

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

## PROGETTO ESECUTIVO

 <p>Ing. Gianfranco Sodero Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 5666 Y</p>	<p><b>ING. RENATO DEL PRETE</b></p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	<p><b>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</b></p> <p>Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</p>	<p><b>INTEGRAZIONI PRESTAZIONI</b></p> <p>Ing. Renato Del Prete</p>	<p><b>PROGETTISTA</b></p> <p>Ing. Gabriele Incecchi (E&amp;G S.r.l.)</p>
			<p><b>PROGETTAZIONE STRADALE</b></p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>	<p><b>PROGETTAZIONE IDRAULICA</b></p> <p>Ing. Vittorio Ranieri (Uning)</p>
 <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p><b>SETAC Srl</b> Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	 <p>Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>	<p><b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI</b></p> <p>Ing. Gianfranco Sodero (Studio Corona S.r.l.)</p>	<p><b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI</b></p> <p>Ing. Giampiero Martino (E&amp;G S.r.l.)</p>
			<p><b>COMPUTI</b></p> <p>Ing. Valerio Bajetti (I.T. Ingegneria)</p>	<p><b>CANTIERISTICA</b></p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>
 <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p><b>ECOPLAN</b> Studio E. Pezzulla &amp; Associati s.r.l. s.p.a.</p> <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	<p><b>ARKE' INGEGNERIA s.r.l.</b> Via Imperatore Traiano n° 70121 Bari</p> <p>Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>	<p><b>GEOLOGIA</b></p> <p>Dott. Danilo Gallo</p>	<p><b>GEOTECNICA</b></p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>
			<p><b>AMBIENTE</b></p> <p>Dott. Emilio Macchi (ECOPLAN S.r.l.)</p>	<p><b>SICUREZZA</b></p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)</p>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA

GEOLOGO

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE



Dott. Ing. Anna NOSARI

Ing. Renato DEL PRETE

Ing. Gabriele INCECCHI

Dott. Danilo GALLO

Prof. Ing. Luigi MONTERISI

**FA 008**

**F - PROGETTO IDRAULICO**

**FA - RELAZIONI**

**Relazione idraulica Fossetta della Torretta**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO      LIV. PROG.      ANNO

T00ID00IDRRE01.dwg

COBO      E      1701

CODICE ELAB. T00ID00IDRRE08

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



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE, GEOMETRICHE, MORFOLOGICHE ED AMBIENTALI DELL'ALVEO</b>	<b>2</b>
<b>3. VERIFICHE IDRAULICHE</b>	<b>4</b>
<b>SCENARI SIMULATI</b>	<b>4</b>
<b>RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI FATTO</b>	<b>6</b>
<b>RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI PROGETTO</b>	<b>7</b>
<b>4. VERIFICA ALL'EROSIONE PER TRASCINAMENTO E ROTOLAMENTO</b>	<b>13</b>
<b>5. MODIFICHE INTRODOTTE NEL PROGETTO ESECUTIVO PER EFFETTO DELLA OSSERVAZIONE N. 4.2 DEL CONSORZIO DI BONIFICA</b>	<b>15</b>

### 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la descrizione dello studio idraulico effettuato sulla Fossetta della Torretta, eseguito allo scopo di:

- verificare la capacità di smaltimento della canalizzazione;
- garantire il deflusso delle acque al fine di non aumentare il rischio per la popolazione;
- verificare il franco idraulico in corrispondenza dell'intersezione stradale sulla base della normativa vigente;

-verificare la tenuta dei rivestimenti adottati in corrispondenza dell'intervento stradale; 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 si è convenuto di aggiornare in fase esecutiva il progetto definitivo in merito alle seguenti osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici (CSLLPP) ed alle prescrizioni della commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale VIA/VAS riportate nel Decreto di Compatibilità ambientale VIA numero di registrazione 0000102 del 27/04/2016.

#### **Osservazioni del Consiglio Superiore Lavori Pubblici:**

- 1) *".....Per tale ragione il dimensionamento deve essere ripetuto, assumendo per la portata di progetto un adeguato tempo di ritorno indipendentemente dalla configurazione attuale del canale.....Considerazioni analoghe sulla portata utilizzata nel dimensionamento degli attraversamenti Fossetta Ballanleoche, Fossetta Valle Pieve Modolena, Fossetta Castellara, Fossetta Valle Roncoesi e Fossetta della Torretta, essendo l'ultimo caso esaminato di certo il più rilevante, trattandosi di un canale arginato, con capacità di portata di diversi m<sup>3</sup>/s.";*

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

- 2) *"...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..."*.
- 3) *"....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".*

-le osservazioni del Consorzio di Bonifica riportano:

3.1) *"Si chiede che i rivestimenti in massi di fossi, canali e torrenti consortili siano tutti eseguiti con pietrame calcareo di cava di colore grigio, di pezzatura pari 50kg-300kg con almeno una faccia piana da posizionarsi nella parte a vista."*

3.2) Si segnala inoltre la presenza immediatamente a valle della ferrovia di una briglia in c.a., il cui mantenimento dovrà essere studiato e concordato con lo scrivente Ente.

