

**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	<b>ING. RENATO DEL PRETE</b>  Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	<b>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</b>  Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588	<b>INTEGRAZIONE PRESTAZIONI</b> Ing. Renato Del Prete	<b>PROGETTISTA</b> Ing. Gabriele Incecchi (E&G S.r.l.)
			<b>PROGETTAZIONE STRADALE</b> Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)	<b>PROGETTAZIONE IDRAULICA</b> Ing. Vittorio Ranieri (Uning)
 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	<b>SETAC Srl</b> 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	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI</b> Ing. Gianfranco Sodero (Studio Corona S.r.l.)	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI</b> Ing. Giampiero Martino (E&G S.r.l.)
			<b>COMPUTI</b> Ing. Valerio Bajetti (I.T. Ingegneria)	<b>CANTIERISTICA</b> Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)
 Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	<b>ECOPLAN</b> Società di Ingegneria e Architettura  Arch. Nicoletta Fratini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	<b>ARKE' INGEGNERIA s.r.l.</b> Via Impianti/109 Trapani n. 7 90126 Trapani  Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	<b>GEOLOGIA</b> Dott. Danilo Gallo	<b>GEOTECNICA</b> Prof. Ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)
			<b>AMBIENTE</b> Dott. Emilio Macchi (ECOPLAN S.r.l.)	<b>SICUREZZA</b> 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 017</b>		<b>F - PROGETTO IDRAULICO</b>			
		<b>FA - RELAZIONI</b>			
		<b>Relazione idraulica Fosso 5</b>			
CODICE PROGETTO PROGETTO    LIV. PROG.    ANNO COBO    E    1701		NOME FILE T00ID00IDRRE01.dwg  CODICE ELAB.    T00ID00IDRRE17		REVISIONE C	SCALA:
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

1. PREMESSA	1
2. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE, GEOMETRICHE, MORFOLOGICHE ED AMBIENTALI DELL'ALVEO	2
3. VERIFICHE IDRAULICHE	2
SCENARI SIMULATI	3
RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI FATTO	4
RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI PROGETTO	5
4. VERIFICA ALL'EROSIONE PER TRASCINAMENTO E ROTOLAMENTO	8
<b>1. PREMESSA</b>	

Nella presente relazione si riporta la descrizione dello studio idraulico effettuato sul Fosso5, sulla base della rivisitazione delle portate e del rispetto dei franchi idraulici in ottemperanza alle prescrizioni ANAS; la sezione del canale è rimasta invariata rispetto a quella prevista nel progetto definitivo; lo studio idraulico è stato 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....."*;

### **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."

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. 2); 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 il rivestimento in massi con pezzatura pari a 50kg-300kg, in accordo con l'osservazione 3.1 del Consorzio di Bonifica Dell'Emilia Centrale.

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

Il fosso 5 è un corso d'acqua privato, che interferisce con la viabilità in progetto alla sezione S2AS02-33A, si sviluppa verso Nord-Est e confluisce nel Castellara a monte della sezione CAS\_12.

Come riportato nel progetto definitivo il corso d'acqua in esame è un canale promiscuo, principalmente di scolo; presenta una sezione in scavo di forma trapezoidale con fondo in terra e sponde inerbite; sono assenti alberature ed arbusti sui cigli spondali. La sezione trapezia del canale nel tratto interessato dall'attraversamento stradale presenta una base maggiore di circa 2m, base minore di circa 0.5m ed altezza pari a circa 0.8m.

L'interferenza con la viabilità in progetto viene risolta mediante l'inserimento di un tombino scatolare (TM12) di dimensioni 2\*2.05m e lunghezza 21.70m, le cui quote di fondo sono rispettivamente pari a 41.60 m s.l.m. all'imbocco e 41.46 m s.l.m. allo sbocco.

Gli imbecchi e gli sbocchi della tombinatura sono stati risolti con un manufatto di contenimento costituito da un muro in CA con le ali ben intestate nelle sponde e nel fondo. Analogamente sia a monte che a valle le sponde ed il fondo sono stati rivestiti con massi di cava non gelivi di pezzatura da 50 a 300 kg/cad disposti, a faccia piana, per almeno 4m all'imbocco dell'attraversamento.

