

REGIONE TOSCANA

Comune di Sansepolcro

REALIZZAZIONE DEL SECONDO PONTE SUL FIUME TEVERE
E RACCORDI STRADALI DI COLLEGAMENTO FRA LA ZONA INDUSTRIALE
"ALTO TEVERE" E VIA BARTOLOMEO DELLA GATTA
SUL TRACCIATO DELLA VIA COMUNALE DEI "BANCHETTI"



PROGETTO DEFINITIVO

ATI DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MATILDI+PARTNERS

Vicolo Sant'Arcangelo n. 2
40123 Bologna

T +39 051 229107
T +39 051 222249 r.a.

F +39 051 223242

areatecnica@matildi.com
www.matildi.com

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE
PROF. ING. GIUSEPPE MATILDI

MANDANTE

EUTECNE s.r.l.
architettura | ingegneria

Via Romana, 30
06126 Perugia
T +39 075 32 761
F +39 075 34 470

Via Roma, 20/a
57034 Campo nell'Elba (Li)
Isola d'Elba
T/F +39 0565 977 589

office@eutecne.it
www.eutecne.it

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE
ING. FEDERICO FRAPPI

COMMITTENTE:



COMUNE DI SANSEPOLCRO

R.U.P.
Dott. Ing. Remo Veneziani

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Prof. Ing. Giuseppe MATILDI
Dott. Ing. Stefano ISANI
Dott. Ing. Paolo BARRASSO
Dott. Ing. Guido CAMMAROTA

Dott. Ing. Federico FRAPPI
Dott. Ing. Francesco ARDINO
Dott. Arch. Olimpia LORENZINI
Dott. Arch. Vania MARGUTTI
Dott. Geol. Armando GRAZI

Dott. Ing. Noemi BRIGANTI
Dott. Ing. Luca DELL'AVERSANO
Dott. Ing. Fabio PENNAZZI
Dott. Ing. Paola GONFIA
Dott.ssa Paola SFAMENI

TITOLO **RELAZIONE TECNICA INTEGRATIVA**

CODICE PROGETTISTA

ELAB.

GR2B

CODICE COMMESSA **B93DA_GR2B**

REV.

- **A**

SCALA

--

REV.N	DATA	MOTIVO DELLA EMISSIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	NOV 2016	PROGETTO DEFINITIVO	L.Dell'Aversano	F.Ardino	F.Frappi

Indice generale

PREMESSA.....	2
RISPOSTE ALL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – Ufficio Piani e Programmi.....	3
RISPOSTE ALLA REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile – Settore Genio Civile Valdarno Superiore - Sede Arezzo.....	6

PREMESSA

La presente relazione contiene gli approfondimenti e le valutazioni richieste in sede di conferenza dei servizi dai seguenti enti:

- **AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – Ufficio Piani e Programmi;**
- **REGIONE TOSCANA - DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE – Settore Genio Civile Valdarno Superiore - Sede Arezzo.**

In alcuni casi le richieste di approfondimento hanno comportato la redazione di nuovi elaborati grafici, in parte richiesti esplicitamente e in parte ritenuti necessari per rappresentare adeguatamente le nuove opere e/o le modifiche di quelle già previste nel progetto definitivo.

In particolare si sono prodotti i seguenti nuovi elaborati grafici:

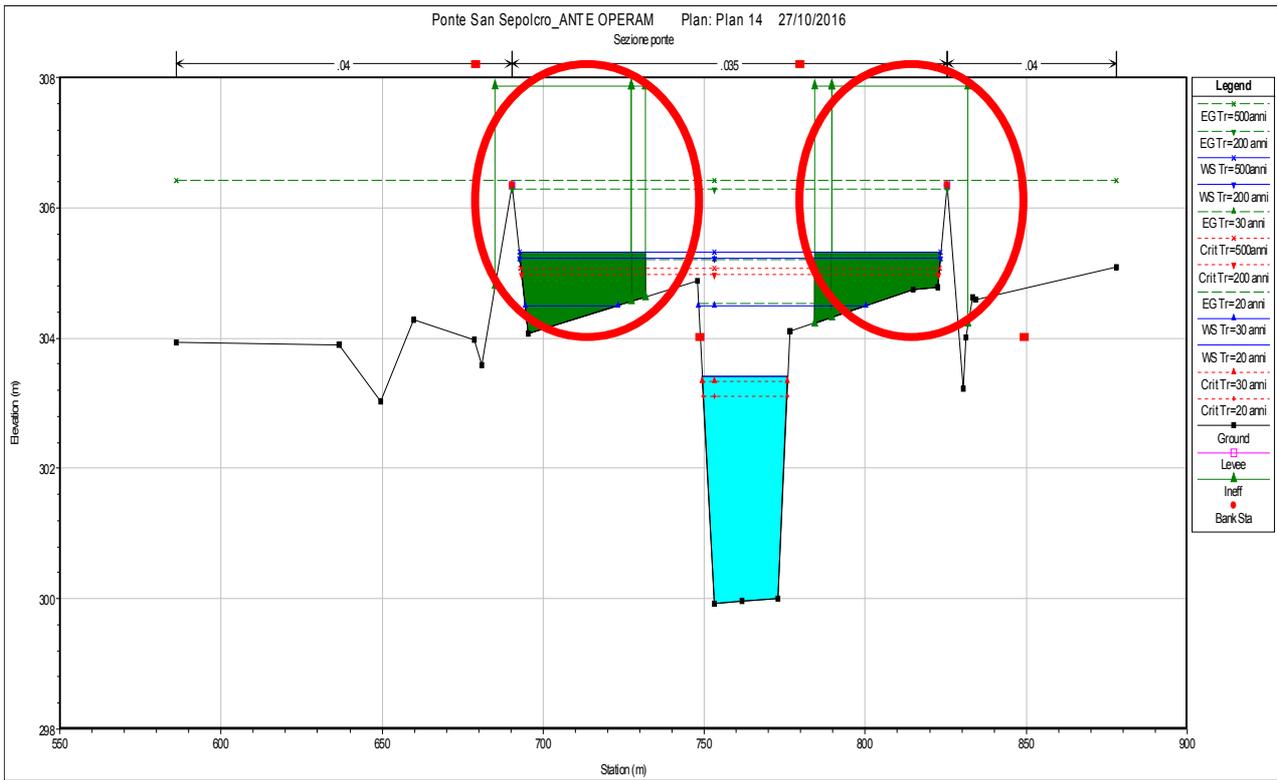
- **B93DA I05B SEZIONI TRASVERSALI;**
- **B93DA I06B PARTICOLARI INTERVENTI IN PROSSIMITA' DEL SOTTOPASSO DELLA E45;**
- **B93DA I07B SCATOLARE DI ATTRAVERSAMENTO FOSSO REGLIA DEI MULINI;**
- **B93DA I08B OPERE DI SISTEMAZIONE ARGINALE.**

Tali elaborati entrano a fare parte integrante del progetto definitivo.

RISPOSTE ALL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – Ufficio Piani e Programmi.

L'AB Tevere ha espresso parere con documento Prot. numero 0003194 del 9-8-2016 in cui esprimeva la compatibilità dell'opera in progetto a meno di alcune prescrizioni di seguito illustrate.

