

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora

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 6 A

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 Dicembre 2021

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia
di Genova
N° A20783

File: IV0I00D09RIID0002006A.doc

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0I</td> <td>00</td> <td>D 09 RI</td> <td>ID 0002 006</td> <td>A</td> <td>2 di 37</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	2 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	2 di 37								

INDICE

1	PREMESSA.....	5
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	13
2.1	PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO	14
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO	16
2.3	ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO	16
3	STUDIO IDRAULICO.....	17
3.1	GENERALITÀ	17
3.2	DATI DI BASE.....	17
3.2.1	DATI TOPOGRAFICI	17
3.2.2	DATI IDROLOGICO-IDRAULICI.....	18
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO	19
3.3.1	APPROCCIO MATEMATICO (2D)	19
3.3.2	GENERAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	24
3.3.3	DEFINIZIONE DEL DOMINIO E DELLA GRIGLIA DI CALCOLO	25
3.3.4	STRUTTURE IDRAULICHE ALL'INTERNO DEL MODELLO	28
3.3.5	CONDIZIONI AL CONTORNO.....	29
3.3.6	CALIBRAZIONE	30
3.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	32
4	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	37

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 3 di 37</p>

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO ESISTENTE SUL TORRENTE PORA.	5
FIGURA 2 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL’AREA DI STUDIO.....	13
FIGURA 3: ESTRATTO DELLE MAPPE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TORRENTE PORA IN QUEL DI FINALE LIGURE (FONTE: PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI, AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL’APPENNINO SETTENTRIONALE).....	15
FIGURA 4 – IDROGRAMMI DI PIENA DEL TORRENTE PORA.....	19
FIGURA 5– SOFTWARE HEC RAS 6.0: SISTEMA DI RIFERIMENTO	22
FIGURA 6 – 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.....	24
FIGURA 7 – ESTENSIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	26
FIGURA 8 – DETTAGLIO DELLA MESH IN PROSSIMITÀ DELL’ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO ESISTENTE ..	26
FIGURA 9 –ESEMPIO DI DEM A SINISTRA ESTRAZIONE DEI PROFILI LUNGO I CONFINI DELLE CELLE, A DESTRA CURVA LIVELLO-VOLUME INVASATO	27
FIGURA 10 – SCHEMATIZZAZIONE IN PIANTA DELL’ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO ESISTENTE E DELLE PILE DEL PONTE STRADALE A VALLE.	28
FIGURA 11 – SCHEMA GEOMETRICO DEL PONTE FERROVIARIO	28
FIGURA 12 – STRUTTURE INSERITE NEL MODELLO (IN ROSSO).....	29
FIGURA 13 – CONDIZIONI AL CONTORNO IMPOSTE NEL MODELLO.....	30
FIGURA 14 – CONFRONTO TRA GLI ALLAGAMENTI OTTENUTI CON IL MODELLO E QUELLI DEFINITI DAL PAI PER IL TORRENTE PORA (Tr 200 ANNI)	31
FIGURA 15: MODELLO NUMERICO 2D, T. PORA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, ANTE OPERAM, Tr = 50 ANNI.....	33
FIGURA 16: MODELLO NUMERICO 2D, T. PORA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, ANTE OPERAM, Tr = 200 ANNI.....	34
FIGURA 17: MODELLO NUMERICO 2D, T. PORA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, ANTE OPERAM, Tr = 500 ANNI.....	35

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 4 di 37

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - ELENCO ELABORATI ANNESSI	16
TABELLA 2- VALORI DI PICCO DEGLI EVENTI ESTREMI CONSIDERATI	18
TABELLA 3: SCABREZZE ADOTTATE NEL MODELLO	32
TABELLA 4 – LIVELLI MASSIMI IN PROSSIMITÀ DELL’ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO PER VARI TEMPI DI RITORNO	36

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IVOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 5 di 37

1 PREMESSA

Scopo della presente relazione è lo studio idraulico del Torrente Pora nell’ambito del progetto definitivo del raddoppio ferroviario della *linea Genova – Ventimiglia nella tratta Finale Ligure - Andora*.

In quel di Finale Ligure, la linea ferroviaria esistente attraversa il Torrente Pora tra la progressiva Km 69+487.84 e la progressiva Km 69+512.84, tramite un ponte ad archi in muratura.



Figura 1: Attraversamento ferroviario esistente sul Torrente Pora.

Nell’ambito del progetto di raddoppio ferroviario, sono previsti alcuni interventi presso l’attuale stazione di Finale Ligure (che si sviluppa in sinistra idraulica al Torrente Pora), che riguardano sostanzialmente l’adeguamento dei marciapiedi e del sottopasso esistente.

Tali interventi, come l’attuale linea ferroviaria, ricadono in aree di pericolosità idraulica, secondo la pianificazione di bacino vigente (Piano stralcio per l’assetto idrogeologico della Regione Liguria, PGRA Autorità di Distretto dell’Appennino Settentrionale).

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 6 di 37

Lo studio idraulico ha lo scopo quindi di valutare e confermare tali aree di pericolosità e di definire eventuali opere di mitigazione del rischio idraulico nei confronti della linea ferroviaria esistente e in particolare della stazione ferroviaria di Finale Ligure.

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 il torrente Pora, il Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico è stato 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. 90 del 25/10/2021.

Altri riferimenti normativi includono

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 7 di 37

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

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.”

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 37</p>

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:

- *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*

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 9 di 37

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 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:*

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora</p>	<p>COMMESSA IV0I</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 37</p>

- 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;
- 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

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 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

essere inferiori ai valori indicati nella tabella seguente, assumendo come riferimento il valore maggiore tra quelli contrassegnati con le lettere (a) e con (b).

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 DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Come anticipato in premessa, la zona di interesse è ubicata nel Comune di Finale Ligure (SV), nel tratto distante circa 100 m dalla stazione del medesimo Comune e circa 90 m a monte, nella direzione del corso d'acqua, rispetto al ponte delle SS1. Nella presente relazione si è sviluppata l'analisi delle aree potenzialmente inondabili, risultanti dalle simulazioni numeriche bidimensionali, in regime di moto vario, per le portate di riferimento corrispondenti ai tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, con l'obiettivo di valutare e definire eventuali misure di mitigazione del rischio idraulico per la messa in sicurezza della ferrovia in corrispondenza della stazione ferroviaria di Finale Ligure. Non sono quindi previste in progetto nuove opere di attraversamento sul T. Pora da sottoporre a relativa verifica di compatibilità idraulica. Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo denominato HEC – RAS 6.1, i cui fondamenti concettuali sono riportati nel paragrafo 3.3.



