

# 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° 5686 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	 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 Impincatore Tricarico n° 70126 San...  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 Macchi (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
---	---	---	-----------------------------------	--

<b>FA 005</b>		<b>F - PROGETTO IDRAULICO</b>			
		<b>FA - RELAZIONI</b>			
		<b>Relazione idraulica Torrente Quaresimo</b>			
CODICE PROGETTO PROGETTO    LIV. PROG.    ANNO COBO    E    1701		NOME FILE T00ID00IDRRE01.dwg		REVISIONE C	SCALA:
CODICE ELAB. T00ID00IDRRE05					
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

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>3</b>
2.1	CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	3
2.2	ASPETTI IDROLOGICI	4
2.2.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)	4
<b>3.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>VERIFICHE IDRAULICHE</b>	<b>7</b>
4.1	L'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE	7
4.2	VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO/STATI DI PROGETTO	8
	Verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento	8
	Valutazione della compatibilità idraulica	10
4.3	VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO E DEI FENOMENI EROSIVI GENERALIZZATI E LOCALIZZATI NEL TRATTO INTERESSATO DALLE OPERE	15
<b>5.</b>	<b>INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI</b>	<b>16</b>
<b>7.</b>	<b>INTEGRAZIONI/NOTE DI CHIARIMENTI RELATIVAMENTE ALLE OSSERVAZIONI DEL DECRETO DI COMPATIBILITÀ AMBIENTALE VIA</b>	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>ANALISI DELL'AZIONE EROSIVA SULLE SPONDE E SUL FONDO</b>	<b>21</b>

### 1.      P R E M E S S A

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) *".....Nuovamente si sottolinea l'insufficienza, perlomeno formale, di fissare le portate di piena facendo riferimento al "Progetto speciale Valutazione delle Piene (VAPI)", sviluppato sulla base di dati idrologici ormai vecchi più di 5 lustri. Il dato di portata bicentenaria assunto per le verifiche va di necessità verificato ed eventualmente rivalutato sulla base dei più recenti dati disponibili."*

2) *"Come per l'attraversamento sul Torrente Modolena, la protezione prevista per il fondo e per le sponde (massi di cava non gelivi del peso di 100-300 kg/cad, intasati con terreno di sterro) non pare essere adeguata a garantire la stabilità della sezione, essendo da temere il rapido*

*dilavamento del terreno d'intasamento e il suo conseguente dissesto. La scogliera va in ed alle ogni caso verificata al fondo e sulla sponda, essendo diverse le condizioni di stabilità nei due casi. Devono inoltre essere previsti interventi opportuni per evitarne lo scalzamento a monte e a valle.*

### **Osservazioni del Decreto di Compatibilità ambientale VIA**

3) *"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"*

4) *"..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 :*

*"Il franco delle piste di servizio, indicato pari a 3,00m rispetto all'intradosso del ponte, dovrà essere almeno 4,00m che potranno ricavarsi anche tramite un abbassamento della quota della pista stessa. Se non è possibile adeguare tale franco, occorrerà realizzare le rampe di discesa in alveo sia a monte che a valle dell'interferenza.*

*Ad ogni modo è necessario individuare delle rampe di discesa in alveo dalle sotto-banche per consentire l'attraversamento dell'alveo da sponda destra a sponda sinistra (pertanto dovrà essere realizzata almeno una rampa in destra e una sinistra, invece nel caso non si possa assicurare il franco minimo suddetto occorrerà realizzarne due in destra (una a monte e una a valle del ponte) e due in sinistra (una a monte e una a valle del ponte). A monte dell'interferenza occorrerà realizzare anche un collegamento tra la sommità dell'argine sinistro e la pista di servizio che consente di arrivare alla Fossetta della Torretta.*

*Per quanto riguarda i rivestimenti del Modolena e Quaresino, dovranno avere pezzatura pari a 1000kg-3000kg con almeno una faccia piana da posizionarsi nella parte a vista. Il rivestimento dovrà ricoprire l'intera sezione."*

Nel seguito nei paragrafi 2-5 si riporta la relazione idrologico e idraulica del progetto definitivo, rivista sulla base degli aggiornamenti effettuati nel progetto esecutivo; invece nel paragrafo 6, si riportano le integrazioni/note di chiarimenti relative ai punti 1-2 delle osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici, nel paragrafo 7 si riportano le integrazioni relative alle osservazione n. 3, 4 e 5 del V.I.A. Infine nel paragrafo 8 si riporta la verifica all'erosione per trascinarsi e rotolamento, in corrispondenza di una sezione a monte dell'attraversamento del Quaresimo, considerando i rivestimenti con pezzatura pari a 1000 kg-3000kg sull'intera sezione, come richiesto 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 influente 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 Quaresimo è un corso d'acqua di competenza gestionale del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale che viene attraversato dalla tangenziale circa 170m a valle dell'esistente ponte della linea Ferroviaria Milano-Bologna, nell'area a nord della zona industriale di Corte Tegge a circa 5,7Km dal centro urbano del Comune di Reggio Emilia. L'interferenza ricade quasi alla fine del tratto di prolungamento del tracciato stradale, tra le progressive km 05+175,00e km 05+210,00 (Figura 1).

Anche questo corso d'acqua come il t. Modolena si è trasformato in un canale monocorsuale perdendo nel tempo la sua naturalità. E' delimitato e costretto da ambo i lati da arginature crescenti e le sue acque di dubbia qualità sono colonizzate da popolazioni chironomi, ditteri e irudinei, mentre la sporadica fauna ittica è di origine esclusivamente alloctona (pseudoaradora, barbus barbus, silurus glani, abramidi e carassius auratus et al).



**FIGURA 1 - TORRENTE QUARESIMO IN CORRISPONDENZA DELL'ATTRAVERSAMENTO IN PROGETTO**

### 2.1 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il bacino del Quaresimo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), comprendente anche quello del Torrente Modolena, ha una superficie complessiva di circa 108 Km<sup>2</sup>, si sviluppa lungo l'orientamento S — N e si estende tra le prime colline della fascia appenninica e l'alta Pianura Padana, caratterizzata da rilievi non molto elevati, circa 250m slm.

Il Torrente Quaresimo, che nasce sulle colline di Quattro Castella, è il principale affluente del torrente Modolena. Il reticolo idrografico è tipico dell'area di alta pianura e di collina ai piedi dell'appennino; oltre all'asta principale, di lunghezza modesta, circa 20Km, il reticolo secondario è costituito da corsi d'acqua di modeste dimensioni e scarsa pendenza, va comunque ricordato l'apporto idrico del rio Moreno, che scarica le sue acque, in sponda idrografica destra del Quaresimo, poco a monte della Via Emilia.

