



**PROLUNGAMENTO DELLA S.S. n°9 "TANGENZIALE NORD
di REGGIO EMILIA" NEL TRATTO DA S. PROSPERO
STRINATI A CORTE TEGGE**

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Gianfranco Sodero Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 5666 Y	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI Ing. Renato Del Prete	PROGETTISTA Ing. Gabriele Incecchi (E&G S.r.l.)
			PROGETTAZIONE STRADALE Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)	PROGETTAZIONE IDRAULICA Ing. Vittorio Ranieri (Uning)
 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 E&G Engineering & Graphics S.r.l. Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI Ing. Gianfranco Sodero (Studio Corona S.r.l.)	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI Ing. Giampiero Martino (E&G S.r.l.)
			COMPUTI Ing. Valerio Bajetti (I.T. Ingegneria)	CANTIERISTICA Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)
 Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	ECOPLAN Società di Ingegneria e Architettura Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. Via Indipendenza 10 - 70129 Bari Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	GEOLOGIA Dott. Danilo Gallo	GEOTECNICA Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)
			AMBIENTE Dott. Emilio Macchitelli (ECOPLAN S.r.l.)	SICUREZZA Prof. ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Anna NOSARI	INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Ing. Renato DEL PRETE	PROGETTISTA  Ing. Gabriele INCECCHI	GEOLOGO  Dott. Danilo GALLO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  Prof. ing. Luigi MONTERISI
--	--	--	---	---

FA 003		F - PROGETTO IDRAULICO			
		FA - RELAZIONI			
		Relazione idraulica Torrente Crostolo			
CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. ANNO COBO E 1701		T00ID00IDRRE01.dwg		C	
		CODICE ELAB. T00ID00IDRRE03		C	
C	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA INTERNA ANAS	DICEMBRE 2018	ING. PEZZULLA	ING. INCECCHI	ING. BAJETTI
B	EMISSIONE A SEGUITO DI RAPPORTO INTERMEDIO DI VERIFICA	OTTOBRE 2018	ING. PEZZULLA	ING. INCECCHI	ING. BAJETTI
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2018	ING. PEZZULLA	ING. INCECCHI	ING. BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

I N D I C E

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
2.1 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	4
2.2 ASPETTI IDROLOGICI	5
2.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)	6
3. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO	8
4. VERIFICHE IDRAULICHE	9
4.1 L'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE	9
4.2 VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO/STATO DI PROGETTO	9
Verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento	10
Valutazione della compatibilità idraulica	11
4.3 VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA IN PRESENZA DI OPERE PROVVISORIALI	17
Individuazione dei livelli idrometrici	17
Fasi esecutive di cantierizzazione	23
Considerazioni conclusive	25
4.4 VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO E DEI FENOMENI EROSIVI GENERALIZZATI E LOCALIZZATI NEL TRATTO INTERESSATO DALL'OPERA	25
5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	30
6. SOTTOSERVIZI E INFRASTRUTTURE ESISTENTI	31
7. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI	32
8. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL DECRETO DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE VIA	34
9. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALL' OSSERVAZIONE N. E11IIE3 DEI REVISORI DEL PROGETTO ESECUTIVO	37
10. ANALISI DELL'AZIONE EROSIVA SULLE SPONDE E SUL FONDO	38

1. PREMESSA

La presente relazione costituisce integrazione alla Relazione 7.1 del progetto definitivo (Relazione idrologico e idraulica: gestione delle interferenze idrauliche) in ottemperanza alle osservazioni riportate nel parere del Consiglio Superiore Lavori Pubblici (CSLLPP) ed alle osservazioni riportate nel Decreto di Compatibilità ambientale VIA numero di registrazione 0000102 del 27/04/2016; in particolare, gli aggiornamenti introdotti nel progetto esecutivo e descritti nella presente relazione sono stati definiti sulla base di sopralluoghi presso le aree oggetto di intervento ed interlocuzione con gli enti preposti ed in particolare con l'Agenzia interregionale del Fiume Po (AIPO) preposta dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po (ADBPO) e del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale; pertanto a seguito di riunione con ANAS, si è convenuto di aggiornare in fase esecutiva il progetto definitivo in merito alle seguenti osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici e nel Decreto di Compatibilità ambientale VIA:

Osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici:

- 1) ".....Al fine di scongiurare tale pericolo le difese spondali devono essere adeguatamente intestate a campagna all'inizio e al termine delle stesse; inoltre per la loro protezione al piede (berma) deve essere previsto un approfondimento non inferiore a 2.5 m rispetto la quota di talweg";
- 2) "...solleva non poche perplessità il fatto che, in corrispondenza del nuovo ponte, sia presente un attraversamento in subalveo della tubazione a scopo irriguo Cavazzoli-Roncocesi, protetta con una baulatura in calcestruzzo il cui estradosso viene in pratica a coincidere con la quota di talweg del torrente. Si ricorda al proposito che per attraversamenti fluviali in subalveo, la distanza fra l'estradosso dell'attraversamento e la quota naturale di talweg deve essere di norma non inferiore a 2.50 m. Una qualsiasi evoluzione morfologica che metta allo scoperto il manufatto trasformerebbe di fatto lo stesso in una soglia, con la certezza di rilevanti fenomeni erosivi localizzati immediatamente a valle.";
- 3) "...Inoltre l'attraversamento della tubazione Cavazzoli-Roncocesi viene ad interferire con il piede della scogliera posta a difesa dalla sponda e le fondazioni delle spalle del ponte, che, di necessità, "sono state progettate con la tecnica dei diaframmi scatolari, prevedendo un'interruzione degli stessi in corrispondenza della condotta".
- 4) "In conseguenza alle non banali interazioni con le opere in progetto e all'elevata condizione di rischio indotta dalla presenza della condotta irrigua Cavazzoli-Roncocesi, risulta indispensabile provvedere ad un adeguato approfondimento, valutandone anche un opportuno dislocamento planimetrico, dell'esistente attraversamento con botte a sifone, operazione da sviluppare nelle pertinenti fasi progettuali e, comunque, prima dell'avvio delle procedure per la scelta del contraente.....";

Osservazioni del Decreto di Compatibilità ambientale VIA:

- 5) "...l'infrastruttura non deve aumentare il rischio di esondazione, anche per rotte arginali, deve quindi essere garantito il deflusso delle acque al fine di non aumentare il rischio per la popolazione".
- 6) "...dovrà essere posta, in fase di progettazione esecutiva, particolare attenzione alle realizzazioni da effettuarsi in corrispondenza dei corsi d'acqua, al riguardo gli interventi dovranno recepire le indicazioni dell'Autorità idraulica competente, vale a dire dell'AIPO o della Regione Emilia Romagna per il tramite dei Consorzi di bonifica, ed in particolare delle aree tutelate, al fine di limitarne le interferenze;" A tal proposito le osservazioni del Consorzio di bonifica riportano:
"Tubazione Irrigua Cavazzoli-Roncocesi: Si precisa che il pozzetto 8a e il pozzettone 9a dovranno avere posizioni accessibili e dovranno essere ispezionabili, sarebbe auspicabile il posizionamento sulla nuova pista di servizio in progetto. Inoltre il pozzetto 8° dovrà avere le stesse dotazioni del pozzetto n. 9 esistente da demolire: paratoia manovrabile e chiusino in ghisa a tenuta idraulica. Si richiede la presentazione di una tavola di dettaglio che rappresenti a scala adeguata la deviazione della condotta e i suoi manufatti."

Osservazione n. E11IIE3 (secondo quesito) dei revisori del progetto esecutivo:

- 7) "mancano negli elaborati progettuali giustificazioni volte ad escludere l'interazione tra le opere in progetto e l'instaurarsi di un eventuale tirante idrico conseguente alle condizioni previste nelle planimetrie citate con riferimento a:

2a) pila di transizione del viadotto Crostolo

2b) rilevati

2c) sottovia"

Nel seguito nei paragrafi 2-6 si riporta la relazione idrologico e idraulica del progetto definitivo, rivista sulla base degli aggiornamenti effettuati nel progetto esecutivo; invece nel paragrafo 7 si riportano le integrazioni/note di chiarimenti relative ai punti 1-2-3 e 4 delle osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici, nel paragrafo 8 si riportano le integrazioni relative alle osservazioni n. 5 e 6 del VIA; nel paragrafo 9 si riportano le integrazioni relative all'osservazione n. E11IISE3 dei revisori. Infine, nel paragrafo 10 si riporta la verifica all'erosione per trascinamento e rotolamento, in corrispondenza di una sezione a monte dell'attraversamento del Crostolo, considerando i rivestimenti con pezzatura pari a 1000kg-3000kg conformemente agli altri due corsi d'acqua principali Modolena e Quaresimo per i quali vi è esplicita richiesta del Consorzio di Bonifica Dell'Emilia Centrale.

Si precisa che la posa (integrazione) di massi ciclopici in corrispondenza dell'interferenza con la strada in progetto, deriva dalle prescrizioni del Consorzio di Bonifica e del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; in particolare tale intervento non modifica la geometria della sezione e riguarda tratti che comunque risultano limitati rispetto all'estensione del tratto di corso d'acqua analizzato. Tale variazione risulta sicuramente ininfluente dal punto di vista idraulico; infatti la sua influenza è ampiamente ricompresa nelle normali approssimazioni della modellazione. Inoltre, occorre precisare che la tipologia del masso ciclopico è tale da non determinare aumento della scabrezza locale rispetto alla condizione attuale.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Torrente Crostolo è un corso d'acqua di competenza gestionale dell'Agenzia Interregionale per il Fiume Po (AIPO), che viene attraversato dalla tangenziale immediatamente a valle dell'esistente ponte della linea Ferroviaria Milano-Bologna, nell'area ricompresa tra centro industriale di Sesso e di Pieve Modolena, a ridosso del centro urbano del Comune di Reggio Emilia. L'interferenza ricade nel tratto iniziale del prolungamento del tracciato stradale, tra le sezioni stradali 22 e 23. In questo tratto il corso d'acqua ha ormai perso la sua forma anastomizzata ed è diventato monocorsuale, ben inciso e delimitato da ambo le parti da argini di seconda categoria, che, nel tratto di attraversamento, sono appena accennati e collegati con le aree retrostanti da dolci declivi (Figura 1).



FIGURA 1 - TORRENTE CROSTOLO POCO A VALLE DELL'ATTRAVERSAMENTO IN PROGETTO

2.1 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il bacino del Crostolo (Figura 2) ha una superficie complessiva di circa 550 Km² (0.8% della superficie complessiva del bacino del Po), il cui 24% ricade in ambito montano. Il reticolo idrografico è tipico dell'area collinare e di pianura ai piedi dell'Appennino; oltre all'asta principale, di lunghezza modesta, il reticolo secondario è costituito da corsi d'acqua di modeste dimensioni e scarsa pendenza, frammisto al reticolo artificiale di bonifica.

Il torrente Crostolo nasce sull'Appennino emiliano in località Casina a circa 550 m s.m.; il suo corso si sviluppa circa a ridosso della SS 63 e, dopo aver attraversato Reggio Emilia, prosegue con andamento nord-est immettendosi nel fiume Po presso Guastalla, dopo un percorso di circa 55 Km.

Anticamente il corso d'acqua, dopo Reggio Emilia, sfociava nel Secchia; cambiò il suo corso all'inizio del decimo secolo; fu arginato nella seconda metà del '500 all'epoca delle grandi opere idrauliche realizzate dai Bentivoglio.

Il Crostolo attraversa aree di collina e pianura fortemente antropizzate e riceve numerosi affluenti, che si distendono a ventaglio nella fascia di alta pianura, di cui i più importanti sono:

- i torrenti montani Fiumicello e Campola, in sinistra, e Cesolla Vendina, in destra;
- il torrente Modolena, che nasce nel comune di Quattro Castella, passa sotto la rupe del castello di Canossa e si immette in Crostolo in sinistra, nei pressi della località di Begarola, nel comune di Cadelbosco Sopra;
- il Cavo Cava, canale di bonifica costruito nel 1579, che si immette in Crostolo poco a valle di S. Savino;
- il torrente Rodano, che nasce nel comune di Reggio Emilia, non affluisce direttamente in Crostolo ma attraverso il Canalazzo Tassone (costruito nel 1565, che riceve gli scoli della città di Reggio Emilia e delle acque provenienti da monte) in località Santa Vittoria.

In località Torrione il torrente Crostolo viene sottopassato, mediante un'opera idraulica denominata la "gran botte", dal Cavo Fiuma Parmigiana-Moglia, canale irriguo che adduce portata dal Po (presso Boretto) fino al Secchia.

Il torrente Crostolo sviluppa il proprio bacino nella fascia collinare dell'Appennino reggiano, fra l'Enza e il Secchia. La struttura geomorfologica dell'area rispecchia i caratteri dominanti di tutto il basso Appennino settentrionale: le rocce affioranti sono di origine sedimentata marina; ciononostante accanto a sedimenti relativamente recenti, si rinvengono rocce molto più antiche, formatesi in seguito a fenomeni geologici molto distanti tra loro nel tempo. L'affioramento roccioso prevalente è comunque quello delle "argille scagliose", pressoché prive di copertura vegetazionale e

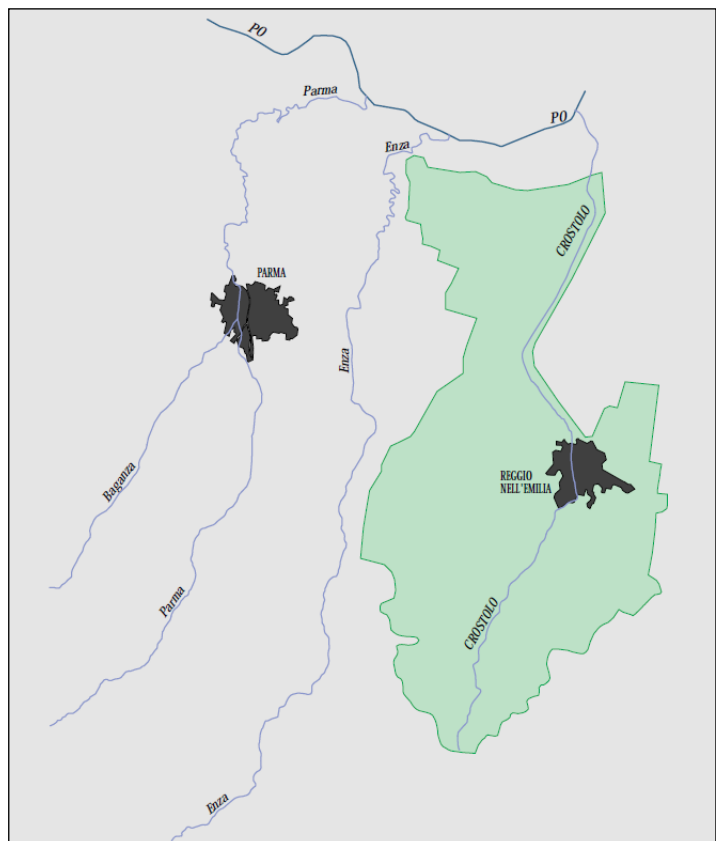


FIGURA 2 - BACINO IMBRIFERO DEL TORRENTE CROSTOLO

caratterizzate dalla presenza di calanchi, di frane e di dissesti diffusi.

Il bacino del torrente Crostolo può essere suddiviso in tre fasce. Nella prima il torrente scorre all'interno di litoidi sedimentari con frequenti discontinuità per stratificazione o scistosità. Il suo corso, fino a Vezzano sul Crostolo, è interessato da affioramenti come alternanze di litoidi eterogenei a diverso comportamento meccanico, rocce tenere prevalentemente incoerenti e complessi strutturali caotici e tettonizzati. In subordine è possibile trovare affioramenti di depositi eterogenei e di versante e di trasporto torrentizio. La seconda fascia, fino a Reggio Emilia è interessata da depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni. La fascia di pianura è caratterizzata dalle alluvioni quaternarie fluviali e fluvio-glaciali, che peraltro fiancheggiano i principali corsi d'acqua del bacino idrografico.

Tra le aree di interesse naturalistico presenti nel bacino si cita il biotopo di rilevanza naturalistica Crostolina di Guastalla, situato alla confluenza del Crostolo nel Po, a valle di Guastalla; un ambito ripariale e fluviale con presenza di piccole zone umide come canali, prati allagati, stagni. La vegetazione è caratterizzata dal pioppo bianco e dal salice bianco; tra le specie acquatiche vi è la rara castagna d'acqua, mentre nei prati umidi sono segnalate, tra le altre le rare campanelle maggiori, il brignolo ovato, la graziella. Presenti anche lembi di pioppeto industriale e numerose specie introdotte. L'area è un sito di rilevanza ornitologica per la presenza della più consistente colonia di nitticore della regione inoltre, sono segnalati il martin pescatore e l'averla piccola.

A nord dell'abitato di Novellara, è sito il biotopo di rilevanza naturalistica "Valli di Novellara", area caratterizzata da morfologia depressa che favorisce l'accumulo d'acqua.

A est dell'abitato di Viano si estende il biotopo di interesse floristico vegetazionale "Ca' del Vento, Ca' del Lupo, Gessi di Borzago"; la vegetazione comprende brughiere e boscaglie, praterie aride, boschi misti di latifoglie, colture cerealicole.

Si cita infine il biotopo di interesse faunistico di Monte Duro, un'area che comprende i versanti circostanti la vetta del monte omonimo, a nord-est dell'abitato di Casina.

