



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

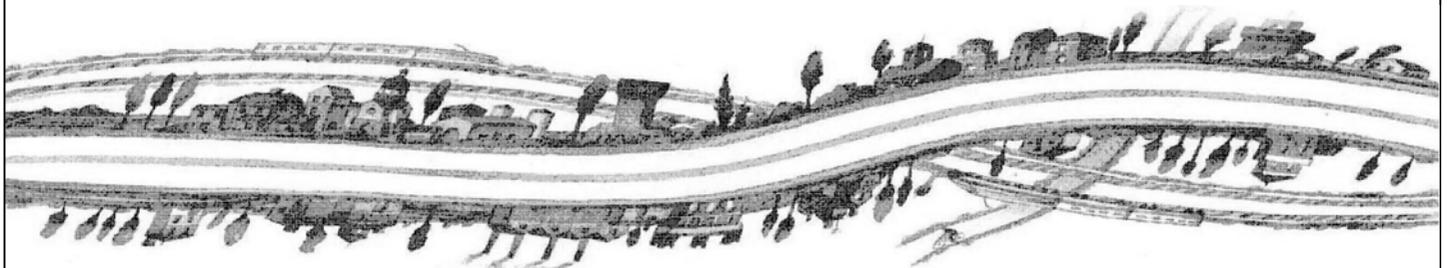
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

CAVO PARMIGIANA MOGLIA E COLLETTORE ACQUE BASSE REGGIANE

RELAZIONE IDRAULICA CAVO PARMIGIANA MOGLIA



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

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G									
F									
E									
D									
C									
B									
A	17.04.2012	EMISSIONE			Ing. Mammi	Ing. Telò	Ing. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE			REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO								DATA: MAGGIO 2012	
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.
0660	PD	0	A02	AWS01	0	WW	RI	01	A
								SCALA: varie	

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
3. CRITERI GENERALI	4
3.1. Articolazione dello studio.....	4
4. L'APPLICAZIONE DEI MODELLI UTILIZZATI.....	6
4.1. Il modello per la propagazione dell'onda di piena	6
4.2. Modello di infiltrazione nel corpo arginale per evitare il sifonamento.....	9
5. AMBITO DI RIFERIMENTO.....	11
5.1. Il comprensorio di Bonifica	11
5.2. Tracciato autostradale interferente con il corso d'acqua.....	13
6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE CAVO PARMIGIANA MOGLIA	14
6.1. Caratteristiche idrografiche e morfologiche del Cavo Parmigiana Moglia.....	14
6.2. Caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo e tendenza morfo-evolutiva	16
7. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO E DELLE CONDIZIONI DI VALLE	21
8. VERIFICHE IDRAULICHE	25
8.1. Attraversamento autostradale	25
8.2. Attraversamento su interconnessione I01	26
8.3. Verifica di compatibilità idraulica stato di fatto/stati di progetto.....	26
8.3.1. Verifica del franco di sicurezza degli attraversamenti.....	27
8.3.2. Valutazione della compatibilità idraulica	32
8.4. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	37
8.5. Valutazione dei fenomeni erosivi localizzati nel tratto interessato dalle opere	38
9. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	43
10. VERIFICA AL SIFONAMENTO E FILTRAZIONE	46
10.1. Dimensionamento diaframmi idraulici.....	49
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE PRESCRIZIONI DEL CONSORZIO	50

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 sull'A22 e il casello di Ferrara Sud sull'A13 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 Cavo Parmigiana-Moglia, corso d'acqua interferito dalla viabilità in progetto.

Questo percorso progettuale è stato coordinato e condiviso con gli Enti Gestori del corso d'acqua interessato dall'interferenza (AIPO e Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale) 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 relative alla portata massima sostenibile del corso d'acqua (QMS) nel rispetto della Direttiva dell'Autorità di Bacino del fiume Po e del Regolamento interno di polizia idraulica dell'Ente gestore;
- ❑ 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 diaframmatatura antisifonamento;
- ❑ la continuità e la conservazione della viabilità gestionale sia in caso di piena che di magra

Il corso d'acqua in oggetto è un corso d'acqua principale di competenza dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po, ma gestito in base ad una convenzione dal Consorzio dell'Emilia Centrale.

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.

Lungo tutto lo sviluppo dell'analisi e della progettazione idraulica dell'attraversamento in oggetto ci si è, inoltre, attenuti e riferiti a tutto l'insieme di indicazioni e prescrizioni (Norme di polizia idraulica) impartite dal Consorzio di Bonifica competente, con il quale è stato attivato un positivo confronto

3. CRITERI GENERALI

3.1. Articolazione dello studio

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

Fase 1[^]: 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 rilievo delle sezioni trasversali aggiornato al 2011 proprio nell'ambito della presente progettazione definitiva, ha permesso, inoltre, di definire la geometria del corso d'acqua nel tratto oggetto di studio.

Fase 2[^]: Analisi idraulica del corso d'acqua

L'analisi idrologica ed idraulica effettuata per il cavo Parmigiana-Moglia rispecchia le considerazioni fatte per i diversi ambiti territoriali esaminati per le verifiche idrauliche delle diverse porzioni del tracciato autostradale, in quanto ciascuno di essi presenta peculiari caratteristiche morfologiche e climatologiche che modificano i parametri idrologici connessi alla formazione ed al deflusso delle piene. La particolare caratteristica dei corsi d'acqua di bonifica risiede proprio nella loro funzionalità e negli usi a cui sono preposti; l'ambivalenza delle funzioni di scolo ed irrigazione rende non poco difficile l'analisi idrologica in quanto, a rigore, essi vanno studiati sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche, tuttavia essi sono utilizzati, soprattutto nelle stagioni primaverili ed estive, anche per irrigazione mantenendo alti i livelli in alveo e riducendo la capacità di assorbimento di eventi pluviometrici importanti. I criteri adottati sono analoghi a quanto definito per l'Autostrada Regionale Cispadana a cui afferisce l'opera viabilistica qui esaminata, sviluppando studi funzionali alla caratterizzazione dei deflussi dei canali principali per i quali è stata predisposta una modellazione matematica volta ad individuare i livelli idrometrici da assumere a riferimento per la progettazione dei manufatti di attraversamento.

La soluzione adottata per gli attraversamenti è stata discussa e concordata con il Consorzio di bonifica competente con il quale il confronto diretto ha consentito di approfondire le problematiche dell'intervento, nonché di rispettare le preliminari prescrizioni di carattere generale che sono state fornite.

Lo studio è stato condotto adottando parametri progettuali e di verifica cautelativi, estendendo le prescrizioni

tecniche stabilite dall'Autorità di bacino per il Po nell'ambito del PAI anche sui canali principali. Tra i parametri progettuali si è scelta come condizione più critica la funzione di scolo.

La portata massima assunta e calcolata tramite una procedura modellistica matematica, è in linea con le indicazioni del Consorzio ed in particolare con le risultanze dello studio condotto dall'ing. Marinelli su incarico dello stesso Consorzio. Tali valori sono stati ricavati tramite il procedimento di calcolo della portata massima portata sostenibile dal tronco rilevato all'interno del quale ricadono le infrastrutture di attraversamento, incrementata per poter risolvere i tratti di maggior criticità.

Infatti le verifiche sono state impostate anche nell'ipotesi di adeguamento arginale lungo buona parte del tratto di corso d'acqua analizzato.

L'analisi idraulica è stata condotta mediante modellazione matematica in moto permanente, si sono indagate e confrontate la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

Fase 3[^]: Analisi di filtrazione

Ai fini della verifica della possibile interferenza delle opere in progetto e per 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 si è, quindi, proceduto alla definizione delle opere di presidio idraulico necessarie a garantire sia l'ufficiosità 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 Cavo Parmigiana Moglia è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale. La ricostruzione in formato digitale delle morfologie dell'alveo, delle arginature e delle aree limitrofe si è basata sui dati geometrici desunti dal rilievo topografico realizzato ad hoc per questa fase progettuale.

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).

Il modello, calcola i profili di moto vario per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, 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 scatolari, 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

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.

Al fine dell'impostazione della modellazione geotecnica necessaria per effettuare le simulazioni, 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.

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. Il comprensorio di Bonifica

Il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale è un ente di diritto pubblico, nasce nell'ottobre del 2009 dalla fusione dei Consorzi di Bonifica Parmigiana Moglia Secchia e Bentivoglio-Enza, ed assicura la gestione e distribuzione delle acque superficiali per la tutela e lo sviluppo del territorio. Il territorio del comprensorio consorziale dell'ex bonifica Bentivoglio-Enza ricade per la maggior parte della sua estensione in Emilia Romagna e per una modesta superficie in Toscana; interessa tre province (Reggio Emilia, Parma e Massa Carrara) e 27 Comuni. L'estensione complessiva è di 97.066 ha. Il territorio di montagna ha un'estensione di 57.060 ha, mentre il territorio di pianura risulta avere un'estensione di 40.006 ha.

Il comprensorio dell'ex Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia – Secchia, all'interno del quale si trova proprio il Cavo Parmigiana-Moglia, presenta invece un'estensione complessiva pari a 214.318 ha ed è pressoché coincidente con il bacino idrografico del fiume Secchia.

L'intero comprensorio viene suddiviso in due zone altimetriche distinte: quella di pianura, che da quota 17.00 m s.l.m. si eleva sino a quota 50.00 m s.l.m., e quella collinare e di montagna, che si estende fino al crinale appenninico Tosco-Emiliano.

Gli interventi e le opere di bonifica eseguite a partire dal 1919 all'interno dell'attuale comprensorio di bonifica in esame, hanno condotto ad una razionale separazione delle acque basse da quelle alte, consentendo, inoltre, di portare acqua in tutti i periodi dell'anno nei terreni agricoli fino in Appennino. Originariamente il reticolo superficiale è stato impostato mediante l'esecuzione di due collettori, il primo delle acque basse, l'altro per le alte, entrambi scaricanti nel Secchia tramite due impianti idrovori: il primo, per le acque alte, realizzato a Mondine di Moglia, mentre il secondo, per le acque basse, ubicato a San Siro di San Benedetto Po. Per evitare che i cavi che trasportano acque provenienti dai territori più alti invadano i territori più bassi, sono state separate le acque alte da quelle basse.

Le acque alte scorrono in zone alla quota di 25 metri sul livello del mare e si trovano nella parte meridionale del comprensorio. Queste acque vengono convogliate, attraverso i cavi Bondeno, Naviglio, Tresinaro e Lama, in un unico collettore, il cavo Parmigiana-Moglia. Tale collettore scarica le acque provenienti dalle terre alte, per caduta libera, nel fiume Secchia in località Bondanello (Moglia). Quando il Secchia è in piena, le chiaviche di Bondanello si chiudono e le acque del cavo Parmigiana-Moglia, convogliate nel tratto terminale del cavo Lama, possono comunque venire smaltite dall'impianto idroforo di Mondine.

Le acque basse scorrono al di sotto di tale quota nella parte settentrionale, e sono immediatamente

riconoscibili per l'assenza di argini. Nei punti di incrocio fra canali di acque alte e canali di acque basse, queste ultime passano al di sotto delle prime tramite apposite botte. Le acque basse, quindi, confluiscono in due canali di scolo principali: il Collettore Acque Basse Reggiane e il Collettore Acque Basse Modenesi. Questi si riuniscono poi in un Canale Emissario che sottopassa il cavo Parmigiana-Moglia alla botte S.Prospero, e convoglia le acque basse al Secchia presso l'impianto idrovoro di S. Siro.

L'acqua necessaria per l'irrigazione viene derivata dal Po a Boretto, dove entra nel Canale Derivatore e quindi nel cavo Parmigiana-Moglia. Da qui si distribuisce per gravità nelle zone al di sotto dei 20 metri sul livello del mare, nel restante comprensorio occorre innalzarla attraverso impianti di sollevamento. Per questo, canali come Parmigiana-Moglia e Lama, che in autunno-inverno scolano le acque alte verso valle, nei periodi secchi (da maggio a settembre) convogliano verso monte l'acqua destinata all'irrigazione.

La rete di infrastrutture e canali costruita per la bonifica del territorio della bassa reggiano-modenese è costituito da innumerevoli opere, tra cui 2 impianti di sollevamento a Po, in località Boretto, 25 impianti di sollevamento secondario, oltre 1.000 Km di canali di risalita e distributori, e innumerevoli manufatti secondari di regolazione e distribuzione.

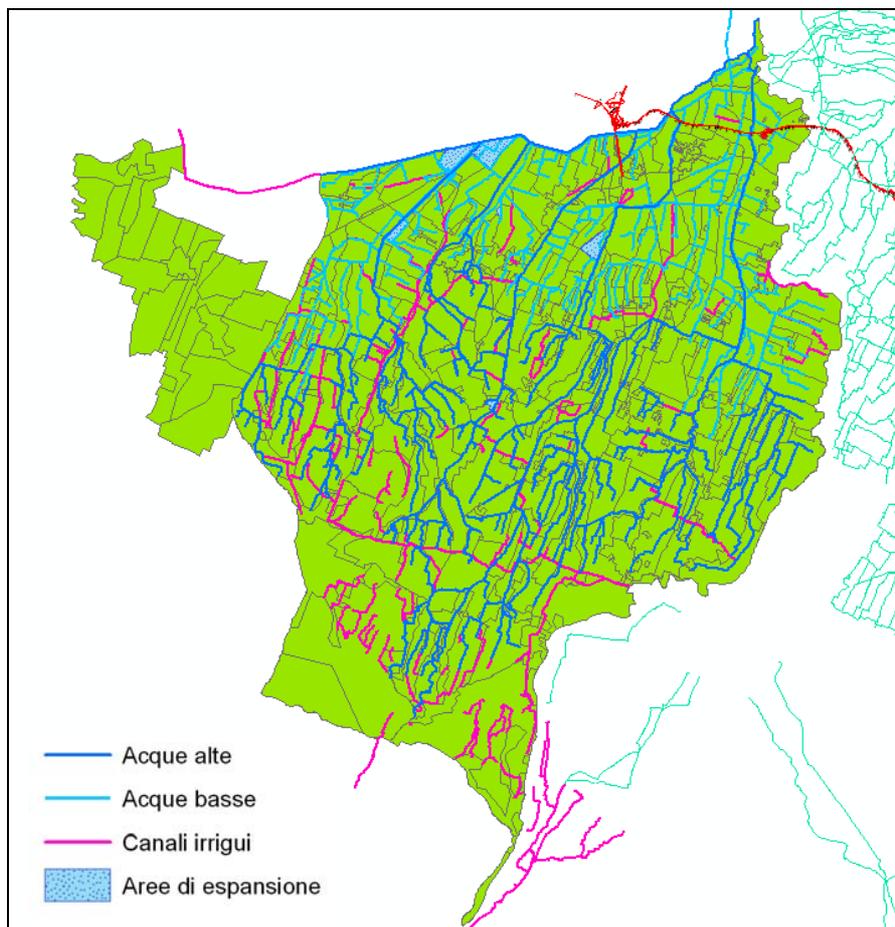


FIGURA 5-1: TERRITORIO DELL'EX BONIFICA PARMIGIANA MOGLIA - SECCHIA

Il tracciato in progetto interessa la porzione di pianura del comprensorio, caratterizzato da una morfologia piatta sulla quale si ergono i modesti rilievi naturali dei dossi di pianura ed artificiali delle arginature o rilievi infrastrutturali, strade e ferrovie. La campagna è prevalentemente destinata a seminativi con presenza di frutteti e vigneti ed altre colture arboree, mentre i centri abitati non sono particolarmente frequenti.

