



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

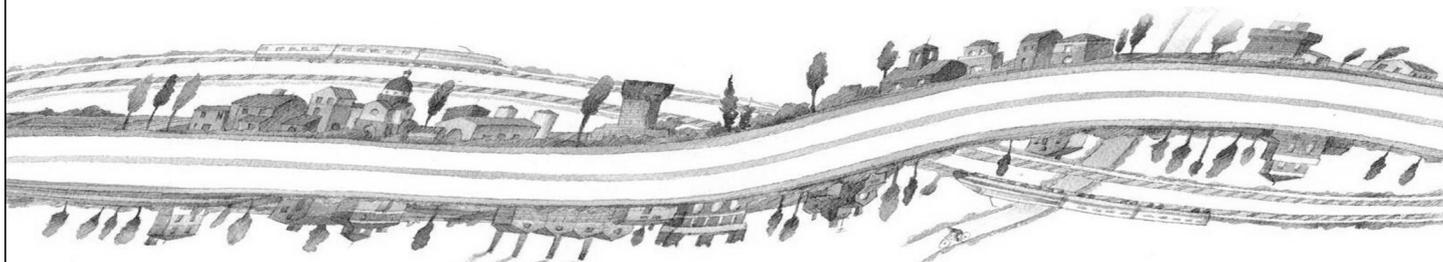
### ASSE AUTOSTRADALE

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

CANALE COLLETTORE ACQUE ALTE

RELAZIONE IDRAULICA



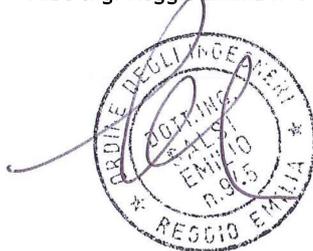
IL PROGETTISTA

Ing. Riccardo Telò  
Albo Ing. Parma n° 1099



RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

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



IL CONCESSIONARIO

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

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	EMISSIONE	ZANZUCCHI	TELO'	SALSI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.
0698	PD	0	A32	AWS13	0	WW	RI	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA:

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....</b>	<b>3</b>
2.1. NORMATIVA .....	3
2.2. CRITERI E RACCOMANDAZIONE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DI BURANA .....	3
<b>3. CRITERI GENERALI .....</b>	<b>5</b>
3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO .....	5
3.2. IL MODELLO MATEMATICO PER LA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA .....	7
<b>4. AMBITO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>10</b>
4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA .....	10
4.2. TRACCIATO AUTOSTRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA .....	11
<b>5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>12</b>
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE .....	12
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA) .....	18
<b>6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>7. VERIFICHE IDRAULICHE.....</b>	<b>22</b>
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE.....	22
7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO.....	23
7.2.1. Condizioni di riferimento .....	23
7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento.....	23
7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica.....	30
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	32
<b>8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>35</b>

## **1. PREMESSA**

---

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale 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 autostradali di attraversamento ed il Canale Collettore Acque Alte, corso d'acqua di bonifica interferito direttamente dall'opera autostradale in progetto.

Il percorso progettuale seguito è stato coordinato e condiviso con l'Ente Gestore del corso d'acqua interessato dall'interferenza (Consorzio di bonifica di Burana) e tiene conto delle prescrizioni impartite durante la Conferenza dei Servizi sul Progetto Preliminare che si è conclusa con l'approvazione dello stesso nel Dicembre 2011 oltreché delle ulteriori indicazioni ricevute dal Consorzio comunicate con apposite Note del Dirigente.

Il risultato finale consiste nell'aver rispettato:

- ogni singola sezione di deflusso di attraversamento per il transito delle piene di riferimento di progetto stabilite in relazione a quanto previsto dalla normativa vigente nonché impartito direttamente dal Consorzio gestore (trattandosi di corsi d'acqua regolati la portata di riferimento è stabilita dall'Ente gestore in funzione del regime idraulico del canale);
- i franchi imposti tra livelli idrometrici per la piena di progetto e le quote arginali e/o spondali;
- distanze minime dai cigli arginali e/o spondali;
- le opere idrauliche di protezione sotto ogni attraversamento stradale e nelle immediate vicinanze dello stesso, inteso come: difese spondali e di fondo, ringrossi arginali, protezione dei paramenti arginali sia in frodo che lato campagna;
- la continuità e la conservazione della viabilità gestionale sia in caso di piena che di magra.