Nella fascia compresa fra il T. Modolena e il T. Quaresimo: i terreni più superficiali, che risentono degli apporti dei torrenti suddetti, sono prevalentemente limosi e sabbiosi; quelli più profondi sono invece argillosi. In questo caso abbiamo un grado di vulnerabilità da medio ad elevato. Infatti in corrispondenza del Modolena e del Quaresimo abbiamo i terreni superficiali più grossolani e quindi un grado di permeabilità più elevato.

Dal punto di vista naturalistico-ambientale il tratto di torrente indagato presenta un alveo privo di essenze arboree ed arbustive poiché, regolarmente mantenuto dal personale del Consorzio di Bonifica. L'aspetto del torrente a valle della Via Emilia è paragonabile a quello di un canale di bonifica con sponde caratterizzate da vegetazione erbacea rada (Figura 1), quindi rappresenta un habitat poco ospitale per specie animali come uccelli e piccoli mammiferi, a parte le nutrie che possono essere avvistate regolarmente.

## 2.2 ASPETTI IDROLOGICI

Il regime pluviale è contraddistinto da elevata piovosità solo nelle zone collinari, in pianura la piovosità è invece modesta. 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.

Lungo l'asta del torrente non sono presenti stazioni idrometriche ufficiali, quindi i valori di portata assunti nel presente studio si riferiscono ai dati riportati nel PTCP di Reggio Emilia. Questi derivano dall'analisi idrologica condotta secondo le procedure previste dal PAI mediante la determinazione delle portate di piena con l'utilizzo del metodo razionale. I risultati ottenuti mediante tale metodologia sono poi stati confrontati con quelli che si ottengono con altri metodi di analisi, in particolare quelli utilizzati nell'ambito delle metodologie sviluppate per il "Progetto speciale Valutazione delle Piene (VAPI)". Quest'ultimo è stato sviluppato dal Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, che definisce una metodologia omogenea sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena. I valori di portata, per tempi di ritorno pari a 20, 100, 200 e 500 anni, scaturiti dalle precedenti analisi sono riportate in Tabella 1 e sono riferiti a diverse sezioni dell'asta torrentizia.

I valori di portata presi a riferimento per la modellazione idraulica sono quelli più cautelativi cioè quelli derivanti dal metodo VAPI.

**TABELLA 1 - PORTATE DI PIENE PER IL TORRENTE QUARESIMO (DA PTCP REGGIO EMILIA)**

QUARESIMO		METODO RAZIONALE Q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s)				VAPI (piogge) Q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s)					
SEZ.	Località	T=20	T=100	T=200	T=500	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	T=500
6	Villa Anna	51.7	66.0	72.4	80.7	49.6	56.2	64.7	71.3	77.9	86.4
7	SP n. 28	38.9	49.3	54.0	60.2	40.0	45.3	52.2	57.5	62.8	69.7
8	Conf. Mareno	38.6	48.5	53.1	59.3	42.4	48.0	55.3	60.9	66.5	73.8
4	C. Verzelloni	58.0	73.2	80.2	89.5	60.9	69.0	79.4	87.5	95.6	106.1

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

Nel tratto oggetto di intervento il corso d'acqua si sviluppa lungo la direttrice S - N fino alla confluenza con il torrente Modolena in località Roncocesi, frazione di Reggio Emilia. La struttura d'alveo nel tratto d'interesse è ovunque unicursale, caratterizzata dall'assenza di golene e con arginature su entrambe le sponde con altezza di circa 2,50m rispetto al piano campagna.

Il Quaresimo è delimitato dalle fasce fluviali, definite secondo le indicazioni contenute nell'ambito delle Direttive tecniche del PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) e del PSFF (Piano Stralcio delle Fasce Fluviali).

La delimitazione delle Fasce Fluviali lungo l'asta del Quaresimo, riguarda il tratto compreso fra la confluenza in Modolena e la zona compresa tra le località Ghiardo e Ghiardello, per un'estensione complessiva di circa 16Km.

Nel tratto di monte fino alla SP n°28 per Montecchio, tutto il corso d'acqua presenta sezioni relativamente strette con poche possibilità di espansione. In particolare la prima parte risulta costituita da sezioni naturali con pendenze di media pianura senza presentare particolari problematiche o criticità. Tuttavia si rileva che, in occasione di bervi ed intense precipitazioni, lungo questo tratto ed in corrispondenza di manufatti non ancora adeguati alle piene di riferimento, si presentano modesti casi di crisi idraulica del torrente e dei corpi scolanti del reticolo secondario.

Nel tratti a valle della SP per Montecchio fino alla confluenza in Modolena, quindi nell'area in esame, l'alveo del Quaresimo risulta totalmente arginato, con sezioni che risultano adeguate al transito delle portate di progetto, anche se in alcuni tratti si evidenziano franchi modesti.

A differenza dei tratti collinari a maggiore pendenza, il tratto in esame che si sviluppa nell'alta pianura, si presenta sostanzialmente in equilibrio rispetto all'erosione di fondo.