## 3. VERIFICHE IDRAULICHE

Per la modellazione idraulica è stata adottata la portata presente nella relazione idrologica, caratterizzata da tempo di ritorno pari a 200 anni (pari a 0.21 m<sup>3</sup>/s) poiché trattasi di corso d'acqua interessato dalla delimitazione delle fasce 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.

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

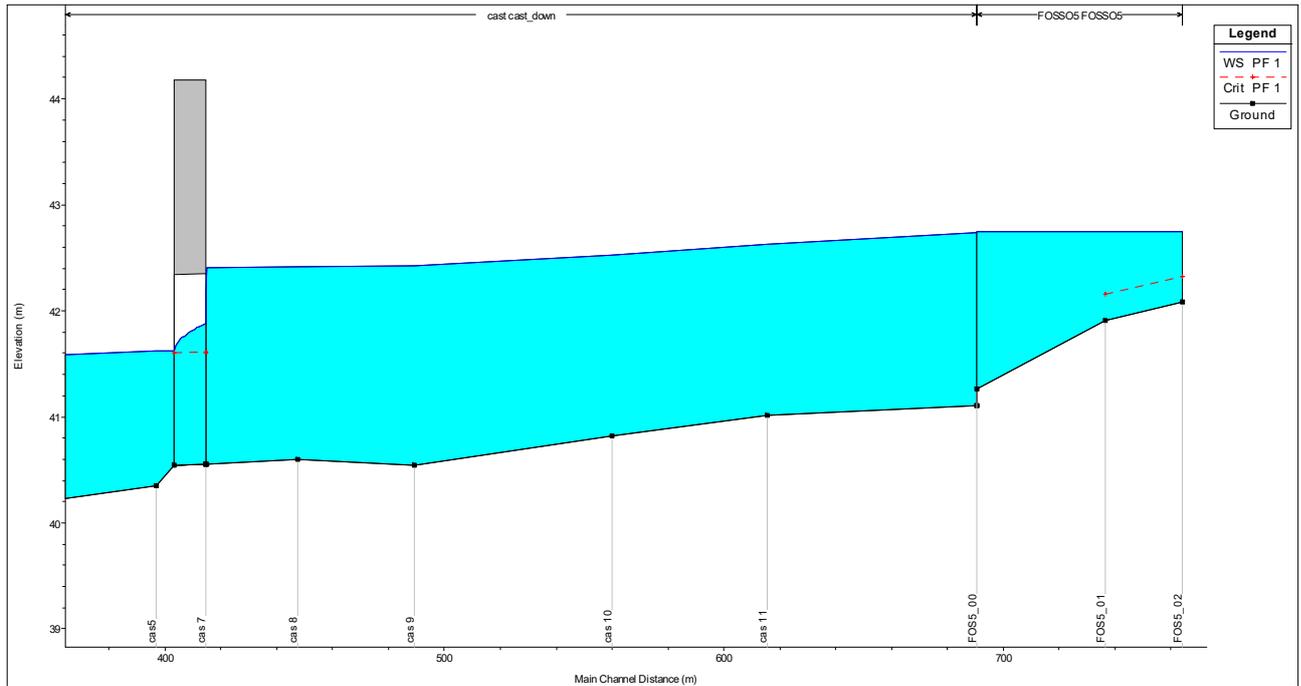
Ai fini modellistici, le condizioni di riferimento per la verifica degli attraversamenti in progetto sono le seguenti:

- 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  $m^{1/3}/sec$ , 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  $m^{1/3}/sec$ .

