



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

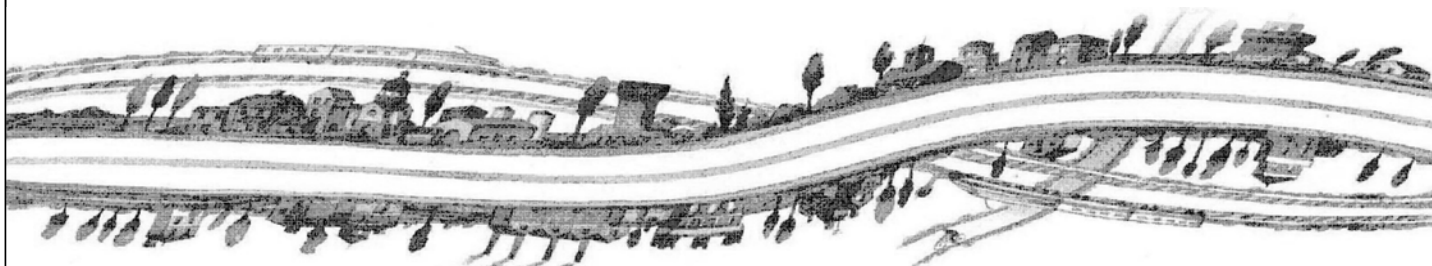
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

FIUME PANARO

RELAZIONE IDRAULICA



IL PROGETTISTA

Ing. Riccardo Telò
Albo Ing. Parma n°1099



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrade Regionale
Cispadane S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	EMISSIONE		Ing. Mammi	Ing. Telò
REV.	DATA	DESCRIZIONE		REDAZIONE	CONTROLLO
					APPROVAZIONE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.
0655	PD	0	A30	AWS12	0	WW	RI	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA: varie

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO	4
3. CRITERI GENERALI	5
3.1. Articolazione dello studio.....	5
4. L'APPLICAZIONE DEI MODELLI UTILIZZATI.....	7
4.1. Il modello per la propagazione dell'onda di piena	7
4.2. Modello di infiltrazione nel corpo arginale per evitare il sifonamento.....	10
5. AMBITO DI RIFERIMENTO.....	12
5.1. Tracciato stradale interferente con il corso d'acqua (viabilità di adduzione D08).....	12
5.2. Tracciato autostradale interferente con il corso d'acqua.....	12
6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE FIUME PANARO.....	13
6.1. Caratteristiche idrografiche.....	13
6.2. Aspetti idrologici.....	15
6.3. Caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (tendenza morfo-evolutiva del corso d'acqua).....	16
7. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO.....	21
8. VERIFICHE IDRAULICHE	23
8.1. L'opera di attraversamento autostradale	23
8.2. L'opera di attraversamento della viabilità di adduzione D08.....	23
8.3. Verifica di compatibilità idraulica stato di fatto/stati di progetto.....	24
8.3.1. Verifica del franco di sicurezza degli attraversamenti.....	24
8.3.2. Valutazione della compatibilità idraulica.....	29
8.4. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	47
8.4.1. Individuazione dei livelli idrometrici	49
8.4.2. Fasi esecutive di cantierizzazione	50
8.4.3. Risultati simulazione.....	50
8.4.4. Considerazioni conclusive.....	54
8.5. Valutazione della capacità di trasporto solido e dei fenomeni erosivi generalizzati e localizzati nel tratto interessato dalle opere	55



9. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	65
10. VERIFICA AL SIFONAMENTO E FILTRAZIONE	69
10.1. Verifica in assenza di opere di contenimento dei processi di filtrazione	77
10.2. Verifica con diaframma profondo 10 m e rivestimento paramenti arginali	79
10.3. Verifica con diaframma profondo 20 m	81
10.4. Dimensionamento diaframmi idraulici.....	84
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE PRESCRIZIONI AIPO	85

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale Cispadana, ed in particolare dell'**Asse autostradale** compreso tra il casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 e il casello di Ferrara Sud sulla A13 e della viabilità di adduzione D08 del sistema autostradale costituita dalla **Strada di collegamento Bondeno-Cento - Autostrada Cispadana**, e si propone di definire le grandezze idrauliche di riferimento e, di conseguenza, di stabilire gli interventi e gli accorgimenti da adottare, al fine di garantire la compatibilità tra le infrastrutture di attraversamento e il Fiume Panaro, corso d'acqua interferito dalle viabilità in progetto.

Questo percorso progettuale è stato coordinato e condiviso con l'Ente Gestore del corso d'acqua interessato dall'interferenza (AIPO –Agenzia Interregionale per il fiume PO) e tiene conto delle prescrizioni impartite durante la Conferenza dei Servizi sul Preliminare che si è conclusa con l'approvazione del Progetto Preliminare nel Dicembre 2011.

Il risultato finale consiste nell'aver rispettato:

- ❑ ogni singola sezione di deflusso di attraversamento per il transito di piene con TR prefissato nel rispetto della Direttiva dell'Autorità di Bacino del fiume Po e delle Leggi nazionali;
- ❑ i franchi imposti tra livelli idrometrici per piene prefissate e quote arginali,
- ❑ distanze minime dai cigli arginali;
- ❑ le opere idrauliche di protezione sotto ogni attraversamento stradale e nelle immediate vicinanze dello stesso, inteso come: difese spondali, ringrossi arginali, protezione dei paramenti arginali sia in frodo che lato campagna e soprattutto opere di diaframmatrice antisifonamento;
- ❑ la continuità e la conservazione della viabilità gestionale sia in caso di piena che di magra.

Lo studio eseguito, nonché i risultati delle modellazioni numeriche effettuate, hanno consentito di definire le caratteristiche geometriche che le infrastrutture di attraversamento devono rispettare, sia in termini di impalcato, di pile e relative fondazioni, ai fini della compatibilità con i processi idrodinamici. Sulla base delle risultanze ottenute sono state, inoltre, progettate le opere di presidio idraulico, sia di tipo attivo che passivo, necessarie alla minimizzazione delle mutue interferenze tra struttura e corso d'acqua.

Essendo entrambe riferite al Fiume Panaro, la presente relazione sarà identica alla relazione PD_0_D08_DWS10_0_WW_RI_01_A, specifica per il ponte della viabilità di adduzione Bondeno-Cento.

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le analisi idrauliche, di seguito riportate, sono state condotte rispettando gli indirizzi e le prescrizioni riportate nella normativa di riferimento nazionale, elencata nell'elaborato PD_0_000_00000_0_GE_KT_01_A Elenco delle Normative di Riferimento.

3. CRITERI GENERALI

3.1. Articolazione dello studio

Lo studio idrologico-idraulico, nel suo complesso, si è articolato nelle seguenti fasi.

Fase 1^a: Definizione di un quadro conoscitivo di riferimento morfologico e idraulico

Scopo di questa fase è di predisporre uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche del corso d'acqua nel tratto di interesse, intese quali idrogrammi di piena (livelli e portate), ricavate attraverso analisi idrologiche e processi di modellazione matematica, e le condizioni idrauliche al contorno, sia a monte che a valle, per quanto non espresso dagli eventuali dati idrometrici disponibili.

Il modello geometrico utilizzato è stato costruito per la maggior parte sulla base dei rilievi eseguiti nell'anno 1991 dall'ex Magistrato per il Po (ora A.I.Po) e quindi aggiornati al 2011, in quanto congruenti con quelli utilizzati per il PAI. Successivamente essi sono stati opportunamente integrati nell'intorno delle zone d'interesse con nuovi rilievi eseguiti nel 2012 nell'ambito del presente progetto, avendo cura di mantenere la congruità con le precedenti in termini di capisaldi topografici.

Fase 2^a: Analisi idraulica del corso d'acqua

Per il Fiume Panaro è stata condotta una precisa analisi idrologica ed idraulica, in grado di approfondire, attraverso un processo di modellazione matematica comparativa tra stato di progetto e stato attuale, le perturbazioni dell'attraversamento viario sulle dinamiche idrauliche.

I parametri idraulici e le procedure di calcolo di contesto, sono quelle ricavate da studi e ricerche condotte negli ultimi anni all'interno di progettualità e valutazioni idrodinamiche funzionali alla pianificazione territoriale e quindi hanno una valenza già affermata e validata, mentre i criteri di impostazione, e soprattutto i vincoli applicati, sono quelli contenuti nel quadro normativo di riferimento precedentemente elencato. Da quest'ultimo, ed in particolare dal PAI dell'AdBPo, si desumono anche elementi funzionali alla caratterizzazione del sistema fluviale. Tali parametri di riferimento sono affiancati da valutazioni legate all'opportunità di definire soluzioni progettuali di presidio idraulico di modesto impatto ambientale

In generale si è proceduto nella definizione di soluzioni progettuali che rispettino i contenuti di tracciato del progetto ed altresì tengano conto del rispetto della naturalità dei luoghi e delle esigenze che AIPO ha avanzato durante il continuo confronto che ha caratterizzato l'intero percorso progettuale.

Questa porzione dello studio ha compreso l'implementazione di un modello matematico di propagazione degli eventi di piena, mediante il quale sono stati calcolati i principali parametri idraulici di interesse (quali tiranti idrici e velocità medie della corrente), raggiunti nelle varie sezioni trasversali da piene aventi prefissati tempi di ritorno e considerando diverse condizioni al contorno, sia nelle condizioni attuali che nello stato di progetto. Sono stati inoltre effettuati studi relativi alla compatibilità idraulica in presenza di opere provvisorie e uno studio del processo erosivo attorno alle pile del viadotto, attraverso procedure di calcolo proposte dalla citata direttiva dell'Autorità di Bacino del fiume Po e attraverso la valutazione dei risultati ricavati dalle indagini geognostiche effettuate in corrispondenza dell'attraversamento.

Fase 3[^]: Analisi di filtrazione

Ai fini della verifica della possibile interferenza delle opere in progetto al fine di evitare collassi arginali dei rilevati anche in occasione delle sollecitazioni idrauliche più critiche, è stato implementato uno studio di filtrazione mediante modellistica numerica agli elementi finiti. Tale analisi consente, infatti, di definire il campo di velocità di filtrazione che si instaurano all'interno dei diversi tratti di rilevato e negli strati sottostanti allo stesso, permettendo di evidenziare l'insorgere di processi che possano potenzialmente condurre all'insorgere di fenomeni di sifonamento. Una volta quantificata l'interferenza idraulica con i processi di filtrazione del corpo del rilevato e dei rispettivi strati sottostanti, si è proceduto alla definizione e verifica delle misure progettuali di mitigazione delle potenziali criticità evidenziate, consistenti principalmente nel dimensionamento delle diaframature all'interno dei corpi arginali, ai fini di garantire la stabilità e la tenuta del presidio idraulico.

Fase 4[^]: Progettazione delle opere di presidio idraulico

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche e di filtrazione si è, quindi, proceduto alla definizione delle opere di presidio idraulico necessarie a garantire sia l'efficienza idraulica delle strutture in progetto, che la compatibilità delle stesse con le dinamiche del corso d'acqua. Sono stati, inoltre, definiti gli accorgimenti e gli interventi necessari al corretto superamento degli argini, oltre che alla risoluzione delle interferenze con gli ulteriori elementi idraulici presenti. Per il progetto delle difese attive sono state privilegiate soluzioni di ingegneria naturalistica a basso impatto ambientale, condivise con gli Enti preposti al governo del territorio.

4. L'APPLICAZIONE DEI MODELLI UTILIZZATI

4.1. Il modello per la propagazione dell'onda di piena

Per il Fiume Panaro è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale in moto vario e permanente. La ricostruzione in formato digitale delle morfologie dell'alveo, delle arginature e delle aree limitrofe si è basata sui dati geometrici messi a disposizione da AIPO ed eseguiti nel 1991 e 2011 oltre a quelli rilevati nel 2012 direttamente per l'esecuzione dell'infrastruttura in progetto.

Il confronto tra le dinamiche idrauliche nello stato di fatto ed in quello di progetto, che prevede la realizzazione del tracciato stradale e delle relative opere accessorie, ha consentito di evidenziare sia il funzionamento attuale del corso d'acqua, sia l'influenza apportata dall'infrastruttura in esame. Tali influenze si riconducono soprattutto ad alterazioni dei profili di rigurgito e di velocità della corrente, mentre dall'analisi modellistiche nello stato di fatto si desumono i vincoli geometrici che l'opera di attraversamento deve rispettare, in termini di quota dell'intradosso e di numero e posizione di pile e spalle del viadotto.

Il modello adottato per le simulazioni matematiche effettuate, integra numericamente le equazioni differenziali del moto vario per correnti monodimensionali gradualmente variate. L'ipotesi di monodimensionalità è ampiamente giustificata nella grande maggioranza dei tratti dei corsi analoghi a quelli in esame; essa risulta poco corretta solo in corrispondenza di brusche variazioni nella geometria della sezione liquida trasversale, ma in tali circostanze il raffittimento del rilievo geometrico limita le possibili fonti di imprecisione.

Il modello utilizzato, è *HEC-RAS River Analysis System*, elaborato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers degli U.S.A.* (versione 4.1.0).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni della portata, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica di portata nota, per effetto della capacità di laminazione naturale dell'alveo, della sua resistenza d'attrito, della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

veloce o mista. Il programma, è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,
- Z_1, Z_2 quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,
- V_1, V_2 velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,
- α_1, α_2 coefficienti di velocità,
- h_e perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left(\alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2,
- S_f pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2,
- C coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito S_f è valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q|Q| / (A^2 R^{4/3})$$

dove n è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche $n=1/c$ con c di Gauckler-Strickler) ed R è il raggio idraulico.

L'equazione differenziale del moto viene integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che vengono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

La procedura di calcolo per la determinazione del profilo idraulico per portata assegnata, richiede i seguenti dati:

- descrizione completa del tronco fluviale, costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni di rilievo trasversali e relativo loro posizionamento plano-altimetrico;
- descrizione geometrica di opere trasversali (ponti e relativi rilevati di accesso, tombini scatoari, traverse fluviali, soglie di fondo, briglie etc.) e/o longitudinali in alveo;
- caratterizzazione della resistenza al moto in alveo e golene mediante la definizione del coefficiente di scabrezza di Manning;
- definizione dei coefficienti di contrazione/espansione, per effetto di perturbazioni offerte al moto da parte di opere trasversali presenti in alveo;
- definizione del tipo di moto (corrente lenta o veloce) nel tronco fluviale;
- condizione al contorno di partenza del calcolo del profilo secondo tre possibili metodologie:
- introduzione di una altezza d'acqua nota di valle o di monte, a seconda che il moto avvenga in corrente lenta o veloce,
- calcolo eseguito a partire dall'altezza critica,
- calcolo eseguito a partire dalla pendenza di fondo alveo.

Il calcolo del rigurgito prodotto dalle pile del ponte viene eseguito secondo diversi metodi :

- Equazione di Yarnell;
- Metodo di conservazione della quantità di moto.

4.2. Modello di infiltrazione nel corpo arginale per evitare il sifonamento

Al fine dell'impostazione della modellazione geotecnica in oggetto, ci si è riferiti all'insieme di prove geologiche e geotecniche effettuate lungo le varie fasi progettuali, con particolare riferimento alle indagini svolte proprio nel corso della presente progettazione e riportate negli specifici elaborati.

In particolare, le indicazioni fondamentali sono state ricavate dalle stratigrafie e dai livelli di falda risultanti dalle indagini in situ e dalle caratteristiche geotecniche dei diversi materiali evidenziate dalle prove di laboratorio.

Per effettuare le simulazioni 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, sia in condizioni sature che insature, in modalità permanente o, come nel presente caso, variabili nel tempo: in aggiunta alle tradizionali analisi in moto uniforme in campo saturo le formule che SEEP/W utilizza rendono possibile analizzare la filtrazione come funzione del tempo e studiare problemi come quello dell'infiltrazione delle precipitazioni, dei processi di riempimento e svuotamento di bacini di invaso o, come nel caso in esame, del transito di un onda di piena all'interno di un corso d'acqua e delle aree golenali adiacenti.

Il codice di calcolo è formulato basandosi sulla classica equazione di flusso all'interno di mezzi saturi e insaturi secondo la legge di Darcy, secondo la quale:

$$q = ki$$

dove

q è la portata specifica;

k è la conducibilità idraulica;

i è il gradiente del carico idraulico totale.

L'equazione differenziale che governa il moto di filtrazione di natura bidimensionale può essere espresso come:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

dove

H è il carico idraulico totale;

k_x è la conducibilità idraulica nella direzione orizzontale;

k_y è la conducibilità idraulica nella direzione verticale;

Q è la condizione di flusso al contorno;

θ è il contenuto volumetrico d'acqua;

t è il tempo.

L'analisi è stata effettuata in regime transitorio, in modo da poter osservare gli incrementi nel tempo delle diverse grandezze caratteristiche del moto di filtrazione e di poter definire il flusso sotterraneo in condizioni di transito dinamico dell'onda di piena.

5. AMBITO DI RIFERIMENTO

5.1. Tracciato stradale interferente con il corso d'acqua (viabilità di adduzione D08)

Il tracciato stradale relativo alla viabilità di adduzione al sistema autostradale D08 (Raccordo Bondeno-Cento – Autostrada Cispadana) si colloca in provincia di Ferrara all'interno del territorio del Comune di Bondeno e si propone di realizzare un nuovo collegamento fra il Comune di Bondeno e l'autostazione di Cento.

Il nuovo itinerario presenta giacitura prevalente sud-nord e i capisaldi risultano individuati dalle rotatorie DCS07-G sulla SP.9 e DCS08-D sulla SP.18.

All'interno del tracciato di lunghezza 6,2 Km, vengono realizzate n. 4 rotatorie in corrispondenza delle intersezioni con le vie per Scortichino, SP.69, via Bassa e SP.18 e n. 4 ponti in scavalco del fiume Panaro, del Cavo Porretto, del Canale Collettore di Burana e del Cavo Rondone Primo.

5.2. Tracciato autostradale interferente con il corso d'acqua

Il tracciato autostradale in progetto si diparte dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 "Autostrada del Brennero" e termina al casello di Ferrara Sud sulla A13 "Autostrada Bologna-Padova". Si tratta di una strada di categoria A in ambito extraurbano a 2+2 corsie di marcia.

L'area entro cui si sviluppa il corridoio autostradale di progetto ricade interamente nel bacino idrografico del fiume Po, è tuttavia presente lo Scolmatore del Fiume Reno che appartiene al bacino idrografico del fiume Reno.

Lo studio idrologico ed idraulico generale, all'interno del quale ricade la specifica analisi del Fiume Panaro, è stato differenziato per sistemi idrografici e per ambiti territoriali al fine di inquadrare il territorio interessato non tanto sotto il profilo del corridoio autostradale bensì sotto il profilo delle sue caratteristiche idrografiche e quindi con riferimento all'entità prevalente del bacino idrografico di riferimento.

Il sistema di riferimento è quindi organizzato in due classi prevalenti:

- corsi d'acqua naturali: fiume Secchia e fiume Panaro;
- corsi d'acqua artificiali: sistema dei canali di bonifica, principali e secondari.

6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE FIUME PANARO

Il Fiume Panaro è un corso d'acqua naturale di competenza gestionale dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po che viene attraversato dall'opera autostradale circa 5 chilometri a monte dell'abitato di Finale Emilia, in Provincia di Modena tra le progressive Pk. 34+769.18 e Pk. 34+955.18. Le progressive sono riferite all'asse di tracciamento stradale.

Il Panaro viene attraversato anche dalla viabilità di adduzione al sistema autostradale D08 (Raccordo Bondeno-Cento – Autostrada Cispadana) circa 2.5 chilometri a monte dell'abitato di Bondeno, in Provincia di Ferrara, tra le progressive Pk 0+727.18 e Pk 0+917.18.

6.1. Caratteristiche idrografiche

Il bacino del fiume Panaro occupa buona parte del territorio della Provincia di Modena, parte di quello della Provincia di Bologna e, limitatamente, le Province di Pistoia (Abetone), Ferrara (Bondeno) e Mantova (Oltrepò mantovano).

Il bacino ha una superficie complessiva di 1.775 km² (2,5% circa della superficie complessiva del bacino del Po), il cui 45% ricade in ambito montano.

È delimitato a sud-ovest dal crinale appenninico tosco-emiliano e si estende con andamento sud-ovest — nord-est fino all'asse della pianura padana rappresentato dal fiume Po.

Il Panaro nasce dal Monte Cimone (2.165 m s.m.) e confluisce nel Po, presso Bondeno, dopo aver percorso circa 165 km; prende il nome di Panaro a valle di Montespecchio dopo la confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna, che costituiscono la parte alta del reticolo idrografico, prendendo origine dal crinale appenninico, alle quote di 1.500-1.700 m s.m. e confluendo alla quota di circa 300 m s.m. per formare l'asta principale.

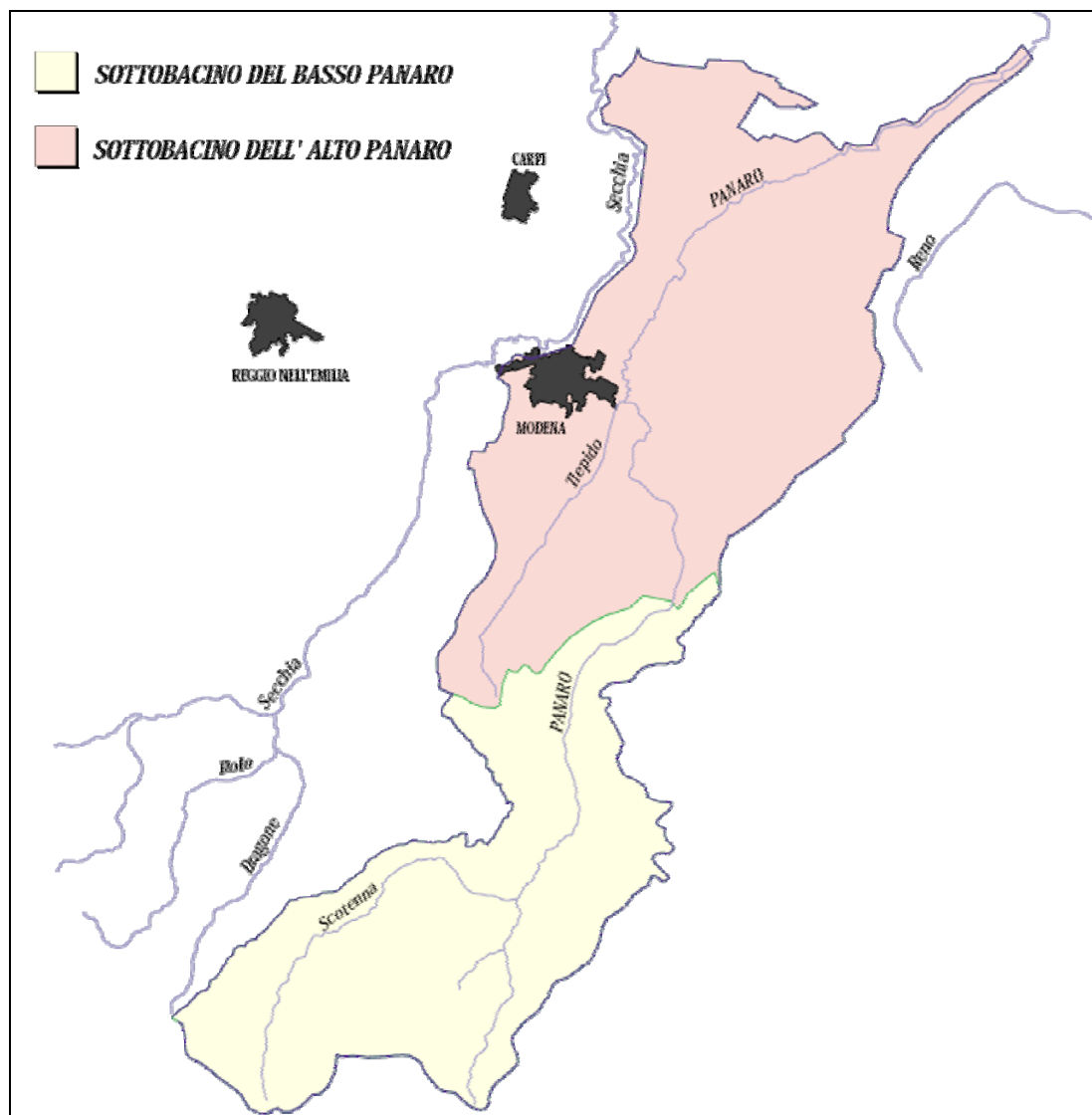


FIGURA 6-1: BACINO IMBRIFERO DEL FIUME PANARO

Dalla confluenza dei torrenti Leo-Scoltenna a Marano il corso d'acqua scorre in una valle ampia con andamento generalmente sinuoso ricevendo numerosi affluenti; in particolare in sinistra il torrente Lerna e il rio Torto, in destra i rii S. Martino e Missano. Da Marano alla Via Emilia, il corso d'acqua scorre nell'alta pianura con andamento meandriforme e struttura pluricursale; gli affluenti più importanti sono tutti di sinistra, con bacini di piccole dimensioni. Fra i più importanti si citano il torrente Trepido e il Canale Naviglio. Lasciata l'alta pianura, il Panaro si dirige verso nord, attraversando la pianura alluvionale, costituita da depositi di origine fluviale, e si immette nel Po. Le sorgenti del torrente Trepido sono situate sulle pendici dei monti Cornazzano, Ravaglia, Pizzicano, Monfestino e Serramazzone. Il corso d'acqua ha andamento pressoché rettilineo in direzione sud-ovest — nord-est e presenta un alveo di larghezza modesta, compatibile peraltro con il suo regime di deflusso. Dopo aver percorso circa 35 km si immette in Panaro, in sinistra orografica. In

corrispondenza della confluenza il suo bacino imbrifero ha superficie di circa 107 km².

Il reticolo idrografico del bacino del Panaro mostra uno scarso grado di gerarchizzazione, a indicare uno stato in piena evoluzione, testimoniato dall'elevato numero di fenomeni di dinamica torrentizia in atto. Nel tratto di pianura il corso d'acqua principale scorre all'interno di arginature continue con lunghi tratti rettilinei intervallati da tratti a meandri. La tipologia è condizionata dalle arginature, ma soprattutto dal bacino idrografico montano, con formazioni prevalentemente argillose e depositi sciolti, cioè da litotipi facilmente erodibili.

6.2. Aspetti idrologici

I bacini del massiccio centrale appenninico, di esposizione sud-ovest — nordest, sono caratterizzati da rilievi non molto elevati, in genere a quota tra i 1.000 e 2.000 m s.l.m.; il regime pluviale è contraddistinto da elevata piovosità solo nelle zone prossime al crinale, dovuta alla particolare intensità dei fronti, che per ragioni orografiche e per la vicinanza del mar Ligure tendono ad amplificare la loro azione; nella parte collinare e di pianura la piovosità è invece modesta. L'influenza delle precipitazioni nevose è trascurabile a causa della modesta altitudine del territorio. Eventi meteorici intensi sono possibili in tutte le stagioni anche se il periodo compreso tra settembre e novembre è quello con la massima incidenza di eventi gravosi.

Il bacino è essenzialmente impermeabile e di conseguenza dà luogo a fenomeni di deflusso superficiale che sono poco influenzati da effetti di trattenuta delle acque ascrivibili all'infiltrazione e al funzionamento del substrato roccioso quale serbatoio freatico. Nel bacino idrografico le precipitazioni medie variano da 700 mm/anno a oltre 2.000 mm/anno.

Nel bacino idrografico del Panaro le stazioni di misura per le quali sono disponibili valori storici delle portate di piena sono elencate nella tabella seguente:

SEZIONE	SUPERFICIE km ²	Hmedia m s.l.m.	Hmin m s.l.m.	Qmax m ³ /s	DATA
Scoltenna a Ponte Prugneto	241	1.133	410	600	17/11/1940
Panaro a Ponte Samone	589	824	215	1.380	17/11/1940
Panaro a Bomporto	1.036	662	18	646	26/10/1940

TABELLA 6-1 - VALORI DELLE PORTATE DI PIENA STORICHE NEL BACINO DEL F. PANARO

L'evento di maggiore intensità qui riportato che ha colpito il bacino del Panaro è quello del settembre del 1973. La portata al colmo misurata a Spilamberto fu di 1.400 m³/s. Tale evento produsse vasti allagamenti,

conseguenti a 5 rotte arginali a nord di Modena e tra la Via Emilia e Bomporto, per una lunghezza complessiva di traccimazione di 8,35 km (di cui 4,60 in destra e 3,75 in sinistra); in particolare furono allagati il quartiere di Modena Est, gli abitati di Bomporto e Bastiglia e circa 6.000 ha di terreni coltivati.

6.3. Caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (tendenza morfologica evolutiva del corso d'acqua)

L'intero reticolo idrografico del bacino del Panaro è caratterizzato da trasporto solido particolarmente intenso, che concorre a modificare l'assetto morfologico di parti significative dei corsi d'acqua.

Nello specifico, la caratterizzazione del bacino in rapporto al trasporto solido nell'asta principale è definita dai seguenti elementi:

- la quantità di sedimenti mediamente prodotta dal bacino montano in funzione delle specifiche caratteristiche geologico-geomorfologiche e climatiche;
- la capacità media di trasporto solido dell'asta principale in funzione delle caratteristiche idrologiche, geometriche, granulometriche del materiale d'alveo e idrauliche.

Per il primo punto si fa riferimento alla formulazione teorico-sperimentale di Gavrilovich, per il secondo parametro il valore medio annuo è stato stimato impiegando la formulazione di Engelund-Hansen.

Le Tab. 34.2 e Tab. 34.3 del PAI rappresentano i dati numerici relativi alla quantità di sedimento media prodotta dal bacino montano e alla capacità di trasporto dell'asta principale.

Superficie	Quota media	Precipitaz. med. annua	Trasporto solido	Erosione specifica
km ²	m s.m.	mm	10 ³ m ³ /anno	mm/anno
832	450	1222	115.9	0.14

TABELLA 6-2: CARATTERISTICHE DEL TRASPORTO SOLIDO DEL BACINO MONTANO

Rispetto a un valore totale di produzione del trasporto solido a scala di intero bacino montano del Po, pari a 3.35 milioni di m³/anno, il trasporto solido prodotto rappresenta il 3.46%, a fronte di un 2.93% di estensione territoriale; nel complesso quindi il bacino si colloca su valori medio-alti di erosione, come per altro illustrato dal valore di erosione specifica rispetto al valore medio a scala di intero bacino pari a 0.12 mm/anno.

Capacità di trasporto al fondo	Capacità di trasporto in sospensione	Capacità di trasporto totale
10 ³ m ³ /anno	10 ³ m ³ /anno	10 ³ m ³ /anno
82.8	71.2	154.0

TABELLA 6-3: CARATTERISTICHE DEL TRASPORTO SOLIDO DELL'ASTA FLUVIALE DEL F. PANARO

Il confronto tra la capacità di trasporto solido dell'asta e il volume di materiale solido prodotto dal bacino montano permette di valutare, pur nell'approssimazione dei valori medi utilizzati e della scala di dettaglio delle valutazioni stesse, la tendenza al deposito ovvero all'erosione.

La caratterizzazione dell'assetto morfologico del corso d'acqua può essere suddivisa come segue.

Nel *tratto medio-alto, dalla confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna a Marano*, il corso d'acqua è caratterizzato da pendenze di fondo molto elevate, andamento generalmente sinuoso e struttura monocursale.

Tra *Marano sul Panaro e Spilamberto* l'alveo mantiene la tendenza a ramificare; il letto ramificato preesistente è stato generalmente reinciso e la sua larghezza risulta sensibilmente ridotta, con una evidente tendenza all'erosione di fondo; a valle dei ponti con fondazioni in alveo (di Marano, ponte di Vignola, di Savignano - "Doccia", di Spilamberto) sono presenti soglie o briglie, a contenimento dell'abbassamento di fondo, tali opere, risalenti agli anni 70-80, sono state, nel corso degli anni successivi oggetto spesso di interventi consolidamento con sottofondazione e realizzazione di ulteriori salti al fine di evitarne il crollo per scalzamento al piede e/o sifonamento.

Tra *Spilamberto e S. Ambrogio* l'alveo ha subito un marcato restringimento, per progressiva tendenza alla canalizzazione. In particolare tra Spilamberto e il viadotto dell'A1 la larghezza si riduce generalmente di oltre il 50-60%, mentre il fenomeno è meno significativo più a valle.

