



ANAS S.p.A.

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

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

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Gianfranco Sodero Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 5666 Y	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI Ing. Renato Del Prete	PROGETTISTA Ing. Gabriele Incecchi (E&G S.r.l.)
			PROGETTAZIONE STRADALE Prof.ing. Luigi Monterisi (Setac S.r.l.)	PROGETTAZIONE IDRAULICA Ing. Vittorio Ranieri (Uning)
 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 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 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. Ing. Giocchino 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
---	---	---	-----------------------------------	--

FA 016	F - PROGETTO IDRAULICO FA - RELAZIONI Relazione idraulica Fosso 4
---------------	--

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. ANNO COBO E 1701		NOME FILE T00ID00IDRRE16.dwg		REVISIONE B	SCALA:
CODICE ELAB. T00ID00IDRRE16		B			
C					
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

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la descrizione dello studio idraulico effettuato sul Fosso4, 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 4 è un corso d'acqua privato, che interferisce con la viabilità in progetto alla sezione 284, si sviluppa verso Nord-Est e scarica le sue acque a valle della confluenza tra il Quaresimo ed il Modolena.

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 1.5m, base minore di circa 0.5m ed altezza pari a circa 0.5m.

L'interferenza con la viabilità in progetto viene risolta mediante l'inserimento di un tombino circolare (in polietilene ad alta densità corrugato SN8) del ϕ 1500 (TM18) e lunghezza pari a circa 60.17 m, le cui quote di fondo sono rispettivamente pari a 39.08 m s.l.m. all'imbocco e 38.96 m s.l.m. allo sbocco; inoltre si prevede un allargamento della canalizzazione in corrispondenza delle sezioni FOS4_02 e FOS4_01 che avrà dimensioni pari a $B= 2.5m$, $b=1m$ ed altezza pari a 0.8m.

La tombinatura è stata prolungata monte/valle per garantire il passaggio di una pista di servizio, 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. 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 allo sbocco ed 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 100 anni (pari a $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$) poiché trattasi di corso d'acqua non 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.

Nella modellazione si sono considerati anche gli scarichi degli impianti di trattamento localizzati a monte e a valle dell'attraversamento della tangenziale in progetto e pari a $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$

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 $m^{1/3}/sec$, 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 è costituito da 4sezioni trasversali d'alveo (Figura 2), oltre a quelle relative alle geometrie dei manufatti.

Il tratto simulato scorre perpendicolarmente alla strada per una lunghezza di circa 90m e parte dalla sezione FOS4_03 a monte dell'attraversamento della tangenziale e termina nella sezione FOS4_04_00, localizzata circa 20 m a valle dell'attraversamento della strada.