Il territorio è soggetto ad un clima continentale temperato tipico della pianura padana tuttavia con influenze, soprattutto nella parte di alta pianura, del clima sublitoraneo appenninico dominato da due massimi e due minimi di precipitazione.

La maggior parte dei canali è di uso promiscuo, questo fa sì che sia quasi sempre presente acqua nel canale e quindi lo stesso è frequentemente popolato da specie ittiche ed anfibe.

5.2. Tracciato autostradale interferente con il corso d'acqua

Il tracciato autostradale in progetto inizia al casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 "Autostrada del Brennero" per poi proseguire fino 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 quasi 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 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 CAVO PARMIGIANA MOGLIA

Il Cavo Parmigiana-Moglia è un corso d'acqua artificiale di competenza dell'AIPO e, secondo apposita convenzione, gestito dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale. L'attraversamento del Cavo Parmigiana-Moglia avviene in due punti: il primo tra le progressive Pk. 0+421.64 e Pk. 0+464.06 sull'interconnessione I01 in affiancamento all'autostrada A22, il secondo tra le progressive Pk. 1+912.573 e Pk. 2+176.259 del tracciato autostradale (progressive riferite all'asse di tracciamento stradale).

6.1. Caratteristiche idrografiche e morfologiche del Cavo Parmigiana Moglia

Il Cavo Parmigiana Moglia ricade all'interno delle dinamiche di gestione del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, riveste il duplice ruolo di adduzione e trasferimento verso monte delle acque di irrigazione nel periodo estivo, nonché di scolo delle acque alte verso valle nei restanti periodi dell'anno.

Nel primo caso, riceve dal Canale Derivatore le acque derivate dal Po a Boretto, mentre nel secondo caso scarica le acque provenienti dalle terre alte, per caduta libera, nel fiume Secchia in località Bondanello (Moglia). In caso di piena del f.Secchia, a seguito della chiusura delle chiaviche di Bondanello le acque del cavo Parmigiana-Moglia vengono convogliate nel tratto terminale del cavo Lama, da cui vengono smaltite attraverso l'impianto idrovoro di Mondine.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella bassa pianura reggiana, ed il tratto del canale interessato dall'opera infrastrutturale in progetto insiste su una porzione di territorio caratteristica della bassa pianura padana dominata da superfici piatte monotone deprimenti verso nord-est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie o ad arginature. Nelle tabelle seguenti vengono esposte le principali caratteristiche fisiche del bacino chiuso, rispettivamente, alla sezione di attraversamento della A22 (Tabella 6-1) e alla sezione di attraversamento del tracciato autostradale in progetto (Tabella 6-2).

Area del bacino	235,00	km ²
Lunghezza dell'asta principale	17,22	km
Elevazione massima del bacino	45,00	m s.l.m.
Elevazione della sezione di chiusura	15,24	m s.l.m.
Distanza dalla foce	11,44	km

TABELLA 6-1: CAVO PARMIGIANA MOGLIA - CARATTERISTICHE FISICHE ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO DELL'INTERCONNESSIONE TRA CISPADANA E A22

Area del bacino	240,00	km ²
Lunghezza dell'asta principale	20,42	km
Elevazione massima del bacino	45,00	m s.l.m.
Elevazione della sezione di chiusura	15,04	m s.l.m.
Distanza dalla foce	8,24	km

TABELLA 6-2: CANALE PARMIGIANA MOGLIA - CARATTERISTICHE FISICHE ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO DEL VIADOTTO CISPADANA

I canali del bacino delle acque alte confluiscono nel cavo Parmigiana Moglia, che attraversa le province di Reggio Emilia, Modena e Mantova dall'immissione del cavo Derivatore (intersezione col Torrente Crostolo in corrispondenza della Botte Bentivoglio) agli scarichi in Secchia di Bondanello e Mondine, nel territorio del comune di Moglia (MN). Il canale, di origine medievale e risezionato con l'intervento del Consorzio di Bonifica, si sviluppa per una lunghezza totale di 28.7 km con una pendenza di 0.06 m/km.(rif. rel. Ing. Marinelli).

6.2. Caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo e tendenza morf-evolutiva

Il Cavo Parmigiana Moglia, nel tratto di interesse, risulta delimitato per buona parte da un sistema di arginature attestatesi pressoché allo stesso livello su entrambe le sponde, e scorre parallelo al Collettore Acque Basse Reggiane. Il corso d'acqua in esame presenta dislivelli, tra il fondo dell'alveo e la testa degli argini, dell'ordine di 6-7 m.

Il Cavo, come anticipato, interseca sia il tracciato autostradale in progetto che, più a monte, un ramo di interconnessione con l'autostrada A22, ed il tratto di canale oggetto di simulazione numerica si estende dalla sezione PM82, circa 700 m a monte dell'attraversamento dell'interconnessione con la A22, fino alla sezione PM117, 3266 m a valle, per una lunghezza totale di circa 7 km.

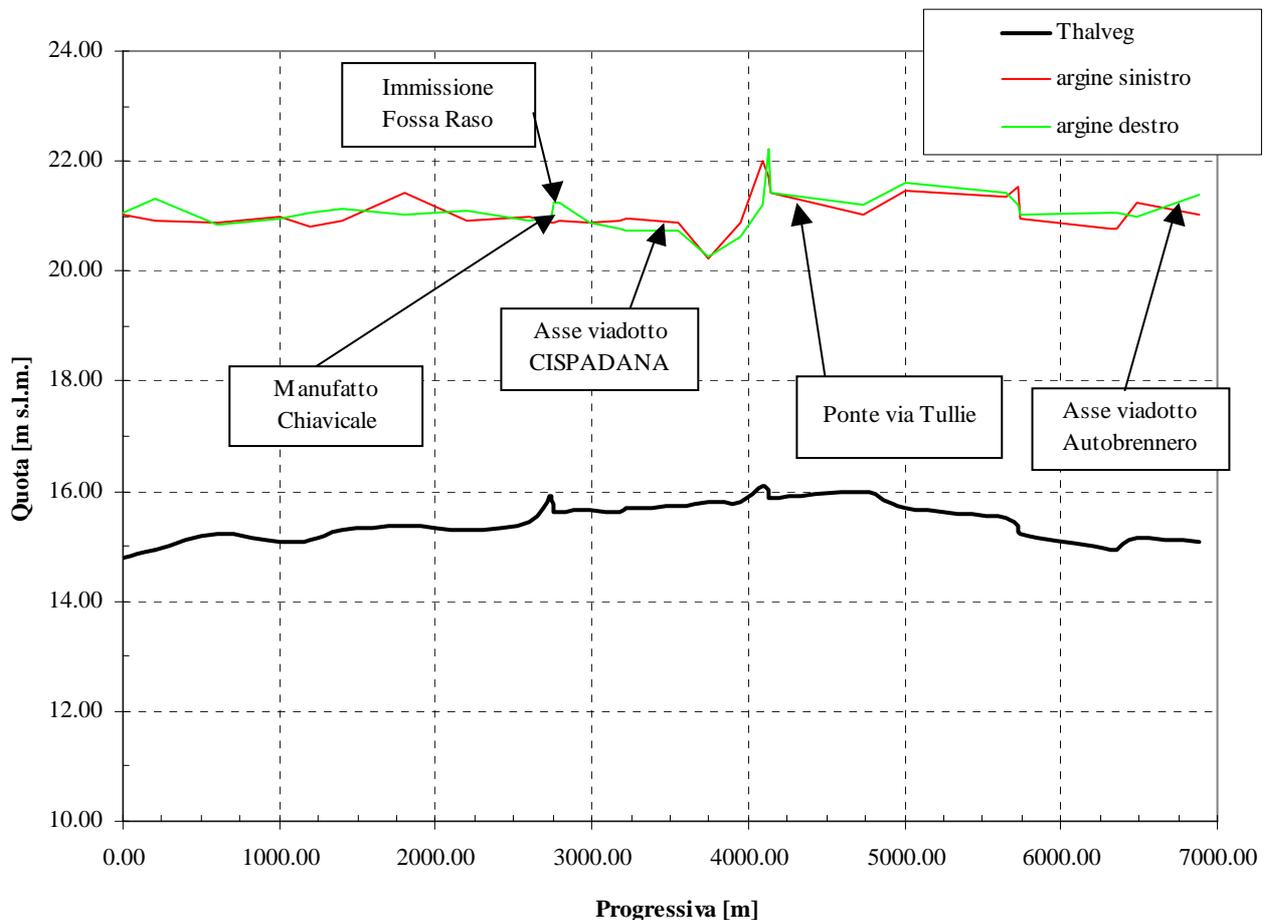


FIGURA 6-1: ANDAMENTO DEL THALWEG E DELLE ARGINATURE DEL CAVO PARMIGIANA MOGLIA NEL TRATTO ANALIZZATO

Il materiale d'alveo è materiale fine di base limosa, e sulle banche il terreno è colonizzato da fitto e costante cotico erboso ed assenza di vegetazione superiore arbustiva o arborea. Le arginature sono in erba senza difese idrauliche e senza vegetazione.

Il rilievo topografico specificatamente condotto sul tratto di Cavo analizzato si compone di 26 sezioni trasversali, di cui 1 ortogonale all'asse del canale e posta in corrispondenza dell'attraversamento; le sezioni sono estese oltre il ciglio spondale ad individuare il piano della campagna esistente.

Il rilievo è stato utilizzato per integrare quello messo a disposizione dall'AIPO, composto da ulteriori 36 sezioni. Le sezioni fornite dall'ente gestore, ed utilizzate per l'implementazione delle simulazioni numeriche, hanno un passo di circa 200 m e descrivono l'alveo e la campagna esterna. Nel tratto rappresentato sono presenti anche il viadotto Autobrennero, il ponte di via Tullie, l'immissione della Fossa Raso e la chiavica di regolazione immediatamente a valle di tale immissione.



FIGURA 6-2: CAVO PARMIGIANA MOGLIA ALLA SEZIONE D'INTERFERENZA

Nell'ambito del progetto sono state svolte indagini specialistiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche idrografiche ed ambientali del corso d'acqua; si riporta nel seguito la scheda di censimento da cui emergono tali rilevamenti.

CODICE	A01A012
NOME	CAVO PARMIGIANA MOGLIA

DATA RILIEVO	11/08/2011	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	AIPO	
LOCALITA'	Villanova di Reggiolo	
COMUNE	Rolo	
PROVINCIA	RE	
PROGRESSIVA	01+900	
FOTOGRAFIE	A01A012_1	A01A012_2

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	1645980.58
	GAUSS BOAGA Y	4973907.67
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (m ²)	240.000.000
	LUNGHEZZA (m)	28.700
	SORGENTE	Torrente Crostolo
	FOCE	Cavo Lama/Fiume Secchia
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	rettilineo
	TIPO SEZIONE	arginato
	TIPO ALVEO	alveo artificiale arginato a sezione trapezoidale
	EROSIONI	assenza di erosioni
CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA	RANGO	principale
	USO	promiscuo
	GRANULOMETRIA	limo argilloso



	AMBIENTE FLUVIALE	<i>vegetazione spondale erbacea con presenza di canneto - vegetazione riparia arborea ed erbacea</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI AL CONTORNO	<i>corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle e livello a piene rive</i>
	SCABREZZA ($m^{1/3}/s$)	<i>22-25</i>
NOTE		<i>ponti stradali e carrai - paratoie per la gestione delle portate e livelli irrigui</i>

COD	A01A012	NOME	CAVO PARMIGIANA MOGLIA
			
FOTOGRAFIA	A01A012_1		
			
FOTOGRAFIA	A01A012_2		

7. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO E DELLE CONDIZIONI DI VALLE

La regione fluviale nel tratto studiato è tipica dei territori di bassa pianura caratterizzati da una campagna piatta inframmezzata da rilevati stradali e da alcuni dossi di pianura; più varia ed articolata la presenza di incisioni idrografiche di prevalente carattere canalizzato solitamente in scavo rispetto alla campagna. La campagna è destinata a seminativi, e l'urbanizzazione è scarsa in destra al canale, mentre è più presente lungo la sponda sinistra dello stesso, con la presenza di agglomerati urbani rilevanti quali quello di Moglia.

Il bacino idrografico afferente presenta suoli di prevalente matrice poco permeabile con dominanza di limi ed argille intervallati da lenti di sabbie. La falda freatica, inoltre, è quasi superficiale nei pressi del tracciato in progetto, presenta profondità modesta, mentre si approfondisce procedendo verso monte.

L'uso del suolo è stato ricavato per il bacino imbrifero afferente, suddiviso nei sottobacini destro e sinistro, la cui chiusura fisiografica avviene in corrispondenza dell'attraversamento Cispadana. L'analisi è stata condotta con riferimento alla Carta dell'uso del suolo della Regione Emilia Romagna

Le analisi idrologiche condotte in fase di progetto preliminare, che hanno individuato coefficienti udometrici omogenei per i bacini dei corsi d'acqua insistenti sul medesimo ambito territoriale in sinistra Secchia, in virtù della caratterizzazione morfologica comune e della vicinanza geografica che implica una similitudine delle caratteristiche pluviometriche, sono state integrate prendendo a riferimento il recente studio condotto nel 2005 dall'ing. A. Marinelli per conto dell'allora Consorzio di Bonifica della Parmigiana Moglia e Secchia.