Nel seguito nel paragrafo 3 si riporta la relazione idraulica utile alla verifica del canale considerando, in accordo con le osservazioni (oss. n.1) del Consiglio Superiore Lavori Pubblici, per la portata di progetto un adeguato tempo di ritorno indipendentemente dalla configurazione attuale del canale; nello stesso paragrafo si riporta anche il confronto delle risultanze idrauliche nella configurazione pre e post intervento al fine di verificare che l'infrastruttura non aumenti il rischio di esondazione, in accordo con le osservazioni del decreto di compatibilità ambientale VIA (oss. n. 3); nel paragrafo 4 si riporta la verifica all'erosione per trascinamento e rotolamento, relativamente ad una sezione posta in corrispondenza del tratto da rivestire, considerando i rivestimenti con pezzatura pari a 50kg-300kg, in accordo con l'osservazione 3.1 del Consorzio di Bonifica Dell'Emilia Centrale; nel paragrafo 5 si riportano le modifiche introdotte nel progetto esecutivo per effetto della osservazione n. 3.2 del Consorzio di Bonifica.

## 2. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE, GEOMETRICHE, MORFOLOGICHE ED AMBIENTALI DELL'ALVEO

Come riportato nel progetto definitivo la Fossetta della Torretta è un corso d'acqua gestito dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, che interferisce con la viabilità in progetto alla sezione 291. Il canale si sviluppa con andamento Sud-Nord quindi piega verso Nord-Est a valle dell'interferenza con la strada in progetto ed infine confluisce nel Torrente Modolena. Il corso d'acqua in esame è un canale arginato che in passato aveva funzione irrigua, ma attualmente solo quella di scolo. Come riportato nel progetto definitivo la sezione è di forma trapezoidale con fondo in terra e sponde inerbite; sono assenti alberature ed arbusti sui cigli spondali. L'alveo è caratterizzato dalla presenza di materiali fini sul fondo, ascrivibili al sistema dei limi e dei limi argillosi. La sezione del canale nel tratto interessato dall'attraversamento stradale presenta una base maggiore di circa 8.00m, base minore di circa 1.50m ed altezza pari a circa 2.50m.



**FIGURA 1 - FOSSETTA DELLA TORRETTA A VALLE DELLA SEZIONE D'INTERFERENZA CON LA STRADA IN PROGETTO**

L'interferenza con la viabilità in progetto avviene, all'inizio del tratto in trincea, quindi è stato necessario prevedere una deviazione della Torretta verso est, al fine di posizionare l'attraversamento idraulico in corrispondenza di una sezione stradale sufficientemente in rilievo per accoglierlo, garantendo un margine di ricoprimento dello stesso. L'attraversamento è rappresentato da un tombino scatolare in CA (TM15) realizzato in opera con dimensioni interne di 5,0m di base, 3,0m di altezza e circa 37m di lunghezza, la cui quota di scorrimento è pari a 38.47 m s.l.m. all'imbocco e 38.40m s.l.m. allo sbocco. La deviazione di monte dello scatolare si sviluppa per 140m circa, con una sezione di deflusso caratterizzata da dimensioni pari a:  $B=8.0m$ ,  $b=3m$   $H=2.5m$  (sezioni TOR DEV 11- TOR DEV 07 in figura 4) mentre la deviazione di valle si sviluppa per 150m circa, con una sezione di deflusso caratterizzata da dimensioni pari a  $B=9.0m$ ,  $b=4m$   $H=2.5m$  per le sezioni TOR DEV 6 e TOR DEV 2 e pari a  $B=10.0m$ ,  $b=5m$   $H=2.5m$  per le sezioni TOR DEV 5, TOR DEV 4 e TOR DEV 3.

Ciò al fine di consentire un adeguato raccordo planimetrico tra l'attraversamento ed il canale stesso che altrimenti sarebbe caratterizzato a valle da una base inferiore più piccola rispetto alla larghezza dell'attraversamento stesso.

In base a quanto concordato con il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale in fase di progettazione definitiva, la tombinatura è stata prolungata monte/valle per garantire il passaggio di una pista di servizio di larghezza pari a 5m, mentre gli imbocchi e gli sbocchi sono stati risolti con un manufatto di contenimento costituito da un muro in CA con le ali ben intestate nelle sponde e nel fondo.

In accordo con l'osservazione 3.1 del Consorzio di Bonifica Dell'Emilia Centrale Le sponde ed il fondo, allo sbocco sono rivestiti per almeno 4m con massi di pezzatura da 50kg-300kg/cad, disposti con almeno una faccia piana da posizionarsi nella parte a vista. All'imbocco questo rivestimento è prolungato per circa 15m a causa della presenza dello scarico delle acque della

piattaforma stradale (IS\_05) depurate mediante l'impianto di trattamento. Inoltre a valle dell'interferenza con la Ferrovia FFSS è previsto lo scarico delle acque depurate, pertanto anche in questo caso le sponde ed il fondo sono stati rivestiti con massi di pezzatura da 50 a 300 kg/cad disposti, a faccia piana, per un tratto di circa 10m.