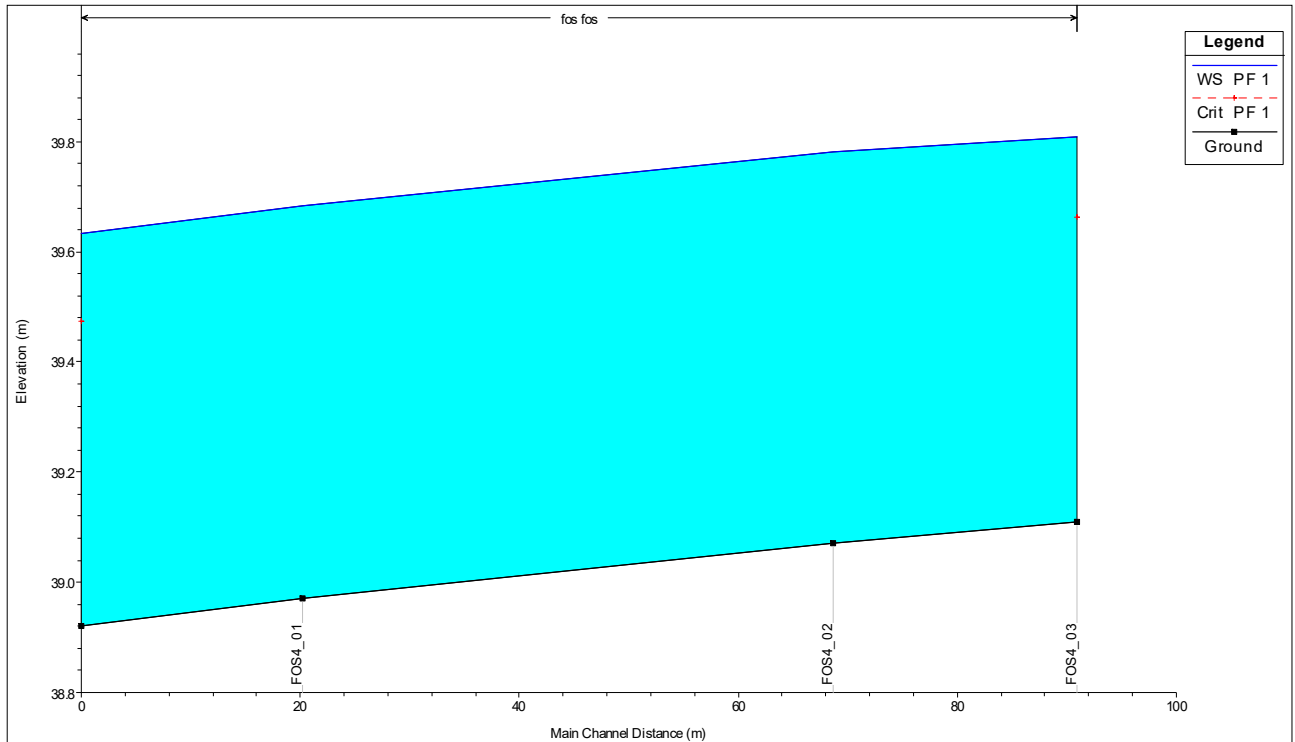


FIGURA 1 - ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG NEL TRATTO DI CANALE CONSIDERATO NELLO STATO DI FATTO

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.

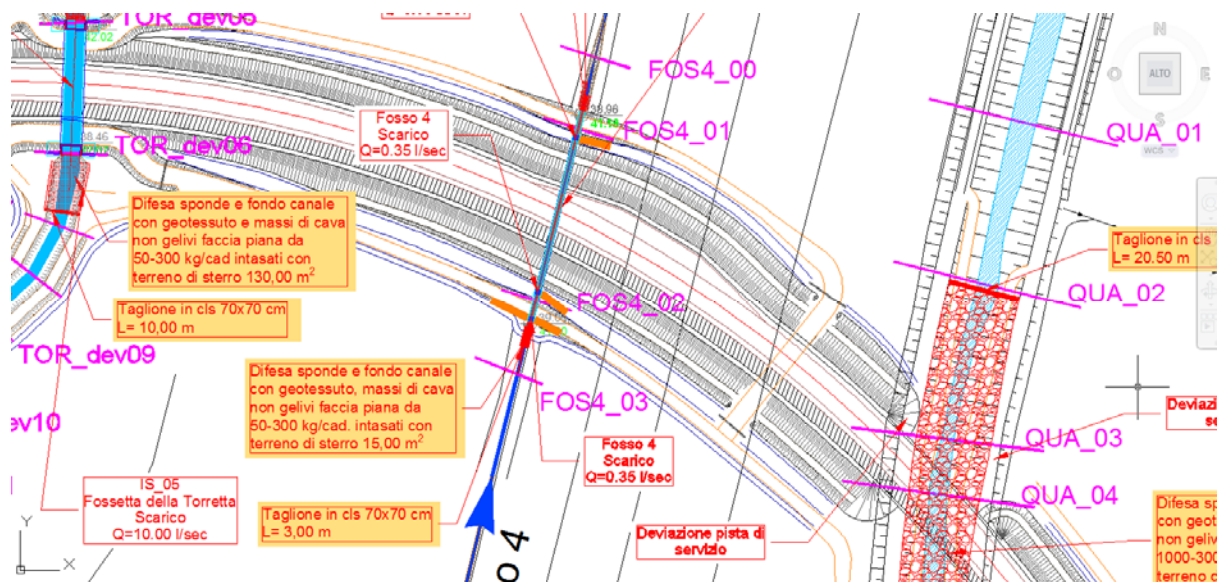


FIGURA 2 - TRATTO DEL CANALE SIMULATO CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI TOPOGRAFICHE

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 100 anni.

