

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO

RELAZIONE IDRAULICA

SCALA:

-

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

I V O G 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Giannetta	02/2021	A. Cappelli	02/2021	G. Fadda	02/2021	A. Vittozzi 02/2021

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dot. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A.20783

File: IV0G00D09RIID0001001A.doc

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
2.1	MORFOLOGIA DEL TERRITORIO.....	5
2.2	IL CORSO D'ACQUA.....	5
2.3	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	6
2.3.1	<i>Mappatura del rischio idraulico.....</i>	<i>6</i>
2.3.2	<i>Norme di attuazione</i>	<i>12</i>
2.4	OBIETTIVI DELLE ANALISI IDRAULICHE	15
3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO	16
3.1	MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	17
3.1.1	<i>Modellazione numerica 1D in Hec-Ras.....</i>	<i>17</i>
3.2	INFORMAZIONI TOPOGRAFICHE.....	21
3.3	SCHEMATIZZAZIONE DEL CORSO D'ACQUA.....	21
3.4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IN CONDIZIONI POST OPERAM	22
4	RISULTATI DELLE ELABORAZIONI	22
5	CONSIDERAZIONI SULLA COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	24
6	OPERE PROVVISORIALI.....	25
7	SISTEMAZIONE DELL'ALVEO	25
	BIBLIOGRAFIA.....	28

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Carta delle aree inondabili (Piano di Bacino “ambito n.7 Dianese”).....	10
Figura 2 - Carta degli interventi (Piano di Bacino “ambito n.7 Dianese”).....	11
Figura 3 – Nuovo Ponte stradale sul torrente Evigno – San Pietro, sezione a monte del viadotto.....	16
Figura 4– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d’acqua.	18
Figura 5–Sezione schematica di un corso d'acqua.....	19
Figura 6 – Profilo Idrometrico ante e post-operam per Tr=200 anni.....	23
Figura 7 - Condizioni idrometriche in prossimità del ponte in progetto (Tr = 200 anni).....	24
Figura 8 – Andamento delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia.	26
Figura 9 – Planimetria della sistemazione idraulica.	27
Figura 10 – Particolare in sezione della sistemazione idraulica.	27

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Matrice per la definizione del Rischio.....	8
Tabella 2 – Dimensionamento del rivestimento spondale.....	26

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

1 PREMESSA

Nell'ambito del Raddoppio della Linea Genova-Ventimiglia Tratta Andora-San Lorenzo al Mare è stato realizzato il Progetto Definitivo di un Ponte Stradale di attraversamento del Torrente Evigno, consegnato alla Committenza con nota AGCO.GV.0044516.10.U del 04/08/2010.

La nuova opera prevede il collegamento tra i Comuni di Diano Marina e Diano Castello, in provincia di Imperia, rispettivamente in sponda idraulica destra e sinistra del menzionato Torrente Evigno.

Con Lettera di Incarico prot. RFI-DIN-DINO.GE\LTINC\P\2021\0000011 del 11/01/2021, RFI ha chiesto di procedere all'aggiornamento della progettazione in seguito a:

- adeguamento alle normative vigenti, nello specifico NTC 2018;
- inserimento del collegamento diretto della viabilità in argine destro con via Diano S.Pietro.

La presente relazione riporta i risultati delle verifiche idrauliche condotte al fine di stabilire il corretto dimensionamento del ponte di attraversamento stradale del torrente Evigno, nell'ambito dei lavori di completamento della tratta San Lorenzo – Andora.

E' stata condotta quindi l'analisi idrologica dei bacini idrografici di interesse, finalizzata alla determinazione delle portate al colmo, da imporre come condizione al contorno nei modelli (numerici) idraulici monodimensionali sviluppati.

Le verifiche hanno avuto l'obiettivo di ricostruire i profili idrometrici di piena che si instaurano all'interno dell'alveo del torrente sia nella condizione ante operam, sia in quella post-operam, in modo da poter osservare le variazioni idrometriche indotte dalla presenza del ponte e dalla sistemazione idraulica dell'alveo che si intende realizzare. Ai fini delle verifiche dimensionali, si è fatto riferimento alla portata attesa con **tempo di ritorno duecentennale, pari a 270 m³/s.**

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto nell'ambito del *Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico* dell'Autorità di Bacino Ambito °7 del Dianese, nonché nelle Nuove NTC2018 (e relativa circolare esplicativa, n.7/2019) e nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020).

L'analisi idraulica si è basata sulle informazioni plano-altimetriche ricavate dal rilievo topografico del 2020 svolto appositamente ai fini del presente studio e grazie al quale si è potuto verificare la validità dei rilievi già svolti sia nel 2010, in fase di realizzazione del precedente progetto definitivo del ponte stradale, di cui il presente è un aggiornamento, e nel 2015 in occasione dello studio preliminare della Strada Dianese, ovvero della viabilità di accesso alla nuova fermata Diano.

I calcoli sono stati condotti con l'ausilio del modello matematico HEC RAS i cui principi di funzionamento sono riportati in questa stessa relazione.

La relazione si completa con un'analisi di compatibilità idraulica del progetto, previa l'analisi delle Norme di Attuazione e delle direttive allegate al Piano di Bacino.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Morfologia del territorio

La parte alta del bacino insiste su di un territorio montuoso con incisioni percorse da vie d'acqua a regime prevalentemente torrentizio, caratterizzate da forti pendenze e da modesti bacini di afflusso, ad eccezione dei tratti finali dove vengono ad essere interessati i corsi d'acqua di maggiore rilevanza come nel caso del torrente Evigno, detto anche torrente San Pietro, e del torrente Varcavello, i quali accolgono le acque provenienti da bacini di più ampia estensione.

Le caratteristiche morfologiche del torrente Evigno sono simili a quelle di altri bacini limitrofi, appartenenti all'ambito idrografico Dianese, costituiti da una valle principale ben definita, con una linea di impluvio ben marcata orientata perpendicolarmente alla linea di costa.

Nella parte montana del bacino il torrente Evigno mantiene una conformazione "incassata" dell'alveo, scorrendo entro versanti di notevole altezza che confinano le acque di piena senza pericolo di esondazioni. Nella parte valliva, in prossimità del mare, i terreni adiacenti presentano una acclività molto inferiore e la quota dell'alveo si avvicina alla quota del piano campagna esterno. Durante il passaggio delle onde di piena più intense, le quote idrometriche tendono a superare la quota dei terreni esterni e le esondazioni vengono impedito dalla presenza di rilevati arginali i quali realizzano una configurazione di pensilità all'alveo.

L'attraversamento stradale in progetto si colloca nel tratto vallivo del torrente Evigno, a circa 750 m dalla sua foce nel mare. Siamo nel tratto di transizione nel quale il torrente inizia ad assumere una configurazione di pensilità non ancora del tutto sviluppata. Secondo le valutazioni svolte durante la redazione del Piano di Bacino, meglio descritte in seguito, le problematiche connesse al rischio idraulico hanno inizio poco a valle del punto in cui si intende realizzare il ponte.

2.2 Il corso d'acqua

Come già accennato, per buona parte del suo percorso il torrente Evigno scorre in una valle confinata dai versanti piuttosto acclivi che impongono all'alveo una conformazione incassata. Una volta sottopassata l'Autostrada dei Fiori il torrente entra nella piana di Diano Marina ed i terreni limitrofi alle arginature assumono quote non molto superiori a quelle dell'alveo, creando una condizione di pensilità, anche se limitata all'instaurarsi di condizioni idrologiche di piena.

In condizioni ordinarie la corrente viene incanalata in un unico canale attivo che scorre realizzando una serie di meandri, incidendo il materasso alluvionale di natura prevalentemente ghiaiosa. Tuttavia, le difese spondali/arginali realizzate in modo da lasciare alla libera espansione delle acque una fascia di larghezza compresa tra 35 e 50 m, non consentono al torrente di acquisire una conformazione del tutto naturale. Il canale principale è costretto a mantenere una direzione non molto dissimile dalla linea della massima pendenza della valle, perpendicolare alla linea di costa, e l'indice di sinuosità di mantiene su valore piuttosto bassi.

Data l'assenza di golene laterali, in condizioni di morbida e di piena, la sezione d'alveo contribuente al deflusso assume una forma compatta, e dal punto di vista planimetrico, il campo di moto si mantiene unidimensionale. Tale conformazione risulta ancora più accentuata nell'ultimo tratto, in prossimità della foce, dove la larghezza dell'alveo diminuisce ulteriormente, a causa della pressione antropica.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

2.3 Inquadramento Normativo

Per quanto riguarda le competenze in materia di gestione e pianificazione degli interventi, nel campo del rischio idrogeologico, il territorio regionale ligure viene suddivisa su tre livelli: regionale (bacini idrografici interamente ricadenti nel territorio regionale e per i quali risulta competente la Regione Liguria), interregionale (limitato al bacino idrografico del fiume Magra e per il quale è competente l'Autorità di Bacino interregionale del Fiume Magra) e nazionale (limitato alla porzione di territorio appartenente al bacino idrografico del fiume Po per il quale è competente l'Autorità di Bacino del Fiume Po).

Il bacino del torrente Evigno rientra nell'ambito dei bacini idrografici regionali per i quali, la regione Liguria rappresenta il soggetto fondamentale nella procedura di formazione del Piano di bacino e nella successiva fase di progettazione ed attuazione degli interventi. In particolare la Regione fornisce gli indirizzi nonché il supporto tecnico e finanziario per la pianificazione la quale risulta invece di competenza delle Province.