Come indicato nel progetto definitivo in sponda idrografica sinistra è previsto un ringrosso arginale realizzato con terreno di sterro, rullato e compattato in strati di spessore pari a 50cm. Come indicato nel progetto definitivo la deviazioni della Torretta prevede arginature con materiale di classe A4-A6, realizzate a strati sovrapposti di massimo 50cm, compattati e regolarizzati. Inoltre il tratto di canale dismesso, lungo circa 240m, occorre chiuderlo prevedendo lo scavo di circa 9m<sup>3</sup>/m per la rimozione delle arginature, 6m<sup>3</sup>/m per il reinterro della sezione in scavo e la bonifica del fondo per una profondità di almeno 20cm.

### 3. VERIFICHE IDRAULICHE

Per la modellazione idraulica è stata adottata la portata presente nella relazione idrologica, caratterizzata da tempo di ritorno pari a 100 anni (e pari a 16.76 m<sup>3</sup>/s) poiché trattasi di corso d'acqua non interessato dalla delimitazione delle fasce fluviali face fluviali del PAI, in accordo con quanto riportato nella "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume PO; al fine di considerare gli scarichi provenienti da sistemi di trattamento o laminazione delle acque meteoriche, tale portata è stata incrementata di 0.02m<sup>3</sup>/s nella sezione TOR\_06 e successivamente di 0.01m<sup>3</sup>/s nella sezione TOR\_dev07; la portata così utilizzata nella modellazione è risultata pari a 16.79 m<sup>3</sup>/s.

Avendo constatato che il tratto oggetto di analisi è caratterizzato da moderata lunghezza ed estensione, e specialmente considerando il fatto che le opere idrauliche in progetto non determinano significativa riduzione del volume d'alveo disponibile per la laminazione delle piene, sono state effettuate simulazioni idrauliche in moto permanente (stazionario).

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

1. caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
2. caratteristiche morfologiche e geometriche del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
3. caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali.

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.

### SCENARI SIMULATI

Ai fini modellistici, le condizioni di riferimento per la verifica degli attraversamenti in progetto sono le seguenti:

- stato di fatto, che considera la morfologia attuale del corso d'acqua, senza l'introduzione di alcuna opera in progetto;
- stato di progetto che prevede la deviazione del corso d'acqua e l'introduzione del manufatti di attraversamento della viabilità in progetto;

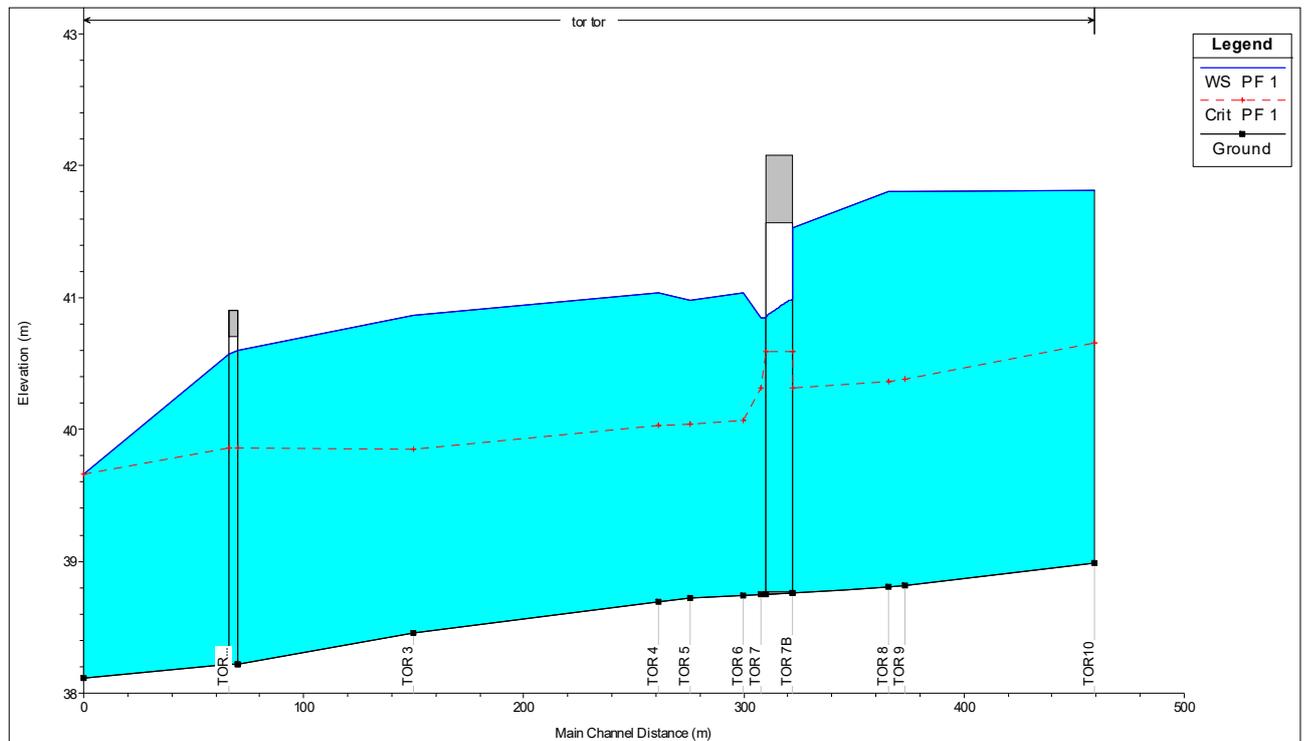
Per l'implementazione degli scenari sopra esposti, i parametri idraulici di calcolo sono:

- rappresentazione geometrica del corso d'acqua: ricavata dal rilievo topografico eseguito per la progettazione definitiva, integrato da apposito rilievo effettuato per la progettazione esecutiva;

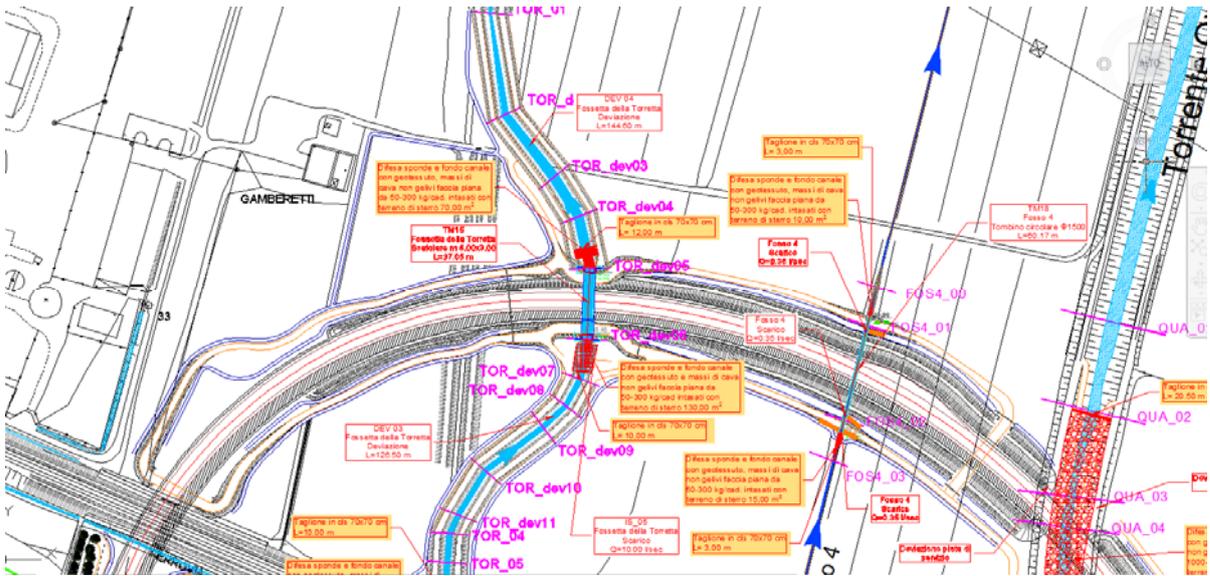
- portate di riferimento corrispondente al valore per prefissato tempo di ritorno pari a 200 anni;
- condizione di valle: altezza di moto uniforme ricavata adottando una pendenza media del corso d'acqua;
- scabrezza secondo G.-Strickler pari a 20-25 m<sup>1/3</sup>/sec, differenziata tra sponde e alveo, mentre, nei tratti dove è presente lo scatolare e quindi il rivestimento in massi, il coefficiente di scabrezza è pari a 40-50 m<sup>1/3</sup>/sec.

Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici riportati nel progetto definitivo, integrati dai rilievi eseguiti durante i sopralluoghi. Il modello è costituito da più di 15 sezioni trasversali d'alveo (Figura 4), oltre a quelle relative alle geometrie dei manufatti, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo attivo.

Il tratto simulato parte dalla sezione TOR 10 (a monte della ferrovia) e termina nella sezione TOR 1; esso si estende per una lunghezza di oltre 450m, di cui circa 320 m a monte dell'attraversamento in esame; si precisa che a monte della deviazione è stato inserito l'alveo nelle condizioni attuali includendo anche l'attraversamento ferroviario rilevato in campo, analogamente anche nella sezione terminale del modello (TOR1) è stata inserita la sezione attuale del corso d'acqua ottenuta da rilievo in campo, in modo da riprodurre le reali condizioni al contorno di valle.



**FIGURA 3 - ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG NEL TRATTO DI CANALE CONSIDERATO NELLO STATO DI FATTO**