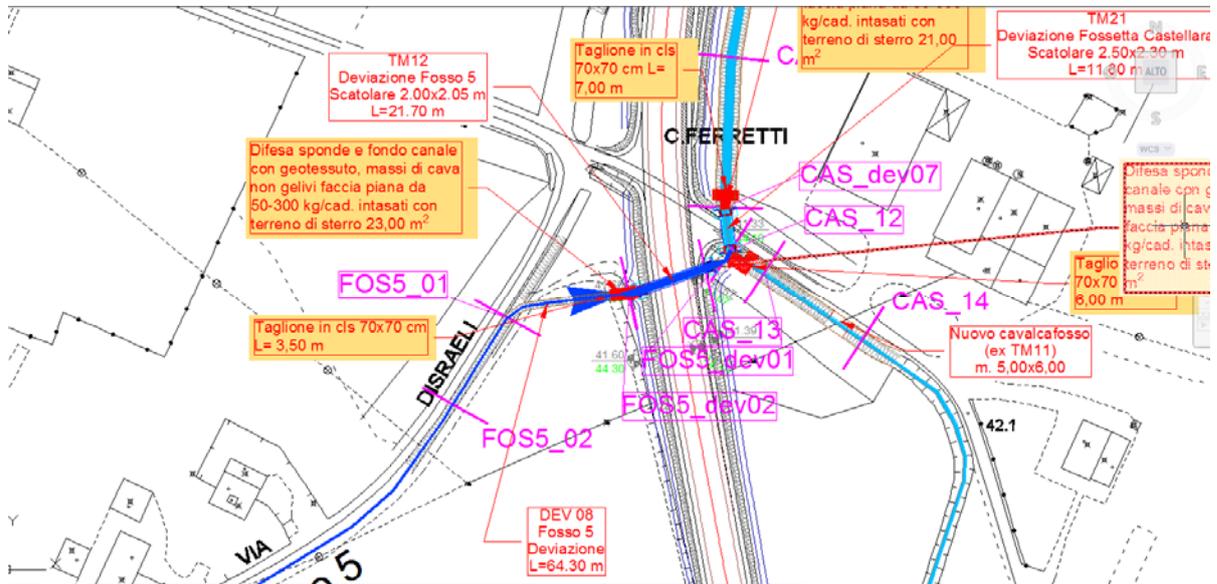
Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici riportati nel progetto definitivo, integrati dai rilievi eseguiti durante i sopralluoghi. Il modello si integra con il modello idraulico monodimensionale già costruito sul Castellara e sul Pieve Modolena, ed è stato realizzato inserendo una "junction" in corrispondenza della confluenza esistente tra il Fosso 5 ed il Castellara; nel modello di simulazione numerica il tronco 5 è costituito da 4 sezioni trasversali d'alveo (Figura 2). In particolare il tronco simulato, di lunghezza pari a circa 85m, è costituito da due sezioni FOS5\_02 e FOS5\_01 localizzate a monte dell'attraversamento TM12 ed altre due sezioni (risagomate nella progettazione v. tabella 1) FOS5\_DEV02 e FOS5\_DEV01 posizionate più a valle tra le quali è stato inserito l'attraversamento TM12 scatolare di dimensioni pari a  $B=2m$  e  $H=2.05m$ .



**FIGURA 1 - ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG NEL TRATTO DI CANALE CONSIDERATO NELLO STATO DI FATTO**

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

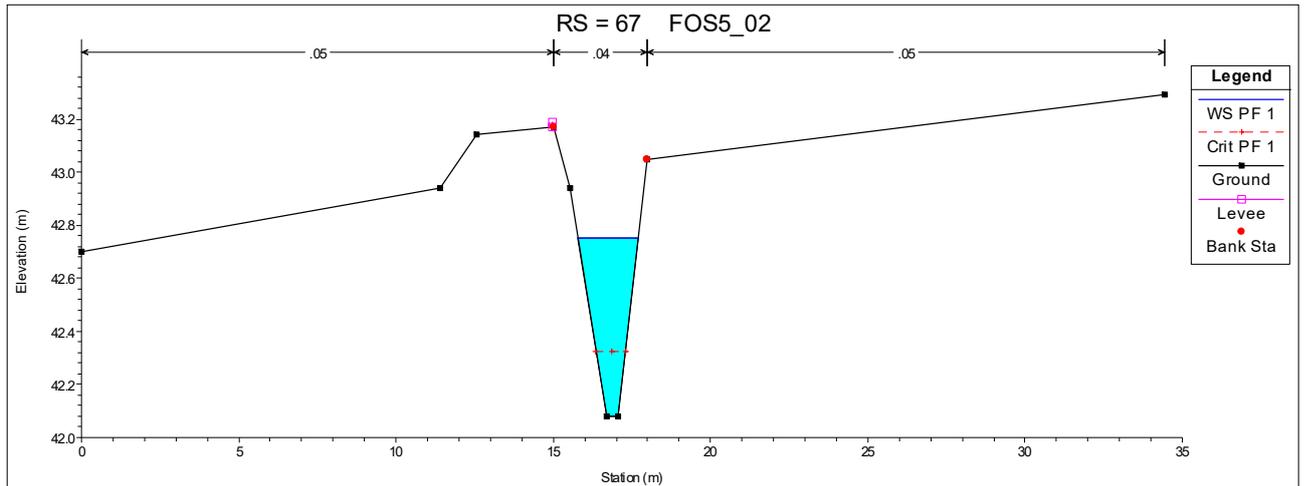
Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua.