Questo studio è composto da 2 parti: nella prima sono state preliminarmente analizzate le precipitazioni del periodo 1968 – 2004 su diverse stazioni pluviometriche, quindi sono state definite le relative curve di possibilità pluviometrica per porzioni omogenee del bacino. Successivamente è stata effettuata l'analisi dettagliata del sistema idraulico in regime di scolo dei canali investigati ed all'individuazione di interventi infrastrutturali e della logica gestionale degli impianti e delle paratoie volti a ottenere una migliore sicurezza idraulica del territorio. Soprattutto nella seconda parte l'ing. A. Marinelli ha focalizzato l'attenzione sui tratti di maggior criticità esponendo per ognuno di essi azioni volte alla mitigazione. Grazie all'utilizzo di un modello di simulazione SWMM, tra l'altro utilizzato anche nel presente Progetto Definitivo per il calcolo degli scoli generati dalla piattaforma stradale e calibrato su casi realmente accaduti, ha stimato valori di portata critici per singolo canale investigato in funzione delle azioni comportamentali ad esso associabili e legate alla gestione delle chiaviche e paratoie.

Dello studio dell'ing. A. Marinelli si riportano di seguito i parametri della curva di possibilità climatica per i tre macrobacini in cui è stato suddiviso il comprensorio – alta, media e bassa pianura – del Consorzio di Bonifica oggetto di analisi nonché i parametri della curva di possibilità climatica unica per i suddetti macrobacini per durate di pioggia comprese tra 1 ora e 3 giorni

TEMPO DI RITORNO	Alta pianura		Media pianura		Bassa pianura	
	a	n	a	n	a	n
10	43,6	0,21	48,24	0,24	57,77	0,16
25	52,16	0,2	58,04	0,24	70,74	0,15
50	58,5	0,2	65,3	0,24	80,36	0,14
100	64,79	0,19	72,51	0,24	89,9	0,14

TABELLA 7-1: CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA RAGGUAGLIATA PER IL COMPENSORIO PER DURATE DI PIOGGIA BREVI (1-24 ORE)

TEMPO DI RITORNO	Alta pianura		Media pianura		Bassa pianura	
	a	n	a	n	a	n
10	90,44	0,13	107,39	0,11	100,86	0,13
25	107,37	0,13	130,43	0,11	120,21	0,14
50	119,93	0,13	147,52	0,11	134,56	0,14
100	132,4	0,13	164,49	0,11	148,81	0,14

TABELLA 7-2: CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA RAGGUAGLIATA PER IL COMPENSORIO PER DURATE DI PIOGGIA LUNGHE (1-5 GIORNI)

TEMPO DI RITORNO	Alta pianura		Media pianura		Bassa pianura	
	a	n	a	n	a	n
10	43,27	0,21	49,12	0,23	56,85	0,17
25	51,44	0,21	58,93	0,23	69,09	0,17
50	57,5	0,21	66,21	0,23	78,16	0,16
100	63,5	0,21	73,44	0,23	87,16	0,16

TABELLA 7-3: CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA RAGGUAGLIATA PER IL COMPENSORIO PER DURATE DI PIOGGIA LUNGHE (1-72 ORE)

Sempre l'ing Marinelli confronta valori di portata calcolati con quelli ricavati attraverso il processo di modellazione soprarichiamato (SWMM) tarato su 5 casi esaminati.

Tabella 2.2. 18 – Caratteristiche principali del cavo Parmigiana Moglia e del bacino afferente

Codice canale	Nome	Tratto	Progressiva	Sezione	Lunghezza (m)	Pendenza media	Volume geometrico (mc)	Q _{unif} (mc/s)	Area afferente al tratto (ha)	Area afferente totale (ha)
A1000	CAVO PARMIGIANA MOGLIA	da confl canale Deriavatore a confl C. Bondeno	28657 - 19525	SP_A1000_28620	579	0.00006	88 587	100.2	0.00	9 727.10
				SP_A1000_26874	1 346		162 866	83.1		
				SP_A1000_26760	3 329		506 008	110.1		
				SP_A1000_19630	3 878		558 432	96.7		
		da confl C. Bondeno a confl C. Linarola	19525 - 16680	SP_A1000_19630	1 209		174 096	96.7	0.00	17 773.65
				SP_A1000_16700	1 636		204 500	93.8		
		da confl C. Linarola a confl C. Naviglio	16680 - 10371	SP_A1000_16700	3 485		435 625	93.8	0.00	20 472.48
				SP_A1000_10400	2 824		401 008	105.2		
		ad confl C. Naviglio a confl Fossa Raso	10371 - 7916	SP_A1000_10400	743		105 506	105.2	0.00	24 064.98
				SP_A1000_8000	2 009		283 269	101.5		
		da confl Fossa Raso a confl C. Scaricatore	7916 - 2238	SP_A1000_7800	1 615		234 175	110.2	0.00	35 598.95
				SP_A1000_5115	3 094		433 160	110.8		
				SP_A1000_300	969		114 342	97.4		
		da confl C. Scaricatore a immissione in Secchia	2238 - 0	SP_A1000_300	2 116		249 688	97.4	0.00	47 808.71
TRAP11.0x12.5-1.5	122			29 402	183.1					

TABELLA 7-4: CARATTERISTICHE CAVO PARMIGIANA-MOGLIA (DA STUDIO ING. MARINELLI)

Procedendo invece col metodo della portata massima sostenibile ragguagliata nello stato di progetto con una procedura modellistica in moto permanente, si ottengono i seguenti valori:

1. massima portata sostenibile a franco nullo lungo l'intero tratto esaminato $Q_{MS1}=70 \text{ m}^3/\text{s}$ fino all'immissione della Fossa Raso $=120 \text{ m}^3/\text{s}$ fino alla fine del tratto.
2. massima portata sostenibile a franco nullo lungo l'intero tratto esaminato con adeguamento in quota dei tratti di maggior criticità, portata $Q_{MS2}=100 \text{ m}^3/\text{s}$ fino all'immissione della Fossa Raso $= 185 \text{ m}^3/\text{s}$ fino alla fine del tratto.

Stante la duplice funzione di scolo ed irrigazione rivestita dal cavo, la modellazione numerica viene effettuata con riferimento alla situazione più gravosa, ovvero quella di scolo delle acque durante la stagione piovosa, e la condizione di valle viene fissata alla sezione n. PM117, in corrispondenza del ponte di Moglia.

I valori di portata ottenuti con il metodo soprarichimato (Q_{ms}) sono del tutto paragonabili con quelli ottenuti dall'ing. Marinelli, mentre sono decisamente superiori a quelli calcolati per gli eventi di piena più gravosi registrati dal Consorzio stesso.

Per tale motivazioni i valori così calcolati si assumono come portate di riferimento.

Nel tratto oggetto di intervento il corso d'acqua ha andamento rettilineo e si sviluppa tendenzialmente da Sud verso Nord.

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).

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 del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali.

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

I valori provenienti dalla modellazione idraulica sono stati ottenuti, assumendo un coefficiente di Strickler dell'ordine di 25-29 m^{1/3}/s.

8. VERIFICHE IDRAULICHE

Il Cavo Parmigiana-Moglia viene attraversato sia dall'opera autostradale, sia da un ramo dell'interconnessione con la A22.

8.1. Attraversamento autostradale

L'attraversamento autostradale del sistema formato dai due attigui Cavi Parmigiana Moglia e Collettore Acque Basse Reggiane, viene risolto mediante un unico viadotto ad impalcato metallico a cinque campate, di lunghezza pari, rispettivamente, a 45 + 58 + 58 + 58 + 45 m per una lunghezza totale di circa 264 m (misurata da asse appoggi delle spalle, vedi elaborato PD_0_A02_AWS01_0_WW_PZ_02_A).

L'attraversamento del tracciato principale avviene quasi ortogonalmente all'asse dei due canali, e l'angolo tra asse del tracciato e la normale al corso d'acqua è pari a circa 10°. Per quanto riguarda il dimensionamento idraulico dell'impalcato di attraversamento di entrambi i corsi d'acqua adiacenti, la condizione più conservativa viene imposta proprio dal Cavo Parmigiana Moglia, il quale presenta, a parità di progressiva, un maggior livello delle quote spondali e/o arginali.

L'opera è costituita da due carreggiate separate, di larghezza variabile da 16.35 m a 16.37 m per la carreggiata destra e variabile da 16.70 m a 16.35 m per la carreggiata sinistra, 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.

La carreggiata sinistra ha pendenza trasversale verso Sx (spalle all'origine del tracciato) variabile dal 2.50%, in corrispondenza della "Sezione su Spalla A", al 3.54% in corrispondenza della "Sezione su Spalla B".

La carreggiata destra invece ha pendenza trasversale verso Dx (spalle all'origine del tracciato) pari all'1.98%, in corrispondenza della "Sezione su Spalla A", per poi invertirsi tra le pile "P1" e "P2" sino a raggiungere il -3.52% in corrispondenza della "Sezione su Spalla B".

In seguito ai risultati delle simulazioni eseguite nello stato di fatto, esposti nel paragrafo successivo, ed in funzione della livelletta stradale, l'intradosso del viadotto del tracciato autostradale è stato posto a quota 24.65 m s.l.m. (sezione su asse tracciamento), con franco spondale superiore al valore minimo richiesto pari ad 1 m.

Con particolare riguardo al tracciato autostradale principale, la soluzione adottata prevede la realizzazione delle pile in sponda sinistra del Cavo Parmigiana Moglia poggianti su fondazioni costituite da diaframature portanti, aventi la duplice funzione strutturale ed idraulica, alle quali verrà collegato un diaframma avente esclusivamente funzione idraulica, che si estenderà longitudinalmente per 20 m a monte e 20 m a valle delle

fondazioni e nella parte compresa tra di esse andando così a limitare i fenomeni di infiltrazione in caso di piena.

Inoltre, sia all'esterno dei due canali attigui che nella porzione di terreno compresa tra gli stessi, viene garantita, come prescritto, la continuità di passaggio ai mezzi di gestione e manutenzione, prevedendo apposite piste di servizio aventi larghezza superiore a 4 m e altezza utile tra il piano campagna e l'intradosso del viadotto compresa tra 5.40 e 6.30 m. Tali piste verranno raccordate con la viabilità di servizio attualmente esistente.

8.2. Attraversamento su interconnessione I01

L'attraversamento viene in questo caso risolto mediante un ponte a campata unica di lunghezza pari a 42 m (misurata da asse appoggi delle spalle, vedi elaborato PD_0_I01_IWS01_0_WW_PZ_02_A).

L'attraversamento avviene quasi ortogonalmente all'asse del canale, e l'angolo tra asse del tracciato e la normale al corso d'acqua è pari a circa 3°.

In seguito ai risultati delle simulazioni eseguite nello stato di fatto, esposti nel paragrafo successivo, ed in funzione della livelletta stradale e della congruenza con le quote del viadotto adiacente della A22, l'intradosso del ponte in oggetto è stato posto a quota 22.57 m s.l.m. (sezione su asse tracciamento).

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

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

- stato di fatto, che considera la morfologia attuale del corso d'acqua, senza l'introduzione di alcuna opera in progetto;
- stato di progetto 1, che prevede l'introduzione dei ponti in progetto e la realizzazione di un ringrosso arginale in sponda sinistra in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.
- stato di progetto 2, che oltre a prevedere l'introduzione dei 2 ponti in progetto tiene conto della possibilità che vengano realizzate opere di adeguamento spondale nel tratto modellato a monte e a valle degli attraversamenti in progetto.

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

- rappresentazione geometrica del corso d'acqua: ricavata dal rilievo topografico eseguito ad hoc per la progettazione definitiva (2011), nonché, per lo stato di progetto, dalla geometria dei viadotti previsti;
- scabrezza di alveo e sponde: i valori adottati sono quelli proposti dall'Autorità di bacino del fiume Po nell'ambito della Direttiva 4 (ricavati da "Open-Channel Hydraulics" - Chow, 1959);

- portate di riferimento, assunte come portate massime ammissibili nelle diverse configurazioni sopra esposte (rif. Cap. 7).

La tabella ed i grafici seguenti illustrano i risultati ottenuti andando ad individuare sia la portata massima ammissibile lungo tutto il tratto simulato nella configurazione morfologica attuale, sia la condizione critica per i viadotti nelle configurazioni di progetto.

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

In questa configurazione è stato simulato il tratto di corso d'acqua in oggetto in occasione del raggiungimento del massimo livello di piena sostenibile nella configurazione morfologica attuale.

La Qms del Cavo Parmigiana-Moglia risulta pari a 70 m³/s fino all'immissione della Fossa Raso e pari a 120 m³/s fino alla fine del tratto. Il livello raggiunto dalla piena di progetto nella sezione immediatamente a monte del ponte in affiancamento alla A22 è pari a 20.98 m s.l.m. mentre il livello raggiunto nella sezione a monte del ponte autostradale è pari a 20.71 m s.l.m.