2.2 ASPETTI IDROLOGICI

Il bacino è caratterizzato da rilievi collinari modesti, in quanto il limite non giunge allo spartiacque appenninico e risente di precipitazioni non molto intense, tipiche della pianura; il regime pluviale per tutti gli affluenti di destra del medio e basso Po è infatti contraddistinto da elevata piovosità solo nelle zone prossime al crinale, dovuta alla particolare intensità dei fronti, che per ragioni orografiche e per la vicinanza del mar Ligure tendono ad amplificare la loro azione; anche la morfologia del territorio, con pendenze deboli, e del relativo reticolo idrografico drenante concorrono a rendere modesti i contributi unitari di piena.

Eventi meteorici intensi sono possibili in tutte le stagioni anche se il periodo compreso tra settembre e novembre è quello con la massima incidenza di eventi gravosi.

Il corso d'acqua è dotato di una stazione di misura della portata con idrometrografo, in Comune di Cadelbosco di Sopra, gestita da ARPA ed attiva dal 2003.

I valori di portata presi a riferimento nell'ambito del presente studio derivano dai dati estratti dal P.A.I. a cura dell'Autorità di bacino del Po (Tabella 1), che trovano riscontro anche nel PTCP di Reggio Emilia.

TABELLA 1 - PORTATE DI PIENE PER IL TORRENTE CROSTOLO (DA PAI)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.					
Crostolo	Crostolo	14.312	46	Muciatella	87	190	320	370	440
Crostolo	Crostolo	21.176	35	Reggio nell'Emilia	96	170	250	270	-
Crostolo	Crostolo	51.927	1	Confl. in Po	447	170	250	270	

2.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)

Fino a Reggio Emilia il corso d'acqua ha un andamento debolmente sinuoso, di struttura monocursale con scarsa presenza di barre longitudinali, fiancheggiato da superfici terrazzate dell'ordine di qualche metro; da Reggio Emilia alla confluenza nel Po l'andamento passa da sinuoso a circa rettilineo.

Il tratto Vezzano sul Crostolo - Reggio Emilia ha subito un forte restringimento (ad eccezione del tratto urbano), associato alla perdita dei caratteri pluricursali; in conseguenza dei fenomeni di abbassamento del profilo di fondo si è avuta la trasformazione in golene stabili di ampie aree facenti parte del letto ramificato.

Tra Reggio Emilia e Cadelbosco di Sopra il corso d'acqua, vincolato da opere di difesa e arginature pressoché continue, non ha subito modificazioni significative nel periodo recente; non si hanno significative evidenze planimetriche di abbassamento del profilo di fondo, ad eccezione di un modesto fenomeno di reincisione dell'alveo del 1934, immediatamente a valle di Reggio Emilia. Il corso d'acqua nella parte medio-alta, fino a monte dell'abitato di Reggio Emilia, è caratterizzato da una sistemazione finalizzata al contenimento dell'erosione del fondo alveo con soglie e briglie; le opere di difesa spondale hanno incidenza pressoché nulla e non vi sono argini.

Tra gli abitati di Puianello e Rivalta è presente una cassa di espansione, che ingloba al suo interno l'alveo e le golene del Crostolo, con una massima capacità di invaso di circa 1,5 milioni di m³; la piena di riferimento viene laminata di circa il 25% e la portata rilasciata a valle è di 270 m³/s, che corrisponde alla portata limite di deflusso transitabile nella città di Reggio Emilia; l'alveo nel tratto urbano risulta costretto tra i muri di sponda e rivestito a tratti.

L'assetto del tratto di asta da Reggio Emilia alla confluenza in Po è definito da argini continui; le opere di controllo del trasporto solido e le difese longitudinali sono sporadiche spesso a protezione di attraversamenti.

L'erosione del fondo è molto elevata in tutto il tratto alto dell'asta fluviale, a monte di Villa Corbelli, come testimoniato dalla drastica riduzione della ampiezza dell'alveo avvenuta negli ultimi anni e dalla presenza di numerose opere di difesa trasversali. Nel tratto medio, da Villa Corbelli a Reggio Emilia, il fondo alveo risulta più stabile con valori di erosione e di riduzione di larghezza meno marcati. Nel tratto di pianura, da Reggio Emilia alla confluenza in Po, l'erosione del fondo si riduce progressivamente fino a quasi scomparire.

A monte dell'area di intervento il Crostolo attraversa il centro urbano di Reggio Emilia, per tale ragione, questo tratto è caratterizzato dalla presenza di diversi ponti di storica memoria tra cui quello di Via Costituzione e quello di Via XX Settembre che presentano aspetti di criticità per piene duecentennali. Proseguendo verso valle troviamo il viadotto di Via Martiri di Piazza Tien An Men che a differenza dei primi non presentano criticità idrauliche poiché il franco di sicurezza sulla portata duecentennale è abbondantemente garantito.

Immediatamente a ridosso, sul lato sud del ponte in progetto, è presente il ponte della FFSS (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), linea Milano-Bologna: trattasi di un attraversamento caratterizzato da quattro campate a tre pile in alveo, le cui dimensioni ed in particolare l'intradosso garantiscono un franco di sicurezza rispetto alla portata duecentennale di oltre 1,0m.



FIGURA 3 - PONTE FF.SS. SU T. CROSTOLO

Il ponte in progetto non determina una riduzione del volume d'alveo disponibile per la laminazione delle piene perciò, sono state effettuate simulazioni idrauliche in moto permanente (stazionario). La soluzione in moto stazionario, rispetto ad una analisi in termini di colmo di piena fornita da un'analisi in moto vario, fornisce condizioni di verifica sensibilmente più cautelative e specialmente in corrispondenza dei manufatti di attraversamento, consente di impostare un confronto corretto tra diverse formulazioni per la stima delle perdite di carico.

Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici forniti da AIPO, risalenti al 2004, questi sono stati integrati con la sezione idraulica in corrispondenza del ponte in esame, rilevata nel 2012 nell'ambito del progetto definitivo. L'intero rilievo utilizzato è costituito da 62 sezioni trasversali d'alveo, oltre a quelle relative alle geometrie dei ponti, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo attivo. Il tratto simulato si estende per una lunghezza di oltre 37.8km, di cui 13.3 km a monte dell'attraversamento in esame (FIGURA 4).

I valori di scabrezza assunti tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite durante un evento di piena:

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;
- caratteristiche morfologiche e geometriche quali il grado di sinuosità del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali e nelle aree golenali.

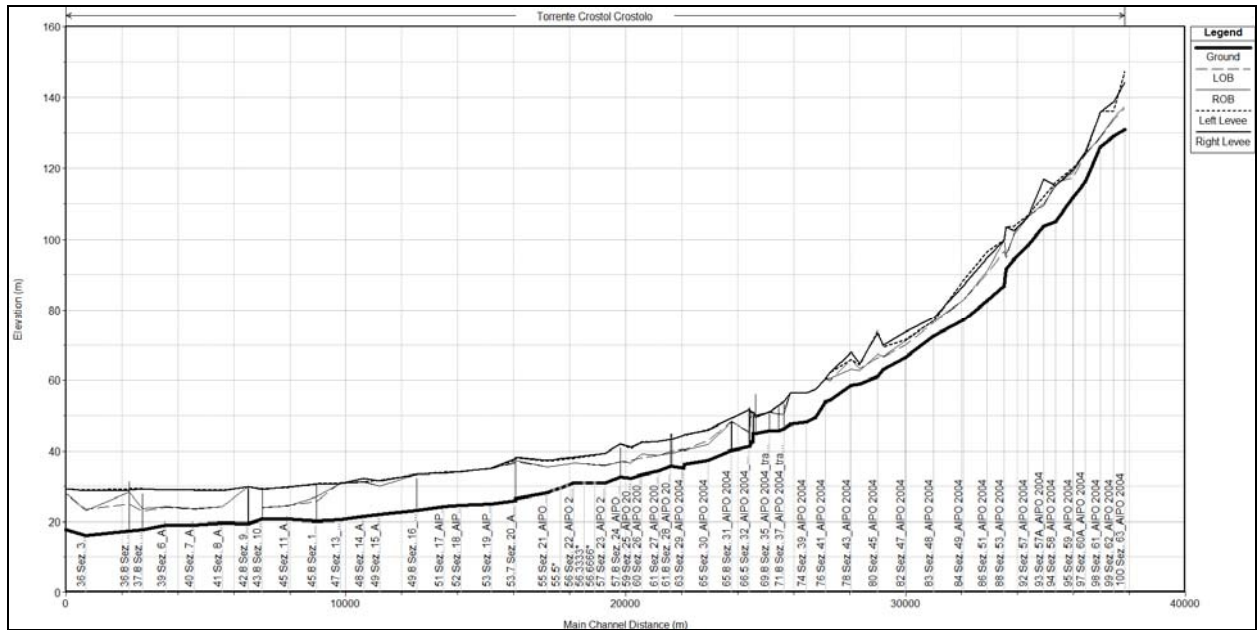


FIGURA 4 - ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DEI PRESIDI ARGINALI NEL TRATTO DI FIUME CONSIDERATO

Sulla base dei sopralluoghi effettuati, dei riferimenti bibliografici che si riconducono ai principali studi in materia si sono quindi assunti valori opportuni della scabrezza in funzione non solo della copertura vegetale ma anche del tipo e granulometria del materiale presente in alveo.

Indicazioni presenti in letteratura sono state tratte dalla pubblicazione "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959, Macgraw-Hill, Singapore e da "Meccanica dei fluidi", Marchi - Rubatta.

I valori di scabrezza (coefficiente di Strickler) assunti nella modellizzazione idraulica sono stati di 14-17 m/s^{1/3} per l'alveo inciso e 17-18 m/s^{1/3} per la parte golenale, variabili in funzione, principalmente, della maggiore o minore presenza di vegetazione arborea ed arbustiva in alveo, che comunque si presenta molto fitta lungo tutto il tratto indagato.

3. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

La portata di piena di progetto (a tempo di ritorno 200 anni), rispetto alla quale effettuare la verifica idraulica dell'attraversamento in progetto e dei suoi effetti in termini di profilo idrometrico, è stata stabilita facendo riferimento ai valori indicati dall'Autorità di bacino del fiume Po nella "Direttiva piena di progetto", da assumere per le progettazioni e verifiche di compatibilità idraulica.

La Tabella 1 propone le portate di riferimento per diverse sezioni. Dai valori indicati risulta evidente come il tratto compreso tra Reggio Emilia e la confluenza con il Po sia condizionato dalla presenza della cassa di espansione. L'opera è presente tra gli abitati di Puianello e Rivalta, ingloba al suo interno l'alveo e le golene del Crostolo ed ha una capacità di invaso massima di circa 1.5 milioni di m³. La piena di riferimento viene laminata di circa il 25% e la portata rilasciata a valle è di 270 m³ che corrisponde alla portata limite di deflusso transitabile nella città di Reggio Emilia.

Le simulazioni sono state condotte secondo una schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto permanente, trascurando quindi (a favore di sicurezza) gli eventuali effetti di laminazione lungo lo sviluppo del corso d'acqua.

Le condizioni al contorno di calcolo in condizioni di piena sono le seguenti:

- altezza idrometrica di valle pari ad un livello idrico noto di 23,61 m s.l.m., coincidente con quello della sezione 001 del profilo idrico del Torrente Crostolo, contenuto nella tabella 76 allegata alla Direttiva Piena di Progetto;
- portata in ingresso nel modello idraulico a monte della cassa di espansione pari a 370m³/s;
- portata in ingresso a valle della cassa di espansione pari a 270 m³/s.

I calcoli idraulici per la definizione del profilo di involuppo di piena sono stati svolti con riferimento alle seguenti condizioni fisiche del corso d'acqua:

- configurazione attuale in assenza del nuovo attraversamento (stato di fatto);
- configurazione con la presenza del nuovo attraversamento stradale (stato di progetto);
- configurazione con la presenza delle opere provvisionali (fase di cantiere).

4. VERIFICHE IDRAULICHE

4.1 L'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE

La porzione di ponte stradale che attraversa il torrente Crostolo è in acciaio ed è costituito da un'unica campata con luce pari a 62 m. La suddetta porzione di ponte non presenta pile in alveo e l'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione della livelletta stradale, è stato imposto ad una quota pari a 52.38 m s.l.m., con un franco di 3.88m rispetto al tirante idrico generato da una piena bisecolare.

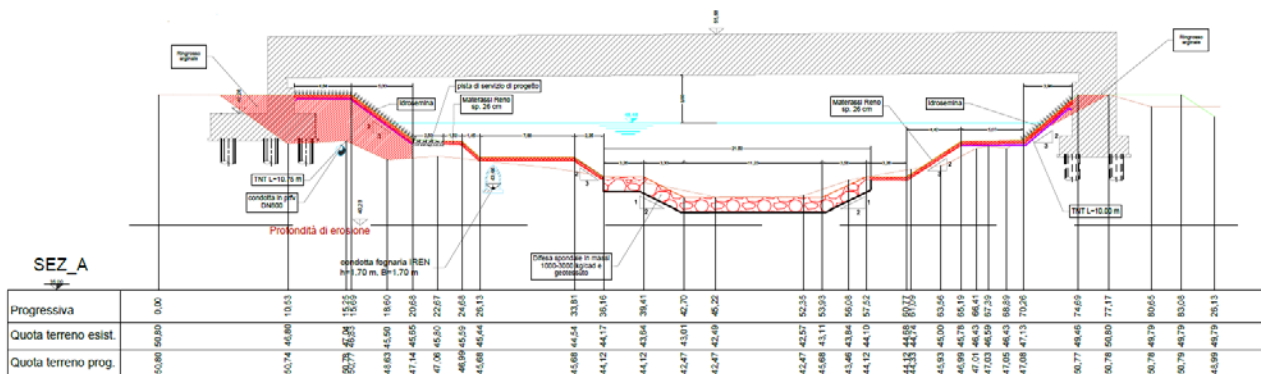


FIGURA 1 - PONTE IN PROGETTO SUL TORRENTE CROSTOLO

4.2 VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO/STATO DI PROGETTO

Le verifiche idrauliche consistono nella determinazione delle principali caratteristiche con cui si propagano le onde di piena secondo la rispettiva descrizione geometrica dell'alveo, sia nello stato di fatto che in quello di progetto.

Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, risultano rilevate le velocità medie della corrente nei singoli tratti dell'alveo sia in condizioni di alveo attuale che di progetto.

Verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento

- Stato di Fatto

La sommità delle arginature in prossimità del nuovo attraversamento si attesta mediamente a quota 50.80 m s.l.m. sia in sponda sinistra che in sponda destra. Nella sezione in corrispondenza del ponte in progetto il livello per la piena bicentenaria nella configurazione attuale è a quota 48.48 m s.l.m., ne risulta pertanto che le arginature sono adeguate per la portata di 270 m³/sec, in quanto il franco è superiore ai 2.0m.

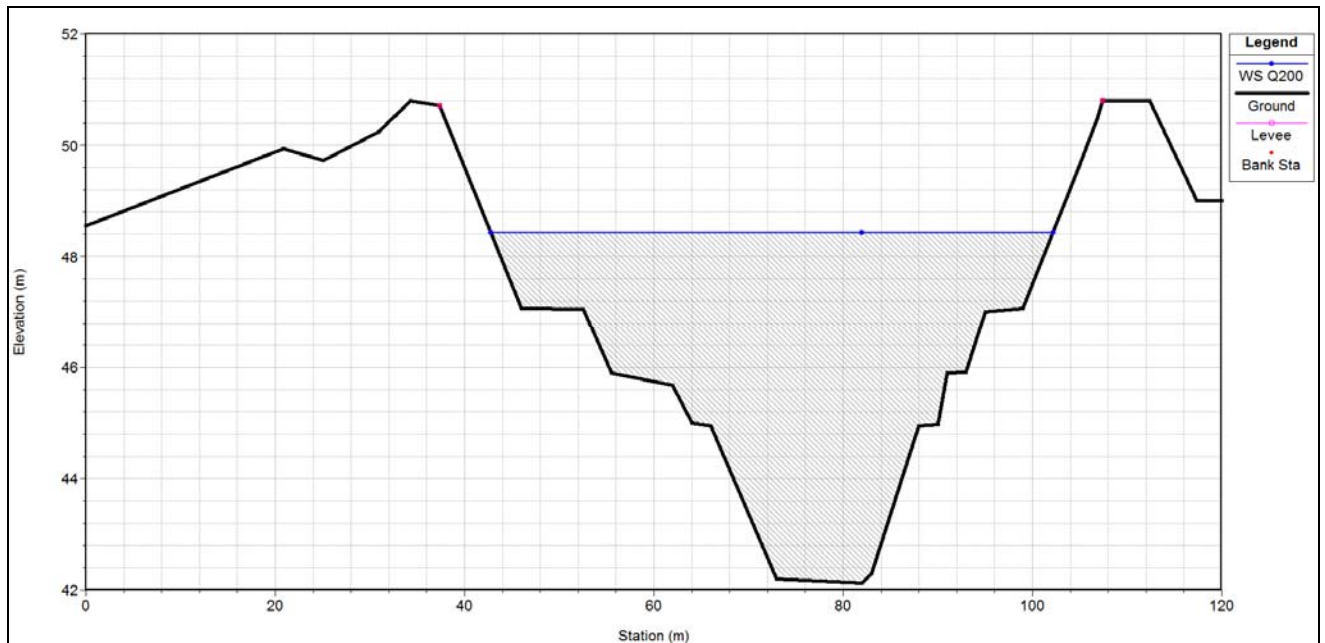


FIGURA 2 - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA Q200 DEL TORRENTE CROSTOLO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI FATTO

- Stato di progetto

Nella configurazione di progetto è previsto l'inserimento del ponte. Il livello per la piena bicentenaria nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento stradale è a quota 48.48 m s.l.m con un franco idraulico del sottotrave variabile in senso ortogonale al torrente, comunque paria a circa 3.38m rispetto alla H_{200} , e quindi sempre maggiore rispetto al valore minimo di 1 m definito dalle prescrizioni di ANAS e dei 2.0m imposti dalla Circolare C.S.LL.PP. 07.02.2009 (Ponti stradali e ferroviari) e dalla Direttiva 4/99.