## **2. INQUADRAMENTO NORMATIVO**

---

### **2.1. NORMATIVA**

---

Lo sviluppo degli studi, analisi e verifiche idrauliche nonché la successiva progettazione delle opere di risoluzione delle interferenze è stata sviluppata nel rispetto delle Normative Nazionali e Regionali in materia nonché delle Norme Tecniche di Attuazione e Direttive Tecniche del PAI dell'Autorità di bacino del Fiume Po e del PSAI dell'Autorità di bacino del Fiume Reno.

Per la consultazione delle specifiche norme si rimanda all'elaborato:

0036PD0000000000GEKT01A - ELENCO DELLE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### **2.2. CRITERI E RACCOMANDAZIONE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DI BURANA**

---

La progettazione definitiva delle opere autostradali necessarie al superamento delle interferenze con i canali di bonifica è stata fondata oltretutto sulle risultanze del progetto preliminare sulle indicazioni e prescrizioni impartite dal Consorzio della Bonifica di Burana con il parere prot. 2011/03657 del 08/03/2011 espresso per la Conferenza dei Servizi (CdS).

Il Consorzio della Bonifica Burana ha fornito osservazioni e prescrizioni generali di carattere idraulico e gestionale sulla base delle quali si è sviluppato il progetto definitivo; oltre a tali prescrizioni generali sono state poi fornite schede monografiche per ciascun corso d'acqua consorziale interferito nelle quali vengono fornite osservazioni e prescrizioni specifiche da prendere in considerazione nello sviluppo del progetto definitivo. Il Consorzio con le suddette note ha rappresentato il reticolo dei canali consorziali di propria competenza con funzione promiscua di scolo e irrigazione evidenziando che il reticolo idrografico consortile riveste un'importanza fondamentale per tutto il territorio, in quanto risulta l'unica possibilità di drenaggio delle acque di scolo dei succitati bacini e, contestualmente, vista la promiscuità di utilizzo dei canali consorziali, costituisce anche il vettore idraulico principale per la distribuzione irrigua delle acque approvvigionate dagli impianti e dalle prese localizzate lungo i Fiumi Po, Secchia e Panaro.

Con riferimento alla rete idraulica consortile principale e secondaria il Consorzio ha elencato le problematiche generali e le prescrizioni da rispettare per la successiva fase progettuale. Si richiamano le considerazioni generali applicabili ai canali principali attraversati mediante ponti:

- la sezione delle tombinature e le altezze dei ponti dovranno tenere in considerazione il massimo livello di piena attualmente raggiungibile con un incremento medio del 30%, in considerazione delle risultanze di uno studio idrogeologico – idraulico eseguito dal Consorzio stesso in collaborazione con l'Università di Bologna che valuta i possibili afflussi meteorici con l'incremento della superficie urbanizzata nel territorio oggetto di intervento;
- occorre garantire la continuità di transito sulle sponde dei canali ai mezzi consortili, richiedendo un indennizzo nel caso in cui non risultassero presenti nelle immediate vicinanze attraversamenti carrabili alternativi, per tener conto del maggiore tempo impiegato dagli addetti ai lavori per l'esecuzione delle manutenzioni e del maggiore percorso richiesto per provvedere alle lavorazioni stesse;
- in considerazione della durata dei lavori in progetto e delle relative fasi cantieristiche, la fase di esecuzione dei lavori non dovrà interferire con l'esercizio idraulico di scolo o determinare interferenze con il servizio di approvvigionamento di acque pubbliche per fini irrigui.