Tra *S. Ambrogio e Navicello* l'alveo ha subito trasformazioni idrografiche rilevanti soprattutto nella parte medio-alta del tronco, con sensibile riduzione della lunghezza per taglio dei meandri, abbassamento del profilo di fondo e fenomeni di erosione spondale in atto.

Nel tratto in esame, situato *tra Navicello e la foce* l'alveo è caratterizzato da un andamento prevalentemente rettilineo con curvature poco accentuate; localmente si osserva una marcata sinuosità. La larghezza è pressoché costante per effetto dell'elevato grado di artificializzazione dell'alveo stesso, costretto tra arginature continue generalmente in frodo, con tracciato planimetrico sostanzialmente stabile; solamente nel tratto terminale, dove le arginature risultano maggiormente distanziate, il corso d'acqua è interessato attualmente da apprezzabili fenomeni di erosione spondale e ha subito un lieve incremento di sinuosità con accentuazione della curvatura di alcune anse.

Il tratto medio-alto dell'asta del Panaro è interessato in modo discontinuo da una intensa erosione, estesa spesso ad entrambe le sponde, attiva soprattutto a valle di opere di difesa trasversali, dove è associata a fenomeni di abbassamento del fondo alveo.

Nel tratto di alta pianura l'erosione è meno marcata e si sviluppa soprattutto sotto forma di scalzamento al piede delle scarpate, causandone spesso il franamento; i tronchi maggiormente interessati sono in prossimità di Spilamberto e S. Cesario sul Panaro.

Nel tratto terminale dell'asta, l'erosione spondale diventa puntuale e sporadica, di intensità contenuta; i tronchi maggiormente interessati sono limitati alle zone in prossimità di Bomporto e a sud della zona industriale di Canaletto.

La parte montana e di alta pianura del Panaro, fino a monte della via Emilia, è caratterizzata da una marcata tendenza all'erosione di fondo con significativi abbassamenti; in particolare da Marano a Vignola l'abbassamento recente è dell'ordine 1,5 m, mentre da Vignola alla via Emilia la tendenza all'erosione risulta più accentuata con valori massimi generalizzati fino ad oltre 3 m e valori di punta, in corrispondenza di opere puntuali di 8-10 m. Il fenomeno è accompagnato da un restringimento della sezione dell'alveo in tutto il tratto, con conseguente stabilizzazione delle barre longitudinali.

La restante parte di asta fluviale fino alla confluenza in Po, mostra una generale moderata tendenza al ripascimento; fenomeni di lieve abbassamento del fondo sono individuabili unicamente nel tratto prossimo al confine provinciale tra Modena e Bologna.

Nel tratto oggetto di intervento il corso d'acqua ha andamento debolmente meandriforme e si sviluppa tendenzialmente da S-O verso N-E, con una brusca deviazione verso N proprio in prossimità dell'attraversamento. La struttura d'alveo nel tratto d'interesse è ovunque unicursale, con limitate golene laterali idraulicamente attive solo in occasione di portate significative e ben delimitate da arginature quasi ovunque parallele.

Le arginature presentano nella zona elevazione e sagoma in generale commisurate alla intensità e durata degli eventi di piena.

Per quanto attiene alla stabilità morfologica nel tratto in esame, l'erosione di sponda interessa attualmente diversi tratti e con particolare intensità le curve in battuta, estese risultano le difese radenti in pietrame, in alcuni casi rinforzate anche con diversi sistemi di sostegno (palancolate) nei tratti più cementati delle arginature che, anche in ragione delle limitate aree golenali, spesso risultano vicine alla posizione di "froido".

A differenza dei tratti montani (e probabilmente anche a causa della portata solida ivi originata) il tratto si presenta sostanzialmente in equilibrio rispetto all'erosione di fondo.

Oltre alle già citate arginature continue si rilevano opere di difesa in pietrame, a volte accompagnate da

opere di sostegno infisse (palancoate), in corrispondenza di curve in battuta e froldi arginali.

Avendo constatato che il tratto oggetto di analisi è caratterizzato da moderata lunghezza ed estensione, e specialmente 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).

La soluzione in moto stazionario, rispetto ad una analisi in termini di colmo di piena fornita da un'analisi in moto vario, fornisce condizioni di verifica sensibilmente più cautelative e specialmente in corrispondenza dei manufatti di attraversamento, consente di impostare un confronto corretto tra diverse formulazioni per la stima delle perdite di carico.

Si tenga presente che in relazione alla formazione del fenomeno del cappio di piena nelle simulazioni in moto vario non si ha mai concomitanza tra livelli massimi e portate massime, condizione di verifica cautelativa che è invece garantita dalla semplificazione del moto stazionario.

Il modello geometrico utilizzato è stato costruito per la maggior parte sulla base dei rilievi eseguiti nell'anno 1991 dal Magistrato per il Po (ora A.I.Po), in quanto congruenti con quelle utilizzate per il PAI, opportunamente integrate nell'intorno della zona d'interesse con nuovi rilievi eseguiti avendo cura di mantenere la congruità con le precedenti in termini di capisaldi topografici.

Esso è costituito da 93 sezioni trasversali d'alveo, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo attivo e quello golenale, per un'estensione che va dalla foce in Po alla confluenza Naviglio nell'abitato di Bomporto (vedi Figura 6-2).

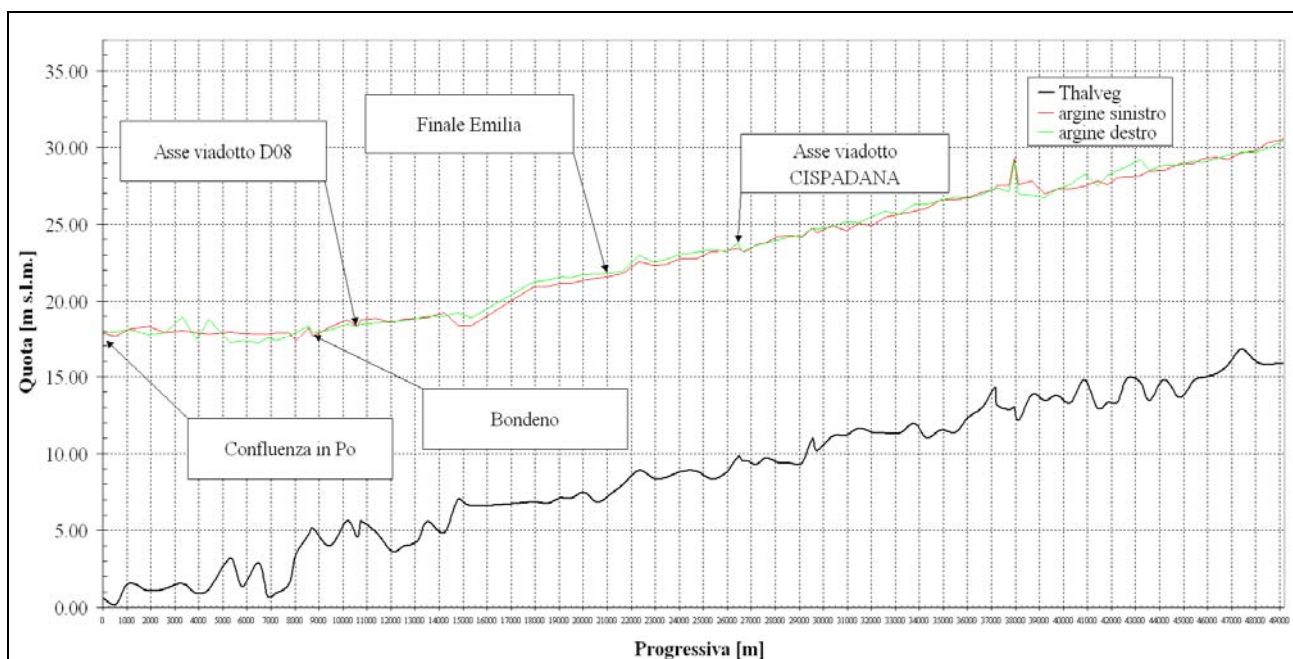


FIGURA 6-2: ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DEI PRESIDI ARGINALI NEL TRATTO DI FIUME CONSIDERATO

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

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche morfologiche e geometriche quali il grado di sinuosità del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali e nelle aree golenali.

Sulla base dei sopralluoghi effettuati, dei riferimenti bibliografici che si riconducono ai principali studi in materia si sono quindi assunti valori opportuni della scabrezza in funzione non solo della copertura vegetale ma anche del tipo e granulometria del materiale presente in alveo.

È stata quindi svolta un'operazione di taratura sui coefficienti di scabrezza in modo da riprodurre, almeno nell'intorno dell'attraversamento in esame (ed in assenza di quest'ultimo) le medesime condizioni di livello riportate nel P.A.I.

Indicazioni presenti in letteratura sono state tratte dalla pubblicazione "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959, Macgraw-Hill, Singapore e da "Meccanica dei fluidi", Marchi - Rubatta.

I valori provenienti dalla modellizzazione idraulica sono stati ottenuti, assumendo un coefficiente di Strickler di $26 \text{ m/s}^{1/3}$ per l'alveo inciso e $22 \text{ m/s}^{1/3}$ per le golene.

7. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La portata di piena di progetto (a tempo di ritorno 200 anni), rispetto alla quale effettuare la verifica idraulica dell'attraversamento in progetto e dei suoi effetti in termini di profilo idrometrico è stata effettuata dapprima facendo riferimento ai valori indicati dall'Autorità di bacino nella "Direttiva piena di progetto", da assumere per le progettazioni e verifiche di compatibilità idraulica. La Tabella 7-1 propone le portate di riferimento per diverse sezioni lungo il corso del fiume.

TABELLA 7-1: VALORI DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO LUNGO L'ASTA DEL F. PANARO

SEZIONE	COD.	PROGR. (km)	SUPERFICIE BACINO SOTTESO (km ²)	Q20 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Marano sul Panaro	175	84.029	696	960	1180	1380	1550
San Cesario	136	104.273	759	1030	1270	1480	1660
Saliceto Panaro	117	113.283	1043	780	880	940	-
Confl. in Po	3	174.940	1070	780	880	940	-

Anche nel caso del F. Panaro, dai valori indicati risulta evidente come, a valle dell'abitato di S. Cesario, l'assetto idraulico del corso d'acqua sia condizionato dalla presenza della cassa di espansione realizzata a valle dell'autostrada A1

Tale opera è stata oggetto di lavori di ampliamento, e risulta ora sufficiente a garantire, per il tratto d'alveo di interesse ai fini del presente studio, un franco arginale ampiamente sufficiente anche in occasione di un evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Le simulazioni sono state condotte secondo una schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto permanente trascurando quindi (a favore di sicurezza) gli eventuali effetti di laminazione lungo lo sviluppo del corso d'acqua; tale schematizzazione di funzionamento idrodinamico è stata scelta cautelativamente in ragione della limitata estensione del tratto.

Le condizioni al contorno di calcolo in condizioni di piena sono le seguenti:

- altezza di valle di partenza del calcolo idraulico: m 16,18 s.l.m.
livello idrico noto, congruente con il valore corrispondente al livello di piena Tr200 del Fiume Po alla sez. 13 (come risultante dalla Tab. 33 della medesima Direttiva Piena di Progetto), che risulta superiore di soli 2 cm rispetto a quello della presente simulazione.

- portata in ingresso a monte pari a $Q_{200}=940 \text{ m}^3/\text{s}$.

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

- configurazione attuale in assenza del nuovo attraversamento (stato di fatto);
- configurazione con la presenza del nuovo attraversamento autostradale (stato di progetto 1);
- configurazione con la presenza, oltre del viadotto autostradale, anche dell' attraversamento relativo alla viabilità di adduzione D08 (stato di progetto 2);
- configurazione con la presenza dei nuovi attraversamenti, intasati da materiale fluitante intorno alle pile (stato di progetto 3).

8. VERIFICHE IDRAULICHE

Il Fiume Panaro viene attraversato sia dall'opera autostradale circa 5 chilometri a monte dell'abitato di Finale Emilia, in Provincia di Modena, sia dalla viabilità di adduzione al sistema autostradale D08 (Raccordo Bondeno-Cento – Autostrada Cispadana) circa 2.5 chilometri a monte dell'abitato di Bondeno, in Provincia di Ferrara.

Lo studio idraulico, finalizzato alla determinazione della quota di intradosso dell'impalcato, verifica anche l'adeguatezza idraulica complessiva dell'attraversamento viario in stretta osservanza della Direttiva 4/99 emanata dall'Autorità di Bacino del fiume Po: "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" e delle le altre normative nazionali (rif. Cap 2)

8.1. L'opera di attraversamento autostradale

Il viadotto autostradale in progetto è un ponte costituito da 3 campate con luci di calcolo, misurate in asse tracciato stradale, pari rispettivamente a 58 m, 70 m e 58 m, per una lunghezza totale di 186 m (misurata da asse appoggi delle spalle, vedi elaborato PD_0_A30_AWS12_0_WW_PZ_02_A).

L'opera è costituita da due carreggiate separate, ospitanti ciascuna due corsie di marcia (Fase 1). Ogni carreggiata è già predisposta inoltre per garantire, in Fase 2, l'allargamento alla terza corsia di marcia su ciascuna carreggiata; i due impalcati sono previsti ad una distanza pari a 1.20 m.

Le pile P1 e P2 interessano l'alveo di piena e sono poste in posizione golenale. L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione della livelletta stradale, è stato imposto ad una quota pari a 24.14 m s.l.m.

8.2. L'opera di attraversamento della viabilità di adduzione D08

Il viadotto relativo alla viabilità di adduzione Bondeno-Cento è posto circa 16 km a valle del viadotto autostradale. Si tratta di un ponte in acciaio-calcestruzzo costituito da tre campate di luci rispettivamente di 56 ml, 78 ml, 56 ml. La luce totale risulta quindi pari a 190.00 ml. L'opera è costituita da un'unica carreggiata e le pile P1 e P2 sono poste in posizione golenale (vedi elaborato PD_0_D08_DWS10_0_WW_PZ_02_A).

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche ed in funzione della livelletta stradale, è stato imposto ad una quota variabile tra 19.83 e 19.97 m s.l.m.

8.3. Verifica di compatibilità idraulica stato di fatto/stati di progetto

La verifica idraulica consiste nella determinazione delle principali caratteristiche con cui si propagano le onde di piena secondo la rispettiva descrizione geometrica dell'alveo, sia nello stato di fatto che in quelli di progetto.

Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, risultano rilevate le velocità medie della corrente nei singoli tratti dell'alveo sia in condizioni di alveo attuale che di progetto.

8.3.1. Verifica del franco di sicurezza degli attraversamenti

Stato di fatto – Attraversamento autostradale

La sommità delle arginature in prossimità del nuovo attraversamento si attesta mediamente a quota 23.20 m s.l.m. sia in sponda destra che sinistra; nella sezione immediatamente a monte del ponte in progetto il livello per la piena bicentenaria nella configurazione attuale è a quota 21.30 m s.l.m., ne risulta pertanto che le arginature contengono la piena di progetto con un franco di poco inferiore ai 2 m.

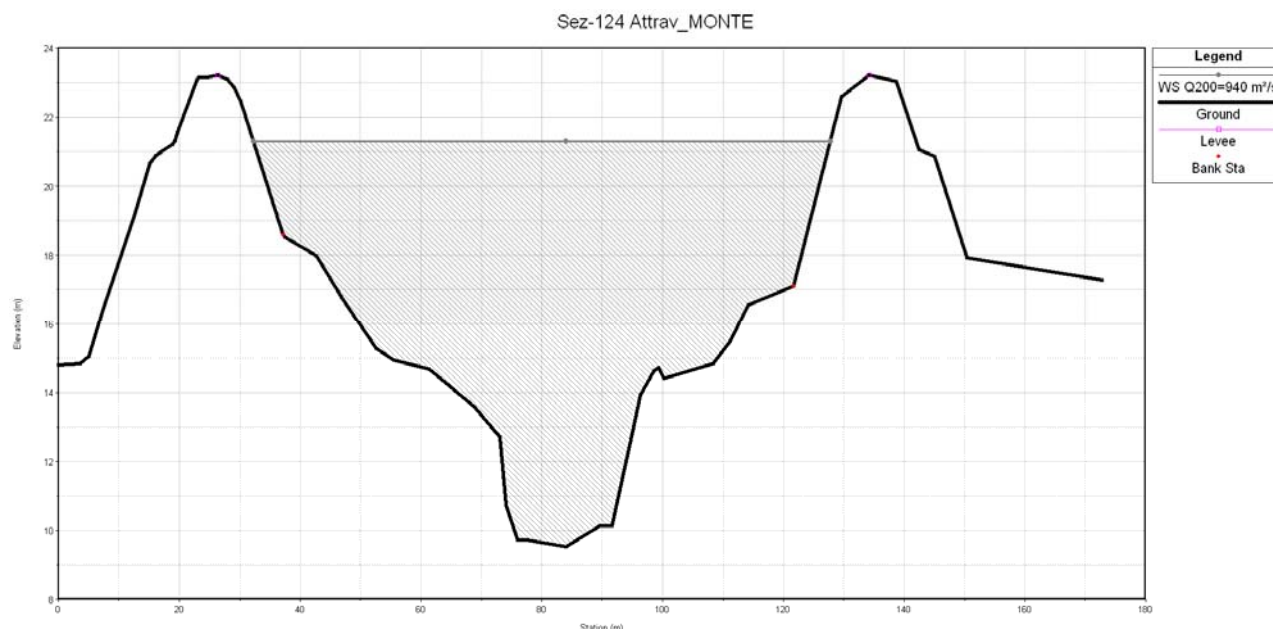


FIGURA 8-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA Q200 DEL F. PANARO ALLA SEZIONE TRASVERSALE A MONTE DELL'ASSE DEL VIADOTTO AUTOSTRADALE NELLO STATO DI FATTO

Stato di fatto – Attraversamento viabilità D08

La sommità delle arginature in prossimità del nuovo attraversamento stradale si attesta mediamente a quota 18.50 m s.l.m. in sponda destra mentre a quota 18.70 m s.l.m. in sponda sinistra; nella sezione immediatamente a monte del ponte in progetto il livello per la piena bicentenaria nella configurazione attuale è a quota 17.62 m s.l.m., ne risulta pertanto che le arginature contengono la piena di progetto con un franco di circa 1 m.

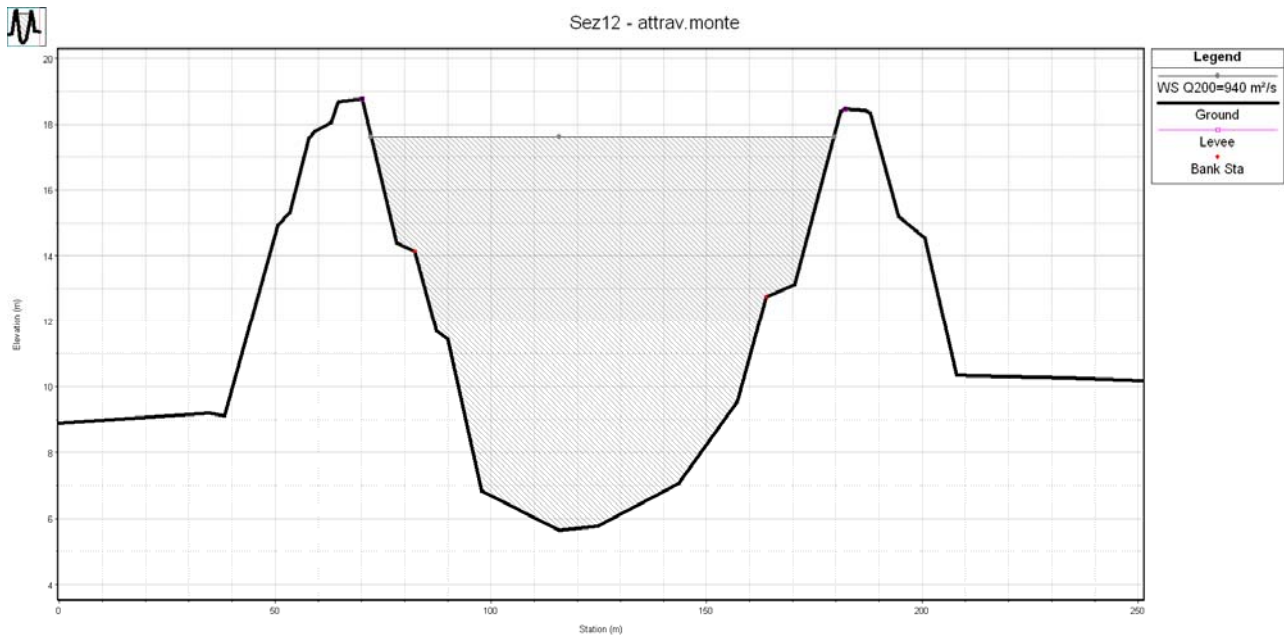


FIGURA 8-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA Q200 DEL F. PANARO ALLA SEZIONE TRASVERSALE A MONTE DELL'ASSE DEL VIADOTTO STRADALE NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto 1

Nella configurazione di progetto 1 è stato realizzato un ringrosso arginale in sagoma e in quota in corrispondenza dell'attraversamento autostradale, sino a portare i presidi arginali a quota 23.88 m s.l.m. in sponda destra e a quota 23.75 in sponda sinistra (mantenendo una distanza di circa 30 cm dalla quota del sottotrave).

Il livello per la piena bicentenaria nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento autostradale è a quota 21.33 m s.l.m.; il franco idraulico del sottotrave risulta pari a 2.80 m e quindi in linea con i limiti imposti dalla Circolare C.S.LL.PP. 07.02.2009 (Ponti stradali e ferroviari) e dalla citata Direttiva AdbPo 4/99.

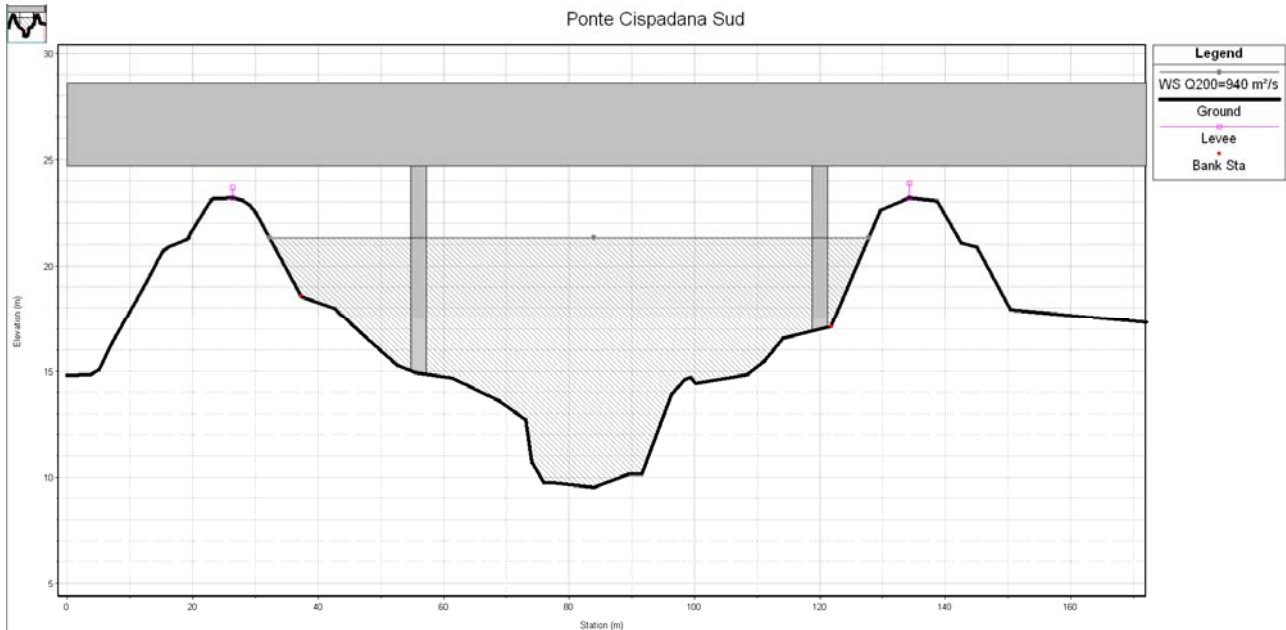


FIGURA 8-3: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL VIADOTTO CISPADANA (CARREGGIATA SUD) NELLO STATO DI PROGETTO 1

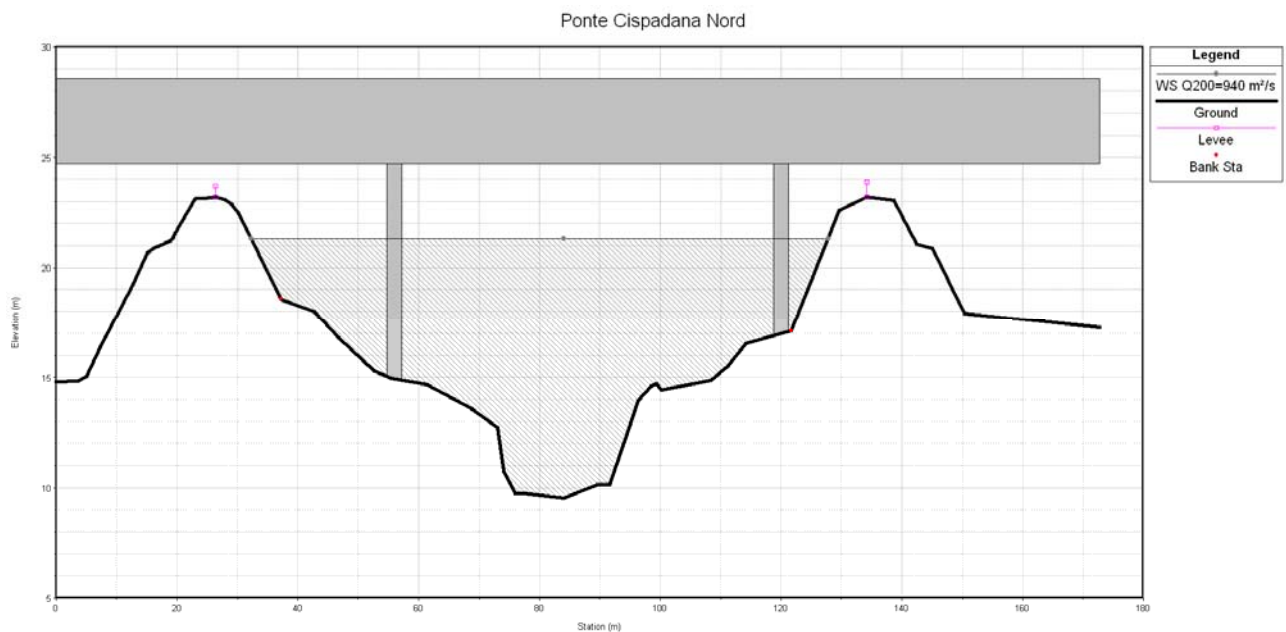


FIGURA 8-4: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL VIADOTTO CISPADANA (CARREGGIATA NORD) NELLO STATO DI PROGETTO 1

Stato di progetto 2

Nella configurazione di progetto 2 è stato introdotto anche il viadotto della viabilità di adduzione ed è stato realizzato un ringrosso arginale in sagoma e in quota anche in corrispondenza dell'attraversamento stradale, sino a portare i presidi arginali a quota 19.44 m s.l.m. in sponda destra e a quota 19.40 in sponda sinistra

(mantenendo una distanza di circa 30 cm dalla quota del sottotrave).

Il livello per la piena bicentenaria nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento autostradale è a quota 17.62 m s.l.m.; il franco idraulico del sottotrave risulta quindi sempre superiore a 2.00 m e quindi in linea con i limiti imposti dalla Circolare C.S.LL.PP. 07.02.2009 (Ponti stradali e ferroviari) e dalla citata Direttiva AdbPo 4/99.

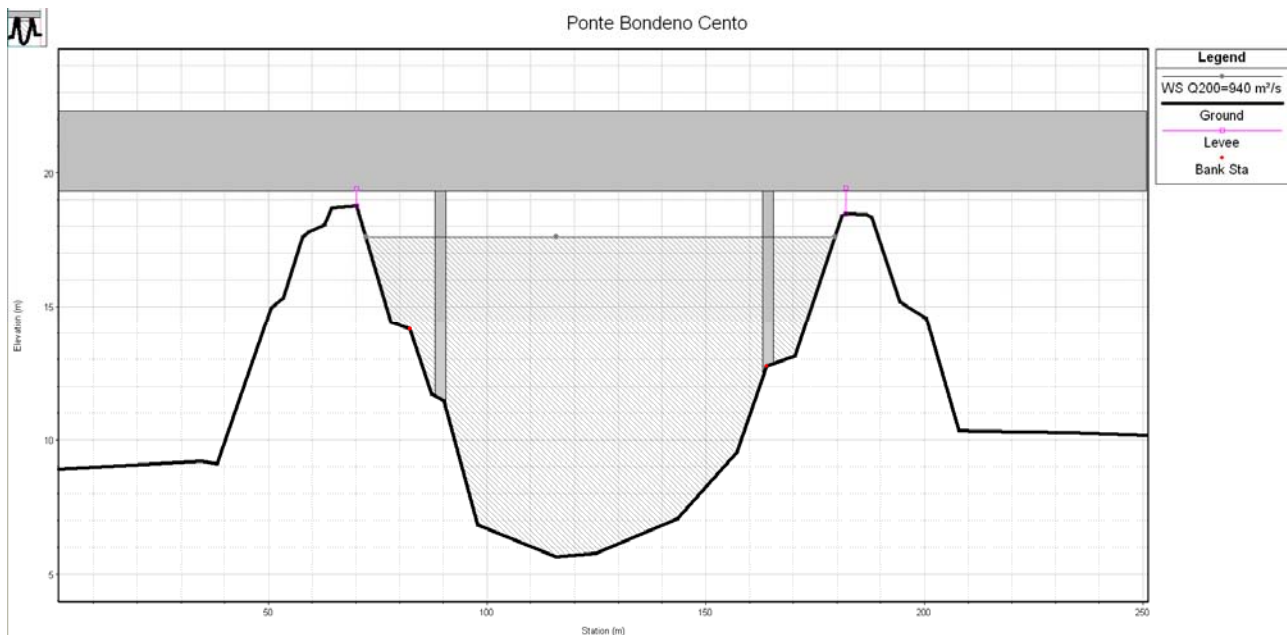


FIGURA 8-5: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL VIADOTTO DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE NELLO STATO DI PROGETTO 2

Stato di progetto3

La simulazione nello stato di progetto 3 è stata implementata sulle basi delle configurazioni precedenti, tenendo però conto di un'ipotesi cautelativa, ovvero che i manufatti in progetto siano soggetti all'intasamento del 20% dell'area di deflusso, a causa di materiale flottante depositato in corrispondenza delle pile.

L'intasamento del 20% dell'area di deflusso è stato simulato mediante blocchi di materiale aventi larghezza 10.00m per il ponte autostradale e di 16.00m per il ponte della viabilità di adduzione D08. La simulazione ha portato ad incrementi di livello pari ad un massimo di circa 7 centimetri rispetto allo stato di fatto, in corrispondenza del viadotto autostradale, ma in tutti i casi il franco idraulico è sempre garantito. Di seguito sono riportati il profilo e i livelli riscontrati nelle sezioni subito a monte dei viadotti in progetto. Gli incrementi ottenuti, sottratti ai franchi di cui al punto precedente, soddisfano comunque le prescrizioni di cui alla citata direttiva.