**FIGURA 2 - TRATTO DEL CANALE SIMULATO CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI TOPOGRAFICHE**

### 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 200 anni.



**FIGURA 3 - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE FOS5\_02 LOCALIZZATA A MONTE DEL TRATTO ANALIZZATO NELLO STATO DI FATTO**

**RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI PROGETTO**

Nella configurazione di progetto si considera l’inserimento del tombino scatolare di dimensioni pari a B=2m e H=2.05m, inoltre si tiene conto della deviazione del corso d’acqua in corrispondenza dell’attraversamento in progetto e della confluenza nel Castellara.

Nella tabella seguente si riportano le dimensioni delle sezioni di progetto e dell’attraversamento rivisitato a seguito della modellazione numerica effettuata.

FOSSO 5 esecutivo			
ATTRAVERSAMENTO			
TM12	B	H	
	2	2.05	
CANALE			
	<b>B (m)</b>	<b>b (m)</b>	<b>H (m)</b>
FOS5_02	NESSUNA MODIFICA		
FOS5_01	NESSUNA MODIFICA		
fos dev02	3	0.5	1.4
fos dev01	3	0.5	1.4
CANALE=cas 12	NESSUNA MODIFICA		

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

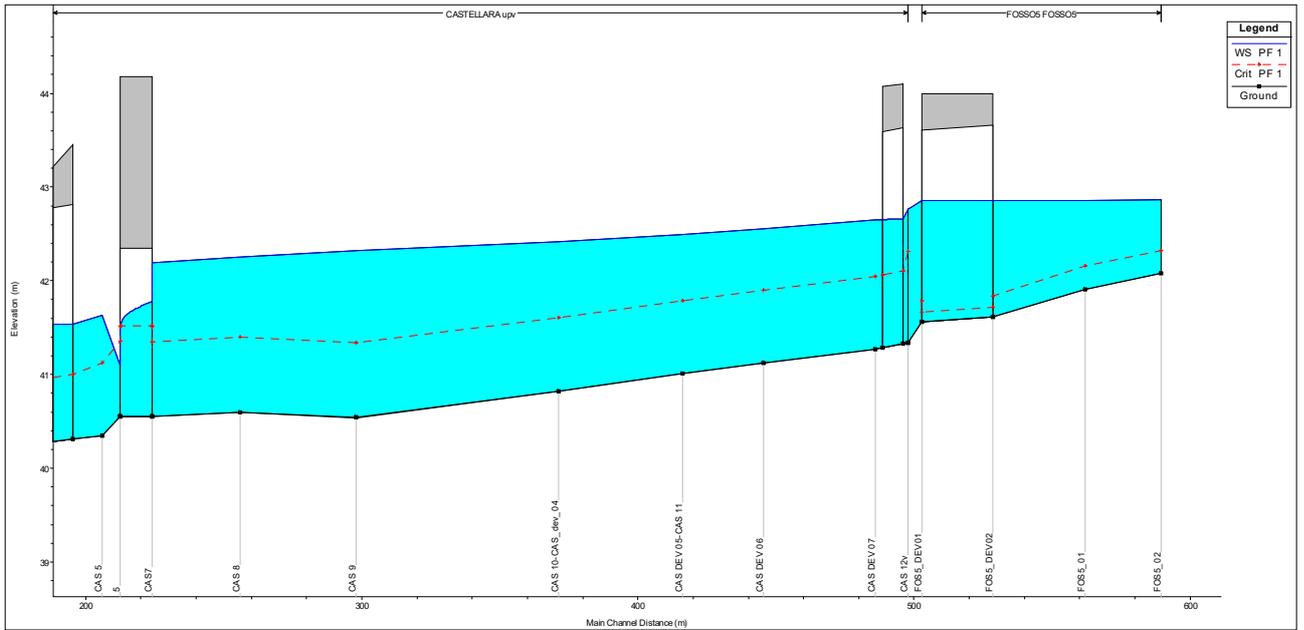
Considerando che il tronco 5 risulta condizionato dal tirante idrico che si instaura nel tratto di Castellara localizzato a valle (sezione CAS 12), è stato necessario allargare ed alzare l’attraversamento TM12 rispetto al progetto definitivo per consentire il passaggio della piena bicentenaria al di sotto dell’attraversamento stesso con adeguato franco di sicurezza (previsto dalle normative vigenti e dalle prescrizioni ANAS); 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.**