La figura seguente, che si riferisce alla modellazione idraulica, riporta il tirante idrico che si instaura in corrispondenza dell'attraversamento in progetto per un evento di piena bicentenario.

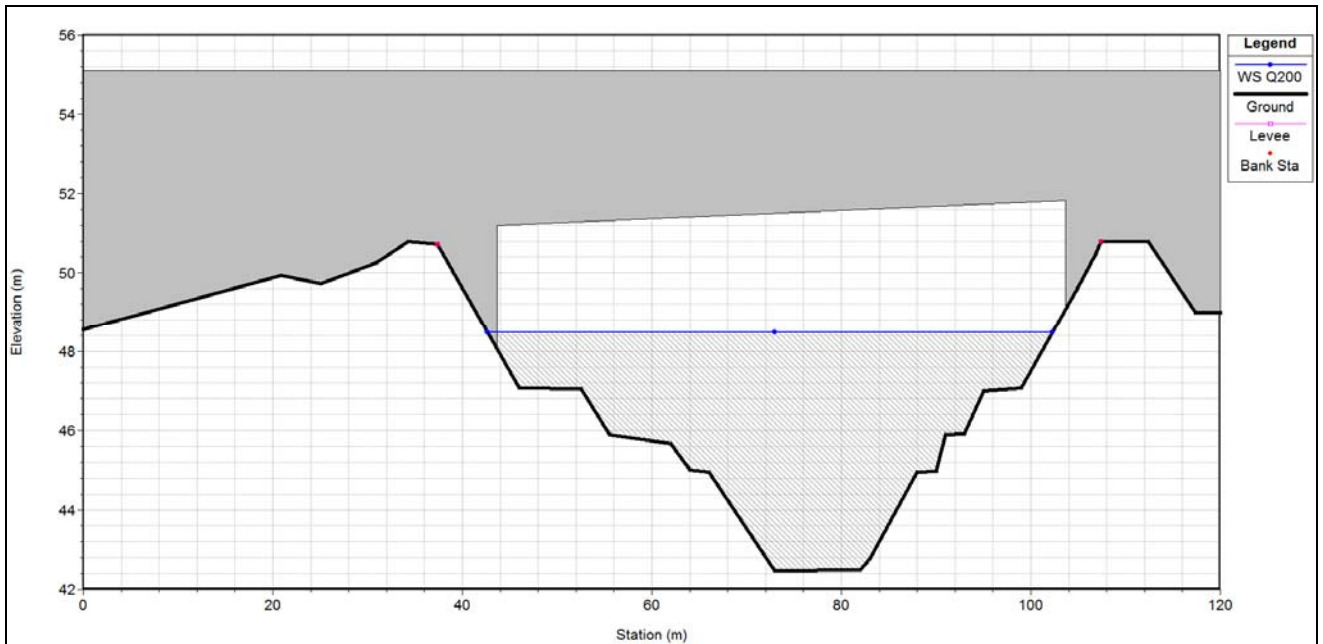


FIGURA 3 - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE IN PROGETTO

Valutazione della compatibilità idraulica

Effetto E.1. Modifiche indotte sul profilo di involuppo di piena.

Fattori determinanti: restringimenti di sezioni o ostacoli al deflusso nel tratto di corso d'acqua interessato.

Modalità di quantificazione: confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e ad intervento realizzato.

Nella tabella e nei grafici seguenti si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite, per portata con tempo di ritorno di 200 anni, nello stato di fatto e nella condizione di progetto, in modo da valutare l'influenza del ponte in progetto.

TABELLA 1 - PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO (S.P.)

Sezione Topografica	Progressiva	Quota del fondo	Q200 di progetto	Livelli idrometrici S.F.	Livelli idrometrici S.P.	ΔH	Velocità S.F.	Velocità S.P.	Pendenza	Carico totale S.F.	Carico totale S.P.
Sez.63	0.00	130.85	370.00	136.20	136.20	0.00	2.86	2.86	0.0048	136.62	136.62
Sez.62	393.00	128.98	370.00	133.47	133.47	0.00	1.76	1.76	0.0062	133.63	133.63
Sez.61	853.00	126.11	370.00	128.74	128.74	0.00	3.88	3.88	0.0182	129.50	129.50
Sez.60A	1404.00	116.09	370.00	120.70	120.70	0.00	2.77	2.77	0.0096	121.09	121.09
Sez.59	1855.50	111.77	370.00	115.18	115.18	0.00	3.82	3.82	0.0110	115.92	115.92
Sez.58	2474.50	104.96	370.00	109.15	109.15	0.00	2.60	2.60	0.0033	109.50	109.50

Sez.57A	2878.50	103.61	370.00	107.06	107.06	0.00	2.25	2.25	0.0095	107.32	107.32
Sez.57A	3442.50	98.23	370.00	103.03	103.03	0.00	2.96	2.96	0.0077	103.48	103.48
Sez.55	3948.50	94.35	370.00	99.22	99.22	0.00	2.48	2.48	0.0102	99.54	99.54
Sez.54	4218.50	91.59	370.00	95.89	95.89	0.00	4.52	4.52	0.0604	96.80	96.80
Sez.53	4296.50	86.88	370.00	93.12	93.12	0.00	3.06	3.06	0.0070	93.59	93.59
Sez.51	4922.00	82.52	370.00	88.24	88.24	0.00	2.99	2.99	0.0065	88.70	88.70
Sez.49	5751.50	77.10	370.00	82.03	82.03	0.00	3.00	3.00	0.0044	82.49	82.49
Sez.48	6813.50	72.46	270.00	75.64	75.64	0.00	1.61	1.61	0.0060	75.78	75.78
Sez.47	7823.50	66.42	270.00	70.16	70.16	0.00	2.05	2.05	0.0043	70.37	70.37
Sez.46	8613.50	63.02	270.00	67.54	67.54	0.00	1.45	1.45	0.0096	67.64	67.64
Sez.45	8832.50	60.92	270.00	66.76	66.76	0.00	2.18	2.18	0.0031	67.00	67.00
Sez.44	9449.50	58.99	270.00	63.56	63.56	0.00	2.59	2.59	0.0015	63.89	63.89
Sez.43	9770.50	58.50	270.00	62.41	62.41	0.00	1.58	1.58	0.0057	62.53	62.53
Sez.42	10511.50	54.31	270.00	59.72	59.72	0.00	2.13	2.13	0.0021	59.95	59.95
Sez.41	10675.50	53.97	270.00	56.83	56.83	0.00	4.81	4.81	0.0121	58.00	58.00
Sez.40	11049.50	49.44	270.00	55.61	55.61	0.00	1.33	1.33	0.0043	55.70	55.70
Sez.39	11373.50	48.05	270.00	55.07	55.07	0.00	1.48	1.48	0.0009	55.18	55.18
Sez.38	11929.90	47.54	270.00	53.59	53.59	0.00	2.10	2.10	0.0055	53.81	53.81
Sez.37m	12165.90	46.24	270.00	52.83	52.83	0.00	2.07	2.07	0.0000	53.05	53.05
Ponte Ferrovia	12167.90	46.24	Bridge	52.81	52.81	0.00	2.08	2.08	0.0000	53.04	53.04
Sez.37v	12174.90	46.24	270.00	52.80	52.80	0.00	2.09	2.09	0.0026	53.02	53.02
Sez.36m	12349.90	45.78	270.00	51.85	51.85	0.00	2.90	2.90	0.0000	52.27	52.27
Ponte Via della Costituzione	12351.90	45.78	Bridge	51.72	51.72	0.00	2.95	2.95	0.0000	52.15	52.15
Sez.36v	12361.90	45.78	270.00	51.54	51.54	0.00	3.13	3.13	0.0004	52.03	52.03
Sez.35m	12679.90	45.64	270.00	50.97	50.97	0.00	1.26	1.26	0.0000	51.05	51.05
Ponte di Via XX Settembre	12681.90	45.64	Bridge	40.85	40.85	0.00	1.28	1.28	0.0000	50.95	50.95
Sez.35v	12695.90	45.64	270.00	50.78	50.78	0.00	1.31	1.31	0.0013	50.87	50.87
Sez.34m	13178.90	45.02	270.00	49.16	49.16	0.00	2.36	2.36	0.0000	49.45	49.45
Ponte di Viale Martiri	13180.90	45.02	Bridge	49.06	49.06	0.00	2.45	2.45	0.0000	49.35	49.35
Sez.34v	13192.90	45.02	270.00	48.98	48.98	0.00	2.53	2.53	0.0000	49.30	49.30
Sez.33m	13260.90	45.02	270.00	48.75	48.75	0.00	1.73	1.73	0.0000	48.90	48.90
Ponte FFSS Milano-Bologna	13262.90	45.02	Bridge	48.65	48.65	0.00	1.78	1.78	0.0000	48.82	48.82
Sez.33	13274.90	45.02	270.00	48.50	48.50	0.00	1.86	1.86	0.1651	48.68	48.68
Sez.33v	13282.24	43.81	270.00	48.56	48.56	0.00	1.25	1.25	0.2807	48.64	48.64
Sez.33v	13286.90	42.50	270.00	48.56	48.56	0.00	1.14	1.14	0.0010	48.63	48.63
Sez.attrav. Monte	13311.90	42.47	270.00	48.49	48.49	0.00	1.42	1.42	0.0000	48.59	48.59
Ponte in Progetto	13312.90	42.28	Bridge	48.49	48.49	0.00	1.42	1.42	0.0000	48.55	48.55
Sez.attrav. Valle	13336.90	42.12	270.00	48.43	48.43	0.00	1.42	1.42	0.0134	48.53	48.53
Sez.32m	13400.90	41.26	270.00	48.28	48.28	0.00	1.71	1.71	0.0000	48.41	48.41
Passerella	13401.90	41.26	Bridge	48.26	48.26	0.00	1.71	1.71	0.0000	48.40	48.40
Sez.32v	13407.90	41.26	270.00	48.25	48.25	0.00	1.72	1.72	0.0019	48.38	48.38
Sez.31m	14030.90	40.07	270.00	47.15	47.15	0.00	1.48	1.48	0.0000	47.26	47.26
Ponte di Via Rinaldi	14032.90	40.07	Bridge	47.14	47.14	0.00	1.49	1.49	0.0000	47.25	47.25
Sez.31v	14044.90	40.07	270.00	47.11	47.11	0.00	1.50	1.50	0.0035	47.22	47.22

Sez.30	14866.90	37.23	270.00	45.30	45.30	0.00	1.94	1.94	0.0013	45.47	45.47
Sez.29	15725.90	36.15	270.00	43.52	43.52	0.00	1.84	1.84	0.0353	43.67	43.67
Sez.29A	15755.40	35.11	270.00	43.44	43.44	0.00	1.95	1.95	-0.0010	43.61	43.61
Sez.28m	16167.40	35.53	270.00	43.07	43.07	0.00	1.10	1.10	0.0000	43.13	43.13
Ponte Autostrada A1	16169.40	35.53	Bridge	43.05	43.05	0.00	1.09	1.09	0.0000	43.10	43.10
Sez.28v	16211.40	35.53	270.00	43.03	43.03	0.00	1.08	1.08	0.0027	43.08	43.08
Sez.27	16638.40	34.36	270.00	42.51	42.51	0.00	1.78	1.78	0.0018	42.66	42.66
Sez.26	17253.40	33.25	270.00	41.33	41.33	0.00	1.82	1.82	0.0024	41.49	41.49
Sez.25	17629.40	32.33	270.00	40.89	40.89	0.00	1.30	1.30	-0.0006	40.96	40.96
Sez.24m	18007.40	32.55	270.00	40.27	40.27	0.00	2.00	2.00	0.0000	40.46	40.46
Ponte di Via D.Pellegrino d'Oglio	18009.40	32.55	Bridge	40.26	40.26	0.00	2.02	2.02	0.0000	40.45	40.45
Sez.24v	18017.40	32.55	270.00	40.24	40.24	0.00	2.04	2.04	0.0031	40.44	40.44
Sez.23	18554.40	30.87	270.00	39.28	39.28	0.00	1.96	1.96	0.0000	39.45	39.45

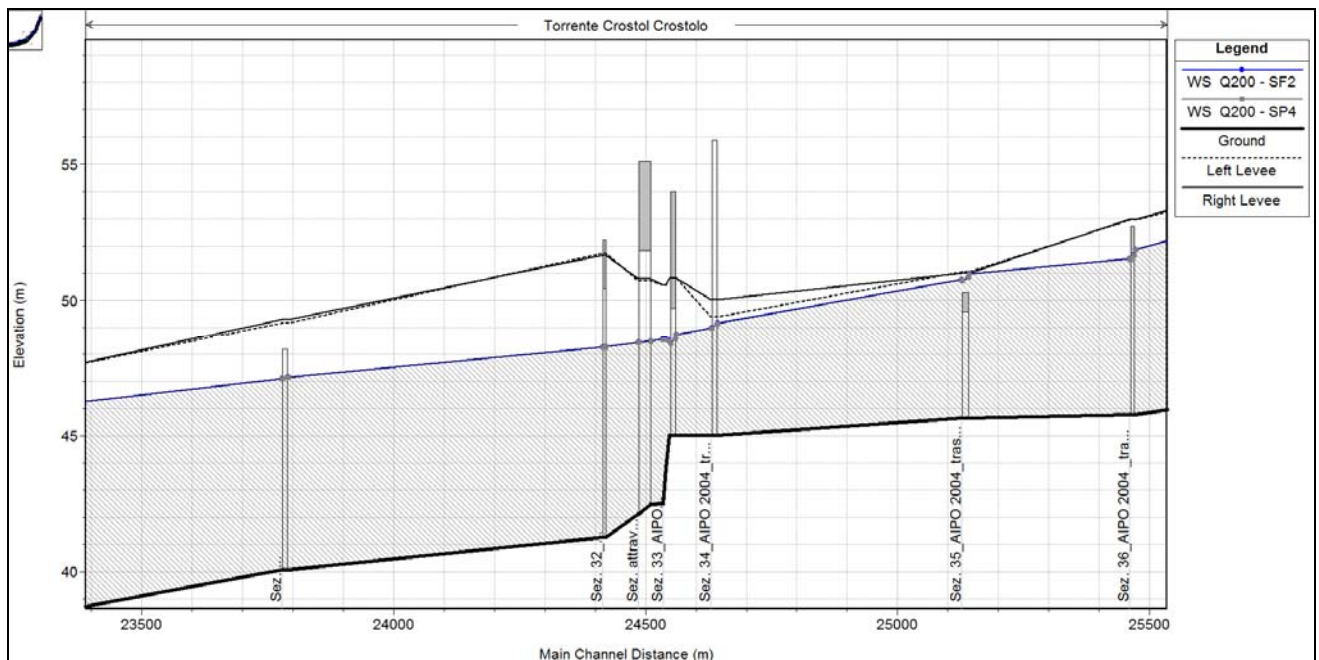


FIGURA 4 - CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO PER UN EVENTO DI PIENA CON TR200.

Gli effetti dovuti all’inserimento del ponte in progetto risultano nulli in quanto il posizionamento delle spalle esterne all’onda di piena bisecolare e l’assenza di pile in alveo fanno sì che i profili di rigurgito non vengano perturbati e i livelli idrici rimangano immutati.

Il Torrente Crostolo riceve inoltre il contributo di scarico dell’impianto di depurazione per una portata complessiva di 20 l/sec che di fatto incrementa il valore della Q200 del 0.007%, per una portata complessiva $Q_{sc}=270.02 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Introducendo questo incremento di portata rispetto alla Q200, non si apprezza un aumento dei livelli idrici, pertanto è garantita la compatibilità degli scarichi con le portate di progetto dal corso d’acqua in esame (Figura 5).