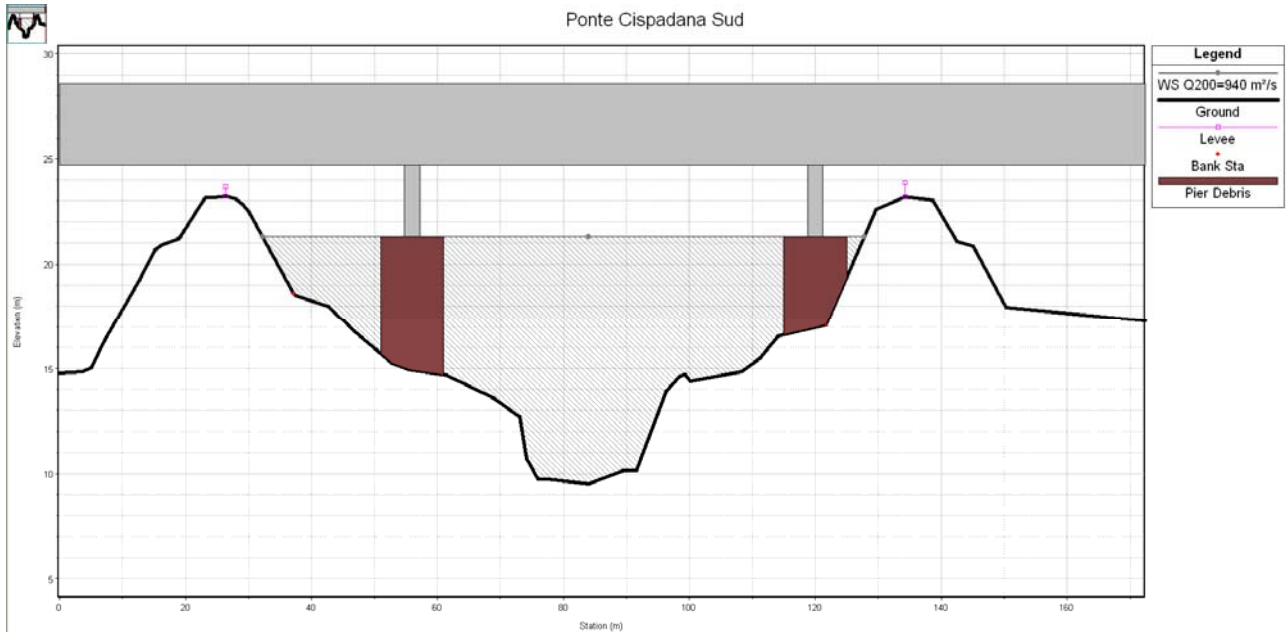


FIGURA 8-6: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL VIADOTTO CISPADANA (CARREGGIATA SUD) NELLO STATO DI PROGETTO 3

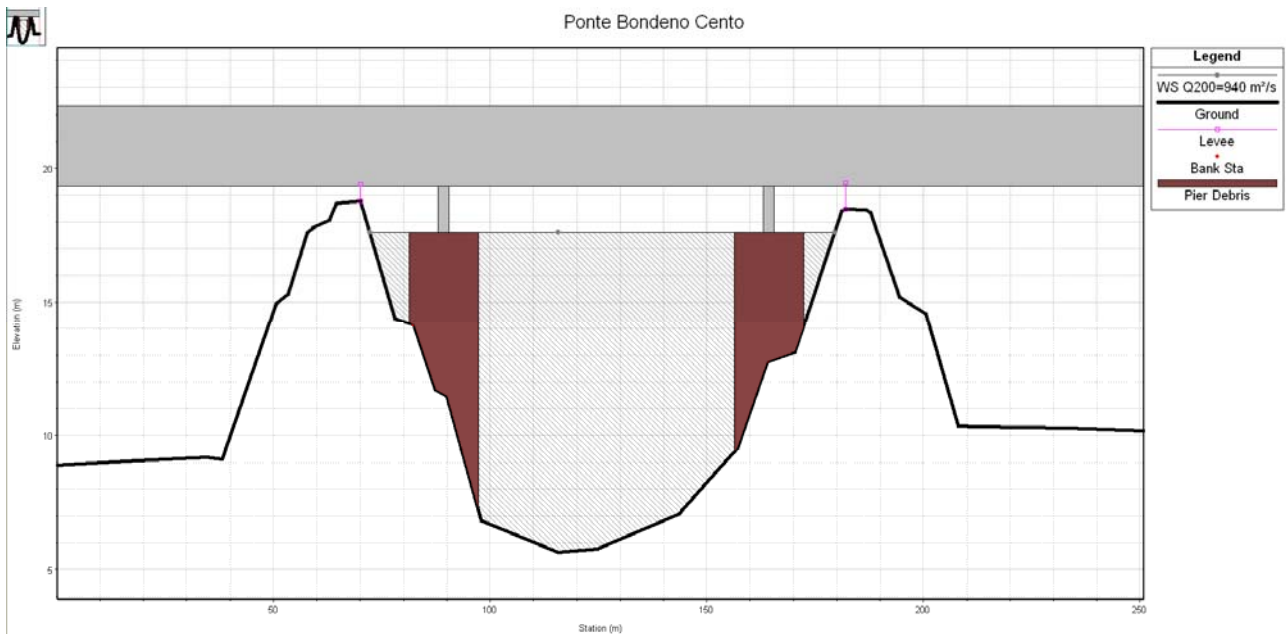


FIGURA 8-7: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL VIADOTTO DELLA VIAB. DI ADDUZIONE D08 NELLO STATO DI PROGETTO 3

8.3.2. Valutazione della compatibilità idraulica

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

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

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

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portata con tempo di ritorno di 200 anni relativi, rispettivamente, alla situazione attuale (S.F.) e alle condizioni di progetto (S.P.).

Nella Tabella 8-1 e nei grafici seguenti si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite nello stato di fatto e nelle condizioni di progetto 1, 2 e 3, in modo da valutare l'influenza dei viadotti in progetto.

Sezione Topografica	Progressiva [m]	Quota del fondo [m s.l.m.]	Q di progetto [m³/s]	Livelli	Livelli	ΔH [m]	Velocità	Velocità	Pendenz a -	Carico	Carico
				idrometrici S.F. [m s.l.m.]	idrometrici S.P.1 [m s.l.m.]		S.F. [m/s]	S.P.1 [m/s]		totale S.F. [m]	totale S.P.1 [m]
PA060	35511.50	11.39	940	24.50	24.50	0.00	1.90	1.90	-0.0002	24.67	24.68
PA059	34903.50	11.53	940	24.20	24.21	0.01	2.28	2.28	0.0008	24.45	24.46
PA058	34287.50	11.01	940	24.00	24.01	0.01	2.03	2.03	-0.0020	24.20	24.21
PA057	33796.50	11.98	940	23.80	23.81	0.01	2.15	2.15	0.0010	24.02	24.03
PA056	33162.50	11.37	940	23.58	23.59	0.01	2.06	2.06	0.0001	23.78	23.79
PA055	32598.50	11.33	940	23.30	23.32	0.02	2.28	2.28	-0.0001	23.56	23.57
PA054	32010.50	11.39	940	23.12	23.14	0.02	2.00	2.00	-0.0006	23.32	23.33
PA053	31492.50	11.70	940	22.73	22.74	0.01	2.68	2.67	0.0009	23.07	23.08
PA052	30965.50	11.20	940	22.73	22.74	0.01	1.46	1.46	0.0001	22.83	22.85
PA051	30361.50	11.12	940	22.50	22.52	0.02	1.93	1.93	0.0015	22.68	22.70
PA050	29713.50	10.16	940	22.18	22.20	0.02	2.28	2.27	-0.0051	22.43	22.45
PA049	29553.50	10.97	940	22.15	22.18	0.03	2.03	2.02	0.0036	22.36	22.38
PA048	29123.50	9.43	940	21.99	22.02	0.03	2.05	2.04	0.0002	22.20	22.22
PA047	28659.50	9.36	940	21.83	21.86	0.03	2.00	2.00	-0.0001	22.03	22.05
PA046	28117.50	9.44	940	21.73	21.76	0.03	1.59	1.58	-0.0006	21.86	21.88
PA045	27611.50	9.74	940	21.44	21.47	0.03	2.28	2.27	0.0012	21.69	21.72
PA044	27219.50	9.28	940	21.39	21.41	0.02	1.74	1.74	-0.0007	21.53	21.56



PA043A_TO	26846.50	9.54	940	21.34	21.37	0.03	1.52	1.51	0.0001	21.45	21.48
Sez-124											
Attrav_MONTE	26677.00	9.52	940	21.30	21.33	0.03	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.45
PONTE CISPADANA -											
Carr.Sud	26657.00	9.52	Bridge	21.30	21.33	0.03	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.45
Sez. 124 Attrav	26657.00	9.52	940	21.30	21.32	0.02	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.44
PONTE CISPADANA -											
Carr.Nord	26637.00	9.52	Bridge	21.30	21.32	0.02	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.44
Sez.124											
Attrav_VALLE	26637.00	9.52	940	21.29	21.31	0.02	1.53	1.53	-0.0015	21.41	21.43
PA043	26445.00	9.80	940	21.20	21.22	0.02	1.82	1.82	0.0020	21.36	21.38
PA042	25915.00	8.73	940	21.07	21.09	0.02	1.80	1.80	0.0006	21.23	21.25
PA041	25333.00	8.37	940	20.88	20.90	0.02	1.93	1.93	-0.0008	21.07	21.08
PA040	24717.00	8.88	940	20.63	20.63	0.00	2.16	2.16	0.0001	20.86	20.86
PA039	24023.00	8.82	940	20.47	20.47	0.00	1.71	1.71	0.0007	20.62	20.62
PA038	23456.00	8.44	940	20.23	20.23	0.00	2.04	2.04	0.0001	20.44	20.44
PA037	22946.00	8.40	940	20.27	20.27	0.00	0.95	0.95	-0.0008	20.31	20.31
PA036	22326.00	8.89	940	19.99	19.99	0.00	2.04	2.04	0.0013	20.19	20.19
PA035	21670.00	8.03	940	19.83	19.83	0.00	1.62	1.62	0.0012	19.96	19.96
PA034	21175.00	7.42	940	19.69	19.69	0.00	1.72	1.72	0.0010	19.83	19.84
PA033	20579.00	6.84	940	19.59	19.59	0.00	1.50	1.50	-0.0011	19.69	19.69
PA032	20017.00	7.48	940	19.46	19.46	0.00	1.66	1.66	0.0007	19.58	19.58
PA031	19479.00	7.10	940	19.31	19.31	0.00	1.77	1.77	-0.0001	19.46	19.46
PA030	19022.00	7.14	940	19.27	19.27	0.00	1.37	1.37	0.0008	19.36	19.36
PA029	18530.00	6.75	940	19.04	19.04	0.00	2.07	2.07	-0.0002	19.25	19.25
PA028	17947.00	6.85	940	18.92	18.92	0.00	1.78	1.78	0.0001	19.07	19.07
PA027	15337.00	6.60	940	18.53	18.53	0.00	1.32	1.32	-0.0008	18.60	18.60
PA026	14797.00	7.02	940	18.45	18.45	0.00	1.38	1.38	0.0038	18.52	18.52
PA025	14239.00	4.88	940	18.30	18.30	0.00	1.65	1.65	-0.0009	18.43	18.43
PA024	13501.00	5.58	940	18.01	18.01	0.00	2.22	2.22	0.0033	18.24	18.24
PA023	13115.00	4.32	940	17.99	17.99	0.00	1.63	1.63	0.0006	18.11	18.12
PA022	12520.00	3.99	940	17.81	17.81	0.00	2.02	2.02	0.0006	17.99	17.99

PA021	12024.00	3.68	940	17.75	17.75	0.00	1.62	1.62	-0.0019	17.87	17.87
PA020	11392.00	4.87	940	17.68	17.68	0.00	1.27	1.27	-0.0012	17.77	17.77
Sez12 - attrav.monte	10774.00	5.64	940	17.62	17.62	0.00	1.14	1.14	0.0000	17.69	17.69
SEZ.12 -attrav.valle	10744.00	5.64	940	17.62	17.62	0.00	1.14	1.14	0.0083	17.68	17.68
Sez.13	10611.00	4.54	940	17.62	17.62	0.00	1.44	1.44	-0.0026	17.66	17.66
PA019	10186.00	5.64	940	17.57	17.57	0.00	1.18	1.18	0.0022	17.58	17.58
PA018	9434.00	3.98	940	17.52	17.52	0.00	1.93	1.93	-0.0017	17.37	17.37
PA017	8754.00	5.16	940	17.20	17.20	0.00	1.61	1.61	0.0023	17.10	17.10
PA016	8574.00	4.75	940	16.98	16.98	0.00	1.77	1.77	0.0025	17.03	17.03
PA015	8046.00	3.42	940	16.88	16.88	0.00	2.07	2.07	0.0062	16.76	16.76
PA014	7748.00	1.56	940	16.56	16.56	0.00	1.96	1.96	0.0012	16.61	16.61
PA013	7228.00	0.93	940	16.42	16.42	0.00	0.79	0.79	0.0006	16.46	16.46
PA012	6872.00	0.73	940	16.44	16.44	0.00	0.90	0.90	-0.0059	16.43	16.43
PA011	6505.00	2.90	940	16.40	16.40	0.00	1.05	1.05	0.0021	16.38	16.38
PA010	5784.00	1.35	940	16.34	16.34	0.00	0.76	0.76	-0.0038	16.28	16.28
PA009	5300.00	3.20	940	16.26	16.26	0.00	0.65	0.65	0.0023	16.24	16.24
PA008	4427.00	1.17	940	16.23	16.23	0.00	0.17	0.17	0.0006	16.23	16.23
PA007	3896.00	0.87	940	16.23	16.23	0.00	0.18	0.18	-0.0012	16.22	16.22
PA006	3323.00	1.56	940	16.22	16.22	0.00	0.29	0.29	0.0005	16.22	16.22
PA005	2598.00	1.22	940	16.22	16.22	0.00	0.34	0.34	0.0002	16.21	16.21
PA004	1925.00	1.08	940	16.21	16.21	0.00	0.35	0.35	-0.0006	16.20	16.20
PA003	1064.00	1.57	940	16.20	16.20	0.00	0.26	0.26	0.0027	16.19	16.19
PA002	537.00	0.17	940	16.19	16.19	0.00	0.26	0.26	-0.0008	16.19	16.19
PA001	0.00	0.59	940	16.19	16.19	0.00	0.30	0.30	0.0000	16.18	16.18

TABELLA 8-1: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RESULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO 1 (S.P.1)

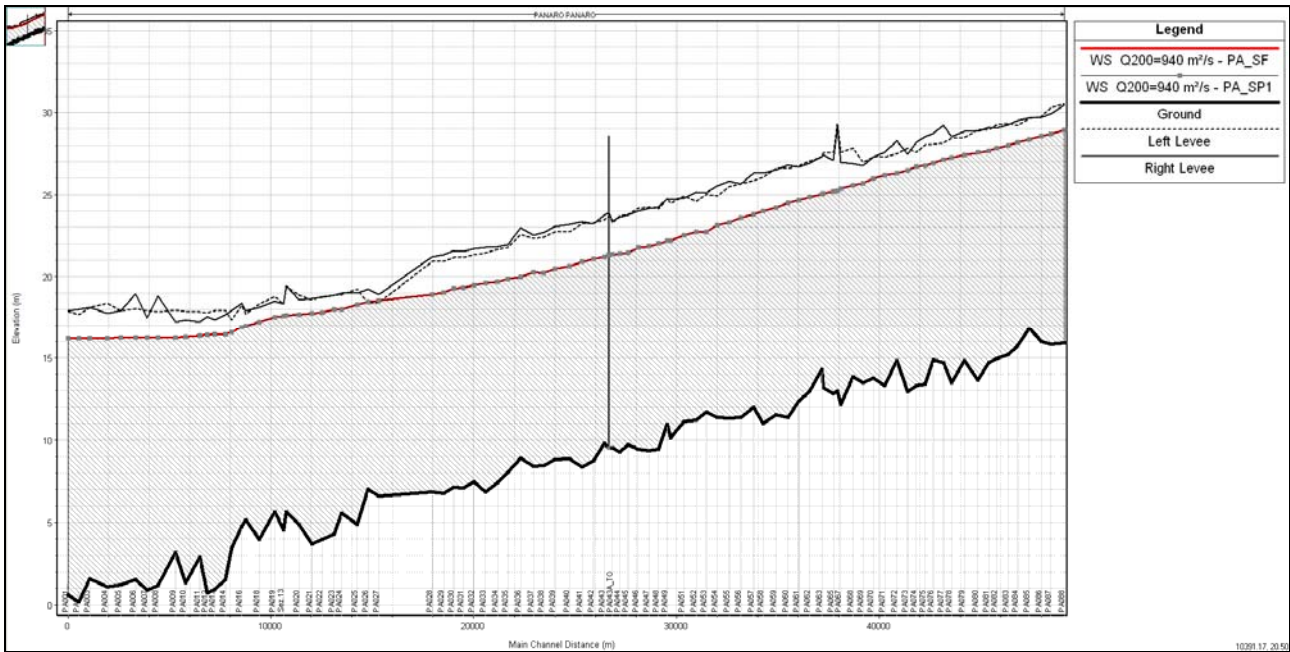


FIGURA 8-8: CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1.

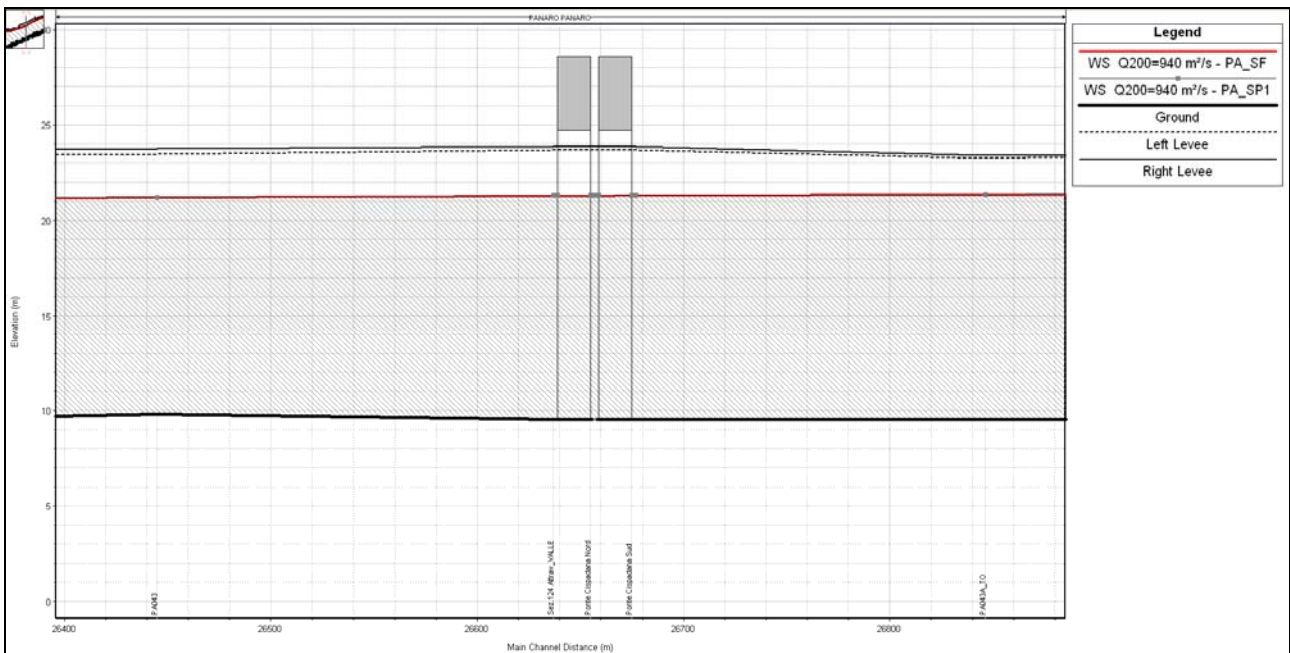


FIGURA 8-9: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURGITO TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO AUTOSTRADALE.



Sezione Topografica	Progressiva	Quota	Q di	Livelli	Livelli	ΔH	Velocità	Velocità	Pendenza	Carico	Carico
		del fondo	progetto	idrometri S.F.	idrometri S.P.2		S.F.	S.P.2		totale S.F.	totale S.P.2
		[m]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m]	[m]
PA060	35511.50	11.39	940	24.50	24.50	0.00	1.90	1.90	-0.0002	24.67	24.68
PA059	34903.50	11.53	940	24.20	24.21	0.01	2.28	2.28	0.0008	24.45	24.46
PA058	34287.50	11.01	940	24.00	24.01	0.01	2.03	2.03	-0.0020	24.20	24.21
PA057	33796.50	11.98	940	23.80	23.81	0.01	2.15	2.15	0.0010	24.02	24.03
PA056	33162.50	11.37	940	23.58	23.59	0.01	2.06	2.06	0.0001	23.78	23.79
PA055	32598.50	11.33	940	23.30	23.32	0.02	2.28	2.28	-0.0001	23.56	23.57
PA054	32010.50	11.39	940	23.12	23.14	0.02	2.00	2.00	-0.0006	23.32	23.33
PA053	31492.50	11.70	940	22.73	22.74	0.01	2.68	2.67	0.0009	23.07	23.08
PA052	30965.50	11.20	940	22.73	22.74	0.01	1.46	1.46	0.0001	22.83	22.85
PA051	30361.50	11.12	940	22.50	22.52	0.02	1.93	1.93	0.0015	22.68	22.70
PA050	29713.50	10.16	940	22.18	22.20	0.02	2.28	2.27	-0.0051	22.43	22.45
PA049	29553.50	10.97	940	22.15	22.18	0.03	2.03	2.02	0.0036	22.36	22.38
PA048	29123.50	9.43	940	21.99	22.02	0.03	2.05	2.04	0.0002	22.20	22.22
PA047	28659.50	9.36	940	21.83	21.86	0.03	2.00	2.00	-0.0001	22.03	22.05
PA046	28117.50	9.44	940	21.73	21.76	0.03	1.59	1.58	-0.0006	21.86	21.88
PA045	27611.50	9.74	940	21.44	21.47	0.03	2.28	2.27	0.0012	21.69	21.72
PA044	27219.50	9.28	940	21.39	21.41	0.02	1.74	1.74	-0.0007	21.53	21.56
PA043A_TO	26846.50	9.54	940	21.34	21.37	0.03	1.52	1.51	0.0001	21.45	21.48
Sez-124 Attrav_MONTE	26677.00	9.52	940	21.30	21.33	0.03	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.45
PONTE CISPADANA - Carr.Sud											
	26657.00	9.52	Bridge	21.30	21.33	0.03	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.45
Sez. 124 Attrav	26657.00	9.52	940	21.30	21.32	0.02	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.44
PONTE CISPADANA - Carr.Nord											
	26637.00	9.52	Bridge	21.30	21.32	0.02	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.44
Sez.124 Attrav_VALLE	26637.00	9.52	940	21.29	21.31	0.02	1.53	1.53	-0.0015	21.41	21.43
PA043	26445.00	9.80	940	21.20	21.22	0.02	1.82	1.82	0.0020	21.36	21.38
PA042	25915.00	8.73	940	21.07	21.09	0.02	1.80	1.80	0.0006	21.23	21.25
PA041	25333.00	8.37	940	20.88	20.90	0.02	1.93	1.93	-0.0008	21.07	21.08



PA040	24717.00	8.88	940	20.63	20.63	0.00	2.16	2.16	0.0001	20.86	20.86
PA039	24023.00	8.82	940	20.47	20.47	0.00	1.71	1.71	0.0007	20.62	20.62
PA038	23456.00	8.44	940	20.23	20.23	0.00	2.04	2.04	0.0001	20.44	20.44
PA037	22946.00	8.40	940	20.27	20.27	0.00	0.95	0.95	-0.0008	20.31	20.31
PA036	22326.00	8.89	940	19.99	19.99	0.00	2.04	2.04	0.0013	20.19	20.19
PA035	21670.00	8.03	940	19.83	19.83	0.00	1.62	1.62	0.0012	19.96	19.96
PA034	21175.00	7.42	940	19.69	19.69	0.00	1.72	1.72	0.0010	19.83	19.84
PA033	20579.00	6.84	940	19.59	19.59	0.00	1.50	1.50	-0.0011	19.69	19.69
PA032	20017.00	7.48	940	19.46	19.46	0.00	1.66	1.66	0.0007	19.58	19.58
PA031	19479.00	7.10	940	19.31	19.31	0.00	1.77	1.77	-0.0001	19.46	19.46
PA030	19022.00	7.14	940	19.27	19.27	0.00	1.37	1.37	0.0008	19.36	19.36
PA029	18530.00	6.75	940	19.04	19.04	0.00	2.07	2.07	-0.0002	19.25	19.25
PA028	17947.00	6.85	940	18.92	18.92	0.00	1.78	1.78	0.0001	19.07	19.07
PA027	15337.00	6.60	940	18.53	18.53	0.00	1.32	1.32	-0.0008	18.60	18.60
PA026	14797.00	7.02	940	18.45	18.46	0.01	1.38	1.38	0.0038	18.52	18.52
PA025	14239.00	4.88	940	18.30	18.30	0.00	1.65	1.65	-0.0009	18.43	18.43
PA024	13501.00	5.58	940	18.01	18.01	0.00	2.22	2.22	0.0033	18.24	18.24
PA023	13115.00	4.32	940	17.99	17.99	0.00	1.63	1.63	0.0006	18.11	18.12
PA022	12520.00	3.99	940	17.81	17.81	0.00	2.02	2.02	0.0006	17.99	17.99
PA021	12024.00	3.68	940	17.75	17.75	0.00	1.62	1.62	-0.0019	17.87	17.87
PA020	11392.00	4.87	940	17.68	17.69	0.01	1.27	1.27	-0.0012	17.77	17.77
Sez12 - attraversamento	10774.00	5.64	940	17.62	17.62	0.00	1.14	1.14	0.0000	17.69	17.69
PONTE D08	10744.00	5.64	Bridge	17.62	17.62	0.00	1.14	0.00	0.0000	17.69	0.00
SEZ.12 - attraversamento valle	10744.00	5.64	940	17.62	17.62	0.00	1.14	1.14	0.0083	17.68	17.68
Sez.13	10611.00	4.54	940	17.57	17.57	0.00	1.44	1.44	-0.0026	17.66	17.66
PA019	10186.00	5.64	940	17.52	17.52	0.00	1.18	1.18	0.0022	17.58	17.58
PA018	9434.00	3.98	940	17.20	17.20	0.00	1.93	1.93	-0.0017	17.37	17.37
PA017	8754.00	5.16	940	16.98	16.98	0.00	1.61	1.61	0.0023	17.10	17.10
PA016	8574.00	4.75	940	16.88	16.88	0.00	1.77	1.77	0.0025	17.03	17.03
PA015	8046.00	3.42	940	16.56	16.56	0.00	2.07	2.07	0.0062	16.76	16.76
PA014	7748.00	1.56	940	16.42	16.42	0.00	1.96	1.96	0.0012	16.61	16.61

PA013	7228.00	0.93	940	16.44	16.44	0.00	0.79	0.79	0.0006	16.46	16.46
PA012	6872.00	0.73	940	16.40	16.40	0.00	0.90	0.90	-0.0059	16.43	16.43
PA011	6505.00	2.90	940	16.34	16.34	0.00	1.05	1.05	0.0021	16.38	16.38
PA010	5784.00	1.35	940	16.26	16.26	0.00	0.76	0.76	-0.0038	16.28	16.28
PA009	5300.00	3.20	940	16.23	16.23	0.00	0.65	0.65	0.0023	16.24	16.24
PA008	4427.00	1.17	940	16.23	16.23	0.00	0.17	0.17	0.0006	16.23	16.23
PA007	3896.00	0.87	940	16.22	16.22	0.00	0.18	0.18	-0.0012	16.22	16.22
PA006	3323.00	1.56	940	16.22	16.22	0.00	0.29	0.29	0.0005	16.22	16.22
PA005	2598.00	1.22	940	16.21	16.21	0.00	0.34	0.34	0.0002	16.21	16.21
PA004	1925.00	1.08	940	16.20	16.20	0.00	0.35	0.35	-0.0006	16.20	16.20
PA003	1064.00	1.57	940	16.19	16.19	0.00	0.26	0.26	0.0027	16.19	16.19
PA002	537.00	0.17	940	16.19	16.19	0.00	0.26	0.26	-0.0008	16.19	16.19
PA001	0.00	0.59	940	16.18	16.18	0.00	0.30	0.30	0.0000	16.18	16.18

TABELLA 8-2: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO 2 (S.P.2).

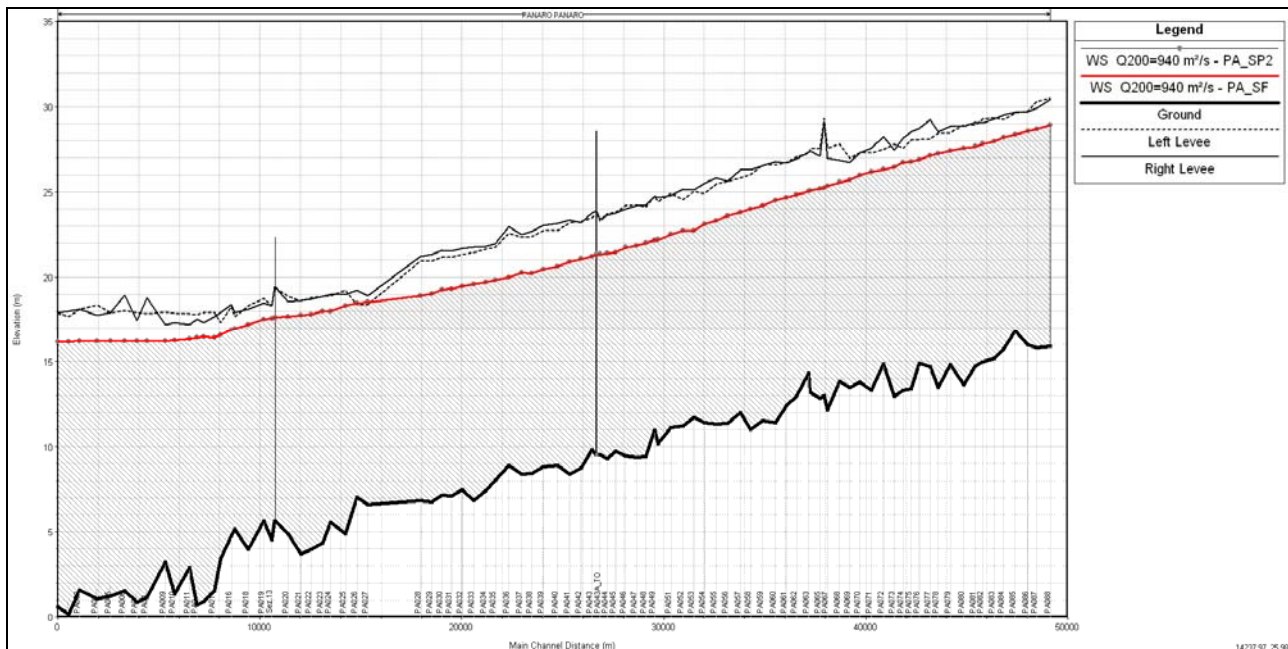


FIGURA 8-10: CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 2.

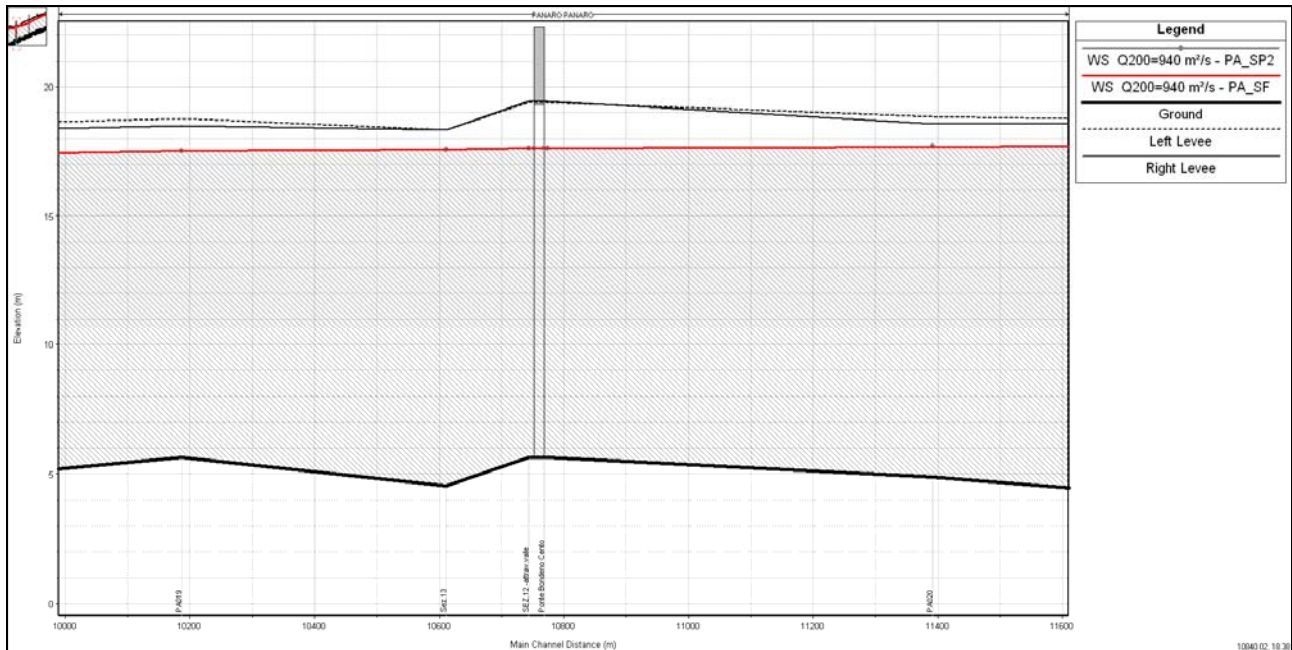


FIGURA 8-11: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURITO TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 2 IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE.