Figura 2 – Inquadramento generale dell'area di studio.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 14 di 37

2.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica e idraulica dell'area di intervento e la definizione delle relative aree di pericolosità è attualmente riportato nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE (recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 per ogni distretto idrografico).

Lo scopo del PGRA, come già illustrato nel capitolo precedente, 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.

Per la redazione delle mappe di pericolosità da alluvione da corso d'acqua, sono state definite e rappresentate le aree di possibili inondazione a 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.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	15 di 37

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

Come anticipato, l'attuale linea ferroviaria (compresa la stazione di Finale Ligure) ricade in area di pericolosità idraulica (P2, P3) del Torrente Pora.

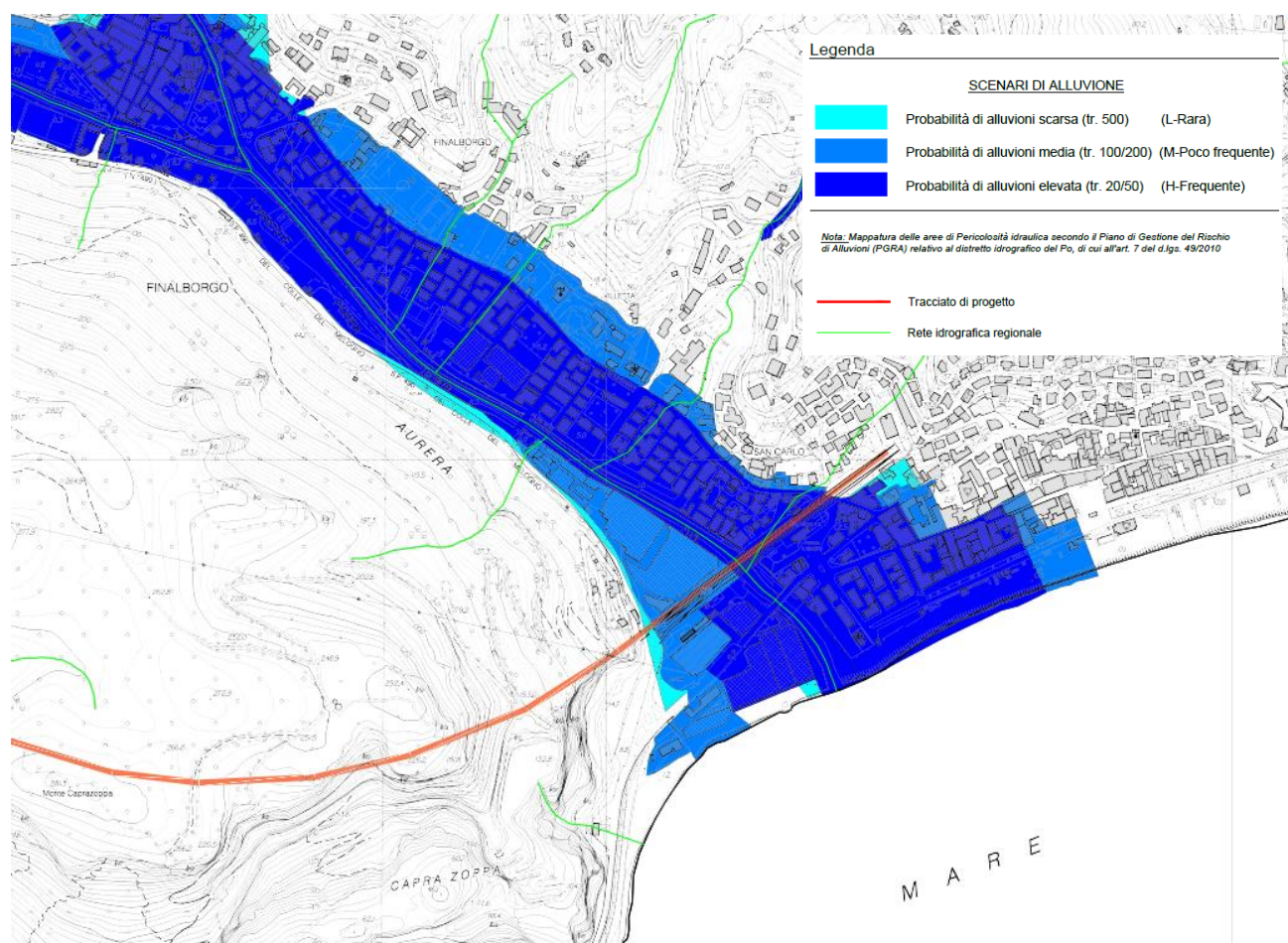


Figura 3: Estratto delle mappe delle aree di pericolosità idraulica del Torrente Pora in quel di Finale Ligure (fonte: Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

2.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare i processi idrodinamici che caratterizzano gli eventi estremi, per i tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, relativi al Torrente Pora, in particolare all'intersezione con la linea ferroviaria esistente, al fine di poter correttamente identificare le aree di pericolosità idraulica e individuare, nell'eventualità in cui la linea ferroviaria risulti soggetta a inondazione, misure di mitigazione per la messa in sicurezza della linea stessa nonché della stazione ferroviaria.

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, in regime di moto vario.

2.3 ELENCO ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica generale	-	IV0I00D09RIID0001001A
Planimetria livelli idrici Torrente Pora - Modello 2D - Tr 50 anni	1:500	IV0I00D09P8ID0002001A
Planimetria livelli idrici Torrente Pora - Modello 2D - Tr 200 anni	1:500	IV0I00D09P8ID0002002A
Planimetria livelli idrici Torrente Pora - Modello 2D - Tr 500 anni	1:500	IV0I00D09P8ID0002003A
Planimetria valori velocità Torrente Pora - Modello 2D - Tr 200 anni	1:500	IV0I00D09P8ID0002007A
Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrente Pora	varie	IV0I00D09WZID0002015A
Profili di rigurgito (Modello 2D) - Tr 50, 200, 500 anni - Torrente Pora	varie	IV0I00D09FZID0002011A

Tabella 1 - Elenco elaborati annessi

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 17 di 37

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 corso d’acqua in fase di studio. L’approccio metodologico seguito è partito dall’integrazione ed elaborazione di dati di base, fondamentalmente 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. Lo scenario analizzato è quello relativo allo stato di fatto.