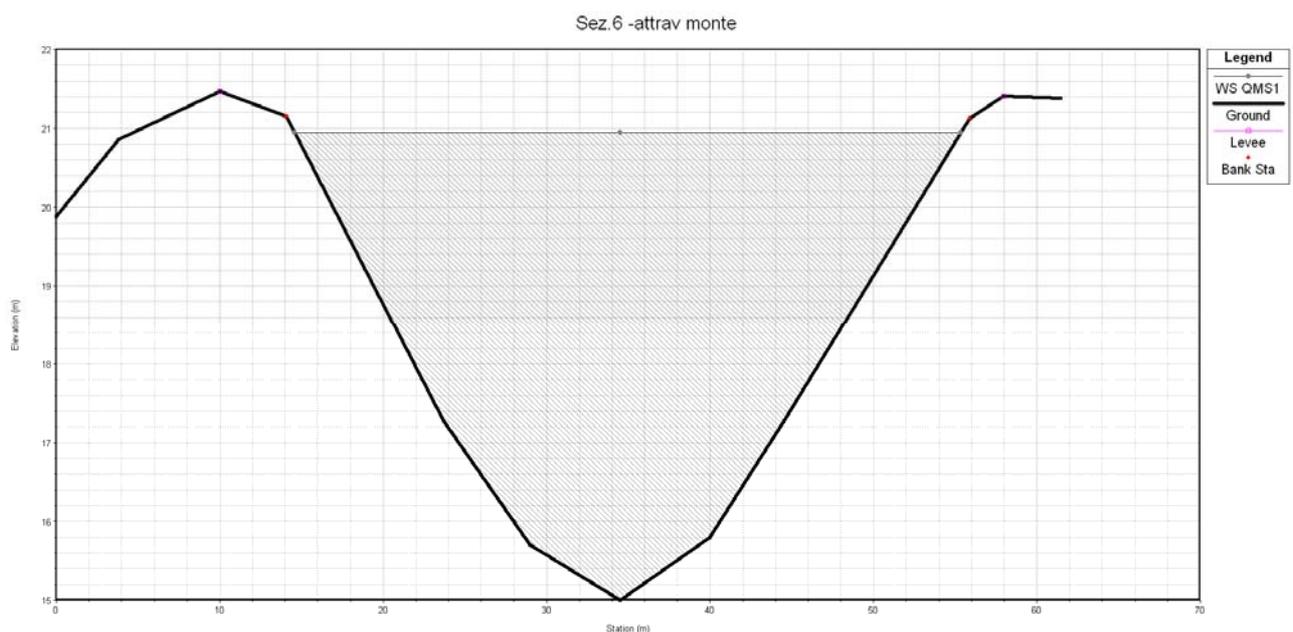


FIGURA 8-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER $Q_{MS1}=70$ M³/S ALLA SEZIONE TRASVERSALE A MONTE DEL PONTE IN AFFIANCAMENTO A22 NELLO STATO DI FATTO

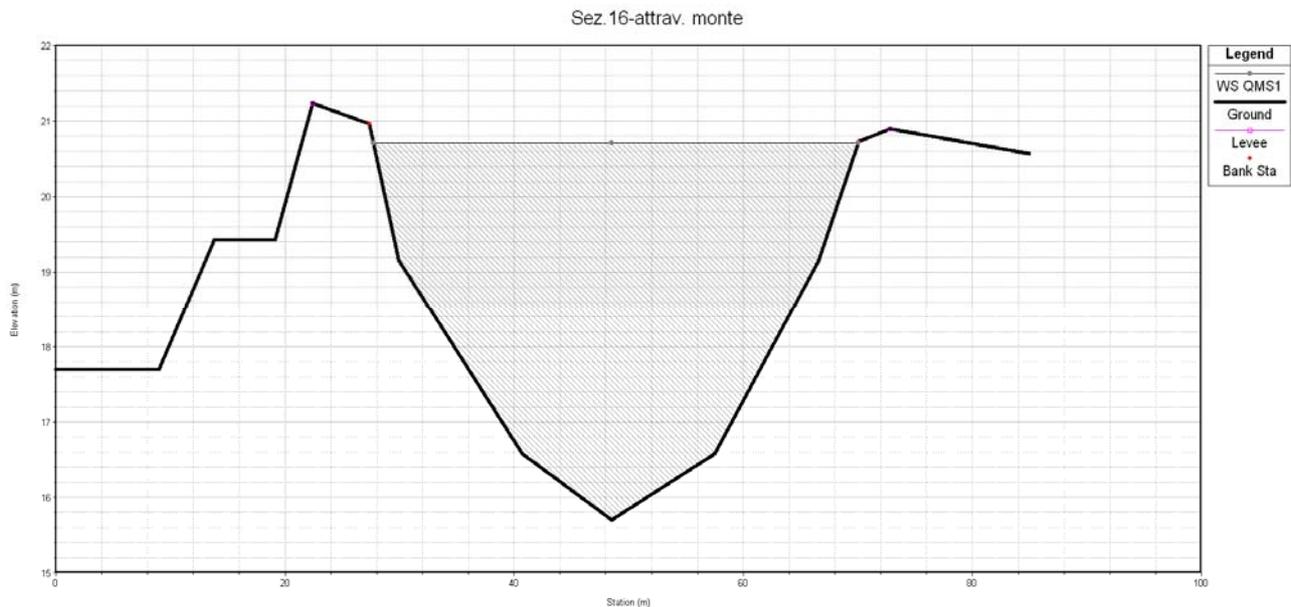


FIGURA 8-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER $Q_{MS1}=70 \text{ M}^3/\text{S}$ ALLA SEZIONE TRASVERSALE A MONTE DEL PONTE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto 1

Nella configurazione di progetto 1 e ponendo l'intradosso del ponte in affiancamento all'A22 a quota 22.57 m s.l.m. (vedi Tav. PD_0_I01_IWS01_0_WW_PZ_01_A) si determina che, con la condizione di portata massima sostenibile nella configurazione attuale ($Q_{MS1}=70 \text{ m}^3/\text{s}$), il livello idrometrico immediatamente a monte del viadotto in affiancamento all'A22 rimane invariato rispetto allo stato di fatto, attestandosi a quota 20.95 m s.l.m. Anche il livello a monte del viadotto autostradale (v. Tav. PD_0_A02_AWS01_0_WW_PZ_02_A) rimane lo stesso dello stato di fatto attestandosi a quota 20.71 m s.l.m.

Per entrambi i viadotti l'opera in progetto non esercita nessun ostacolo al deflusso essendo esterna all'alveo; per il ponte in affiancamento all'A22 il franco idraulico rispetto alla quota d'intradosso risulta sempre superiore a 1.50 m, mentre per il ponte autostradale il franco rispetto all'intradosso è sempre superiore ai 2.00 m s.l.m. in linea con quanto imposto dalla Direttiva 4/99 del PAI dell'AdBPo e dalle altre normative nazionali.

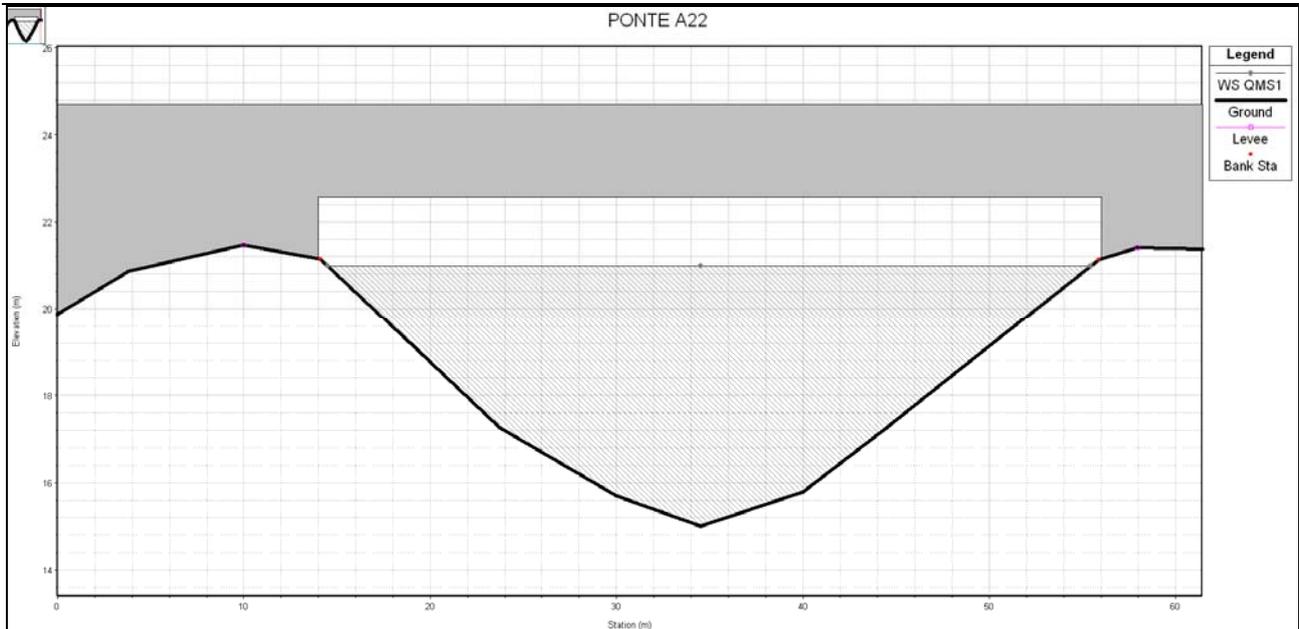


FIGURA 8-3: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE CONDIZIONI IDROMETRICHE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE IN AFFIANCAMENTO A22 NELLO STATO DI PROGETTO 1 – $Q_{MS1}=70 \text{ M}^3/\text{SEC}$

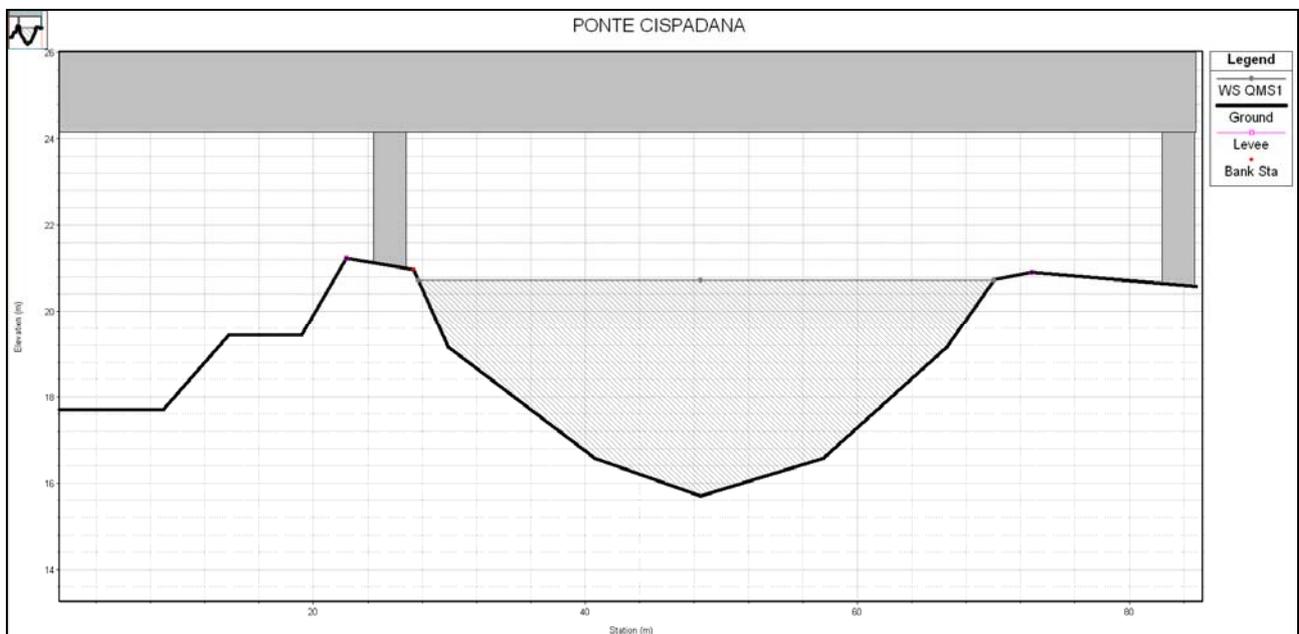


FIGURA 8-4: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE CONDIZIONI IDROMETRICHE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI PROGETTO 1 – $Q_{MS1}=70 \text{ M}^3/\text{SEC}$

Stato di progetto 2

Nella configurazione di progetto 2 è stato ipotizzato un adeguamento arginale nelle sezioni più critiche a

monte e in quelle immediatamente a valle dei viadotti in progetto, oltre al posizionamento dei ponti stessi. Con questa ipotesi la portata massima sostenibile del C. Parmigiana-Moglia passa da 70 m³/s a 100 m³/sec fino alla confluenza della Fossa Raso e da 120 a 185 m³/s fino alla fine del tratto simulato..

In queste condizioni si determina che il livello idrometrico immediatamente a monte del viadotto in progetto in affiancamento all'A22 si attesta a quota 22.09 m s.l.m. mentre il livello a monte del ponte autostradale è a quota 21.87 m s.l.m.

Il profilo di piena in questa condizione lambisce pile e spalle delle opere di attraversamento sia per quanto riguarda l'interconnessione I01 sia nel ponte autostradale. Il franco idraulico del sottotrave risulta comunque superiore a 2.00 m per il ponte autostradale mentre nel ponte in affiancamento all'A22 il franco risulta di circa 50 cm.