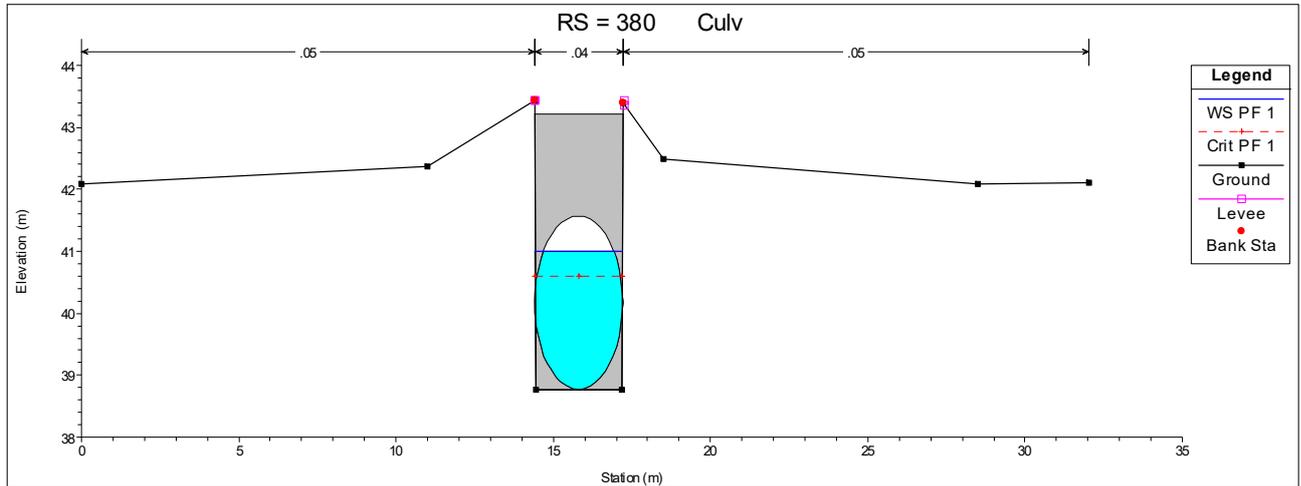
**FIGURA 4 - TRATTO DEL CANALE SIMULATO CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI TOPOGRAFICHE**

La tabella ed i grafici seguenti illustrano i risultati ottenuti considerando la piena duecentennale sia nella condizione morfologica attuale, sia nelle configurazioni 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.

**RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI FATTO**

In questa configurazione è stato simulato il tratto di corso d'acqua in oggetto in occasione del verificarsi della piena con tempo di ritorno pari a 100 anni.



**FIGURA 5a - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'IMBOCCO DEL TOMBINO FERROVIARIO ESISTENTE NELLO STATO DI FATTO**



**TABELLA 1 - CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRATTO DI CORSO D'ACQUA RIVISITATO A SEGUITO DELLA MODELLAZIONE.**

TORRETTA			
ATTRAVERSAMENTO			
TM15	B	H	
	5	3	
CANALE			
	<b>B</b> (m)	<b>b</b> (m)	<b>H (m)</b>
TOR DEV 11	8	3	2.5
TOR DEV 10	8	3	2.5
TOR DEV 9	8	3	2.5
TOR DEV 8	8	3	2.5
TOR DEV 7	8	3	2.5
TOR DEV 6	9	4	2.5
TOR DEV 5	10	5	2.5
TOR DEV 4	10	5	2.5
TOR DEV 3	10	5	2.5
TOR DEV 2	9	4	2.5

la ricalibratura della canalizzazione sono è stata effettuata per consentire il passaggio della piena centennale con adeguato franco (previsti dalle normative vigenti e dalle prescrizioni ANAS) di sicurezza senza modificare l'altezza dell'attraversamento rispetto al progetto definitivo al fine di non determinare variazioni significative dell'infrastruttura stradale; tali variazioni sono state effettuate anche al fine di evitare l'aumento del rischio di esondazione.

Di seguito si confrontano i principali parametri idraulici nella condizione di progetto.

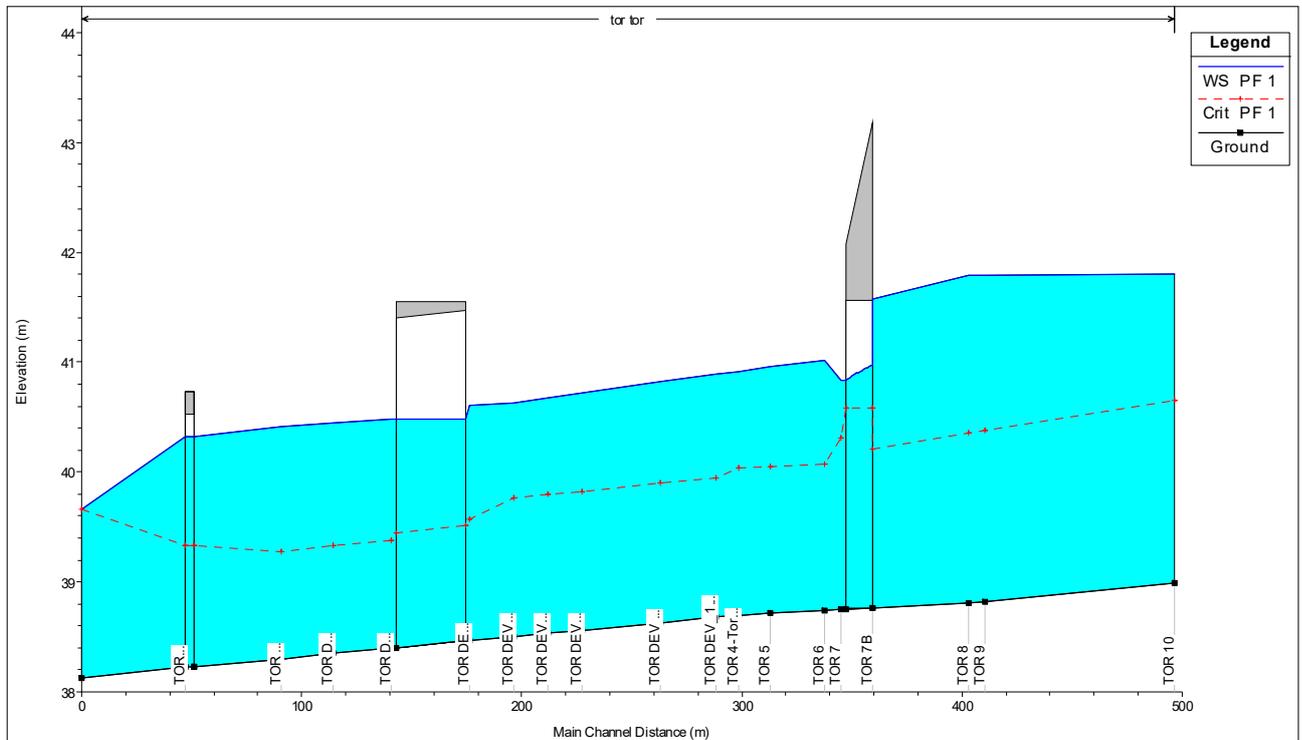
**TABELLA 2 - PARAMETRI IDRAULICI A CONFRONTO TRA STATO DI FATTO SF E STATO DI PROGETTO SP.**