3.2 DATI DI BASE

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

- Dati topografici;
- 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;

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

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

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 IV0I00D09RIID0001001A, che ha portato alla definizione degli idrogrammi di piena per assegnato tempo di ritorno immediatamente a monte del tratto di asta analizzato.

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 ottenuti con il metodo VAPI sono risultati più cautelativi e sono stati utilizzati per la determinazione delle aree potenzialmente inondabili di riferimento.

Tabella 2– Valori di picco degli eventi estremi considerati

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	519.9
Tr 200	722.5
Tr 500	876.8

Altra informazione utilizzata è costituita dalle mappe di pericolosità e di rischio del PGRA e dalla perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili per assegnato tempo di ritorno, sopra descritte, usate anche esse (unitamente agli studi idraulici disponibili) come riferimento per la taratura dei modelli idraulici sviluppati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO												
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00</td> <td>D 09 RI</td> <td>ID 0002 006</td> <td>A</td> <td>19 di 37</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	19 di 37
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	19 di 37								

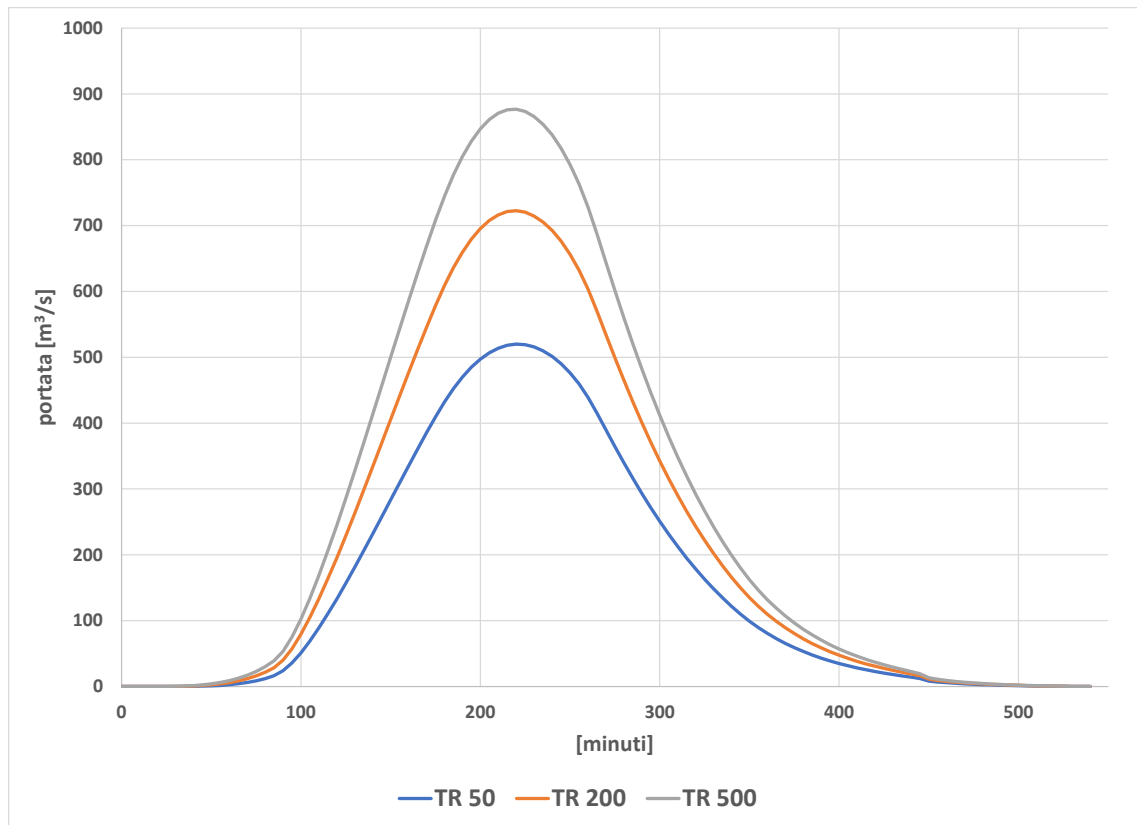


Figura 4 – Idrogrammi di piena del torrente Pora

3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO

3.3.1 Approccio matematico (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale del tratto di Torrente Pora 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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 20 di 37

- 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 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 stramazzo 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 strutturate o non strutturate. 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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 21 di 37

della maglia computazionale è pre-elaborato 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 molti 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 (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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

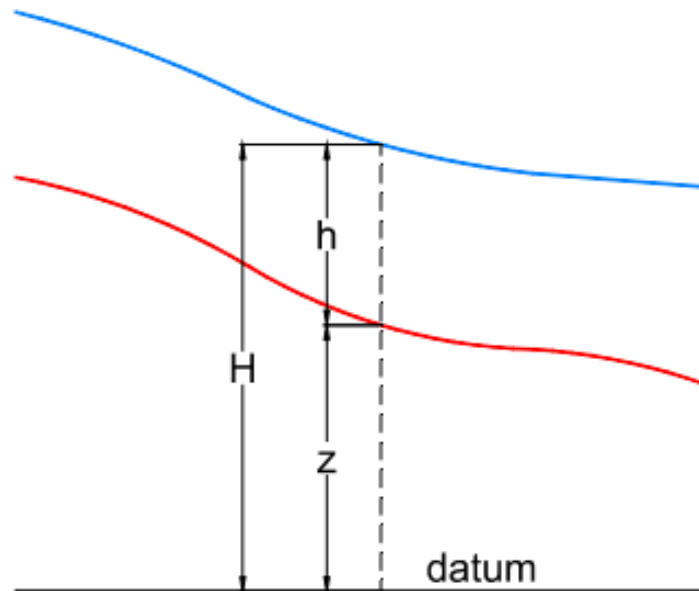


Figura 5– Software Hec Ras 6.0: sistema di riferimento

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 incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

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

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 23 di 37

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:

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

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.