In tale quadro normativo, le strutture regionali hanno predisposto i "*Criteri per l'elaborazione dei piani di bacino*" in collaborazione e con l'approvazione degli organi dell'Autorità di Bacino. Il documento è stato successivamente integrato da una serie di "raccomandazioni", approvate dall'Autorità di Bacino, inerenti specifici problemi tra i quali rientrano le metodologie e le raccomandazioni per la mappatura delle aree soggette a rischio di inondazione.

Il bacino idrografico del torrente Evigno (indicato anche come torrente San Pietro nella cartografia regionale) rientra nell'ambito di bacino n. 7 "Dianese", all'interno della provincia di Imperia. Per tale ambito è stato redatto il "*Piano di Bacino Stralcio*" per la difesa idraulica ed idrogeologica, approvato inizialmente con D.C.P. n. 9 del 30/01/2003 e successivamente, a seguito di parere vincolante della C.T.R., con D.G.P. n. 243 del 21.04.04. A seguito di ulteriori varianti, il Piano di Bacino Stralcio ha apportato alcune modifiche giungendo nella sua ultima versione approvata con D.D.G. n. 99 del 13/04/2017.

2.3.1 Mappatura del rischio idraulico

Le linee guida per la redazione del Piano di Bacino della Regione Liguria, adottano la comune definizione del concetto di rischio come combinazione di più fattori di natura tecnica (nel caso specifico idraulica), ma anche socio-economica, tramite la nota espressione formale del rischio:

$$R = P \times E \times V,$$

Dove:

- P: pericolosità, intesa come la probabilità che si realizzino le condizioni di accadimento dell'evento calamitoso;
- E: valore degli elementi a rischio, intesi come persone e beni;
- V: vulnerabilità, intesa come la capacità degli elementi a rischio a resistere all'evento in considerazione.

La carta del rischio idrogeologico fa parte degli elaborati che compongono i Piani stralcio per il rischio idrogeologico e prevede la definizione di alcune classi di rischio attraverso l'incrocio delle classi di pericolosità (in questo caso rappresentate dalle carte delle fasce di inondabilità e suscettività al dissesto di versante) con gli elementi a rischio derivanti dalla carta di uso del suolo.

Lo scopo è essenzialmente quello di individuare aree più a rischio di altre, anche a parità di pericolosità, in dipendenza degli elementi che vi si trovano. Tramite la gradazione del rischio R si individuano, infatti, le zone in

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 7 di 28

cui ad elevate criticità idrogeologiche è associata una maggiore presenza umana e, di conseguenza, si determinano le zone da difendere prioritariamente.

Determinazione del rischio idrogeologico

Il rischio idrogeologico, che ai sensi del D.L. 180/98 è costituito da rischio idraulico e rischio geomorfologico, è stato determinato tramite l'approccio sopra descritto. Il metodo è stato applicato (così come suggerito anche dall'atto di indirizzo relativo al citato D.L.) in modo più qualitativo che quantitativo.

Non è stato cioè individuato il valore degli elementi a rischio in termini quantitativi né la specifica vulnerabilità dei singoli elementi, ma si è fornita una valutazione più globale e qualitativa che consente di individuare i fattori essenziali attraverso una procedura semplificata e che permette una sua gradazione in classi.

In particolare, si ricorda che si è assunto che la pericolosità P sia rappresentata dalle carte delle fasce di inondabilità e di suscettività al dissesto.

Si è inoltre assunta uniforme, e quindi pari a 1, la vulnerabilità degli elementi a rischio, volendo dare un maggior peso alle caratteristiche degli elementi a rischio rispetto alla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento, dato di difficile valutazione allo stato di conoscenza attuale nell'ambito del presente piano, anche per ragioni di scala dell'analisi.

La definizione degli elementi a rischio, secondo quanto indicato nella raccomandazione n. 4 dell'Autorità di bacino Regionale, si basa sull'analisi della carta di uso del suolo e sull'individuazione delle seguenti quattro classi:

- E0 : aree disabitate o improduttive
- E1: edifici isolati, zone agricole
- E2: nuclei urbani, insediamenti industriali e commerciali minori infrastrutture minori
- E3: centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, principali infrastrutture e servizi.

Secondo la definizione del Comitato Tecnico Regionale i diversi gradi di rischio si determinano attraverso una matrice nella quale vengono posti in relazione le classi di pericolosità (idraulica e geomorfologica) con le classi degli elementi a rischio così come desunte dalla carta dell'Uso del suolo. Da tale intersezione, si ottengono le seguenti quattro classi di rischio:

- R1: rischio moderato
- R2: rischio medio
- R3: rischio elevato
- R4: rischio molto elevato

Si è inoltre ritenuto di introdurre un'ulteriore classe di rischio R0 definita come rischio lieve o trascurabile, che permette di estrarre le situazioni a rischio minore in ragione di pericolosità estremamente basse o di completa assenza di valenze socio-economiche.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

La carta del rischio idrogeologico che viene redatta rappresenta quindi le cinque classi di rischio sopra individuate e ha come finalità principale l'evidenziazione delle situazioni di maggiore criticità che possono produrre danno all'uomo e/o ai suoi beni.

Per la determinazione del rischio si sono adottate due matrici di rischio differenti per la parte idraulica e geomorfologica, in quanto il concetto di pericolosità P che si adotta nei due casi può assumere un significato fisico diverso.

Rischio idraulico

La pericolosità, per quanto riguarda il rischio di inondazione, è legata al tempo di ritorno della portata di massima piena. Come già visto sono stati individuati essenzialmente tre livelli di pericolosità idraulica, uno elevato (T=50 anni), uno medio (T=200 anni) e uno basso (T=500 anni).

Il rischio idraulico è stato determinato dalla sovrapposizione delle tre fasce suddette con gli elementi a rischio, secondo le intersezioni indicative riportati nella matrice seguente tabella.

ELEMENTI A RISCHIO	FASCE DI INONDABILITA'		
	200 < T ≤ 500 fascia C	50 < T ≤ 200 fascia B	T ≤ 50 fascia A
E0	R ₀	R ₁	R ₁
E1	R ₁	R ₂	R ₃
E2	R ₂	R ₃	R ₄
E3	R ₂	R ₄	R ₄

Tabella 1 - Matrice per la definizione del Rischio

Tra le aree a rischio è stata inserita una ulteriore fascia (denominata "a*") che proviene dalla carta delle aree storicamente esondate; tale fascia è relativa a quei tratti di torrente non indagati che sono stati oggetto di esondazioni e per i quali, allo stato attuale, non sussistono verifiche idrauliche in grado di confermare o smentire le insufficienze idrauliche registrate. Ai fini normativi tali fasce presentano lo stesso grado di pericolosità delle fasce "a".

All'interno della carta del rischio sono stati individuati altri tipo di rischio non derivanti dalla carta delle fasce fluviali, ma da valutazioni basate sulle condizioni morfologiche degli alvei in correlazioni con le strutture antropiche presenti in zona. Sono i cosiddetti rischi puntuali non cartografabili e sono riferiti alla possibilità di occlusione di ponti, passerelle, guadi, tombini e conseguente pericolo di crollo della struttura o di esondazione, oppure legati alla stabilità delle sponde. Tali "pericolosità" associate alla presenza di strutture antropiche nelle immediate vicinanze ha portato alla formulazione di un rischio che, prescindendo dal mero rischio idraulico derivante da calcoli matematici di verifica degli alvei, completa, in una visione qualitativa generale, il panorama delle probabili criticità del bacino.

In Figura 1 viene riportato uno stralcio che include l'asta fluviale del torrente Evigno, della "Carta delle aree inondabili ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni sulla base della modellistica di maggior dettaglio" (tav.13a_2),

tratta dal Piano di Bacino dei torrenti ricadenti nell'ambito n.7 Dianese (Autorità di Bacino di rilievo regionale – Provincia di Imperia).

Nella Carta vengono riportate:

- Con colorazione rossa le aree inondabili con tempo di ritorno di 50 anni;
- Con colorazione gialla le aree inondabili con tempo di ritorno di 200 anni;
- Con colorazione verde le aree inondabili con tempo di ritorno di 500 anni.

Si nota che l'intervento è localizzato in un tratto di torrente nel quale non sussistono condizioni di rischio idraulico. Poco a valle del punto in cui è prevista la realizzazione del ponte, il torrente presenta una situazione di rischio giudicata elevata in destra idrografica e media in sinistra. Procedendo ancora verso valle il livello della pericolosità aumenta. Tale situazione è facilmente interpretabile, e peraltro comune ai torrenti che attraversamento i territori limitrofi, con la tendenza degli alvei ad aumentare la pericolosità di esondazione precedendo verso il mare a causa della diminuzione della pendenza concomitante alla chiusura del bacino dove si raggiungono le massime portate al colmo.

In Figura 2 viene riportato, invece, uno stralcio della tavola n. 17 “*Carta degli interventi*” del Piano di Bacino; da questa si può dedurre che il Piano di Bacino propone, per tutto il tratto del torrente Evigno prossimo alla foce, un intervento di sistemazione idraulica dell'alveo, comprensivo di rettifica del fondo e delle arginature. L'intervento, indicato con la dicitura “IB”, è considerato di priorità elevata per l'arginatura destra e secondaria per l'arginatura sinistra.

Lo stesso intervento previsto dal presente progetto rientra nella pianificazione degli interventi mirati a ridurre le condizioni di rischio idraulico (dicitura “IC”).

La dicitura “idro_n” dentro il cerchio azzurro indica la prevista installazione di un idrometro come interventi per il monitoraggio del corso d'acqua.