Stato di Progetto								
River St.	Sezione Topografica	Portata (T=200)	Quota del fondo	Livelli idrometrici	Quota Energia	Pendenza Energia	Larghezza in sommità	Numero di Froud
		[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[m]	
520.202	TOR 10	16.76	38.99	41.8	41.81	0.000247	34.09	0.12
434.077	TOR 9	16.76	38.82	41.79	41.79	0.000092	38.49	0.07
426.141	TOR 8	16.76	38.81	41.79	41.79	0.000091	37.98	0.07
390	TOR 7B	16.76	38.76	41.58	41.76	0.005782	3.17	0.37
375	Culvert	Culvert		40.98;40.83				
368.982	TOR 7	16.76	38.75	40.83	41.27	0.017404	2.77	0.65
360.368	TOR 6	16.78	38.74	41.02	41.13	0.00248	7.59	0.37
336.128	TOR 5	16.78	38.72	40.96	41.07	0.002552	7.78	0.38
321.179	TOR 4	16.78	38.69	40.91	41.03	0.002759	7.62	0.39
312.258	TOR DEV_11	16.78	38.68	40.89	41	0.002539	7.42	0.37
285.95	TOR DEV 10	16.78	38.63	40.82	40.93	0.002623	7.38	0.38
250.322	TOR DEV 9	16.78	38.56	40.72	40.84	0.002772	7.32	0.39
233.94	TOR DEV 8	16.78	38.53	40.67	40.79	0.002854	7.29	0.39
218.699	TOR DEV 7	16.79	38.5	40.63	40.75	0.002943	7.25	0.4
198.189	TOR DEV 6	16.79	38.47	40.61	40.69	0.00184	8.27	0.32
180	Culvert	Culvert		40.48;40.48				
161.67	TOR DEV 5	16.79	38.4	40.48	40.55	0.001385	9.16	0.29
135.575	TOR DEV 4	16.79	38.35	40.45	40.51	0.001352	9.19	0.28
112.455	TOR DEV 3	16.79	38.3	40.42	40.48	0.001307	9.23	0.28
74.162	TOR DEV 2	16.79	38.23	40.33	40.41	0.001973	8.19	0.34
	Culvert	Bridge						
72	Tor dev 2v	16.79	38.23	40.32	40.41	0.002004	8.17	0.34
20.156	TOR 1	16.79	38.12	39.66	40.15	0.019966	5.67	1