L'effetto dell'inserimento dei viadotti in progetto (autostradale e viabilità di adduzione) risulta di entità modesta, trascurabile ai fini delle dinamiche idrauliche di un corso d'acqua di dimensioni rilevanti quali il fiume Panaro.

Si hanno infatti lievi incrementi dell'ordine dei 2-3 cm sui profili di rigurgito indotti dalla presenza del viadotto autostradale e ancora minori sui profili di rigurgito indotti dal viadotto della viabilità di adduzione.

Sezione Topografica	Progressiv	Quota	Q di	Livelli	Livelli	ΔH	Velocità	Velocità	Pendenz	Carico	Carico
	a	del fondo	progetto	idrometri	idrometri		S.F.	S.P.3		S.F.	S.P.3
	[m]	[m s.l.m.]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m]	[m]
PA060	35511.50	11.39	940	24.50	24.51	0.01	1.90	1.90	-0.0002	24.67	24.69
PA059	34903.50	11.53	940	24.20	24.22	0.02	2.28	2.28	0.0008	24.45	24.47
PA058	34287.50	11.01	940	24.00	24.03	0.03	2.03	2.02	-0.0020	24.20	24.22
PA057	33796.50	11.98	940	23.80	23.82	0.02	2.15	2.15	0.0010	24.02	24.04
PA056	33162.50	11.37	940	23.58	23.61	0.03	2.06	2.05	0.0001	23.78	23.81
PA055	32598.50	11.33	940	23.30	23.33	0.03	2.28	2.27	-0.0001	23.56	23.58
PA054	32010.50	11.39	940	23.12	23.15	0.03	2.00	1.99	-0.0006	23.32	23.35
PA053	31492.50	11.70	940	22.73	22.76	0.03	2.68	2.66	0.0009	23.07	23.10
PA052	30965.50	11.20	940	22.73	22.76	0.03	1.46	1.46	0.0001	22.83	22.87
PA051	30361.50	11.12	940	22.50	22.54	0.04	1.93	1.92	0.0015	22.68	22.72
PA050	29713.50	10.16	940	22.18	22.23	0.05	2.28	2.27	-0.0051	22.43	22.48
PA049	29553.50	10.97	940	22.15	22.20	0.05	2.03	2.02	0.0036	22.36	22.40
PA048	29123.50	9.43	940	21.99	22.04	0.05	2.05	2.04	0.0002	22.20	22.25
PA047	28659.50	9.36	940	21.83	21.89	0.06	2.00	1.99	-0.0001	22.03	22.08
PA046	28117.50	9.44	940	21.73	21.79	0.06	1.59	1.58	-0.0006	21.86	21.91
PA045	27611.50	9.74	940	21.44	21.50	0.06	2.28	2.26	0.0012	21.69	21.75
PA044	27219.50	9.28	940	21.39	21.45	0.06	1.74	1.73	-0.0007	21.53	21.60
PA043A_TO	26846.50	9.54	940	21.34	21.40	0.06	1.52	1.50	0.0001	21.45	21.51
Sez-124 Attrav_MONTE	26677.00	9.52	940	21.30	21.37	0.07	1.53	1.51	0.0000	21.42	21.48
PONTE CISPADANA - Carr.Sud	26657.00	9.52	Bridge	21.30	21.37	0.07	1.53	1.51	0.0000	21.42	21.48
Sez. 124 Attrav	26657.00	9.52	940	21.30	21.34	0.04	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.46
PONTE CISPADANA - Carr.Nord	26637.00	9.52	Bridge	21.30	21.34	0.04	1.53	1.52	0.0000	21.42	21.46
Sez.124 Attrav_VALLE	26637.00	9.52	940	21.29	21.31	0.02	1.53	1.53	-0.0015	21.41	21.43
PA043	26445.00	9.80	940	21.20	21.22	0.02	1.82	1.82	0.0020	21.36	21.39
PA042	25915.00	8.73	940	21.07	21.09	0.02	1.80	1.80	0.0006	21.23	21.25



PA041	25333.00	8.37	940	20.88	20.90	0.02	1.93	1.92	-0.0008	21.07	21.08
PA040	24717.00	8.88	940	20.63	20.64	0.01	2.16	2.16	0.0001	20.86	20.86
PA039	24023.00	8.82	940	20.47	20.48	0.01	1.71	1.71	0.0007	20.62	20.62
PA038	23456.00	8.44	940	20.23	20.24	0.01	2.04	2.04	0.0001	20.44	20.44
PA037	22946.00	8.40	940	20.27	20.27	0.00	0.95	0.95	-0.0008	20.31	20.31
PA036	22326.00	8.89	940	19.99	20.00	0.01	2.04	2.04	0.0013	20.19	20.20
PA035	21670.00	8.03	940	19.83	19.84	0.01	1.62	1.62	0.0012	19.96	19.97
PA034	21175.00	7.42	940	19.69	19.70	0.01	1.72	1.71	0.0010	19.83	19.84
PA033	20579.00	6.84	940	19.59	19.60	0.01	1.50	1.50	-0.0011	19.69	19.70
PA032	20017.00	7.48	940	19.46	19.46	0.00	1.66	1.66	0.0007	19.58	19.59
PA031	19479.00	7.10	940	19.31	19.31	0.00	1.77	1.77	-0.0001	19.46	19.46
PA030	19022.00	7.14	940	19.27	19.28	0.01	1.37	1.37	0.0008	19.36	19.36
PA029	18530.00	6.75	940	19.04	19.05	0.01	2.07	2.07	-0.0002	19.25	19.25
PA028	17947.00	6.85	940	18.92	18.93	0.01	1.78	1.77	0.0001	19.07	19.08
PA027	15337.00	6.60	940	18.53	18.54	0.01	1.32	1.31	-0.0008	18.60	18.61
PA026	14797.00	7.02	940	18.45	18.46	0.01	1.38	1.38	0.0038	18.52	18.53
PA025	14239.00	4.88	940	18.30	18.31	0.01	1.65	1.65	-0.0009	18.43	18.44
PA024	13501.00	5.58	940	18.01	18.02	0.01	2.22	2.22	0.0033	18.24	18.25
PA023	13115.00	4.32	940	17.99	18.00	0.01	1.63	1.63	0.0006	18.11	18.13
PA022	12520.00	3.99	940	17.81	17.82	0.01	2.02	2.01	0.0006	17.99	18.00
PA021	12024.00	3.68	940	17.75	17.76	0.01	1.62	1.62	-0.0019	17.87	17.88
PA020	11392.00	4.87	940	17.68	17.70	0.02	1.27	1.27	-0.0012	17.77	17.78
Sez12 - attraversamento	10774.00	5.64	940	17.62	17.64	0.02	1.14	1.14	0.0000	17.69	17.70
PONTE D08	10744.00	5.64	Bridge	17.62	17.64	0.02	1.14	1.14	0.0000	17.69	17.70
SEZ.12 - attraversamento valle	10744.00	5.64	940	17.62	17.62	0.00	1.14	1.14	0.0083	17.68	17.68
Sez.13	10611.00	4.54	940	17.57	17.57	0.00	1.44	1.44	-0.0026	17.66	17.66
PA019	10186.00	5.64	940	17.52	17.52	0.00	1.18	1.18	0.0022	17.58	17.58
PA018	9434.00	3.98	940	17.20	17.20	0.00	1.93	1.93	-0.0017	17.37	17.37
PA017	8754.00	5.16	940	16.98	16.98	0.00	1.61	1.61	0.0023	17.10	17.10
PA016	8574.00	4.75	940	16.88	16.88	0.00	1.77	1.77	0.0025	17.03	17.03
PA015	8046.00	3.42	940	16.56	16.56	0.00	2.07	2.07	0.0062	16.76	16.76

PA014	7748.00	1.56	940	16.42	16.42	0.00	1.96	1.96	0.0012	16.61	16.61
PA013	7228.00	0.93	940	16.44	16.44	0.00	0.79	0.79	0.0006	16.46	16.46
PA012	6872.00	0.73	940	16.40	16.40	0.00	0.90	0.90	-0.0059	16.43	16.43
PA011	6505.00	2.90	940	16.34	16.34	0.00	1.05	1.05	0.0021	16.38	16.38
PA010	5784.00	1.35	940	16.26	16.26	0.00	0.76	0.76	-0.0038	16.28	16.28
PA009	5300.00	3.20	940	16.23	16.23	0.00	0.65	0.65	0.0023	16.24	16.24
PA008	4427.00	1.17	940	16.23	16.23	0.00	0.17	0.17	0.0006	16.23	16.23
PA007	3896.00	0.87	940	16.22	16.22	0.00	0.18	0.18	-0.0012	16.22	16.22
PA006	3323.00	1.56	940	16.22	16.22	0.00	0.29	0.29	0.0005	16.22	16.22
PA005	2598.00	1.22	940	16.21	16.21	0.00	0.34	0.34	0.0002	16.21	16.21
PA004	1925.00	1.08	940	16.20	16.20	0.00	0.35	0.35	-0.0006	16.20	16.20
PA003	1064.00	1.57	940	16.19	16.19	0.00	0.26	0.26	0.0027	16.19	16.19
PA002	537.00	0.17	940	16.19	16.19	0.00	0.26	0.26	-0.0008	16.19	16.19
PA001	0.00	0.59	940	16.18	16.18	0.00	0.30	0.30	0.0000	16.18	16.18

TABELLA 8-3: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO CON OCCLUSIONE (S.P.3).

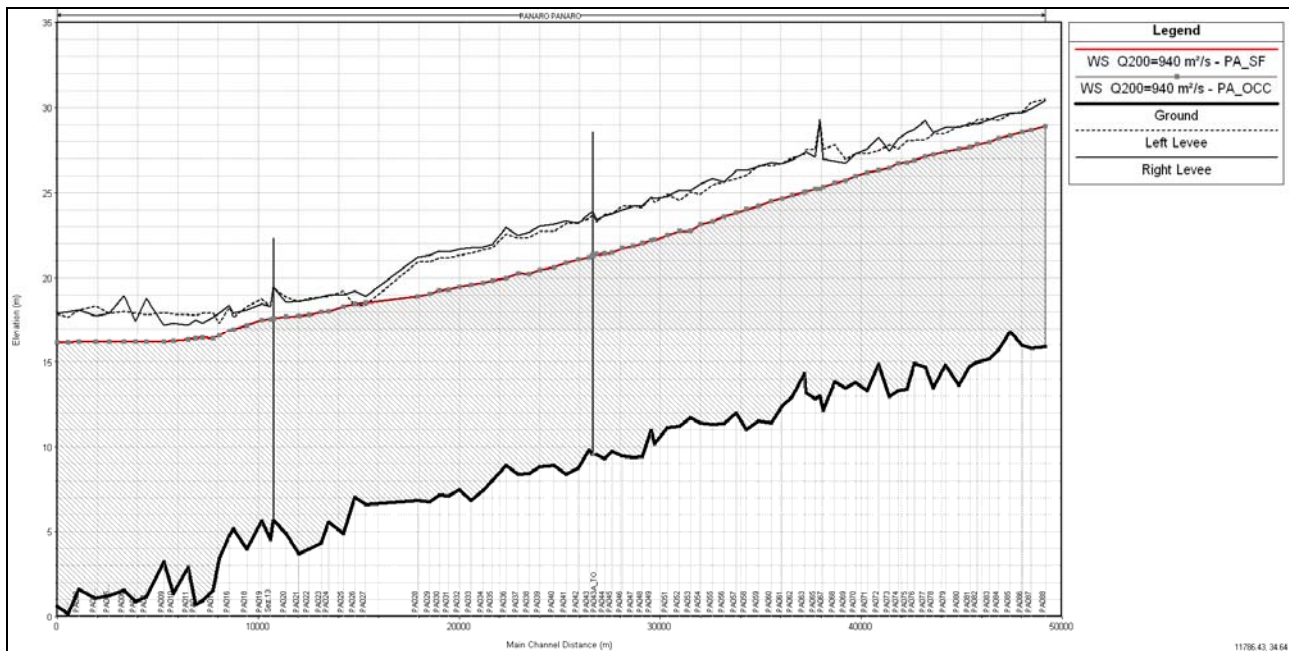


FIGURA 8-12: CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 2.

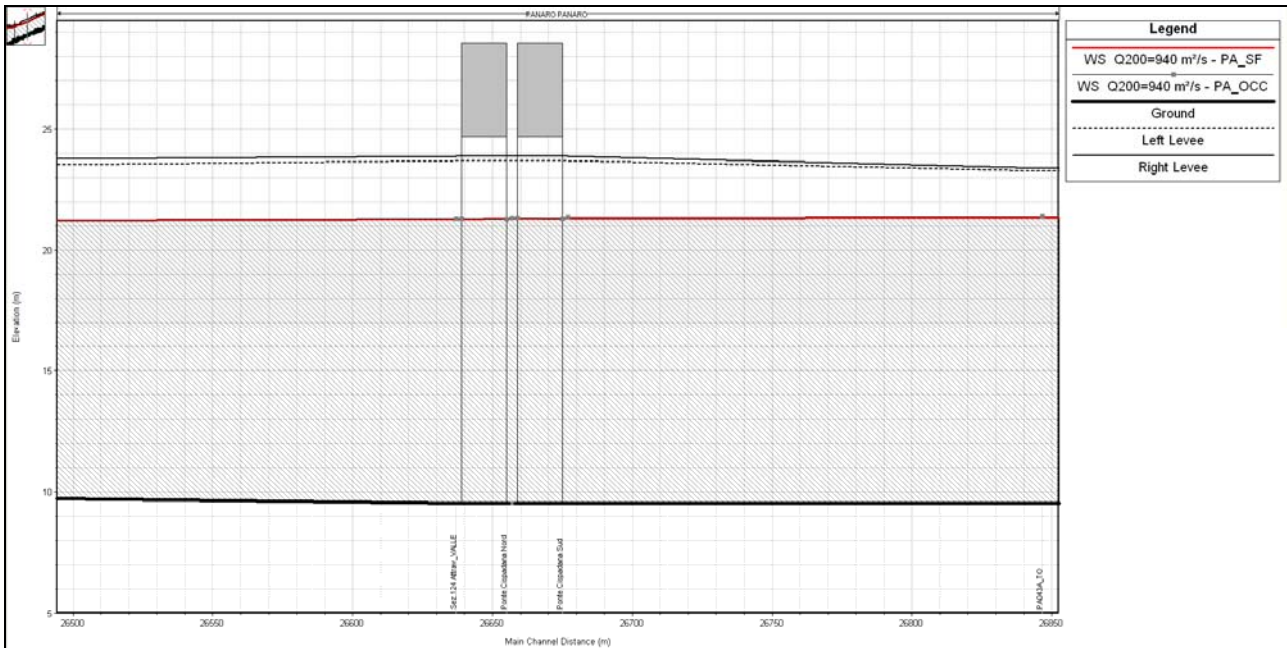


FIGURA 8-13: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURGITO TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 3 IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO DELLA VIABILITÀ AUTOSTRADALE.

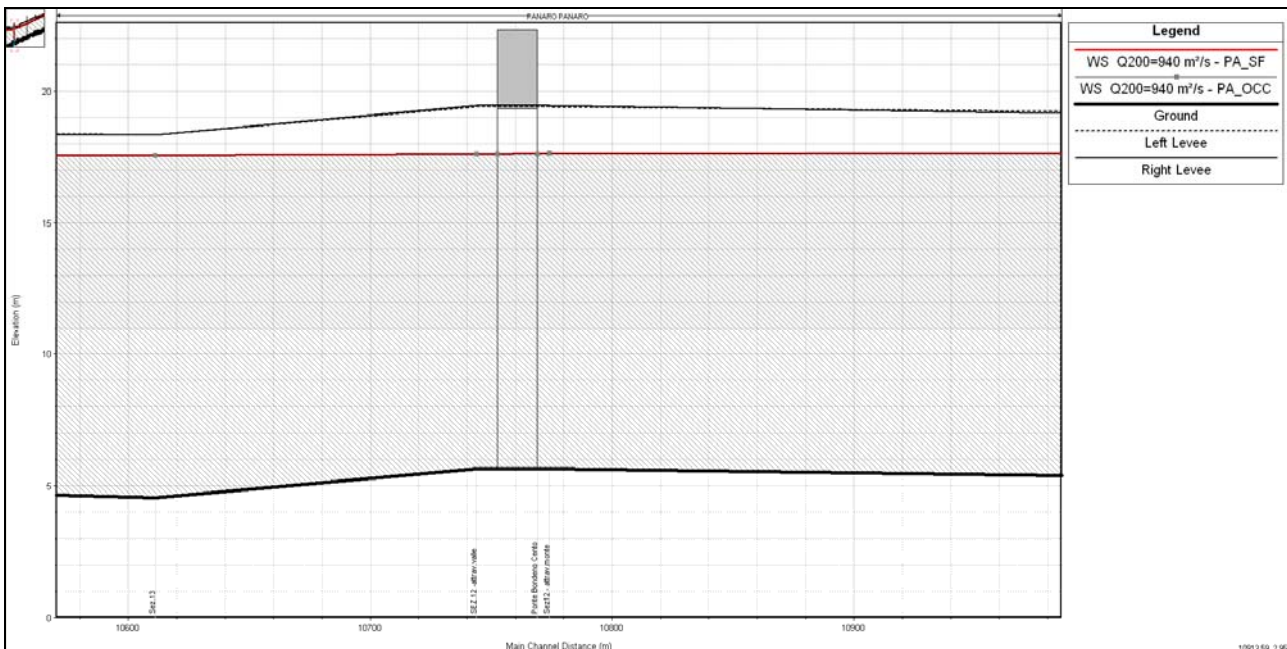


FIGURA 8-14: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURGITO TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 3 IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE.

Dai dati riportati in tabella si evince come, anche nel caso di occlusione dei ponti, gli incrementi dei profili di rigurgito a monte dei due viadotti risultano di entità modesta.

Per completezza si riportano in forma tabellare anche i risultati relativi alle simulazioni effettuate nello stato di fatto e in quello di progetto 2 per una portata con TR=100 del il F.Panaro.

Sezione Topografica	Progressiva	Quota del fondo	Q di progetto	Livelli idrometrici S.F.	Livelli idrometrici S.P.2	ΔH	Velocità S.F.	Velocità S.P.2	Pendenza	Carico totale S.F.	Carico totale S.P.2
	[m]	[m s.l.m.]	[m ³ /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m]	[m]
PA060	35511.50	11.39	880	24.20	24.21	0.01	1.85	1.85	-0.0002	24.37	24.37
PA059	34903.50	11.53	880	23.92	23.93	0.01	2.21	2.21	0.0008	24.15	24.16
PA058	34287.50	11.01	880	23.72	23.73	0.01	1.97	1.97	-0.0020	23.91	23.92
PA057	33796.50	11.98	880	23.52	23.53	0.01	2.09	2.09	0.0010	23.73	23.74
PA056	33162.50	11.37	880	23.31	23.32	0.01	2.00	1.99	0.0001	23.50	23.51
PA055	32598.50	11.33	880	23.04	23.05	0.01	2.21	2.21	-0.0001	23.28	23.29
PA054	32010.50	11.39	880	22.86	22.87	0.01	1.94	1.93	-0.0006	23.04	23.05
PA053	31492.50	11.70	880	22.48	22.49	0.01	2.59	2.59	0.0009	22.80	22.81
PA052	30965.50	11.20	880	22.47	22.49	0.02	1.42	1.41	0.0001	22.57	22.59
PA051	30361.50	11.12	880	22.26	22.27	0.01	1.87	1.86	0.0015	22.42	22.44
PA050	29713.50	10.16	880	21.95	21.97	0.02	2.20	2.19	-0.0051	22.19	22.20
PA049	29553.50	10.97	880	21.92	21.94	0.02	1.96	1.95	0.0036	22.11	22.13
PA048	29123.50	9.43	880	21.77	21.79	0.02	1.97	1.97	0.0002	21.96	21.98
PA047	28659.50	9.36	880	21.62	21.64	0.02	1.93	1.92	-0.0001	21.80	21.82
PA046	28117.50	9.44	880	21.52	21.54	0.02	1.53	1.52	-0.0006	21.64	21.66
PA045	27611.50	9.74	880	21.24	21.27	0.03	2.19	2.18	0.0012	21.48	21.50
PA044	27219.50	9.28	880	21.19	21.22	0.03	1.68	1.67	-0.0007	21.33	21.35
PA043A_TO	26846.50	9.54	880	21.14	21.17	0.03	1.46	1.45	0.0001	21.25	21.28
Sez.124 Attrav_MONTE	26677.00	9.52	880	21.11	21.14	0.03	1.47	1.46	0.0000	21.22	21.25
PONTE CISPADANA - Carr.Sud	26657.00	9.52	Bridge	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00
Sez. 124 Attrav	26657.00	9.52	880	21.11	21.13	0.02	1.47	1.47	0.0000	21.21	21.24
PONTE CISPADANA - Carr.Nord	26637.00	9.52	Bridge	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00
Sez.124 Attrav_VALLE	26637.00	9.52	880	21.10	21.12	0.02	1.47	1.47	-0.0015	21.21	21.23



PA043	26445.00	9.80	880	21.02	21.03	0.01	1.75	1.74	0.0020	21.17	21.18
PA042	25915.00	8.73	880	20.89	20.91	0.02	1.73	1.72	0.0006	21.04	21.06
PA041	25333.00	8.37	880	20.72	20.73	0.01	1.85	1.84	-0.0008	20.89	20.90
PA040	24717.00	8.88	880	20.49	20.49	0.00	2.06	2.06	0.0001	20.69	20.69
PA039	24023.00	8.82	880	20.34	20.34	0.00	1.63	1.63	0.0007	20.47	20.47
PA038	23456.00	8.44	880	20.12	20.12	0.00	1.94	1.94	0.0001	20.30	20.30
PA037	22946.00	8.40	880	20.15	20.15	0.00	0.91	0.91	-0.0008	20.19	20.19
PA036	22326.00	8.89	880	19.89	19.89	0.00	1.94	1.94	0.0013	20.08	20.08
PA035	21670.00	8.03	880	19.75	19.75	0.00	1.53	1.53	0.0012	19.86	19.87
PA034	21175.00	7.42	880	19.62	19.62	0.00	1.62	1.62	0.0010	19.75	19.75
PA033	20579.00	6.84	880	19.53	19.53	0.00	1.42	1.42	-0.0011	19.62	19.62
PA032	20017.00	7.48	880	19.41	19.41	0.00	1.56	1.56	0.0007	19.52	19.52
PA031	19479.00	7.10	880	19.28	19.28	0.00	1.66	1.66	-0.0001	19.41	19.41
PA030	19022.00	7.14	880	19.25	19.25	0.00	1.28	1.28	0.0008	19.32	19.33
PA029	18530.00	6.75	880	19.05	19.05	0.00	1.94	1.94	-0.0002	19.23	19.23
PA028	17947.00	6.85	880	18.94	18.94	0.00	1.66	1.66	0.0001	19.07	19.07
PA027	15337.00	6.60	880	18.30	18.30	0.00	1.86	1.86	-0.0008	18.46	18.46
PA026	14797.00	7.02	880	18.09	18.09	0.00	2.07	2.07	0.0038	18.29	18.30
PA025	14239.00	4.88	880	18.02	18.02	0.00	1.60	1.60	-0.0009	18.14	18.14
PA024	13501.00	5.58	880	17.74	17.75	0.01	2.14	2.14	0.0033	17.95	17.96
PA023	13115.00	4.32	880	17.72	17.72	0.00	1.58	1.58	0.0006	17.84	17.84
PA022	12520.00	3.99	880	17.55	17.55	0.00	1.94	1.94	0.0006	17.72	17.72
PA021	12024.00	3.68	880	17.49	17.50	0.01	1.56	1.56	-0.0019	17.61	17.61
PA020	11392.00	4.87	880	17.43	17.43	0.00	1.22	1.22	-0.0012	17.51	17.51
Sez12 - attraversamento	10774.00	5.64	880	17.37	17.37	0.00	1.10	1.10	0.0000	17.43	17.43
PONTE D08	10744.00	5.64	Bridge	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00
SEZ.12 - attraversamento valle	10744.00	5.64	880	17.37	17.37	0.00	1.10	1.10	0.0083	17.43	17.43
Sez.13	10611.00	4.54	880	17.32	17.32	0.00	1.40	1.40	-0.0026	17.41	17.41
PA019	10186.00	5.64	880	17.27	17.27	0.00	1.14	1.14	0.0022	17.33	17.33
PA018	9434.00	3.98	880	16.97	16.97	0.00	1.85	1.85	-0.0017	17.13	17.13
PA017	8754.00	5.16	880	16.76	16.76	0.00	1.54	1.54	0.0023	16.87	16.87

PA016	8574.00	4.75	880	16.66	16.66	0.00	1.70	1.70	0.0025	16.80	16.80
PA015	8046.00	3.42	880	16.36	16.36	0.00	1.98	1.98	0.0062	16.55	16.55
PA014	7748.00	1.56	880	16.24	16.24	0.00	1.87	1.87	0.0012	16.41	16.41
PA013	7228.00	0.93	880	16.25	16.25	0.00	0.76	0.76	0.0006	16.27	16.27
PA012	6872.00	0.73	880	16.21	16.21	0.00	0.87	0.87	-0.0059	16.24	16.24
PA011	6505.00	2.90	880	16.15	16.15	0.00	1.00	1.00	0.0021	16.19	16.19
PA010	5784.00	1.35	880	16.07	16.07	0.00	0.73	0.73	-0.0038	16.10	16.10
PA009	5300.00	3.20	880	16.05	16.05	0.00	0.63	0.63	0.0023	16.06	16.06
PA008	4427.00	1.17	880	16.04	16.04	0.00	0.17	0.17	0.0006	16.05	16.05
PA007	3896.00	0.87	880	16.04	16.04	0.00	0.18	0.18	-0.0012	16.04	16.04
PA006	3323.00	1.56	880	16.04	16.04	0.00	0.28	0.28	0.0005	16.04	16.04
PA005	2598.00	1.22	880	16.03	16.03	0.00	0.34	0.34	0.0002	16.03	16.03
PA004	1925.00	1.08	880	16.02	16.02	0.00	0.34	0.34	-0.0006	16.02	16.02
PA003	1064.00	1.57	880	16.01	16.01	0.00	0.26	0.26	0.0027	16.01	16.01
PA002	537.00	0.17	880	16.00	16.00	0.00	0.25	0.25	-0.0008	16.01	16.01
PA001	0.00	0.59	880	16.00	16.00	0.00	0.29	0.29	0.0000	16.00	16.00

TABELLA 8-4: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO 2 (S.P. 2) CON Q100 PANARO.

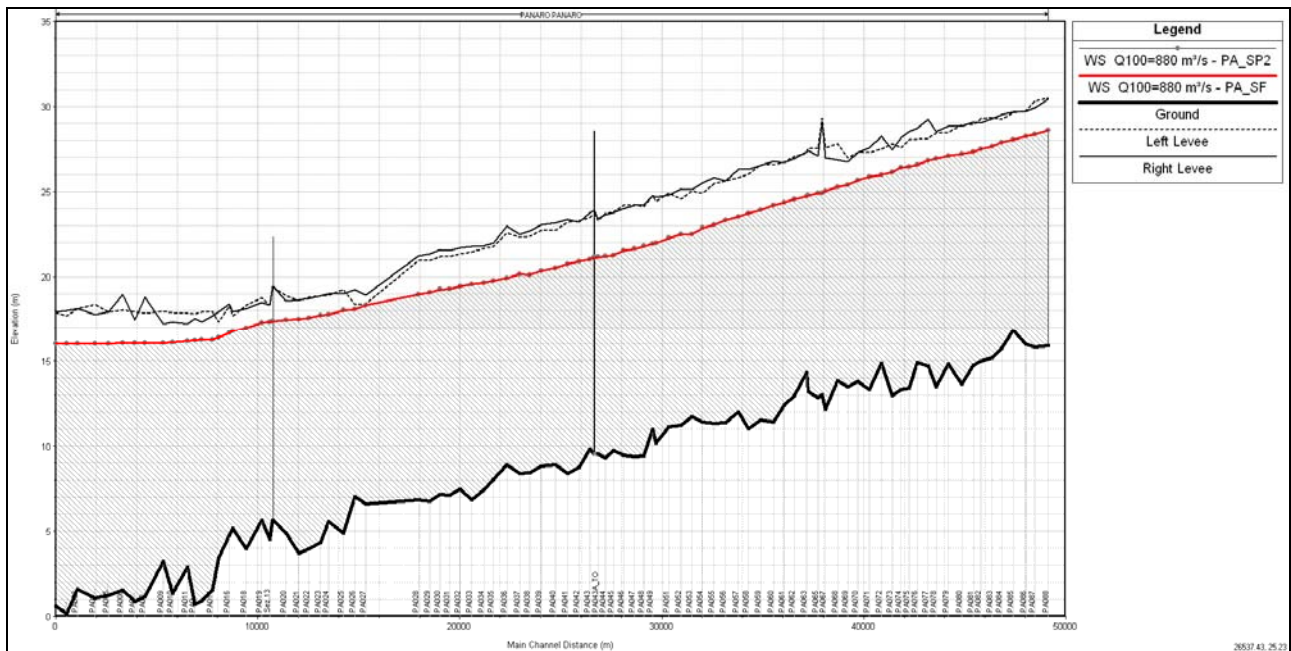


FIGURA 8-15 CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO PER TR=100 ANNI

Effetto E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo.

Fattori determinanti: riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale.

Le opere in progetto non comportano alcuna variazione delle superfici allagabili all'interno della fascia B.

Effetto E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti.

Fattori determinanti: localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto.

Modalità di quantificazione: valutazioni idrodinamiche sugli effetti idrodinamici indotti.

Gli stati di progetto 1 e 2 determinano lievi variazioni idrodinamiche delle caratteristiche della corrente di piena rispetto alla situazione attuale, i cui effetti sulle opere idrauliche esistenti verranno mitigati da opere di protezione di cui al punto successivo. Anche andando ad analizzare gli effetti dovuti alla parziale occlusione dell'area di deflusso della piena, non si osservano apprezzabili alterazioni degli idrodinamismi del fiume Panaro, come illustrato nella **TABELLA 8-2** e nella figura seguente.

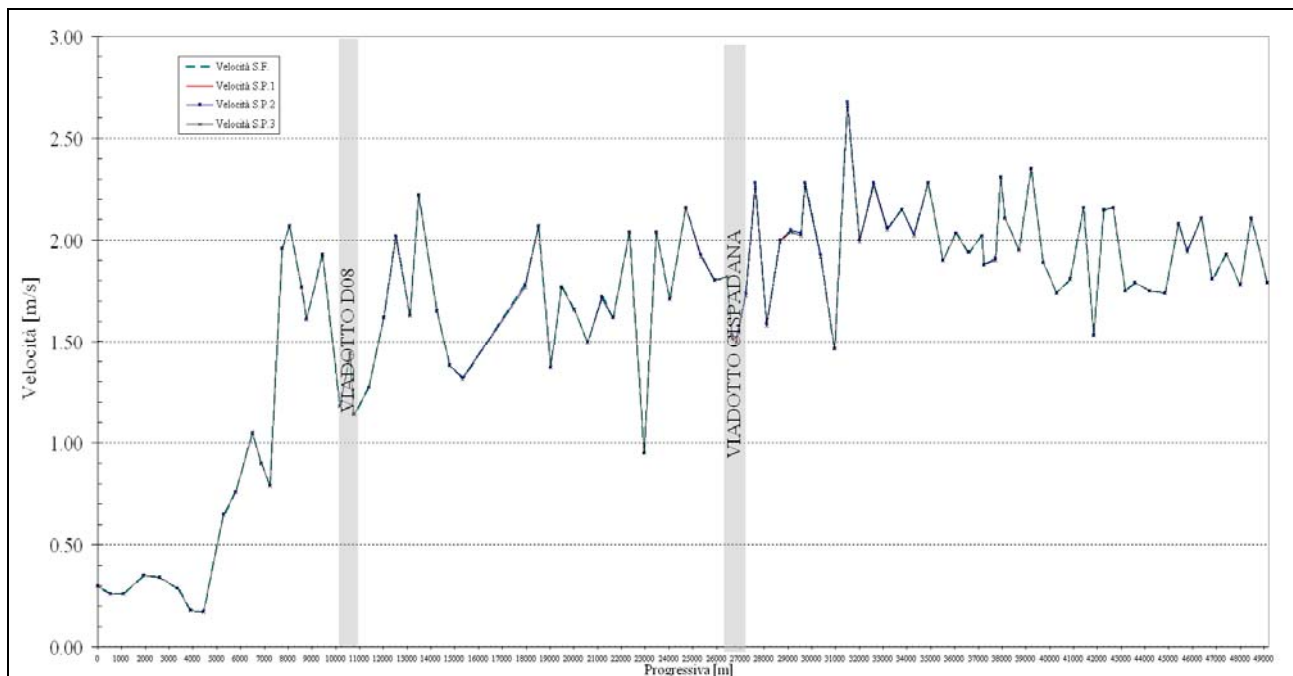


FIGURA 8-16: ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 E 2.