- *"si prescrive di non "intubare" la Reglia dei Mulini in corrispondenza del suo attraversamento adottando soluzioni alternative al fine di scongiurare futuri possibili ostruzioni nel tratto coperto"*: in tal senso è stato già valutato in sede progettuale il minor tratto possibile per l'attraversamento in oggetto e viene rimosso il setto centrale come richiesto altresì dalla Regione Toscana;
- Prescrizione inerente la *"realizzazione di protezioni flessibili specifiche"*: le protezioni verranno realizzate in scogliera in blocchi pesanti fino a 10 quintali del diametro superiore a 0.8 m non legati in modo da garantire la stabilità e la flessibilità dell'opera necessaria;
- Prescrizione di approfondimento progettuale volto ad ipotizzare *"come libera sezione di deflusso quella compresa tra le due pile di sostegno, senza considerare le parti residuali comprese tra le pile e le spalle in dx e sx idraulica"*: Per quanto attiene alla verifica idraulica relativa alla possibile, seppure improbabile occlusione dei fornicci del ponte posti in corrispondenza delle golene, è stata svolta una modellazione prendendo in considerazione tale evento. La geometria della sezione posta in corrispondenza del ponte è di seguito schematizzata, come da modello idraulico:



Sezione del modello con inserimento ostruzioni fornici ponte

Dalle modellazioni condotte si rilevano i risultati seguenti:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev STATO POST OPERAM (m)	W.S. Elev OSTRUZIONE FORNICI (m)	W.S. Elev DIFFERENZA (m)
Tevere	956	Tr=20 anni	372.54	301.51	306.46	306.46	0.00
Tevere	956	Tr=30 anni	415.28	301.51	306.75	306.63	-0.12
Tevere	956	Tr=200 anni	668.1	301.51	307.35	307.62	0.27
Tevere	956	Tr=500anni	700	301.51	307.41	307.71	0.30
Tevere	955.6	Tr=20 anni	372.54	299.93	303.41	303.41	0.00
Tevere	955.6	Tr=30 anni	415.28	299.93	304.66	304.50	-0.16
Tevere	955.6	Tr=200 anni	668.1	299.93	305.30	305.23	-0.07
Tevere	955.6	Tr=500anni	700	299.93	305.36	305.31	-0.05
Tevere	955.5	Tr=20 anni	372.54	299.3	303.52	303.52	0.00
Tevere	955.5	Tr=30 anni	415.28	299.3	304.60	304.60	0.00
Tevere	955.5	Tr=200 anni	668.1	299.3	305.23	304.38	-0.85
Tevere	955.5	Tr=500anni	700	299.3	305.29	304.36	-0.93
Tevere	955	Tr=20 anni	372.54	298.71	302.57	302.57	0.00

Tevere	955	Tr=30 anni	415.28	298.71	304.84	304.84	0.00
Tevere	955	Tr=200 anni	668.1	298.71	305.54	305.54	0.00
Tevere	955	Tr=500anni	700	298.71	305.61	305.61	0.00
Tevere	954	Tr=20 anni	372.54	298.95	302.59	302.59	0.00
Tevere	954	Tr=30 anni	415.28	298.95	302.81	302.81	0.00
Tevere	954	Tr=200 anni	668.1	298.95	304.35	304.35	0.00
Tevere	954	Tr=500anni	700	298.95	304.40	304.40	0.00
Tevere	953	Tr=20 anni	372.54	297.85	301.65	301.65	0.00
Tevere	953	Tr=30 anni	415.28	297.85	301.82	301.82	0.00
Tevere	953	Tr=200 anni	668.1	297.85	302.56	302.56	0.00
Tevere	953	Tr=500anni	700	297.85	302.56	302.56	0.00

La modellazione svolta ha evidenziato un innalzamento dei livelli solo in corrispondenza della sezione 956 con incrementi, se riferiti al solo scenario, dell'ordine di 30 cm. Questi sono valutabili come trascurabili vista l'impossibilità di verificarsi in quanto la completa occlusione dei fornicci non si ha con l'accadimento di un solo evento estremo, ma con una serie di eventi ed in assenza totale di manutenzione ordinaria; ad ogni modo i rilevati arginali sono in grado di accogliere anche i livelli derivanti da tale scenario estremo risultano contenuti dagli argini dentro i franchi idrici di sicurezza. I franchi idrici del ponte non vengono ad ogni modo intaccati.

RISPOSTE ALLA REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile – Settore Genio Civile Valdarno Superiore - Sede Arezzo

Nel parere per la conferenza dei servizi del 05/09/2016 sono stati richiesti alcuni approfondimenti e valutazioni riportati in 6 punti.

Di seguito si riportano per ogni punto le analisi e gli approfondimenti richiesti.

Punto 1) - aggiornamento delle portate di progetto tenendo conto delle LSPP fino all'anno 2012 di cui alla DGRT 1133/2012 - Per la definizione delle portate di progetto la relazione ha fatto riferimento alla Relazione Idraulica del Piano Strutturale del Comune di Sansepolcro che era stata prodotta per stabilire la sostenibilità dal punto di vista dell'assetto idraulico delle ipotesi di sviluppo urbanistico della città. Nel documento menzionato sono riportati i risultati di diverse metodologie di calcolo della portata (metodo del volume d'invaso; metodo di Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana con il programma ALTO e la procedura per il calcolo della portata al colmo della piena utilizzata dall'Autorità di Bacino del Tevere), per stabilire il valore di portata ragionevolmente più critico anche in virtù delle modificazioni che ha subito il corso d'acqua negli ultimi decenni e dei fenomeni di esondazione che si sono verificati.

Portata di piena	Metodo Invaso	Al.To.	AdB
Tr=30 anni	383,9 mc/se	415,2 mc/se	279,2 mc/se
Tr=200 anni	487,8 mc/se	666,0 mc/se	457,1 mc/se
Tr=500 anni	537,7 mc/se	700,0 mc/se	564,8 mc/se

Pertanto verranno utilizzate le massime portate calcolate come fatto nella modellazione allegata allo studio idraulico del PRG di seguito riportate:

Portata di piena	
Tr=30 anni	415,2 mc/se
Tr=200 anni	666,0 mc/se
Tr=500 anni	700,0 mc/se

Nella Relazione Idraulica risulta, inoltre, che la portata massima scaricabile dall'invaso di Montedoglio è pari a 699.3 mc/sec (circa 700 mc/sec) ed è provocata dall'apertura dello scarico di

superficie regolato ($Q_{max} = 360$ mc/sec) e dello scarico di fondo ($Q_{max} = 339.3$ mc/sec). E' da considerare che la portata di 699.3 mc/sec è superiore a quella millenaria laminata dalla Diga.

Richiamato quanto sopra in ordine alle valutazioni effettuate, si vuole in questa sede ricondurre i calcoli ivi effettuati alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) aggiornate fino all'anno 2012 dall'Università di Firenze.

In riferimento alla portata calcolata con il Metodo AbT andiamo in questa sede ad intervenire sul solo parametro $h_{d,t}$ (altezza di pioggia di durata critica) della relazione in calce:

$$Q_T = \frac{h_{d,T} \cdot k_r \cdot k_d \cdot s}{3.6 \cdot t_c}$$

mantenendo dunque inalterati i restanti parametri morfometrici.

Per fare ciò andiamo a verificare i parametri delle LSPP nell'ambito territoriale di riferimento.

Per un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni dal sito della regione Toscana desumiamo i seguenti parametri:

- Stazione di Arezzo $a=74,26$ $n=0,29$;
- Stazione di Anghiari $a=68,70$ $n=0,26$;
- Stazione di La Verna $a=58,19$ $n=0,33$;
- Stazione di Monterchi $a=76,17$ $n=0,29$.

Assumendo il tempo di corrivazione calcolato nel procedimento di 8,41 h si ottiene una altezza massima di pioggia per la Stazione di Monterchi pari a 146,28 mm.

Da essa si ottiene poi una portata per $Tr=200$ anni pari a 493,06 mc/s maggiore dunque dei 457,1 mc/s calcolati nello studio assunto da riferimento.

Se si assume invece il metodo dell'invaso dello studio e si considerano i parametri a ed n della curva assunti da riferimento e li sostituiamo con quelli della Stazione di Monterchi otteniamo per il tempo di corrivazione del bacino una altezza di pioggia pari a 141, 24 mm rispetto ai 110, 31 mm con una portata che aumenta da 487,8 mc/s a 624,59 mc/s.

Di seguito il prospetto riassuntivo seguente per $Tr=200$ anni

Metodo AbT	457,1 mc/s
Metodo invaso	487,8 mc/s
Metodo Alto	666,0 mc/s
Metodo AbT LSPP2012	493,1 mc/s
Metodo invaso LSPP2012	624,1 mc/s

Non si ha ad oggi possibilità di valutazioni riguardo il metodo ALTO che tra l'altro sembra estremamente cautelativo in quanto le portate risultano lungamente superiori ai metodi di calcolo riconosciuti dall'AB Tevere. Alla luce di quanto sopra si conferma la bontà della modellazione svolta utilizzando le portate dello studio idraulico del PRG tenuto anche conto della portata massima di riferimento di 700 mc/s (apertura contemporanea degli scarichi di fondo e di superficie) quale portata massima scaricabile dalla diga che corrisponde alla laminazione millenaria della diga e quindi abbondantemente a favore di sicurezza in riferimento ai calcoli idrologici riportati. Rimane evidente come il ponte riporti franchi idraulici con ampi margini di sicurezza.