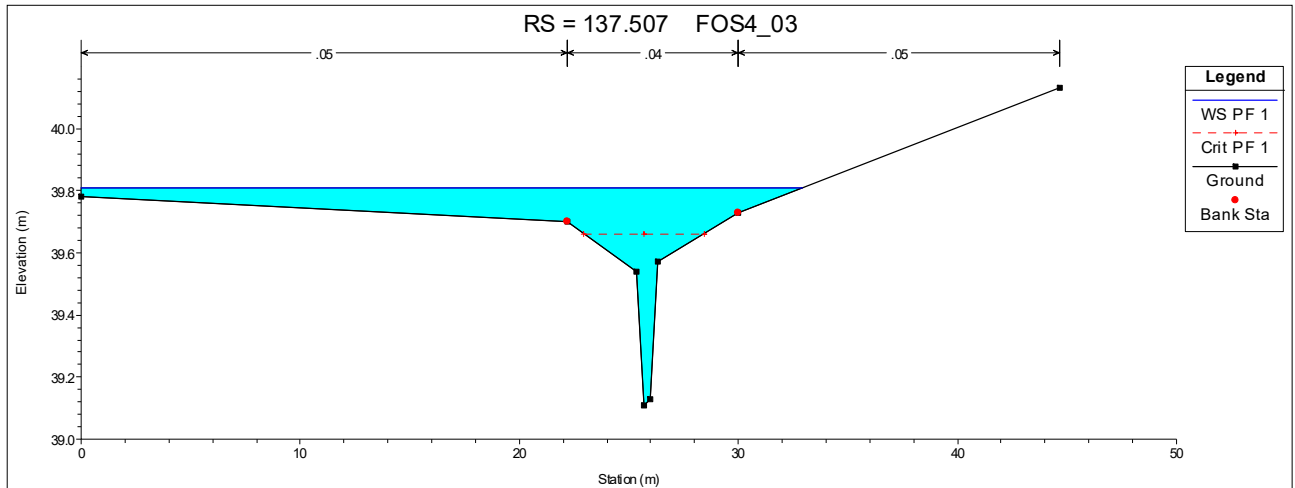


FIGURA 3a – STATO DI FATTO: LIVELLO IDROMETRICO NELLA SEZIONE TRASVERSALE LOCALIZZATA ALL'INIZIO DEL TRATTO ANALIZZATO

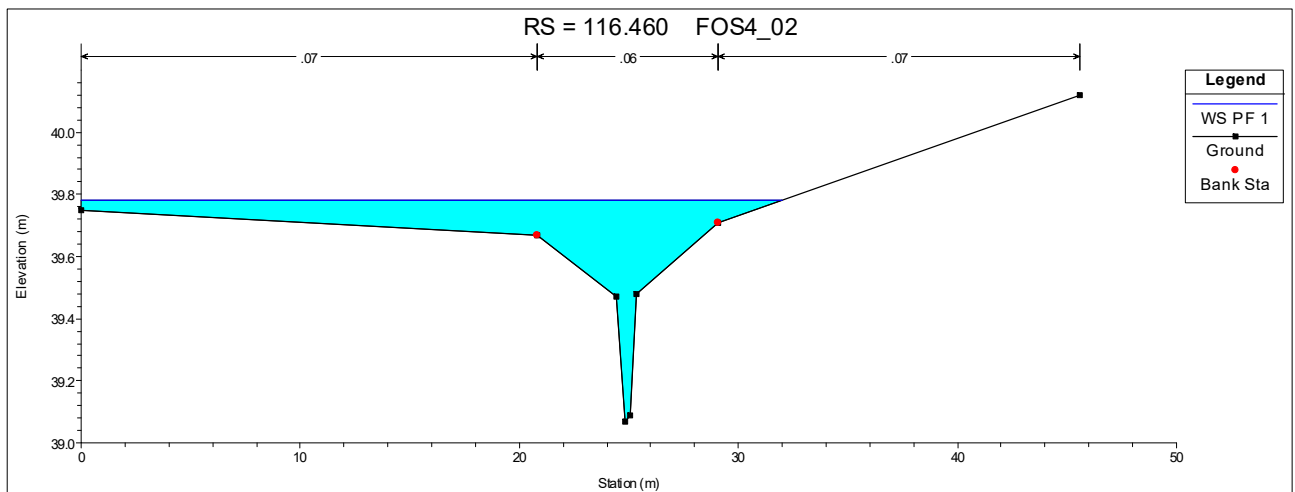


FIGURA 3b – STATO DI FATTO: LIVELLO IDROMETRICO NELLA SEZIONE TRASVERSALE LOCALIZZATA A VALLE DELLA TANGENZIALE IN PROGETTO

RISULTATI DELLE ANALISI NELLO STATO DI PROGETTO

Nella configurazione di progetto si considera l'inserimento del tombino circolare di diametro pari a 1500 mm. Nella tabella seguente si riportano le dimensioni delle sezioni di progetto e dell'attraversamento rivisitato a seguito della modellazione numerica effettuata.

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

FOSSO 4 esecutivo		
ATTRAVERSAMENTO		
TM18	CIRCOLARE	
	ϕ	1500 mm
CANALE		
	B (m)	b (m) H (m)
FOS4_03	NESSUNA MODIFICA	

FOS4_02	2.5	1	0.8
FOS4_01	2.5	1	0.8
FOS4_00	NESSUNA MODIFICA		

L'allargamento della sezione del tombino circolare (a valle dell'attraversamento) è stato effettuato per consentire il passaggio della piena duecentennale al di sotto dell'attraversamento 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.

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]	
137.507	FOS4_03	0.65	39.11	39.81	39.82	0.000929	33.08	0.18
116.46	FOS4_02	0.65	39.07	39.77	39.79	0.001709	6.9	0.25
80		Culvert		39.72;39.67				
67.442	FOS4_01	0.65	38.97	39.67	39.68	0.001788	2.31	0.26
47.138	FOS4_00	0.65	38.92	39.64	39.64	0.002002	18.42	0.27

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]	
137.507	FOS4_03	0.65	39.11	39.81	39.81	0.001035	32.91	0.19
116.46	FOS4_02	0.65	39.07	39.78	39.78	0.001594	31.97	0.16
67.442	FOS4_01	0.65	38.97	39.68	39.69	0.002603	25.31	0.21
47.138	FOS4_00	0.65	38.92	39.63	39.64	0.002002	18.25	0.27

In corrispondenza del manufatto di attraversamento il valore di portata di progetto genera un franco idraulico superiore o uguale 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. 7) si evince che la canalizzazione risezionata (FOS4_02- FOS4_01) è in grado di ospitare le portate di deflusso**; sulla restante parte anche se sono presenti esondazioni in alcune sezioni localizzate al di fuori dell'intervento di risagomatura della canalizzazione, **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".