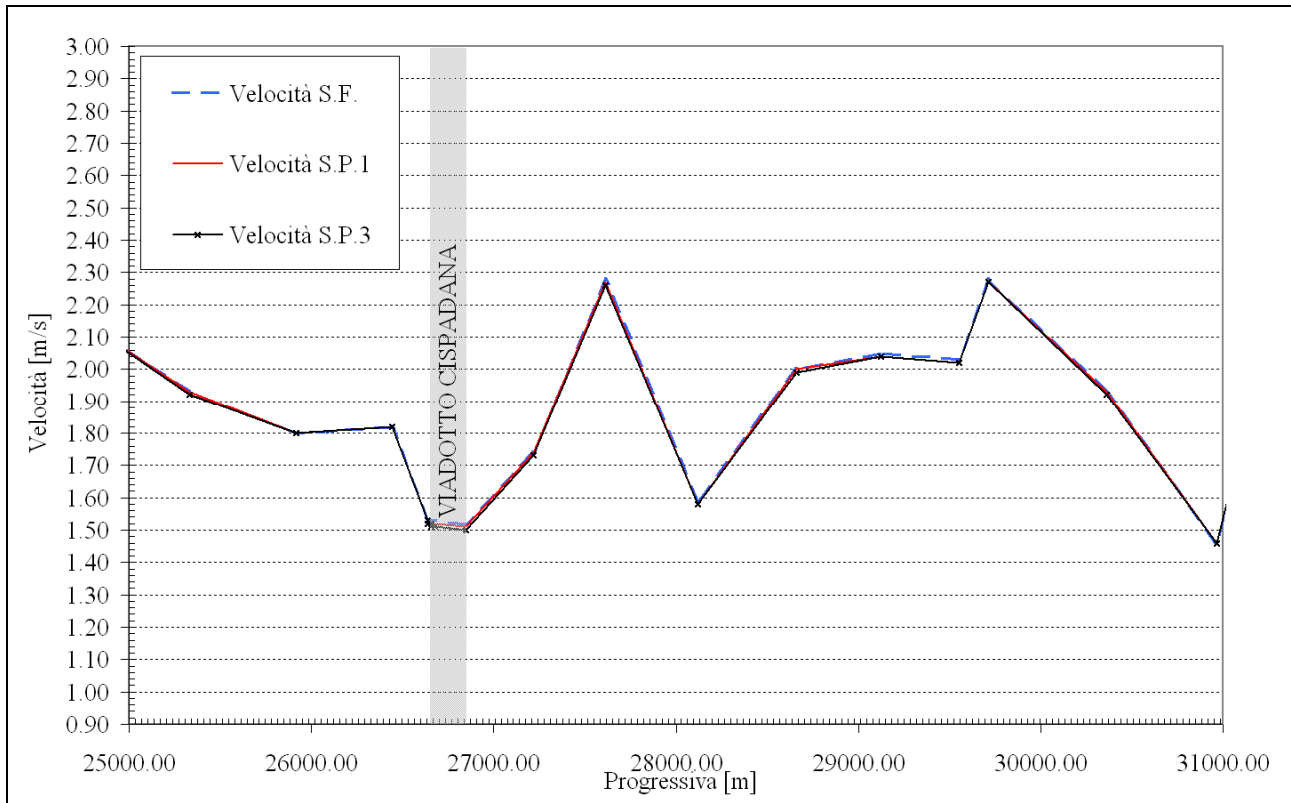


FIGURA 8-17: PARTICOLARE ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 E 3 PER IL VIADOTTO AUTOSTRADALE

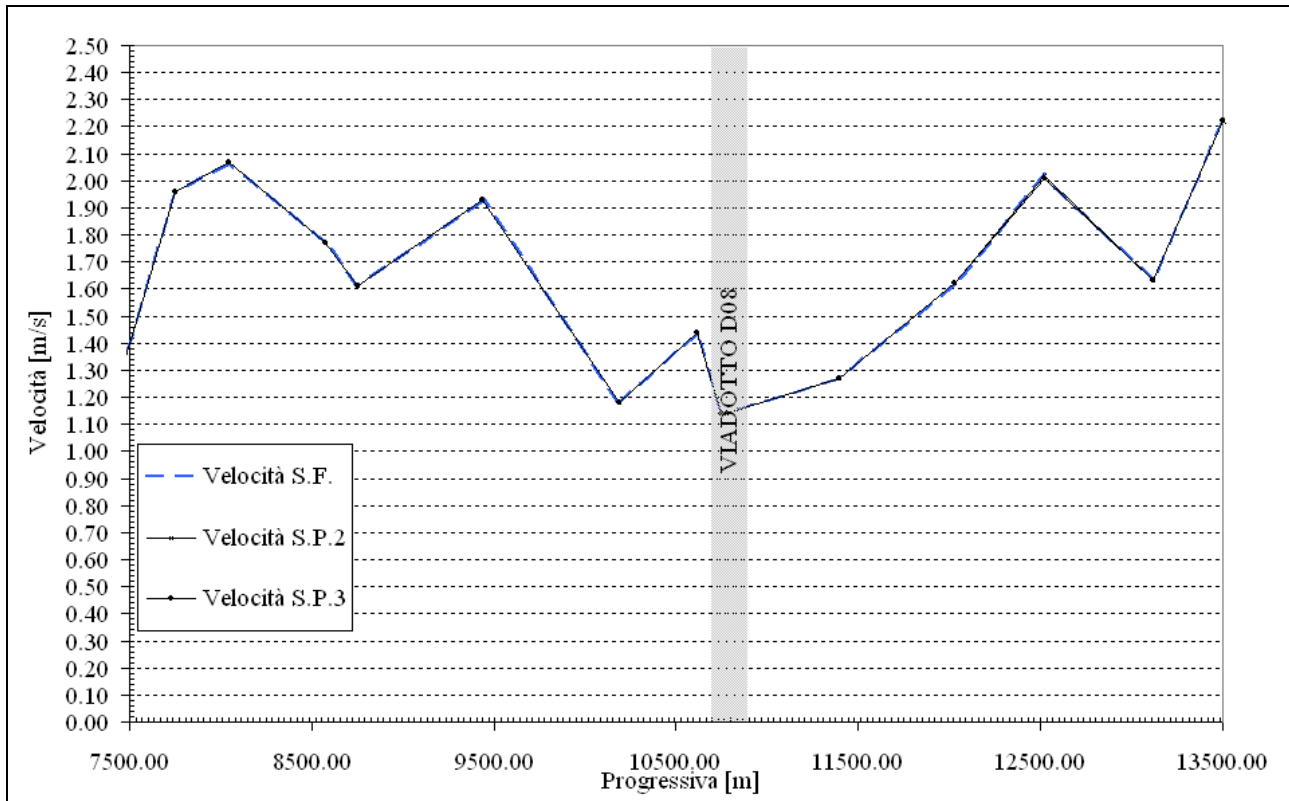


FIGURA 8-18: PARTICOLARE ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LA PORTATA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 2 E 3 PER IL VIADOTTO DELLA D08

Effetto E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento.

Si prevede la realizzazione opere accessorie di difesa spondale, opportunamente dimensionate al fine di proteggere le sponde e l'alveo da possibili erosioni localizzate e divagazioni, oltre che le arginature da erosioni dovute alla corrente ed all'eventuale ruscellamento delle acque piovane. Queste opere verranno descritte nel capitolo 9

Effetto E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena.

Non si segnala alcuna modifica sostanziale dal punto di vista planimetrico ne altimetrico dell'alveo ne in regime ordinario ne in piena.

Effetto E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Fattori determinanti: opere in progetto e soluzioni di inserimento delle stesse nel sistema fluviale.

L'inserimento dei ponti non implica una modificazione dell'attuale caratteristica ambientale della fascia fluviale.

Effetto E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Fattori determinanti:

- condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dell'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni;
- tipologia funzionale dell'intervento.

Per entrambe le opere di attraversamento, il franco tra l'intradosso del ponte ed il livello a tempo di ritorno 200 anni è adeguato in quanto superiore ai 2 m per oltre i 2/3 dell'impalcato.

8.4. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali

Scopo della verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali è di fornire indicazioni in merito alla progettazione ed alla verifica delle opere eseguite in fase di cantierizzazione sul Fiume Panaro durante i lavori di realizzazione dei viadotti in progetto, che interagiscono con l'idrodinamismo del fiume.

In particolari le analisi sono state suddivise nelle seguenti attività:

- Individuazione dei livelli idrometrici che si instaurano in funzione di piene con TR prefissato pari a 10 anni per la progettazione delle opere provvisionali;
- Programma delle fasi di cantierizzazione per stabilire le priorità nell'esecuzione delle opere relative all'attraversamento idraulico;
- Considerazioni conclusive in merito alla valutazione della compatibilità idraulica nella fase costruttiva dell'opera provvisionale.

Lo studio eseguito per verificare la compatibilità idraulica delle opere provvisionali con il deflusso delle acque è stato impostato nel rispetto della *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.*

Tale direttiva stabilisce che *i calcoli idraulici per la definizione delle condizioni di deflusso vanno condotti anche con riferimento alle fasi significative di costruzione dell'opera, tenendo in conto le opere provvisionali eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso di piena rispetto alla condizione di opera realizzata.* In questo caso il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera.

In realtà, e cautelativamente, si è pragmaticamente imposto come TR della piena di progetto delle opere provvisionali quella uguale a 10 anni. Si è quindi proceduto all'implementazione di una simulazione matematica in moto permanente finalizzata a comprendere la risposta dell'opera provvisoria alla sollecitazione di progetto. La procedura di calcolo consente di simulare, sullo scenario topografico noto, le condizioni secondo cui si propagano i fenomeni di piena nel tratto di alveo di interesse.

Ad integrazione delle analisi numeriche effettuate e descritte nel capitolo 8 per la verifica dei manufatti di attraversamento, sono state introdotte, sullo scenario morfologico attuale, le opere provvisorie interagenti con i corsi d'acqua. La simulazione è stata condotta inserendo la portata con TR=10 anni, in modo da definire le quote minime per lo stoccaggio di materiali e mezzi, per l'imposta delle opere provvisorie, per la realizzazione delle fondazioni in alveo e valutare la risposta del tratto di corso d'acqua in esame in presenza delle suddette opere.

Dal punto di vista modellistico, l'introduzione delle opere provvisorie sulla configurazione attuale, si traduce in una parzializzazione della sezione di deflusso in corrispondenza del manufatto di attraversamento.

Tutti i parametri idraulici di riferimento, ad eccezione delle portate, fanno riferimento alla configurazione stato di fatto.

Negli elaborati specialistici previsti nelle fasi successive della presente progettazione definitiva (in particolare nel P.S.C. e quindi nel P.O.S.) sarà obbligo, prima dell'inizio dei lavori e sempre nel rispetto della Direttiva citata e dei criteri sopra esposti, fissare i valori idrologici ai quali associare una precisa procedura di sospensione e sgombero del cantiere per singolo corso d'acqua in funzione delle opere provvisorie e di cantiere che l'impresa, a seconda delle proprie capacità e forze e del proprio cronoprogramma, sarà in grado di mettere in campo. Analogamente nella progettazione esecutiva delle opere provvisorie e di cantierizzazione sarà obbligo rispettare i criteri individuati nel presente Progetto e di attenersi alle norme in materia di sicurezza ed ai vincoli imposti da AIPO per la gestione del corso d'acqua. .

8.4.1. Individuazione dei livelli idrometrici

La portata di progetto è stata individuata sfruttando i dati riportati dall'AdBPO nella Direttiva Piena di Progetto già inseriti nella tabella 7 della presente relazione. Interpolando i dati attraverso l'utilizzo di una curva logaritmica è stata determinata la portata decennale Q_{TR10} pari a 730 m³/s.

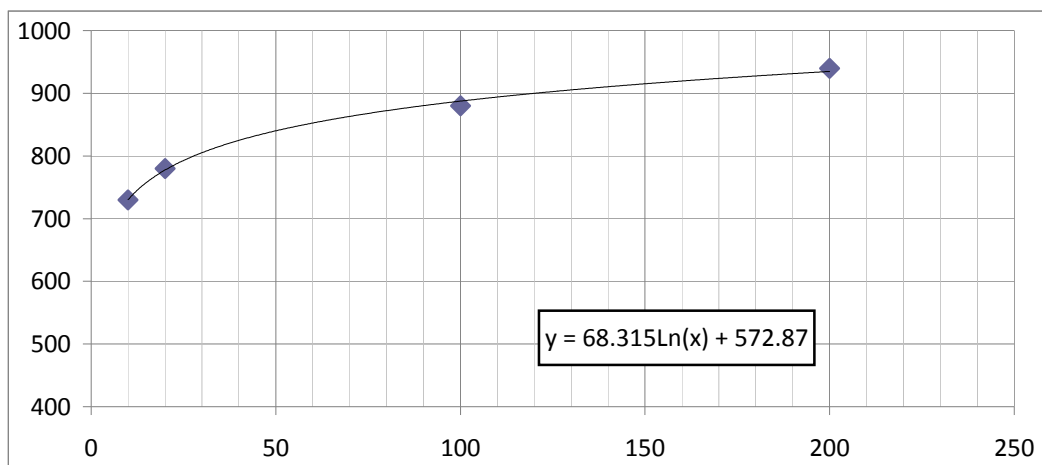


FIGURA 8-19 CURVA LOGARITMICA PER LA DETERMINAZIONE DELLA Q10

8.4.1.1. Ponte Autostradale

Applicando le stesse procedure di calcolo sopradescritte e considerando un onda di piena con TR=10 anni, si ottengono i livelli idrici del profilo di rigurgito in corrispondenza dell'attraversamento.

La quota di riferimento progettuale che si instaura nella condizioni di presenza di opere provvisionali e durante la propagazione di un onda di piena pari $Q_{10}=730$ m³/sec è uguale a 20.02 m slm.

Al fine di poter svolgere i lavori di realizzazione delle pile del ponte in condizioni di sicurezza idraulica si prevede di utilizzare delle palancole di protezione lato fiume infisse in modo che le quote di testa siano impostate a 20.52 m slm, cioè 50 cm più alte rispetto all'H10.

8.4.1.2. Ponte sulla Bondeno Cento

Procedendo con le medesime analisi sopra descritte e sempre durante la propagazione di un onda di piena con $Q_{10}=730$ m³/sec e con la presenza delle opere provvisionali, si ottiene che la quota di riferimento progettuale è uguale a 15.50 m slm.

Tutti i sistemi difensivi dei piani di lavoro, ottenuti tramite palancolature, dovranno pertanto emergere almeno fino a quota 16.00 m s.l.m, cioè 50 cm al di sopra dell'H10.

8.4.2. Fasi esecutive di cantierizzazione

Per entrambi i ponti le fasi di cantierizzazione previste sono le seguenti (rif. Tavv. PD_0_A30_AWS12_0_WW_FC_01_A e PD_0_D08_DPO10_0_WW_FC_01_A) :

- Fase 0: realizzazione dei ringrossi arginali e della difesa idraulica in massi fino al petto attraverso la metodologia descritta nel Cap.9. Una volta avvenuta la costipazione dei ringrossi arginali (previo avviso ad AIPO) si procede con le fasi successive.
- Fase 1: infissione delle palancole di protezione lato fiume e preparazione dei piani di lavoro. Esecuzione diaframmi idraulici.
- Fase 2: esecuzione delle opere strutturali.
- Fase 3: completamento delle opere di difesa idraulica.

8.4.3. Risultati simulazione

Per definire i livelli idrici nella configurazione di cantierizzazione si procede alla simulazione con riferimento alla portata di piena Q_{TR10} , sullo scenario stato di fatto con parzializzazione della sezione mediante infissione delle palancole lato fiume per la realizzazione dei ringrossi dei piani di lavoro. Nella tabella seguente si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite.

Sezione Topografica	Progressiva	Quota del fondo	Q di progetto	Livelli idrometri ci S.F.	Livelli idrometrici O.P.	ΔH	Velocità S.F.	Velocità O.P.	Pendenza	Carico totale S.F.	Carico totale O.P.
	[m]	[m s.l.m.]	[m ³ /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m]	[m]
PA060	35511.50	11.39	730	23.28	23.29	0.01	1.73	1.73	-0.0002	23.43	23.44
PA059	34903.50	11.53	730	23.00	23.01	0.01	2.08	2.07	0.0008	23.21	23.22
PA058	34287.50	11.01	730	22.80	22.81	0.01	1.86	1.85	-0.0020	22.97	22.98
PA057	33796.50	11.98	730	22.60	22.61	0.01	1.96	1.96	0.0010	22.79	22.80
PA056	33162.50	11.37	730	22.38	22.39	0.01	1.88	1.88	0.0001	22.55	22.56
PA055	32598.50	11.33	730	22.11	22.12	0.01	2.08	2.07	-0.0001	22.32	22.34
PA054	32010.50	11.39	730	21.92	21.94	0.02	1.82	1.82	-0.0006	22.09	22.10



PA053	31492.50	11.70	730	21.53	21.55	0.02	2.48	2.47	0.0009	21.83	21.85
PA052	30965.50	11.20	730	21.51	21.53	0.02	1.35	1.34	0.0001	21.60	21.62
PA051	30361.50	11.12	730	21.29	21.31	0.02	1.77	1.76	0.0015	21.44	21.46
PA050	29713.50	10.16	730	20.98	21.01	0.03	2.09	2.08	-0.0051	21.19	21.22
PA049	29553.50	10.97	730	20.95	20.97	0.02	1.86	1.85	0.0036	21.12	21.14
PA048	29123.50	9.43	730	20.79	20.81	0.02	1.87	1.87	0.0002	20.96	20.99
PA047	28659.50	9.36	730	20.62	20.65	0.03	1.84	1.83	-0.0001	20.79	20.81
PA046	28117.50	9.44	730	20.51	20.54	0.03	1.46	1.45	-0.0006	20.61	20.64
PA045	27611.50	9.74	730	20.23	20.27	0.04	2.09	2.08	0.0012	20.45	20.48
PA044	27219.50	9.28	730	20.16	20.19	0.03	1.61	1.61	-0.0007	20.29	20.32
PA043A_TO	26846.50	9.54	730	20.10	20.14	0.04	1.40	1.39	0.0001	20.20	20.24
Sez.124 Attrav_MONTE	26677.00	9.52	730	20.06	20.02	-0.04	1.44	1.83	0.0000	20.17	20.19
Sez. 124 Attrav	26657.00	9.52	730	20.06	20.01	-0.05	1.44	1.83	0.0000	20.16	20.18
Sez.124 Attrav_VALLE	26637.00	9.52	730	20.05	20.01	-0.04	1.44	1.83	-0.0015	20.16	20.18
PA043	26445.00	9.80	730	19.97	19.97	0.00	1.68	1.68	0.0020	20.11	20.11
PA042	25915.00	8.73	730	19.83	19.83	0.00	1.65	1.65	0.0006	19.97	19.97
PA041	25333.00	8.37	730	19.65	19.65	0.00	1.76	1.76	-0.0008	19.80	19.81
PA040	24717.00	8.88	730	19.40	19.40	0.00	1.98	1.98	0.0001	19.59	19.59
PA039	24023.00	8.82	730	19.22	19.23	0.01	1.57	1.57	0.0007	19.35	19.35
PA038	23456.00	8.44	730	18.98	18.99	0.01	1.89	1.89	0.0001	19.16	19.16
PA037	22946.00	8.40	730	18.99	18.99	0.00	0.93	0.93	-0.0008	19.03	19.03
PA036	22326.00	8.89	730	18.69	18.69	0.00	2.00	2.00	0.0013	18.89	18.89
PA035	21670.00	8.03	730	18.51	18.51	0.00	1.52	1.52	0.0012	18.62	18.63
PA034	21175.00	7.42	730	18.35	18.36	0.01	1.61	1.61	0.0010	18.48	18.49
PA033	20579.00	6.84	730	18.23	18.24	0.01	1.42	1.42	-0.0011	18.33	18.34
PA032	20017.00	7.48	730	18.09	18.10	0.01	1.57	1.57	0.0007	18.21	18.21
PA031	19479.00	7.10	730	17.95	17.95	0.00	1.64	1.64	-0.0001	18.08	18.08
PA030	19022.00	7.14	730	17.90	17.90	0.00	1.27	1.27	0.0008	17.97	17.98
PA029	18530.00	6.75	730	17.68	17.69	0.01	1.90	1.90	-0.0002	17.86	17.87
PA028	17947.00	6.85	730	17.55	17.56	0.01	1.64	1.63	0.0001	17.68	17.69
PA027	15337.00	6.60	730	16.75	16.76	0.01	1.88	1.88	-0.0008	16.92	16.93

PA026	14797.00	7.02	730	16.48	16.49	0.01	2.14	2.13	0.0038	16.70	16.71
PA025	14239.00	4.88	730	16.37	16.38	0.01	1.61	1.61	-0.0009	16.50	16.51
PA024	13501.00	5.58	730	16.03	16.05	0.02	2.20	2.20	0.0033	16.26	16.27
PA023	13115.00	4.32	730	15.99	16.00	0.01	1.60	1.60	0.0006	16.12	16.13
PA022	12520.00	3.99	730	15.78	15.79	0.01	1.99	1.98	0.0006	15.96	15.97
PA021	12024.00	3.68	730	15.70	15.71	0.01	1.59	1.59	-0.0019	15.81	15.83
PA020	11392.00	4.87	730	15.59	15.61	0.02	1.28	1.28	-0.0012	15.68	15.70
Sez12 - attravers.monte	10774.00	5.64	730	15.50	15.49	-0.01	1.15	1.32	0.0000	15.57	15.57
SEZ.12 -attrav.valle	10744.00	5.64	730	15.50	15.48	-0.02	1.15	1.32	0.0083	15.56	15.57
Sez.13	10611.00	4.54	730	15.42	15.42	0.00	1.54	1.54	-0.0026	15.53	15.53
PA019	10186.00	5.64	730	15.34	15.34	0.00	1.20	1.20	0.0022	15.41	15.41
PA018	9434.00	3.98	730	14.91	14.91	0.00	2.01	2.01	-0.0017	15.11	15.11
PA017	8754.00	5.16	730	14.55	14.55	0.00	1.69	1.69	0.0023	14.69	14.69
PA016	8574.00	4.75	730	14.38	14.38	0.00	1.97	1.97	0.0025	14.57	14.57
PA015	8046.00	3.42	730	13.80	13.80	0.00	2.31	2.31	0.0062	14.06	14.06
PA014	7748.00	1.56	730	13.55	13.55	0.00	2.13	2.13	0.0012	13.78	13.78
PA013	7228.00	0.93	730	13.42	13.42	0.00	1.09	1.09	0.0006	13.47	13.47
PA012	6872.00	0.73	730	13.30	13.30	0.00	1.24	1.24	-0.0059	13.37	13.37
PA011	6505.00	2.90	730	13.10	13.10	0.00	1.59	1.59	0.0021	13.22	13.22
PA010	5784.00	1.35	730	12.68	12.68	0.00	1.28	1.28	-0.0038	12.74	12.74
PA009	5300.00	3.20	730	12.45	12.45	0.00	1.29	1.29	0.0023	12.51	12.51
PA008	4427.00	1.17	730	12.37	12.37	0.00	0.43	0.43	0.0006	12.38	12.38
PA007	3896.00	0.87	730	12.33	12.33	0.00	0.47	0.47	-0.0012	12.34	12.34
PA006	3323.00	1.56	730	12.20	12.20	0.00	1.10	1.10	0.0005	12.24	12.24
PA005	2598.00	1.22	730	11.99	11.99	0.00	1.07	1.07	0.0002	12.03	12.03
PA004	1925.00	1.08	730	11.81	11.81	0.00	1.21	1.21	-0.0006	11.86	11.86
PA003	1064.00	1.57	730	11.65	11.65	0.00	0.81	0.81	0.0027	11.67	11.67
PA002	537.00	0.17	730	11.57	11.57	0.00	0.74	0.74	-0.0008	11.59	11.59
PA001	0.00	0.59	730	11.33	11.33	0.00	1.56	1.56	0.0000	11.45	11.45

TABELLA 8-5: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E CON PRESENZA DI OPERE PROVVISORIALI (O.P.) CON Q10 PANARO.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nella configurazione stato di fatto (linea rossa) e stato con opere provvisionali in corrispondenza dei ponti in progetto.

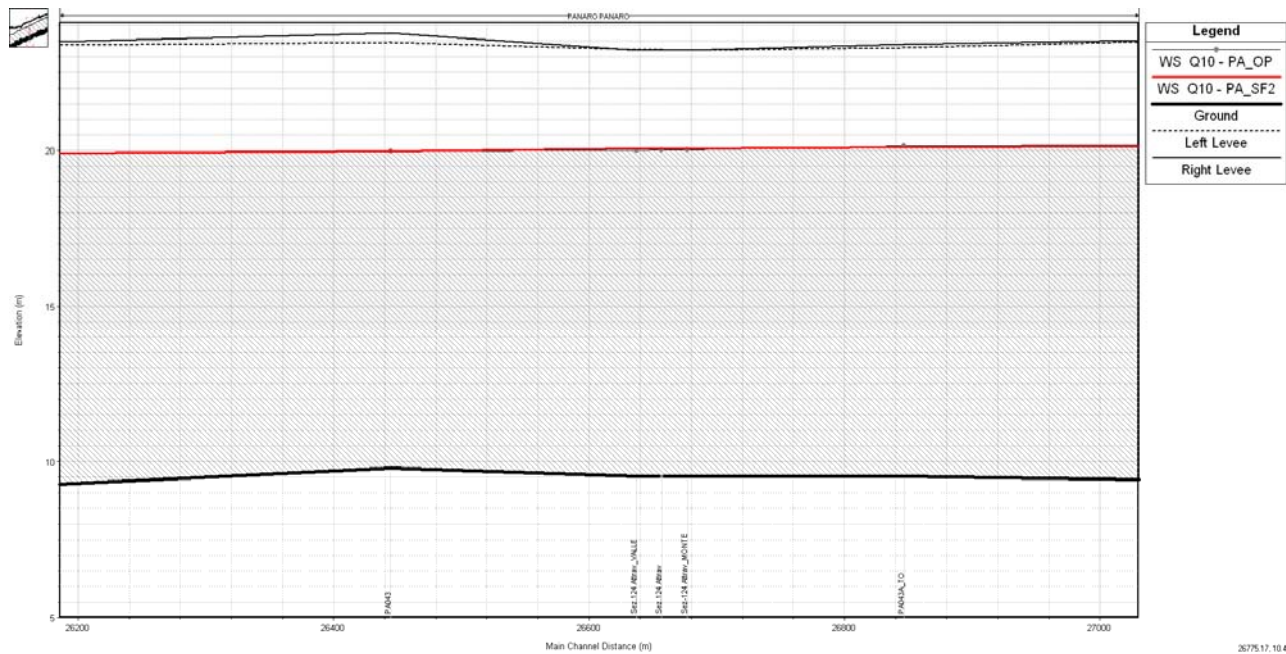


FIGURA 8-20 - CONFRONTO TRA IL PROFILO DI RIGURGITO DELLA CONFIGURAZIONE STATO DI FATTO E STATO CON OPERE PROVVISORIALI PER IL VIADOTTO AUTOSTRADALE

Data la modesta parzializzazione della sezione di deflusso in corrispondenza della realizzazione del ponte autostradale rispetto alla sua ampiezza complessiva, dovuta alla formazione dei ringrossi dei piani di lavoro, viene generata una variazione dei profili di rigurgito rispetto allo stato di fatto pari a 4-5 cm.

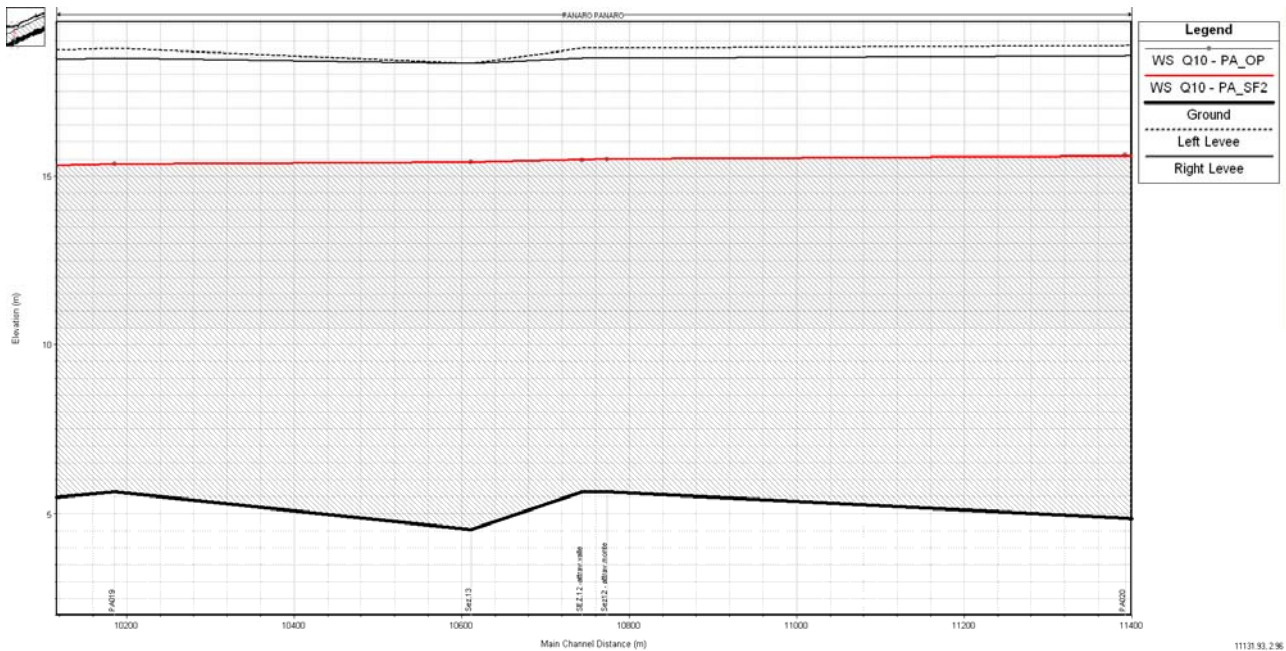


FIGURA 8-21 CONFRONTO TRA IL PROFILO DI RIGURGITO DELLA CONFIGURAZIONE STATO DI FATTO E STATO CON OPERE PROVVISORIALI PER IL VIADOTTO BONDENO-CENTO

Anche per il viadotto della Bondeno-Cento con la parzializzazione della sezione di deflusso dovuta alle opere provvisorie viene generata solo una lieve variazione dei profili di rigurgito rispetto allo stato di fatto pari a 2 cm.

8.4.4. Considerazioni conclusive

Mediante le valutazioni numeriche sopra illustrate, è stato possibile verificare le opere provvisorie da attuare per entrambi gli attraversamenti stradali previsti sul Fiume Panaro

Le considerazioni conclusive che dovranno essere rispettate durante le diverse fasi di lavoro sono le seguenti:

- tutte le aree destinate allo stoccaggio provvisorio di materie, e quindi anche di materiali inerti provenienti da movimenti terra effettuati in ambito di cantiere, dovranno risultare esterne ai corpi arginali, fatto salvo il pietrame per il successivo ed immediato reimpiego;
- le aree destinate allo stoccaggio di sostanze idroinquinanti come i serbatoi di stoccaggio di materie contaminanti o potenzialmente contaminanti, dovranno essere ubicati esternamente ai corpi arginali;
- le quote di testa delle palancole lato fiume (ove previste) e le quote di imposta dei piani di lavoro (ove non previste le palancole) non dovranno essere inferiori a 20.52 m s.l.m. per il ponte autostradale

e 16.00 m slm per il ponte sulla Bondeno Cento, al fine di garantire un franco pari a 50 cm rispetto al livello idrometrico corrispondente ad un onda di piena con TR=10 anni, garantendo la sicurezza del personale operante in tale area.