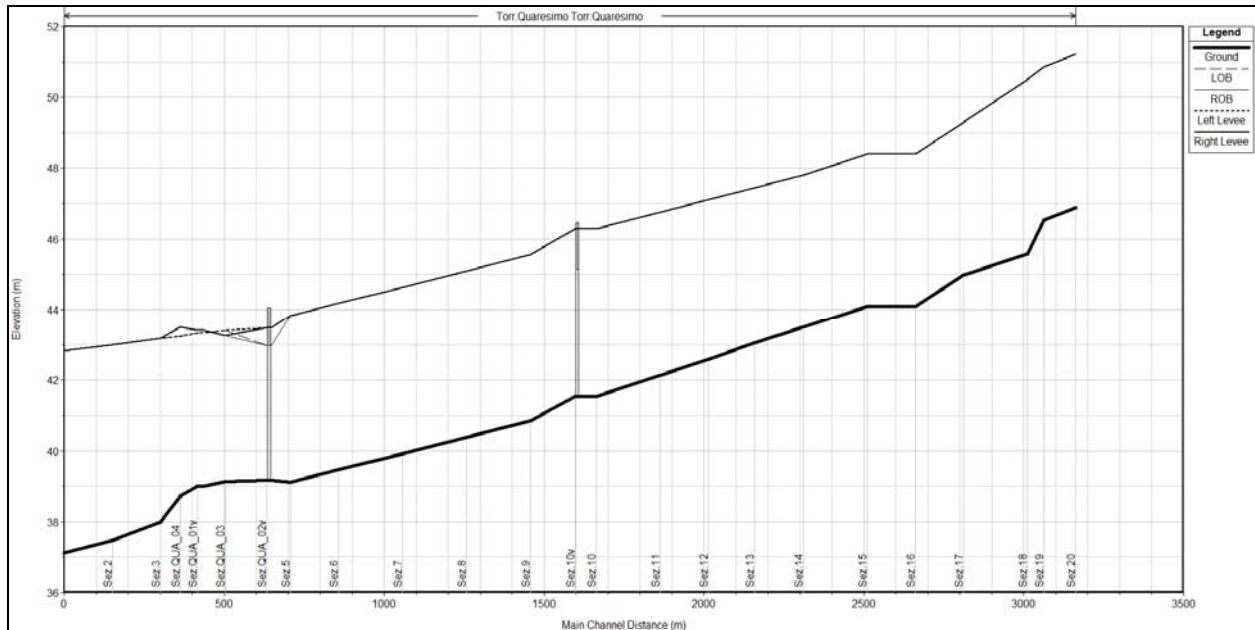


Nell'area in oggetto il principale manufatto esistente, circa 170m a monte di quello in progetto, è l'attraversamento idraulico della ferrovia Milano Bologna: trattasi di un ponte scatolare di luce pari a 8,0m (Figura 2). L'intradosso dell'impalcato è alla quota di 42.97m slm che garantisce un franco di sicurezza modesto rispetto alla portata duecentennale, di soli 27 cm.

**FIGURA 2 - PONTE FFSS SUL T.QUARESIMO**

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 dal Consorzio di Bonifica, risalenti al 1994, questi sono stati integrati con quattro sezione idrauliche nell'intorno del ponte in esame, rilevate nel 2012 nell'ambito del progetto definitivo. L'intero rilievo utilizzato è costituito da 24 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 3.15km, di cui 2.0 km a monte dell'attraversamento in esame. (FIGURA 3).



**FIGURA 3 - ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DEI PRESIDI ARGINALI NEL TRATTO DI FIUME CONSIDERATO**

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.

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  $25\text{m/s}^{1/3}$  per l'alveo inciso e  $23\text{m/s}^{1/3}$  per la parte spondale, poichè quest'ultima presenta un cotico erboso maggiore rispetto al fondo, quindi un grado di scabrezza leggermente superiore.

### 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 riportati nel PTCP di Reggio Emilia ed esposti nel paragrafo 2.2. Nello specifico sono stati utilizzati i valori di portata ottenuti mediante il "Progetto speciale Valutazione delle Piene (VAPI)" poichè a favore di sicurezza rispetto ai valori ottenuti con il "metodo Razionale"



**TABELLA 1 - VALORI DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO LUNGO L'ASTA DEL TORRENTE QUARESIMO**

LOCALITA'	PORTATE METODO "VAPI"					
	T=10anni i	T=20anni	T=50anni	T=100anni i	T=200anni ni	T=500anni i
Villa Anna	49.6	56.2	64.7	71.3	77.9	86.4
S.P. n°28	40.0	45.3	52.2	57.5	62.8	69.7
Conf. Mareno	42.4	48.0	55.3	60.9	66.5	73.8
C. Verzelloni	60.9	69.0	79.4	87.5	95.6	106.1

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 41.56 m s.l.m., coincidente con quello del torrente Modolena tra la sezione 24 e 23 durante un evento di piena con TR=200anni.
- portata bicentenaria in ingresso nel modello idraulico a monte del ponte in progetto pari a 66.5m<sup>3</sup>/s.

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

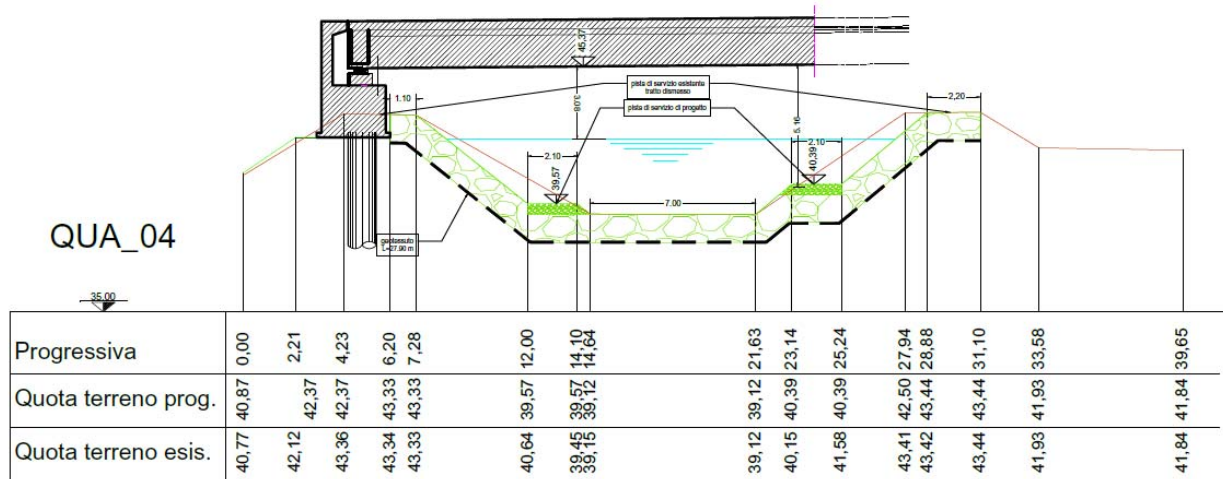
- configurazione attuale in assenza del nuovo attraversamento (stato di fatto);
- configurazione con la presenza del nuovo attraversamento stradale (situazione di progetto).

## 4. VERIFICHE IDRAULICHE

### 4.1 L'OPERA DI ATTRAVERSAMENTO STRADALE

Il ponte stradale che attraversa il torrente Quaresimo è costituito da un'unica campata con luce pari a 29.4 m.

Il 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 45.37 m s.l.m con un franco di circa 3.08m rispetto al tirante idrico generato da una piena bisecolare (Figura 1).