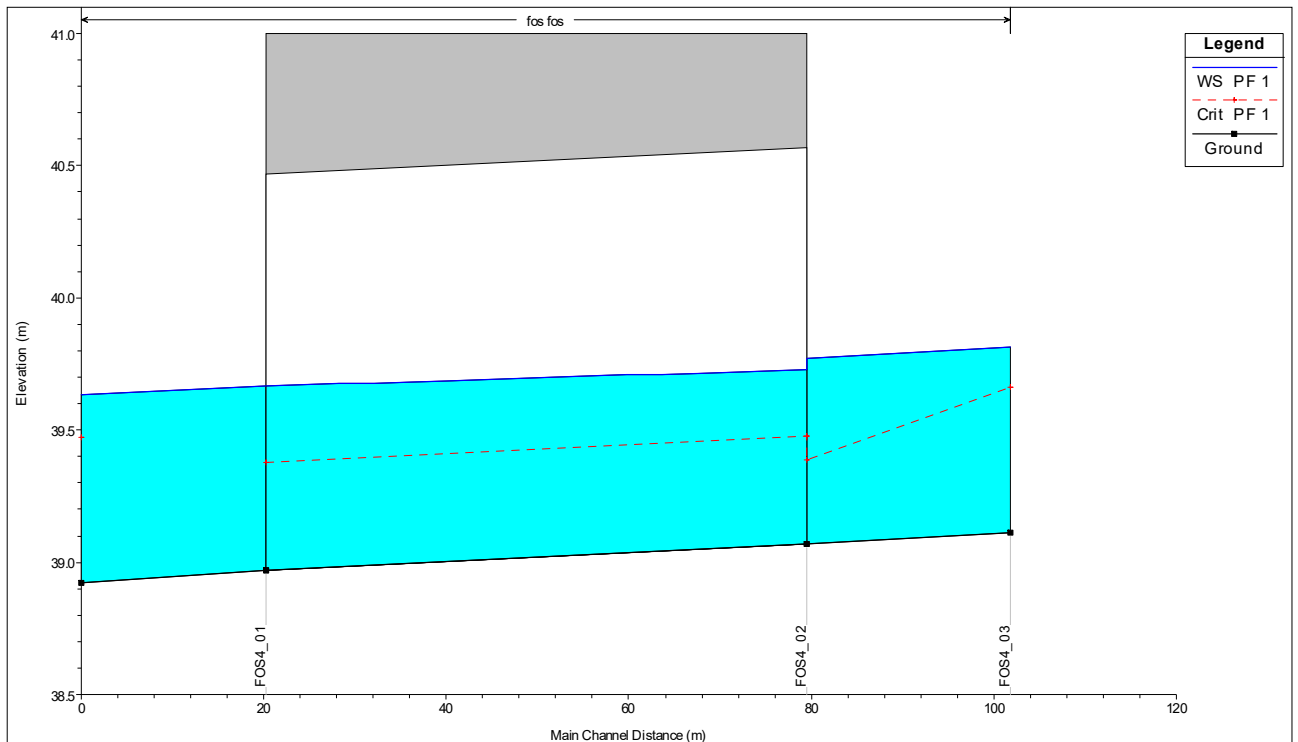


FIGURA 6 - PROFILO DI RIGURGITO NELLO STATO DI PROGETTO.