Con riferimento alla rampa di accesso in golena posta in prossimità della spalla "B" si è provveduto ad approfondire il progetto prevedendo il rifacimento degli argini in prossimità delle spalle in modo da avere un franco minimo di 50 cm rispetto le portate corrispondenti alle manovre di apertura degli scarichi di superficie e di fondo dell'invaso di Montedoglio. La rampa raggiungerà pertanto la quota di sommità del nuovo argine prima di scendere in golena garantendo le condizioni di sicurezza richieste. Quanto descritto è riportato nell'elaborato B93DA I08B OPERE DI SISTEMAZIONE ARGINALE.

Punto 2) - Dichiarazione di cui al comma 6 art. 1 della LR21/2012. Si allega la dichiarazione del progettista come richiesto.

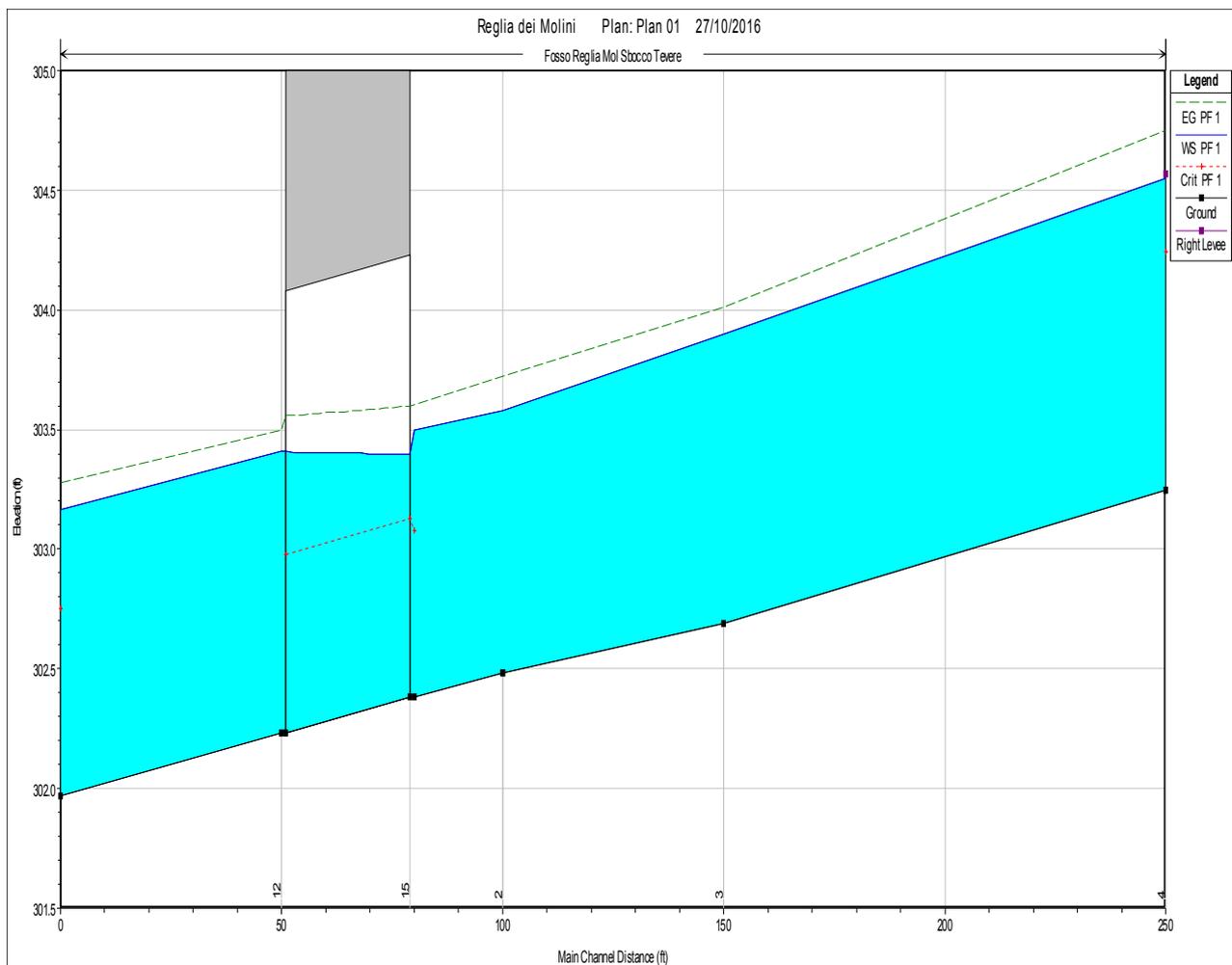
Punto 3) Sezioni trasversali. Si è provveduto a produrre n. 3 sezioni trasversali in corrispondenza del nuovo ponte, con l'indicazione dei livelli idrici raggiunti per le portate con tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni. Si precisa che i livelli idrici riportati si riferiscono al metodo ALTO molto cautelativo. Quanto descritto è riportato nell'elaborato B93DA I05B SEZIONI TRASVERSALI.

Valutazione degli effetti di ristagno dovuto alla presenza di fossi minori. La permeabilità idraulica dei rilevati stradali di accesso al ponte, riguardo il pericolo di esondazione del fiume, è garantita in destra idrografica dalla presenza della strada vicinale “Reglia dei mulini” che attraversa trasversalmente la spalla “A” e dal fosso adiacente la strada e in sinistra idrografica dall’attraversamento idraulico del fosso “Reglia dei Mulini”. Inoltre i fossi minori non afferiscono al Tevere nei pressi dell’opera di progetto che pertanto non va a interferire con eventuali linee di impluvio o di raccolta delle acque meteoriche ancorché derivanti da deflussi secondari o marginali dei relativi bacini imbriferi.