**FIGURA 1 - PONTE IN PROGETTO SUL QUARESIMO (SEZIONE PERPENDICOLARE AL CANALE).**

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

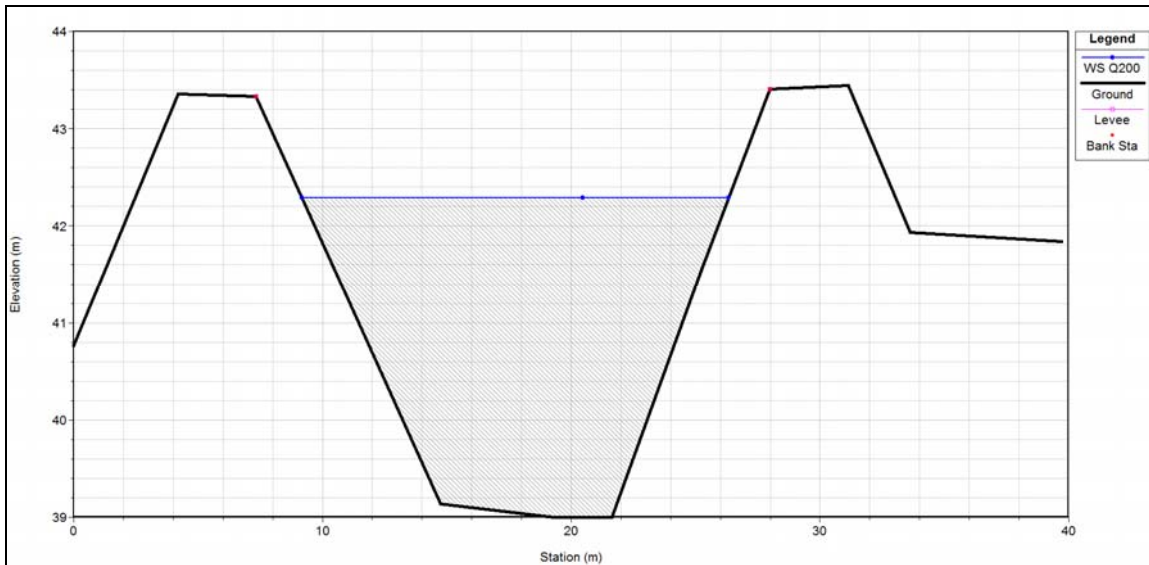
Le verifiche idrauliche consistono nella determinazione delle principali caratteristiche con cui si propagano le onde di piena secondo la rispettiva descrizione geometrica dell'alveo, sia nello stato di fatto che in quello di progetto.

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 43.40 m s.l.m. in entrambe le sponde, mentre il livello per la piena bicentenaria nella configurazione attuale è a quota 42.29 m s.l.m., ne risulta pertanto che le arginature sono opportunamente dimensionate per la portata di 66.5 m<sup>3</sup>/sec, in quanto il franco minimo è superiore a 1.0 m.

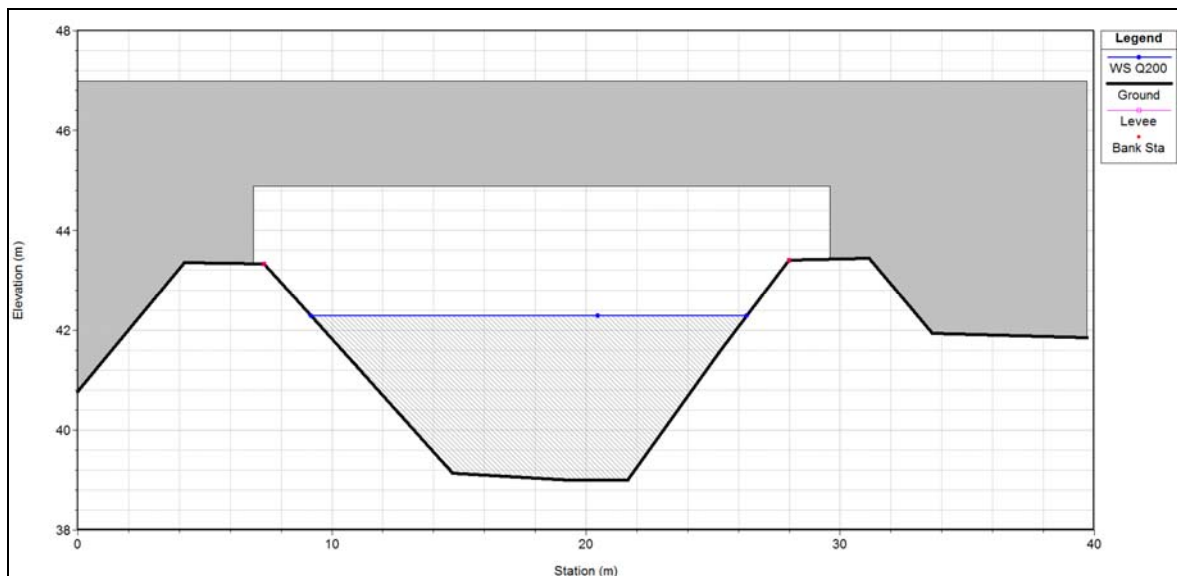


**FIGURA 2 - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA Q200 DEL TORRENTE QUARESIMO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI FATTO**

- Stato di progetto

Nella configurazione di progetto è previsto l'inserimento del ponte; in tale condizione il livello per la piena bicentenaria nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento stradale si attesta a quota 42.29 m s.l.m., quindi il franco idraulico, pari a 2.93m, risulta maggiore rispetto al valore minimo di 1 m definito dalle prescrizioni di ANAS.

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.**

## Valutazione della compatibilità idraulica

### Effetto E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena.

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

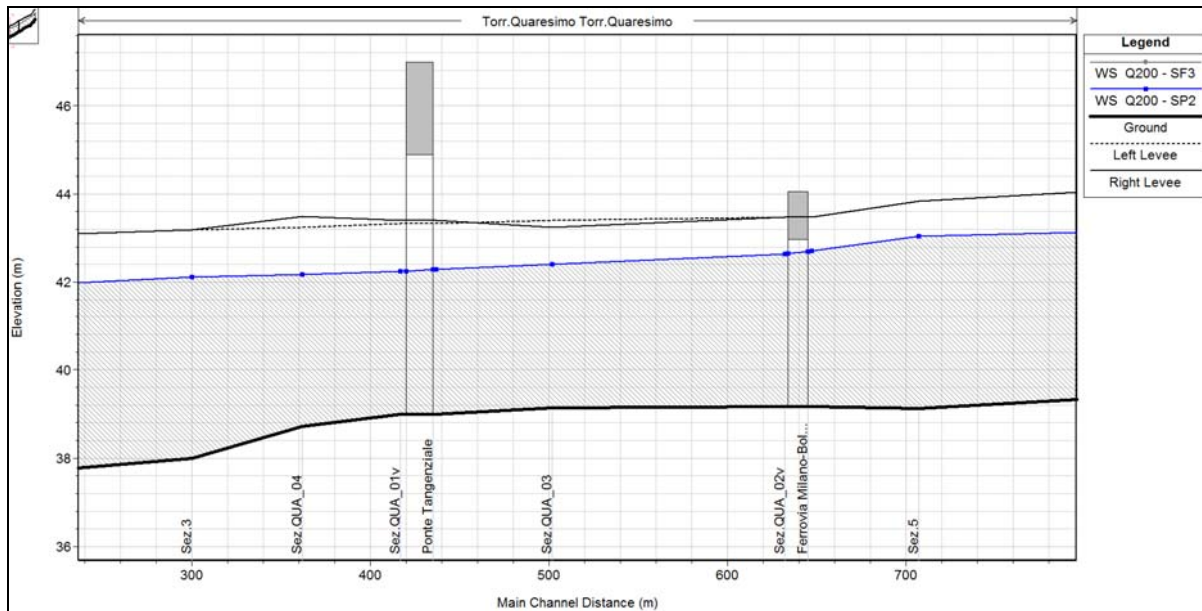
Modalità di quantificazione: confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e ad intervento realizzato.