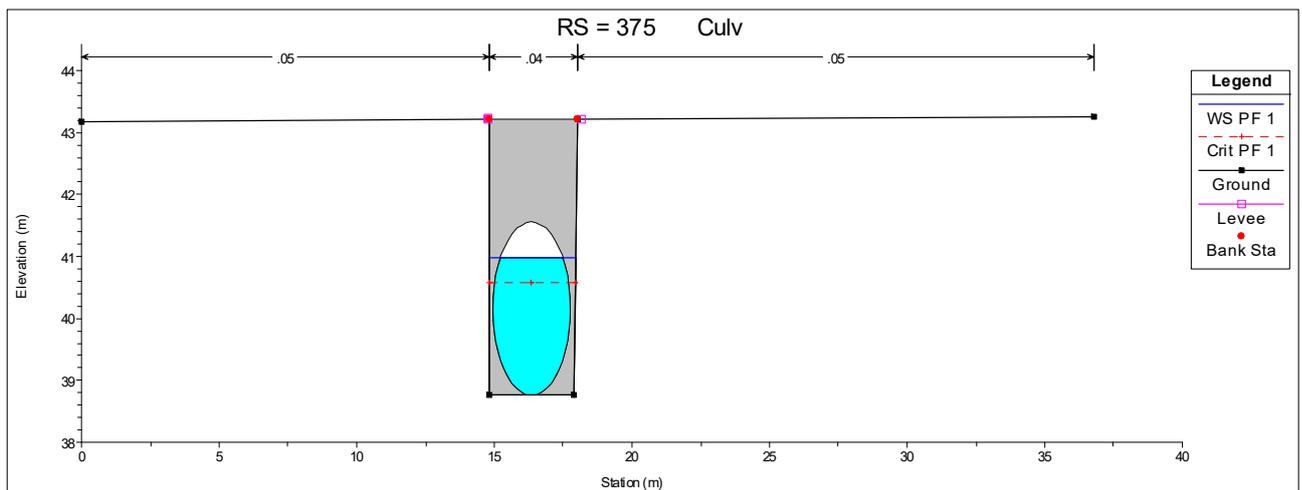
Stato di fatto								
River St.	Sezione Topografica	Portata (T=200)	Quota del fondo	Livelli idrometrici	Quota Energia	Pendenza Energia	Larghezza in sommità	Numero di Froud
		[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[m]	
523.872	TOR10	16.76	38.99	41.82	41.82	0.000237	34.09	0.12
438.179		16.76	38.82	41.81	41.81	0.00009	38.49	0.07
431.128	TOR 9	16.76	38.81	41.81	41.81	0.000088	37.98	0.07
390	TOR 8	16.76	38.76	41.53	41.77	0.008559	2.77	0.42
380	TOR 7B	Culvert		40.99;40.85				
372.951	TOR 7	16.76	38.75	40.85	41.28	0.017263	2.77	0.64
364.613	TOR 6	16.76	38.74	41.04	41.14	0.002395	7.63	0.36
340.29	TOR 5	16.76	38.72	40.98	41.08	0.00245	7.82	0.37
325.784	TOR 4	16.76	38.69	41.03	41.04	0.000349	32.77	0.14
214.797	TOR 3	16.76	38.46	40.86	40.96	0.002134	8.04	0.35
134.93	TOR 2	16.76	38.22	40.6	40.77	0.004717	6.03	0.48
132	Bridge	Bridge		40.6;40.57				
130	TOR 2v	16.76	38.22	40.57	40.75	0.004935	5.98	0.49
65.216	TOR 1	16.76	38.11	39.66	40.14	0.019718	5.67	1

In corrispondenza del manufatto di attraversamento il valore di portata di progetto genera un franco idraulico superiore ai 75 cm, in accordo con le prescrizioni riportate nel Capitolato d'oneri Prescrizioni per la redazione del Progetto Esecutivo ANAS. Dalle sezioni trasversali (v.

sezioni in figura 7) si evince che il canale deviatore è in grado di ospitare le portate di deflusso; il confronto dei tiranti idrici (v. livelli in tabella 2) con lo stato attuale consente di affermare che la presenza dell'infrastruttura non determina un incremento della pericolosità idraulica e quindi del rischio di esondazione rispetto alla condizione attuale; ciò in accordo con la prescrizione del Decreto VIA secondo la quale "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".



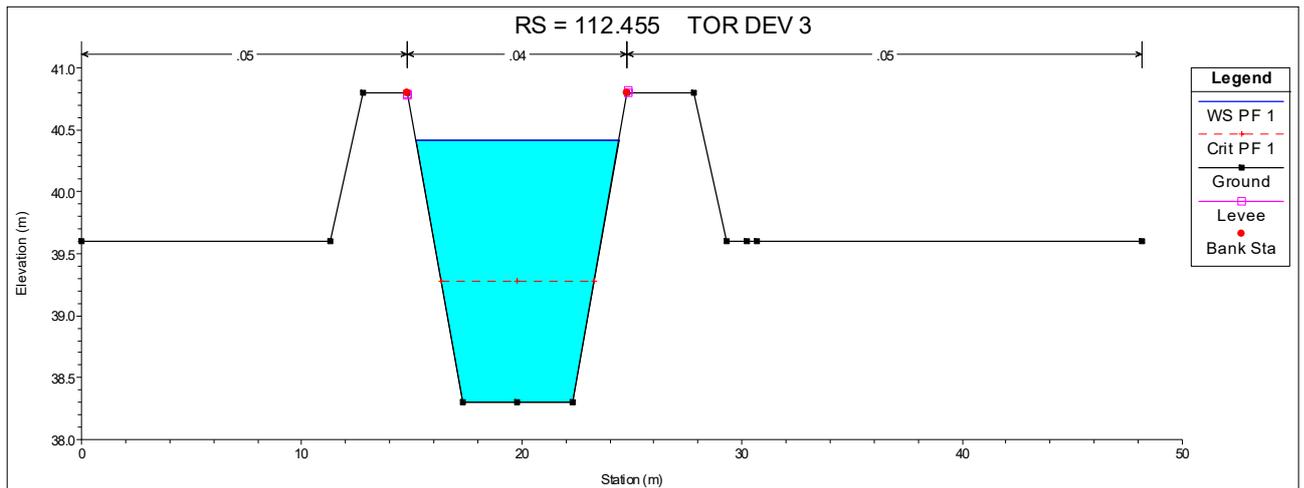
**FIGURA 6 - PROFILO DI RIGURGITO NELLO STATO DI PROGETTO.**