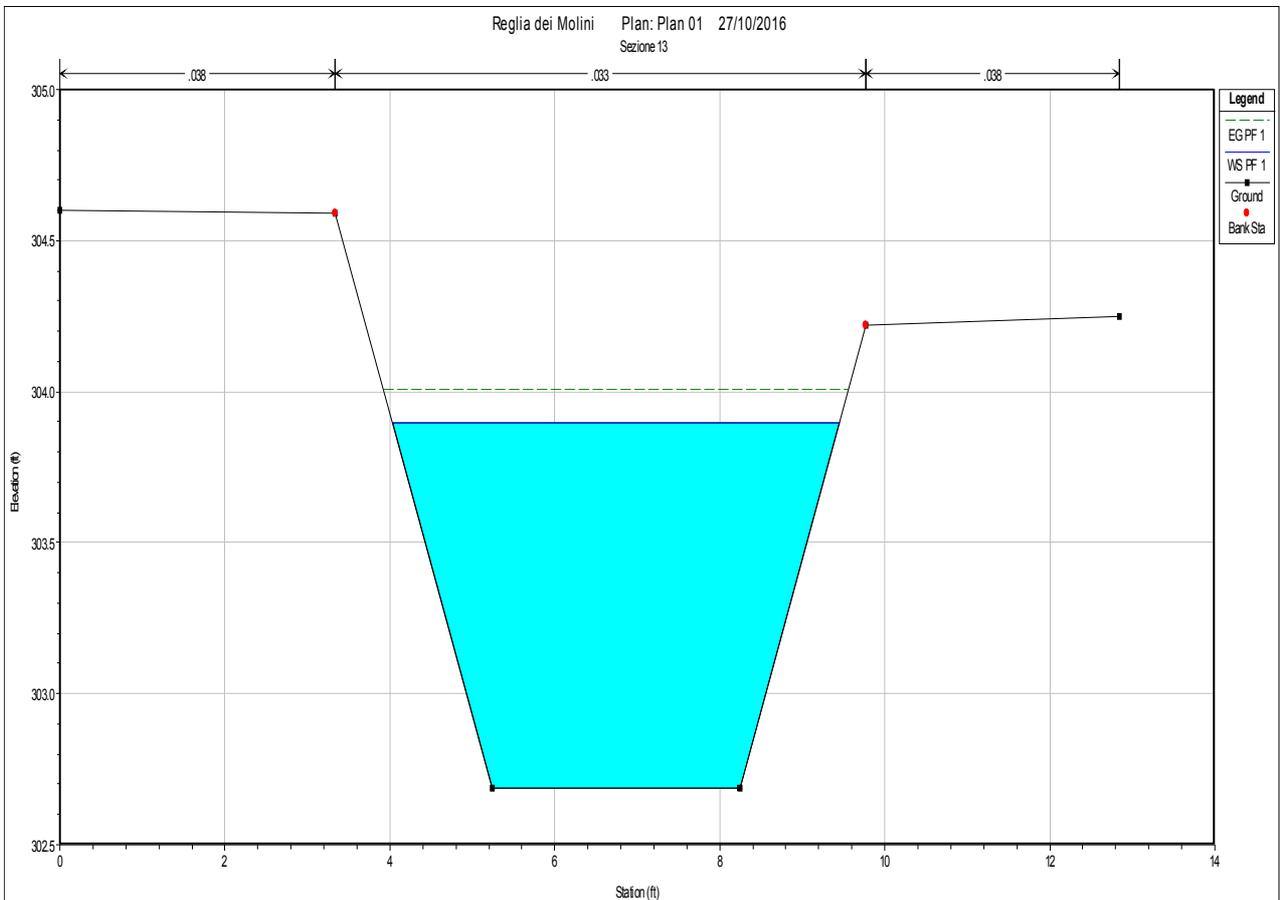
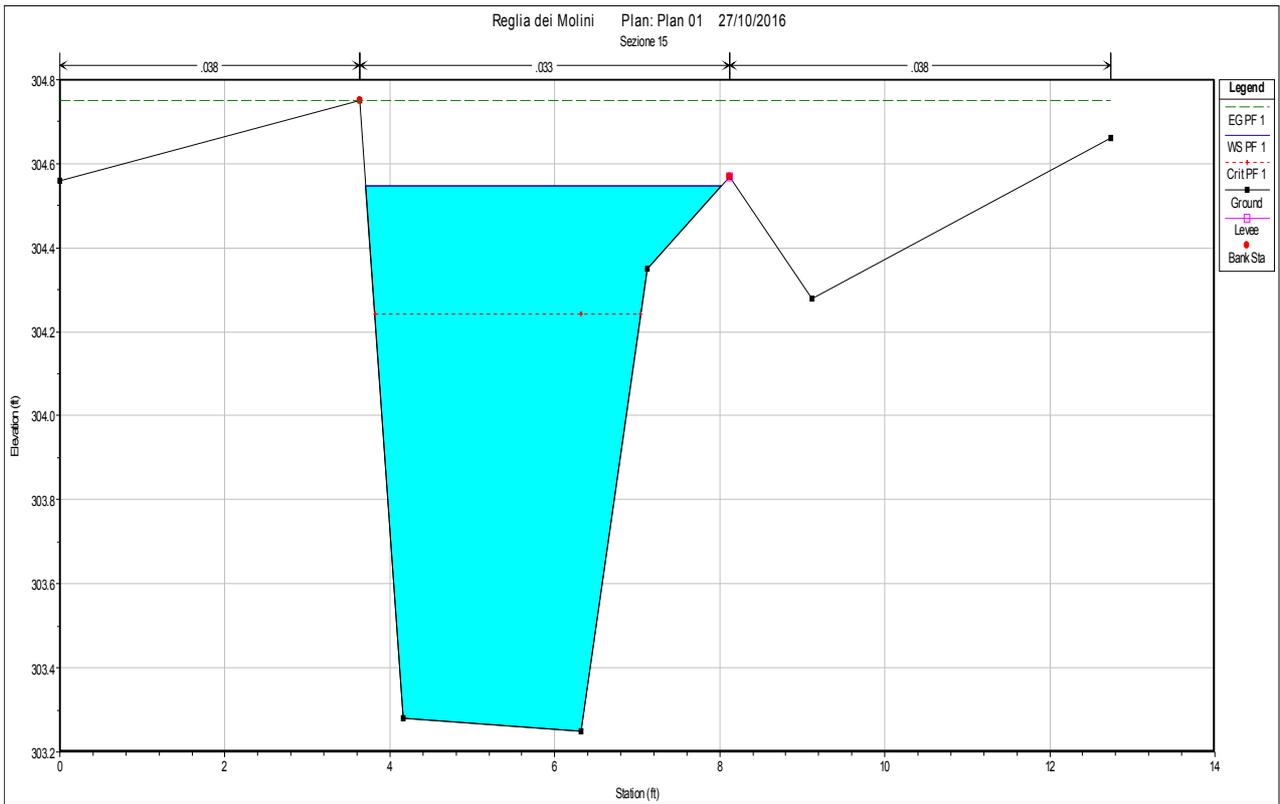
Punto 4) - Tombamento del fosso “Reglia dei mulini” in corrispondenza del sottopasso della E45.