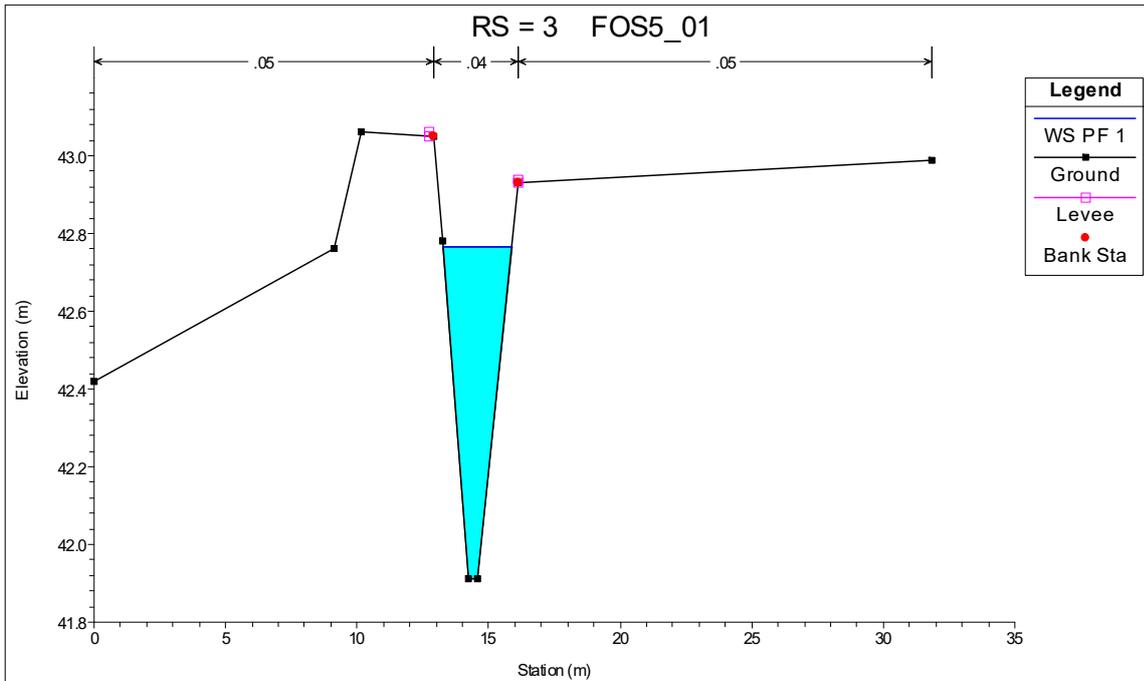
River St.	Sezione Topografica	Portata (T=200)	Quota del fondo	Livelli idrometrici	Quota Energia	Pendenza Energia	Larghezza in sommità	Numero di Froud
		[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[m]	
4	FOS5_02	0.21	42.08	42.77	42.77	0.000492	1.96	0.13
3	FOS5_01	0.21	41.91	42.76	42.77	0.000154	2.6	0.08
2	FOS5_dev 02	0.21	41.60	42.76	42.76	0.000097	2.03	0.05
1.5		Culvert		42.76				
1	FOS5_dev 02	0.21	41.46	42.76	42.76	0.000065	2.13	0.04

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
		[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[m]	
67.068	FOS5_02	0.21	42.08	42.75	42.75	0.000561	1.91	0.14
39.626	FOS5_01	0.21	41.91	42.74	42.74	0.000173	2.55	0.08
4.951	FOS5_00	0.21	41.26	42.74	42.74	0.000001	31.86	0.01