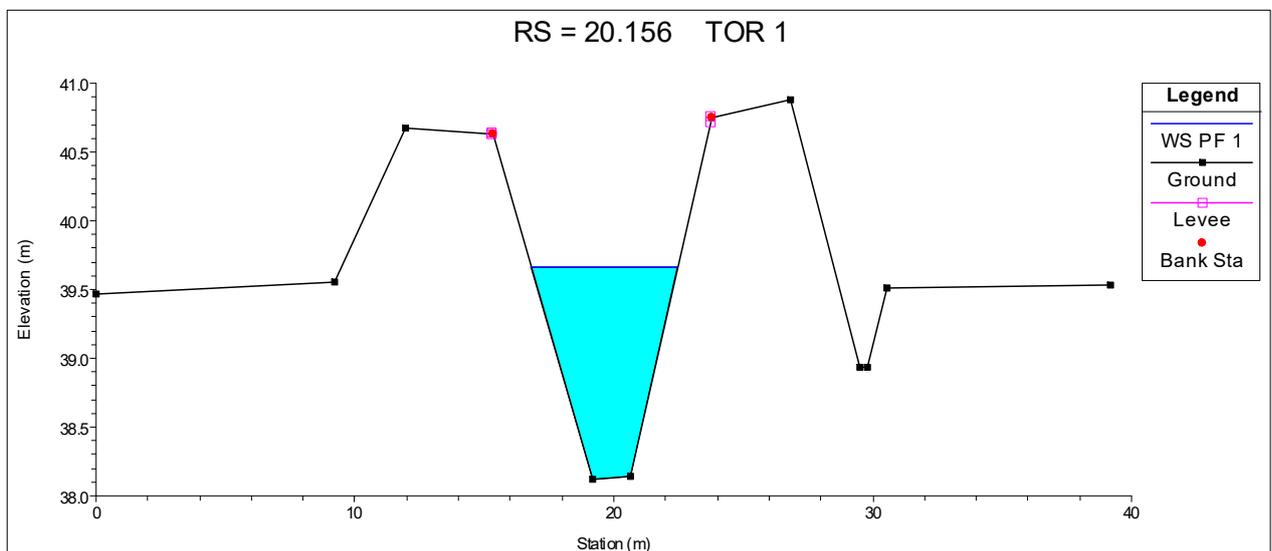
**FIGURA 7A – SEZIONI IDRAULICHE E LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO PER EFFETTO DELLA PORTATA CON T=100 ANNI A MONTE DELL'ATTRAVERSAMENTO DELLA FERROVIA NELLE CONDIZIONI DI PROGETTO.**







**FIGURA 7F** – SEZIONI IDRAULICHE E LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO PER EFFETTO DELLA PORTATA CON T=100 ANNI A PER LA SEZIONE TOR DEV\_3 NELLE CONDIZIONI DI PROGETTO



**FIGURA 7G** – SEZIONI IDRAULICHE E LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO PER EFFETTO DELLA PORTATA CON T=100 ANNI A PER LA SEZIONE TOR 1 NELLE CONDIZIONI DI PROGETTO

#### 4. VERIFICA ALL'EROSIONE PER TRASCINAMENTO E ROTOLAMENTO

Nel presente paragrafo si riporta la verifica all'erosione per trascinamento e rotolamento, in corrispondenza della sezione immediatamente a monte dell'attraversamento; per la parte teorica si rimanda alla relazione (premesse alle relazioni idrauliche) sul crostolo; si riportano di seguito quindi i risultati delle verifiche allo strisciamento ed al rotolamento, sia al fondo che sulla sponda.

quindi i risultati delle verifiche al trascinamento ed al rotolamento, sia al fondo che sulla sponda.

##### a) Analisi dell'erosione al fondo mediante utilizzo dell'abaco di Shields

Nella tabella che segue si riportano le caratteristiche geometriche della sezione scelta (localizzata a monte dell'attraversamento TOR DEV 06) 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 50 e 300 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 0.5m.

<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>	16.79
<b>Velocità (m/s)</b>	1.28
<b>Raggio idraulico (m)</b>	1.306
<b>Diametro particelle (m)</b>	0.5
<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>	0.002
<b>Tirante (m)</b>	2.14
<b>Pendenza linea energia <math>J</math></b>	0.002

L'applicazione delle relazioni teoriche fornisce i seguenti valori:

<b>Tensione di trascinamento <math>\tau</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	2.350
<b>Numero di Reynolds <math>Re^*</math></b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche <math>Y_c</math></b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche <math>\tau_c</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	39.2

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>.

<b>Diametro particelle (m)</b>	0.5
<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>	2.35
<b>Numero di Reynolds <math>Re^*</math></b>	>1000
<b>Parametro di Shields in condizioni critiche <math>Y_c</math></b>	0.056
<b>Tensione di trascinamento in condizioni critiche <math>\tau_c</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	15.08

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.

<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

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

<b>Angolo Pivoting <math>\phi</math> (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	2.35
<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>	39.15

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.

#### **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°). 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>	2.350
<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>	15.06

### **5. MODIFICHE INTRODOTTE NEL PROGETTO ESECUTIVO PER EFFETTO DELLA OSSERVAZIONE N. 4.2 DEL CONSORZIO DI BONIFICA**

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

#### **Osservazione**

".....Si segnala inoltre la presenza immediatamente a valle della ferrovia di una briglia in c.a., il cui mantenimento dovrà essere studiato e concordato con lo scrivente Ente."

#### **Chiarimenti:**

Nel presente progetto esecutivo la suddetta briglia viene lasciata invariata.