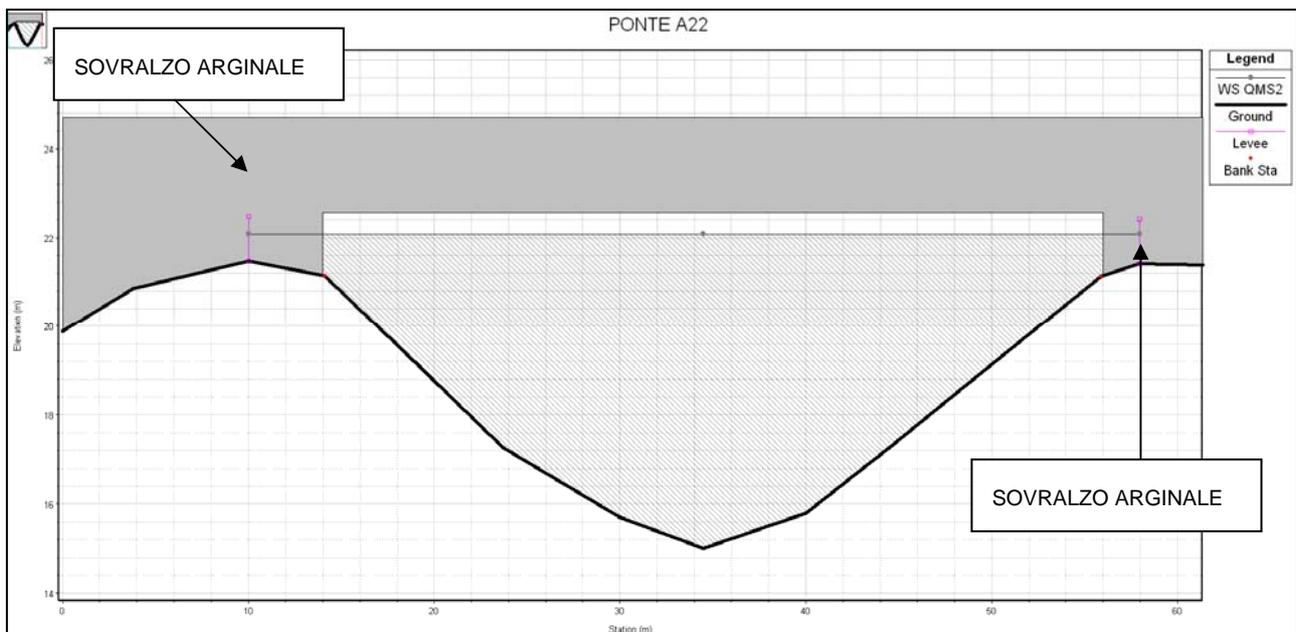


FIGURA 8-5: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE CONDIZIONI IDROMETRICHE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE IN AFFIANCAMENTO A22 NELLO STATO DI PROGETTO 2 – $Q_{MS2}=100$ M³/SEC

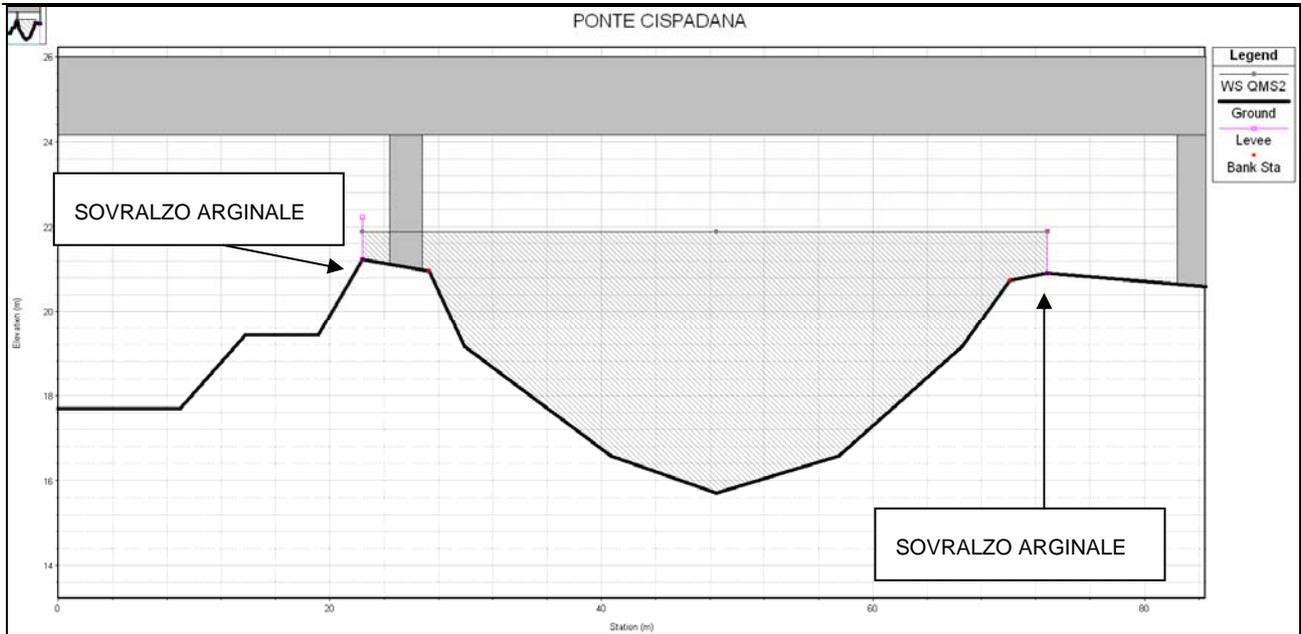


FIGURA 8-6: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE CONDIZIONI IDROMETRICHE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI PROGETTO 2 – $Q_{MS2}=100 \text{ M}^3/\text{SEC}$

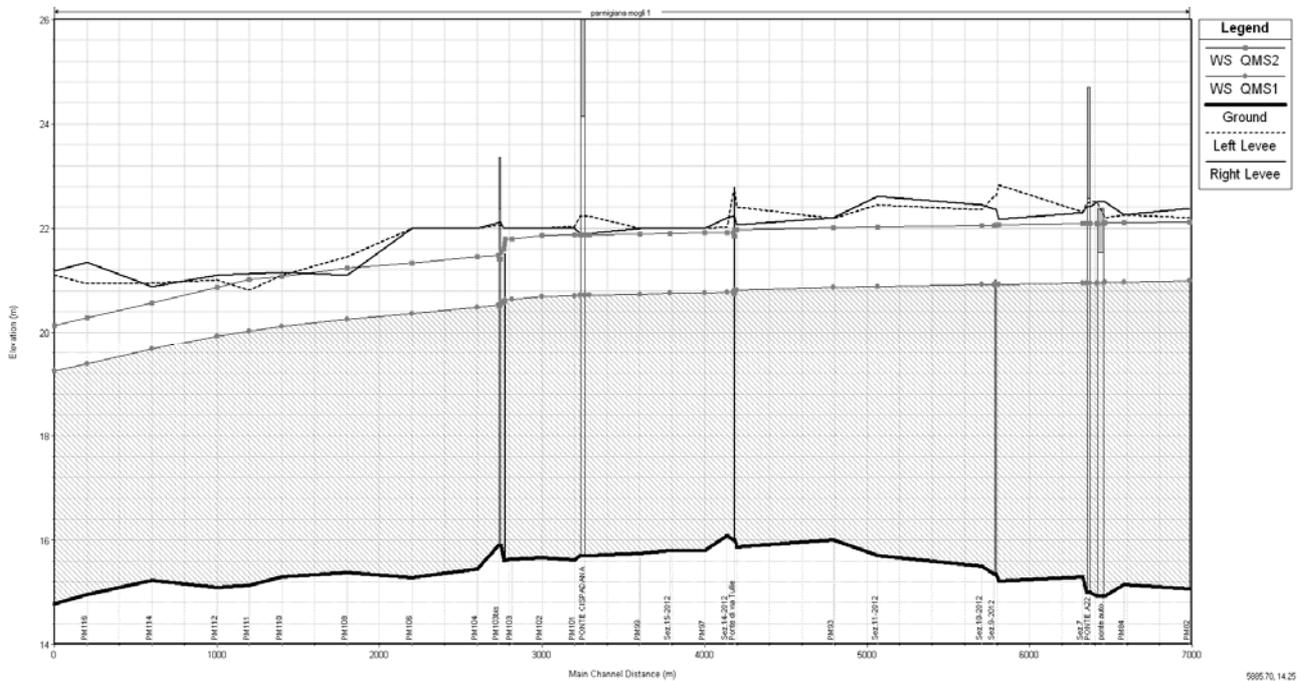


FIGURA 8-7 PROFILI DI RIGURGITO PER Q_{MS1} E Q_{MS2} NELLO STATO DI PROGETTO 2 (ADEGUAMENTO ARGINI)

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 relativamente allo stato di fatto e di progetto 1. Nelle tabelle e nei grafici seguenti si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche per la configurazione presa a riferimento nella verifica del franco idraulico.

Come si evince in tutte le sezioni le differenze tra i profili Ante e Post operam sono nulle.

Sezione Topografica	Progressiv	Quota	Q di	Livelli	Livelli	ΔH	Velocit	Velocit	Pendenz	Carico	Carico
	a	del fondo	progetto	idrometri	idrometri		à S.F.	à S.P.1		a	tot S.F.
	[m]	[m s.l.m.]	[m ³ /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/s]	[m/s]	-	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
PM82	6982.00	15.06	70	20.98	20.98	0.00	0.48	0.48	-0.0002	21.00	21.00
PM84	6582.00	15.14	70	20.96	20.96	0.00	0.48	0.48	0.0018	20.98	20.98
mp	6462.00	14.92	70	20.96	20.96	0.00	0.48	0.48	0.0000	20.97	20.97
Ponte Autobrennero	6457.00	14.92	Bridge	20.96	20.96	0.00	0.48	0.48	0.0000	20.97	20.97
vp	6412.00	14.92	70	20.95	20.95	0.00	0.49	0.49	-0.0020	20.96	20.96
Sez. 6-attrav. Monte	6372.00	15.00	70	20.95	20.95	0.00	0.49	0.51	0.0000	20.96	20.96
PONTE A22	6352.00	15.00	0	20.95	20.95	0.00	0.49	0.51	0.0000	20.96	20.96
Sez. 6-attrav. Valle	6352.00	15.00	70	20.95	20.95	0.00	0.49	0.51	-0.0115	20.96	20.96
Sez. 7	6326.00	15.30	70	20.95	20.95	0.00	0.53	0.53	0.0002	20.96	20.96
PM 88	5810.00	15.21	70	20.92	20.92	0.00	0.60	0.60	-0.0082	20.94	20.94
Sez.9 monte 2012	5793.00	15.35	70	20.92	20.92	0.00	0.59	0.59	0.0000	20.94	20.94
Ponte FERROVIA	5792.00	15.35	Bridge	20.92	20.92	0.00	0.59	0.59	0.0000	20.94	20.94
Sez. 9 -2012	5779.00	15.35	70	20.92	20.92	0.00	0.59	0.59	-0.0021	20.94	20.94
Sez. 10-2012	5707.00	15.50	70	20.92	20.92	0.00	0.53	0.53	-0.0003	20.93	20.93
Sez. 11-2012	5065.00	15.70	70	20.88	20.88	0.00	0.58	0.58	-0.0011	20.90	20.90
PM93	4793.00	16.00	70	20.86	20.86	0.00	0.53	0.53	0.0002	20.87	20.87
PM96	4198.00	15.87	70	20.81	20.81	0.00	0.57	0.57	-0.0108	20.83	20.83

Sez.13monte-2012	4186.00	16.00	70	20.80	20.80	0.00	0.63	0.63	0.0000	20.82	20.82
Ponte Via Tullie	4185.00	16.00	Bridge	20.80	20.80	0.00	0.63	0.63	0.0000	20.82	20.82
Sez.13-valle-2012	4177.00	16.00	70	20.77	20.77	0.00	0.64	0.64	-0.0020	20.79	20.79
Sez.14-2012	4137.00	16.08	70	20.77	20.77	0.00	0.57	0.57	0.0021	20.79	20.79
PM97	4002.00	15.80	70	20.76	20.76	0.00	0.53	0.53	0.0000	20.77	20.77
Sez.15-2012	3789.00	15.80	70	20.75	20.75	0.00	0.47	0.47	0.0003	20.76	20.76
PM99	3602.00	15.74	70	20.74	20.74	0.00	0.52	0.52	0.0001	20.75	20.75
Sez.16	3292.00	15.70	70	20.72	20.72	0.00	0.51	0.51	0.0000	20.73	20.73
Sez.16-attrav monte	3266.00	15.70	70	20.71	20.71	0.00	0.51	0.51	0.0000	20.73	20.73
PONTE CISPADANA	3236.00	15.70	0	20.71	20.71	0.00	0.51	0.51	0.0000	20.73	20.73
Sez.16-attrav valle	3236.00	15.70	70	20.71	20.71	0.00	0.51	0.51	0.0022	20.72	20.72
PM101	3200.00	15.62	70	20.71	20.71	0.00	0.55	0.55	-0.0002	20.72	20.72
PM102	3000.00	15.66	70	20.69	20.69	0.00	0.53	0.53	0.0002	20.71	20.71
PM103	2813.00	15.63	120	20.63	20.63	0.00	0.93	0.93	0.0003	20.68	20.68
PM103 monte ponte	2775.00	15.62	120	20.62	20.62	0.00	0.93	0.93	0.0000	20.67	20.67
Ponticello ad arco	2773.00	15.62	Bridge	20.62	20.62	0.00	0.93	0.93	0.0000	20.67	20.67
PM103 valle ponte	2766.00	15.61	120	20.60	20.60	0.00	0.93	0.93	-0.0145	20.65	20.65
PM103bis monte chiusa	2746.00	15.90	120	20.56	20.56	0.00	1.22	1.22	0.0000	20.64	20.64
Chiusa	2743.00	15.90	Bridge	20.56	20.56	0.00	1.22	1.22	0.0000	20.64	20.64
PM103bis	2733.00	15.90	120	20.53	20.53	0.00	1.24	1.24	0.0034	20.61	20.61
PM104	2600.00	15.45	120	20.49	20.49	0.00	1.09	1.09	0.0004	20.55	20.55
PM106	2200.00	15.28	120	20.36	20.36	0.00	1.01	1.01	-0.0002	20.42	20.42
PM108	1800.00	15.38	120	20.25	20.25	0.00	1.04	1.04	0.0002	20.31	20.31
PM110	1400.00	15.29	120	20.11	20.11	0.00	1.20	1.20	0.0008	20.19	20.19
PM111	1200.00	15.13	120	20.02	20.02	0.00	1.28	1.28	0.0002	20.11	20.11
PM112	1000.00	15.09	120	19.93	19.93	0.00	1.35	1.35	-0.0003	20.02	20.02
PM114	600.00	15.22	120	19.66	19.66	0.00	1.57	1.57	0.0007	19.79	19.79
PM116	200.00	14.95	120	19.38	19.38	0.00	1.50	1.50	0.0009	19.50	19.50
PM117	0.00	14.78	120	19.24	19.24	0.00	1.47	1.47	0.0000	19.35	19.35

TABELLA 8-1: PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO RISULTANTI DELLE SIMULAZIONI CON L'IDROGRAMMA DI PIENA DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO (S.F.) E DI PROGETTO 1 (S.P. 1) CON $Q_{MS1}=70$ E 120 M³/SEC.