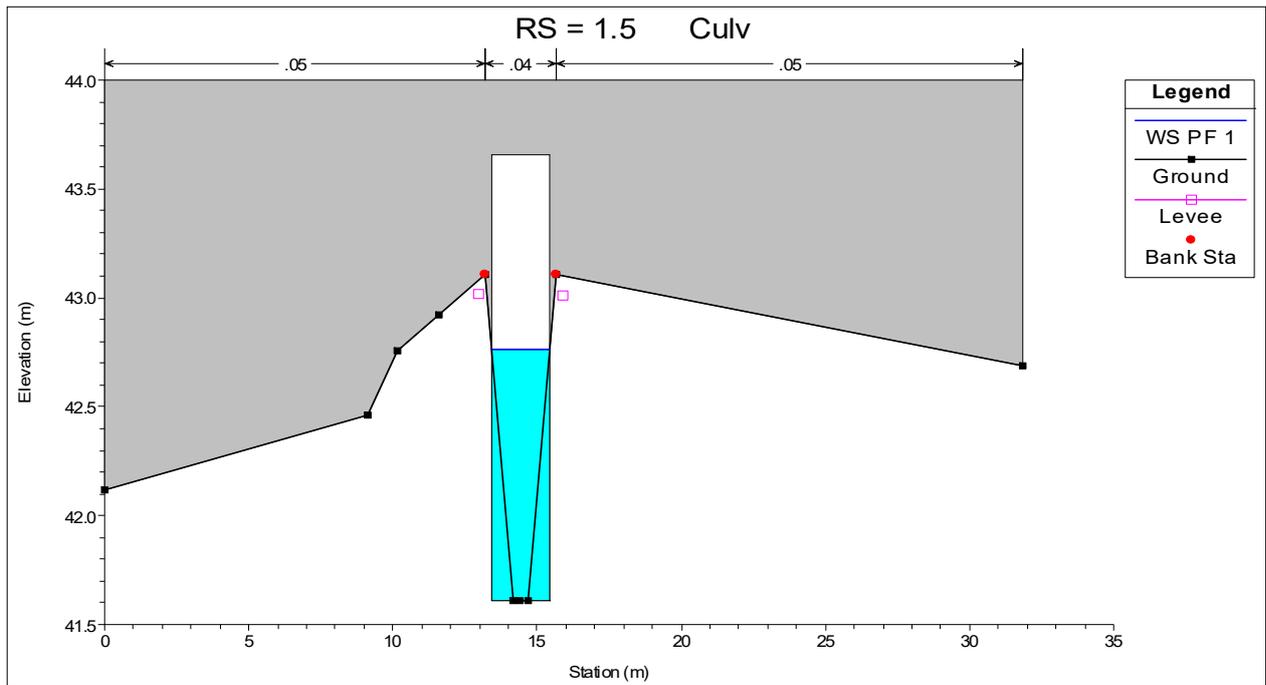
In corrispondenza del manufatto di **attraversamento il valore di portata di progetto genera un franco idraulico superiore a 0.75m**, in accordo con le prescrizioni riportate nel Capitolato d'oneri Prescrizioni per la redazione del Progetto Esecutivo ANAS. Dalle sezioni trasversali (v. figs 5a e 5b) si evince che il canale è in grado di ospitare le portate di deflusso caratterizzate da tempo di ritorno duecentennale; il confronto con lo stato attuale consente di affermare che le condizioni di pericolosità idraulica rimangono invariati, poiché anche se in alcune sezioni il livello idrometrico relativo alla condizione di progetto è di poco superiore a quello relativo allo stato di fatto, il deflusso rimane comunque contenuto all'interno del corso d'acqua (v. sezioni FOS5\_02 e FOS5\_01 figure 5) e quindi 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"*.