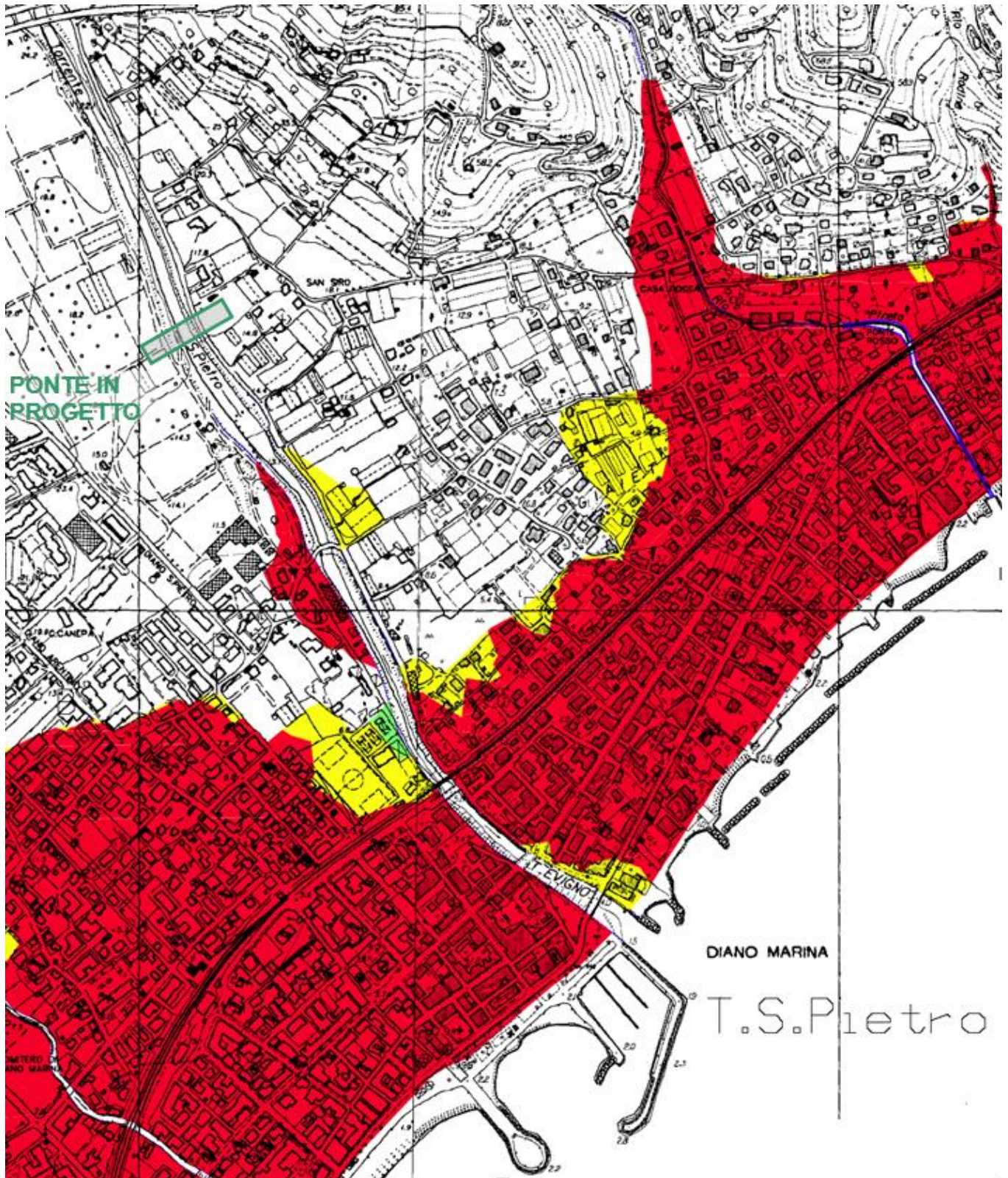


Figura 1 - Carta delle aree inondabili (Piano di Bacino "ambito n.7 Dianese")

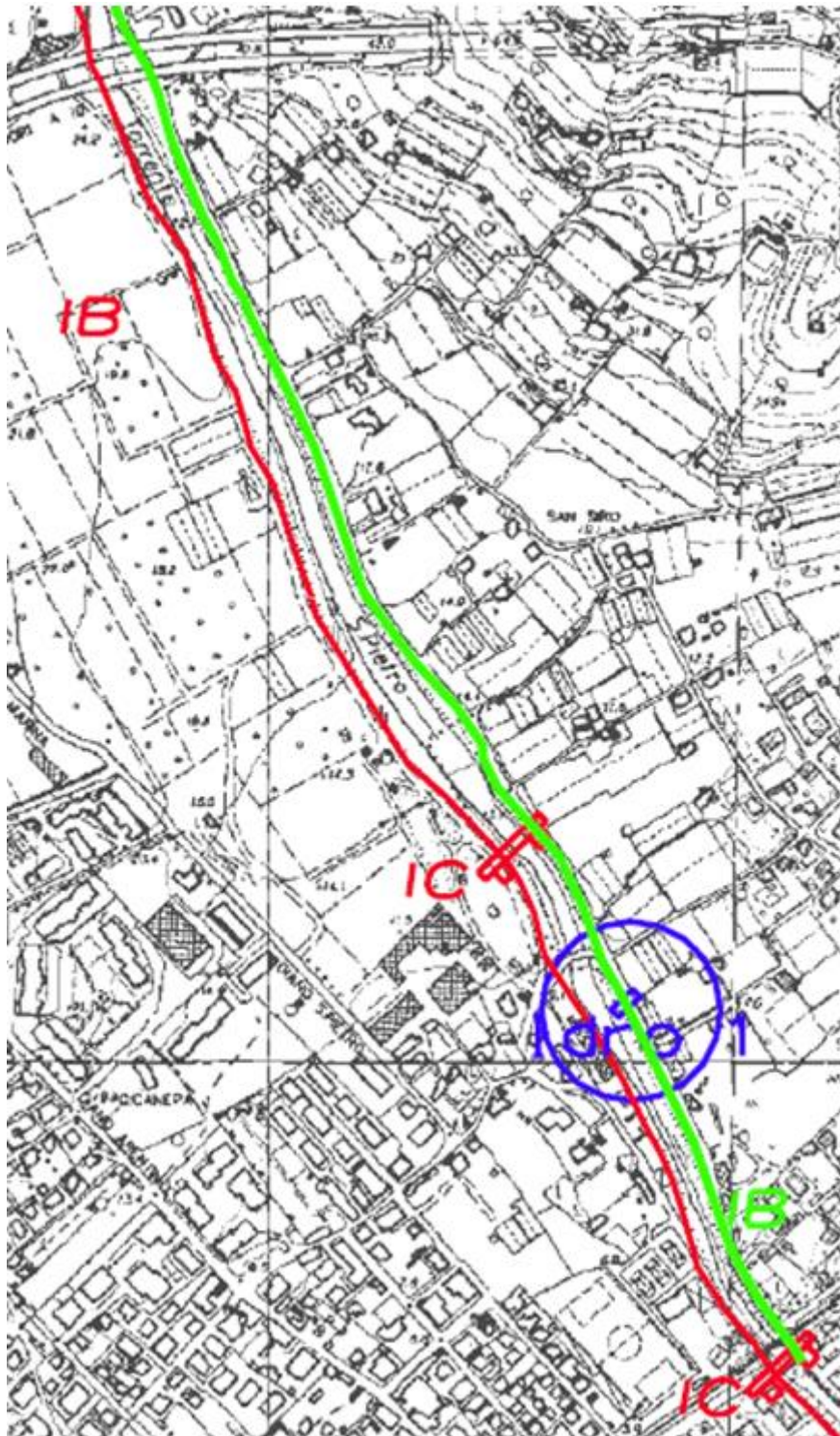


Figura 2 - Carta degli interventi (Piano di Bacino “ambito n.7 Dianese”)

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

2.3.2 Norme di attuazione

Le condizioni d'uso del suolo e le prescrizioni da osservare nella fase di progettazione di infrastrutture o di strutture di difesa idraulica all'interno delle aree a rischio inondazione sono riportate nelle Norme di Attuazione (NdA) del Piano di Bacino. Il primo passo per la lettura delle NdA è quello di individuare il "regime normativo", la cui definizione è riportata nell'art. 8 delle NdA, nel quale rientra l'area o il tratto fluviale oggetto della localizzazione degli interventi.

Riassumendo le NdA suddividono il territorio in 3 aree:

- a. **MODIFICABILITÀ (MO)**, dove risultano assenti situazioni di rischio e sono possibili interventi, anche di tipo insediativo, sull'attuale assetto del territorio;
- b. **MANTENIMENTO (MA)**, per le quali sebbene non sussistano situazioni di rischio, non si hanno nemmeno margini di sicurezza e la norma consente interventi di utilizzazione del territorio, anche di tipo insediativo, nel rispetto delle norme specifiche del Piano;
- c. **TRASFORMAZIONE (TRZ)**, dove si incontrano situazioni di elevata pericolosità, e risulta necessario, al fine di ricondurre l'attuale situazione di rischio alto a condizioni di rischio accettabile, intervenire sull'assetto attuale del territorio, anche di tipo insediativo, mediante interventi strutturali e non strutturali.