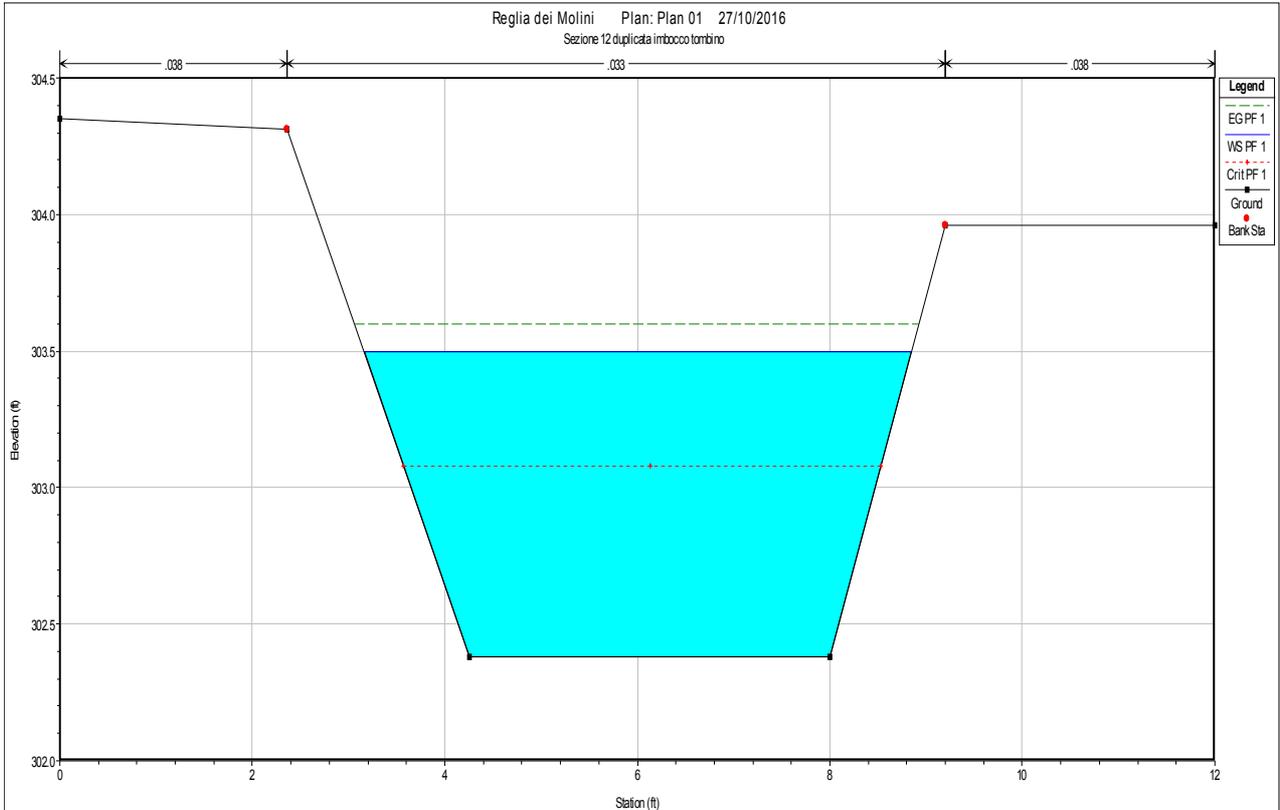
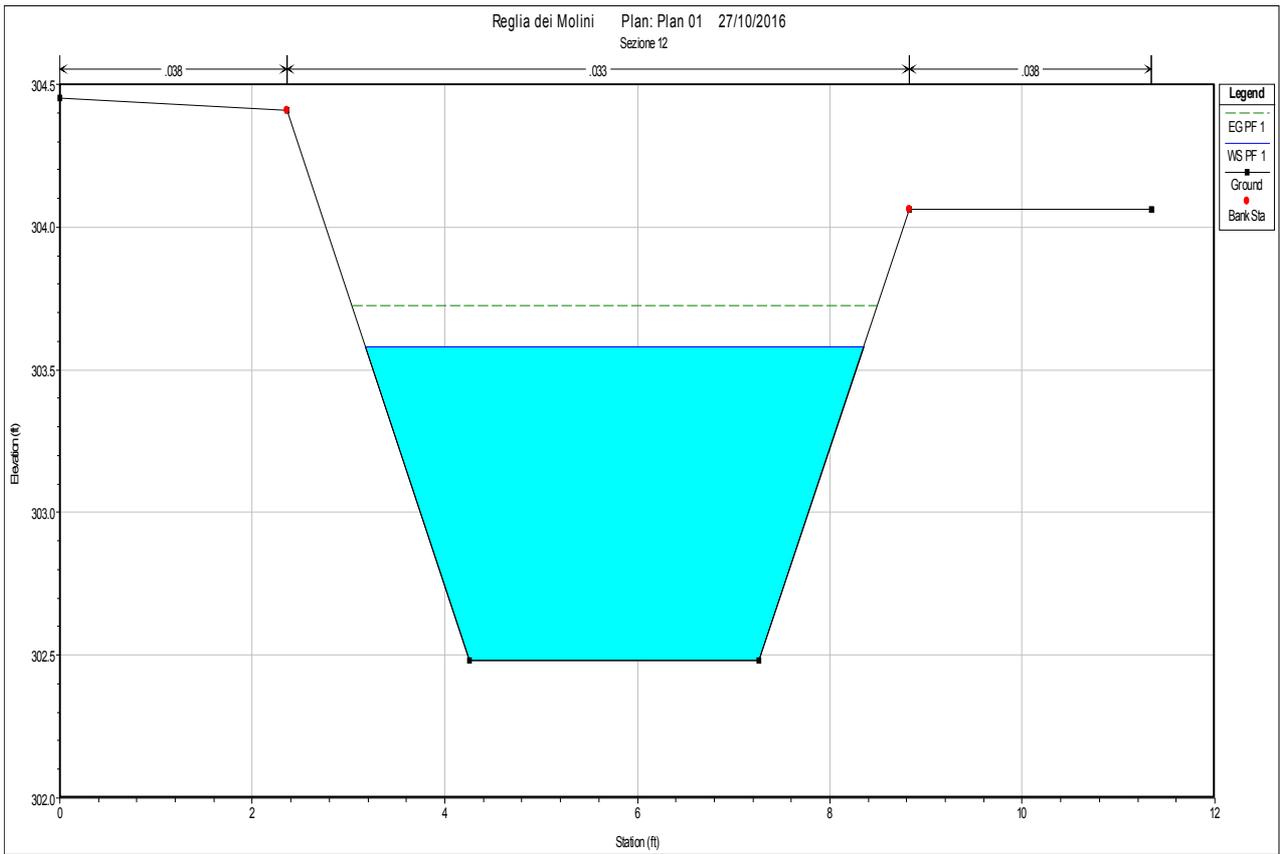
La strada di progetto termina subito prima del sottopasso della E45 pertanto non è stato previsto alcun intervento in corrispondenza del sottopasso. L’elaborato B93DAI06B PARTICOLARI INTERVENTI IN PROSSIMITA’ DEL SOTTOPASSO DELLA E45 riporta lo stato attuale e di progetto dell’area e descrive in dettaglio gli interventi previsti. In particolare tra la sez. 21 (progr. 10+00,00) e la fine intervento (progr. 10+42,05) il fosso risulta già intubato e gli interventi di progetto sono limitati alla realizzazione della pavimentazione stradale senza interferire con il fosso.

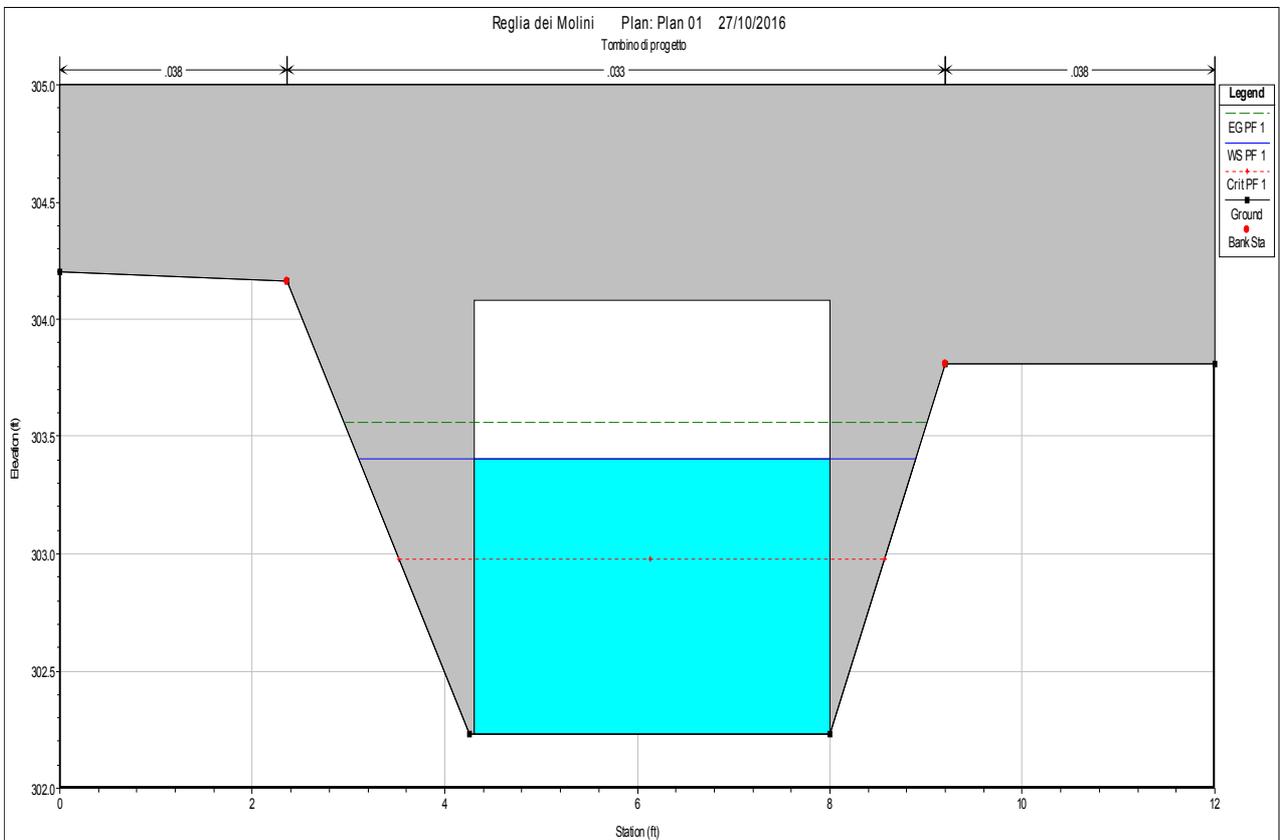
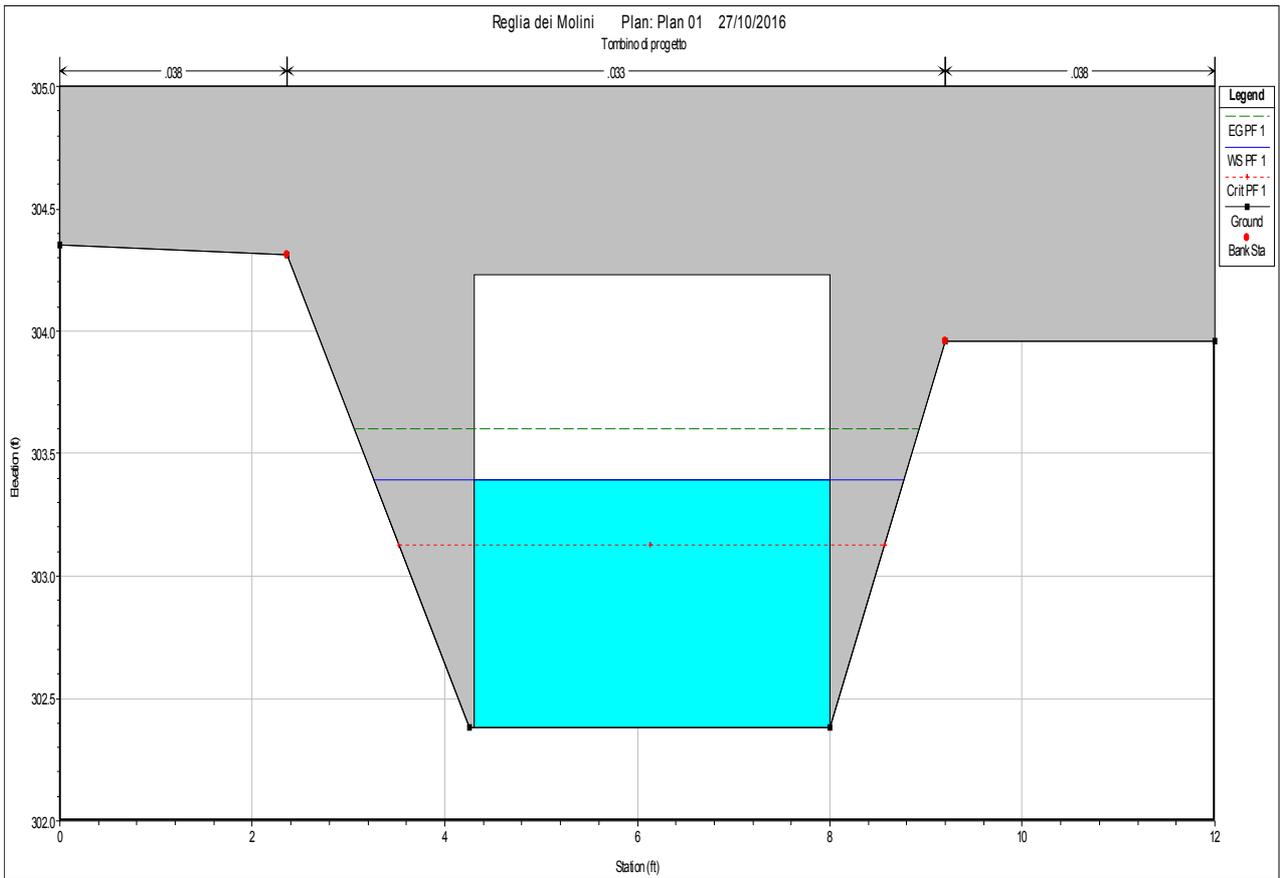
Punto 5) unico scatolare per il sottoattraversamento della strada comunale dei Banchetti con la Reglia dei Mulini. Nel progetto definitivo sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica riportate nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012. Pertanto l'eliminazione del setto centrale dell'opera di attraversamento rappresenta sicuramente un miglioramento della officiosità idraulica. Si riportano di seguito gli esiti della modellazione condotta considerando la nuova geometria dello scatolare di attraversamento (senza setto centrale) e confermando le LSPP richiamate sopra.