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

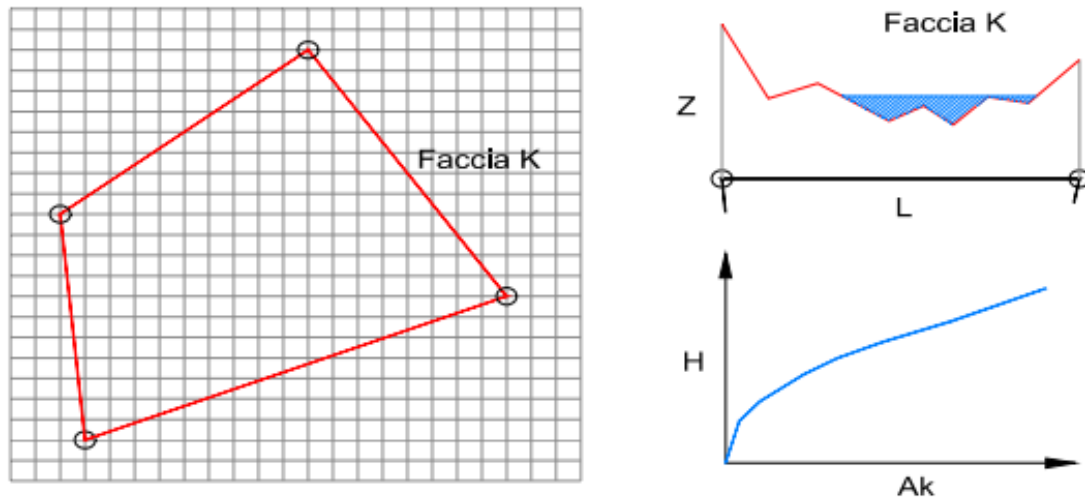


Figura 6 – Software Hec Ras: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

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. 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 di fiume, a valle del Ponte di Via Leonardo Da Vinci. 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 dove quindi si discostano maggiormente dalle sezioni, si è scelto di interpolare queste ultime, integrando la morfologia in alveo ricostruita con il DTM al di fuori

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 25 di 37

dell'alveo. Pertanto, a tale scopo è stata effettuata una interpolazione geospaziale delle sezioni rilevate, in ambiente GIS tramite il software XS Interpolator², 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.

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

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.

A partire dal modello digitale del terreno finale implementato come descritto sopra, è stata selezionata una risoluzione nominale della griglia pari a 10 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 del Torrente Pora è stato interamente schematizzato con griglia a 3 m.

²<https://shop.m3eweb.com/home/32-xs-interpolator.html>

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale del Torrente Pora

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	26 di 37



Figura 7 – Estensione del dominio di calcolo

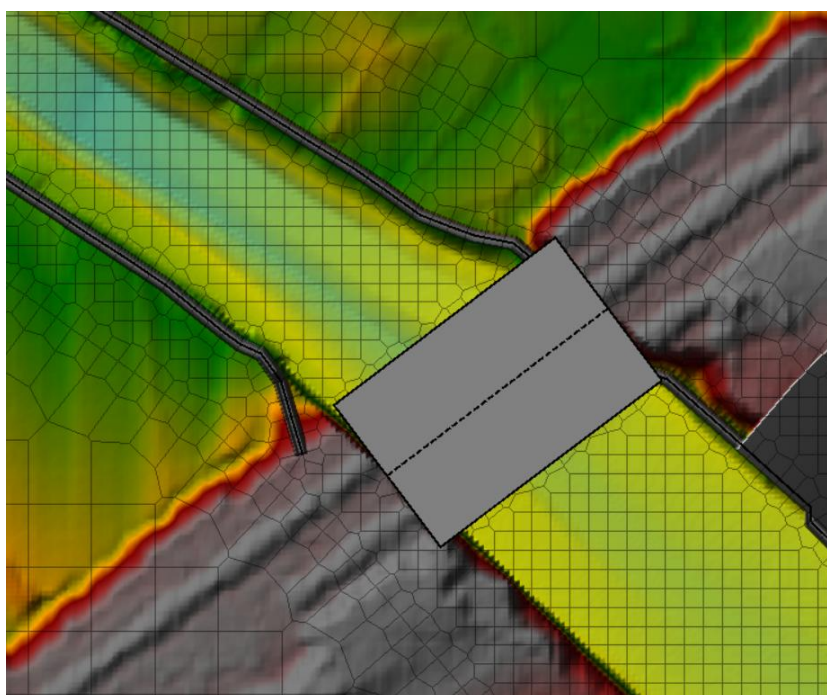


Figura 8 – Dettaglio della mesh in prossimità dell'attraversamento ferroviario esistente

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center">RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA</p> <p>Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora</p>	<p>COMMESSA IV0I</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 27 di 37</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.

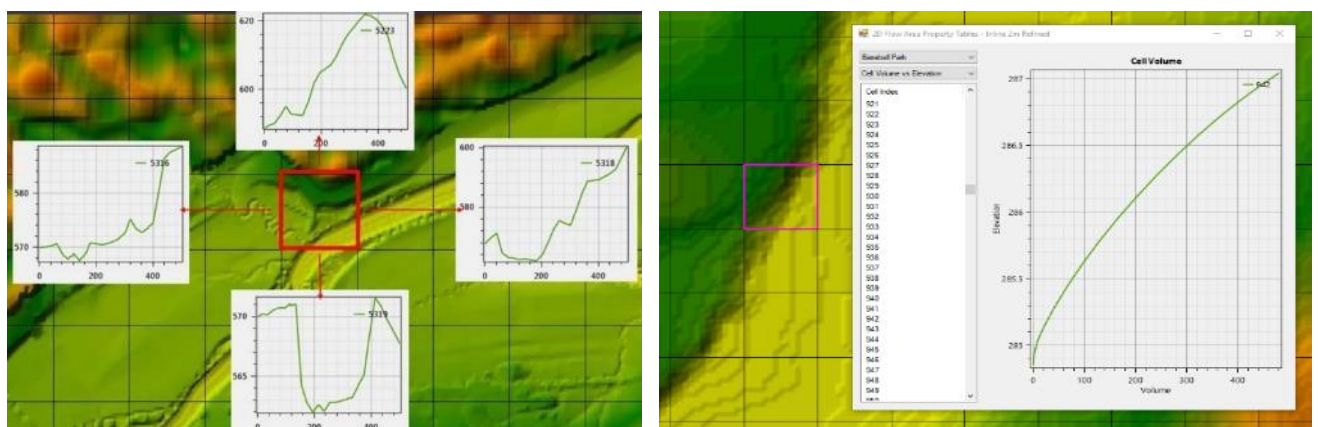


Figura 9 –Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato

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 DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

3.3.4 Strutture idrauliche all'interno del modello

Tutti gli attraversamenti esistenti individuati nel dominio di calcolo sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti, secondo le informazioni geometriche disponibili (per il ponte stradale a valle del ponte ferroviario, sono state inserite nel modello geometrico solamente le pile in alveo – Figura 10)

Le figure seguenti mostrano le posizioni delle strutture e la schematizzazione dell'attraversamento ferroviario dell'attraversamento ferroviario all'interno del modello.