In particolare per le aree soggette a rischio di esondazione (AIN-TRZ) il comma 5 dell'art. 9 (Indirizzi di carattere tecnico e procedurale) stabilisce la validità dei seguenti indirizzi:

- a. l'autorità competente in materia di polizia idraulica autorizza gli interventi, la cui realizzazione comporta una riduzione delle situazioni di rischio esistenti, corredati da progetti di sistemazione idraulica complessiva;
- b. qualora si tratti di interventi interessanti i corsi d'acqua (ad es. attraversamenti, ponti, coperture, manufatti per derivazioni d'acqua, ecc.) i progetti relativi devono essere corredati da apposite verifiche idrauliche, atte ad individuare l'adeguatezza delle sezioni idrauliche esistenti e di progetto.

Per quanto riguarda il contenuto degli studi idraulici, il comma 7 dello stesso articolo stabilisce che: *"gli indirizzi di carattere tecnico ed i requisiti minimi degli studi idraulici relativi a progetti di sistemazione idraulica, a richieste di autorizzazioni idrauliche, ad indagini relative alle fasce di rispetto per zone non studiate nel piano, sono riportati negli allegati."*

Per quanto riguarda le verifiche idrauliche è di particolare interesse l'art. 15 delle Norme di Attuazione che riportiamo integralmente.

Art 15 Portata di piena di progetto

1. La portata di piena da assumere nella progettazione relativa ad opere strutturali e non strutturali è quella con tempo di ritorno duecentennale (T200), indicata nell'allegato 3. L'Autorità competente, su conforme parere del Comitato Tecnico Provinciale, può procedere a modifiche di detto valore di portata in considerazione di nuove evidenze scientifiche o di studi idrologici più dettagliati.

2. L'Autorità competente in materia di polizia idraulica, previo parere del Comitato Tecnico Provinciale, a seguito della presentazione, a cura dell'interessato, di adeguata documentazione tecnica, che giustifichi le scelte compiute

ed indichi gli effetti relativi alle opere progettate ed al livello di rischio, che interessa il territorio sul quale si interviene, rilascia le autorizzazioni in deroga al valore indicato al comma 1 in presenza di:

a) interventi che hanno raggiunto una fase realizzativa intermedia, coerente con il quadro sistematorio previsto nel presente piano;

b) interventi che concorrono a migliorare il deflusso delle piene, riducano significativamente il rischio di inondazione, e non pregiudichino una soluzione definitiva, qualora venga dimostrata l'impossibilità di prevedere a breve/medio termine opere tali da riportare il rischio di inondazione.

3. Nelle sezioni dei corsi d'acqua ove il Piano non indica il valore della portata di piena duecentennale, si applica il valore individuato nella prima sezione immediatamente a valle di quella considerata lungo lo stesso tratto di asta fluviale ovvero, nei casi in cui tali sezioni risultino troppo distanziate, il valore calcolato secondo quanto indicato all'allegato 3 con riferimento al bacino effettivamente sotteso.

4. Per i corsi d'acqua minori nonché per gli affluenti dei torrenti principali con bacino inferiore a 2 Km², ove non specificatamente indicata nel presente Piano, si assume una portata massima, calcolata utilizzando un contributo unitario pari a m³/s 40 per ogni chilometro quadrato di superficie del bacino sotteso.

5. Gli indirizzi di carattere tecnico ed i requisiti minimi degli studi idraulici relativi a progetti di sistemazione idraulica, a richieste di autorizzazioni idrauliche, ad indagini relative alle fasce di rispetto per zone non studiate nel Piano, nonché i franchi di sicurezza minimi da osservare sono riportati nell'allegato 2.

L'allegato n.2 richiamato dall'art. 15 delle N.d.A. indica i contenuti delle relazioni idrauliche redatte al fine della progettazione e della verifica di opere. Per quanto riguarda la metodologia di analisi idraulica, si evince che, di norma, ed in particolare nel caso della progettazione e della verifica di opere, può essere impiegato lo schema di corrente monodimensionale in condizioni di moto permanente, salvi i casi in cui sia necessario determinare valori locali della velocità della corrente o modificazioni della capacità di laminazione, o salvo specifiche indicazioni della Provincia.

Negli studi connessi alla progettazione di opere i calcoli idraulici per la definizione della condizione di deflusso vanno condotti con riferimento alle condizioni antecedenti (ante operam) e successive (post operam) alla realizzazione dell'opera nella configurazione definitiva; vanno esaminate le condizioni di deflusso relative alle fasi intermedie di realizzazione dell'opera nel caso in cui le stesse aggravino il regolare deflusso rispetto alla fase finale.

Portate

L'allegato n.3 delle N.d.A. riportano le portate di piena da assumere nelle verifiche idrauliche delle opere in progetto, determinate nell'ambito degli "studi di dettaglio progettazione preliminare complessiva delle opere volte alla mitigazione del rischio nei tratti terminali dei rii dell'ambito n.7-Dianese" (ex D.G.R. 347/2002), condotto successivamente alla prima redazione del Piano.

Nell'ambito del sopraccitato studio idraulico, è stata seguita una differente metodologia nella determinazione delle portate di piena, mediante l'impiego di un modello afflussi – deflussi di tipo spazialmente distribuito indicato con la dicitura VAPI_ADD.

Si precisa che mentre la metodologia del Piano di Bacino aveva utilizzato, nel caso del torrente Evigno, la formula razionale, la linea segnalatrice espressa dal modello probabilistico di Gumbel ed un coefficiente di afflusso posto pari a 1, particolarmente cautelativo, la metodologia di stima ADD_VAPI ha utilizzato il modello afflussi-deflussi

distribuito, la linea segnalatrice espressa dal modello GEV, il coefficiente di afflusso definito dal metodo SCS_CN. Tale metodo è stato inoltre applicato a seguito di un'analisi dettagliate della morfologia dei bacini idrografici che ha portato ad alcune differenze tra i parametri morfometrici utilizzati nei calcoli. Per tale motivo i risultati ottenuti con il metodo VAPI_ADD vengono considerati maggiormente attendibili dei precedenti.

La sezione idrografica più prossima rispetto alla localizzazione dell'attraversamento in progetto è quella indicata con il codice SP25 nella "Carta delle sezioni delle portate" (tav. 27_A). Per tale sezione idrografica, che sottende un bacino idrografico di 17.45 Km², i valori delle portate di piena al variare del tempo di ritorno, sono le seguenti:

$$Q_{50} \text{ (m}^3\text{/s)} = 193,7$$

$$Q_{200} \text{ (m}^3\text{/s)} = 270,1$$

$$Q_{500} \text{ (m}^3\text{/s)} = 326,9$$

Scabrezza

Sempre nello stesso allegato, vengono fornite alcune raccomandazioni circa l'assunzione del parametro della scabrezza da utilizzare nelle valutazioni idrauliche condotte nell'ipotesi di moto permanente monodimensionale. Le raccomandazioni sottolineano l'importanza di considerare, oltre alla natura e alle condizioni dell'alveo e delle sponde, anche gli effetti delle macroresistenze dovute alla variabilità longitudinale della geometria o a possibili variazioni brusche del perimetro bagnato al crescere della portata.

Per i corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo, tra i quali è possibile far rientrare l'alveo del torrente Evigno nel tratto interessato, il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler consigliato deve essere compreso nel campo $KS = 30 \div 35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

Franco di sicurezza

Tutte le opere devono avere franchi adeguati, rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale.

Gli attraversamenti dei corsi d'acqua principali di luce maggiore ai 10 m, devono essere progettati considerando un franco di sicurezza il quale non deve mai essere assunto inferiore a 1.50÷2.00 m (all'esatta scelta del franco di sicurezza devono concorrere considerazioni sia relative alla tipologia di opera e alla sua rilevanza determinata anche in funzione della vulnerabilità delle zone limitrofe) e deve comunque risultare maggiore del carico cinetico della corrente.

E' facile dimostrare che, nel nostro caso, al fine della scelta del franco di sicurezza, il carico cinetico diviene significativo a partire da valori della velocità media della corrente di almeno 5.40 m/s; sotto di tale valore il carico cinetico risulta inferiore a 1.50 m.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

2.4 Obiettivi delle analisi idrauliche

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica del ponte stradale sul torrente Evigno – San Pietro in accordo a quanto indicato nelle normative e nei regolamenti vigenti.

Nello specifico, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le indicazioni riportate nelle Nuove NTC 2018 (e nella relativa circolare applicativa n.7/2019), nonché le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP, 2020).

In sintesi, con riferimento al MdP, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da tempo di ritorno $Tr = 200$ anni.

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

- Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:
 - non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;
 - non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.
- Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

“..... 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 di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena."

Nella relativa circolare applicativa n.7/ 2019, si asserisce inoltre:

"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."

3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

L'analisi idraulica è stata condotta nell'intento di valutare il regime idrometrico del corso d'acqua, con particolare riferimento al regime di piena, al fine di valutare la massima quota raggiungibile dalla corrente nel puto in cui si prevede la realizzazione dell'attraversamento stradale (analisi ante-operam), parametro indispensabile per il posizionamento dell'impalcato, nonché la modificazione di tale regime in conseguenza all'inserimento della struttura stessa (analisi post-operam).

Questa sarà realizzata con una sola campata seguendo il classico schema statico di trave su due appoggi. Dal punto di vista idraulico l'interferenza sarà quindi costituita dal potenziale restringimento dovuto alla presenza delle spalle di appoggio dell'impalcato mentre l'impalcato, dato che sarà realizzato a quota superiore alla massima piena, non costituirà alcuna interferenza.