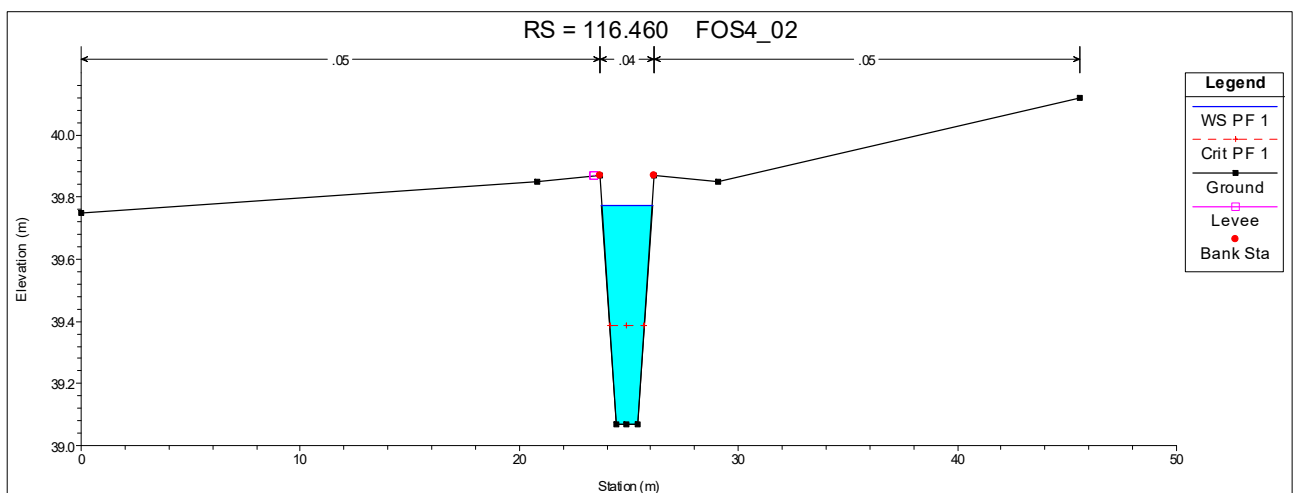


FIGURA 7a - LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO NELLA SEZIONE FOS4_02 A MONTE DELL'ATTRAVERSAMENTO.

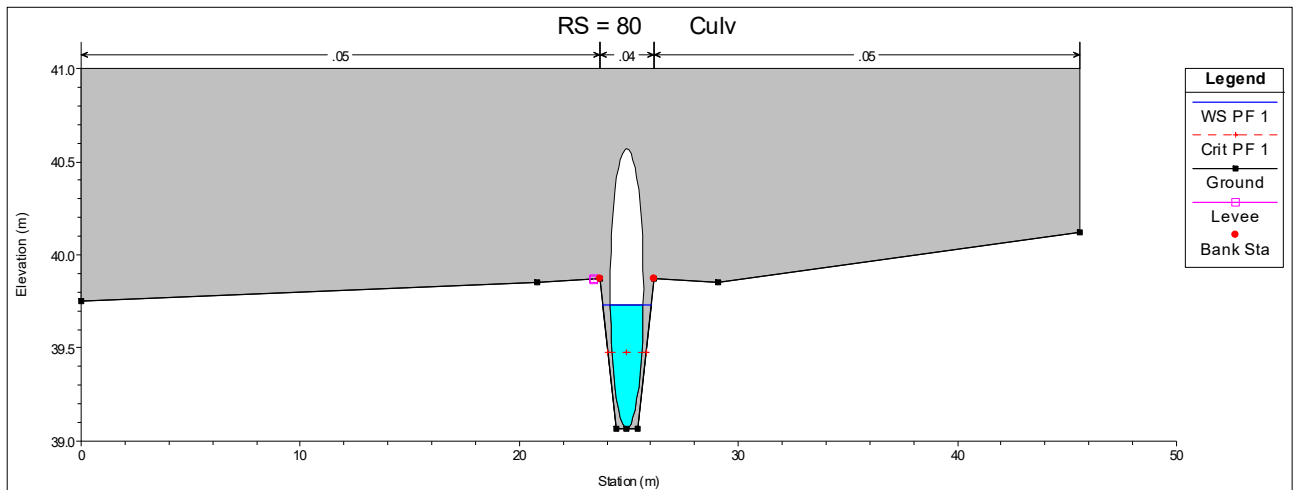


FIGURA 7b – LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO NELLA SEZIONE A MONTE DELL'ATTRAVERSAMENTO (TM18) PER EFFETTO DELLA PORTATA DUECENTENNALE.