- nell'ambito del Progetto Esecutivo dovrà essere redatto apposito Piano di Sicurezza contenente tutte le procedure da prendersi per minimizzare qualunque rischio alle persone, alle macchine operatrici ed ai corpi arginali

Durante la fase di cantiere si prescrive di effettuare regolarmente un attento monitoraggio dei dati pluviometrici e idrometrici visualizzabili in tempo reale dal sito internet dell'ARPA Emilia Romagna, Servizio IdroMeteoClima (<http://www.arpa.emr.it/sim/?idrologia>) ed in costante contatto con i tecnici AIPO (Ufficio Operativo di Parma e Modena). Lungo l'asta del Fiume Panaro si possono visualizzare, in tempo reale i livelli idrometrici rilevati nelle stazioni idrometriche di Bomporto e Camposanto. Il monitoraggio si completa con un attento controllo delle previsioni meteo.

8.5. Valutazione della capacità di trasporto solido e dei fenomeni erosivi generalizzati e localizzati nel tratto interessato dalle opere

La presenza in un qualunque alveo fluviale di pile o corpi interagenti con il dinamismo del fiume, comporta inevitabilmente una variazione geometrica della sezione fluviale e quindi aumenti di velocità localizzati causati dall'addensamento delle linee di corrente attorno alle pile stesse.

Questo fenomeno provoca l'instaurarsi di masse vorticose, a forma di ferro di cavallo, attorno alle pile e può generare importanti processi di erosione localizzati che si formano durante la fase di crescita dell'onda di piena, per poi invertirsi durante la successiva fase calante.

Tali fenomeni devono essere opportunamente indagati al fine di determinare la quota a cui impostare le fondazioni delle strutture, in modo tale che le stesse non siano interessate, a causa dell'erosione, da fenomeni di scalzamento alla base.

Per il Panaro si sono presi in considerazione i processi erosivi che possono riguardare le pile dei due viadotti in esame poste in alveo e ci si è posti nella situazione cautelativa in cui questi processi possano essere influenzati da fattori esterni al ponte e che, in caso estremo potrebbero interessare le stesse fondazioni.

Nel viadotto autostradale le pile P1-P2 sono in posizione golenale e il collasso improvviso del petto dell'alveo (soprattutto in sponda destra) potrebbe comportare la messa a contatto dei diaframmi strutturali di sostegno delle pile in progetto con l'idrodinamismo del fiume, variando la geometria della sezione fluviale. Questa condizione estrema, porterebbe ad una alterazione del normale deflusso provocando aumenti di velocità localizzati attorno alle pile causati dall'addensamento delle linee di corrente.

Anche nel viadotto della viabilità di adduzione le pile P1 e P2 sono in posizione golenale e il collasso del petto d'alveo porterebbe la messa a contatto dei diaframmi di fondazione delle pile in progetto con l'idrodinamismo fluviale, portando ad alterazioni del normale deflusso.

L'erosione localizzata risulta tanto più marcata quanto più sono elevati i tiranti idrici e la velocità della corrente e quanto più è minuta la pezzatura del materiale incoerente costituente il fondo alveo; le escavazioni più significative si verificano in occasione del transito delle piene.

Il processo erosivo può essere schematizzato come il sovrapporsi di quattro tipi di fenomeni:

- escavazione naturale del fiume,
- escavazione dovuta al restringimento della sezione di deflusso,
- escavazione localizzata attorno alle pile del ponte,
- erosione regressiva dovuta all'abbassamento del thalweg del Fiume Po e quindi abbassamento del letto del F. Panaro

Il primo tipo di escavazione è solitamente legato ai fenomeni di trasporto solido che si verificano durante le piene ed in generale sono piuttosto contenuti. Il secondo tipo di erosione è principalmente funzione, oltre che delle caratteristiche idrodinamiche del fiume, del rapporto tra la larghezza ristretta e la larghezza originaria della sezione; quanto più questo è prossimo all'unità, tanto minori sono gli effetti del restringimento sui processi di deflusso ed erosione. I valori di escavazione dovuti a questi due processi sono, per alvei come quello in oggetto, solitamente riconducibile alle normali variazioni delle forme di fondo.

I processi erosivi più intensi sono invece quelli localizzati attorno alle pile (terzo tipo) e sono principalmente funzione di:

- forma e dimensione delle pile,
- angolo tra la corrente indisturbata e la pila,
- velocità della corrente, velocità critica e tirante idrico,
- caratteristiche dei sedimenti e loro granulometria.

La profondità di scavo massima è determinabile tramite l'applicazione di formule empiriche, disponibili nella letteratura scientifica, derivanti dai risultati di indagini sperimentali.

Per l'analisi in questione si è adottata la formula empirica sottoriportata, detta Metodo Breusers, Nicolle e Shen, largamente diffusa nelle applicazioni tecniche:

$$d_s/s = f_1(v_0/v_c) [2 \tanh(y_0/s)] f_2 f_3(\alpha, l/s)$$

dove:

l = lunghezza della pila,

s = larghezza della pila,

d_s = profondità di scavo,

v_0 = velocità media della corrente,

v_c = velocità critica di trascinamento,

α = angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila,

f_1 = coefficiente sperimentale, legato al rapporto tra la velocità della corrente e la velocità critica di trascinamento,

f_2 = coefficiente di forma,

f_3 = coefficiente funzione dell'angolo di attacco della corrente,

y_0 = tirante idrico.

Il coefficiente sperimentale f_1 viene determinato in funzione del rapporto tra la velocità media della corrente indisturbata v_0 e la velocità critica di trascinamento v_c , definita come la velocità alla quale inizia il movimento del materiale di fondo di diametro d e peso specifico γ_s . Per i miscugli eterogenei di clasti di forma differente solitamente si utilizza come diametro d il d_{50} ovvero il diametro per passante in peso superiore al 50%.

La velocità critica è la velocità di incipiente movimento per la quale si è adottata la seguente espressione:

$$v_c = 0,85 [2gd(\gamma_s - \gamma)/\gamma]^{1/2}$$

con:

v_c = velocità critica,

g = accelerazione di gravità,

d = diametro d_{50} dei grani,

γ_s = peso specifico del materiale di fondo,

γ = peso specifico dell'acqua.

I coefficienti f assumono i valori di seguito descritti:

$$f_1(v_0/v_c)=0 \quad \text{per} \quad v_0/v_c = 0,5$$

$$f_1(v_0/v_c)=2v_0/v_c-1 \quad \text{per} \quad 0,5 < v_0/v_c \leq 1,0$$

$$f_1(v_0/v_c)=1 \quad \text{per} \quad v_0/v_c > 1,0$$

Il coefficiente f_2 di forma tiene conto dell'impatto delle pile con la corrente in alveo; vale:

$f_2 = 1,00$ per pile circolari o con fronti arrotondate,

$f_2 = 0,75$ per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente,

$f_2 = 1,30$ per pile rettangolari.

Le pile del viadotto autostradale in progetto sono previste a fusto unico aventi sezione di forma ellittica di altezza totale pari a 8.13 m e 7.76 m per le Pile P1 e 9.44 m per le Pile P2. I plinti di fondazione presentano forma planimetrica rettangolare di lati pari a 7.8 m e 13.3 m e spessore pari a 1.5 m. Ogni plinto è poi collegato a 16 diaframmi in c.a. realizzati in opera aventi sezione rettangolare di lati 2.50 m x 1.00 m e lunghezza totale pari a 30.0 m.

Lato Fiume Panaro, in continuità ai diaframmi strutturali che sottofondano le pile, viene realizzata una cortina di diaframmi idraulici di lunghezza 18 m aventi funzione di protezione antiscazzamento per le pile stesse.

Le pile del viadotto della viabilità di adduzione presentano sempre fusto ellittico con spessore massimo di 240 cm e lunghezza di 790 cm. Le due pile hanno altezza analoga di 10.00 ml.

Il fusto è vincolato ad una soletta di dimensioni di 13.00 ml * 7.50 ml e spessore 150 cm appoggiata ad un cassone di diaframmi in calcestruzzo di dimensioni 250 cm * 100 cm e lunghezza 40.00 ml.

L'asse del viadotto autostradale forma con l'ortogonale al fiume un angolo pari a 9° e il valore del d_{50} da adottare in questo caso risulta essere pari a 0.00008 m.

L'asse del viadotto della viabilità di adduzione D08 forma invece con l'ortogonale al fiume un angolo pari a 15° e come d_{50} si assume sempre il valore di 0.00008 m.

I coefficienti f assumono i seguenti valori per le pile di entrambi i ponti:

$f_1 = 1$, in quanto la velocità media della corrente risulta essere sempre superiore alla velocità critica di trascinamento;

$f_2 = 1.3$ in quanto nell'analisi è stata considerata l'ipotesi cautelativa in cui l'erosione interessa il diaframma strutturale;

$f_3 = 1$

Il valore di erosione massima attendibile d_s per un dato evento di piena rappresenta l'escavazione massima che si può avere attorno alle pile **durante** l'evento di piena: durante la fase calante della piena si assiste ad un parziale riempimento di tale erosione, pertanto a piena conclusa non si riesce ad evincere quale sia stata

effettivamente la profondità massima di scavo raggiunta durante l'evento.

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi condotta eseguita adottando come tempo di ritorno $TR=200$ anni, portata $Q_{200}=940\text{ m}^3/\text{s}$ e coefficiente di scabrezza (Strickler) $C=22-26\text{ m}^{1/3}\text{ s}^{-1}$.

Fiume Panaro_Ponte Autostradale			
Metodo Breusers, Nicollet e Shen			
Calcolo erosione massima alla base delle pile del ponte			
	$Q_{200}=$	940	m^3/s
			Ponte in progetto
			Pile P1-P2
velocità media	v_0	m/s	1.55
tirante idrico	y_0	m	4.00
diametro	d_{50}	m	0.00008
gravità	g	m^2/s	9.81
peso specifico grani	γ_s	kg/m^3	1800
peso specifico acqua	γ_w	kg/m^3	1000
velocità critica di trascinamento	v_c	m/s	0.030
rapporto velocità	v_0/v_c	-	51.460
angolo corrente-pila	α	$^\circ$	9
diametro o larghezza pila	s	m	7.8
lunghezza pila	l	m	13.3
rapporto larghezza/lunghezza	l/s		1.71
$f1$		-	1
$f2$		-	1.3
$f3$		-	1
erosione massima (pila singola)	ds	m	9.575

TABELLA 8-6: DATI RELATIVI AL CALCOLO DELL'EROSIONE MASSIMA ALLA BASE DELLE PILE P1- P2 DEL PONTE AUTOSTRADALE.

Fiume Panaro_Ponte Bondeno Cento			
Metodo Breusers, Nicollet e Shen			
Calcolo erosione massima alla base delle pile del ponte			
	$Q_{200} =$	940	m^3/s
			Ponte in progetto
			Pile P1-P2
velocità media	v_0	m/s	1.14
tirante idrico	y_0	m	5.30
diametro	d_{50}	m	0.00008
gravità	g	m^2/s	9.81
peso specifico grani	γ_s	kg/m^3	1800
peso specifico acqua	γ_w	kg/m^3	1000
velocità critica di trascinamento	v_c	m/s	0.030
rapporto velocità	v_0/v_c	-	37.848
angolo corrente-pila	α	$^\circ$	15.5
diametro o larghezza pila	s	m	7.5
lunghezza pila	l	m	13
rapporto larghezza/lunghezza	l/s		1.73
$f1$		-	1
$f2$		-	1.3
$f3$		-	1
erosione massima (pila singola)	ds	m	11.867

TABELLA 8-7: DATI RELATIVI AL CALCOLO DELL'EROSIONE MASSIMA ALLA BASE DELLE PILE P1- P2 DEL PONTE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE.

Il Metodo Breusers, Nicollet e Shen tende a sovrastimare i valori di erosione massima attendibile d_s , in quanto ipotizza che il materiale costituente il fondo alveo sia completamente disomogeneo.

Esistono tuttavia altri metodi empirici per il calcolo dell'erosione localizzata alla base delle pile.

La letteratura presenta analoghi modelli sempre di carattere empirico o semi-empirico basati sui dati sperimentali per la previsione del valore massimo della profondità di scavo a monte delle pile circolari ed in condizioni di acque chiare e sedimento uniforme. Tali equazioni fanno riferimento ad un medesimo schema, in cui la profondità della fossa d'erosione S risulta crescente sia con l'incremento del tirante idrico y_0 che con la larghezza della pila b .

Le formule sperimentali più note riportate in letteratura e che ricoprono un ampio spettro delle principali grandezze geometriche, cinematiche e dinamiche da cui il fenomeno dipende, sono basate su esperienze di laboratorio con riferimento ad una singola pila cilindrica, in condizioni di velocità prossima a quella limite per

l'inizio del movimento del materiale di fondo. Le formulazioni più note oltre a quella sopra rappresentata sono di seguito riportate.

Secondo Veiga da Cugna (1956-70) (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,35b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,3}$$

Secondo Hancu (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,66b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,13}$$

Secondo Coleman (1971)

$$S = 1,49b^{0,9} \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{0,1}$$

Secondo Remedea (1984)

$$S = 1,42b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,15}$$

Secondo Shen (riportato da Breusers et al., 1977)

$$S = 1,35b \left(\frac{Y_0}{b} \right)^{0,2}$$

Tali formulazioni, tutte espresse in funzione della larghezza della pila, sono usualmente in discreto accordo con i risultati sperimentali di laboratorio e spesso conducono a valutazioni molto diverse fra loro. Inoltre, esse non prendono in considerazione gli effetti dell'evoluzione temporale del fenomeno di scalzamento.

Le formulazioni empiriche sopra riportate sono state applicate adottando le grandezze idrodinamiche desunte dalla modellistica di dettaglio descritta nel capitolo precedente.

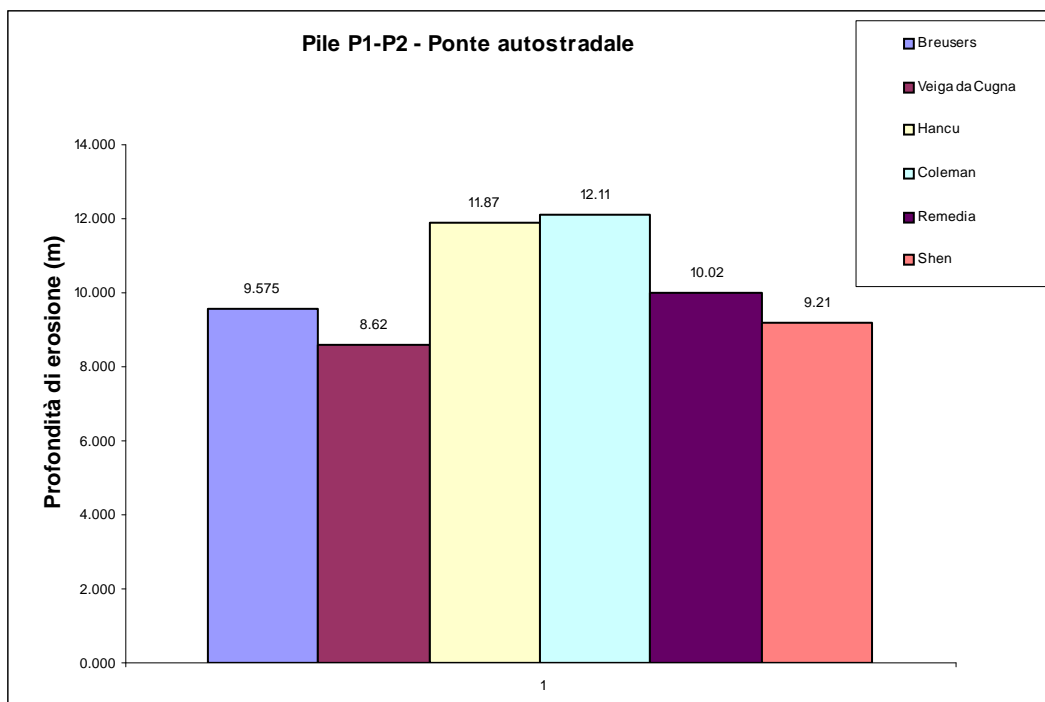


FIGURA 8-22 – PROFONDITA' DI EROSIONE STIMATA PER LE PILE P1-P2 DEL PONTE AUTOSTRADALE CON VARIE FORMULAZIONI EMPIRICHE

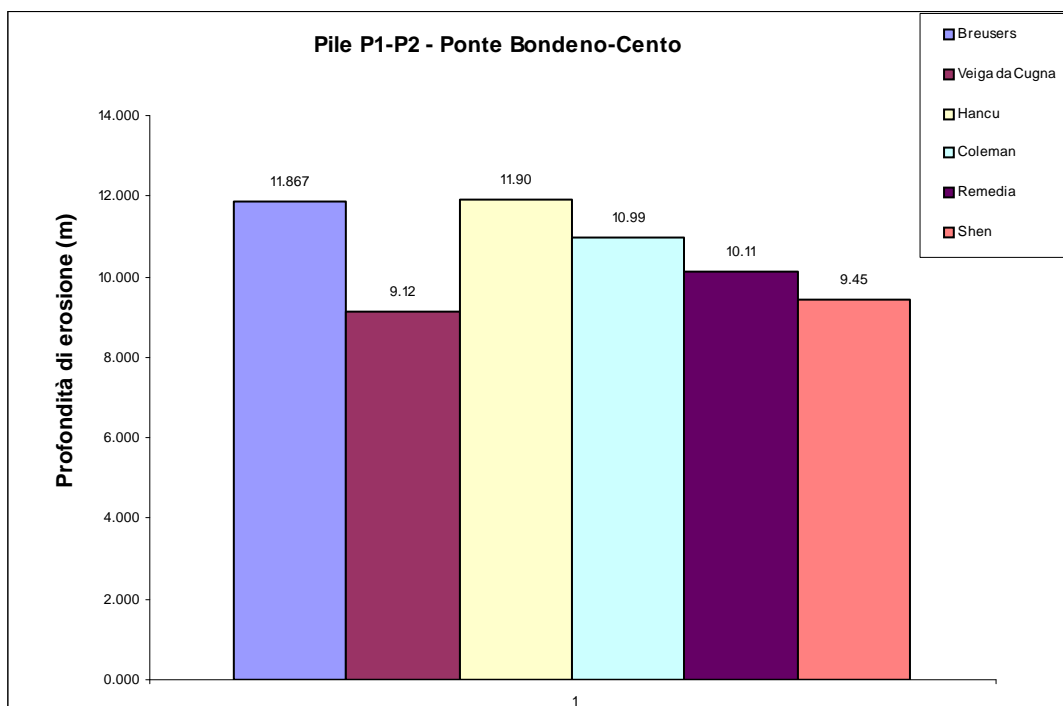


FIGURA 8-23 – PROFONDITA' DI EROSIONE STIMATA PER LE PILE P1-P2 DEL PONTE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE CON VARIE FORMULAZIONI EMPIRICHE

Il grafico riassuntivo illustra il campo di variabilità della profondità di scalzamento per le pile P1-P2 dei due viadotti.

È evidente il peso della larghezza della pila nel calcolo della profondità di scalzamento; infatti, è ragionevole supporre che all'aumentare della larghezza crescano le dimensioni dei vortici a ferro di cavallo. Avendo preso in considerazione nell'analisi la larghezza del diaframma strutturale e dei plinti di fondazione, la profondità massima di erosione raggiunge:

- per il ponte autostradale valori attorno ai 9.50 m per entrambe le pile, attestandosi ad una quota di 8.55 m s.l.m.;
- per il ponte della viabilità di adduzione, valori dell'ordine di 11-12 m per entrambe le pile, attestandosi ad una quota di 1.40 m s.l.m.

Le fondazioni di entrambi i ponti sono state quindi calcolate con questa ipotesi estrema.

A valle delle fondazioni e con l'utilizzo della stessa procedura di calcolo, il fenomeno di erosione si smorza ed interessa le diaframature presenti più a valle, fino a 20 metri di sviluppo, raggiungendo una profondità di erosione attorno a 2.5 m dal p.c, attestandosi quindi a quota 14.00 m slm per il ponte autostradale e a quota 11.00 m slm per il ponte della viabilità di adduzione. Questo dato è stato ricavato utilizzando la medesima procedura di calcolo utilizzata per la valutazione della profondità di erosione in corrispondenza delle pile.

I diaframmi idraulici previsti in corrispondenza delle arginature del ponte autostradale sono quindi stati verificati a scalzamento prendendo in esame 2 condizioni limite (v.Relazione di calcolo Ponte APO12):

- 1) passaggio onda di piena con massima erosione in corrispondenza dei diaframmi (quota 8,55 m s.l.m.) ma controspinta idraulica lato fiume;
- 2) onda di piena conclusa e quota scalzamento pari alla quota del petto lato fiume (15,20 m s.l.m.). Si ipotizza che non ci sia erosione al di sotto del petto, ma controspinta di terreno saturo.

A seguito delle verifiche risulta che per evitare indesiderati processi di scalzamento il diaframma dovrà essere profondo almeno 18 m per uno spessore minimo di 80 cm sia in sponda destra che in sponda sinistra Fiume Panaro in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.

I diaframmi previsti in corrispondenza dell'attraversamento della viabilità di adduzione sono stati anch'essi verificati a scalzamento prendendo in esame le seguenti condizioni limite (v. Relazione di calcolo Ponte DPO10):

- 1) passaggio onda di piena con massima erosione in corrispondenza dei diaframmi (quota 1,40 m s.l.m.) ma controspinta idraulica lato fiume;
- 2) onda di piena conclusa e quota scalzamento pari alla quota del petto lato fiume (11,20 m s.l.m. in sponda destra e 11,50 m s.l.m. in sponda sinistra). Si ipotizza che non ci sia erosione al di sotto del petto, ma controspinta di terreno saturo.

A seguito delle verifiche risulta che per evitare indesiderati processi di scalzamento il diaframma dovrà essere profondo almeno 24 m per uno spessore minimo di 100 cm sia in sponda destra che in sponda sinistra Fiume Panaro in corrispondenza dell'attraversamento della viabilità di adduzione.

9. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

La Direttiva 4 dell'Autorità di Bacino del fiume Po impone di inserire una serie di presidi idraulici volti a contenere fenomeni di dissesto potenzialmente innescabili dalla presenza del manufatto di attraversamento.

Sulla base di quanto già licenziato in sede di Conferenza dei Servizi e tenendo conto di quanto prescritto da AIPO stessa in quella sede, si è proceduto alla Progettazione dei presidi difensivi da apporre sia a protezione delle sponde in frodo che dei paramenti arginali interessati dalle pile.

Gli interventi previsti si possono suddividere in 3 categorie:

- 1) difese longitudinali volte a contenere i processi erosivi sulle sponde,
- 2) ringrossi arginali e potenziamento dell'assetto difensivo,
- 3) mantenimento e collegamento della viabilità di servizio interferita.

Le tipologie di sistemazione idraulica sono le medesime per entrambi gli attraversamenti in progetto

La difesa spondale si ottiene attraverso la realizzazione di una berma ed una difesa sulla sponda interna e sulle banche ottenuta mediante il posizionamento di massi di cava non gelivi del peso di 50-100 kg/cad per la difesa spondale e 100-200 kg/cad per la berma.

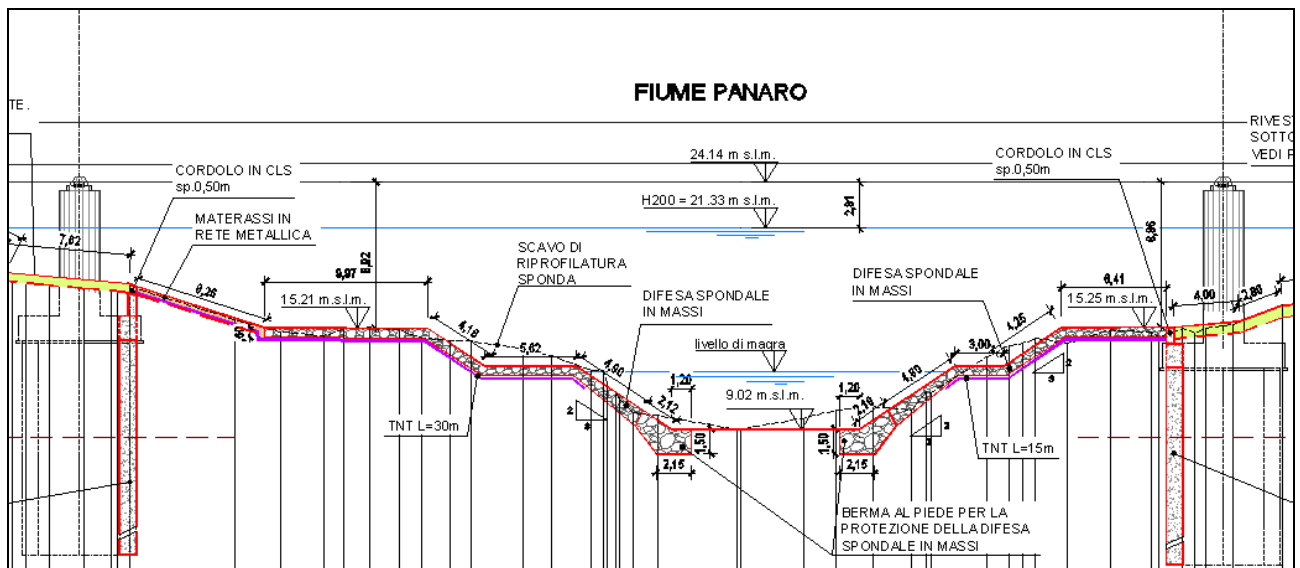


FIGURA 9-1 PARTICOLARE DIFESA SPONDALE PONTE AUTOSTRADALE

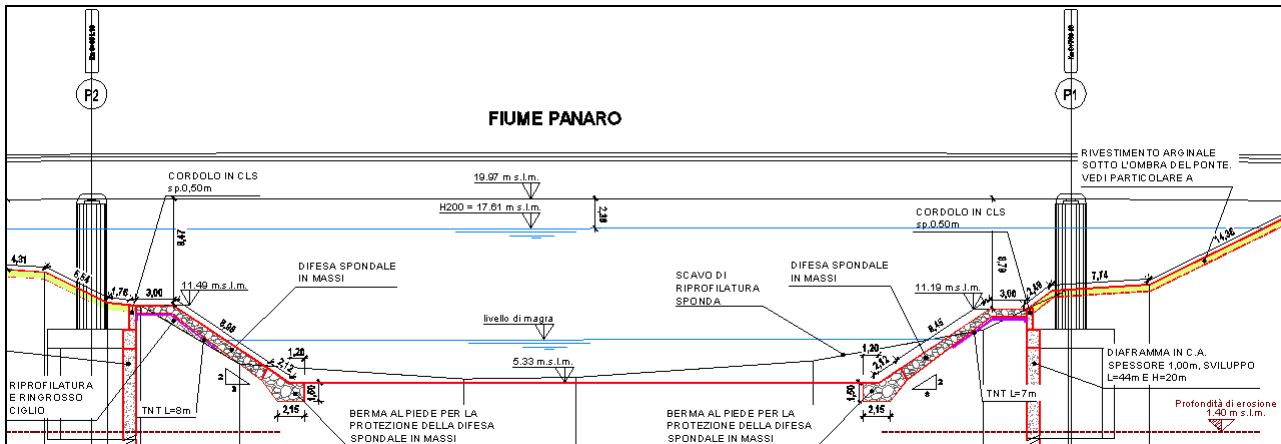


FIGURA 9-2 PARTICOLARE DIFESA SPONDALE PONTE VIABILITÀ DI ADDUZIONE

I ringrossi arginali si rendono necessari in sagoma e in quota, ed il lato campagna di quest'ultimi sarà rivestito con apposite protezioni contro l'erosione da ruscellamento mediante mantellate in materassi metallici, al piede dei quali verranno posizionati gabbioni metallici per meglio ammorzare la struttura metallica del materasso.

Lato fiume gli argini saranno invece impermeabilizzati, sotto l'ombra del ponte e a monte del ponte, con una mantellata in c.a. al di sopra della quale verranno posti materassi metallici mentre, fuori dall'ombra del ponte a valle, sarà realizzato un rivestimento composto da geomembrana in HDPE protetta da uno strato di terra stabilizzato da un rivestimento costituito da elementi prefabbricati in c.a.

Sia le difese in massi che le mantellate di rivestimento presenti sui paramenti lato fiume delle arginature si estenderanno per un tratto minimo di 20 m a monte e valle dell'attraversamento (considerando la proiezione degli impalcati di entrambi i viadotti), oltre che lungo tutto l'ingombro dei viadotti stessi. Nuovamente, per limitare fenomeni di infiltrazione e di scalzamento al piede delle pile, sono state previste due diaframmature in c.a. a parete continua, aventi funzione di evitare l'instaurarsi di possibili cedimenti e collassi arginali.

Infine, una volta completati i lavori di realizzazione delle opere idrauliche, si procederà ad effettuare idrosemina a spessore per rinverdire i rilevati arginali e la nuova configurazione morfologica nell'intorno del fiume.

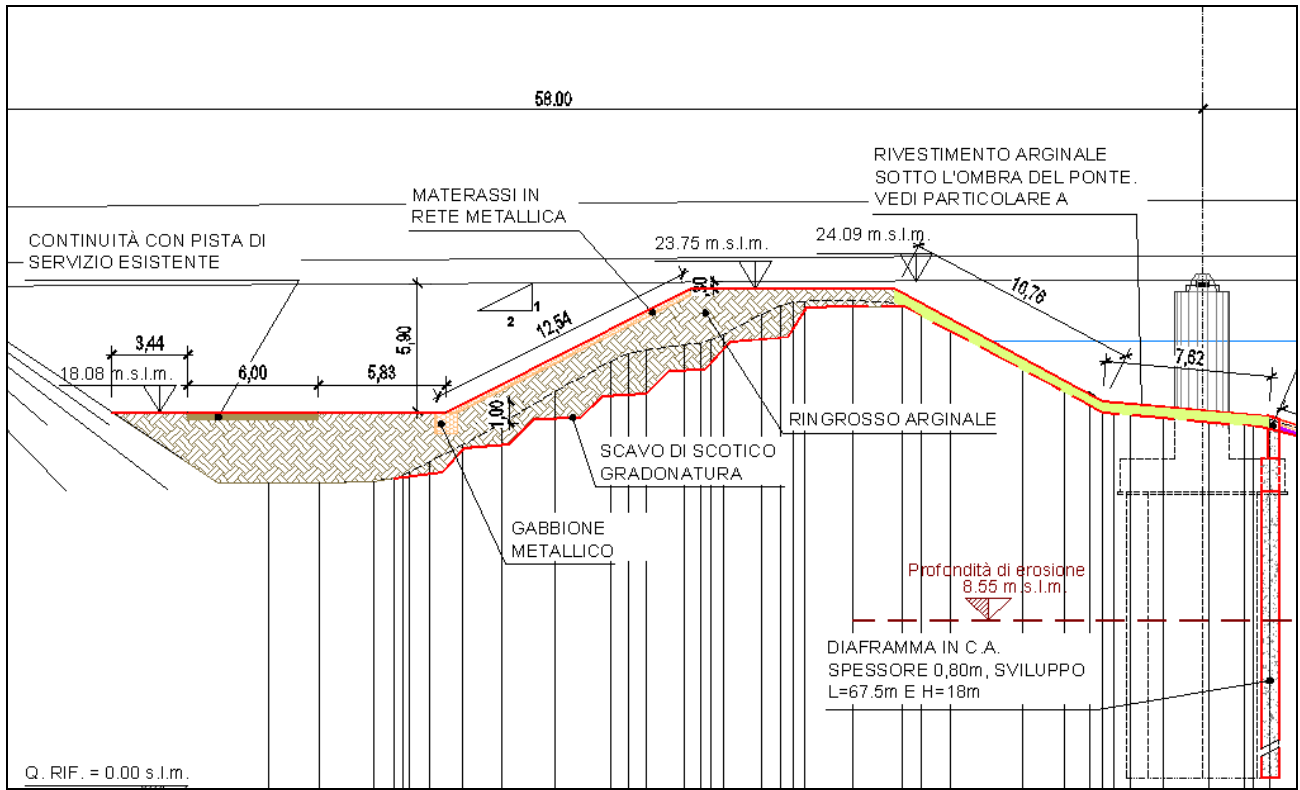


FIGURA 9-3 – PARTICOLARE RINGROSSO ARGINALE PONTE AUTOSTRADALE

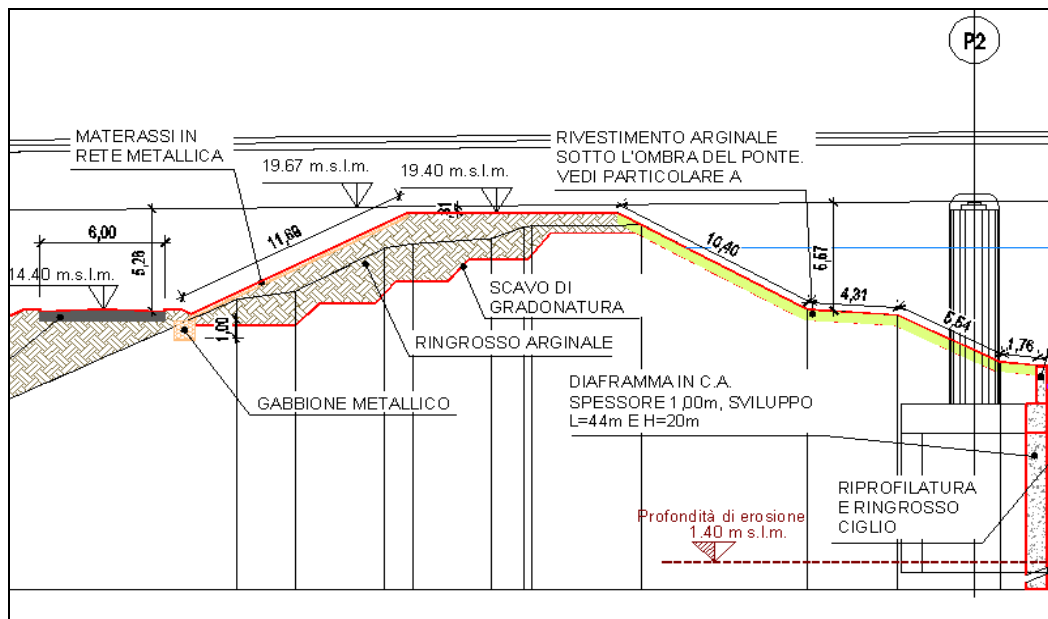


FIGURA 9-4 PARTICOLARE RINGROSSO ARGINALE PONTE VIABILITÀ DI ADDUZIONE

Particolare cura verrà tenuta nella preparazione delle opere di cantiere. Le diverse fasi di lavoro che accompagnano la realizzazione delle fondazioni prevede la preliminare preparazione del piano di posa del ringrosso del nuovo rilevato. Si tratta di un'operazione delicata che dovrà essere eseguita con estrema cura ed attenzione. Si procede con lo scotico e quindi con le gradonature di immorsamento per la posa e compattazione del materiale di riporto funzionale al ringrosso. Solo dopo la costipazione dello stesso si potrà procedere alla realizzazione delle fondazioni.