Nella scheda monografica fornita per il Canale Acque Alte sono state impartite le seguenti prescrizioni:

- *La soluzione proposta per l'attraversamento del Canale Collettore Acque Alte è accettabile.*
- *La quota di esercizio del fondo del canale a seguito della realizzazione dell'intervento sarà indicata dal Consorzio nell'imminenza dei lavori;*
- *Il rivestimento della sezione del canale in corrispondenza dell'attraversamento, mediante posa in opera di massi di cava intasati con calcestruzzo, deve essere realizzato in modo continuo su tutta la sezione del Canale Collettore Acque Alte, fino a raggiungere le sommità arginali, e per 2,00 m oltre tale sommità sull'esterno dell'argine stesso.*
- *Per la realizzazione della protezione spondale in massi di cava non gelivi, si prescrive l'utilizzo di massi di pezzatura compresa tra un minimo di 100kg e un massimo di 300kg con intasamento in calcestruzzo.*

Tutte le richieste indicate sono state rispettate nell'ambito della progettazione definitiva; si precisa che la portata massima sostenibile, verificata lungo tutta l'asta simulata è risultata inferiore di qualche decina di metri cubi rispetto a quanto calcolato nel progetto preliminare (dovuto prevalentemente al fatto che nel preliminare la portata era calcolata solo in corrispondenza della sezione di attraversamento); a tale valore è stata comunque sommata la richiesta di aumento del 30% formulata dal Consorzio.

### **3. CRITERI GENERALI**

---

#### **3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO**

---

*Fase 1<sup>^</sup>: Definizione di un quadro conoscitivo di riferimento morfologico e idraulico*

Scopo di questa fase è la predisposizione di 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.

Per la definizione completa della geometria del Canale Acque Alte nel tratto in studio è stato realizzato uno specifico rilievo topografico nell'estate del 2011 nell'ambito del quale è stata rilevata la geometria del canale descritta attraverso 24 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 5,2km dei quali 2,5km a monte e 2,7km a valle dell'attraversamento in progetto, tale estensione si sviluppa da Palata Pepoli fino alla foce nel Fiume Panaro.

*Fase 2<sup>^</sup>: Analisi idrologia e idraulica del corso d'acqua*

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

Il Canale Acque Alte è un corso d'acqua artificiale con funzione promiscua di scolo ed irrigazione e sottende un comprensorio territoriale non univocamente definito in quanto variabile in funzione dell'uso considerato ed in funzione della regolazione meccanica delle portate sia in condizioni irrigue sia in condizioni di sofferenza allo scolo. 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 rigori essi vanno studiati sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche tuttavia 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. All'interno delle difficoltà oggettive e tipiche di un comprensorio di bonifica sono stati sviluppati studi funzionali alla caratterizzazione dei deflussi dei canali principali per i quali è stata predisposta una modellazione matematica dei deflussi volta ad individuare i livelli idrometrici da assumere a riferimento per la progettazione dei manufatti di attraversamento.

Lo studio è stato condotto adottando parametri progettuali e di verifica cautelativi, sono infatti state estese, le

prescrizioni tecniche stabilite dall'Autorità di bacino per il Po nell'ambito del PAI anche sui canali principali per i quali il tempo di ritorno di riferimento è  $TR=100$  anni.

Tra i parametri progettuali si è scelta, come condizione più critica la funzione di scolo; le portate massime assunte a riferimento ed adottate come portate di progetto sono le portate massime sostenibili dalla sezione media del canale nel tratto studiato e la portata centennale. Tale assunzione era stata già adottata nell'ambito del progetto preliminare approvato dal Consorzio di Bonifica Burana. E' stata inoltre recepita la richiesta formulata dal Consorzio di aumento delle portate del 30% del valore massimo sostenibile.

La massima portata sostenibile, portata a piene rive, risulta significativamente superiore alla portata centennale e ciò in quanto nel tratto terminale il canale svolge anche funzione di invaso per contenere le portate di piena scaricate a monte da altri canali nonché per sopperire all'eventuale riduzione di scarico a valle limitata dalla portata defluente attraverso la chiavica Foscaglia nel Panaro.