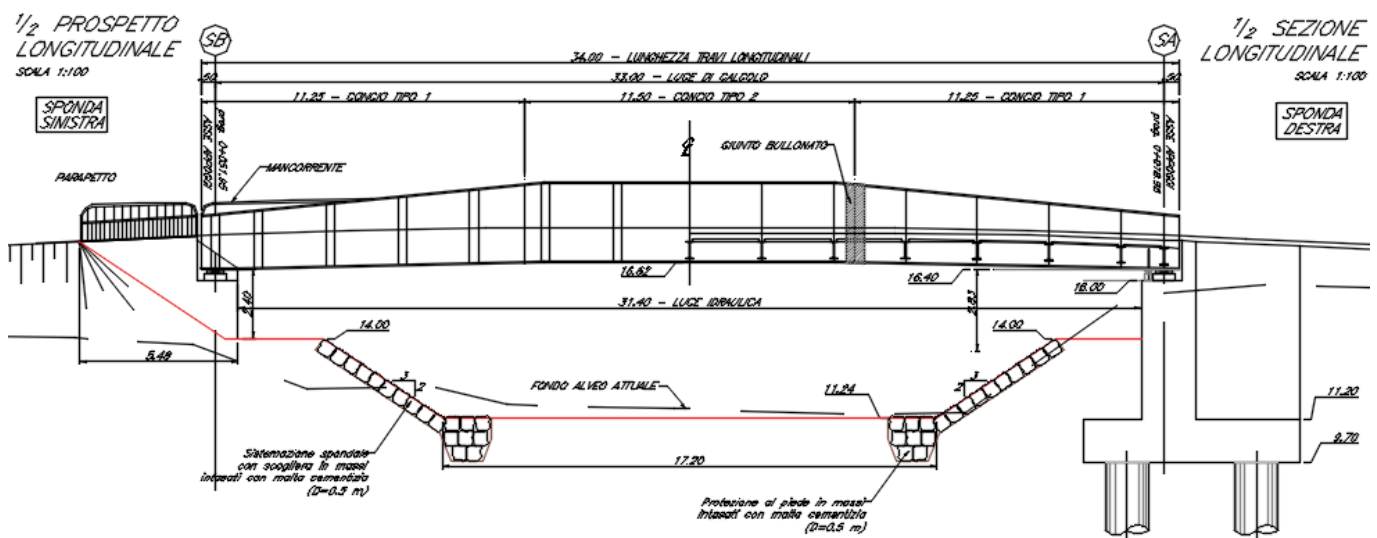


Figura 3 – Nuovo Ponte stradale sul torrente Evigno – San Pietro, sezione a monte del viadotto.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

3.1 Modello matematico utilizzato

La scelta del modello matematico utilizzato per la simulazione dei profili idrometrici del torrente Evigno si è basata sulle caratteristiche della corrente, conseguenza della conformazione morfologica appena descritta.

Considerando che i profili idrometrici di maggiore interesse ai fini del presente lavoro sono quelli che si instaurano in condizioni di piena, la corrente, presentando una direzione di flusso prevalente ben definita, può essere simulata applicando la teoria matematica che studia i profili idraulici in condizioni di moto unidimensionale ed in regime gradualmente variato.

Un modello che applica questi principi, molto conosciuto e collaudato grazie alle sue numerose applicazioni condotte a livello internazionale, è il modello HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), utilizzato in questo studio nella sua più recente versione n. 5.0.7 e del quale si riporta, in appendice A, una adeguata descrizione degli algoritmi di calcolo.

Per quanto riguarda l'effetto della variazione temporale della portata sui risultati ottenuti, ovvero la necessità di realizzare simulazioni in modo vario piuttosto che a moto permanente, occorre considerare che tali effetti possono risultare di entità significativa solamente nel caso di corsi d'acqua che scorrono con pendenze estremamente basse e presentano una notevole escursione di livello tra gli stati ordinario e di piena. Nel caso del torrente Evigno è certamente accettabile procedere con simulazioni a moto permanente. In ogni caso una simulazione a moto permanente restituisce risultati, in termini di livello idrometrici, superiori rispetto alle simulazione in moto vario e l'errore commesso va considerato a favore di sicurezza.

3.1.1 Modellazione numerica 1D in Hec-Ras

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello numerico monodimensionale sviluppato è Hec Ras 5.0.7.. Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato dal software mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo iterativo denominato 'standard step method'. Indicate con 1 e 2 rispettivamente le sezioni di valle e di monte (Figura 4), l'equazione dell'energia è espressa dalla seguente relazione:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

dove Y_1 , Y_2 sono i tiranti idrici di monte e di valle; Z_1 , Z_2 le quote topografiche; v_1 , v_2 le velocità medie (portata totale/area di flusso totale); α_1 , α_2 i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche o di Coriolis; g l'accelerazione di gravità; h_e la perdita di carico totale nel tratto.

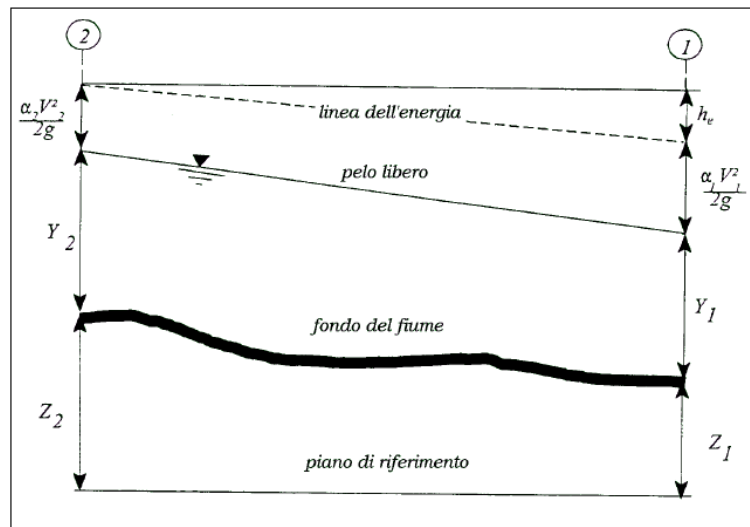


Figura 4– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.

Le perdite di energia compressive h_e tra le due sezioni sono dovute alle perdite distribuite per attrito ed a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

$$h_e = L\bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

dove L è la distanza tra le due sezioni; j è la perdita di carico media distribuita tra le due sezioni e C è il coefficiente che correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena, in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni. La distanza L tra le due sezioni è calcolata mediante la relazione:

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

in cui L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} sono le lunghezze del tratto relative all'area golenale sinistra, al canale principale e all'area golenale destra rispettivamente; \bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} sono le portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{j}$$

dove Q rappresenta la portata, A la sezione bagnata, R il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza secondo Manning. Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 5).

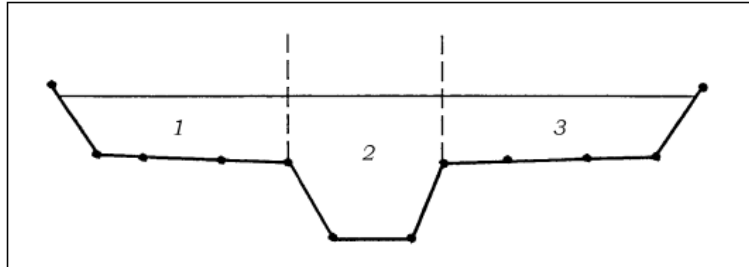


Figura 5–Sezione schematica di un corso d'acqua.

Con riferimento alla figura precedente, definito $K_i = Q_i / \sqrt{j}$ la capacità di portata di ogni singola parte i-esima in cui è stata suddivisa la sezione, in accordo alla formula di Manning, è:

$$\bar{j} = \left(\frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2$$

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che la portata di ogni singola area $Q_i = K_i * \sqrt{j}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale:

$$Q = \sum_i Q_i$$

Il programma HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare j ; in particolare:

- $\bar{j} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$ (*average conveyance equation*)
- $\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2}$ (*average friction slope equation*)
- $\bar{j} = \sqrt{j_1 \cdot j_2}$ (*geometric mean friction slope equation*)
- $\bar{j} = \frac{2j_1 \cdot j_2}{j_1 + j_2}$ (*harmonic mean friction slope equation*)

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, per quanto sia possibile adottare automaticamente la formula che meglio si adatta a ciascun tipo di profilo (corrente lenta o veloce). Calcolata la

capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a:

$$\sum_i Q_i^3 / A_i^2$$

e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3/A^2 .

Esprese le portate delle singole parti i-esime in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha_k = \left(\sum_{i=1}^3 \frac{K_i^3}{A_i^2} \right) \frac{\left(\sum_{i=1}^3 A_i \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^3 K_i \right)^3} \quad (k = 1, 2)$$

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia e i coefficienti di Coriolis α_k , l'equazione:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

associata all'equazione di continuità, permette di calcolare, mediante un procedimento iterativo, l'altezza idrica alla sezione di calcolo. La procedura è la seguente:

- 1) Si assume un valore di tentativo per il livello idrico sulla sezione di monte (o di valle nel caso in cui si ipotizzi una corrente di tipo veloce).
- 2) Si calcola il valore della capacità di portata totale $K = (\sum_{i=1, \dots, 3} K_i)$ e l'altezza cinetica per il livello di tentativo.
- 3) In base ai valori calcolati al passo 2, si calcola \bar{j} e si risolve, per il valore di h_e , la seguente equazione:

$$h_e = L \bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

- 4) Con i valori calcolati ai passi 2 e 3, si calcola $Y_2 + Z_2$ mediante la:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

- 5) Si confronta il valore calcolato $Y_2 + Z_2$ con quello di tentativo del passo 1.