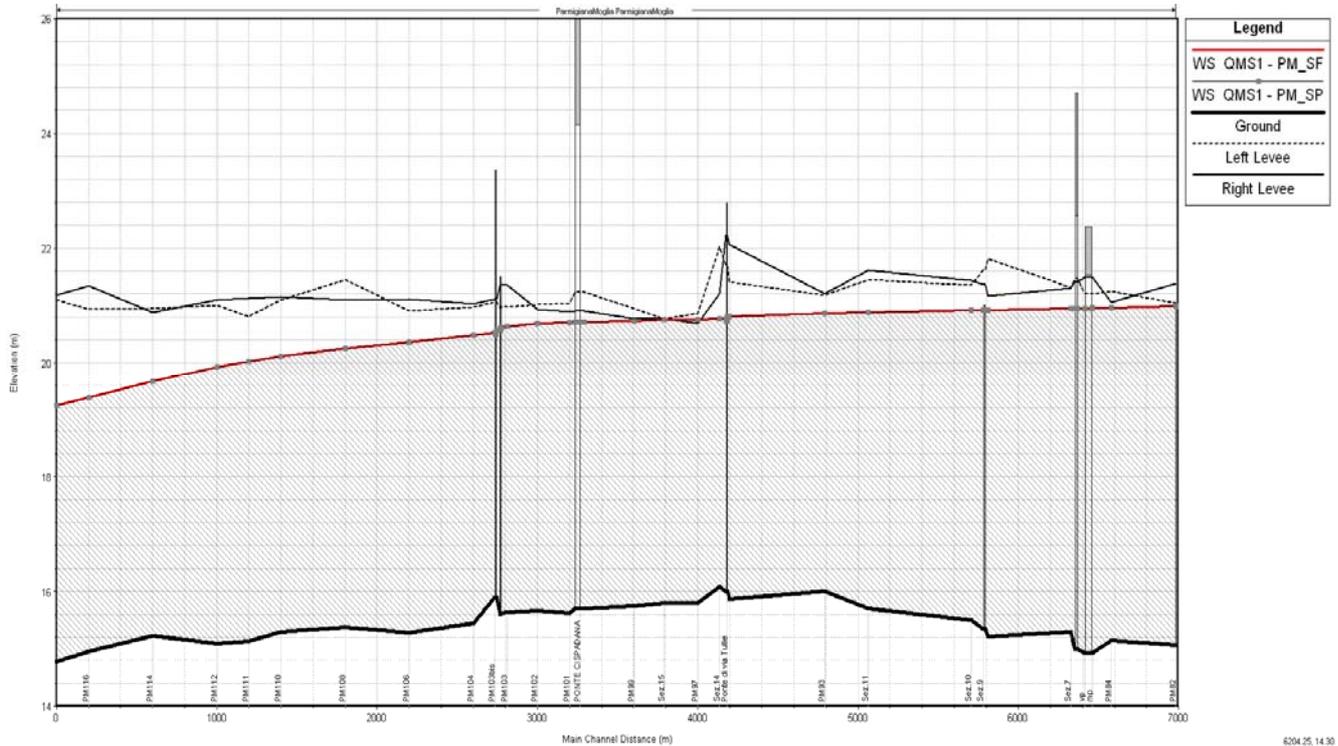


FIGURA 8-8: CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER Q_{Ms1} NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1.

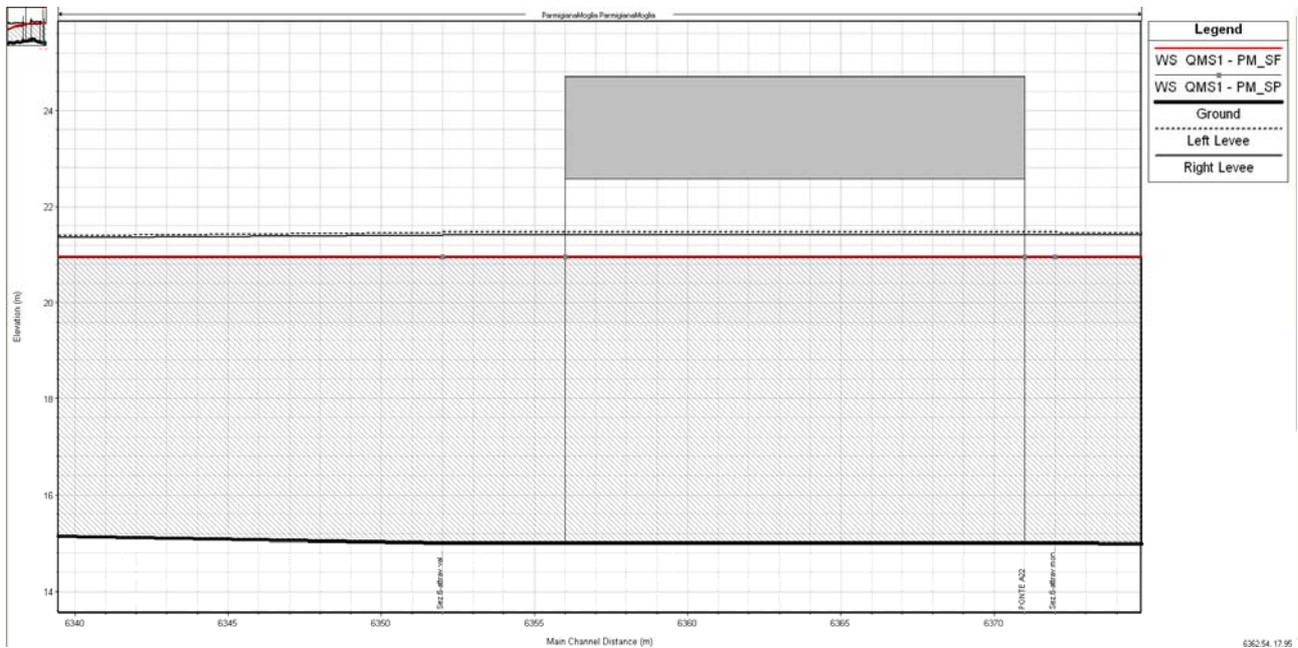


FIGURA 8-9: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURGITO PER Q_{Ms1} TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 IN CORRISPONDENZA DEL PONTE IN AFFIANCAMENTO ALLA A22.

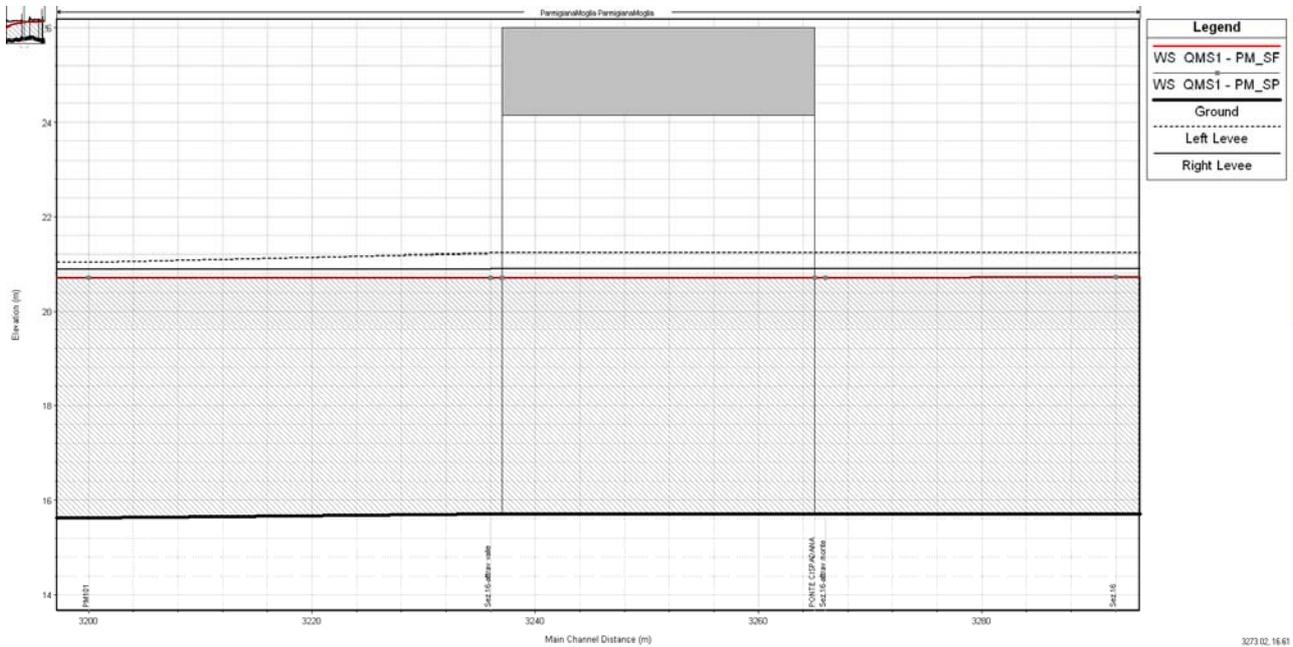


FIGURA 8-10: PARTICOLARE DEL CONFRONTO DEI PROFILI DI RIGURGITO PER Q_{MS1} TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 IN CORRISPONDENZA DEL PONTE AUTOSTRADALE.

Per quanto riguarda i livelli idrometrici, quindi, non si ha alcun incremento sui profili di rigurgito indotto dalla presenza dei viadotti in progetto.

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.

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.

La situazione di progetto non determina variazioni idrodinamiche apprezzabili delle caratteristiche della corrente di piena rispetto alla situazione attuale.

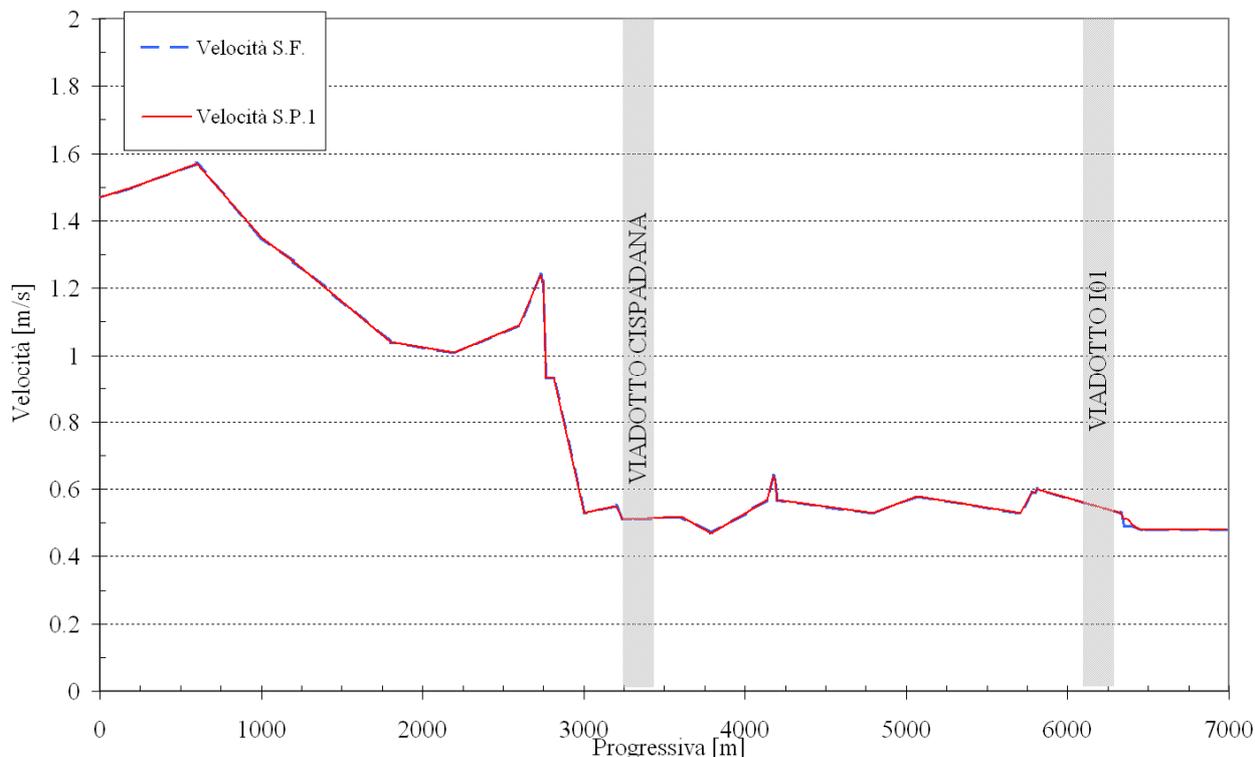


FIGURA 8-11: CONFRONTO TRA I VALORI DELLE VELOCITÀ MEDIE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO 1 PER IL VIADOTTO IN AFFIANCAMENO ALL'A22 E PER IL VIADOTTO AUTOSTRADALE

Le variazioni delle velocità medie della corrente risultano scarsamente influenzate dalla presenza delle strutture viarie in progetto in virtù della pressoché assente presenza di interferenze in alveo.

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

Si prevede la realizzazione di opere accessorie di difesa spondale, opportunamente dimensionate al fine di proteggere le sponde e l'alveo da possibili erosioni localizzate e divagazioni. 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 né altimetrico dell'alveo né in regime ordinario né di 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 del ponte non implica una modificazione della 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.

Il franco tra l'intradosso del ponte ed il livello idrometrico nello stato di progetto 1 è adeguato in quanto sempre superiore a 1.50 m.

8.4. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisorie

La realizzazione dei ponti in progetto prevedibilmente avverrà nel periodo di non irrigazione. In tutti i casi, anche ponendoci in condizioni di sicurezza e nel caso in cui un evento di piena dovesse colpire il cantiere durante l'esecuzione dei lavori, sono state previste palancolate di contenimento la cui sommità supera il ciglio spondale.