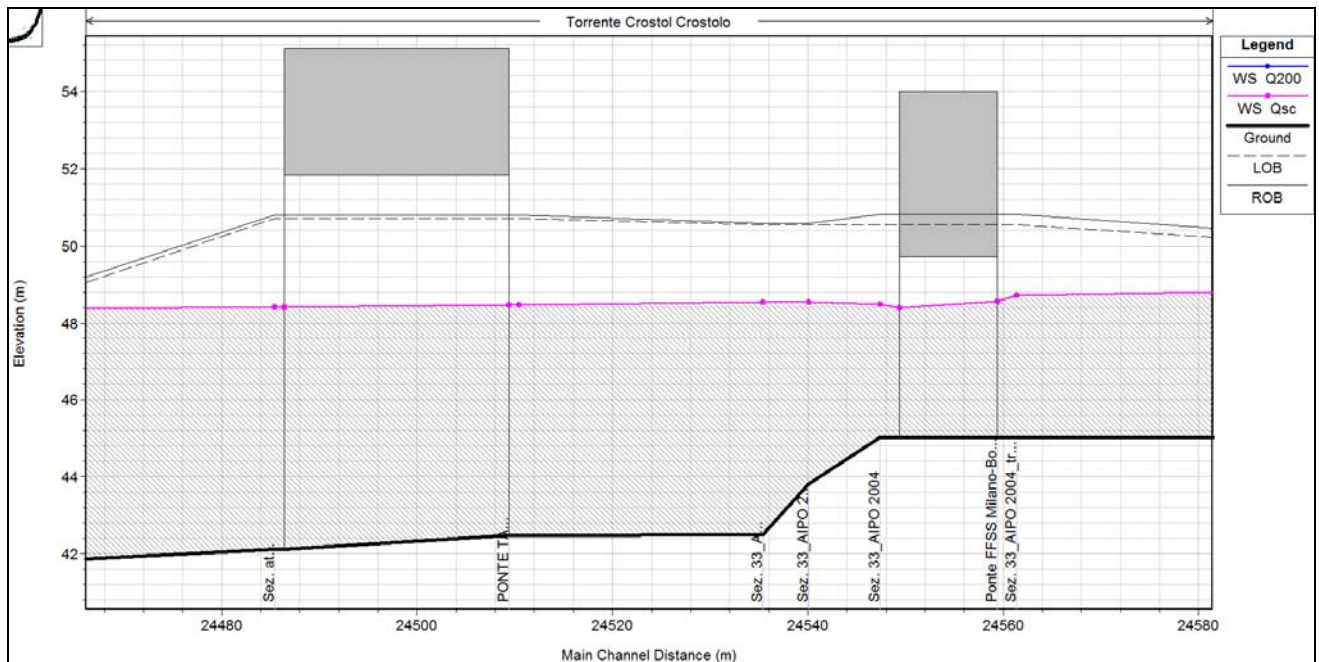


FIGURA 5 - PROFILI DI RIGURGITO A CONFRONTO: Q200 E QSC

Effetto E.2. Variazione delle aree inondate.

Fattori determinanti: riduzioni delle aree inondate causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale.

L'opera in progetto non comporta alcuna variazione delle aree inondate all'interno della fascia B.

Effetto E.3. Variazione della capacità di trasporto solido della corrente.

Lo scenario di progetto non determina variazioni idrodinamiche della corrente di conseguenza non vi sono variazioni apprezzabili riguardanti il trasporto solido. Di seguito si riporta il confronto tra le velocità medie riscontrate nello scenario di progetto e di stato di fatto.

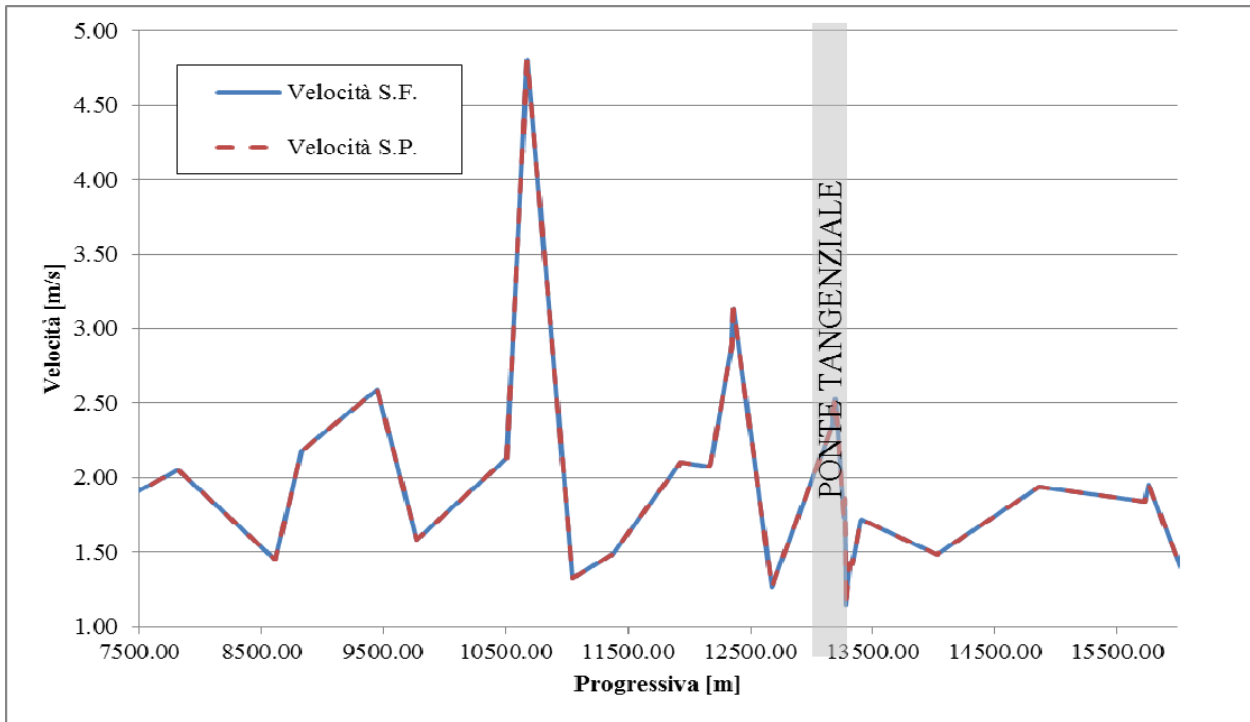


FIGURA 6 - ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO.

Dal confronto tra stato di progetto e stato di fatto, si evince che le velocità medie riscontrate nelle sezioni idrauliche non variano.

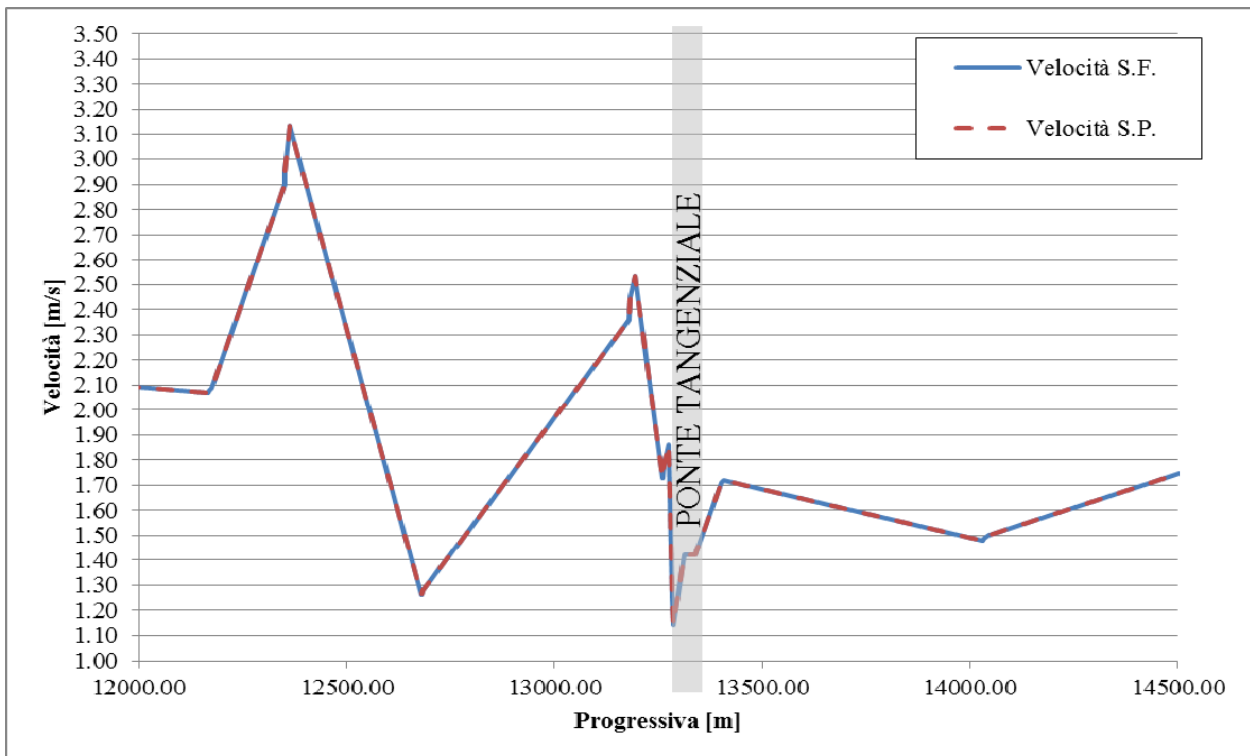


FIGURA 7 - PARTICOLARE DEL GRAFICO DELLE VELOCITÀ DELLA CORRENTE TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO NELL'INTORNO DEL PONTE IN PROGETTO.

Effetto E.4. Restringimento dell'alveo e/o di indirizzamento della corrente.

In corrispondenza dell'attraversamento in progetto non vi è un apprezzabile restringimento della

sezione di deflusso del corso d'acqua tale da indurre effetti sul profilo di rigurgito di monte. Inoltre non sono previsti cambi di indirizzamento della corrente.

Effetto E.5. Riduzione della capacità di invaso della piena dovuto all'eventuale sottrazione di volume all'area inondata ed identificazione degli eventuali interventi di mitigazione o compensazione.

Lo scenario di progetto non determina riduzioni della capacità di invaso della piena, in quanto non vi è sottrazione di volume all'area inondata.

Effetto E.6. Possibili fenomeni di abbassamento o innalzamento dell'alveo e di erosione generalizzata in corrispondenza dei tratti interferiti.

Si prevede la realizzazione di opere accessorie di difesa spondale, opportunamente dimensionate al fine di proteggere le sponde e l'alveo da possibili erosioni localizzate e divagazioni, oltre che le arginature da erosioni dovute alla corrente ed all'eventuale ruscellamento delle acque piovane.

Queste opere verranno descritte nei paragrafi successivi.

Effetto E.7. Problematiche indotte sulle opere stradali dall'azione di trascinarsi delle acque in condizioni di piena e dimensionamento delle eventuali opere di difesa.

Fattori determinanti: localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto.

Modalità di quantificazione: valutazioni idrodinamiche sugli effetti idrodinamici indotti.

La situazione di progetto non determina variazioni idrodinamiche delle caratteristiche della corrente di piena rispetto alla situazione attuale, gli effetti sulle opere idrauliche verranno mitigati da opere di protezione idraulica.

Effetto E.8 Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti.

Gli effetti sulle opere idrauliche esistenti in prossimità dell'attraversamento in progetto verranno mitigati da opere di protezione.

Effetto E.9. Modifiche indotte sull'assetto morfologico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena.

Non si segnala alcuna modifica sostanziale dal punto di vista planimetrico né altimetrico dell'alveo né in regime ordinario né in piena.

Effetto E.10. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Fattori determinanti: opere in progetto e soluzioni di inserimento delle stesse nel sistema fluviale.

L'inserimento del ponte non implica una modificazione dell'attuale caratteristica ambientale della fascia fluviale.

Effetto E.11. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Fattori determinanti:

- condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dall'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni;
- tipologia funzionale dell'intervento.

Il franco tra l'intradosso del ponte ed il livello idrometrico per un tempo di ritorno 200 anni è

adeguato in quanto superiore ai 2 m per tutto lo sviluppo dell'impalcato.

4.3 VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA IN PRESENZA DI OPERE PROVVISORIALI

Scopo della verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisorie è di fornire indicazioni in merito alla progettazione ed alla verifica delle opere eseguite in fase di cantierizzazione durante i lavori di realizzazione del ponte in progetto, che interagiscono con l'idrodinamismo del corso d'acqua.

Le opere provvisorie previste sono di due tipi:

- predisposizione di due arginelli a protezione degli operai durante la realizzazione delle spalle del ponte del torrente Crostolo;
- realizzazione di un guado posto a valle del ponte in progetto; occorre precisare che il progetto esecutivo non prevede la realizzazione di un guado. In ogni caso si è comunque voluta verificare l'opportunità di inserimento dello stesso nell'eventualità in cui, per ragioni di sicurezza, esso si dovesse rendere necessario in fase di cantierizzazione

Le analisi sono state suddivise nelle seguenti attività:

1. Individuazione dei livelli idrometrici che si instaurano in funzione di piene prefissate per la progettazione delle due opere provvisorie;
2. Programma delle fasi di cantierizzazione per stabilire le priorità nell'esecuzione delle opere relative all'attraversamento idraulico ed in considerazione della non interferenza con la condotta irrigua Cavazzoli-Roncoesi;
3. Considerazioni conclusive in merito alla valutazione della compatibilità idraulica nella fase costruttiva dell'opera provvisoria.

Si è quindi proceduto all'implementazione di simulazioni matematiche in moto permanente finalizzate a comprendere la risposta delle opere provvisorie alla sollecitazione di progetto.

Individuazione dei livelli idrometrici

Risultati simulazione – Verifica degli arginelli

Al fine di poter svolgere i lavori di realizzazione delle pile e delle spalle del ponte in sicurezza è stato previsto l'inserimento di due arginelli in sponda destra e sinistra la cui quota di sommità è pari a 48.50m slm, capace di contenere senza franco un evento con T_R 200 anni. Si tratta di una assunzione progettuale certamente cautelativa che tuttavia comporta la realizzazione di un'opera minimale e dal costo limitato. Lo stesso arginello di protezione può inoltre rappresentare anche un presidio al ruscellamento delle acque durante forti acquazzoni, un presidio per evitare il rotolamento nell'area di lavoro di ciottolame o terreno smosso. Insomma presenta una valenza di presidio più ampia e tutto per proteggere l'incolumità degli operai durante l'esecuzione delle pile (operazione alquanto impegnativa)

Nella tabella seguente si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite.

TABELLA 2 - PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DALLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E CON PRESENZA DI OPERE PROVVISORIALI (O.P.) CON Q200.

Sezione Topografica	Progressiva [m]	Quota del fondo [m s.l.m.]	Q di progetto [m³/s]	Livelli idrometrici S.F. [m s.l.m.]	Livelli idrometrici O.P. [m s.l.m.]	ΔH [m]	Velocità S.F. [m/s]	Velocità O.P. [m/s]	Pendenza -	Carico totale S.F. [m]	Carico totale O.P. [m]
Sez.46	8613.50	63.02	270.00	67.54	67.54	0.00	1.45	1.45	0.0096	67.64	67.64
Sez.45	8832.50	60.92	270.00	66.76	66.76	0.00	2.18	2.18	0.0031	67.00	67.00
Sez.44	9449.50	58.99	270.00	63.56	63.56	0.00	2.59	2.59	0.0015	63.89	63.89
Sez.43	9770.50	58.50	270.00	62.41	62.41	0.00	1.58	1.58	0.0057	62.53	62.53
Sez.42	10511.50	54.31	270.00	59.72	59.72	0.00	2.13	2.13	0.0021	59.95	59.95
Sez.41	10675.50	53.97	270.00	56.83	56.83	0.00	4.81	4.81	0.0121	58.00	58.00
Sez.40	11049.50	49.44	270.00	55.61	55.61	0.00	1.33	1.33	0.0043	55.70	55.70
Sez.39	11373.50	48.05	270.00	55.07	55.07	0.00	1.48	1.48	0.0009	55.18	55.18
Sez.38	11929.90	47.54	270.00	53.59	53.59	0.00	2.10	2.10	0.0055	53.81	53.81
Sez.37m	12165.90	46.24	270.00	52.83	52.83	0.00	2.07	2.07	0.0000	53.05	53.05
Ponte Ferrovia	12167.90	46.24	Bridge	52.83	52.83	0.00	2.07	2.07	0.0000	53.05	53.05
Sez.37v	12174.90	46.24	270.00	52.80	52.80	0.00	2.09	2.09	0.0026	53.02	53.02
Sez.36m	12349.90	45.78	270.00	51.85	51.85	0.00	2.90	2.90	0.0000	52.27	52.27
Ponte Via della Costituzione	12351.90	45.78	Bridge	51.85	51.85	0.00	2.90	2.90	0.0000	52.27	52.27
Sez.36v	12361.90	45.78	270.00	51.54	51.54	0.00	3.13	3.13	0.0004	52.03	52.03
Sez.35m	12679.90	45.64	270.00	50.97	50.97	0.00	1.26	1.26	0.0000	51.05	51.05
Ponte di Via XX Settembre	12681.90	45.64	Bridge	50.97	50.97	0.00	1.26	1.26	0.0000	51.05	51.05
Sez.35v	12695.90	45.64	270.00	50.78	50.78	0.00	1.31	1.31	0.0013	50.87	50.87
Sez.34m	13178.90	45.02	270.00	49.16	49.16	0.00	2.36	2.36	0.0000	49.45	49.45
Ponte di Viale Martiri	13180.90	45.02	Bridge	49.16	49.16	0.00	2.36	2.36	0.0000	49.45	49.45
Sez.34v	13192.90	45.02	270.00	48.98	48.98	0.00	2.53	2.53	0.0000	49.30	49.30
Sez.33m	13260.90	45.02	270.00	48.75	48.75	0.00	1.73	1.73	0.0000	48.90	48.90
Ponte FFSS Milano-Bologna	13262.90	45.02	Bridge	48.75	48.75	0.00	1.73	1.73	0.0000	48.90	48.90
Sez.33	13274.90	45.02	270.00	48.50	48.51	0.01	1.86	1.86	0.1651	48.68	48.68
Sez.33v	13282.24	43.81	270.00	48.56	48.56	0.00	1.25	1.25	0.2807	48.64	48.64
Sez.33v	13286.90	42.50	270.00	48.56	48.56	0.00	1.14	1.14	0.0010	48.63	48.63
Sez.attrav. Monte	13311.90	42.47	270.00	48.49	48.49	0.00	1.42	1.41	0.0142	48.59	48.60
Sez.attrav. Valle	13336.90	42.12	270.00	48.43	48.43	0.00	1.42	1.61	0.0134	48.53	48.54
Sez.32m	13400.90	41.26	270.00	48.28	48.28	0.00	1.71	1.71	0.0000	48.41	48.41
Passerella	13401.90	41.26	Bridge	48.28	48.28	0.00	1.71	1.71	0.0000	48.41	48.41
Sez.32v	13407.90	41.26	270.00	48.25	48.25	0.00	1.72	1.72	0.0019	48.38	48.38
Sez.31m	14030.90	40.07	270.00	47.15	47.15	0.00	1.48	1.48	0.0000	47.26	47.26
Ponte di Via Rinaldi	14032.90	40.07	Bridge	47.15	47.15	0.00	1.48	1.48	0.0000	47.26	47.26

Sez.31v	14044.90	40.07	270.00	47.11	47.11	0.00	1.50	1.50	0.0035	47.22	47.22
Sez.30	14866.90	37.23	270.00	45.30	45.30	0.00	1.94	1.94	0.0013	45.47	45.47
Sez.29	15725.90	36.15	270.00	43.52	43.52	0.00	1.84	1.84	0.0353	43.67	43.67
Sez.29A	15755.40	35.11	270.00	43.44	43.44	0.00	1.95	1.95	-0.0010	43.61	43.61
Sez.28m	16167.40	35.53	270.00	43.07	43.07	0.00	1.10	1.10	0.0000	43.13	43.13
Ponte Autostrada A1	16169.40	35.53	Bridge	43.07	43.07	0.00	1.10	1.10	0.0000	43.13	43.13
Sez.28v	16211.40	35.53	270.00	43.03	43.03	0.00	1.08	1.08	0.0027	43.08	43.08

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nella configurazione stato di fatto e stato con opere provvisionali (linea blu) in corrispondenza del ponte in progetto.