L'intervento di adeguamento arginale verrà realizzato secondo la forma descritta nel progetto e dovrà garantire la piena funzionalità idraulica, per cui sarà buona norma seguire tracciati compatibili con le esigenze idrauliche (evitando brusche variazioni di linea che potrebbero costituire punti di maggior vulnerabilità in conseguenza dell'azione erosiva della corrente), pur nel rispetto delle esigenze ambientali che normalmente consigliano di non dare luogo a linee geometriche troppo rigide e di prevedere un adeguato rinverdimento dell'opera al fine di favorirne un corretto ed impercettibile inserimento nell'ambiente fluviale. Infine i paramenti di valle e di monte dovranno essere rinforzati sotto l'ombra del ponte con opportuni materassi metallici contenuti al piede da una berma in gabbione metallico.

10. VERIFICA AL SIFONAMENTO E FILTRAZIONE

Come descritto in premessa, il potenziamento delle opere di presidio idraulico previsto in occasione della realizzazione del nuovo attraversamento autostradale è accompagnato dalla realizzazione di apposite diaframature sia in corrispondenza del viadotto che a monte e valle dello stesso aventi, oltre che funzione statica, anche quella di contenimento dei processi di filtrazione in corrispondenza e prossimità dei rilevati arginali, al fine di scongiurare l'insorgere di potenziali fenomeni di sifonamento in condizioni particolarmente gravose.

Nelle condizioni di progetto, infatti, il paramento lato fiume di entrambi i rilevati arginali viene interessato dal transito dell'onda di piena con TR 200 anni. In aggiunta alle opportune difese idrauliche progettate per la difesa dal flusso idrico superficiale, è stata quindi valutata la necessità di contenere anche il flusso sub superficiale mediante opportune opere.

Per procedere alle verifiche nelle condizioni di maggior criticità, sono state analizzate le condizioni idrodinamiche e litologiche del tratto del f. Panaro in corrispondenza dell'attraversamento della viabilità di adduzione, al fine di ricostruirne il modello geotecnico e imporre le sollecitazioni idrauliche di riferimento. I risultati delle analisi effettuate possono essere estesi, per analogia di condizioni al contorno e di tipologia di sistemazione idraulica, all'attraversamento autostradale.

Dalle analisi delle citate indagini e prove in sito, effettuate proprio in funzione della progettazione delle opere di attraversamento stradale, è possibile definire l'andamento litologico dei diversi materiali presenti costituenti gli strati sottiacenti la sezione in esame del corso d'acqua, i rispettivi rilevati arginali e le aree golenali.

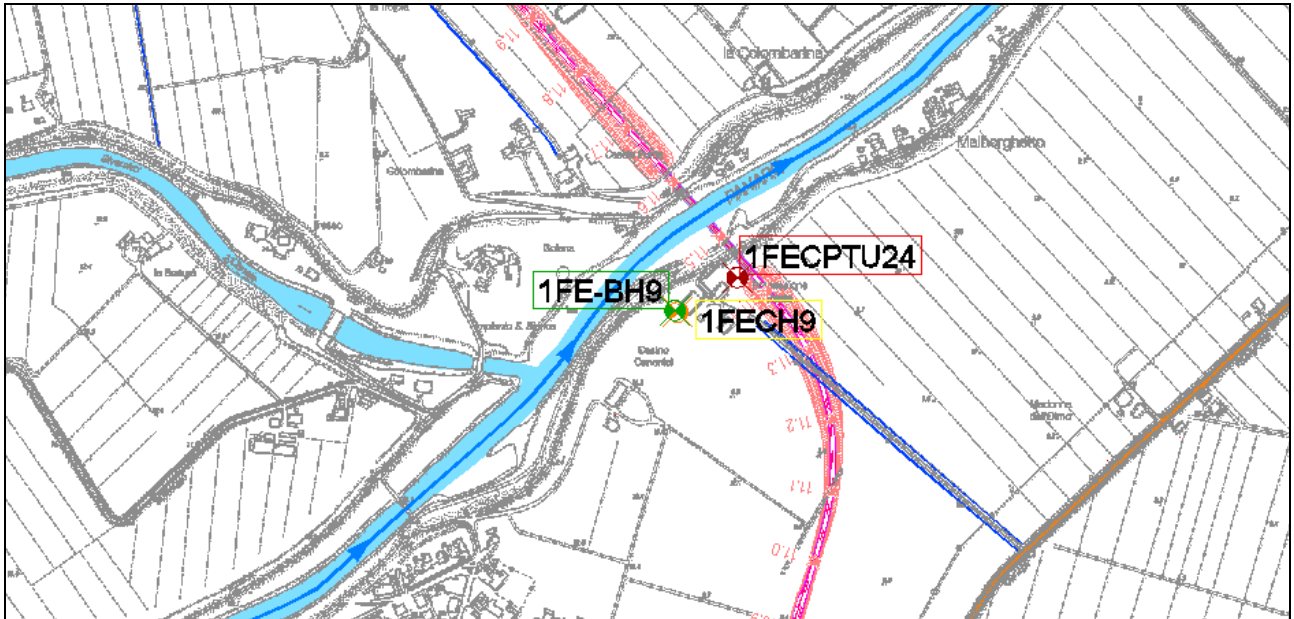


FIGURA 10-1 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE (FIUME PANARO –VIABILITÀ DI ADDUZIONE)

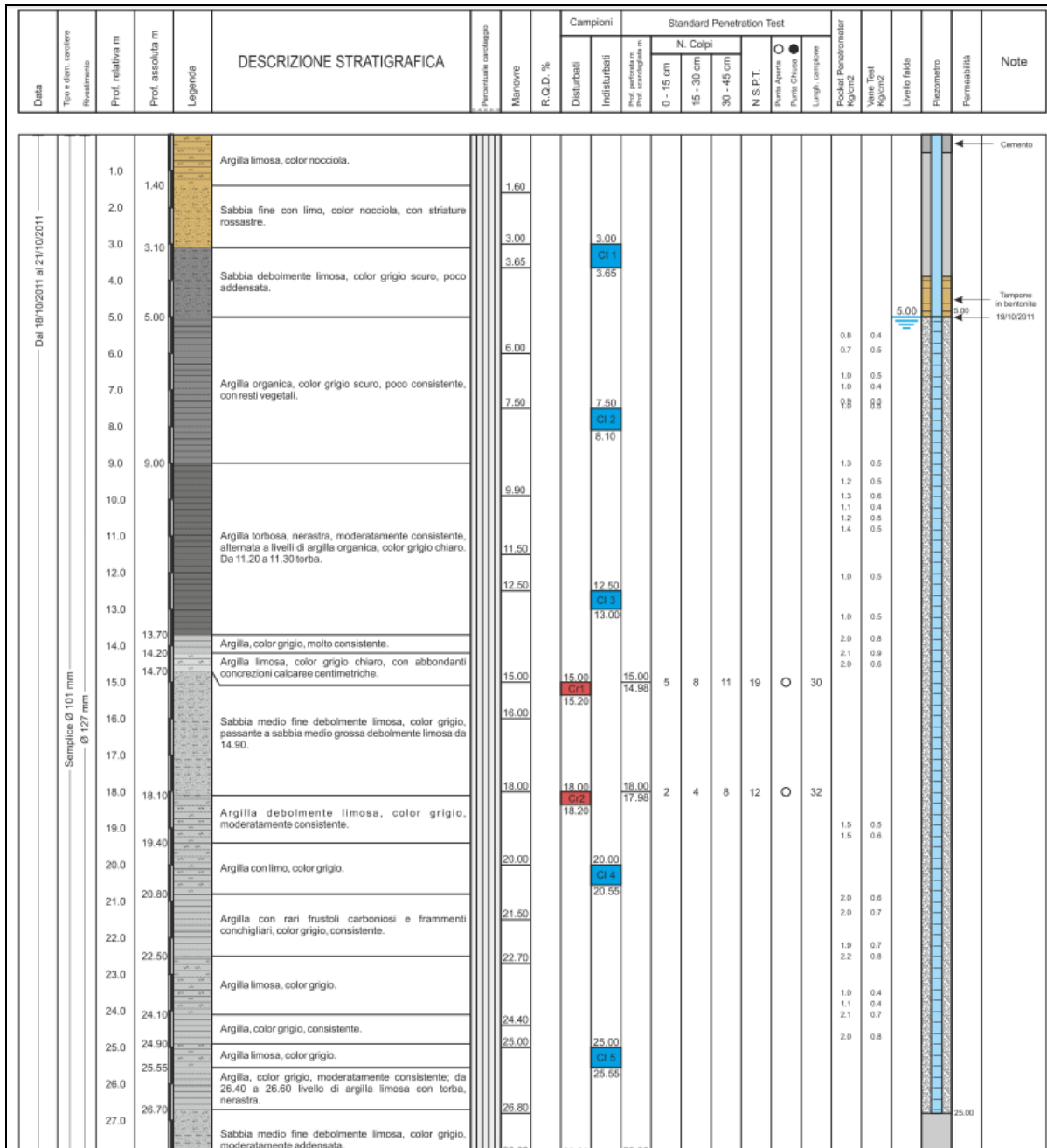


FIGURA 10-2- STRATIGRAFIA SONDAGGIO BH9 (SPONDA DESTRA-FIUME PANARO – VIABILITÀ DI ADDUZIONE)

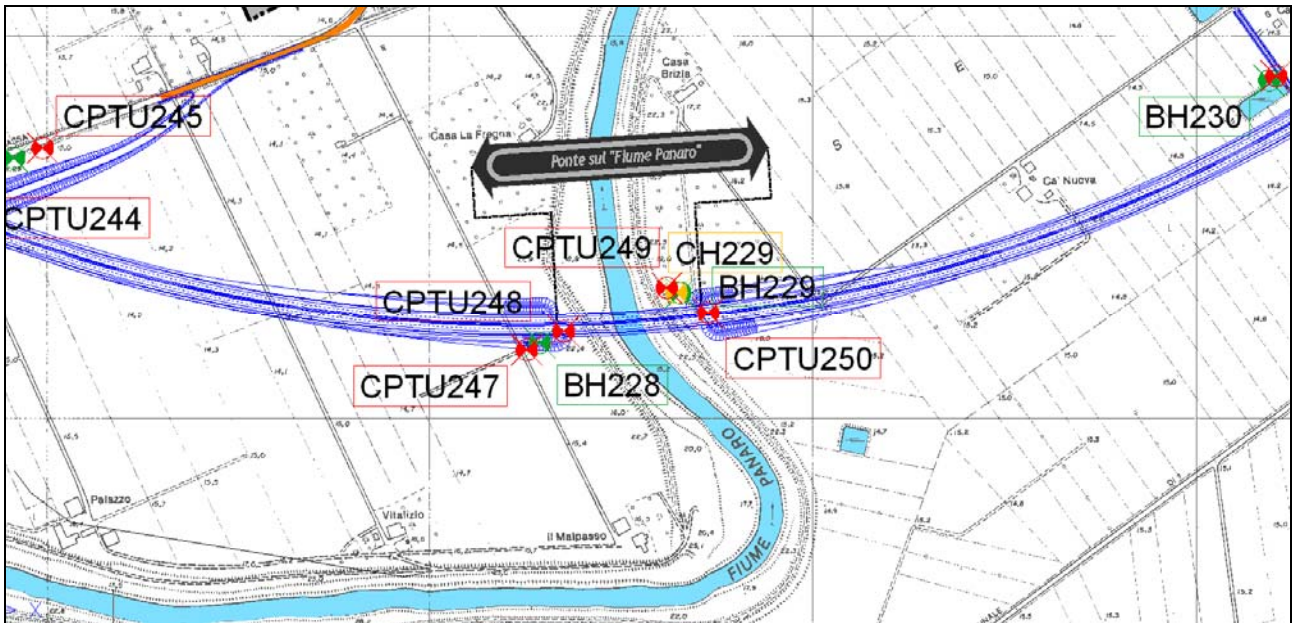


FIGURA 10-3 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE (FIUME PANARO –VIABILITÀ AUTOSTRADALE)

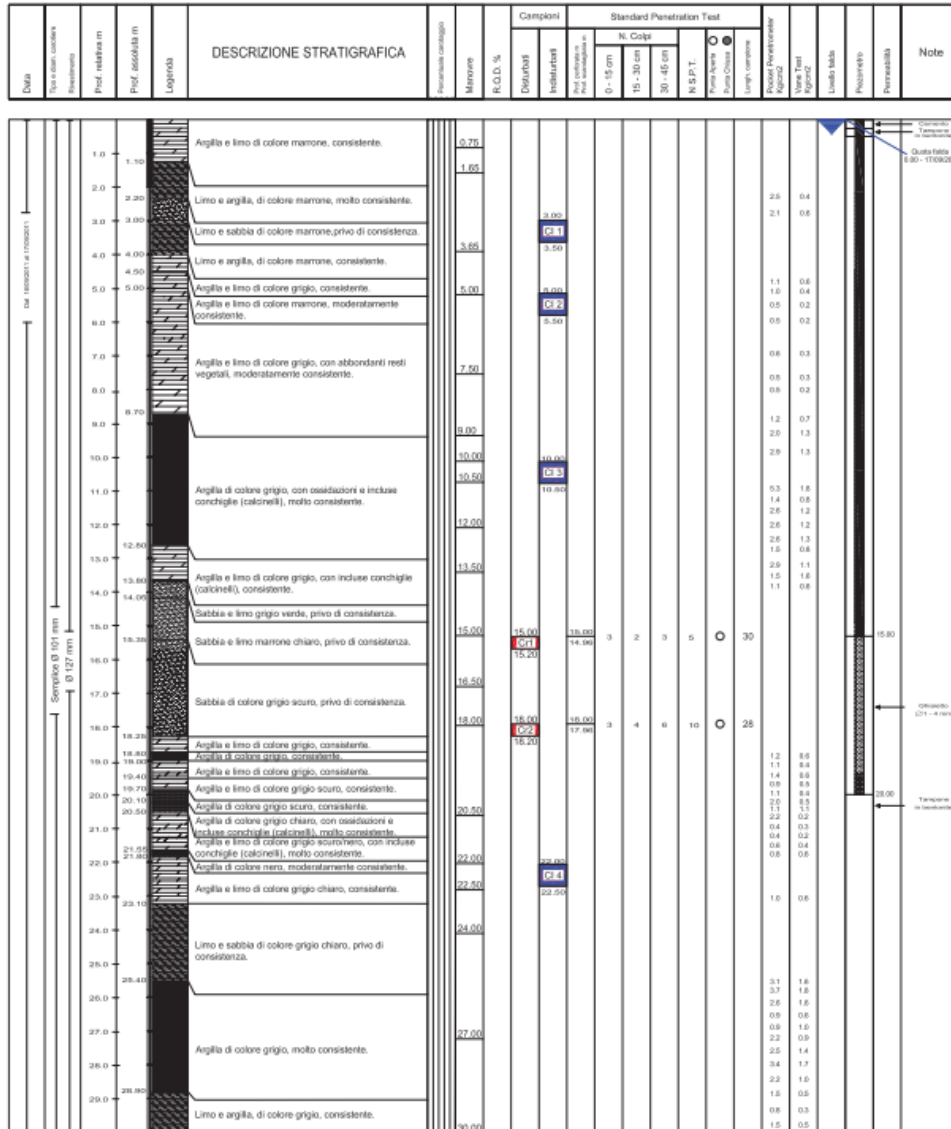


FIGURA 10-4 – STRATIGRAFIA SONDAZIONE BH228 (FIUME PANARO –VIABILITÀ AUTOSTRADALE)

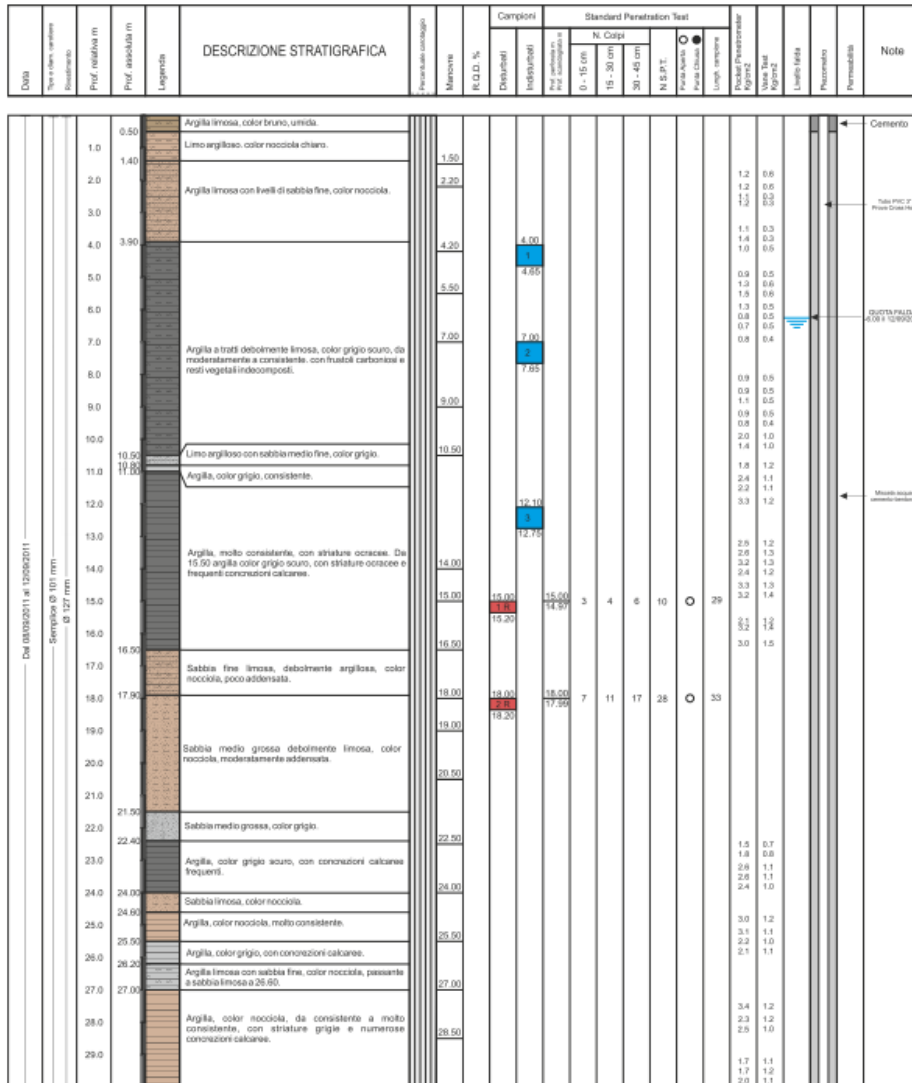


FIGURA 10-5 – STRATIGRAFIA SONDAGGIO BH229 (FIUME PANARO –VIABILITÀ AUTOSTRADALE)

Date le caratteristiche litologiche e le condizioni di filtrazione risultanti dall'analisi in assenza di diaframmi di contenimento sono state considerate due configurazioni progettuali con diaframmature a diversa profondità di infissione pari, rispettivamente, a 10 e 20 m. Tali diaframmi presentano uno spessore di 1.00 m e sono caratterizzato da un coefficiente di permeabilità k del materiale usato che, secondo letteratura, varia da 10^{-10} a 10^{-12} m/s.

Le caratteristiche dei terreni sono state desunte dalle analisi geotecniche effettuate nel corso delle citate indagini e completate dalle nozioni reperibili in bibliografia in funzione del tipo di materiale considerato.

Nell'immagine seguente si riporta la schematizzazione concettuale della sezione oggetto di modellazione geotecnica.

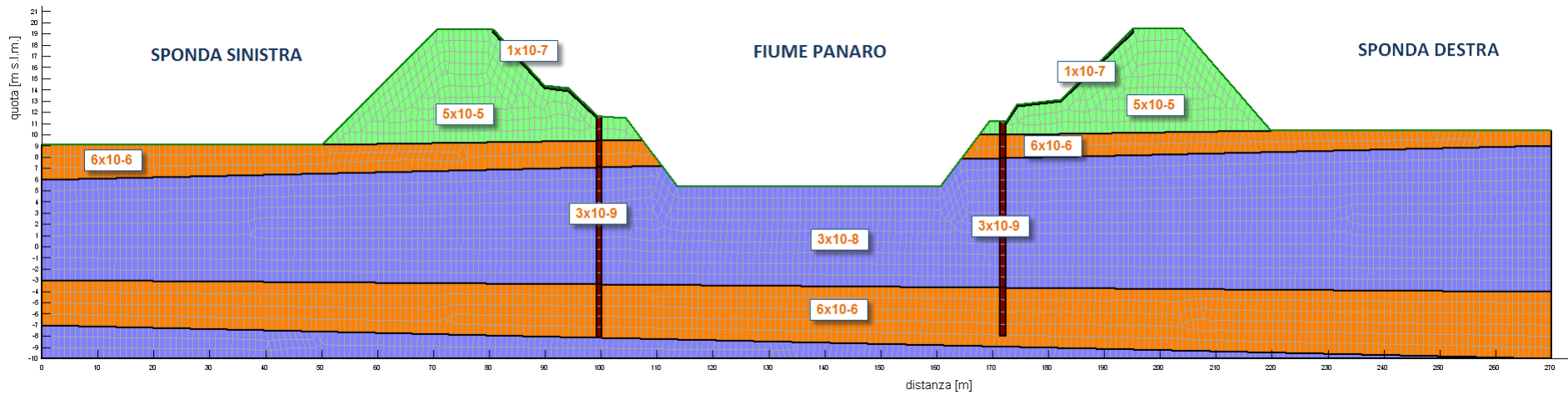


FIGURA 10-6: SCHEMATIZZAZIONE CONCETTUALE DELLA CONFIGURAZIONE GEOTECNICA ANALIZZATA PER LA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO DEL F. PANARO (K IN M/S) PER LA VIABILITÀ DI ADDUZIONE

Le sollecitazioni idrodinamiche all'interno del corso d'acqua considerano il transito della portata di piena bisecolare, il cui idrogramma è stato ricostruito traslando omoteticamente l'idrogramma della recente piena del dicembre 2010 sino ai livelli al colmo in corrispondenza della piena di progetto con Tr 200 anni. L'idrogramma risultante è raffigurato nella figura seguente. La durata dell'evento, pari complessivamente a 8 giorni, pare sufficientemente cautelativo per la verifica della risposta alle sollecitazioni indotte dal conseguente noto di filtrazione sub superficiale.

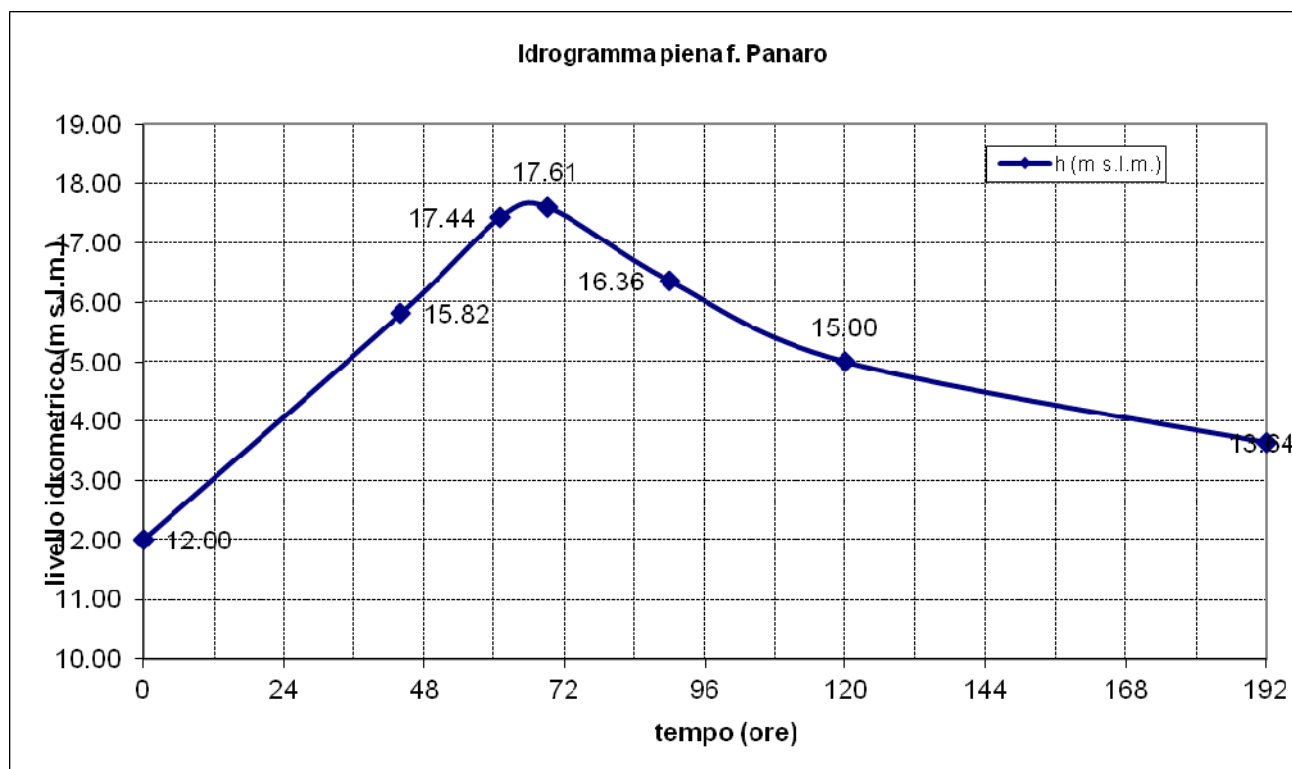


FIGURA 10-7: IDROGRAMMA DEI LIVELLI DI PIENA PER TR200 ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO DEL F. PANARO

Le condizioni al contorno iniziali coincidono con la linea piezometrica evidenziata dall'attuale falda freatica, riscontrata nel sito in esame circa a quota 5.00 m s.l.m., e con un livello idrometrico iniziale nel f. Panaro pari a 9.00 m s.l.m.

Successivamente, è stato imposto l'aumento dei livelli idrometrici nell'alveo secondo lo schema sopra raffigurato, riproducendo una situazione riscontrabile in occasione della piena di riferimento all'interno di un deflusso consistente e di durata sufficientemente elevata.

Per tale motivo gli step temporali di calcolo considerati sono stati posti ogni 12 ore, con in più l'istante di massimo livello idrometrico dopo un tempo di 69 ore dall'inizio della simulazione.

Le funzioni che legano la permeabilità ed il contenuto volumetrico di acqua in funzione della pressione idrostatica sono state definite basandosi sui risultati delle indagini geologiche e tramite correlazioni con i

numerosi dati disponibili in letteratura.

I risultati delle verifiche vengono riportati di seguito per ciascuna delle configurazioni esaminate.

10.1. Verifica in assenza di opere di contenimento dei processi di filtrazione

Nei grafici seguenti sono illustrati i risultati delle elaborazioni per i diversi istanti di tempo in occasione della piena di progetto bisecolare in ipotesi di assenza delle diaframmature.

La percezione dell'entità dei fenomeni nei diversi istanti temporali viene resa graficamente nelle immagini seguenti, che fotografano l'evoluzione dei processi di filtrazione per i diversi step di calcolo.

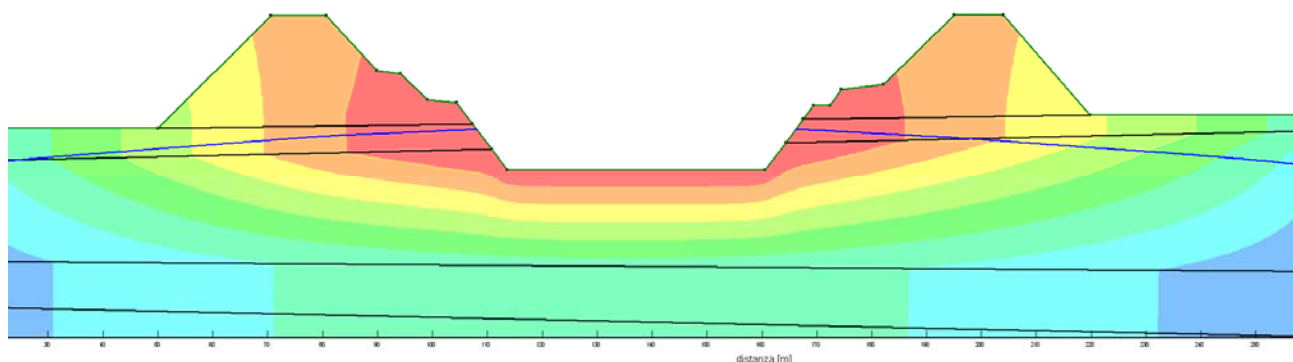


FIGURA 10-8: CARICHI TOTALI ALL'ISTANTE INIZIALE (T = 0 s)

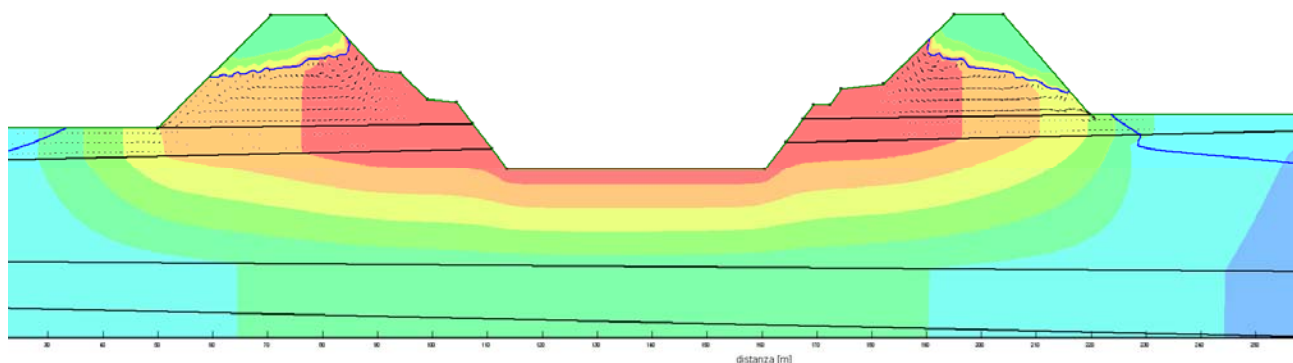


FIGURA 10-9: CARICHI TOTALI IN CORRISPONDENZA DEL TRANSITO DEL COLMO DI PIENA PER TR200 (T = 63 h)

Come illustrato, l'assenza di opere di contenimento unitamente alla presenza di un substrato superficiale maggiormente drenante rispetto a quello immediatamente sottostante permette una marcata propagazione del moto di filtrazione verso l'esterno dell'alveo, con il raggiungimento delle potenziali condizioni di sifonamento al piede dei rilevati arginali.