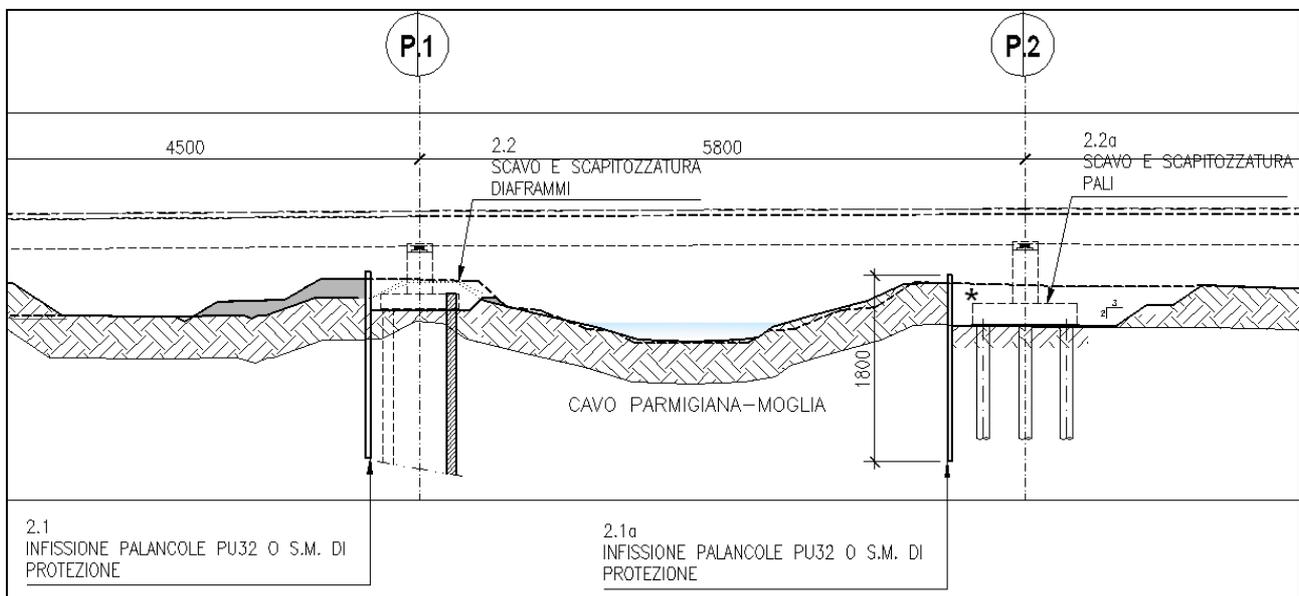


FIGURA 8-12: PARTICOLARE FASI ESECUTIVE CAVO PARMIGIANA-MOGLIA –PONTE AUTOSTRADALE

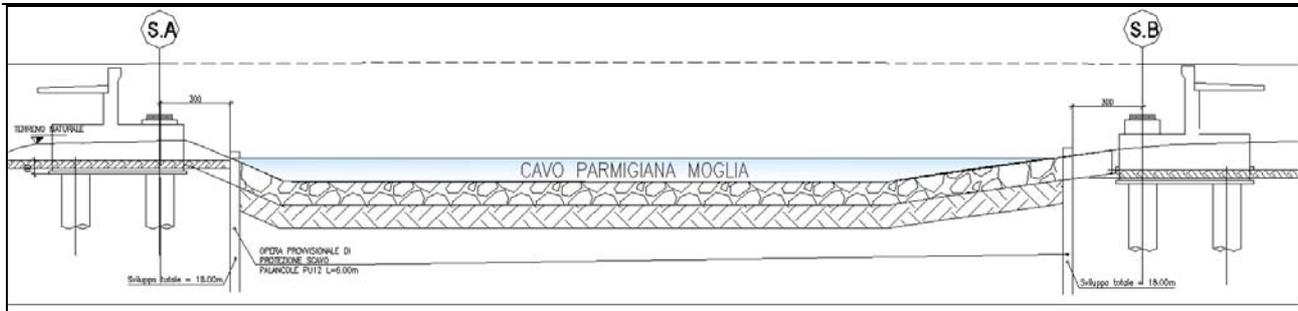


FIGURA 8-13: PARTICOLARE FASI ESECUTIVE CAVO PARMIGIANA-MOGLIA –PONTE IN AFFIANCAMENTO A22

Le opere provvisorie previste sono esterne all'idraulicità del canale, per cui non interferiscono con i profili di rigurgito dello stesso anche in caso di una piena al massimo invaso.

8.5. Valutazione dei fenomeni erosivi localizzati nel tratto interessato dalle opere

Il trasporto solido nel cavo Parmigiana-Moglia è caratterizzato dalla presenza di materiale fine a matrice prevalente di limi sabbiosi ed in parte argillosi, dovuta al dilavamento dei campi circostanti. Altro contributo sul trasporto solido è dovuto al processo erosivo delle sponde provocato dalla presenza delle nutrie che ricavano delle vere e proprie gallerie e del gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii*) che trafora le sponde stesse in più punti e a diverse altezze idrometriche. Nel tratto in questione quindi il fondo del canale è soggetto a continui ripascimenti tanto che rientra nelle opere manutentive dell'Ente Gestore anche l'attività di dragaggio e bonifica.

Per tale motivazioni il processo erosivo del fondo è generalizzato lungo l'asta del canale è pressochè assente fatto salvo specifici punti ove sono inseriti corpi ostacolanti il deflusso delle acque.

Differente è invece il caso del processo erosivo attorno alle pile. Tuttavia la scelta di sormontare il canale con un'unica campata al di là della sezione liquida per entrambi i viadotti, di fatto riduce questa evenienza, fatto salvo il caso estremo in cui la difesa spondale in massi collassi e con essa tutta la sponda in frodo, mettendo a nudo, nel caso del ponte autostradale, la presenza della pila e quindi delle fondazioni. In questo caso nelle pagine seguenti si stimeranno i conseguenti processi erosivi localizzati indotti.

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 tre tipi di fenomeni:

- escavazione naturale del canale,
- escavazione dovuta al restringimento della sezione di deflusso,

- escavazione localizzata attorno alle pile interagenti con il flusso di piena.

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, Nicollet 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:

$f_1(v_0/v_c)=0$	per	$v_0/v_c = 0,5$
$f_1(v_0/v_c)=2v_0/v_c-1$	per	$0,5 < v_0/v_c \leq 1,0$
$f_1(v_0/v_c)=1$	per	$v_0/v_c > 1,0$

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.

Di seguito si espongono i risultati ottenuti per il ponte autostradale in progetto, verificato nella condizione estrema di collasso del sistema difensivo e soprattutto del paramento spondale in frodo a protezione del ponte.

Le pile del ponte sono previste a fusto unico aventi sezione di forma ellittica di altezza totale variabile. Queste sono collegate ai plinti di fondazione che presentano forma planimetrica rettangolare di lati pari a 10.0 m e 14.0 m e spessore pari a 2.0 m. Ogni plinto è poi collegato a 12 pali in c.a. trivellati aventi diametro pari a 1200 mm, interasse di 4.0m e lunghezza totale pari a 30.0 m.

Fa eccezione la Pila P1 che è collegata ad un plinto con forma planimetrica rettangolare 13.3 m x 7.80 m, spessore 1.50 m la cui fondazione è costituita da una "scatola di diaframmi" realizzata con elementi accostati di sezione 2.50 m x 1.00m e lunghezza pari a 25.0 m.

I coefficienti f assumono i seguenti valori per la Pila P1, l'unica che potrebbe essere soggetta a processi di erosione localizzata a seguito di collasso della sponda:

$f_1 = 1$, 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 interessi 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 la portata di progetto portata $Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ e coefficiente di scabrezza (Strickler) $C = 25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

CavoParmigiana-Moglia			
Metodo Breusers, Nicollet e Shen			
Calcolo erosione massima alla base delle pile del ponte			
	$Q_{200} =$	70	m^3/s
			Ponte in progetto
			Pila P1
velocità media	v_0	m/s	0.51
tirante idrico	y_0	m	2.80
diametro	d_{50}	m	0.0001
gravità	g	m^2/s	9.81
peso specifico grani	g_s	kg/m^3	1600
peso specifico acqua	g_w	kg/m^3	1000
velocità critica di trascinamento	v_c	m/s	0.029
rapporto velocità	v_0/v_c	-	17.487
angolo corrente-pila	a	$^\circ$	3
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	6.983

TABELLA 8-2: DATI RELATIVI AL CALCOLO DELL'EROSIONE MASSIMA ALLA BASE DELLA PILA P1 DEL PONTE IN PROGETTO.

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.

Avendo preso in considerazione nell'analisi la larghezza del diaframma strutturale, la profondità massima di erosione raggiunge valori attorno ai 7 m (quota 14,00 m s.l.m.). Le fondazioni del ponte sono state quindi calcolate con questa ipotesi estrema.

Anche i diaframmi idraulici previsti in corrispondenza dell'argine di sponda sinistra sono stati verificati a scalzamento, prendendo in esame 2 condizioni limite (v.Relazione di calcolo Ponte APO01):

- S1=passaggio onda di piena con massima erosione in corrispondenza dei diaframmi (quota 14,00 m slm) ma controspinta idraulica lato fiume;
- S2=onda di piena conclusa e quota scalzamento pari alla quota del petto lato canale (19,10 m slm).
Si ipotizza che non ci sia erosione sotto il petto, ma controspinta di terreno saturo.

A seguito delle verifiche risulta che per evitare indesiderati processi di scalzamento il diaframma dovrà essere profondo almeno 14 m per uno spessore minimo di 80 cm.

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 dallo stesso Consorzio 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) ringrosso arginale e potenziamento dell'assetto difensivo
- 3) mantenimento e collegamento della viabilità di servizio interferita.

La difesa spondale per entrambi i ponti in progetto 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.

La soluzione viene proposta per un tratto di 20 m a monte e valle dell'attraversamento, oltre che lungo tutto l'ingombro del viadotto (circa 30 m). Analoga soluzione viene adottata anche per il vicino Collettore Acque Basse Reggiane.

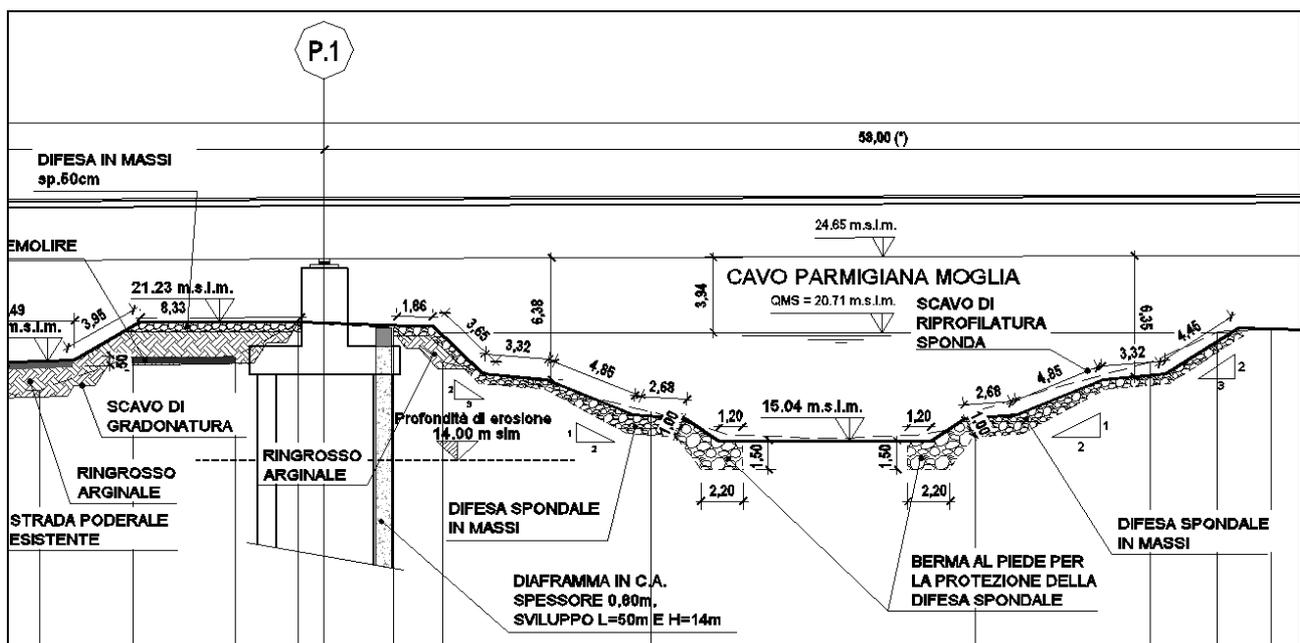


FIGURA 9-1 – PARTICOLARE DIFESA SPONDALE

Il ringrosso arginale in sponda sinistra in corrispondenza del ponte autostradale si rende necessario in sagoma e in quota. Per limitare fenomeni di infiltrazione e di scalzamento al piede della pila P1, è stata prevista una diaframmatura in c.a. a parete continua di sp.80 cm e lunghezza 14 m, avente 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 semina a spaglio per rinverdire i rilevati arginali e la nuova configurazione morfologica nell'intorno del fiume.

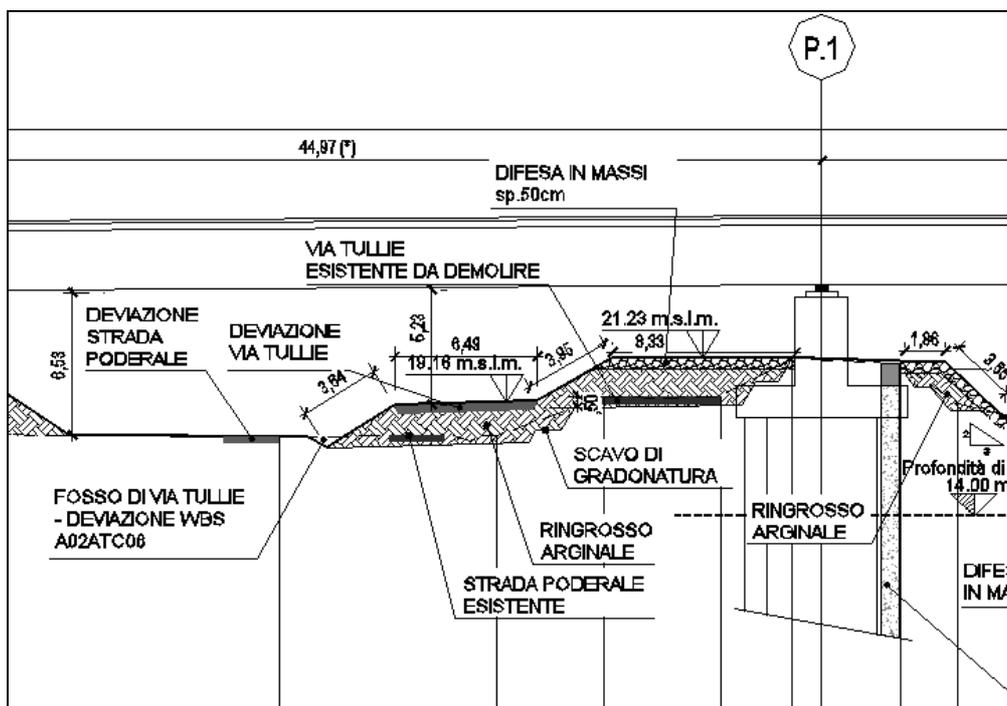


FIGURA 9-2 – PARTICOLARE RINGROSSO ARGINALE

Particolare cura verrà tenuta nella preparazione delle opere di cantiere. Le diverse fasi di lavoro che accompagnano la realizzazione della fondazione della pila P1 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 la gradonatura di immersione per la posa e compattazione del materiale di riporto funzionale al ringrosso. Solo dopo la costipazione dello stesso si potrà procedere alla realizzazione della fondazione.