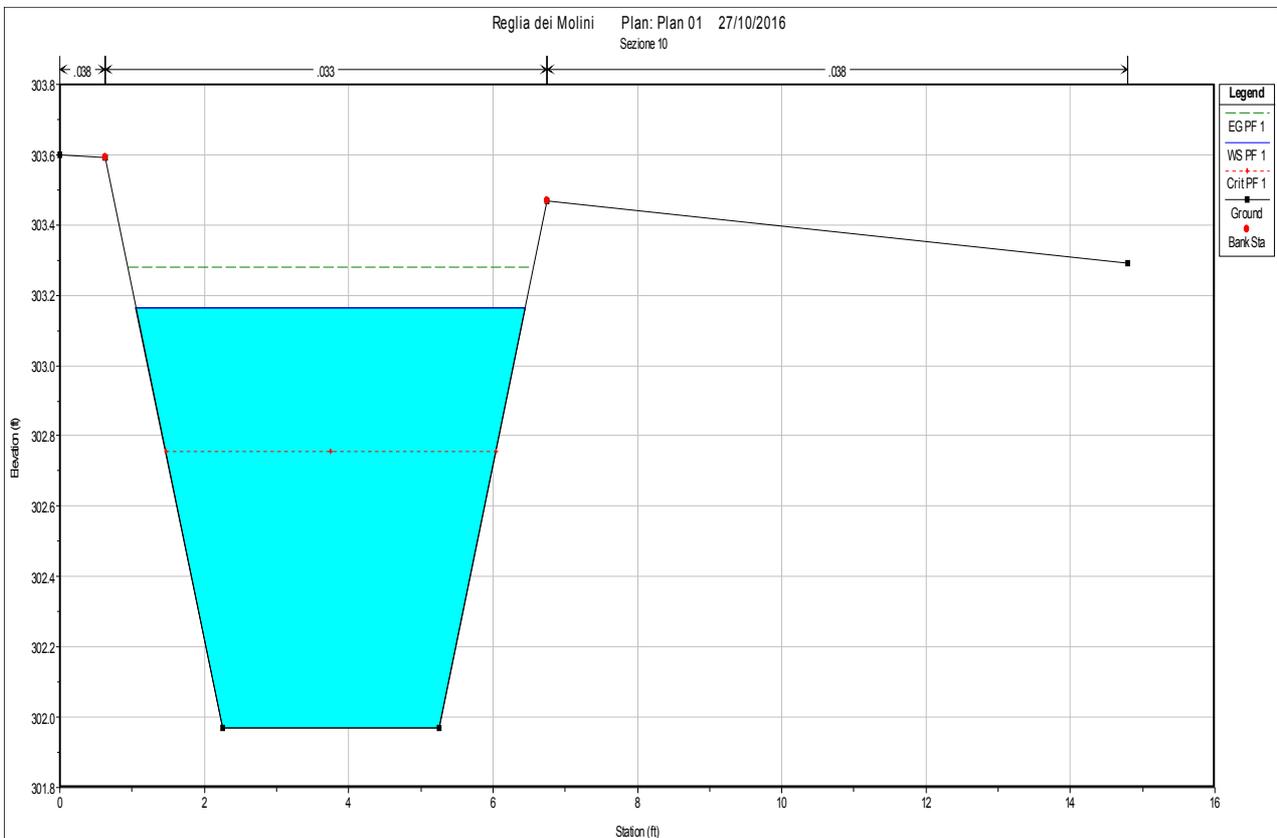
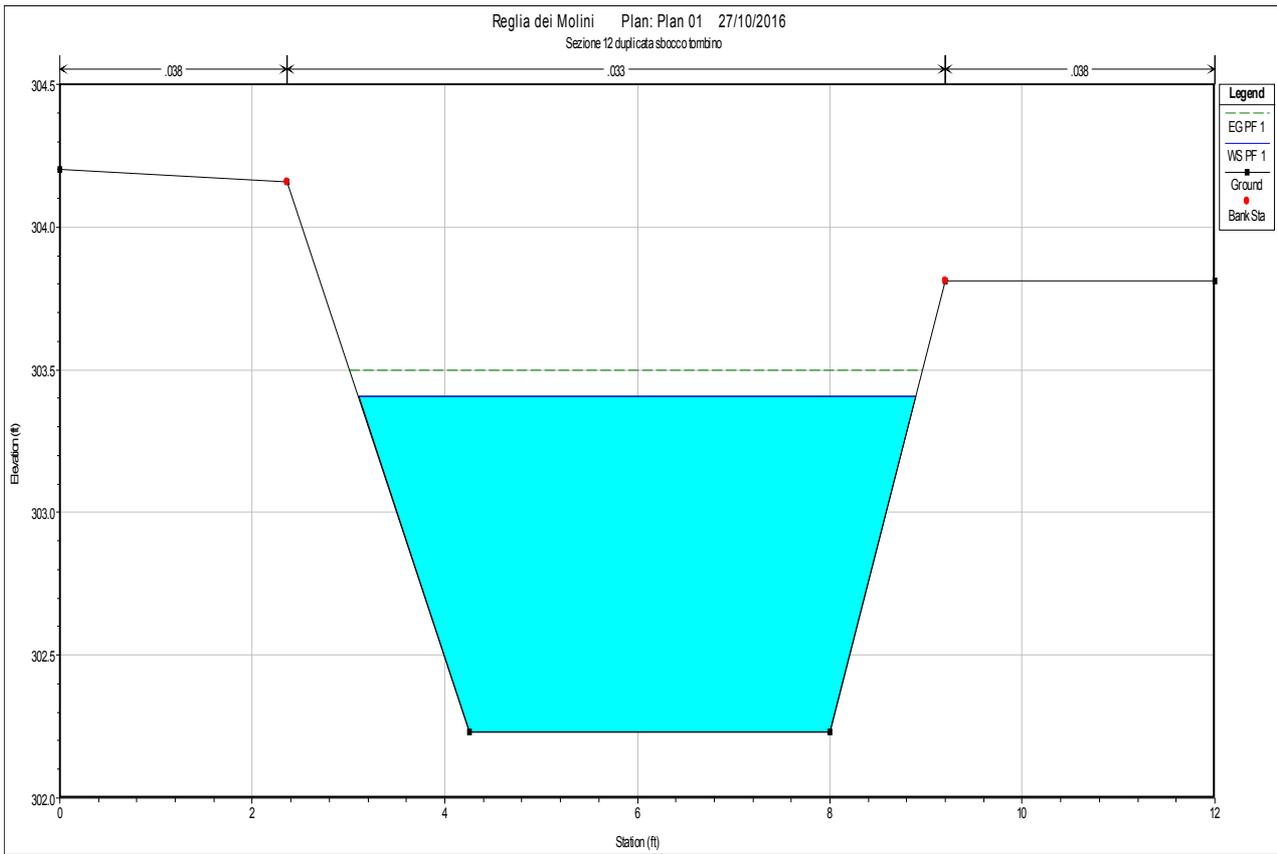