Data la modesta parzializzazione della sezione di deflusso, dovuta alla realizzazione dei due arginelli, rispetto alla sua ampiezza complessiva, non viene generata una variazione dei profili di rigurgito rispetto allo stato di fatto.

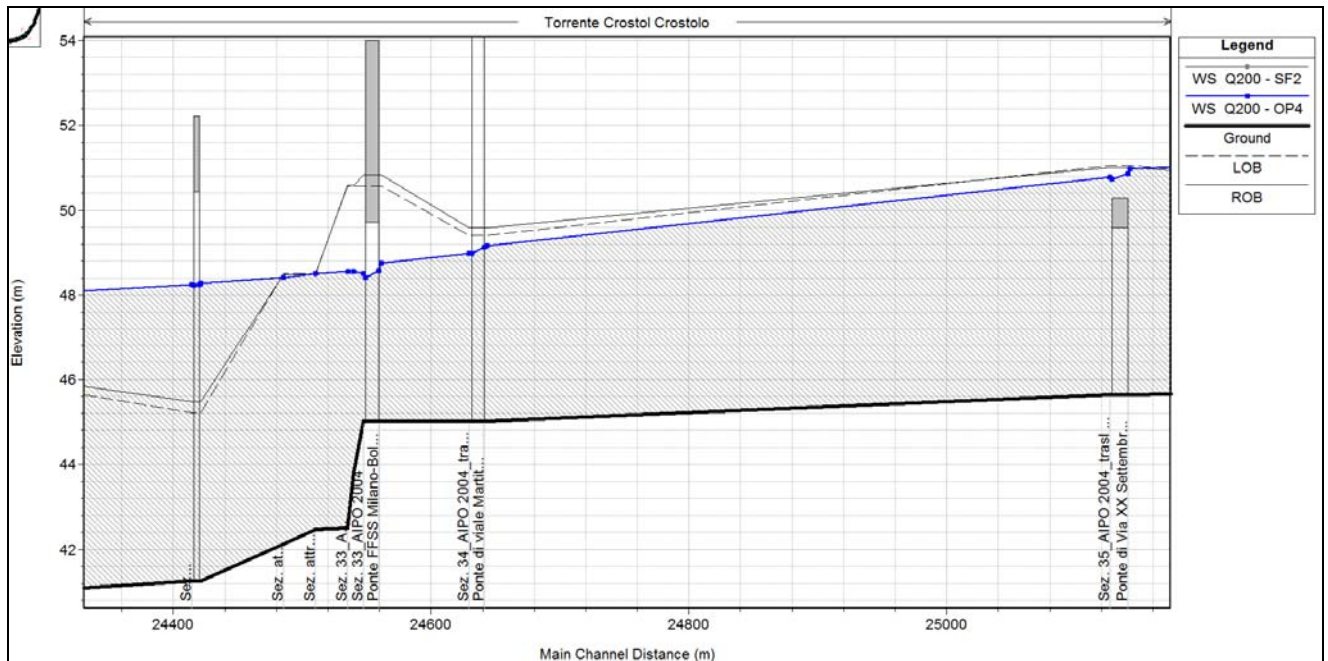


FIGURA 8 - CONFRONTO TRA IL PROFILO DI RIGURGITO DELLA CONFIGURAZIONE STATO DI FATTO E CON OPERE PROVVISORIALI

Risultati simulazione – Verifica del guado

Dopo aver verificato le condizioni idrodinamiche che si instaurano al passaggio della portata di progetto, si procede a verificare gli effetti che l’inserimento del guado provvisoriale possono avere sulle dinamiche fluviali, soprattutto a monte dello stesso.

L’attraversamento provvisoriale presenta una luce libera realizzabile con due scatolari di dimensione 4.50x1.50m, posti a distanza di circa 2.0m tra loro. Il riempimento tra gli scatolari e le sponde del corso d’acqua è costituito da massi di cava non gelivi del peso di 800-1000 Kg/cad, che potranno essere riutilizzati per la realizzazione della sistemazione spondale finale dell’alveo.

Si è simulato il passaggio di diverse portate, comprese tra 5 m³/s e sino alla portata bisecolare, in modo da valutare la risposta dell'opera provvisoria alle diverse sollecitazioni ed i relativi profili di rigurgito che si instaurano. Tramite tali simulazioni numeriche, si determina come portata limite di funzionamento con moto non in pressione negli scotolari, il valore di 17m³/s, a cui corrisponde un livello idrometrico nella sezione di monte del guado di 43.62 m s.l.m. (Figura 9 e Tabella 3).

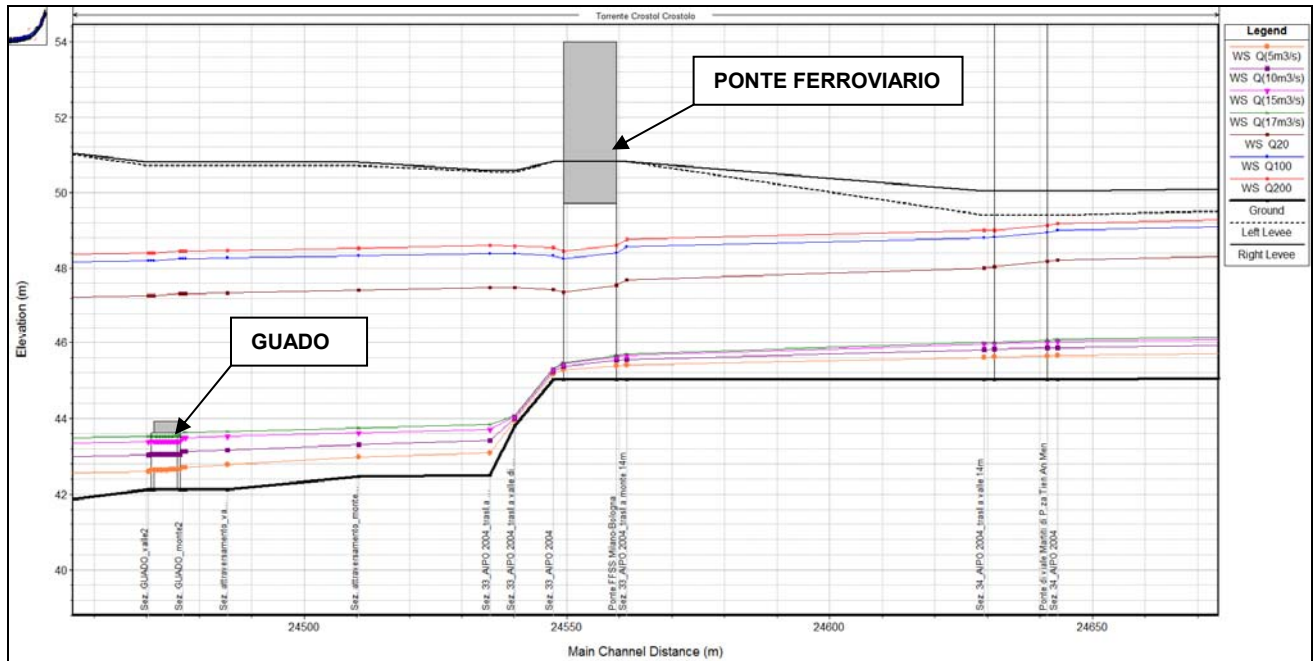


FIGURA 9: PROFILI DI RIGURGITO IN PRESENZA DI GUADO PROVVISORIALE

La portata di 17 m³/s rappresenta, quindi, la condizione limite di utilizzo dell'attraversamento provvisorio, superata la quale lo stesso si rende inagibile, poiché è ragionevole supporre che la struttura provvisoria non sia in grado di sopportare le sollecitazioni indotte dalla corrente e venga, quindi, rimossa dalla stessa.

Nella tabella seguente si riportano le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alla simulazione eseguita con portata limite di 17 m³/s.

TABELLA 3: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE RISULTANTI DALLA SIMULAZIONE DELLO STATO IN FASE DI CANTIERE, IN PRESENZA DI OPERE PROVVISORIALI (GUADO).

Sezione Topografica	Progressiva [m]	Quota del fondo [m s.l.m.]	Q di progetto [m ³ /s]	Livelli idrometrici O.P. [m s.l.m.]	Velocità O.P. [m/s]	Pendenza -	Carico totale O.P. [m]
Sez.46	8613.50	63.02	17.00	63.91	1.53	0.0096	64.03
Sez.45	8832.50	60.92	17.00	62.45	0.87	0.0031	62.49
Sez.44	9449.50	58.99	17.00	60.60	0.73	0.0015	60.63
Sez.43	9770.50	58.50	17.00	59.17	0.83	0.0057	59.21
Sez.42	10511.50	54.31	17.00	55.91	0.72	0.0021	55.93
Sez.41	10675.50	53.97	17.00	54.56	2.00	0.0121	54.76
Sez.40	11049.50	49.44	17.00	50.76	0.87	0.0043	50.80

Sez.39	11373.50	48.05	17.00	50.09	0.64	0.0009	50.11
Sez.38	11929.90	47.54	17.00	48.66	1.05	0.0055	48.72
Sez.37m	12165.90	46.24	17.00	47.94	0.76	0.0000	47.97
Ponte Ferrovia	12167.90	46.24	Bridge	47.94	0.76	0.0000	47.97
Sez.37v	12174.90	46.24	17.00	47.93	0.77	0.0026	47.96
Sez.36m	12349.90	45.78	17.00	47.46	0.97	0.0000	47.51
Ponte Via della Costituzione	12351.90	45.78	Bridge	47.46	0.97	0.0000	47.51
Sez.36v	12361.90	45.78	17.00	47.41	1.00	0.0004	47.46
Sez.35m	12679.90	45.64	17.00	46.94	0.41	0.0000	46.95
Ponte di Via XX Settembre	12681.90	45.64	Bridge	46.94	0.41	0.0000	46.95
Sez.35v	12695.90	45.64	17.00	46.92	0.42	0.0013	46.93
Sez.34m	13178.90	45.02	17.00	46.07	0.82	0.0000	46.10
Ponte di Viale Martiri	13180.90	45.02	Bridge	46.07	0.82	0.0000	46.10
Sez.34v	13192.90	45.02	17.00	46.00	0.89	0.0000	46.04
Sez.33m	13260.90	45.02	17.00	45.69	0.66	0.0000	45.72
Ponte FFSS Milano-Bologna	13262.90	45.02	Bridge	45.69	0.66	0.0000	45.72
Sez.33	13274.90	45.02	17.00	45.32	1.60	0.1651	45.45
Sez.33v	13282.24	43.81	17.00	44.08	1.57	0.2807	44.20
Sez.33v	13286.90	42.50	17.00	43.83	0.40	0.0010	43.83
Sez.attrav. Monte	13311.90	42.47	17.00	43.74	1.06	0.0142	43.79
Sez.attrav. Valle	13336.90	42.12	17.00	43.65	0.87	0.0000	43.68
Sez.Guado1	13344.90	42.12	17.00	43.62	0.90	0.0000	43.66
Sez.Guado1	13345.40	42.12	17.00	43.62	0.80	0.0000	43.65
GUADO	13346.40	42.12	Culvert	43.62	0.80	0.0000	43.65
Sez.Guado1	13351.40	42.12	17.00	43.51	0.88	0.0000	43.55
Sez.Guado1	13351.90	42.12	17.00	43.50	0.99	0.0176	43.55
Sez.32m	13400.90	41.26	17.00	43.38	0.76	0.0000	43.41
Passerella	13401.90	41.26	Bridge	43.38	0.76	0.0000	43.41
Sez.32v	13407.90	41.26	17.00	43.36	0.76	0.0019	43.39
Sez.31m	14030.90	40.07	17.00	41.99	0.86	0.0000	42.03
Ponte di Via Rinaldi	14032.90	40.07	Bridge	41.99	0.86	0.0000	42.03
Sez.31v	14044.90	40.07	17.00	41.95	0.88	0.0035	41.99
Sez.30	14866.90	37.23	17.00	40.05	0.85	0.0013	40.09
Sez.29	15725.90	36.15	17.00	38.38	0.80	0.0353	38.41
Sez.29A	15755.40	35.11	17.00	38.34	0.69	-0.0010	38.37
Sez.28m	16167.40	35.53	17.00	37.89	0.58	0.0000	37.91
Ponte Autostrada A1	16169.40	35.53	Bridge	37.89	0.58	0.0000	37.91
Sez.28v	16211.40	35.53	17.00	37.84	0.60	0.0027	37.86

Dal confronto tra i livelli idrometrici nello stato di fatto ed in presenza del guado, per la portata limite di utilizzo del guado ($17\text{m}^3/\text{s}$) e per la portata bisecolare si evidenziano degli incrementi locali dei profili di rigurgito, compresi tra 3.0 e 7.0 cm, che si esauriscono ancor prima di raggiungere il ponte della ferrovia MI-BO, rimanendo sempre comunque contenuti all'interno dell'alveo inciso del fiume (Figura 10).

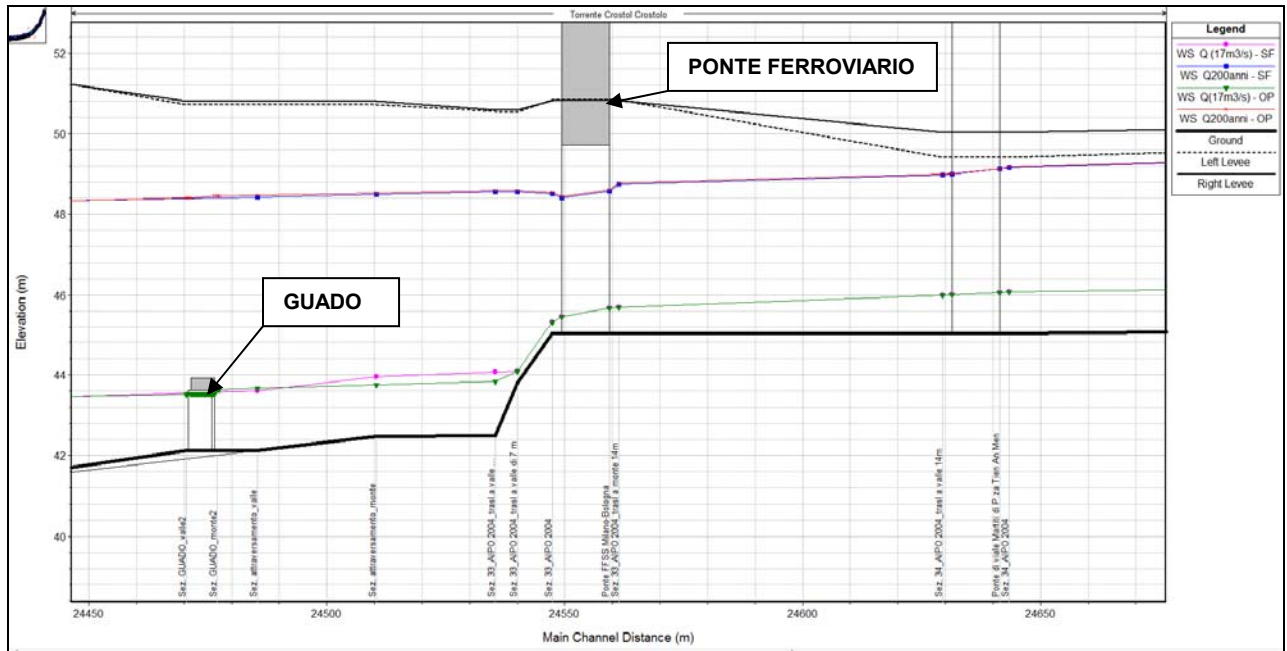


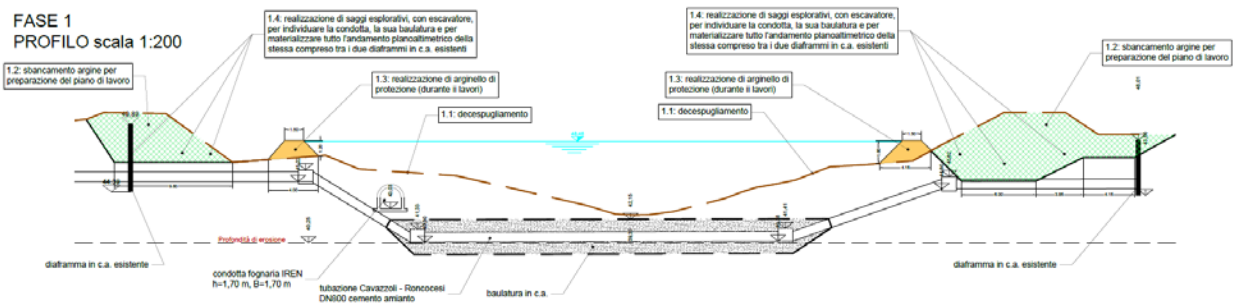
FIGURA 10: CONFRONTO PROFILO DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E CON OPERE PROVVISORIE (GUADO) NELL'INTORNO DELL'ATTRAVERSAMENTO IN PROGETTO SUL TORRENTE CROSTOLO.