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.



AUTOSTRADA
REGIONALE
CISPADANA

REGIONE EMILIA ROMAGNA

AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

PROGETTO DEFINITIVO

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI
CAVO PARMIGIANA-MOGLIA E COLLETTORE ACQUE BASSE REGGIANE
RELAZIONE IDRAULICA CAVO PARMIGIANA-MOGLIA

Il passaggio monte-valle dei mezzi del Consorzio in corrispondenza del ponte autostradale verrà garantito in destra dalla deviazione della pista di servizio esistente, in modo da garantire un franco rispetto al sottotrave di 5 m, mentre in sponda sinistra dalla deviazione di Via Tullie e dalla realizzazione di 2 rampe di accesso all'argine. Per quanto riguarda il ponte dell'interconnessione I01 si garantisce la continuità con le piste di servizio esistenti grazie alla realizzazione di due sottovia scatolari, uno in sponda destra (prolungamento dell'esistente su A22) e uno in sponda sinistra

10. VERIFICA AL SIFONAMENTO E FILTRAZIONE

Come descritto nel capitolo precedente, 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 del rilevato arginale, al fine di scongiurare l'insorgere di potenziali fenomeni di sifonamento in condizioni particolarmente gravose.

Nelle condizioni di progetto, infatti, il paramento lato fiume del rilevato arginale viene interessato dai massimi livelli sostenibili dal canale durante lunghi periodi consecutivi (anche diverse settimane). 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 alla verifiche nelle condizioni di maggior criticità, sono state analizzate le condizioni litologiche del tratto in esame del canale al fine di ricostruirne il modello geotecnico e imporre le sollecitazioni idrauliche di riferimento.

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

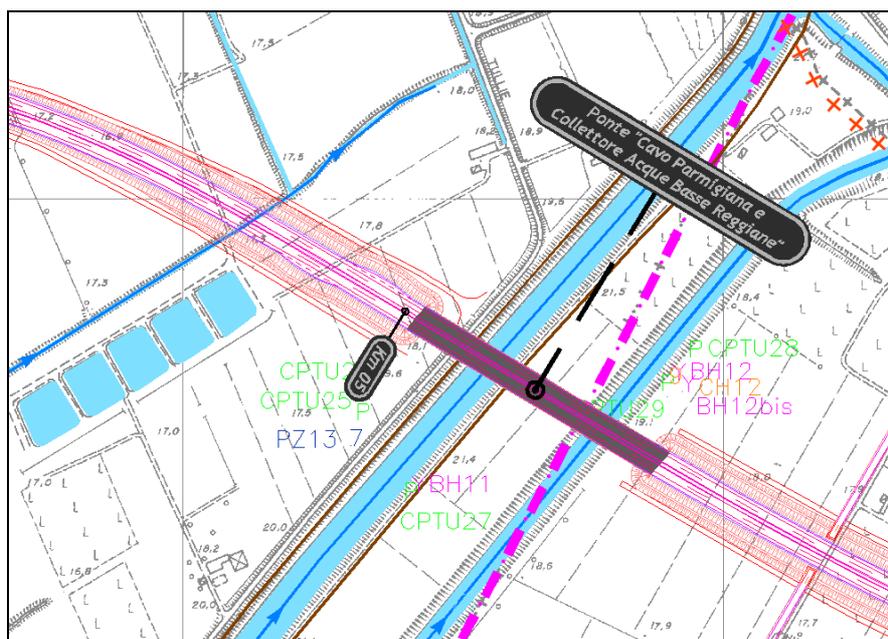


FIGURA 10-1 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEONOSTICHE

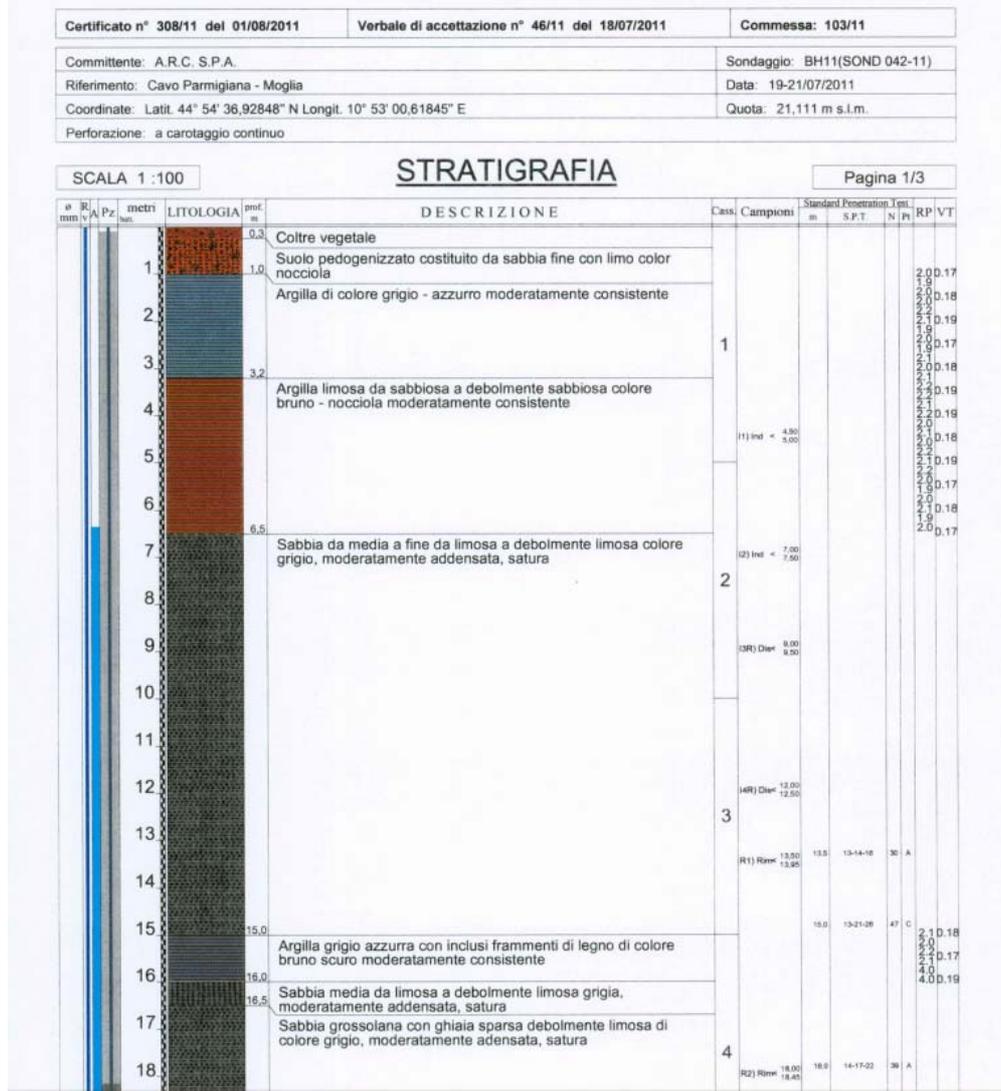


FIGURA 10-2- STRATIGRAFIA SONDAGGIO BH11 (SPONDA DESTRA)

Le caratteristiche litologiche su entrambe le sponde presentano, al di sotto di una modesta coltre vegetale inferiore ai 50 cm, uno strato superficiale di 6-7 m con alternanza di materiali poco permeabili (argille e limi) e un substrato inferiore in materiale a maggior permeabilità (sabbia).

Tale condizione accomuna il Cavo Parmigiana-Moglia alle condizioni modellate per altri canali (ad es. il Cavo Lama), conducendo, in condizioni di riempimento del canale, ad un campo di moto di filtrazione del tutto analogo a quanto riportato nella rispettiva relazione idraulica e riassunto di seguito.

La percezione dell'entità dei fenomeni di filtrazione in assenza di diaframmi di contenimento viene resa graficamente dall'immagine seguente, che riporta la distribuzione dei carichi totali nella sezione in corrispondenza dell'attraversamento in progetto. in condizioni di prolungato riempimento del canale (simulazione in moto permanente imponendo il massimo livello idrometrico di progetto).

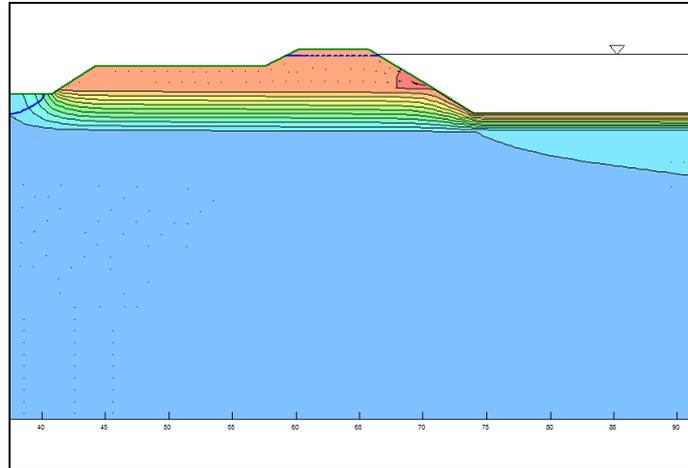


FIGURA 10-3: CARICHI TOTALI IN CORRISPONDENZA DEL MANTENIMENTO DEL MASSIMO LIVELLO DI PROGETTO IN ASSENZA DI DIAFRAMMATURE

Come illustrato, l'assenza di opere di contenimento unitamente alla presenza di un substrato superficiale meno permeabile rispetto ai rilevati arginali conduce alla pressoché completa imbibizione di questi ultimi, conducendo all'instaurarsi di probabili processi di sifonamento al piede arginale e compromettendo la stabilità degli stessi rilevati.

Per tale ragione, si prevede la realizzazione di un diaframma di contenimento dei processi di filtrazione all'interno del corpo arginale al fine di aumentare il grado di sicurezza della struttura di contenimento.

Prevedendo una profondità di infissione delle diaframature sufficiente per ingingersi completamente all'interno dello strato in argilla (circa 10 m) si ottiene un sostanziale allontanamento del flusso sub-superficiale dal rilevato stesso, come illustrato nella figura seguente.

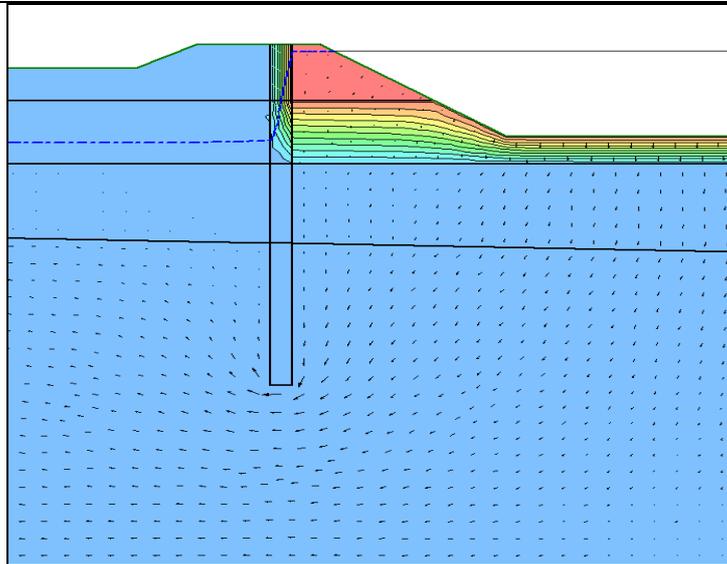


FIGURA 10-4: CARICHI TOTALI IN CORRISPONDENZA DEL MANTENIMENTO DEL MASSIMO LIVELLO DI PROGETTO CON LA PRESENZA DELLE DIAFRAMMATURE DI CONTENIMENTO

In questo caso la profondità di infissione delle diaframme nel substrato poco permeabile permette di isolare in buona parte il propagarsi dei processi di filtrazione durante il mantenimento (per un tempo ipotizzato infinito, quindi in maniera permanente) del massimo livello di progetto nell'alveo del canale.

Risulta, quindi, evidente come i processi di filtrazione rimangano pressoché confinati dalle diaframme previste, mantenendosi al di sotto del piede dei rilevati arginali con una distanza di sicurezza di oltre 1.00 m, evitando quindi la saturazione dei corpi arginali e l'instaurarsi di possibili processi di sifonamento al piede degli stessi.

10.1. Dimensionamento diaframmi idraulici

Concludendo si può affermare che mentre i processi di filtrazione rimangono pressoché confinati da diaframme aventi una lunghezza pari a 10 m, dalle verifiche allo scalzamento (rif. Paragrafo 8.5) risulta che i diaframmi dovranno essere profondi almeno 14 m per uno spessore minimo di 80 cm.

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE PRESCRIZIONI DEL CONSORZIO

Le analisi e le opere idrauliche precedentemente descritte recepiscono integralmente le prescrizioni/osservazioni trasmesse dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale relative all'analisi del Progetto Preliminare dell'Autostrada regionale Cispadana – Conferenza dei Servizi preliminare ex art. 14 bis della Legge 241/90.

In particolare relativamente all'attraversamento autostradale del Cavo Parmigiana-Moglia è stata riportata la richiesta di garantire piste di servizio adeguatamente inghiaiate, per consentire con continuità la percorribilità del Cavo, ai fini della sorveglianza e della manutenzione (quindi transitabili sia da vetture di servizio che da macchine operatrici, assicurando le necessarie larghezze – almeno 4 m – e altezze – almeno 6 m – per il passaggio) anche in via d'urgenza e con condizioni meteorologiche avverse.

Tali prescrizioni sono state recepite nel presente progetto definitivo (v. paragrafo 9). Per quanto riguarda la richiesta dell'altezza minima di 6 m tra pista e intradosso impalcato, previo confronto con il Consorzio stesso, si è valutato di garantire almeno 5 m di luce libera (valore minimo normativo per le strade non classificate).