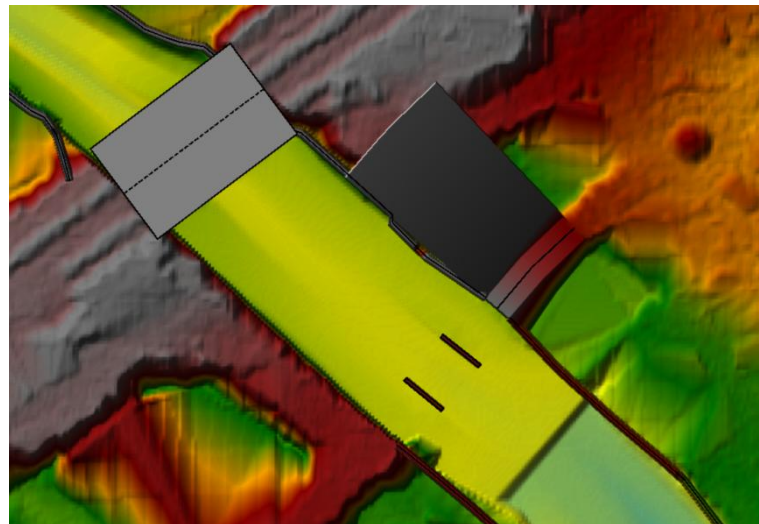


Figura 10 – Schematizzazione in pianta dell'attraversamento ferroviario esistente e delle pile del ponte stradale a valle.

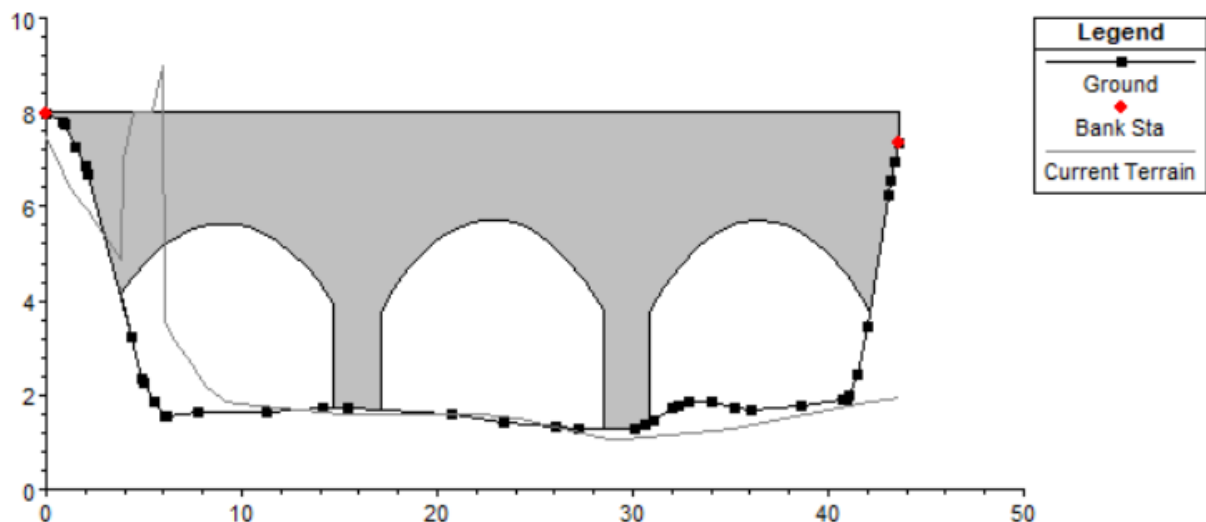


Figura 11 – Schema geometrico del ponte ferroviario

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IVOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 29 di 37



Figura 12 – Strutture inserite nel modello (in rosso).

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. IVOI00D09RIID0001001A).

La figura seguente mostra la schematizzazione delle principali condizioni al contorno imposte.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A



Figura 13 – Condizioni al contorno imposte nel 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 nell'ambito del PAI/PGRA dall'Autorità di Bacino, per un evento di piena duecentennale.

In particolare, il valore assegnato in alveo è stato scelto sia secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, della foto-interpretazione di immagini satellitari, che in funzione dell'estensione degli allagamenti definiti nell'ambito della pianificazione di bacino vigente; 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.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale del Torrente Pora**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	31 di 37

Nella figura e nella tabella seguenti, il confronto (e la buona corrispondenza) tra le aree di esondazione da modello 2D e le aree di pericolosità idraulica definite nell'ambito della pianificazione di bacino vigente e il riepilogo dei valori di scabrezza adottati.