L'analisi idrografica ha preso in esame i parametri caratteristici dei corsi d'acqua interferiti intesi come superficie afferente, rispetto alla sezione di chiusura fissata in corrispondenza dell'attraversamento autostradale, lunghezza dell'asta, quote e pendenze, coefficiente di deflusso.

L'analisi idrologica è stata sviluppata adottando coefficienti idrometrici di riferimento che hanno consentito il tracciamento di curve di durata caratteristiche dalle quali, nota la superficie afferente al canale sono state ricavate le portate che sollecitano l'alveo per gli assegnati tempi di ritorno; la portata di riferimento è stata fissata nella massima portata sostenibile dalla sezione attuale incrementata del 30% come richiesto dal Consorzio di Burana.

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<sup>^</sup>: Progettazione delle opere di presidio idraulico*

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche e delle indicazioni del Consorzio 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 dell'alveo inciso nonché delle arginature.

Per il progetto delle difese attive sono state privilegiate soluzioni di ingegneria naturalistica a basso impatto ambientale, condivise con il Consorzio di bonifica. Nella scelta e tipologia dei rivestimenti protettivi in massi si è rispettato quanto prescritto dal consorzio nel parere di CdS; analogamente si sono rispettate le distanze minime richieste per l'estensione dei rivestimenti, per il posizionamento delle spalle e per la ricucitura delle piste di servizio e manutenzione.

### **3.2. IL MODELLO MATEMATICO PER LA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA**

---

Per il Canale Acque Alte è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale estesa a tutti gli ultimi 5km del corso d'acqua. La ricostruzione in formato digitale delle morfologie dell'alveo e delle aree limitrofe si è basata sui dati geometrici rilevati direttamente per la 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 autostradale e delle relative opere accessorie, ha consentito di evidenziare sia il funzionamento attuale del corso d'acqua, considerando anche le interferenze prodotte dagli attraversamenti esistenti, sia l'influenza apportata dall'infrastruttura in progetto. Tali influenze si riconducono soprattutto ad alterazioni dei profili di rigurgito e di velocità della corrente dove si sono osservate alcune alterazioni nello stato di fatto per la presenza di ponti con impalcati a quote inferiori a quella del coronamento arginale e che pertanto riducono la sezione massima di deflusso. Non si rilevano viceversa alterazioni per l'attraversamento di progetto. Dall'analisi modellistica nello stato di fatto si sono ricavati i vincoli geometrici che l'opera di attraversamento deve rispettare, in termini di quota dell'intradosso e posizione delle spalle del ponte.

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, gennaio 2010).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre quaranta 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,
- $\alpha_1, \alpha_2$  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 :

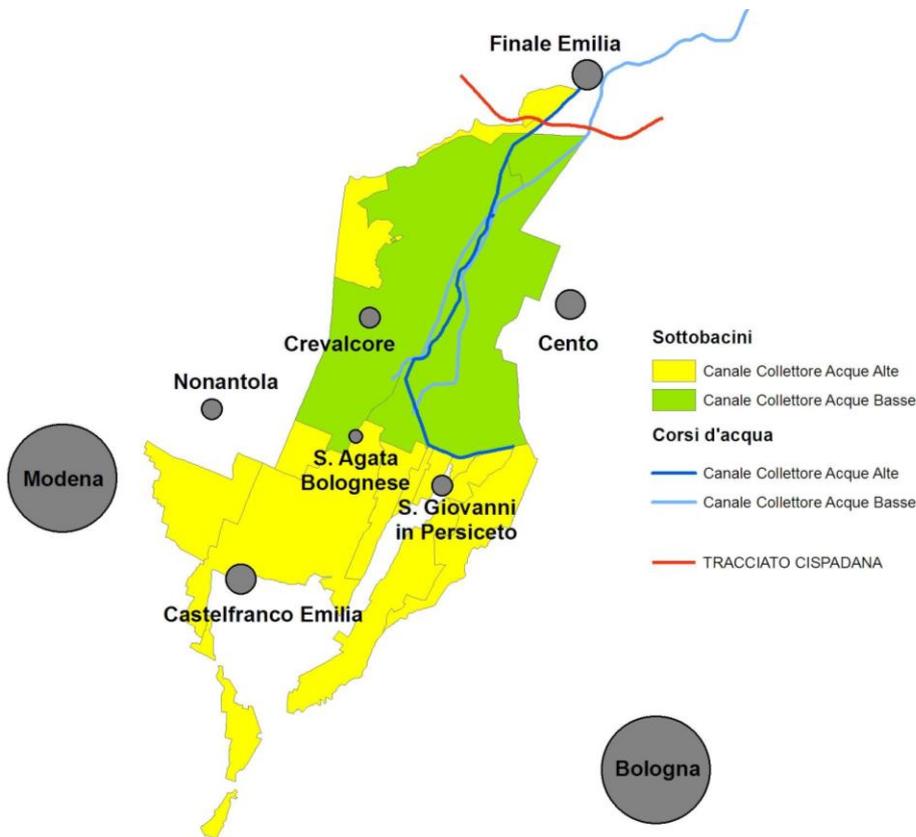
- Equazione di Yarnell;
- Metodo di conservazione della quantità di moto.