Fasi esecutive di cantierizzazione

La realizzazione del ponte dovrà avvenire secondo le seguenti fasi (v. tavola S01ID00IDRPE01):

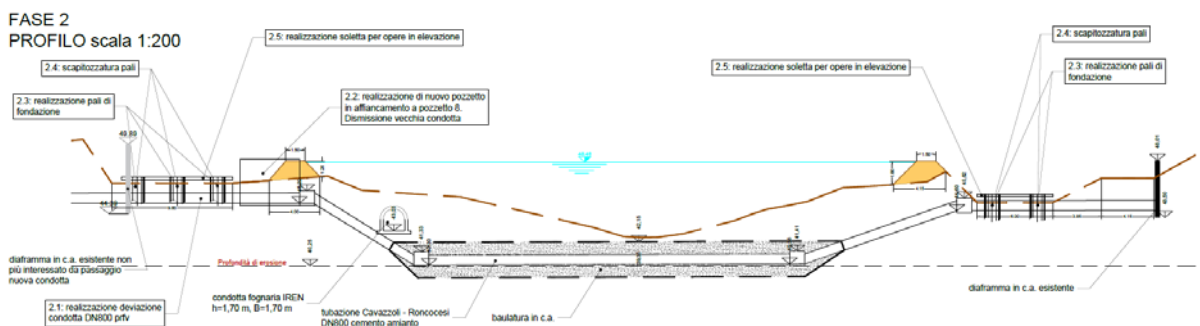
Fase 1

- DECESPUGLIAMENTO E PICCHETTAMENTO.
- REALIZZAZIONE DELLO SBANCAMENTO ARGINALE E DEL RIEMPIMENTO PER LA PREPARAZIONE DEL PIANO DI LAVORO PER L'INFISSIONE DEI PALI.
- REALIZZAZIONE DI ARGINELLO DI PROTEZIONE DURANTE I LAVORI.
- REALIZZAZIONE DI DIVERSI SAGGI ESPLORATIVI, CON ESCAVATORE, PER INDIVIDUARE LA CONDOTTA, COMPRESA LA SUA BAULATURA, E PER MATERIALIZZARE TUTTO L'ANDAMENTO PLANOALTIMETRICO DELLA STESSA, NEL TRATTO COMPRESO TRA I DUE DIAFRAMMI IN CA ESISTENTI.
- REINTERRO DEI SAGGI PRECEDENTEMENTE ESEGUITI.;



Fase 2

- REALIZZAZIONE DI DEVIAZIONE CONDOTTA IN PRFV DN800: SCAVO CON PALANCOLE DI PROTEZIONE;
- REALIZZAZIONE POZZETTO 8A ACCANTO A POZZETTO 8 ESISTENTE E DISMISSIONE VECCHIA CONDOTTA IN CEMENTO AMIANTO;
- REALIZZAZIONE DI PALI DI FONDAZIONE;
- SCAPITOZZATURA PALI
- REALIZZAZIONE SOLETTA PER OPERE IN ELEVAZIONE

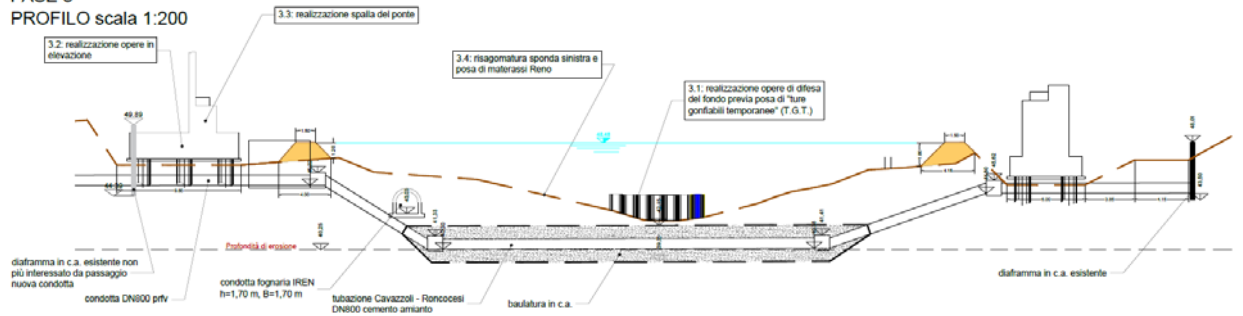


Fase 3

- REALIZZAZIONE OPERE DI DIFESA DEL FONDO E DELLA SPONDA SINISTRA PREVIO POSA DI "TURE GONFIABILI"
- REALIZZAZIONE OPERE IN ELEVAZIONE

- REALIZZAZIONE SPALLA DEL PONTE
- RISAGOMATURA SPONDA SINISTRA CON POSA DI PROTEZIONE IN MATERASSI RENO

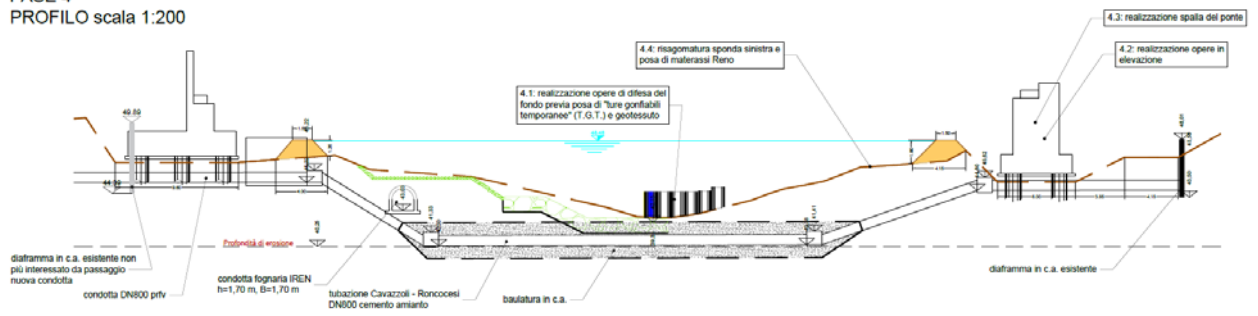
FASE 3
PROFILO scala 1:200



Fase 4

- REALIZZAZIONE OPERE DI DIFESA DEL FONDO E DELLA SPONDA DESTRA PREVIO POSA DI "TURE GONFIABILI"
 - REALIZZAZIONE OPERE IN ELEVAZIONE
 - REALIZZAZIONE SPALLA DEL PONTE
- RISAGOMATURA SPONDA DESTRA CON POSA DI PROTEZIONE IN MATERASSI RENO

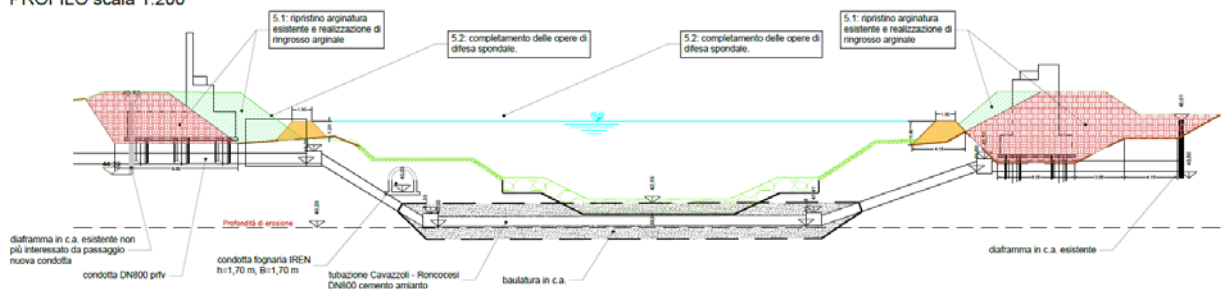
FASE 4
PROFILO scala 1:200



Fase 5

- RIPRISTINO ARGINATURA ESISTENTE E REALIZZAZIONE DEL RINGROSSO ARGINALE CON TERRENO DI SCAVO RULLATO E COMPATTATO
- COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA SPONDALE (IDROSEMINA)

FASE 5
PROFILO scala 1:200



Considerazioni conclusive

Mediante le valutazioni numeriche sopra illustrate, è stato possibile verificare le opere provvisionali da attuare sul Torrente Crostolo. Di seguito sono enucleate le considerazioni conclusive, da rispettare durante le diverse fasi di lavoro:

- le aree destinate allo stoccaggio provvisoriale di materie, e quindi anche di materiali inerti provenienti da movimenti terra effettuati in ambito di cantiere, dovranno risultare esterne ai corpi arginali, fatto salvo il pietrame per il successivo ed immediato reimpiego;
- le aree destinate allo stoccaggio di sostanze idroinquinanti come i serbatoi di stoccaggio di materie contaminanti o potenzialmente contaminanti, devono essere ubicati esternamente ai corpi arginali;
- la quota sommitale degli arginelli provvisoriale non dovrà essere inferiore a 48.50 m slm, in modo da garantire la sicurezza del personale operante in tale area;
- le operazioni di varo della trave del ponte, che avranno una durata limitata di alcuni giorni, dovranno essere previste in un periodo idoneo caratterizzato da assenza o comunque scarsità di precipitazioni sull'intero bacino del T. Crostolo a monte dell'attraversamento in progetto e da livelli idrici di magra del corso d'acqua.

Durante la fase di cantiere si prescrive di effettuare regolarmente un attento monitoraggio dei dati pluviometrici e idrometrici visualizzabili in tempo reale dal sito internet dell'ARPA Emilia Romagna, Servizio IdroMeteoClima (<http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia>) ed in costante contatto con i tecnici AIPO (Ufficio Operativo di Reggio). Lungo l'asta del Torrente Crostolo si possono visualizzare, in tempo reale i livelli idrometrici rilevati nelle stazioni idrometriche di Cadelbosco di Sopra e Puianello. Il monitoraggio si completa con un attento controllo delle previsioni meteo e di un costante collegamento radio con i tecnici di AIPO, territorialmente competenti.

4.4 VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO E DEI FENOMENI EROSIVI GENERALIZZATI E LOCALIZZATI NEL TRATTO INTERESSATO DALL'OPERA

La presenza in un qualunque alveo fluviale di pile, spalle o corpi interagenti con il dinamismo del fiume, comporta inevitabilmente una variazione geometrica della sezione fluviale e quindi aumenti di velocità localizzati causati dall'addensamento delle linee di corrente attorno alle pile stesse.

Questo fenomeno provoca l'instaurarsi di masse vorticosi, a forma di ferro di cavallo, attorno alle pile e può generare importanti processi di erosione localizzati che si formano durante la fase di crescita dell'onda di piena, per poi invertirsi durante la successiva fase calante.

Tali fenomeni devono essere opportunamente indagati al fine di determinare la quota a cui impostare le fondazioni delle strutture, in modo tale che le stesse non siano interessate, a causa dell'erosione, da fenomeni di scalzamento alla base.

Nel caso in esame si sono presi in considerazione i processi erosivi che possono riguardare la spalla del ponte in sinistra idraulica e la pila del ponte localizzata in sponda destra idraulica e ci si è posti nella situazione cautelativa in cui i processi erosivi possano essere influenzati da fattori esterni al ponte e che, in caso estremo, potrebbero interessare le stesse fondazioni.

In generale l'erosione localizzata risulta tanto più marcata quanto più sono elevati i tiranti idrici e la velocità della corrente e quanto più è minuta la pezzatura del materiale incoerente costituente il fondo alveo; le escavazioni più significative si verificano in occasione del transito delle piene.

Il processo erosivo può essere schematizzato come il sovrapporsi di quattro tipi di fenomeni:

- escavazione naturale del fiume,
- escavazione dovuta al restringimento della sezione di deflusso,
- escavazione localizzata attorno alle pile/spalle del ponte,
- erosione regressiva dovuta all'abbassamento del thalweg del Fiume Po e quindi abbassamento del letto del Torrente Crostolo.

Il primo tipo di escavazione è solitamente legato ai fenomeni di trasporto solido che si verificano durante le piene ed in generale sono piuttosto contenuti. Il secondo tipo di erosione è principalmente funzione, oltre che delle caratteristiche idrodinamiche del fiume, del rapporto tra la larghezza ristretta e la larghezza originaria della sezione; quanto più questo è prossimo all'unità, tanto minori sono gli effetti del restringimento sui processi di deflusso ed erosione. I valori di escavazione dovuti a questi due processi sono solitamente riconducibili alle normali variazioni delle forme di fondo.

I processi erosivi più intensi, facilmente riscontrabili nel caso del ponte sul Torrente Crostolo, sono invece quelli localizzati attorno alle spalle del ponte e sono principalmente funzione di:

- forma e dimensione delle spalle,
- angolo tra la corrente indisturbata e la spalla,
- velocità della corrente, velocità critica e tirante idrico,
- caratteristiche dei sedimenti e loro granulometria.

La profondità di scavo massima è determinabile tramite l'applicazione di formule empiriche, disponibili nella letteratura scientifica, derivanti dai risultati di indagini sperimentali. Le formule empiriche sottoriportate si riferiscono alla valutazione dell'erosione in corrispondenza delle pile di un ponte, ne consegue che nel caso specifico del ponte del Torrente Crostolo, caratterizzato dall'assenza di pile in alveo, l'erosione è stata valutata in corrispondenza delle spalle, le quali sono state assimilate a delle pile aventi relativo posizionamento e dimensioni.

Per l'analisi in questione si è adottata la formula empirica sottoriportata, detta Metodo Breusers, Nicollet e Shen, largamente diffusa nelle applicazioni tecniche:

$$d_s/s = f_1(v_0/v_c) [2 \tanh(y_0/s)] f_2 f_3(\alpha, l/s)$$

dove:

l = lunghezza della pila,

s = larghezza della pila,

d_s = profondità di scavo,

v_0 = velocità media della corrente,

v_c = velocità critica di trascinamento,

α = angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila,

f_1 = coefficiente sperimentale, legato al rapporto tra la velocità della corrente e la velocità critica di trascinamento,

f_2 = coefficiente di forma,

f_3 = coefficiente funzione dell'angolo di attacco della corrente,

y_0 = tirante idrico.

Il coefficiente sperimentale f_1 viene determinato in funzione del rapporto tra la velocità media della corrente indisturbata v_0 e la velocità critica di trascinamento v_c , definita come la velocità alla quale inizia il movimento del materiale di fondo di diametro d e peso specifico γ_s . Per i miscugli eterogenei di clasti di forma differente solitamente si utilizza come diametro d il d_{50} ovvero il diametro per passante in peso superiore al 50%.

La velocità critica è la velocità di incipiente movimento per la quale si è adottata la seguente espressione:

$$v_c = 0,85 [2gd(\gamma_s-\gamma)/\gamma]^{1/2}$$

con:

v_c = velocità critica,

g = accelerazione di gravità,

d = diametro d_{50} dei grani,

γ_s = peso specifico del materiale di fondo,

γ = peso specifico dell'acqua.

I coefficienti f assumono i valori di seguito descritti:

$$f_1(v_0/v_c)=0 \quad \text{per} \quad v_0/v_c = 0,5$$

$$f_1(v_0/v_c)=2v_0/v_c-1 \quad \text{per} \quad 0,5 < v_0/v_c \leq 1,0$$

$$f_1(v_0/v_c)=1 \quad \text{per} \quad v_0/v_c > 1,0$$

Il coefficiente f_2 di forma tiene conto dell'impatto delle pile con la corrente in alveo; vale:

$$f_2 = 1,00 \quad \text{per pile circolari o con fronti arrotondate,}$$

$$f_2 = 0,75 \quad \text{per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente,}$$

$$f_2 = 1,30 \quad \text{per pile rettangolari.}$$

I coefficienti f assumono i seguenti valori:

$f_1 = 1$, in quanto la velocità media della corrente risulta essere sempre superiore alla velocità critica di trascinamento;

$$f_2 = 1,3;$$

$$f_3 = 1.$$

Il valore di erosione massima attendibile d_s per un dato evento di piena rappresenta l'escavazione massima che si può avere attorno alle pile/spalle durante l'evento di piena: durante la fase calante della piena si assiste ad un parziale riempimento di tale erosione, pertanto a piena conclusa non si riesce ad evincere quale sia stata effettivamente la profondità massima di scavo raggiunta durante l'evento.