Profilo idraulico F. Reglia dei Molini









Sezioni idrauliche F. Reglia dei Molini

Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Sbocco Tevere	4	PF 1	13.60	303.25	304.55	304.24	304.75	0.011601	3.63	3.75	4.32	0.69
Sbocco Tevere	3	PF 1	13.60	302.69	303.90		304.01	0.004802	2.67	5.09	5.42	0.49
Sbocco Tevere	2	PF 1	13.60	302.48	303.58		303.72	0.006751	3.02	4.50	5.18	0.57
Sbocco Tevere	1.9	PF 1	13.60	302.38	303.50	303.08	303.60	0.004538	2.58	5.27	5.69	0.47
Sbocco Tevere	1.5		Culvert									
Sbocco Tevere	1.2	PF 1	13.60	302.23	303.41		303.50	0.003798	2.42	5.61	5.79	0.43
Sbocco Tevere	1	PF 1	13.60	301.97	303.17	302.76	303.28	0.005000	2.71	5.02	5.39	0.50

Tabella con i dati della modellazione idraulica in output tombino senza setto

Riportando le verifiche di progetto (qui in calce)

HEC-RAS Plan: TR 200 River: Fosso Reglia Mol Reach: Sbocco Tevere Profile: TR 200												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Sbocco Tevere	4	TR 200	13.60	303.25	304.55	304.24	304.75	0.011647	3.64	3.74	4.31	0.69
Sbocco Tevere	3	TR 200	13.60	302.69	303.90		304.01	0.004730	2.66	5.12	5.43	0.48
Sbocco Tevere	2	TR 200	13.60	302.48	303.61		303.74	0.006124	2.92	4.66	5.24	0.55
Sbocco Tevere	1.9	TR 200	13.60	302.38	303.54	303.08	303.63	0.004003	2.47	5.51	5.76	0.45
Sbocco Tevere	1.5		Culvert									
Sbocco Tevere	1.2	TR 200	13.60	302.23	303.41		303.50	0.003798	2.42	5.61	5.79	0.43
Sbocco Tevere	1	TR 200	13.60	301.97	303.17	302.76	303.28	0.005000	2.71	5.02	5.39	0.50

Tabella con i dati della modellazione idraulica in output tombino con setto

Si evince un miglioramento ulteriore dell'efficienza idraulica dell'opera e dunque a maggior ragione si ribadisce in questa sede che le sezioni idrografiche del fosso di progetto sono adeguate a contenere la portata di progetto pari a 13.6 m³/s. Anche l'attraversamento stradale con lo scatolare in cls risulta verificato con un adeguato franco idraulico (> 50 cm).

La nuova geometria dello scatolare è riportata in dettaglio nell'elaborato B93DA I07B SCATOLARE DI ATTRAVERSAMENTO FOSSO REGLIA DEI MULINI.

Punto 6) Adeguamento strutturale degli argini in prossimità del ponte. Si è provveduto a inserire nel progetto la costruzione di nuovi argini in prossimità delle spalle del ponte. La sommità del nuovo argine è stata fissata a quota +306,30 in modo da avere un adeguato franco (>50 cm) sia per eventi di piena con TR di 200 anni sia le portate corrispondenti alla apertura contemporanea degli scarichi di superficie e di fondo dell'invaso di Montedoglio (305,80 mslm).

I nuovi argini saranno realizzati con materiali limosi-argillosi appartenenti al gruppo A6 della classifica funzionale AASHO o UNI 10008 e compattati a strati di 30 cm. In sommità avranno una larghezza minima di 3,50 metri tranne in corrispondenza delle spalle dove si hanno inevitabili restringimenti. Lato golene seguiranno il profilo di quelli esistenti in modo da non ridurre la sezione d'alveo del fiume e saranno rivestiti con scogliere di massi di dimensione minima di 80 cm. L'argine in prossimità della spalla "A" è vincolato sul lato esterno dalla presenza della strada vicinale e del fosso di guardia che non consentono l'allargamento della sezione. Per garantire una sufficiente larghezza della sommità e l'adeguamento dell'altezza è stato necessario prevedere la realizzazione, sul lato esterno, di terre rinforzate.

Quanto descritto è riportato in dettaglio nell'elaborato B93DA I08B OPERE DI SISTEMAZIONE ARGINALE.

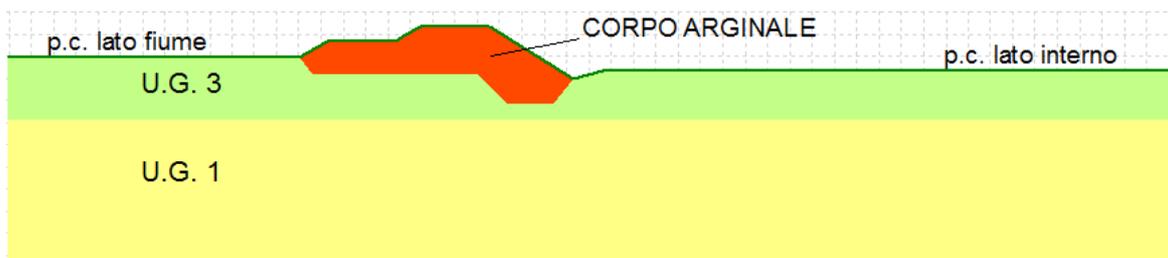
Di seguito si riportano le verifiche di filtrazione ai sensi delle NTC 2008. Verifiche più approfondite saranno prodotte nella successiva fase progettuale (progettazione esecutiva).

Verifiche al sifonamento del rilevato arginale nel tratto in progetto: A causa del dislivello piezometrico generato presso le strutture arginali, tra la quota del livello idrico della piena di progetto e il livello statico della falda acquifera, si innesca un moto di filtrazione nei mezzi porosi costituenti il terreno di fondazione e la struttura arginale stessa. Per questo motivo diventa necessario eseguire una verifica al sifonamento: le acque che si infiltrano attraverso il materiale che costituisce l'argine infatti potrebbero raggiungere la parte esterna del manufatto, asportando lungo il loro percorso singole particelle e indebolendo progressivamente la struttura dell'argine, che potrebbe quindi giungere a rottura per sifonamento. Il processo di instabilità per sifonamento è quindi governato dal movimento della falda freatica all'interno del corpo arginale e risulta perciò necessario lo studio e l'analisi del processo di filtrazione.