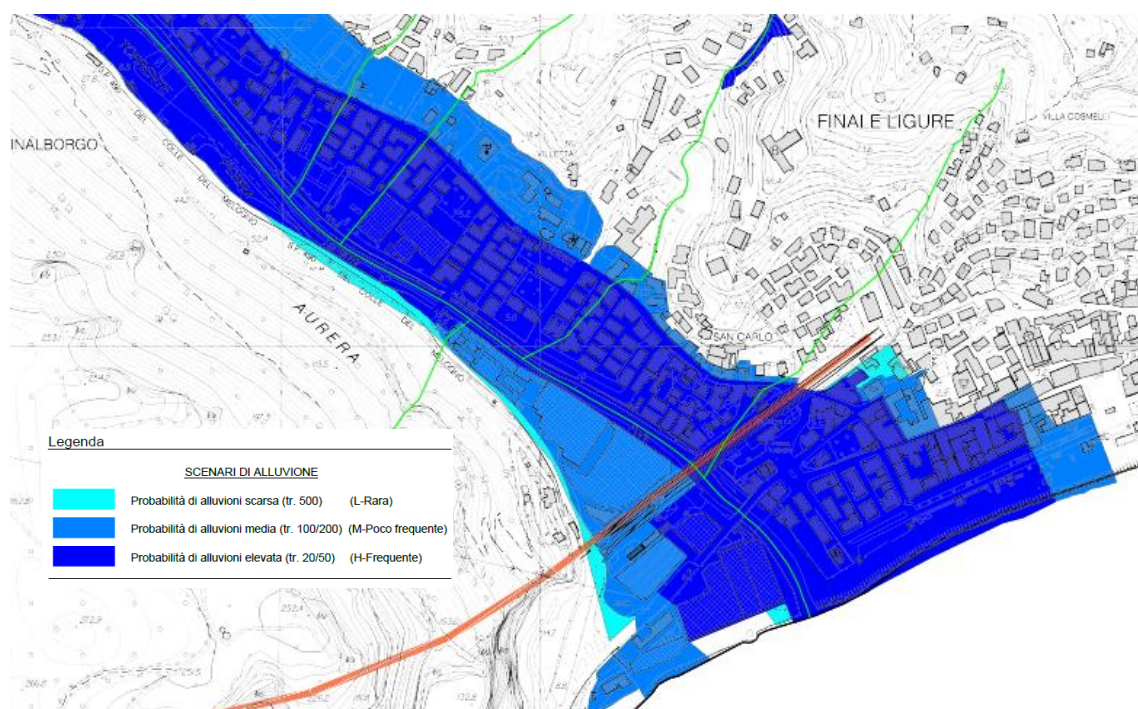


Figura 14 – Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI per il torrente Pora (Tr 200 anni)

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

Tabella 3: Scabrezze adottate nel modello

Copertura	n
Alveo	0.04
Pianura alluvionale	0.08

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, per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, utilizzando gli idrogrammi definiti nel paragrafo 3.2.2.

In tal caso, meglio descritto in seguito, nell’ambito del presente progetto non si prevedono interventi che interessano o interferiscono con il Torrente Pora e le relative aree di esondazione.

Pertanto, non è stata simulata alcuna configurazione “post operam”.

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 dell’attraversamento ferroviario esistente e della stazione di Finale Ligure.

Di seguito, si riportano gli stralci delle aree potenzialmente inondabili, ottenute da modello numerico 2D, per i tempi di ritorno di riferimento di 50, 200 e 500 anni.

Si rimanda agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 2.3.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	33 di 37

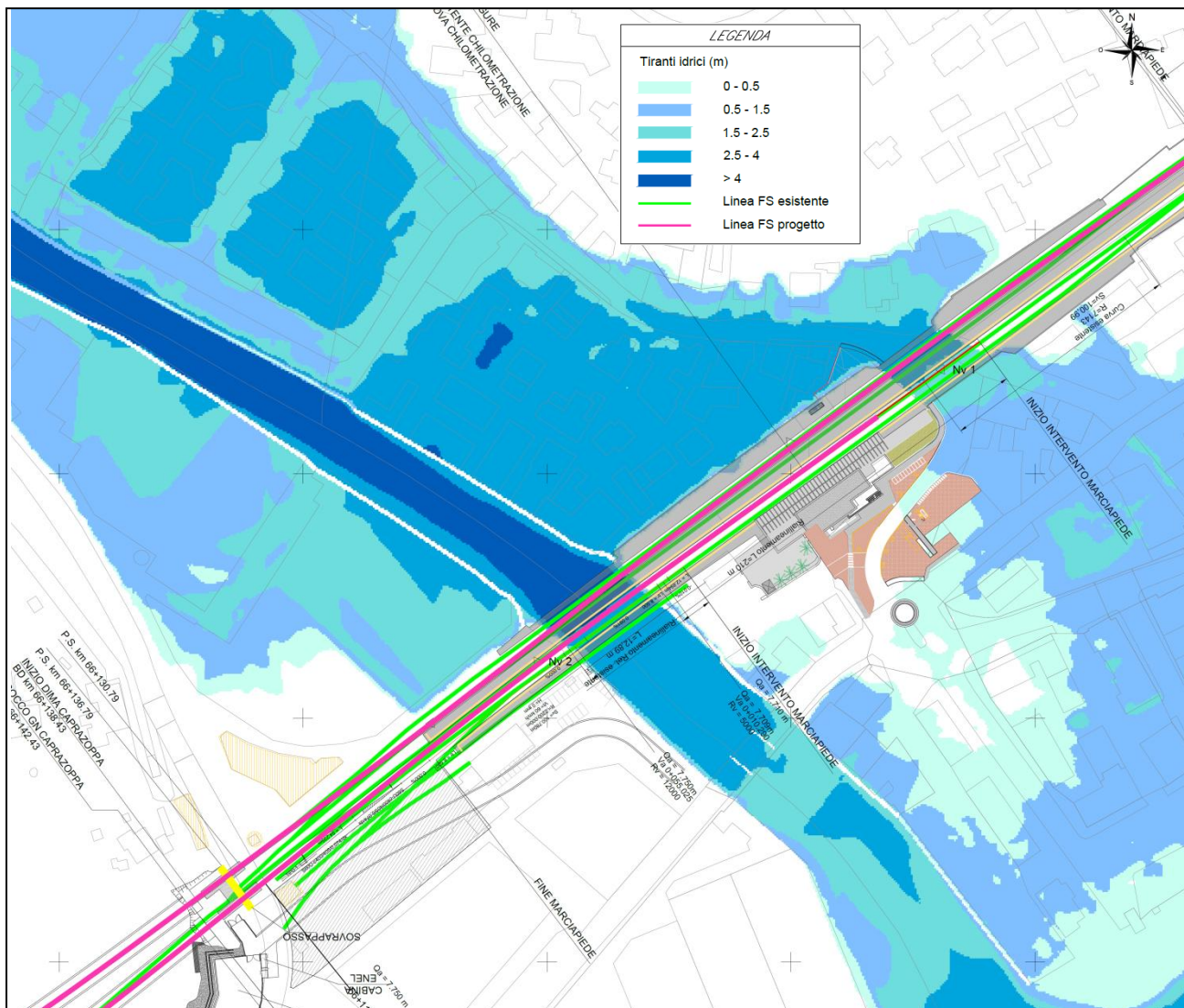


Figura 15: Modello numerico 2D, T. Pora: aree potenzialmente inondabili, ante operam, Tr = 50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico
bidimensionale del Torrente Pora