Si ripetono i passi dall'1 al 5 fino a che i due valori non differiscono per meno di 0.003 m o di una soglia specificata dall'utente.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

3.2 Informazioni topografiche

Il modello matematico è stato implementato ricostruendo la geometria dell'alveo grazie ai rilievi topografici esistenti nel tratto di interesse. In particolare il rilievo ha riguardato un tratto della lunghezza di circa 2200 m che parte a monte della nuova stazione ferroviaria di Diano fino alla foce.

Sono state ricostruite 56 sezioni la cui restituzione è riportata negli elaborati specifici allegati più una serie di sezioni utili alla modellazione matematica in corrispondenza di singolarità dell'alveo (attraversamenti, guado).

3.3 Schematizzazione del corso d'acqua

L'andamento plano-altimetrico dell'alveo è stato inserito nel modello mediante l'introduzione delle 56 sezioni trasversali ottenute dai rilievi topografici, disposte con direzione esattamente perpendicolare alla linea di flusso della corrente.

Per i corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo, tra i quali è possibile far rientrare l'alveo del torrente Evigno nel tratto interessato, il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler consigliato deve essere compreso nel campo $K_s = 30 \div 35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Nel modello è stato assunto un coefficiente di Manning pari a 0.033 ($K_s = 30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$) sia per l'alveo centrale che per le fasce golenali che in realtà risultano quasi del tutto assenti nel caso dell'Evigno.

Oltre alle dissipazioni energetiche concentrate il modello calcola una ulteriore dissipazione dovuta alle irregolarità della sezione dell'alveo che produce brusche variazioni dell'energia cinetica posseduta dalla corrente. Queste dissipazioni vengono calcolate in proporzione all'entità della variazione di energia cinetica, con coefficienti posti pari a 0.1 per la rapida contrazione (moto irrotazionale), e pari a 0.3 per la rapida espansione (moto rotazionale).

Ulteriori punti di dissipazione energetica sono rappresentati dalla presenza di strutture interferenti con la corrente le quali danno origine a brusche variazioni di velocità e quindi possono essere assimilate a dissipazioni concentrate. Per il calcolo di queste dissipazioni il modello permette di scegliere tra numerose formulazioni di origine teorica o empirica, in funzione del tipo di ostacolo considerato (soglie, ponti, luci a battente, ecc.). Nel caso in esame questo tipo di calcolo si è reso necessario proprio per valutare gli effetti delle strutture esistenti degli attraversamenti.

Le condizioni al contorno fissate sono:

- Condizione di moto permanente;
- Portata, pari alla piena duecentennale: $Q=270 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Livello medio mare pari a 1.00 m nella sezione 54 – Foce;
- Pendenza pari a 0.014 m/m per la condizione di monte.

Si è impostato quale regime di corrente per la simulazione quello di corrente mista, ovvero lasciando la possibilità al modello di valutare in quali tratti è possibile che si instauri un regime di moto subcritico o supercritico.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

3.4 Implementazione del modello in condizioni post operam

Una volta introdotto nel modello l'andamento piano altimetrico dell'alveo nelle attuali condizioni, desunte dai rilievi topografici come descritto in precedenza, è stata implementata la geometria corrispondente allo stato di progetto, ovvero simulando la presenza dell'opera di attraversamento stradale. Oltre alla presenza della struttura, il progetto si completa con un intervento di sistemazione dell'alveo avente l'obiettivo di regolarizzare la sezione di deflusso nel tratto adiacente al ponte e di garantire adeguata protezione delle sponde al fine di evitare la possibilità di erosioni nell'intorno della spalle di appoggio.

In questa seconda configurazione modellistica, rappresentativa dello stato di progetto, le differenze rispetto allo stato di fatto sono pertanto così riassunte:

- presenza della struttura e del potenziale restringimento causato dalle spalle di appoggio;
- andamento piano altimetrico modificato nel tratto adiacente al ponte.

4 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI

Dopo aver implementato le due configurazioni geometriche corrispondenti allo stato di fatto (indicata nelle tabelle e nei grafici esportati dal modello con la dicitura SDF) ed allo stato di progetto (SDP) sono state eseguite le simulazioni associando a ciascuna di esse le medesime condizioni al contorno.

Si precisa ancora una volta che, ai fini del dimensionamento della struttura di attraversamento, i parametri idraulici di riferimento sono quelli corrispondenti allo scenario di piena con tempo di ritorno di 200 anni.

A seguito dei run preliminari per la calibrazione del modello, si è osservato che l'entità della campata del ponte in progetto è tale da consentire il deflusso della portata di piena duecentennale, all'interno della sezione di deflusso, senza interferenze con la struttura. A tal fine si è reso necessario regolarizzare l'andamento planimetrico e, soprattutto, altimetrico (livelletta di fondo alveo), per evitare l'insorgenza di dissipazioni di energia localizzate dovute alla presenza di materiale di sovralluvionamento, di vegetazione, di irregolarità nell'andamento della pendenza longitudinale.

I risultati delle simulazioni (profili idraulici e sezioni trasversali con indicato il livello di massima piena) sono stati riportati in dettaglio nelle tavole progettuali (IV0G00D09F7ID0002001A e IV0G00D09W9ID0002001A), in forma grafica.

Il confronto dei risultati ottenuti nella configurazione attuale e in quella di progetto, ha permesso di evidenziare due aspetti principali.

Il primo riguarda la capacità di deflusso del corso d'acqua che, nel tratto iniziale ed in prossimità del nuovo ponte stradale, sia a monte che a valle, appare sufficiente al contenimento della corrente che si instaura anche in occasione del passaggio di fenomeni di piena molto critici come quelli aventi frequenza di accadimento duecentenaria. Emergono, invece, fenomeni di esondazione nel tratto terminale. Dalle simulazioni emerge come il livello di piena non sia influenzato dal livello del mare ma le problematiche di insufficienza sono legate agli attraversamenti stradali. Maggiore criticità è individuata nei ponti stradali di Corso Roma e Via Purgatorio. Tale risultato conferma sostanzialmente quanto già ottenuto dall'Autorità di Bacino Regionale.

Il secondo riguarda gli effetti, in termini di modifica dell'attuale comportamento idrodinamico, a seguito della realizzazione dell'opera di attraversamento. La principale differenza riguarda l'andamento più regolare del profilo di piena conseguente all'intervento di regolarizzazione dell'alveo nei pressi della struttura in progetto. Data la pendenza longitudinale del torrente, la corrente assume un regime di moto rapido con numero di Froude non molto superiore al valore unitario. In tali circostanze le irregolarità presenti nel profilo longitudinale del fondo alveo causano brusche variazioni delle condizioni di deflusso che si traducono nella formazione di risalti idraulici, fonte di innalzamenti di livello e di turbolenze. Nella configurazione di progetto, la regolarizzazione della livelletta del fondo alveo, realizzata in un tratto comprensivo del ponte e che prosegue a monte ed a valle al fine di garantire un buon raccordo con il tratto torrentizio esistente, e le sistemazioni spondali, mantengono uno stato di moto rapido, che si mantiene più costante lungo l'intero tratto, evitando l'insorgenza di tali fenomeni.

La presenza delle spalle di sostegno dell'impalcato stradale non presenta interferenza con la corrente e pertanto non contribuisce a modificare ulteriormente i tiranti e le velocità.

In conclusione, nelle condizioni di progetto si instaura un profilo idrometrico di corrente supercritica, prossima ad uno stato di moto critico, che mantiene la velocità della corrente su valori molto più costanti.

In Figura 3 viene riportato uno stralcio, relativo al tratto limitrofo al ponte, del profilo idrometrico nelle condizioni ante e post operam. Nel profilo viene evidenziata la sagoma di ingombro del ponte e la quota di intradosso dell'impalcato che mantiene franco idraulico superiore ai 2.00 m. Il profilo completo viene riportato nell'elaborato grafico IV0G00D09F7Id0002001A "Profili idraulici - Ante Operam e Post Operam".