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.)**

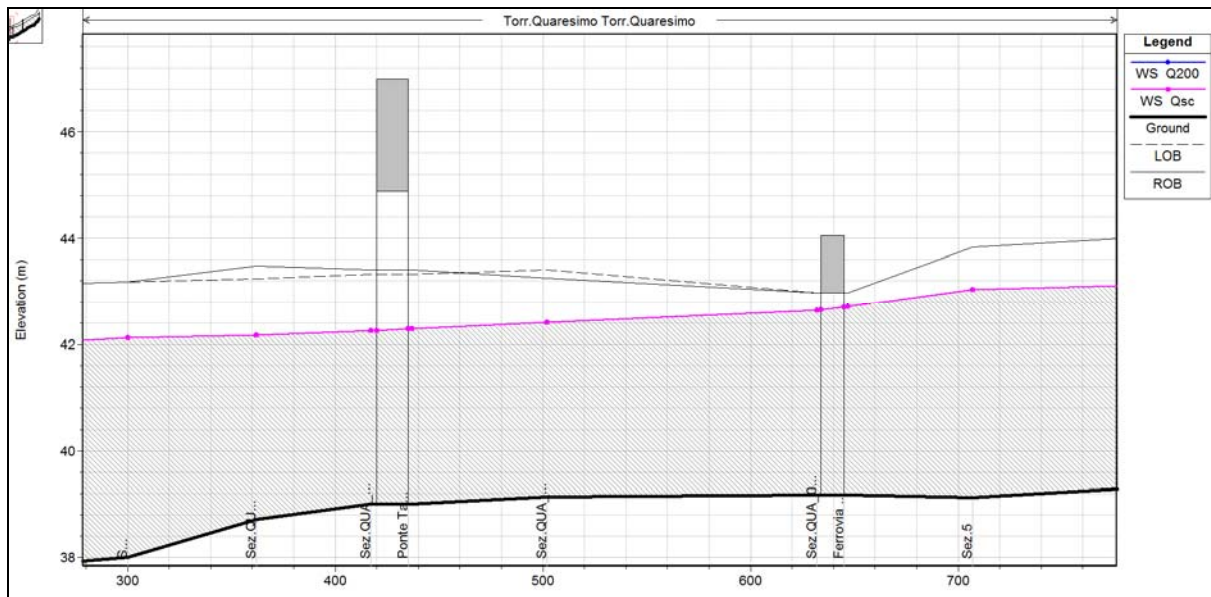
Sezione Topografica	Progressiva	Quota del fondo	Q200 di progetto	Livelli idrometrici S.F.	Livelli idrometrici S.P.	$\Delta H$	Velocità S.F.	Velocità S.P.	Pendenza	Carico totale S.F.	Carico
											o totale S.P.
	[m]	[m s.l.m.]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m]	[m]
Sez.20	0.00	46.89	62.80	49.84	49.84	0.00	2.41	2.41	0.0035	50.14	50.14
Sez.19	100.00	46.54	62.80	48.79	48.79	0.00	3.53	3.53	0.0186	49.42	49.42
Sez.18	151.00	45.59	62.80	48.78	48.78	0.00	2.15	2.15	0.0030	49.02	49.02
Sez.17	351.00	44.99	62.80	48.08	48.08	0.00	2.26	2.26	0.0060	48.34	48.34
Sez.16	501.00	44.09	62.80	47.78	47.78	0.00	1.74	1.74	0.0000	47.94	47.94
Sez.15	652.00	44.09	62.80	47.38	47.38	0.00	2.06	2.06	0.0030	47.60	47.60
Sez.14	852.00	43.49	66.50	46.72	46.72	0.00	2.24	2.24	0.0030	46.97	46.97
Sez.13	1003.00	43.04	66.50	46.26	46.26	0.00	2.10	2.10	0.0031	46.48	46.48
Sez.12	1149.00	42.59	66.50	45.83	45.83	0.00	2.08	2.08	0.0030	46.05	46.05
Sez.11	1299.00	42.14	66.50	45.41	45.41	0.00	2.06	2.06	0.0030	45.62	45.62
Sez.10	1499.00	41.54	66.50	44.89	44.89	0.00	1.95	1.95	0.0000	45.09	45.09
Sez.10m	1554.00	41.54	66.50	44.70	44.70	0.00	2.13	2.13	0.0000	44.93	44.93
Ponte via											
Emilia	1564.00	41.54	Bridge	44.68	44.68	0.00	2.15	2.15	0.0000	44.92	44.92
Sez.10v	1564.00	41.54	66.50	44.66	44.66	0.00	2.17	2.17	0.0050	44.90	44.90
Sez.9	1705.00	40.84	66.50	44.33	44.33	0.00	1.86	1.86	0.0023	44.51	44.51
Sez.8	1905.00	40.38	66.50	43.92	43.92	0.00	1.82	1.82	0.0023	44.09	44.09
Sez.7	2105.00	39.92	66.50	43.53	43.53	0.00	1.77	1.77	0.0023	43.69	43.69
Sez.6	2305.00	39.46	66.50	43.20	43.20	0.00	1.68	1.68	0.0023	43.34	43.34
Sez.5	2455.00	39.12	66.50	43.04	43.04	0.00	1.30	1.30	-0.0008	43.12	43.12
QUA_02	2515.00	39.17	66.50	42.71	42.71	0.00	2.36	2.36	0.0000	42.99	42.99

m												
Ponte FFS MI-BO												
	2530.00	39.17	Bridge	42.68	42.68	0.00	2.38	2.38	0.0000	42.95	42.95	
QUA_02v	2530.00	39.17	66.50	42.64	42.64	0.00	2.41	2.41	0.0002	42.93	42.93	
QUA_03	2660.00	39.14	66.50	42.41	42.41	0.00	1.70	1.70	0.0022	42.56	42.56	
QUA_01	2725.00	39.00	66.50	42.29	42.29	0.00	1.72	1.72	0.0000	42.44	42.44	
Ponte Tangenzi												
ale	2745.00	39.00	Bridge	42.29	42.29	0.00	1.72	1.72	0.0000	42.44	42.44	
QUA_01v	2745.00	39.00	66.50	42.24	42.24	0.00	1.75	1.75	0.0051	42.40	42.40	
QUA_04	2800.00	38.72	66.50	42.17	42.17	0.00	1.60	1.60	0.0116	42.30	42.30	
Sez.3	2862.00	38.00	66.50	42.11	42.11	0.00	1.40	1.40	0.0035	42.21	42.21	
Sez.20	3012.00	37.47	95.60	41.81	41.81	0.00	1.91	1.91	0.0023	42.00	42.00	
Sez.1	3162.00	37.12	95.60	41.56	41.56	0.00	1.85	1.85	0.0000	41.73	41.73	



**FIGURA 4** - CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO.

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.