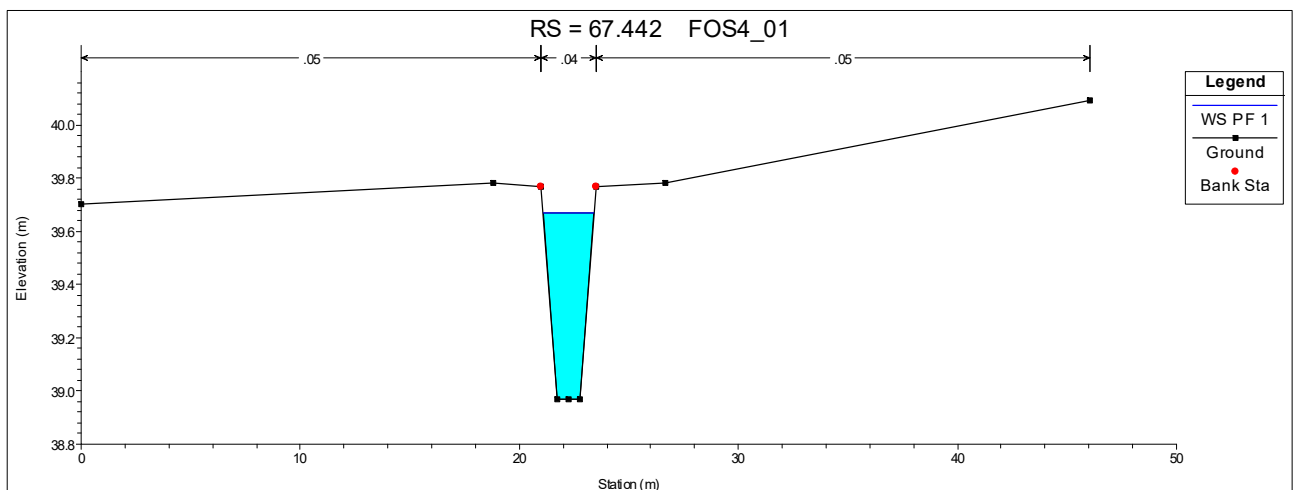


FIGURA 7c – LIVELLO IDRICO RAGGIUNTO NELLA SEZIONE FOS4_01 A VALLE DELL'ATTRAVERSAMENTO.

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 del Fosso 4 (FOS4_02); 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/m³; sulla base di tali informazioni è facile calcolare il diametro medio delle particelle pari a circa 0.5m.

Portata (m³/s)	0.65
Velocità (m/s)	0.54
Raggio idraulico (m)	0.397
Diametro particelle (m)	0.5
Peso specifico acqua (kg/m³)	1000
Peso specifico ghiaia (kg/m³)	2400
Viscosità cinematica a 20° (m²s⁻¹)	0.000001
Densità a 20° (kg m⁻⁴s²)	101.79
Pendenza del corso d'acqua θ	0.001
Tirante (m)	0.7
Pendenza linea energia J	0.001

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

Tensione di trascinamento τ (kg/m²)	0.437
Numero di Reynolds Re^*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Y_c	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche τ_c (kg/m²)	39.2

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

b) analisi dell'erosione sulla sponda.

In tale caso è stato necessario valutare l'angolo di naturale declivio β e la pendenza della scarpata (α); come valore di angolo di naturale declivio si è utilizzato, a vantaggio di sicurezza, un valore pari a 50 gradi, considerando che per le scogliere in massi naturali di opere marittime si utilizza un valore di $\beta=75^\circ$ (Da deppo et al., 2004)¹.

Diametro particelle (m)	0.5
Pendenza scarpata α, (°)	46
Angolo di natural declivio β, (°)	50
Tensione di trascinamento τ (kg/m²)	0.44
Numero di Reynolds Re^*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Y_c	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche τ_c (kg/m²)	13.48

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

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

c) Analisi dell'erosione per rotolamento delle particelle.

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

Angolo Pivoting ϕ (°)	50
Tensione di trascinamento (kg/m²)	0.44
Numero di Reynolds Re*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Yc	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m²)	39.15

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

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

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

Angolo di natural declivio β (°)	50
Pendenza scarpata α (°)	46
Angolo Pivoting ϕ (°)	50
Tensione di trascinamento (kg/m²)	0.437
Numero di Reynolds Re*	>1000
Parametro di Shields in condizioni critiche Yc	0.056
Tensione di trascinamento in condizioni critiche (kg/m²)	13.46