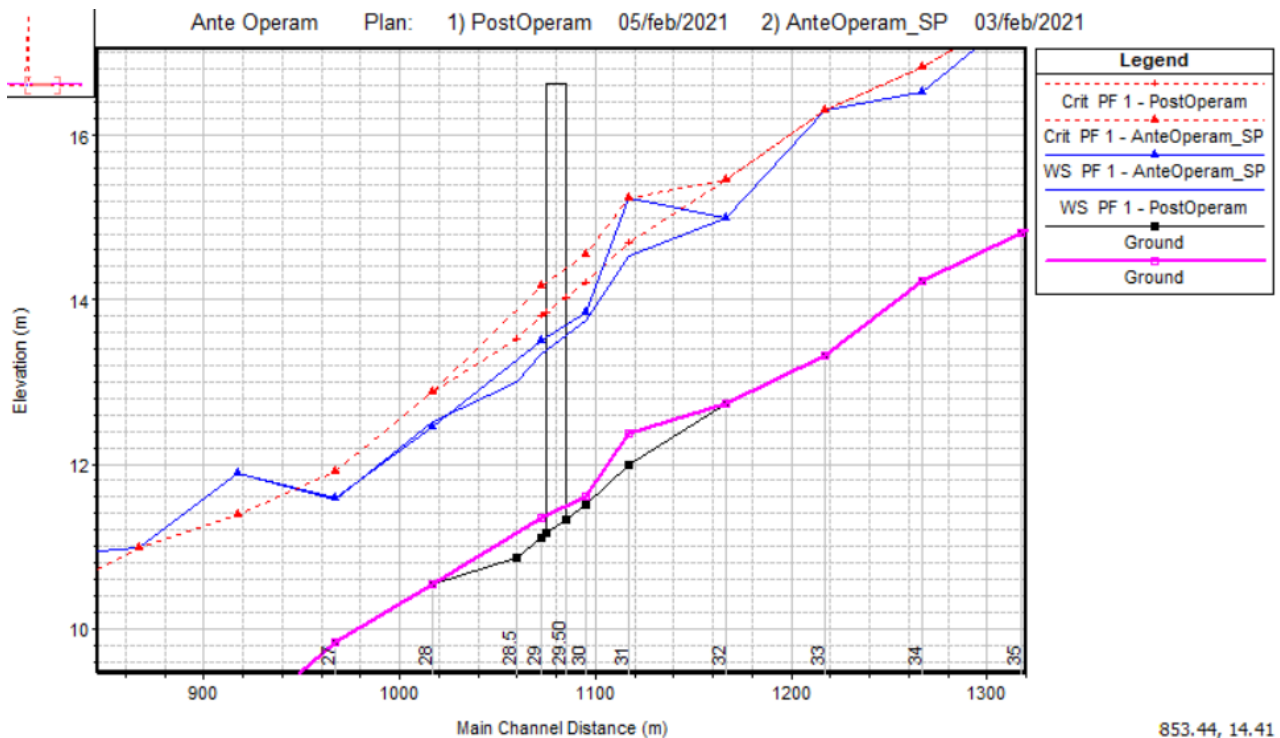


Figura 6 – Profilo Idrometrico ante e post-operam per Tr=200 anni

Il profilo longitudinale evidenzia anche l'estensione dell'intervento di risezionamento dell'alveo che produce una livelletta a pendenza regolare rispetto a quella più irregolare presente allo stato attuale. Si osservi le generale riduzione della quota idrometrica nelle condizioni post operam rispetto a quelle ante operam.

In Figura 7 viene riportata la sezione relativa al paramento di monte del ponte con indicato il livello raggiunto dalla corrente, sempre in condizioni di piena due centenaria, pari a **13.57 m s.l.m.**.

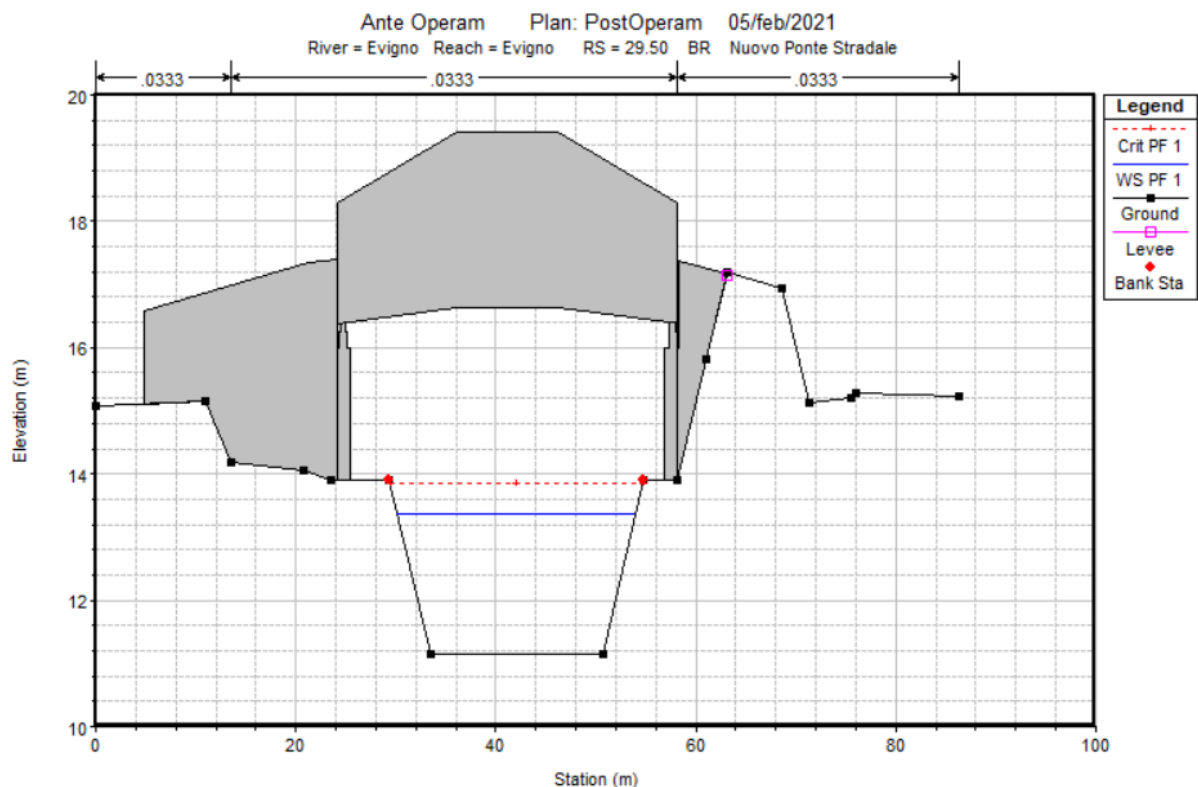


Figura 7 - Condizioni idrometriche in prossimità del ponte in progetto (Tr = 200 anni)

5 CONSIDERAZIONI SULLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

Gli allegati cartografici che accompagnano il "Piano di Bacino Stralcio" per la difesa idraulica ed idrogeologica, evidenziano come nel tratto dove sarà localizzato l'attraversamento del torrente Evigno, non sussistano condizioni di rischio idraulico conseguente alle esondazione del torrente.

Poco a valle sussiste invece il pericolo di sormonto arginale giudicato di livello elevato (tempo di ritorno di 50 anni), per quanto riguarda la destra idraulica, e medio (tempo di ritorno di 200 anni), per quanto riguarda le sinistra.

L'area non rientra tra gli ambiti soggetti ad un particolare "regime normativo" come stabilito dall'art. 8 delle NdA.

Il livello della piena duecentennale in corrispondenza del viadotto è pari a 13.57 m s.l.m., a fronte di una quota dell'impalcato pari a 16.62 m. s.l.m. in mezzeria e 16.40 m s.l.m. agli appoggi. Il carico idraulico totale è pari a 15.33 m s.l.m. Il franco idraulico dell'opera, è pari a 3.05 m rispetto al livello idrico e 1.29 m rispetto al carico idraulico totale, rispettando quindi tutti i limiti imposti dalle normative vigenti.

6 OPERE PROVVISORIALI

Il ponte non presenta opere di cantierizzazione in alveo. Si prevedono opere di contenimento per gli scavi di fondazione. È stata condotta quindi una verifica idraulica mediante modello monodimensionale, in configurazione di cantiere, delle opere provvisorie per un tempo di ritorno pari a 3 anni. La portata associata alla piena con tempo di ritorno di 3 anni è riportata in relazione idrologica ed è pari a 169.76 m³/s.

I livelli idrici si attestano ad una quota di circa 13.50 m s.l.m.; quindi le opere provvisorie saranno tali da garantire un franco di circa 1 m.

Per i particolari si rimanda all'elaborato specifico di dettaglio IV0G00D09PZNW0102001A.

7 SISTEMAZIONE DELL'ALVEO

Le sistemazioni idrauliche previste hanno lo scopo di garantire il corretto deflusso delle acque. In base ai risultati delle simulazioni di calcolo idraulico, riportati ai paragrafi precedenti, è stato possibile definire una sezione di deflusso in grado di convogliare tutta la portata di progetto; **le sponde di tale sistemazione saranno rivestite in pietrame per garantirne la stabilità.**

La verifica di stabilità degli interventi in progetto può essere condotta impiegando le formule della teoria di Shields per il moto incipiente delle particelle solide del materiale d'alveo, sottoposte all'azione della corrente idrica. La relazione di dipendenza dello sforzo tangenziale critico τ_{cr} dalle caratteristiche idrauliche della corrente è la seguente:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma_w) * d} = \theta_{cr} \quad (1)$$

Dove:

- θ_{cr} è funzione del numero di Reynolds e vale circa 0,06;
- γ_s e γ_w sono rispettivamente il peso specifico del sedimento e dell'acqua;
- d è il diametro medio delle particelle costituenti il materiale di rivestimento in mm.

Inoltre, nel caso si analizzino le condizioni inerenti allo sforzo tangenziale in prossimità della sponda di un corso d'acqua, E. Lane (1953) ha fornito una relazione di τ_{cr} che tiene in conto l'inclinazione della sponda ($\alpha \approx 34^\circ$) e l'angolo di attrito interno ϕ del materiale (41°):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \cdot \left[\cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{tg^2 \alpha}{tg^2 \phi}} \right] \quad (2)$$

Confrontando le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde con le tensioni tangenziali agenti, dalla relazione precedente è possibile esplicitare il diametro d in funzione dello sforzo tangenziale agente sulla generica sezione di interesse.

Il modello di calcolo fornisce lo sforzo tangenziale del canale principale "Shear Chan"; per tener conto della distribuzione delle tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde di una sezione trapezia, riportata nella sottostante Figura 8, tale valore è stato moltiplicato per un opportuno coefficiente pari a 0.75.