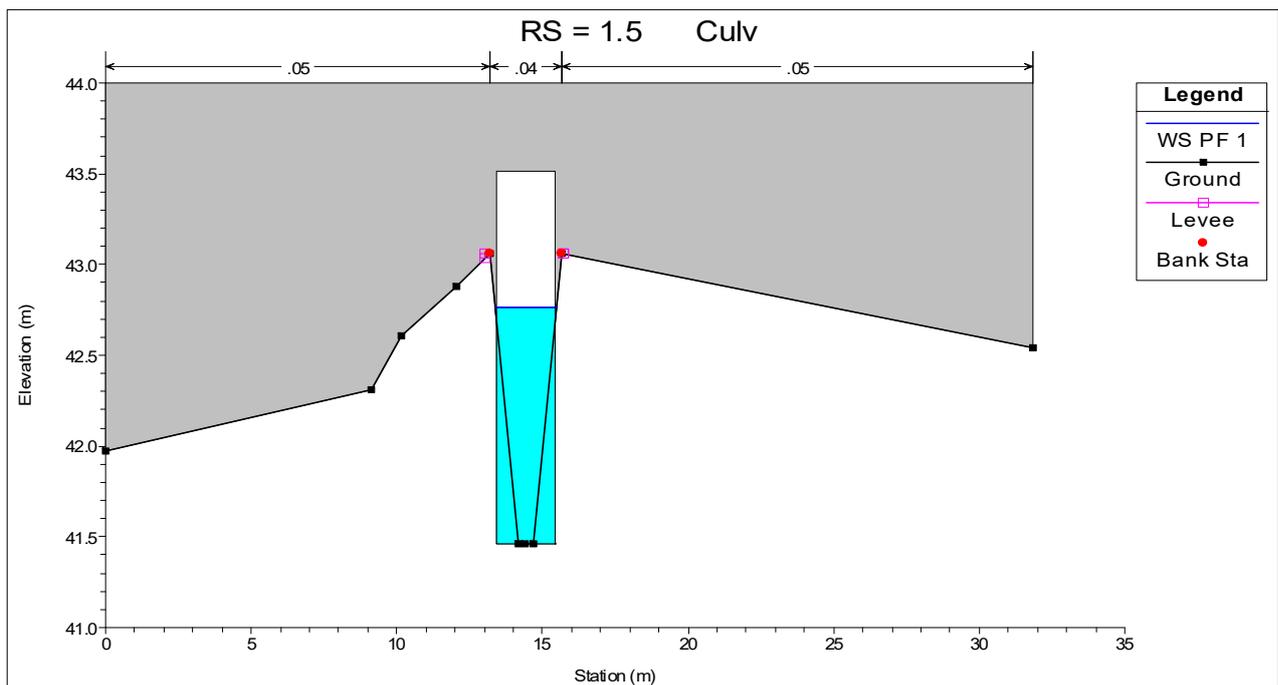
**FIGURA 4 - PROFILO DI RIGURGITO NELLO STATO DI PROGETTO.**



**FIGURA 5a - LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE FOS5\_01 LOCALIZZATA A MONTE DEL TOMBINO ESISTENTE NELLO STATO DI PROGETTO**



**FIGURA 5b** LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO PER EFFETTO DELLA PORTATA DUECENTENNALE A MONTE DELL'ATTRAVERSAMENTO TM12.



**FIGURA 5c** LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO PER EFFETTO DELLA PORTATA DUECENTENNALE A VALLE DELL'ATTRAVERSAMENTO TM12.

#### 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 (FOS5\_dev02) dell'attraversamento del fosso5 ; per la parte teorica si rimanda alla relazione "Premesse alle relazioni idrauliche"; si

riportano di seguito quindi i risultati delle verifiche allo strisciamento 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 valle 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 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>	0.21
<b>Velocità (m/s)</b>	0.14
<b>Raggio idraulico (m)</b>	0.433
<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 cininematica 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 θ</b>	0.009
<b>Tirante (m)</b>	1.85
<b>Pendenza linea energia J</b>	0.001

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

<b>Tensione di trascinamento τ (kg/m<sup>2</sup>)</b>	0.433
<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 τc (kg/m<sup>2</sup>)</b>	39.2

da cui si evince che la tensione di trascinamento al fondo τ risulta essere minore della tensione critica di trascinamento τ<sub>c</sub>.

**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 β=75° (Da deppo et al., 2004)<sup>1</sup>.

<b>Diametro particelle (m)</b>	0.5
<b>Pendenza scarpata α, (°)</b>	48

<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 di natural declivio <math>\beta</math>, (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento <math>\tau</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	0.43
<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>	9.51

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.

<b>Angolo Pivoting <math>\phi</math> (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	0.43
<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 (kg/m<sup>2</sup>)</b>	38.90

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°). 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>	48
<b>Angolo Pivoting <math>\phi</math> (°)</b>	50
<b>Tensione di trascinamento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	0.443
<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 (kg/m<sup>2</sup>)</b>	9.44