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	34 di 37

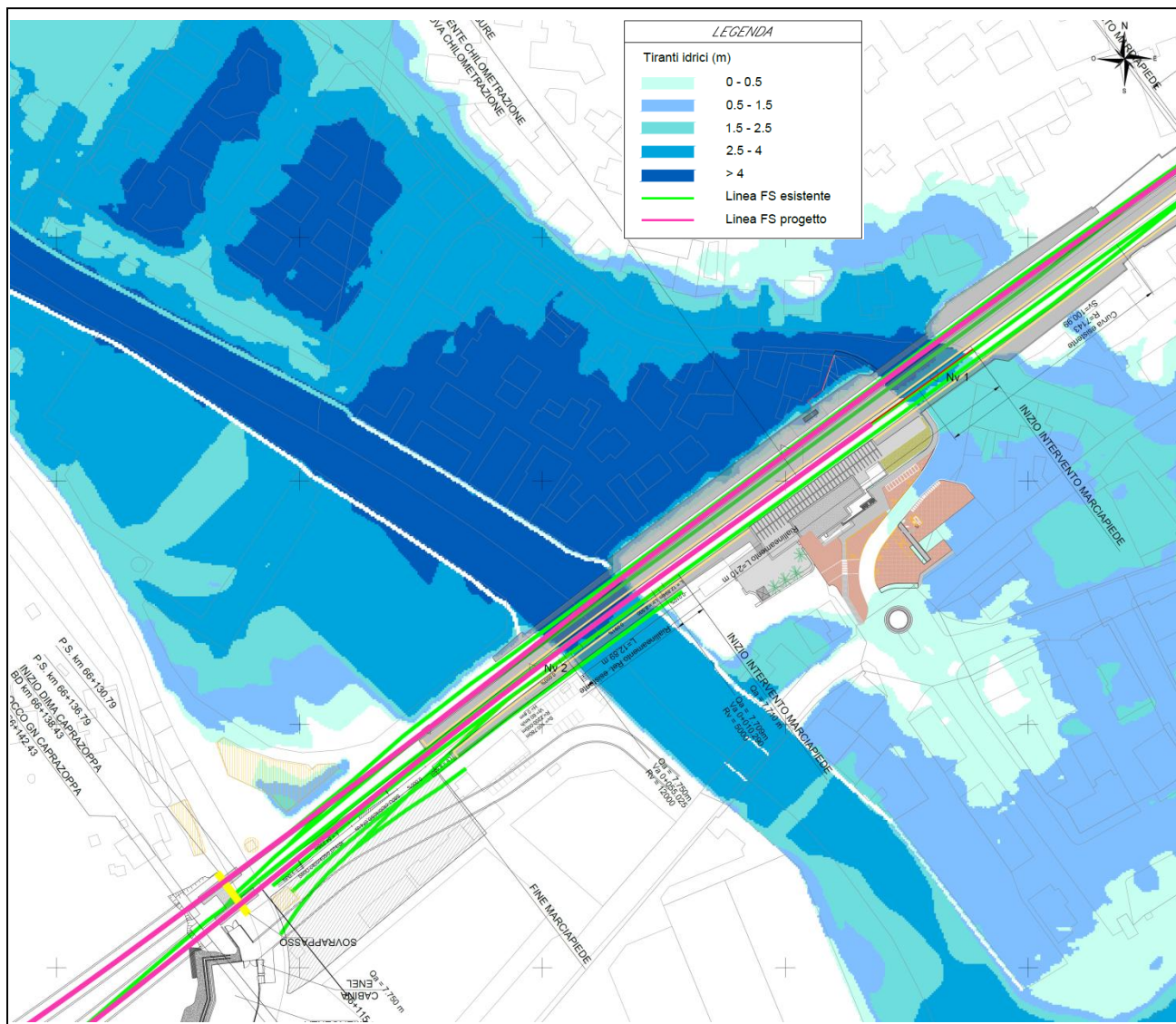


Figura 16: Modello numerico 2D, T. Pora: aree potenzialmente inondabili, ante operam, Tr = 200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RI	ID 0002 006	A	35 di 37