## 4. AMBITO DI RIFERIMENTO

### 4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA

I comprensori di bonifica del Canale Acque Alte e del Canale Acque Basse, ubicati in destra Panaro, sono stati recentemente accorpati al Consorzio di Bonifica di Burana mentre fino al 2008 appartenevano al Consorzio della Bonifica Reno Palata.

Il comprensorio di pianura in destra Panaro ha una superficie di circa 66.200 ettari ricadenti nelle province di Bologna e Modena sui quali insistono le due dorsali idrauliche facenti capo ai cavi Collettore Acque Alte e Collettore Acque Basse con sezioni terminali rispettivamente alla Chiavica di Foscaglia, Comune di Finale Emilia (MO), e all'Impianto idrovoro di Bondeno in Comune di Bondeno (FE).



Le opere di bonifica sono impostate sul principio della separazione tra le acque dei terreni alti e le acque dei terreni più depressi; le acque basse vengono pompate nei fiumi riceventi attraverso stabilimenti idrovori, mentre l'immissione delle acque alte nei fiumi viene regolata da chiaviche emissarie. Il territorio del comprensorio è caratterizzato dalla presenza del sistema acque alte afferente al Canale Acque Alte e quello

acque basse afferente al Canale Emissario di Acque Basse rispettivamente con bacini ad altimetria variabile da 102 a 10 msm e da 21 a 10 msm. L'idrografia è caratterizzata dall'intreccio di canali alti e bassi con collegamenti tra i due attraverso opere di sollevamento. I terreni del comprensorio, ad eccezione di alcune aree a monte della via Emilia, hanno origine alluvionale, i suoli sono prevalentemente di matrice poco permeabile con dominanza di limi ed argille intervallati da lenti di sabbie talvolta anche di considerevole potenza.

Il territorio afferente ai due canali interferiti, sia nel punto di interferenza diretta sia per i relativi bacini imbriferi ricadono all'interno del bacino idrografico del fiume Po.

Lo studio è stato condotto alla luce delle informazioni ed approfondimenti ricevuti, fin dalla fase preliminare, dai tecnici del consorzio e nonché da alcuni strati informativi provenienti dal GIS e del Piano di classifica dell'ex-consorzio Reno-Palata.

## **4.2. TRACCIATO AUTOSTRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA**

---

Il tracciato dell'Autostrada regionale Cispadana interseca il Canale Acque Basse alla progressiva chilometrica 36+295; il tracciato si presenta in curva con orientamento prevalente verso SE e compreso tra la curva in uscita dal Panaro ad ovest e quella delle Partecipanze di Cento ad est.

L'autostrada si presenta in rilevato alto sulla campagna imposto dalla necessità di superare le arginature del canale, per le quali è necessario un rialzo, e per garantire il rispetto dei franchi idraulici minimi; l'altezza è anche funzionale a consentire il passaggio, sotto al ponte, delle piste di manutenzione del canale.