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

Il Torrente Quaresimo riceve inoltre il contributo di scarico dell'impianto di depurazione per una portata complessiva di 10 l/sec che di fatto incrementa il valore della  $Q_{200}$  del 0.015%, per una portata complessiva  $Q_{sc}=66.51 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Per questo modestissimo incremento di portata rispetto alla  $Q_{200}$ , 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).

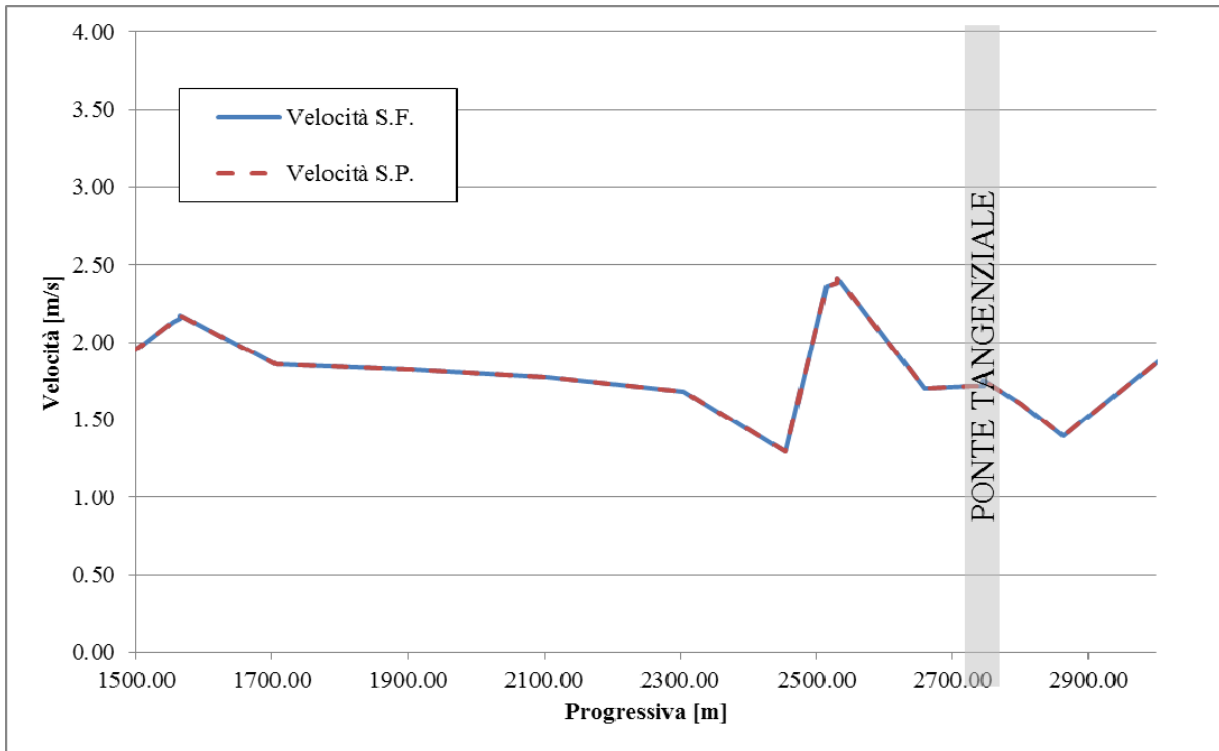
Effetto E.2. Variazione delle aree inondate.

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.

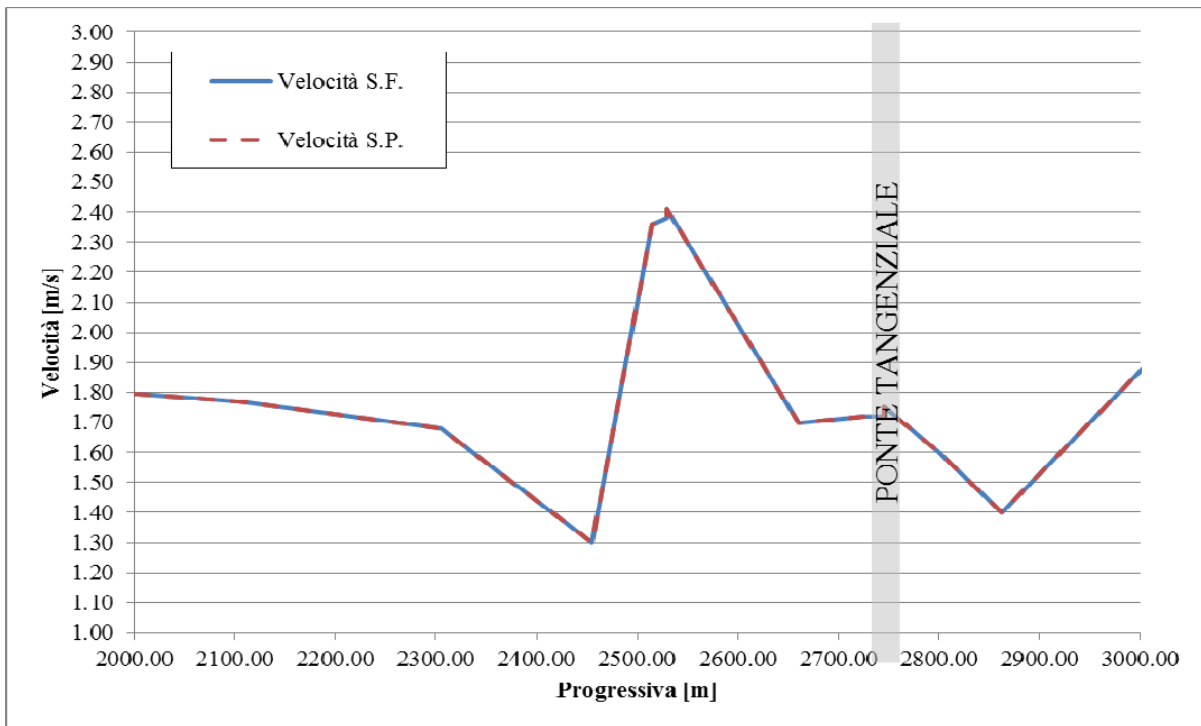
Effetto E.3. Variazione della capacità di trasporto solido della corrente.