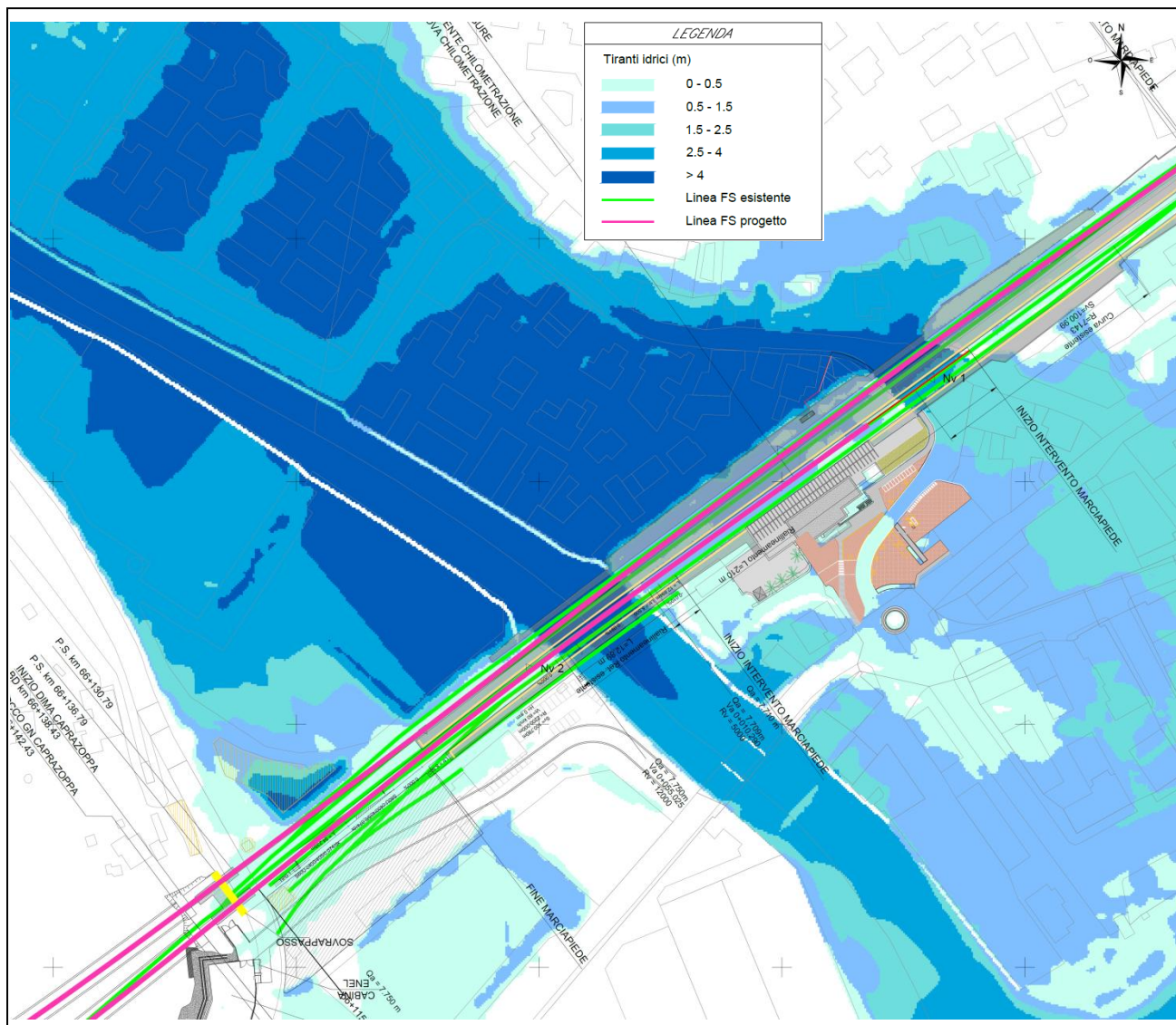


Figura 17: Modello numerico 2D, T. Pora: aree potenzialmente inondabili, ante operam, Tr = 500 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A

Come evidenziato nelle figure precedenti, l'area di intervento è soggetta ad esondazioni diffuse delle piene del Torrente Pora; l'estensione delle zone potenzialmente inondabili riproduce, come già mostrato nell'ambito della calibrazione del modello, quella indicata nelle mappe di pericolosità idraulica del P.G.R.A. di riferimento.

La linea ferroviaria risulta soggetta a sormonto soltanto per eventi di piena con tempi di ritorno di 500 anni. Per tutti i tempi di ritorno analizzati, il sottopasso della SP27 risulta soggetto ad esondazione. I livelli idrici in corrispondenza del ponte ferroviario esistente sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4 – Livelli massimi in prossimità dell'attraversamento ferroviario per vari tempi di ritorno

	Livello (m s.l.m.m.)
Torrente Pora – Sezione di monte al ponte ferroviario	
Tr 50	6.61
Tr 200	7.73
Tr 500	8.18

In ragione della quota di intradosso (+5.70 m slm), è evidente l'insufficienza idraulica del ponte ferroviario esistente, che comunque non rappresenta l'unico responsabile dello scenario di pericolosità idraulica esistente in quel di Finale Ligure.

Risultano di scorsa officiosità idraulica anche i ponti a monte (e.g. via del Sagittario) e valle (e.g. SS1) dell'attraversamento ferroviario, nonché la stessa sezione idraulica, di deflusso, del Torrente Pora, nel tratto fluviale finale, fino alla foce.

Stante tale scenario di inondazione/allagamento (come da modello numerico 2D) e di pericolosità idraulica, nell'ambito degli interventi presso la stazione esistente di Finale Ligure (i.e. adeguamento dei marciapiedi e del sottopasso esistente) previsti nel presente progetto di raddoppio ferroviario, si prevede, come misura di mitigazione del rischio idraulico, la predisposizione per il sottopasso esistente (“adeguato”) di stazione un portone a guarnizione attiva, anti-allagamento e anticontaminazione, a tenuta stagna sui quattro lati, che verrà azionato manualmente ogni qualvolta la protezione civile dichiara l'allarme/allerta esondazione.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Torrente Pora	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 006	REV. A	FOGLIO 37 di 37

4 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

La modellazione numerica del Torrente Pora elaborata nell'ambito del presente studio ha permesso di chiarire la situazione di pericolosità idraulica in quel di Finale Ligure, riportata nei documenti della pianificazione di bacino vigente.

Già allo stato attuale, la linea ferroviaria esistente ricade in area di pericolosità idraulica (P2, P3) alta/media del Torrente Pora.

Nell'ambito del presente progetto di raddoppio ferroviario, sono previsti alcuni interventi presso l'attuale stazione di Finale Ligure (che si sviluppa in sinistra idraulica al Torrente Pora), che riguardano l'adeguamento dei marciapiedi e del sottopasso esistente.

Non sono previste nuove opere di attraversamento sul Torrente Pora o comunque opere che possano interferire con le relative aree di esondazione.

I risultati delle simulazioni numeriche bidimensionali sviluppate nel presente studio tramite il codice di calcolo Hec Ras hanno evidenziato che la linea ferroviaria esistente non risulta soggetta a sormonto nel caso di eventi di piena del Torrente Pora associati a tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

Tale scenario si manifesterebbe in concomitanza di eventi di piena del Torrente Pora corrispondenti a tempi di ritorno superiori ($Tr = 500$ anni).

Il sottopasso della SP27 risulterebbe invece soggetto ad esondazione per tutti i tempi di ritorno analizzati.

Stante tale scenario di inondazione/allagamento (come da modello numerico 2D) e di pericolosità idraulica (come da pianificazione di bacino vigente), nell'ambito del presente progetto di raddoppio ferroviario, si prevede, come misura di mitigazione del rischio idraulico, la predisposizione per il sottopasso esistente di stazione, oggetto di adeguamento, un portone a guarnizione attiva, anti-allagamento e anticontaminazione, a tenuta stagna sui quattro lati, che verrà azionato manualmente ogni qualvolta la protezione civile dichiara l'allarme/allerta esondazione.