezione Civile, per la necessaria interruzione preventiva delle lavorazioni, in caso di piena del corso d'acqua (rif. IV0I00D09PZID0002009-10).

| | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C |

8 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0100D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alla portata di progetto del T. Neva, ad oggi stimata per il $Tr = 200$ anni in 1440 mc/s, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 pari a 1625 mc/s circa, che è prossimo ma inferiore alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (i.e. 1770 mc/s). Applicando tali incrementi invece alla portata di progetto del T. Arroscia, ad oggi stimata per il $Tr = 200$ anni in 2149 mc/s, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 pari a 2426 mc/s circa, che corrisponderebbe alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (i.e. 2424 mc/s).

Di seguito, si riportano i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di riferimento al 2090), in corrispondenza dei viadotti VI06 in progetto sul T. Neva e VI07 e IVX8 sul T. Arroscia, sopra analizzati.

| | Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr 500 [m slm] | Franco sul livello idrico Tr 500 [m] |
|-----------------------|---|--|---|
| VI06 (T. Neva) | +23.30 | +19.53 | +3.77 |
| VI07 (T. Arroscia) | +21.5 | +19.75 | +1.75 |
| IVX8 (T. Arroscia) | +20.0 | +17.06 | +2.94 |

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici, anche con un franco superiore a quello minimo (1.5 m), previsto dalle NTC 2018.

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 72 di 73 |

9 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

La modellazione numerica dei torrenti Neva e Arroscia elaborata nell'ambito del presente studio ha permesso di fornire una valutazione dell'interferenza delle opere di attraversamento in progetto con i corsi d'acqua suddetti, interessati da nuove opere civili nell'ambito della progettazione definitiva del "Raddoppio della Linea ferroviaria Genova-Ventimiglia, Tratta Finale Ligure - Andora".

Le verifiche idrauliche sono state condotte sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione numerica del tratto fluviale interessato dagli interventi. Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS e sono state condotte sulla base delle portate di riferimento relative ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

La configurazione di progetto è costituita dai due viadotti ferroviari VI06 (T. Neva) e VI07 (T. Arroscia), e dal viadotto stradale IVX8 (T. Arroscia), nonché dalla realizzazione delle opere connesse alla realizzazione della nuova stazione ferroviaria di Albenga oltre che dalle opere di sistemazione/protezione idraulica in alveo, in corrispondenza dei nuovi viadotti.

Dai risultati della modellazione bidimensionale (dello stato "post operam") emerge come gli interventi in progetto non alterino le attuali condizioni di deflusso, a parte la riduzione di esondazione in sinistra del Torrente Neva in seguito all'adeguamento del muro esistente in gabbioni a monte dell'attraversamento ferroviario.

La verifica idraulica delle nuove opere di attraversamento ha evidenziato come la portata di piena di progetto, con tempo di ritorno pari a 200 anni, riesce a transitare in sicurezza al di sotto dei ponti/viadotti in progetto, con franchi idraulici superiori ai valori minimi stabiliti nelle normative vigenti. Con riferimento alla pianificazione di bacino vigente, per i corsi d'acqua in esame l'Autorità di Bacino prevede, nella zona di studio, la fascia di inondabilità denominata A (aree perifluviali, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni). Nel testo integrato della normativa-tipo dei piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico ex all. 2 DGR 357/01 e ss.mm all'Art. 15 "Fasce di inondabilità" è riportato:

"Nella fascia A...omissis...sono consentiti:...omissis..."

c) la realizzazione di nuove infrastrutture non inquadrabili tra le opere di attraversamento, fatti salvi gli interventi necessari ai fini della tutela della pubblica incolumità e quelli relativi a nuove infrastrutture

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA | | | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale dei torrenti Neva e Arroscia | COMMESSA IV01 | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 0002 003 | REV. C | FOGLIO 73 di 73 |

pubbliche connesse alla mobilità, previo parere favorevole della Provincia, purchè progettate sulla base di uno specifico studio di Compatibilità idraulica, non aumentino le condizioni di Rischio e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui al presente Piano e ai piani comunali di protezione civile ...omissis...” Dopo l’intervento sull’alveo previsto in questo progetto, la fascia di inondabilità per le nuove strutture progettate si riduce da fascia A a fascia C (aree perifluviali esterne alle precedenti A e B, inondabili al verificarsi dell’evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $Tr=500$ anni), per la quale al punto 4 del succitato Art. 15 è riportato: “Nella fascia C è consentito ogni tipo di intervento purchè realizzato con tipologie costruttive finalizzate alla riduzione della vulnerabilità delle opere e, quindi, del rischio per la pubblica incolumità...omissis...”

Riassumendo, gli interventi previsti:

- comprendono infrastrutture pubbliche a servizio della mobilità;
- non aumentano le condizioni di rischio, in quanto i nuovi attraversamenti VI06, VI07 e IVX8 sui torrenti Neva e Arroscia e le altre opere connesse alla realizzazione della nuova stazione di Albenga non alterano le attuali condizioni di deflusso;
- in corrispondenza degli attraversamenti progettati i franchi idraulici risultano soddisfatti;
- non modificano le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio.

Pertanto, le opere previste in progetto si possono definire idraulicamente compatibili.