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi condotta, eseguita adottando come tempo di ritorno $TR=200$ anni, portata $Q_{200}=270 \text{ m}^3/\text{s}$ e coefficiente di scabrezza (Strickler) $C=15-20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

TABELLA 4 - DATI RELATIVI AL CALCOLO DELL'EROSIONE MASSIMA ALLA BASE DELLA SPALLA SINISTRA DEL PONTE IN PROGETTO ED ALLA BASE DELLA PILA LOCALIZZATA IN SPONDA DESTRA IDRAULICA.

Torrente Crostolo			
Metodo Breusers, Nicollet e Shen			
Calcolo erosione massima			Ponte in progetto
Q_{200}	270 m ³ /s		
velocità media	v_0	m/s	1.71
tirante idrico	y_0	m	2.39
diametro	d_{50}	m	0.03
gravità	g	m/s ²	9.81
peso specifico grani	g_s	kg/m ³	1900
peso specifico acqua	g_w	kg/m ³	1000
velocità critica di trascinamento	v_c	m/s	0.619
rapporto velocità	v_0/v_c	-	2.764
angolo corrente-pila	a	°	0
diametro o larghezza pila	s	m	5.6
lunghezza pila	l	m	25.5
rapporto larghezza/lunghezza	l/s	-	4.55
f_1		-	1
f_2		-	1.3
f_3		-	1
erosione massima (spalla singola)	ds	m	5.86

Il Metodo Breusers, Nicollet e Shen tende a sovrastimare i valori di erosione massima attendibile d_s , in quanto ipotizza che il materiale costituente il fondo alveo sia completamente disomogeneo.

Avendo preso in considerazione nell'analisi la larghezza della spalla pari alla larghezza totale delle fondazioni (pari a 5.6 m), la profondità massima di erosione raggiunge valori attorno ai 5.86 m (quota 40.25 m s.l.m.). Le fondazioni del ponte sono state quindi calcolate con questa ipotesi estrema.

La letteratura presenta analoghi modelli sempre di carattere empirico o semi-empirico basati sui dati sperimentali per la previsione del valore massimo della profondità di scavo in condizioni di acque chiare e sedimento uniforme. Tali equazioni fanno riferimento ad un medesimo schema, in cui la profondità della fossa d'erosione S risulta crescente sia con l'incremento del tirante idrico y_0 che con la larghezza della pila b .

Le formule sperimentali più note riportate in letteratura e che ricoprono un ampio spettro delle principali grandezze geometriche, cinematiche e dinamiche da cui il fenomeno dipende, sono basate su esperienze di laboratorio con riferimento ad una singola pila cilindrica, in condizioni di velocità prossima a quella limite per l'inizio del movimento del materiale di fondo. Le formulazioni più note sono di seguito riportate.

Secondo Veiga da Cugna (1956-70) (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,35b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,3}$$

Secondo Hancu (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,66b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,13}$$

Secondo Coleman (1971)

$$S = 1,49b^{0,9} \left(\frac{V_0^2}{2g} \right)^{0,1}$$

Secondo Remedia (1984)

$$S = 1,42b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,15}$$

Secondo Shen (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,35b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,2}$$

Le formulazioni empiriche sopra riportate sono state applicate nel caso in esame ipotizzando la spalla del ponte come fosse una pila avente la larghezza $b=5,6m$ e adottando le grandezze idrodinamiche desunte dalla modellistica di dettaglio descritta nel capitolo precedente

Tali formulazioni, tutte espresse in funzione della larghezza della pila, sono usualmente in discreto accordo con i risultati sperimentali di laboratorio e spesso conducono a valutazioni molto diverse fra loro. Inoltre, esse non prendono in considerazione gli effetti dell'evoluzione temporale del fenomeno di scalzamento.

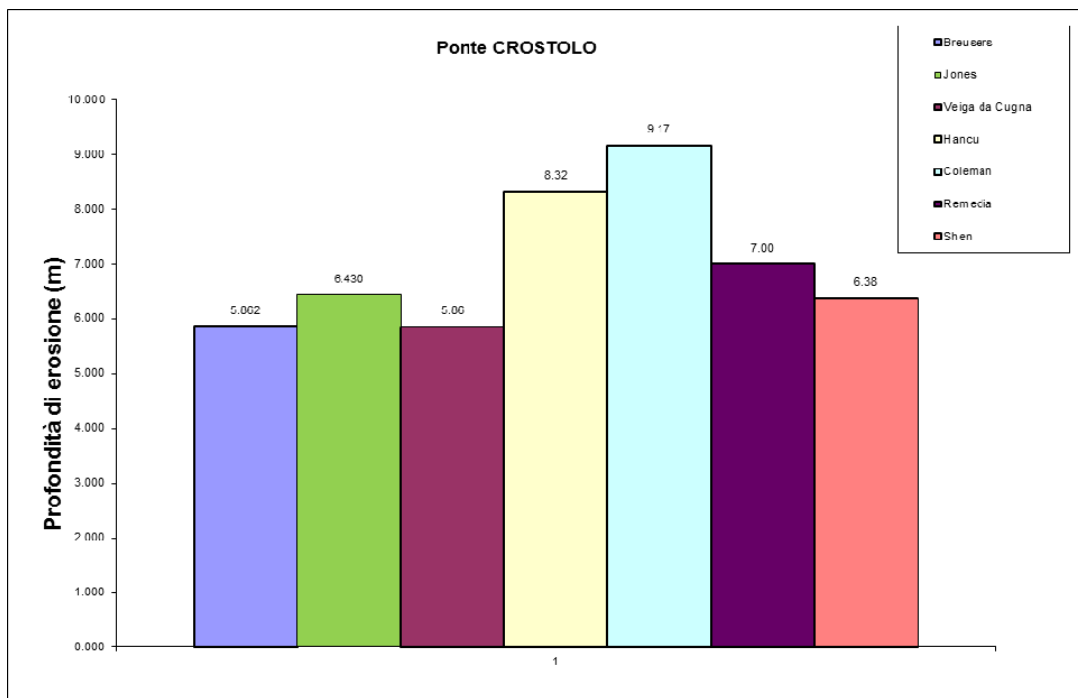


FIGURA 15 – PROFONDITÀ DI EROSIONE STIMATA PER LE SPALLE DEL PONTE IN PROGETTO CON VARIE FORMULAZIONI EMPIRICHE

Il grafico riassuntivo illustra un esempio del campo di variabilità della profondità di scalzamento per la spalla. È evidente il peso della larghezza della spalla nel calcolo della profondità di scalzamento;

infatti, è ragionevole supporre che all'aumentare della larghezza crescano le dimensioni dei vortici a ferro di cavallo.

5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

La Direttiva 4 dell'Autorità di Bacino del fiume Po impone di inserire una serie di presidi idraulici volti a contenere fenomeni di dissesto potenzialmente innescabili dalla presenza del manufatto di attraversamento. Si è proceduto alla Progettazione dei presidi difensivi da apporre sia a protezione delle sponde in frodo che dei paramenti arginali interessati dalle spalle del ponte.

Gli interventi previsti si possono suddividere in 3 categorie e sono riportati nella tavola S01ID00IDRDI02 "Risoluzione attraversamento Torrente Crostolo: Stato di Progetto" e nella tavola S01ID00IDRSZ01: "Torrente Crostolo - Sezioni Trasversali Esistenti E Di Progetto"

- 1) difese longitudinali volte a contenere i processi erosivi sulle sponde e sul fondo
- 2) ringrosso arginale e potenziamento dell'assetto difensivo

La difesa spondale e del fondo si ottiene attraverso la realizzazione di massi di cava non gelivi del peso di 1000-3000 kg/cad. La soluzione viene proposta per un tratto di circa 20 m a monte e 26m valle dell'attraversamento, oltre che lungo tutto l'ingombro del ponte (circa 26 m).

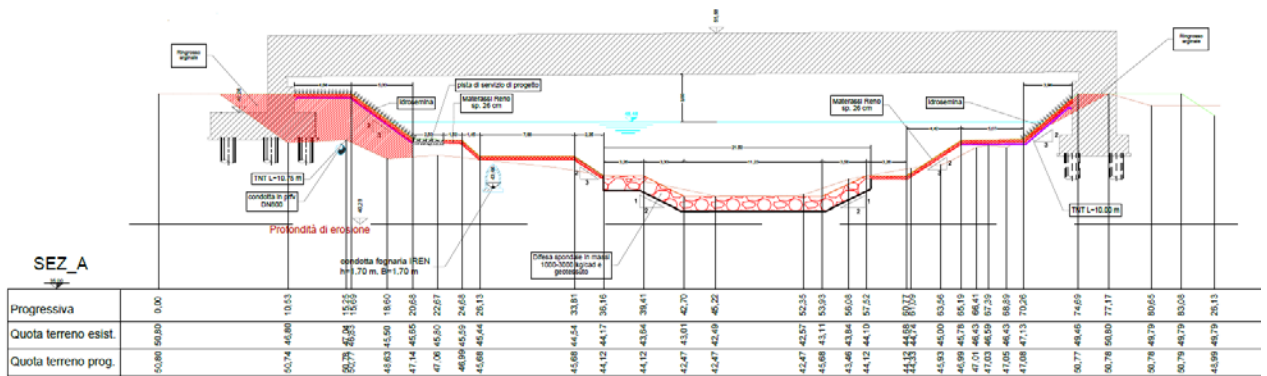


FIGURA 16 - PARTICOLARE DELLE DIFESE SPONDALI PREVISTE

Il ringrosso arginale in sponda destra e sinistra in corrispondenza del ponte si rende necessario in sagoma. E' realizzato con materiale di classe A4-A6 a strati sovrapposti di 50cm, compattati e regolarizzati.

Per il contenimento delle sponde del Crostolo, sono posizionati materassi in rete metallica zincata tipo reno, spessore 26cm a doppia torsione, maglia 6x8 Ø2.2mm riempito con pietrame di media pezzatura. Il materasso è inserito al di sopra di un geotessile non tessuto in poliestere o polipropilene di massa areica 350gr/m². Il ricoprimento del materasso metallico è affidato a uno strato di almeno 20cm di terreno integrato da idrosemina pesante eseguita con attrezzatura a pressione con aggiunta di matrice di fibre organiche e collanti di origine naturale.

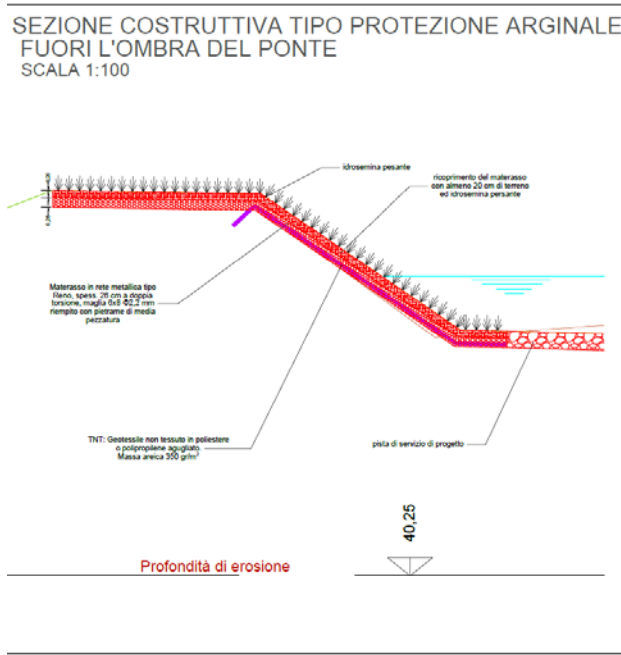


FIGURA 17 - PARTICOLARE DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA PREVISTA FUORI L'OMBRA DEL PONTE

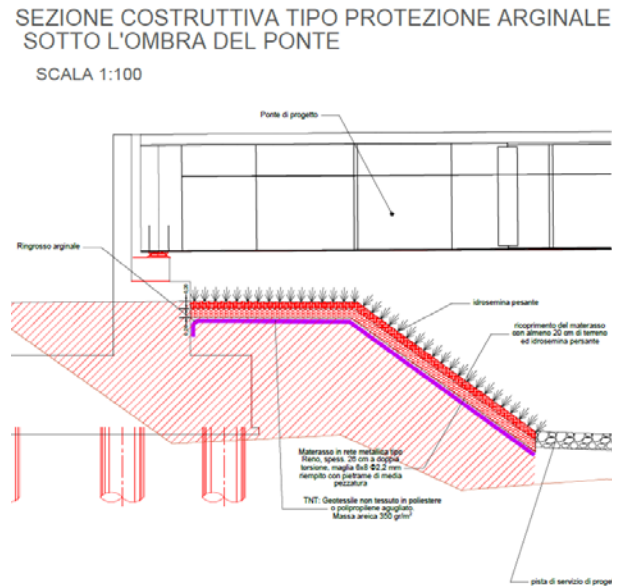


FIGURA 18 - PARTICOLARE DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA PREVISTA SOTTO L'OMBRA DEL PONTE

6. SOTTOSERVIZI E INFRASTRUTTURE ESISTENTI

L'area attraversata dal tracciato stradale, in corrispondenza del ponte sul T. Crostolo e caratterizzata dalla presenza di molti sottoservizi (19), che hanno condizionato le scelte progettuali del ponte stesso, in particolare dal punto di vista della geometria delle fondazioni.

Nella tavola S 01ID00IDRDI03 "Risoluzione attraversamento Torrente Crostolo: Sottoservizi" sono riportati tutti i sottoservizi presenti nell'area circostante al ponte in progetto, in particolare:

- Condotta irrigua Cavazzoli Roncocesi;
- Rete fognaria, acque miste;
- Rete acquedottistica;
- Rete teleriscaldamento;
- Rete Gas;

Di questi, la rete acquedottistica, il teleriscaldamento e il gas gestite da IREN, sono ubicati in sponda sinistra del Crostolo e risultano esterni all'impronta del ponte, quindi la trattazione dell'eventuale deviazione degli stessi, non è argomento di questo studio e si rimanda ad altri elaborati, approfondimenti in merito.

La Rete fognaria acque miste, gestita da IREN, si compone di tre rami, che convergono al pozzetto, codificato da IREN con il N°36663, che si trova in sponda sinistra del Crostolo, lato fiume, a circa 13m a monte del ponte in progetto. Da nord converge al pozzetto il primo ramo costituito da una condotta in CA Ø1400mm; il secondo ramo diverge dal pozzetto in direzione nord ed è rappresentato da un manufatto a volta H=1.70m e B=1.70m in CA con funzione di scarico di troppo pieno all'interno del Crostolo. Quest'ultimo si sviluppa longitudinalmente al corso d'acqua ad una distanza variabile dalle fondazioni del ponte, comunque mai inferiori a 9,50m. Il terzo ramo

è costituito da una condotta ovoidale H=1.80m e B=1.20m in CA che attraversa trasversalmente il corso d'acqua ad una distanza variabile dalle fondamenta del ponte, comunque mai inferiori a 5,50m.

Nella configurazione di progetto il ponte e la relativa sistemazione spondale, non interferisce con la rete fognaria descritta, quindi non si prevedono deviazioni della stessa.

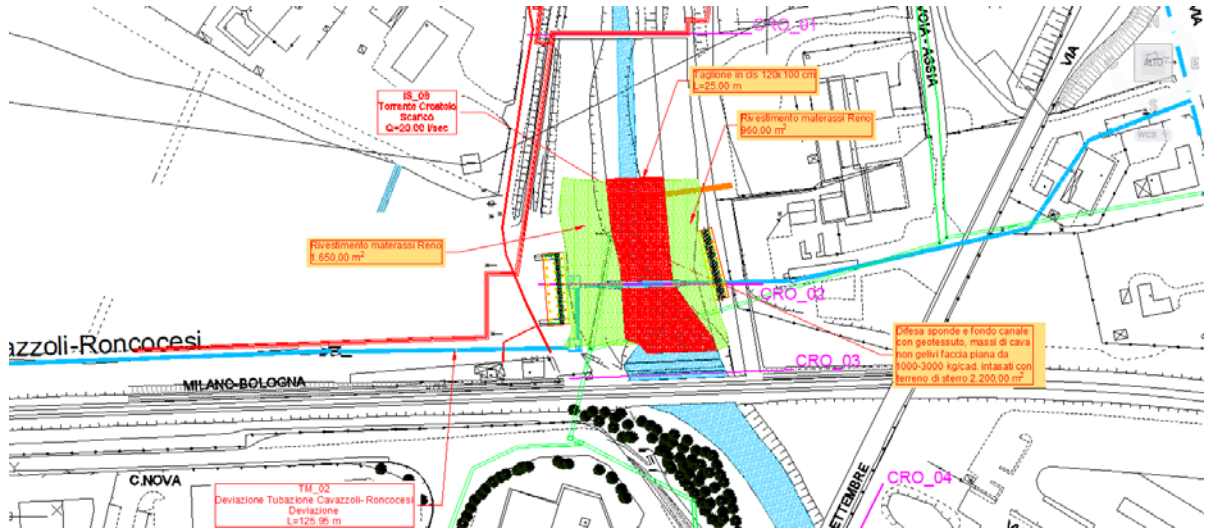


FIGURA 19 - STRALCIO PLANIMETRICO NELL'AREA DEL PONTE SUL T. CROSTOLO E DELLA DEVIAZIONE DELLA CONDOTTA CAVAZZOLI-RONCOCESI.