L'interferenza avviene circa 3km a sud-ovest dell'abitato di Finale Emilia.

L'autostrada è affiancata, a sud e nord dell'attraversamento, da piste di servizio, alcune con vocazione di piste ciclabili, che verranno raccordate alle viabilità esistenti di carattere podereale e comunale funzionali all'accesso ai campi ed all'accesso al canale; le piste sottopassano il ponte autostradale in destra e sinistra idraulica del canale transitando all'esterno dei corpi arginali; a monte e valle del ponte sono previste le rampe di raccordo tra la pista arginale e la deviazione di sottopasso al ponte autostradale.

## 5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il Canale di Acque Alte ha un bacino che si sviluppa nella parte alta della pianura bolognese tra Panaro e Samoggia confinata a sud dall'allineamento San Cesario – Crespellano – Zola Prosa – Casalecchio a circa 2 km a monte dell'autostrada A1 e si chiude, con alcune eccezioni, in corrispondenza dell'allineamento S. Agata – S.Giovanni in Persicelo – Sala Bolognese a circa 16 km a valle della via Emilia. Procedendo da sud verso nord e da ovest verso est il bacino imbrifero vede i contributi dei sottobacini: Rangona, Zena, Gallego-Fiumazzo, Bergnana-Piolino, Cavamento-Amola superiore, Grassello, Romita, Mascellaro ed infine, poco prima della foce il Cavrone e Selvabella.

Il bacino idrografico è stato individuato su base CTR, la forma è complessa ed evidenziata dalla unione, da ovest verso est, di bacini stretti ed allungati lungo l'asta del canale, tipici della realtà del drenaggio di pianura; le quote della campagna variano dalla massima di 102 msm in corrispondenza della derivazione del Canale Torbido dal fiume Panaro a monte di Svignano, alla minima a S.Agata pari a 21 msm. Oltre S.Agata proseguono i canali del sistema di acque alte, con la sola funzione di trasporto idrico, fino alle progressive confluenze degli stessi nel Collettore di Acque Alte. Il bacino imbrifero chiuso alla foce, ha una superficie di  $S=166.11 \text{ km}^2$  ed un dislivello complessivo di circa 80 m. Una eccezione va fatta per i sottobacini Cavrone e Selvabella, afferenti ai canali omonimi di proprietà privata; trattasi di due sottobacini di piccole dimensioni ubicati a valle del bacino principale in area quasi prossima alla foce in Panaro.

Le origini del Collettore di acque Alte sono geograficamente poste al termine dello scolo Mascellaro che origina il collettore, fin da subito arginato e con caratteristiche di canale promiscuo, tuttavia idrograficamente i contributi più lontani provengono dal Canale Torbido, di esclusiva funzione irrigua che deriva le acque dal Fiume Panaro a monte di Svignano. La foce è ubicata a monte di Finale Emilia in destra Panaro dove il Canale Collettore entra nel fiume attraverso la Chiavica di Fosaglia. Le arginature dell'Acque Alte sono a quota inferiore rispetto a quelle di Panaro e pertanto lo scolo delle acque a gravità è controllato dal manufatto di scarico dotato di tre porte vinciane regolabili; esse sono aperte per lo scarico a gravità in condizioni ordinarie e si chiudono quando i livelli idrometrici di Panaro sono superiori a quelli del Collettore e non consentono lo scarico ma bensì rigurgitano acque nel canale. Il Canale Collettore è arginato da monte a valle; nel tratto terminale la quota arginale raggiunge i 18.74 msm superiore di circa 4.1 m rispetto alla campagna sinistra e di 4.8 m rispetto alla campagna di destra; la quota arginale di Panaro è 20.58 msm. La quota di fondo alveo del Collettore è di 10.6 msm alla foce dove quella di fondo alveo Panaro è di 9.8 msm.

Il Canale Collettore di Acque Alte ha la doppia funzione di scarico dei deflussi di piena a bocca libera,

massima quota 13.68 msm alla foce e di invaso delle acque di piena in caso di chiusura delle porte vinciane, massima quota di invaso 18.14 msm.