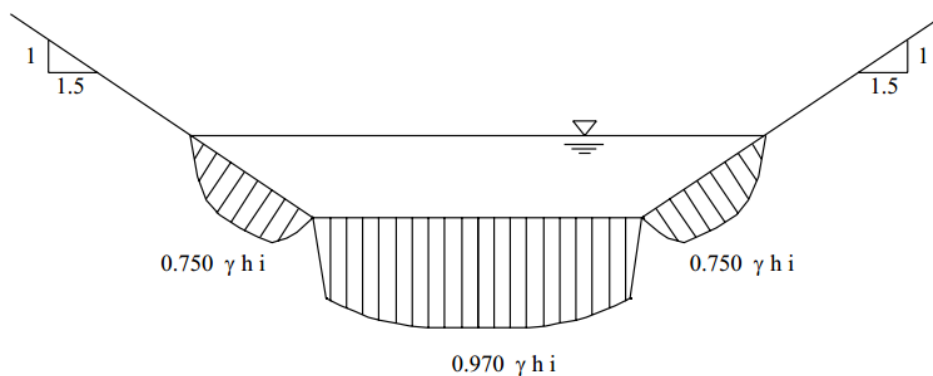


Figura 8 – Andamento delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia.

In definitiva, assunto per γ_s e γ_w dei valori pari rispettivamente a 26000 N/m³ (roccia silicea) e 10000 N/m³, il diametro medio del materiale di rivestimento calcolato con la (1) e la (2) risulta variabile tra 333 mm e 492 mm.

<i>River Station</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Shear Chan</i>	<i>0.75*Shear Chan</i>	<i>D_massi</i>
		(N/m ²)	(N/m ²)	[mm]
31	Sez. 25	223.37	167.53	333.48
30	Sez. 2	306.13	229.60	457.04
29.5	Bridge			
29	Sez. 3	311.31	233.48	464.77
28.5	Sez. EV 05	330.17	247.63	492.93

Tabella 2 – Dimensionamento del rivestimento spondale

La sistemazione viene quindi dimensionata in base al valore massimo dello sforzo tangenziale nel tratto di intervento; **si prevedono quindi dei rivestimenti spondali con massi di diametro 0.5 m.** Al fine di rendere la sistemazione più *stabile* nel tempo, per proteggere spalle e plinti di fondazione che pur non vengono in alcun modo interessati dalla corrente, si è deciso di intasare i massi con **malta cementizia**, lasciando a monte ed a valle delle porzioni di rivestimento spondale di transizione in massi sciolti che, più elastici, si adattano meglio agli assestamenti dovuti al trasporto idrico e solido.

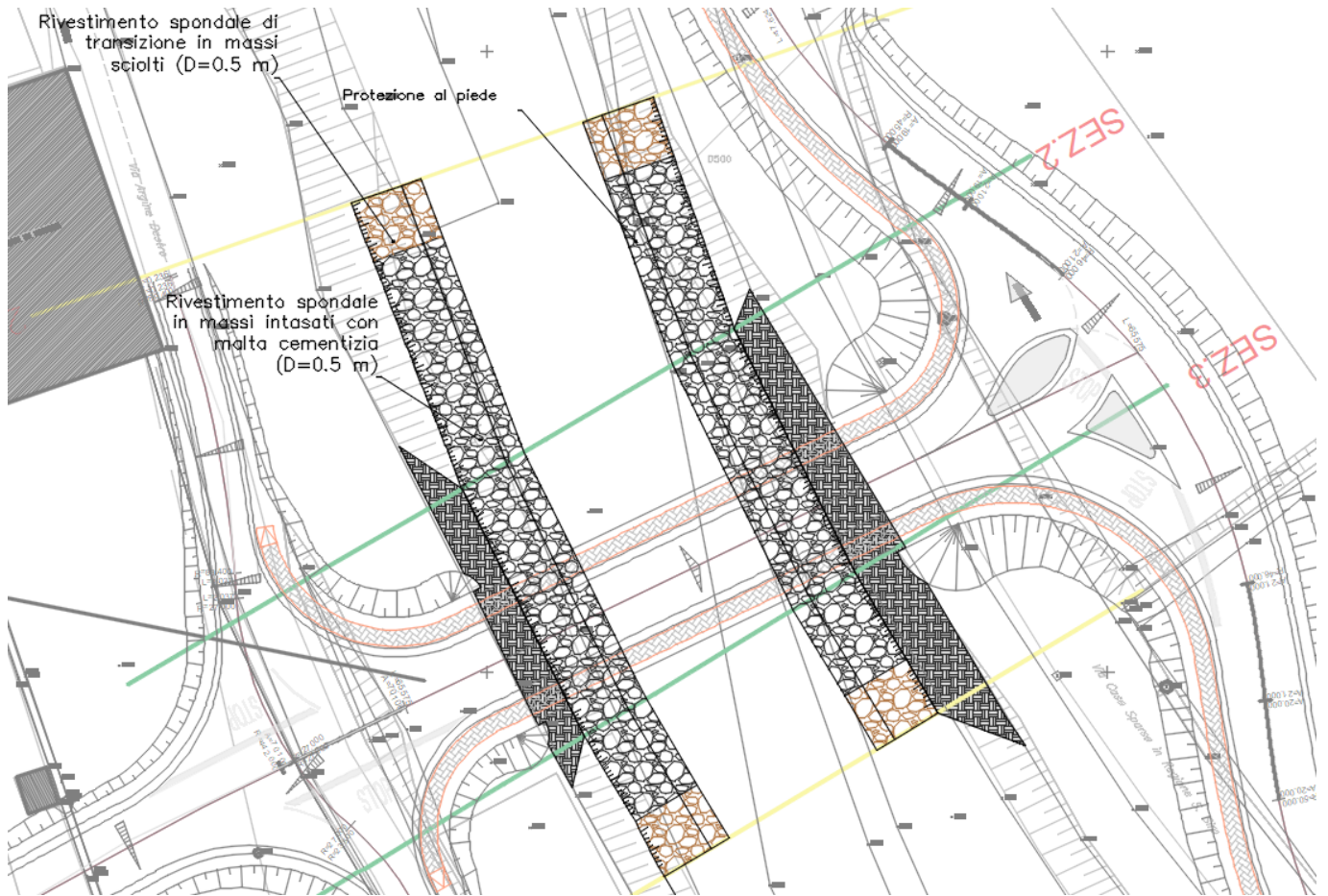


Figura 9 – Planimetria della sistemazione idraulica.

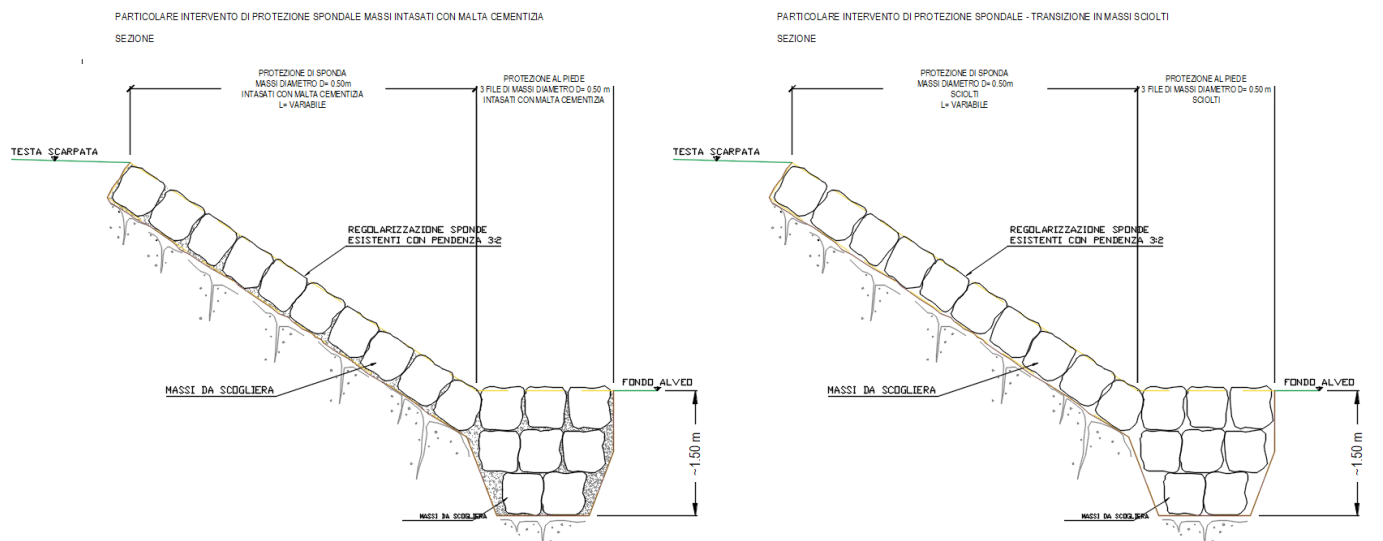


Figura 10 – Particolare in sezione della sistemazione idraulica.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA S. LORENZO - ANDORA PONTE STRADALE SUL TORRENTE EVIGNO					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica	COMMESSA IV0G	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 28 di 28

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

DM 2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni e relativa circolare esplicativa n.7/2019.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, 2002.

Manuale di Progettazione RFI, Sezione Corpo Stradale, 2020.

Ministero LL.PP., *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*, Pubblicazione n°17, Roma, 1980.

Piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico dell'Ambito di Bacino n°7 Dianese.

<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>

GNDCl, De Michele C. e Rosso R., *Rapporto sulla Valutazione delle Piene nell'Italia Nord Occidentale*, 2001

Viparelli C., *Ricostruzione dell'idrogramma di piena*, L'Energia Elettrica, 6, 421-428, 1963.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. February 2016 - U.S. Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources. Hydrologic Engineering Center.