La verifica è stata effettuata per la sezione considerata più gravosa nei confronti del fenomeno suddetto: con riferimento alle sezioni indicate negli elaborati grafici di progetto, questa si è rivelata essere la sezione 6-6 (la più gravosa dal punto di vista delle differenze di carico idrostatico tra

monte e valle della struttura; priva inoltre di elementi potenzialmente di ostacolo al fenomeno del sifonamento, come il rilevato di protezione a tergo per la sezione 4-4 o il canale artificiale in c.a. al piede per le sezioni 1-1 e 3-3). La sezione è situata in prossimità della spalla B del ponte ed è caratterizzata da una quota della sommità arginale a 306,30 m.s.l.m. Per la simulazione e la valutazione dei processi di filtrazione è stato impiegato il modello SEEP/W della Geo-Slope, un software agli elementi finiti per l'analisi della filtrazione e delle spinte dovute alle pressioni nei mezzi porosi. La schematizzazione del problema geotecnico è stata effettuata, per la sezione verificata, secondo lo schema illustrato nella figura seguente, che prevede il corpo arginale delle dimensioni specificate negli elaborati grafici di progetto, poggiante sull'attuale stratigrafia esistente, individuabile dal profilo geologico-geotecnico:

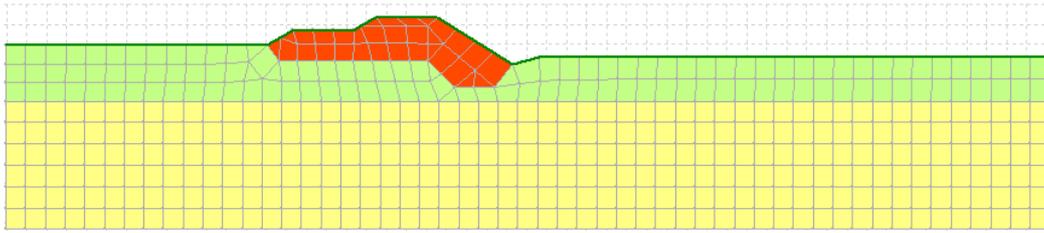
- U.G.3 – argille limose – dal p.c. a 301,46 m.s.l.m di permeabilità assunta isotropa e costante pari a $k_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ m/sec
- U.G.1 – sabbie e ghiaie – da 301,46 a 294,04 m.s.l.m. di permeabilità assunta isotropa e costante pari a $k_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ m/sec
- Le argille limose rilevate dalla campagna di indagini a quote inferiori a 294,04 m.s.l.m. vengono modellate ai fini dell'analisi in esame come un substrato completamente impermeabile, visti i valori di permeabilità di ordine minore (rispetto allo strato sovrastante) che le caratterizzano.



L'intero ammasso costituente l'argine viene considerato omogeneo ed isotropo (non assume significato per questa verifica modellare la scogliera in massi prevista a protezione del paramento lato fiume al fine di consentire una stabilizzazione adeguata del corpo arginale) di permeabilità assunta isotropa e costante pari a $k_A = 10^{-7}$ m/sec.

Il modello è limitato superiormente dal p.c. e dalla parte sommitale del rilevato, inferiormente dal substrato impermeabile, al lato interno da un piano ideale verticale sufficientemente distante (≈ 30 m) da non essere influenzato dal transito della piena di progetto in alveo, al lato fiume da un contorno ideale verticale posto a 15m dalla struttura arginale (l'estensione orizzontale della sezione risulta così sufficientemente ampia da limitare il disturbo delle condizioni al contorno sulla

soluzione nella zona di maggiore interesse). Tutti gli strati sono stati assunti perfettamente saturi anche nelle zone dove $u < 0$, per effetto della ritenzione capillare. È stata quindi impostata una mesh di calcolo bidimensionale costituita da elementi di forma quadrangolare o triangolare, in grado di fornire un'accurata soluzione numerica delle equazioni matematiche alle derivate parziali, come illustrato in figura.



L'applicazione del modello SEEP/W consente il calcolo dei campi di pressione e di moto nelle sezioni di interesse sia in regime stazionario che in regime transitorio; il fenomeno reale sarà caratterizzato dal transito dell'onda di piena di progetto ($T_r = 200$ anni) e quindi dall'instaurarsi di un moto vario. Per la verifica in esame si è eseguita, in via semplificativa ed operando a favore di sicurezza, un'analisi in regime stazionario che rappresenta una situazione cautelativa rispetto al reale andamento del fenomeno.

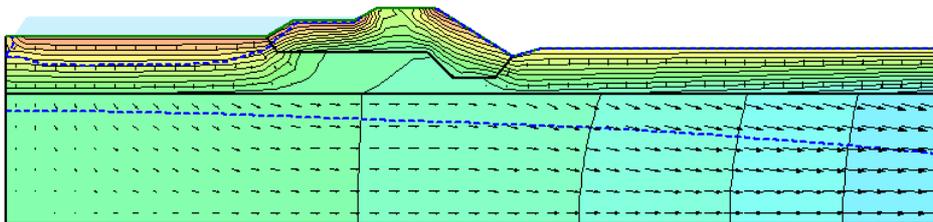
Per l'implementazione della modellazione numerica agli elementi finiti sono state quindi imposte le seguenti condizioni al contorno:

- Il limite inferiore del modello è stato considerato impermeabile
- Si può ritenere che a circa 30m dall'asse della struttura arginale le condizioni idrauliche del terreno rimangano invariate al transito in alveo della piena di progetto; perciò sul limite del modello lato interno è stato imposto un carico idraulico costante, pari al valore corrispondente alle condizioni idrostatiche per falda alla quota di 297,3 m.s.l.m.
- Immaginando che per una zona sufficientemente estesa oltre il limite del modello (lato fiume) le condizioni idrauliche e stratigrafiche non subiscano variazioni significative, il contorno del modello al lato fiume può essere supposto attraversato da portate non significative in direzione orizzontale, e quindi modellato ai fini dell'analisi come superficie impermeabile
- Al p.c. lato fiume si ha l'aumento del carico idrostatico dovuto all'aumento dei livelli del fiume Tevere, e quindi questa superficie, insieme alla parte della scarpata dell'argine al di sotto del livello di progetto, viene modellata come superficie a

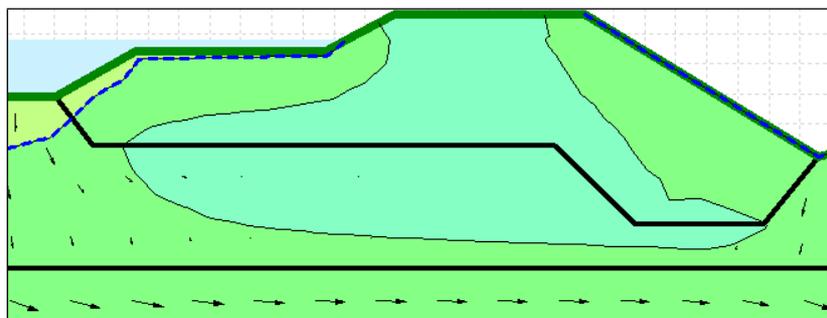
carico idraulico costante, pari al valore dovuto al livello considerato a quota 305,8 m.s.l.m.

- Sulla parte sommitale del rilevato e sulla scarpata lato fiume al di sopra del livello dell'acqua è stata imposta una ricarica (pioggia/evapotraspirazione) nulla
- La scarpata del rilevato lato monte e il p.c. lato interno sono stati trattati come zone di possibile seepage face (fontana sospesa)

È stata quindi condotta l'applicazione del modello sulla sezione di interesse che ha consentito il calcolo del campo di pressione al transito in alveo della portata di progetto.



Nella figura seguente, che rappresenta un particolare del campo di pressione risultante in corrispondenza del rilevato, è significativo guardare la linea a pressione zero (tratteggiata in blu), che rappresenta la superficie piezometrica del moto di filtrazione.



Come si vede, le ridotte conducibilità idrauliche del terreno di fondazione e del rilevato arginale fanno sì che solamente una piccola porzione dell'argine lato fiume risenta dell'aumento dei livelli nell'alveo fluviale e che la scarpata lato campagna rimanga priva di fontana sospesa.

Dai risultati delle elaborazioni in occasione della piena di progetto bisecolare appena illustrati si evince che la sezione risulta verificata in termini di stabilità al sifonamento in quanto il fenomeno non sussiste, e che quindi nelle condizioni di progetto non si avrà la comparsa di emergenze d'acqua (fontanazzi) sul paramento di valle dell'argine o sul terreno a tergo di questo.