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 TRATTO DI INCREMENTO DELLE VELOCITÀ DELLA CORRENTE TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO NELL'AREA 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 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 stradali 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 a 1 m per tutta lo sviluppo dell'impalcato.

### 4.3 VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO E DEI FENOMENI EROSIVI GENERALIZZATI E LOCALIZZATI NEL TRATTO INTERESSATO DALLE OPERE

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 vorticose, a forma di ferro di cavallo, attorno alle pile/spalle 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.

Nel caso del Torrente Quaresimo non vi è la presenza di pile in alveo e tali problematiche possono essere riscontrate in corrispondenza delle spalle del ponte. Queste, nonostante siano esterne all'onda di piena bisecolare, presentano fondazioni su pali che si spingono al di sotto della quota di fondo alveo della sezioni in esame, che si attesta a 39.12m slm.

## 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 2 categorie:

- 1) difese longitudinali volte a contenere i processi erosivi sulle sponde
- 2) mantenimento e collegamento della viabilità di servizio interferita.

La difesa longitudinale si ottiene attraverso la realizzazione di una protezione del fondo e delle sponde mediante il posizionamento di massi di cava non gelivi del peso di 1000-3000 kg/cad intasati con terreno di sterro. La soluzione viene proposta per un tratto di circa 70 m a monte e di circa 55 m a valle dell'attraversamento, oltre che lungo tutto l'ingombro del ponte (circa 24 m).

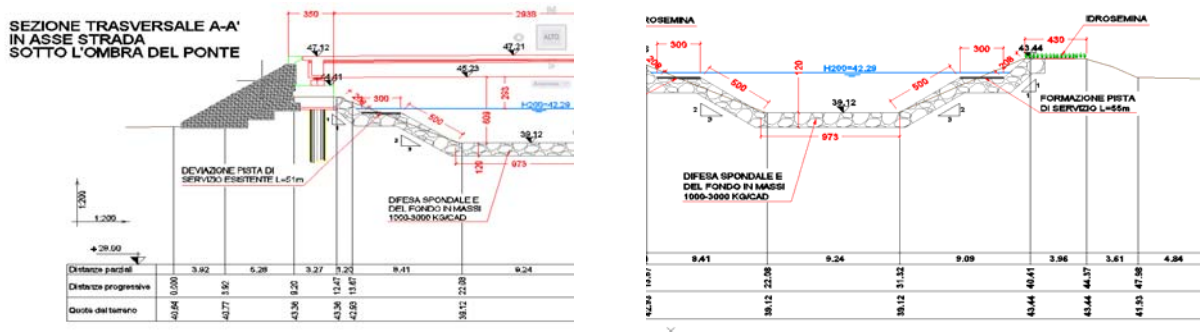


FIGURA 1 – PARTICOLARE DELLE DIFESE SPONDALI PREVISTE SOTTO L'OMBRA DEL PONTE E FUORI

Per dare continuità alle piste esistenti, poste sulla sommità arginale, è stato previsto l'inserimento, di piste di servizio al di sotto del ponte che si raccordano all'esistente. Infine, una volta completati i

lavori di rizezionamento dell'alveo e di posa delle difese, si procederà ad effettuare idrosemina nelle aree dove non sono previsti i massi e la pista di servizio

## 6. 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:

*".....Nuovamente si sottolinea l'insufficienza, perlomeno formale, di fissare le portate di piena facendo riferimento al "Progetto speciale Valutazione delle Piene (VAPI)", sviluppato sulla base di dati idrologici ormai vecchi più di 5 lustri. Il dato di portata bicentenaria assunto per le verifiche va di necessità verificato ed eventualmente rivalutato sulla base dei più recenti dati disponibili."*

### Intervento progettuale conseguente alla O.1:

Si è ritenuto di utilizzare i valori delle portate di piena del Progetto Vapi perché, come riportato nel paragrafo 2.1.1 della presente relazione e nelle note di chiarimenti dei progettisti alle osservazioni del consiglio superiore lavori pubblici, tali valori si sono rivelati più cautelativi rispetto a quelli riportati nel PTCP di Reggio Emilia (per il tracciamento delle fasce fluviali utilizzate anche nel PAI) derivanti dall'analisi idrologica condotta secondo le procedure previste dal PAI mediante l'utilizzo del metodo razionale.

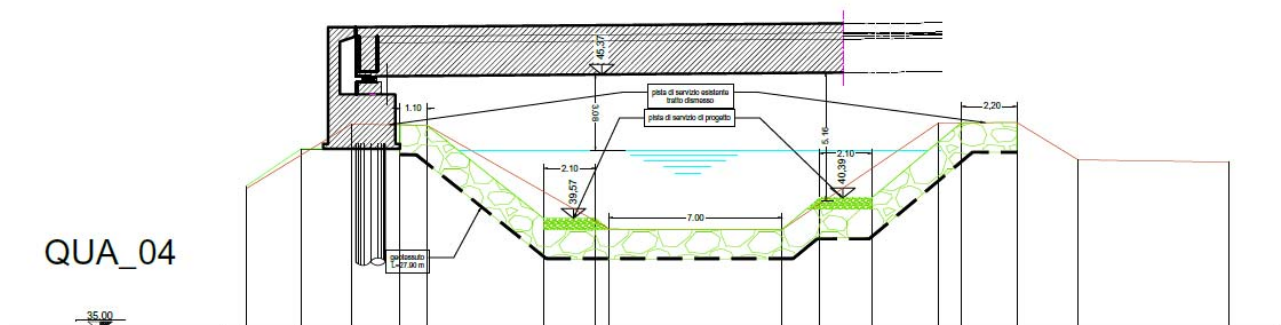
### Osservazione n. 2:

*2) "Come per l'attraversamento sul Torrente Modolena, la protezione prevista per il fondo e per le sponde (massi di cava non gelivi del peso di 100-300 kg/cad, intasati con terreno di sterro) non pare essere adeguata a garantire la stabilità della sezione, essendo da temere il rapido dilavamento del terreno d'intasamento e il suo conseguente dissesto. La scogliera va in ogni caso verificata al fondo e sulla sponda, essendo diverse le condizioni di stabilità nei due casi. Devono inoltre essere previsti interventi opportuni per evitarne lo scalzamento a monte e a valle".*

### Chiarimenti in merito alla O.2:

L'osservazione è stata recepita nelle fasi progettuali; si è pertanto deciso di adottare massi di classe superiore da 1000-3000 kg/cad, così come suggerito anche nelle osservazioni del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale.