La quantificazione numerica delle velocità di filtrazione per i diversi istanti viene esposta nei grafici che seguono, rispettivamente lungo la verticale al di sotto dell'unghia di ciascuna arginatura. Le velocità che si

instaurano al di sotto di ciascun rilevato vengono riportate rappresentato l'andamento delle velocità di filtrazione in funzione della quota altimetrica, per ciascun istante temporale simulato.

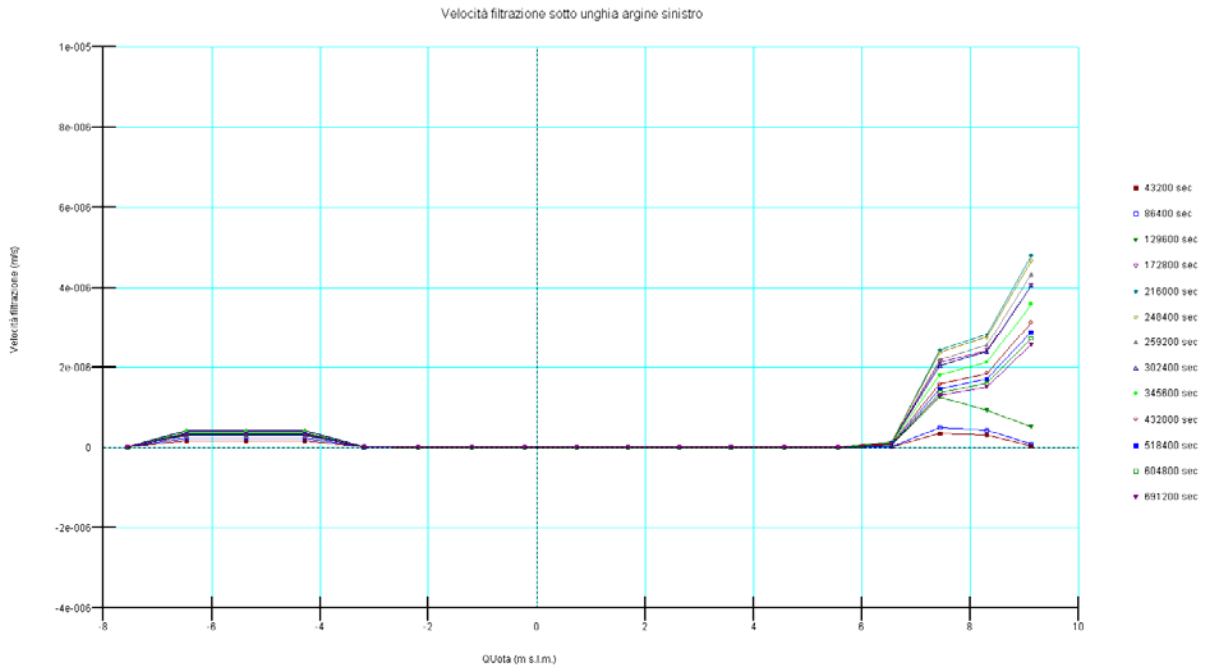


FIGURA 10-10: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE SINISTRO

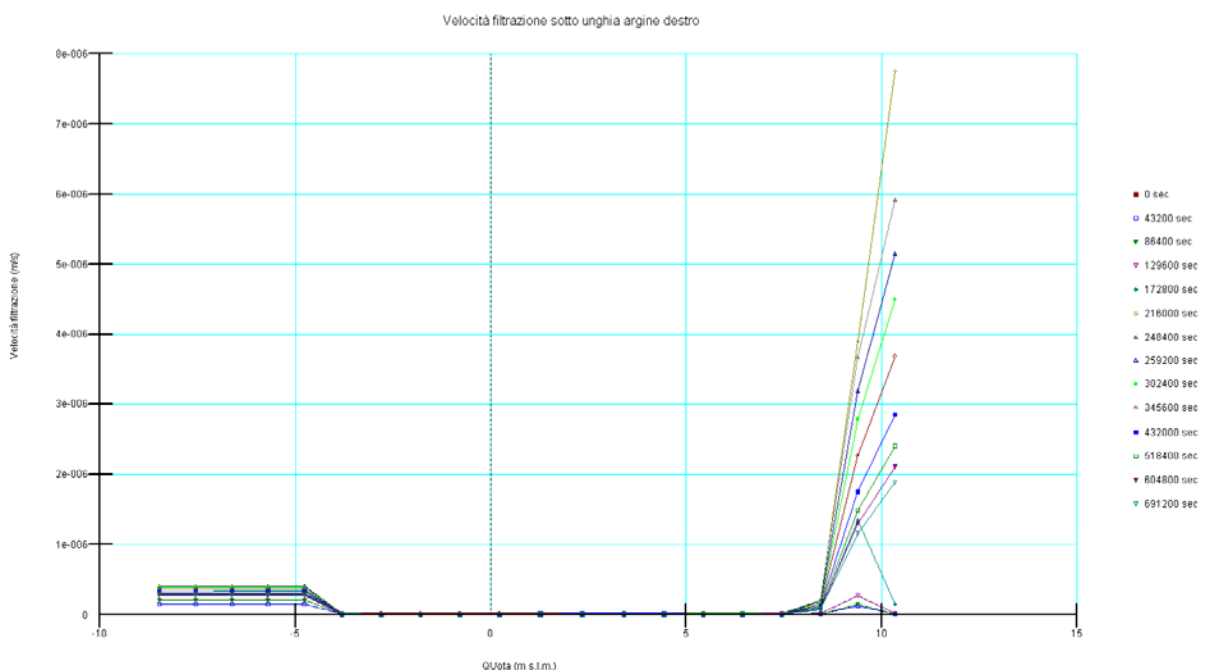


FIGURA 10-11: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE DESTRO

Per entrambe le arginature, in assenza di diaframmi le velocità massime dell'ordine di 10^{-6} m/s, valore ottenuto negli strati superficiali immediatamente al di sotto del piede arginale. L'arginatura più sollecitata risulta essere quella destra, con valori massimi delle velocità di filtrazione pari a 8×10^{-6} m/s, mentre sotto l'argine sinistro si raggiungono i 5×10^{-6} m/s.

Date le criticità rilevate, si ipotizza la realizzazione di un diaframma di contenimento dei processi di filtrazione all'interno di ciascun corpo arginale, analizzandone nel seguito due possibili varianti progettuali.

10.2. Verifica con diaframma profondo 10 m e rivestimento paramenti arginali

Sulla base delle analoghe simulazioni anche per altri corsi d'acqua, tra cui il f. Secchia, al fine di aumentare il grado di sicurezza della struttura di contenimento costituita dai diaframmi è stato previsto anche il rivestimento dei paramenti di monte delle arginature al di sopra della testa dei diaframmi, ipotizzando due distinte profondità di infissione delle diaframmature stesse. Nel presente paragrafo si considera una profondità di infissione di 10 m, sufficiente a garantire il raggiungimento e l'infissione nel substrato in argilla.

Le ipotesi relative al deflusso di piena e alle condizioni iniziali sono analoghe al caso precedente.

Tale configurazione consente un sostanziale allontanamento del flusso sub-superficiale dal rilevato stesso, come illustrato nelle figure seguenti.

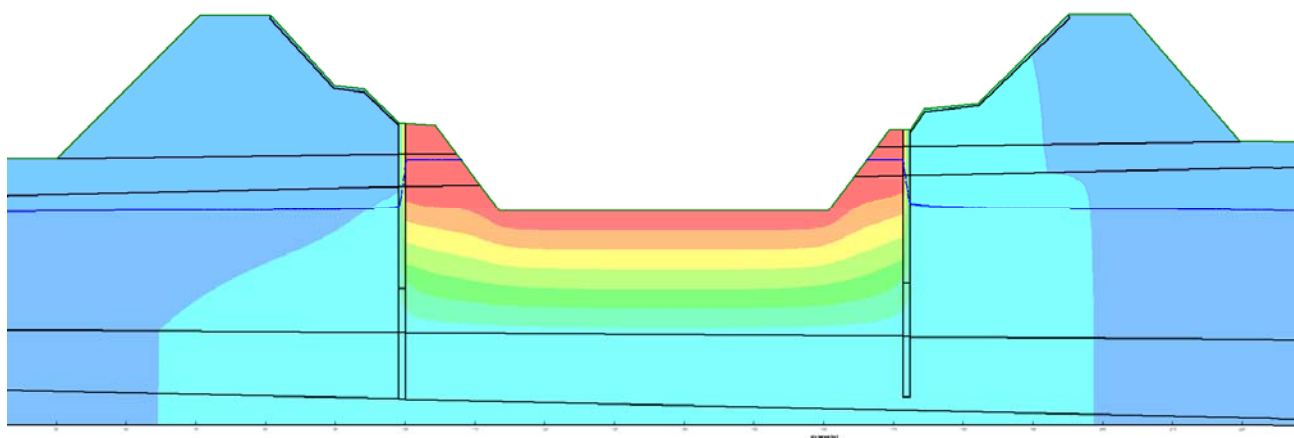


FIGURA 10-12: CARICHI TOTALI ALL'ISTANTE INIZIALE (T = 0 s)

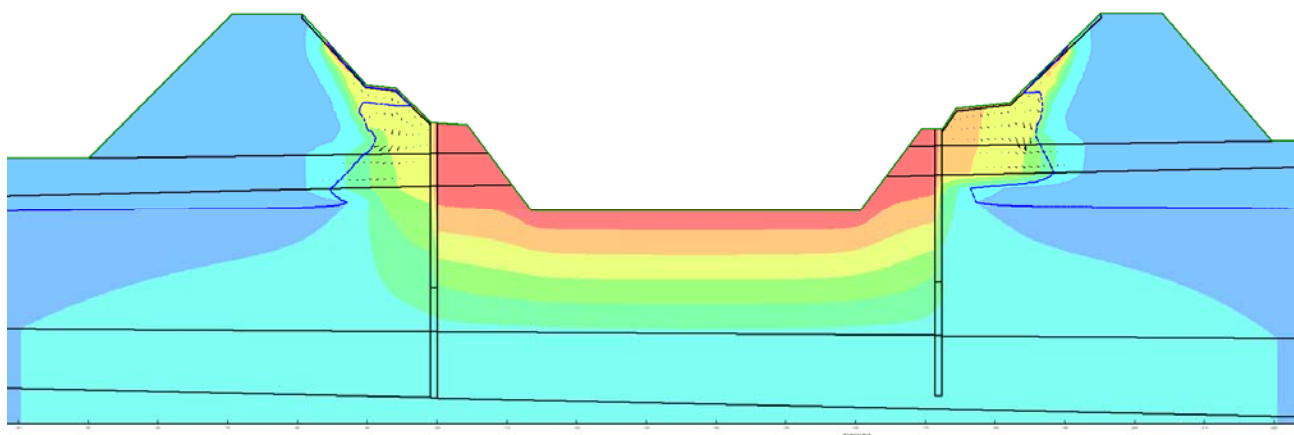


FIGURA 10-13: CARICHI TOTALI NELL'ISTANTE DI TRANSITO DEL COLMO DI PIENA PER TR200 (T = 63 H)

In questo caso la profondità di infissione delle arginature è sufficiente a consentirne l'ammorsamento nel substrato in argilla, isolando in buona parte il propagarsi dei processi di filtrazione durante il transito della piena di progetto nell'alveo del fiume. Il processo di filtrazione residuo attraverso i rivestimenti in cls riproduce i giunti tra le diverse lastre in cls e una presunta condizione di degrado e fessurazione raggiungibile dalle stesse nel corso della propria vita utile.

In tale condizione le massime velocità di filtrazione al di sotto del piede esterno delle due arginature presentano una ulteriore riduzione di quasi 1 ordine di grandezza rispetto alla condizione in assenza dei rivestimenti dei paramenti arginali, con valori dell'ordine di 1.5×10^{-6} m/s in sponda sinistra e di 2×10^{-6} m/s in sponda destra, come illustrato nelle figure seguenti.

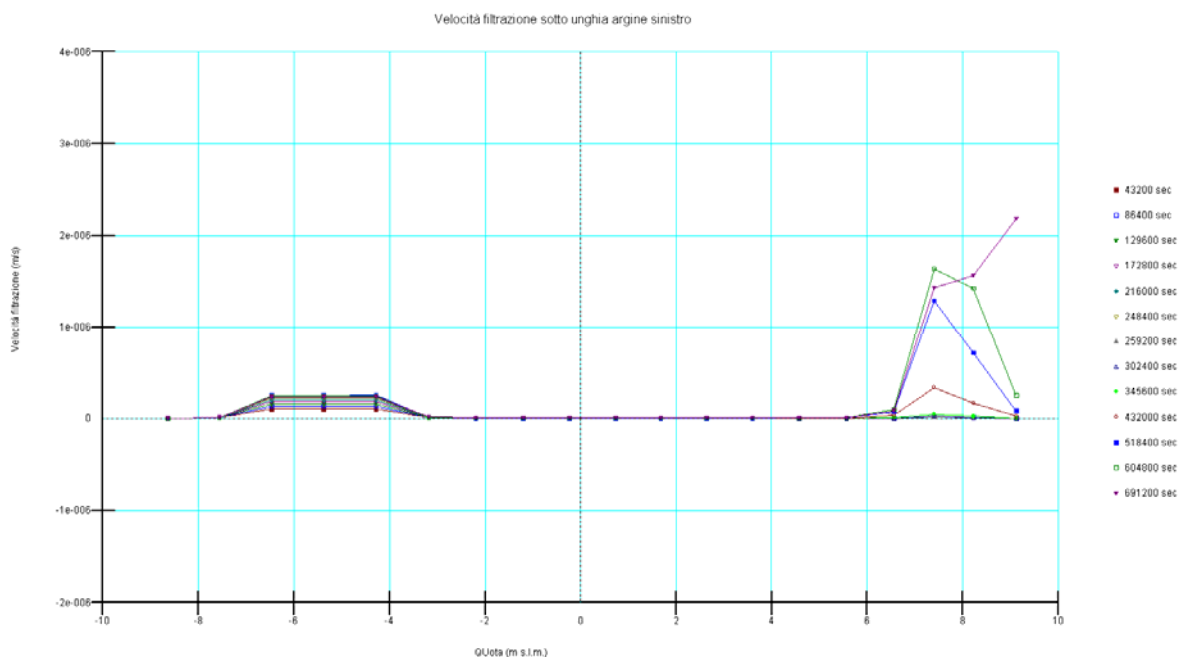


FIGURA 10-14: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE SINISTRO

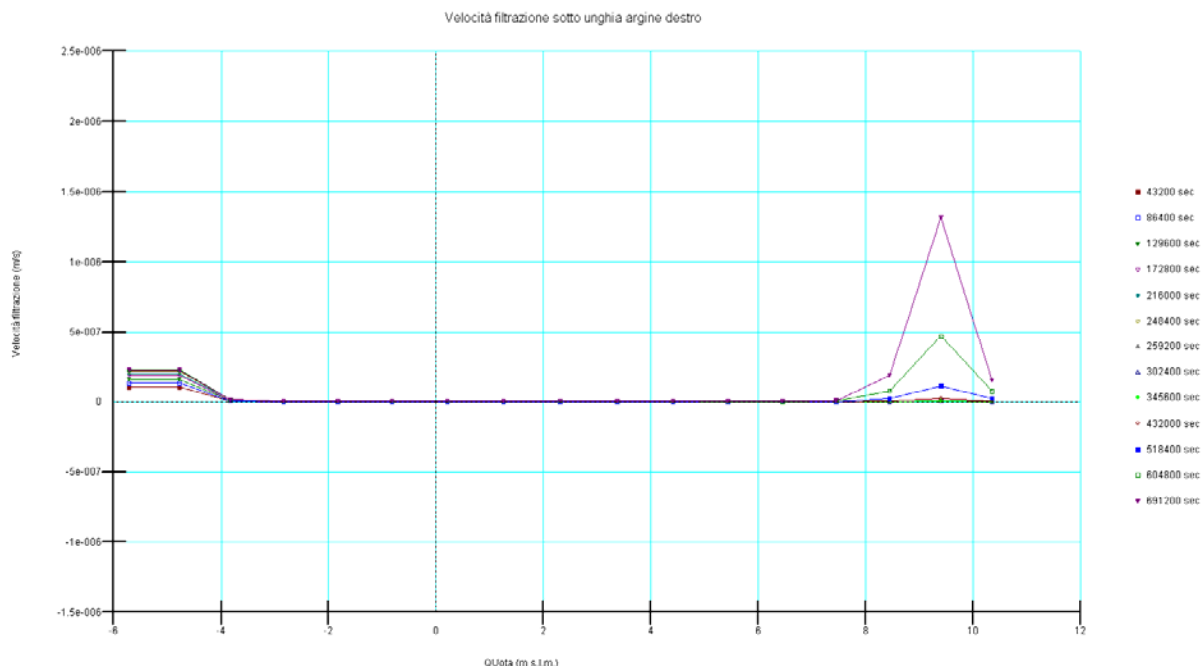


FIGURA 10-15: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE DESTRO

Anche in corrispondenza delle massime variazioni dei livelli di falda all'esterno delle arginature, l'incremento del livello della linea di imbibizione è limitato ad un massimo di circa 40 cm al di sotto del piede di entrambe le arginature.

Risulta, quindi, evidente come i processi di filtrazione rimangano ben confinati dalle diaframature abbinata ai rivestimenti dei paramenti arginali previsti, con la linea di imbibizione che si mantiene ad una distanza di quasi 5 m dal piede delle due arginature in esame.

10.3. Verifica con diaframma profondo 20 m

Al fine di valutare l'incremento del grado di sicurezza rispetto a possibili processi erosivi locali e di sifonamento derivante dall'aumento della profondità di infissione delle diaframature, è stata simulata la risposta fornita da diaframmi con uno sviluppo verticale preliminarmente di 20 m, in grado di penetrare maggiormente lo strato di argilla, sempre in abbinamento al rivestimento dei paramenti arginali lato fiume.

Tale configurazione consente un incremento non apprezzabile del grado di confinamento del flusso sub-superficiale, come illustrato nelle figure seguenti.

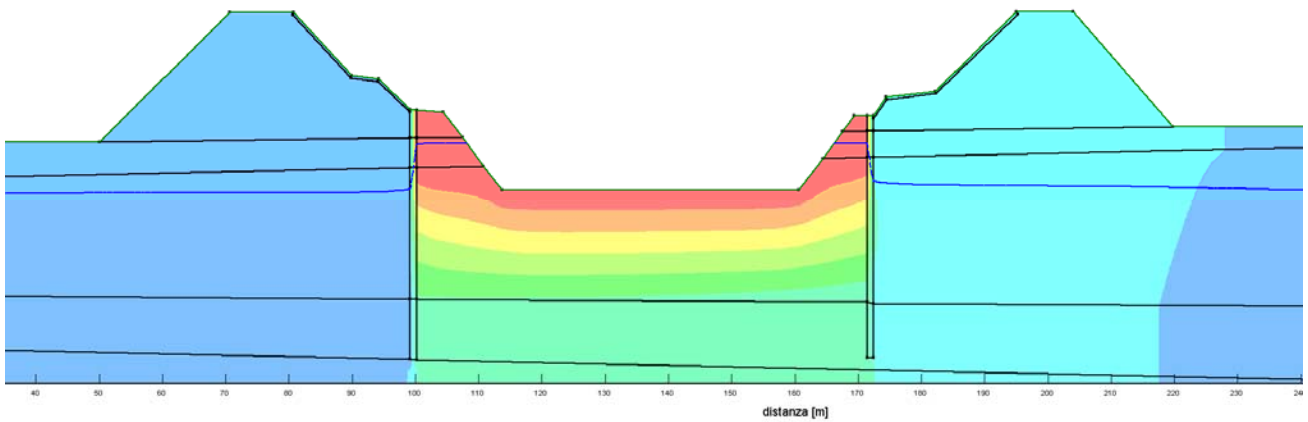


FIGURA 10-16: CARICHI TOTALI ALL'ISTANTE INIZIALE (T = 0 s)

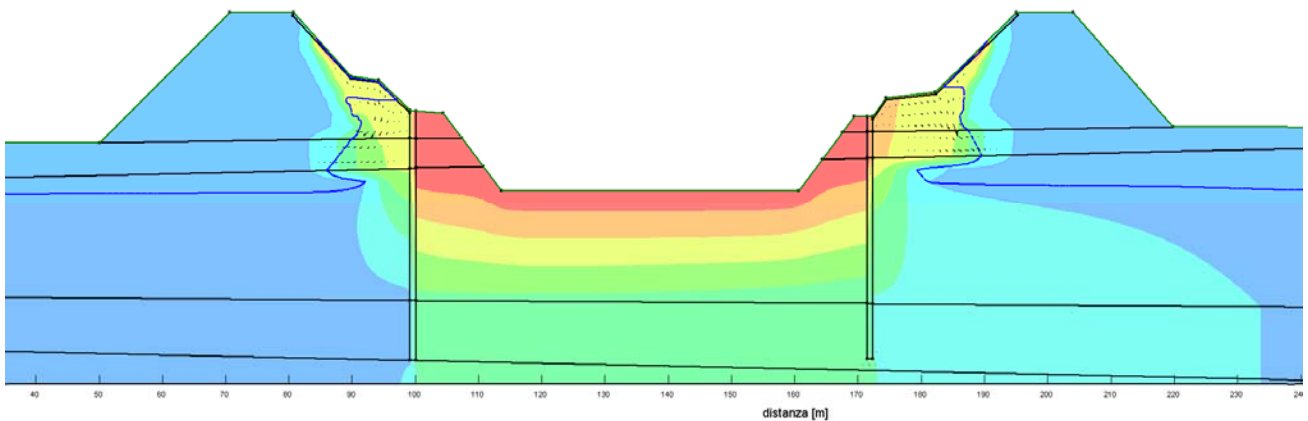


FIGURA 10-17: CARICHI TOTALI NELL'ISTANTE DI TRANSITO DEL COLMO DI PIENA PER TR200

Nuovamente, in corrispondenza delle massime variazioni dei livelli di falda all'esterno delle arginature l'incremento del livello della linea di imbibizione è limitato ad un massimo di 40 cm circa al di sotto di entrambe le arginature.

Anche le massime velocità di filtrazione al di sotto del piede esterno delle due arginature presentano un andamento pressoché identico a quanto si verifica con diaframature profonde 10 m, come illustrato nelle figure seguenti.

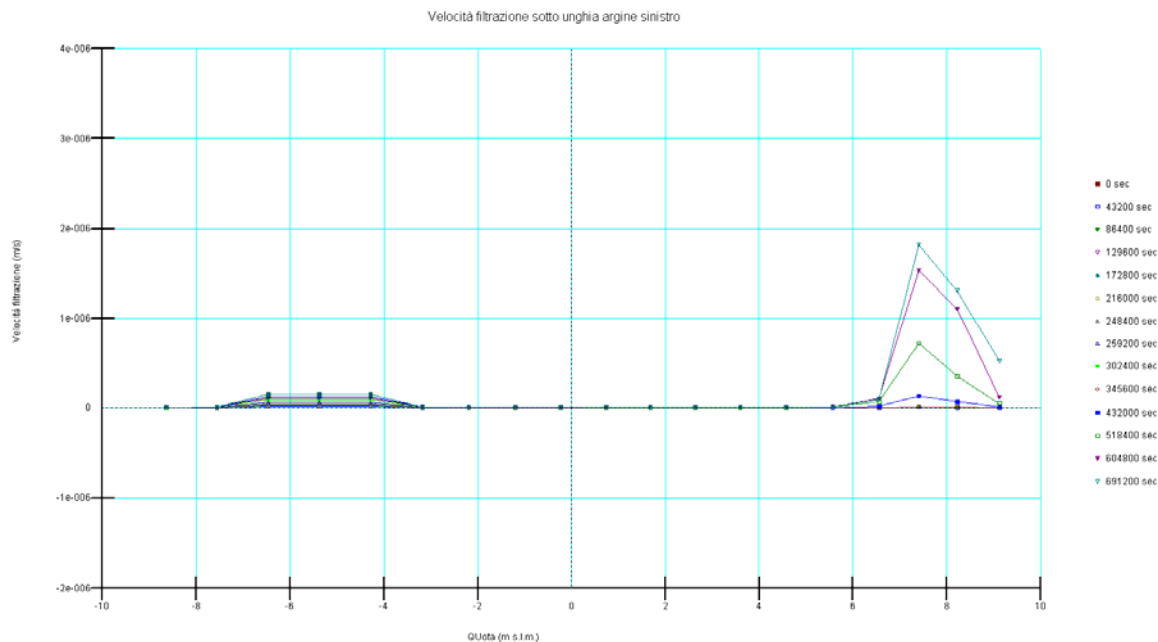


FIGURA 10-18: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE SINISTRO

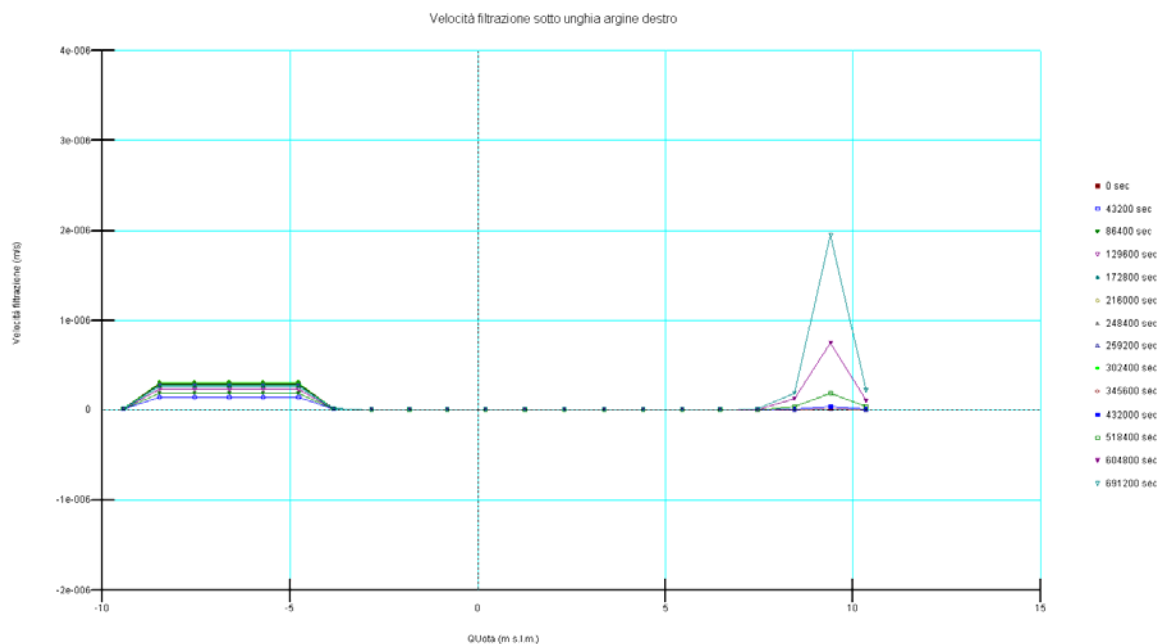


FIGURA 10-19: VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER I DIVERSI ISTANTI DI CALCOLO LUNGO LA VERTICALE AL DI SOTTO DELL'UNGHIA DELL'ARGINE DESTRO

10.4. Dimensionamento diaframmi idraulici

Concludendo si può affermare che mentre i processi di filtrazione rimangono pressoché confinati da diaframmature aventi una lunghezza pari a 10-12 m, dalle verifiche allo scalzamento (rif. paragrafo 8.5) risulta che i diaframmi dovranno essere profondi almeno 18 m per uno spessore minimo di 80 cm in corrispondenza del ponte autostradale mentre dovranno essere profondi almeno 24 m per uno spessore minimo di 100 cm in corrispondenza del ponte della viabilità di adduzione.

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE PRESCRIZIONI AIPO

Le analisi e le opere idrauliche precedentemente descritte recepiscono le prescrizioni/osservazioni trasmesse da AIPO nel '*Parere preliminare sugli attraversamenti dei corsi d'acqua di competenza dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po*', riguardante l'analisi del Progetto Preliminare relativo all'Autostrada regionale Cispadana – Conferenza dei Servizi preliminare ex art. 14 bis della Legge 241/90.

In particolare relativamente all'attraversamento del Fiume Panaro sono state riportate le seguenti osservazioni:

a) Fiume Panaro/autostrada:

- 1) Viene ritenuta ammissibile la soluzione del preliminare con campata centrale da 70 m;
- 2) relativamente ai diaframmi lato fiume in corrispondenza delle strutture arginali si prospetta la necessità che gli stessi vengano realizzati il più vicino possibile all'unghia del petto del fiume, innalzandone poi la quota fino a quella della banca del petto per conseguire una migliore continuità con i manufatti di impermeabilizzazione della sponda a fiume;
- 3) si prescrive che le sponde a fiume debbano essere impermeabilizzate con geomembrana sintetica in polietilene ad alta densità (HDPE) protetta da un sovrastante strato di terra vegetale dello spessore minimo di 30 cm, stabilizzato da un rivestimento flessibile costituito da elementi prefabbricati interbloccanti in cls, dello spessore minimo di 10 cm, riempiti ancora con terra vegetale per la rinaturalizzazione delle scarpate spondali;
- 4) per quanto concerne la pezzatura del pietrame per il rivestimento spondale e la berma al piede vengono riportate le pezzature utilizzate e suggerite da AIPO per le opere di difesa: kg 30-50 per la sponda del petto, kg 50-100 per il rivestimento della bassa sponda e kg 100-200 per la berma;
- 5) relativamente alle opere lato campagna, dato che la banca serve solo per dare continuità alle piste e non per il ricoprimento della linea di saturazione (data la presenza di diaframma e impermeabilizzazione dell'arginatura), la quota della banca deve essere tale da lasciare una luce rispetto alla quota del sottotrave di almeno 5 m (valore normativo di luce netta minima per la transitabilità delle strade non classificate) e la sua larghezza dovrà essere di circa 6-7 m;
- 6) tutte le opere di adeguamento e protezione delle arginature da realizzarsi in corrispondenza dell'attraversamento, sia in sx che in dx idraulica dovranno estendersi per almeno ml 20 a monte e ml 20 a valle oltre la proiezione degli impalcati come risultante qualora dovesse essere costruita la prevista terza corsia per senso di marcia.

b) Fiume Panaro/raccordo Bondeno-Cento – Autostrada Cispadana:

- 1) Viene ritenuta ammissibile la soluzione prevista nel preliminare, un attraversamento da realizzarsi con un semplice viadotto che interseca il corso d'acqua con una sequenza di n.3 campate delle quali quella centrale lunga ml 70,
- 2) Per quel che concerne la quota del sottotrave la stessa determina una luce libera di soli ml 1.40 quindi non in linea con le direttive ADBPo, si ritiene quindi di dover prescrivere che l'impalcato venga realizzato ad una quota di cm 60 superiore a quella prevista;

Per quanto riguarda il progetto del viadotto autostradale, si conferma la soluzione prevista nel progetto preliminare (campata centrale da 70 m).

Nel viadotto della viabilità di adduzione la campata centrale è stata portata a 76 m e l'intradosso dell'impalcato è stato alzato a quota 19.97 m s.l.m., garantendo un franco superiore ai 2 m rispetto alla quota relativa alla portata duecentennale.

Infine il presente Progetto Definitivo ha pienamente rispettato, nelle sistemazioni idrauliche, le prescrizioni/consigli di AIPO relativamente al posizionamento dei diaframmi, alla pezzatura dei massi per le difese spondali, alle luci e dimensioni da garantire per la continuità della viabilità di servizio e all'estensione monte/valle delle opere di adeguamento e protezione delle arginature, sia in corrispondenza dell'attraversamento autostradale sia della viabilità di adduzione D08.