La condotta irrigua Cavazzoli Roncocesi gestita dal Consorzio di Bonifica si sviluppa trasversalmente al corso d'acqua e lo attraversa con una botte a sifone. Entrambe le spalle della porzione di ponte che interessa il corso d'acqua interferiscono con la condotta irrigua, che nel tratto in esame è in cemento amianto del Ø800mm. Per evitare questa interferenza sono state progettate fondazioni su pali.

Sia sotto al ponte che in sponda destra, la condotta irrigua non è soggetta a delle deviazioni e viene mantenuta inalterata fino al raccordo con il Condotto Sessa Maggiore, dove la condotta Cavazzoli-Roncocesi ha inizio.

In sponda sinistra, poiché la condotta verrebbe ricoperta dal rilevato stradale, con un'altezza media di circa 6,0m, è stato necessario prevedere una deviazione della stessa, esterna al rilevato sul lato sud della tangenziale. Il tratto deviato va dal pozzetto N°10 al pozzetto N°8 per una lunghezza di circa 126m (Figura). Il tratto deviato è previsto che sia realizzato con tubi in PRFV (resina poliestere rinforzata con fibre di vetro) Ø800 PN1 e con una Rigidezza Nominale di 80KN/m². Per i particolari esecutivi si rimanda alla tavola S01ID00IDRDI08.

La deviazione viene realizzata con uno scavo semplice a sezione ristretta, mediante utilizzo di palancole per la messa in sicurezza dello scavo stesso

7. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

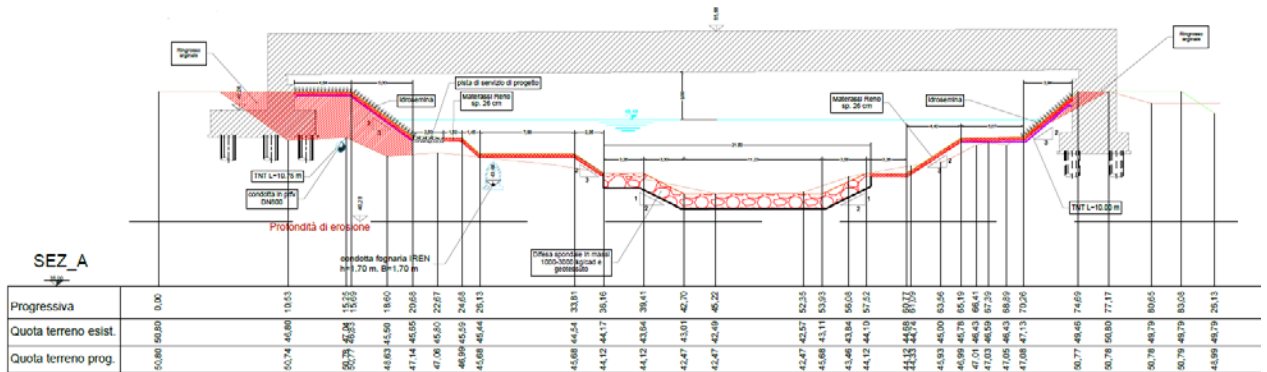
Nel presente paragrafo si riportano le modifiche effettuate sulla base delle seguenti osservazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

Osservazione n. 1:

".....Al fine di scongiurare tale pericolo le difese spondali devono essere adeguatamente intestate a campagna all'inizio e al termine delle stesse; inoltre per la loro protezione al piede (berma) deve essere previsto un approfondimento non inferiore a 2.5 m rispetto la quota di talweg...";

Intervento progettuale conseguente alla O.1:

Le difese spondali sono state adeguatamente intestate a campagna all'inizio ed al termine delle stesse. Inoltre poiché il rivestimento in massi (adeguatamente intestato a monte ed a valle tramite l'inserimento dei taglioni) è stato esteso anche al fondo della canalizzazione, non è stato necessario approfondire la berma. Nella figura seguente si riporta un estratto della tavola S01ID00IDRDI02 del progetto esecutivo.



Osservazione n. 2:

2) "....solleva non poche perplessità il fatto che, in corrispondenza del nuovo ponte, sia presente un attraversamento in subalveo della tubazione a scopo irriguo Cavazzoli-Roncocesi, protetta con una baulatura in calcestruzzo il cui estradosso viene in pratica a coincidere con la quota di talweg del torrente. Si ricorda al proposito che per attraversamenti fluviali in subalveo, la distanza fra l'estradosso dell'attraversamento e la quota naturale di talweg deve essere di norma non inferiore a 2.50 m. Una qualsiasi evoluzione morfologica che metta allo scoperto il manufatto trasformerebbe di fatto lo stesso in una soglia, con la certezza di rilevanti fenomeni erosivi localizzati immediatamente a valle...";

Chiarimenti in merito alla O.2:

Su indicazioni del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale si è deciso di non modificare dal punto di vista altimetrico il tracciato della condotta Cavazzoli-Roncocesi, il cui profilo longitudinale è riportato nella tavola S01ID00IDRFP04.

Osservazioni n. 3 e 4:

"...Inoltre l'attraversamento della tubazione Cavazzoli-Roncocesi viene ad interferire con il piede della scogliera posta a difesa dalla sponda e le fondazioni delle spalle del ponte, che, di necessità, sono state progettate con la tecnica dei diaframmi scatolari, prevedendo un'interruzione degli stessi in corrispondenza della condotta...".

"In conseguenza alle non banali interazioni con le opere in progetto e all'elevata condizione di rischio indotta dalla presenza della condotta irrigua Cavazzoli-Roncocesi, risulta indispensabile provvedere ad un adeguato approfondimento, valutandone anche un opportuno dislocamento planimetrico, dell'esistente attraversamento con botte a sifone, operazione da sviluppare nelle

pertinenti fasi progettuali e, comunque, prima dell'avvio delle procedure per la scelta del contraente.....";

Intervento progettuale conseguente alle O.3 e O.4:

Come già riportato sopra, il rivestimento in massi è stato esteso anche al fondo della sezione; tale rivestimento è stato opportunamente adeguato in corrispondenza dell'interferenza con la tubazione Cavazzoli-Roncocesi, il cui tracciato altimetrico, su indicazioni del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, è rimasto invariato rispetto a quanto previsto nel progetto definitivo.

Inoltre, allo scopo di risolvere l'interferenza tra la tubazione Cavazzoli-Roncocesi e le fondazioni delle spalle e delle pile del ponte, si sono progettate fondazioni su pali prevedendo quindi il passaggio della condotta all'interno dello spazio disponibile tra un palo e l'altro; si fa presente che in accordo con quanto riportato nel progetto definitivo è già previsto il dislocamento planimetrico della tubazione dal pozzetto n. 8 al pozzetto n. 10 (v. figura 23); pertanto l'interferenza tra la condotta e le fondazioni riguarderebbe unicamente la pila del ponte localizzata in corrispondenza della sponda destra (in corrispondenza del pozzetto n.5) del torrente Crostolo.

8. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL DECRETO DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE VIA

Nel presente paragrafo si riportano le modifiche effettuate sulla base delle seguenti osservazioni del Decreto di Compatibilità ambientale VIA:

Osservazione n. 5:

"l'infrastruttura non deve aumentare il rischio di esondazione, anche per rotte arginali, deve quindi essere garantito il deflusso delle acque al fine di non aumentare il rischio per la popolazione".

Chiarimenti in merito alla O.5:

Confrontando i risultati delle modellazioni idrauliche effettuate con riferimento allo stato di fatto (S.F.) e di progetto (S.P.), si evince una sostanziale invarianza dei tiranti (v. tabella 3) e delle velocità nelle condizioni pre e post-operam; pertanto l'infrastruttura non aumenta il rischio di esondazione rispetto allo stato di fatto.

In merito alle rotte arginali, i sopralluoghi effettuati hanno confermato lo stato ottimale di conservazione degli argini; a supporto di ciò vi è la documentazione fotografica nel seguito riportata, attestante la non presenza di rotte arginali.

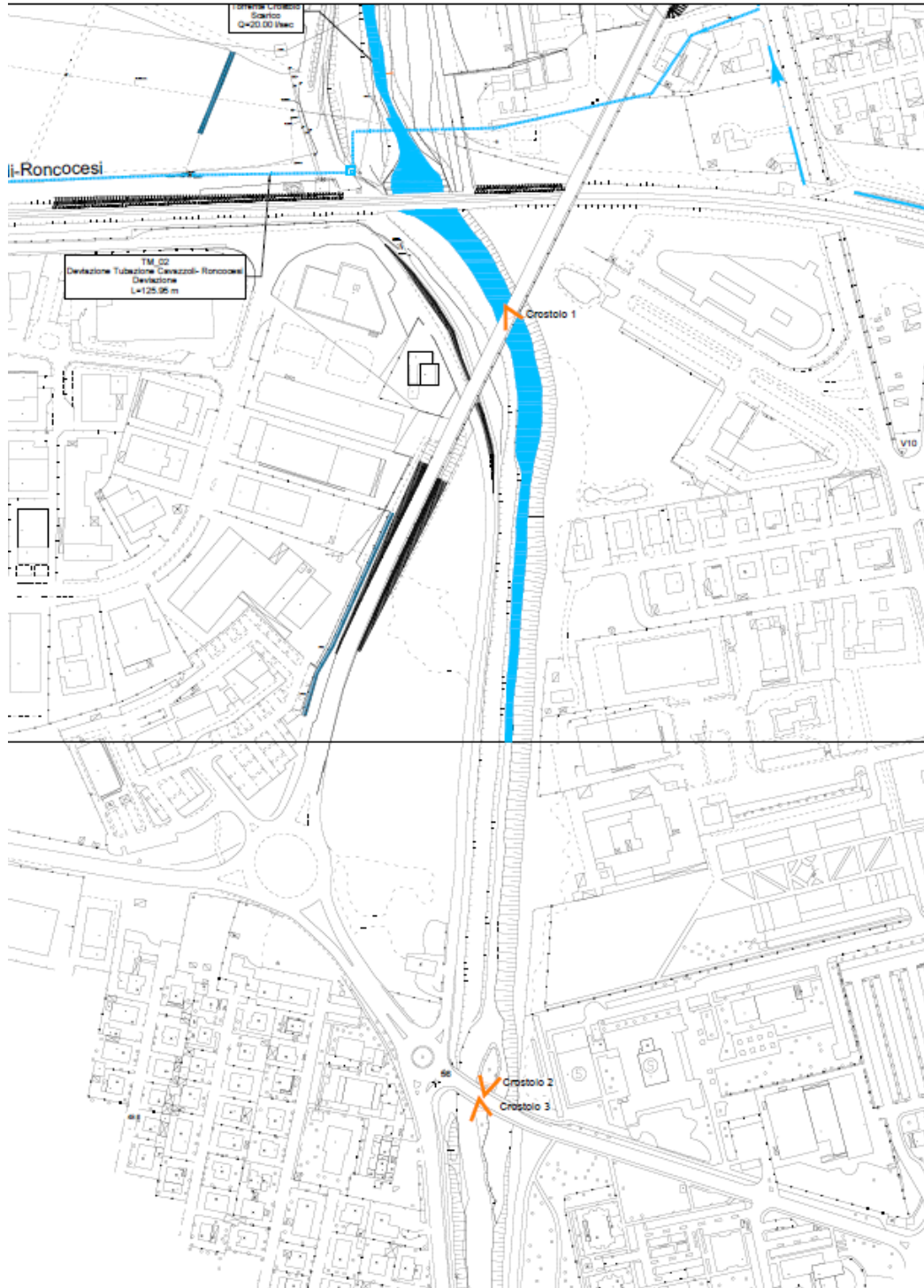


FIGURA 26 – LOCALIZZAZIONE DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto. Crostolo 1



Foto. Crostolo 2.



Foto. Crostolo 3.

Osservazione n. 6:

6) *"..dovrà essere posta, in fase di progettazione esecutiva, particolare attenzione alle realizzazioni da effettuarsi in corrispondenza dei corsi d'acqua, al riguardo gli interventi dovranno recepire le indicazioni dell'Autorità idraulica competente, vale a dire dell'AIPO o della Regione Emilia Romagna per il tramite dei Consorzi di bonifica, ed in particolare delle aree tutelate, al fine di limitarne le interferenze;"*

A tal proposito le osservazioni del Consorzio di bonifica riportano:

"Tubazione Irrigua Cavazzoli-Roncocesi: Si precisa che il pozzetto 8a e il pozzettone 9a dovranno avere posizioni accessibili e dovranno essere ispezionabili, sarebbe auspicabile il posizionamento sulla nuova pista di servizio in progetto. Inoltre il pozzetto 8a dovrà avere le stesse dotazioni del pozzetto n. 9 esistente da demolire: paratoia manovrabile e chiusino in ghisa a tenuta idraulica. Si richiede la presentazione di una tavola di dettaglio che rappresenti a scala adeguata la deviazione della condotta e i suoi manufatti."

Intervento progettuale conseguente alla O.6:

Il progetto esecutivo è stato integrato sulla base delle osservazioni sopra riportate. Nelle tavole S01ID00IDRDI03/02 si riportano i dettagli esecutivi riguardanti la deviazione della condotta ed i suoi manufatti

9. INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALL' OSSERVAZIONE N. E11IIE3 DEI REVISORI DEL PROGETTO ESECUTIVO

Osservazione n. E11IIE3 (secondo quesito) dei revisori del progetto esecutivo:

"mancono negli elaborati progettuali giustificazioni volte ad escludere l'interazione tra le opere in progetto e l'instaurarsi di un eventuale tirante idrico conseguente alle condizioni previste nelle planimetrie citate con riferimento a:

2a) pila di transizione del viadotto Crostolo

2b) rilevati

2c) sottovia"

Considerazioni in merito alla osservazione n. E11IIE3 dei revisori:

Con riferimento all'osservazione E11IIE3(secondo quesito), si osserva quanto segue.

Le fasce di esondazione A e B individuate dal PAI risultano coincidenti e sono relative alla piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni. Le elaborazioni effettuate dai progettisti con riferimento alla medesima piena ($Q= 270 \text{ m}^3/\text{s}$) hanno condotto ai risultati rappresentati nella figura che segue estratta dalla tavola S01ID00IDRDI02:

Tensione di trascinamento τ (kg/m²)	47.617
Numero di Reynolds Re^*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Y_c	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche τ_c (kg/m²)	78.4

da cui si evince che la tensione di trascinamento al fondo τ risulta essere minore della tensione critica di trascinamento τ_c .

b) Analisi dell'erosione sulla sponda.

In tale caso è stato necessario valutare l'angolo di naturale declivio β e la pendenza della scarpata (α); come valore di angolo di naturale declivio si è utilizzato, a vantaggio di sicurezza, un valore pari a 50 gradi, considerando che per le scogliere in massi naturali di opere marittime si utilizza un valore di $\beta=75^\circ$ (Da deppo et al., 2004¹).

Per la valutazione della pendenza della sponda, si è fatto a quella più pericolosa, in corrispondenza della berma, pari a circa 26° .

Diametro particelle (m)	1
Pendenza scarpata α (°)	26
Angolo di naturale declivio β (°)	50
Tensione di trascinamento τ (kg/m²)	47.62
Numero di Reynolds Re^*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Y_c	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche τ_c (kg/m²)	64.29

Come si può notare anche in questo caso la tensione di trascinamento al fondo τ risulta essere minore della tensione critica di trascinamento τ_c che è minore rispetto al caso precedente.

c) Analisi dell'erosione per rotolamento delle particelle.

In tale caso è stato necessario introdurre il valore dell'angolo di Pivoting, assunto un valore pari a 50 gradi.

Angolo Pivoting ϕ (°)	50
Tensione di trascinamento (kg/m²)	47.62
Numero di Reynolds Re^*	683960
Parametro di Shields in condizioni critiche Y_c	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m²)	77.47

¹ L. Da Deppo, C. Datei, P. Salandin, Sistemazione dei corsi d'acqua, Libreria Internazionale Cortina Padova, ISBN 88-7784-246-6, 2004

Come si può notare anche in questo caso, la tensione di trascinamento al fondo τ risulta essere minore della tensione critica di trascinamento $\tau_{c,no}$ che è minore rispetto al caso dello strisciamento.

d) Analisi dell'erosione per rotolamento delle particelle sulle sponde

Anche in tale caso è stato necessario utilizzare l'angolo di naturale declivio (assunto pari a 50°) e la pendenza della scarpata assunta pari a 26° . Come si può notare anche in questo caso, la tensione di trascinamento al fondo τ risulta essere minore della tensione critica di trascinamento $\tau_{c,no}$ che è minore rispetto ai casi precedenti.

Angolo di natural declivio β ($^\circ$)	50
Pendenza scarpata α ($^\circ$)	26
Angolo Pivoting ϕ ($^\circ$)	50
Tensione di trascinamento (kg/m²)	47.617
Numero di Reynolds Re^*	683960
Parametro di Shields in condizioni critiche Yc	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m²)	63.53