Si riporta di seguito una immagine (estratta dalla tavola S01ID00IDRD107) della sezione idraulica del Quaresimo in corrispondenza dell'interferenza con la tangenziale in progetto:



La scogliera è stata anche verificata al fondo e sulla sponda, considerando l'incipiente movimento e rotolamento; la verifica è riportata nel successivo paragrafo 8 della presente relazione. Infine, sono stati previsti, sia a monte, sia a valle, opportuni interventi di intestatura al fondo e sulla sponda per evitarne lo scalzamento, tramite taglioni.

## 7. 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. 3:

*"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.3:

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 nel marzo 2018 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 12** - STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA A MONTE DELLA SEZIONE QUA\_10



**FIGURA 13** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_10 E QUA\_9



**FIGURA 14** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_9 E QUA\_8



**FIGURA 15** - STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE QUA\_8



**FIGURA 16** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_7 E QUA\_6



**FIGURA 17** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_5 E QUA\_4



**FIGURA 18** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_3 E QUA\_2



**FIGURA 19** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA TRA LE SEZZ. QUA\_2 E QUA\_1



**FIGURA 20** -. STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA A VALLE DELLA SEZIONE QUA\_1

**Osservazione n. 4:**

*“..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 :*

*“Il franco delle piste di servizio, indicato pari a 3,00m rispetto all'intradosso del ponte, dovrà essere almeno 4,00m che potranno ricavarsi anche tramite un abbassamento della quota della pista stessa. Se non è possibile adeguare tale franco, occorrerà realizzare le rampe di discesa in alveo sia a monte che a valle dell'interferenza. Ad ogni modo è necessario individuare delle rampe di*

*discesa in alveo dalle sotto-banche per consentire l'attraversamento dell'alveo da sponda destra a sponda sinistra (pertanto dovrà essere realizzata almeno una rampa in destra e una sinistra, invece nel caso non si possa assicurare il franco minimo suddetto occorrerà realizzarne due in destra (una a monte e una a valle del ponte) e due in sinistra (una a monte e una a valle del ponte). A monte dell'interferenza occorrerà realizzare anche un collegamento tra la sommità dell'argine sinistro e la pista di servizio che consente di arrivare alla Fossetta della Torretta."*

*"Per quanto riguarda i rivestimenti del Modolena e Quaresino, dovranno avere pezzatura pari a 1000kg-3000kg con almeno una faccia piana da posizionarsi nella parte a vista. Il rivestimento dovrà ricoprire l'intera sezione."*

#### **Intervento progettuale conseguente alla O.4:**

L'osservazione è stata recepita e le modifiche riguardanti le rampe di discesa in alveo sono state introdotte nel progetto esecutivo.

In merito ai rivestimenti, come sopra riportato l'osservazione è stata recepita nelle fasi progettuali; si è pertanto deciso di adottare massi di classe superiore da 1000-3000 kg/cad. La scogliera è stata anche verificata al fondo e sulla sponda, considerando l'incipiente movimento e rotolamento; la verifica è riportata nel successivo paragrafo 8 della presente relazione

### **8. ANALISI DELL'AZIONE EROSIVA SULLE SPONDE E SUL FONDO**

Nel presente paragrafo si riporta la verifica all'erosione per trascinamento e rotolamento sul fondo e sulle sponde, in corrispondenza di una sezione localizzata a monte dell'attraversamento della tangenziale in progetto; per la parte teorica si rimanda alla relazione intitolata "Premesse alle relazioni idrauliche"; si riportano di seguito quindi i risultati delle verifiche al trascinamento ed al rotolamento, sia al fondo che sulla sponda.

L'analisi dell'azione erosiva è stata effettuata confrontando la tensione tangenziale dovuta all'azione della corrente sulle particelle dell'alveo fluviale con quella critica nella condizione di incipiente movimento, calcolata sia sulle sponde che sul fondo del canale e considerando sia la condizione di inizio del trasporto di fondo per effetto del rotolamento che per strisciamento.

Nella tabella che segue si riportano le caratteristiche geometriche della sezione scelta (localizzata a monte dell'attraversamento) e le caratteristiche idrauliche per effetto della propagazione della piena duecentennale; la verifica è stata effettuata considerando il rivestimento consigliato dal consorzio di bonifica dell'Emilia Romagna, caratterizzato da massi non gelivi di peso compreso tra 1000 e 3000 kg e peso specifico pari a 2400 kg/m<sup>3</sup>; sulla base di tali informazioni è facile calcolare il diametro medio delle particelle pari a circa 1m.

<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>	66.5
<b>Velocità (m/s)</b>	1.75
<b>Raggio idraulico (m)</b>	1.69
<b>Larghezza al fondo (m)</b>	9.7
<b>Diametro particelle (m)</b>	1
<b>Peso specifico acqua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1000
<b>Peso specifico ghiaia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2400

<b>Viscosità cinematica a 20° (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	0.000001
<b>Densità a 20° (kg m<sup>-4</sup>s<sup>2</sup>)</b>	101.79
<b>Pendenza del corso d'acqua <math>\theta</math></b>	0.005
<b>Tirante (m)</b>	3.17

L'applicazione delle relazioni sopra descritte fornisce i seguenti valori:

<b>Tensione di trascinamento <math>\tau</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	8.46
<b>Numero di Reynolds Re*</b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche Yc</b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche <math>\tau_c</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	78.4

da cui si evince che la tensione di trascinamento al fondo  $\tau$  risulta essere minore della tensione critica di trascinamento  $\tau_c$ .

#### b) Analisi dell'erosione sulla sponda.

In tale caso è stato necessario valutare l'angolo di naturale declivio  $\beta$  e la pendenza della scarpata ( $\alpha$ ); 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., 2004<sup>1</sup>).

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

<b>Diametro particelle (m)</b>	1
<b>Pendenza scarpata <math>\alpha</math>, (°)</b>	45
<b>Angolo di natural declivio <math>\beta</math>, (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento <math>\tau</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	8.46
<b>Numero di Reynolds Re*</b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche Yc</b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche <math>\tau_c</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	30.16

Come si può notare anche in questo caso la tensione di trascinamento al fondo  $\tau$  risulta essere minore della tensione critica di trascinamento  $\tau_c$  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.

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



<b>Angolo Pivoting <math>\phi</math> (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	8.459
<b>Numero di Reynolds Re*</b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche Yc</b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m<sup>2</sup>)</b>	78.070

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

<b>Angolo di natural declivio <math>\beta</math>, (°)</b>	50
<b>Pendenza scarpata <math>\alpha</math>, (°)</b>	45
<b>Angolo Pivoting <math>\phi</math> (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	8.46
<b>Numero di Reynolds Re*</b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche Yc</b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m<sup>2</sup>)</b>	30.03