Il sistema idrografico del Canale Acque Alte può essere schematizzato attraverso una rete di canali secondari afferenti a canali principali, tutti affluenti di sinistra a loro volta confluenti nel Collettore. Il Collettore ha origine dallo Scolo Mascellaro ad est di S.Giovanni, canale principale promiscuo di scolo ed irrigazione non arginato; prosegue con andamento E-W raccogliendo i contributi dello Scolo Romita superiore, canale secondario promiscuo e non arginato; successivamente scorre da SE a NW e riceve i contributi di diversi canali secondari: Scolo Grassello superiore, canale di scolo non arginato; Scolo Cavamento-Amola superiore, canale di scolo non arginato; Allacciante Bergnana-Piolino, canale promiscuo arginato nel tratto terminale; Allacciante Gallego-Fiumazzo, canale promiscuo non arginato. Il tratto seguente ha andamento SW-NE e riceve i contributi del Colatore Zena, canale principale promiscuo arginato nel tratto terminale; Scolo Rangona, canale principale promiscuo arginato a sua volta recettore del Canale Torbido di natura irrigua e non arginato. Infine poco a monte della foce confluisce il Fosso Caprone, canale secondario di scolo non arginato ed lo Scolo Selvabella, canale secondario promiscuo non arginato.

Il tratto di Collettore studiato ai fini della progettazione dell'opera di attraversamento è quello terminale dove il canale ha pendenza di fondo dell'ordine dello 0.01 %; la sezione di interferenza dista circa 2700 m dalla foce in Panaro.

Area del bacino	166.11	km <sup>2</sup>
Lunghezza dell'asta principale	59.6	km
Elevazione massima del bacino	102.0	msm
Elevazione della sezione di chiusura	10.61	msm
Distanza dalla foce in Panaro	2652	m

**TABELLA 5-1: COLLETTORE ACQUE ALTE, CARATTERISTICHE FISICHE ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO CISPADANA**

Il Collettore Acque Alte è stato studiato per un tratto omogeneo di circa 5200 m lungo il quale la sezione è regolare e costante con geometria simmetrica composta da argine, banca interna e alveo; il corso d'acqua è regolarizzato ed il tracciato quasi rettilineo fino alla foce.

La morfologia della sezione caratteristica del canale nel tratto studiato evidenzia una arginatura con petto esterno ed interno a scarpa 3:2, banca interna discendente debolmente verso l'alveo, scarpa spondale 2:1 fino al fondo alveo. Il canale ha larghezza sommitale, da ciglio a ciglio arginale, di 58.6m, le banche interne sono larghe 8.5m ed il fondo alveo ha una 16.5 m; le arginature hanno quota 18.10 msm mentre il fondo alveo è a quota 10.17 msm.

La regione fluviale nel tratto studiato, da Palata alla foce, presenta un ambiente di bassa pianura caratterizzato da una campagna piatta sulla quale gli unici movimenti morfologici sono dovuti ai rilevati stradali mentre risulta più variamente incisa da corsi d'acqua di prevalente carattere canalizzato in scavo ed adiacenti ad assi viabilistici od al confine di poderi agrari. La campagna è prevalentemente destinata a seminativi con frequente presenza di frutteti e vigneti ed altre colture arboree. I centri abitati sono frequenti ed hanno negli anni aumentato significativamente l'impermeabilizzazione dei suoli con conseguenze non trascurabili sui deflussi e sul peggioramento del drenaggio superficiale. Il Canale Acque Alte si contraddistingue per la presenza dei suoi argini che rappresentano uno dei più significativi rilevati dell'area attraversata e che rappresentano anche una barriera fisica anche al drenaggio dei comparti est ed ovest.

Il Canale Acque Alte svolge il ruolo di corridoio ecologico ed è popolato da fasce di vegetazione elofitica che si sviluppano a ridosso dell'alveo inciso e sulle banche laterali caratterizzate da colonizzazione di formazioni chiuse assai povere dal punto di vista floristico, formate prevalentemente da canna di palude.

L'uso del suolo è stato ricavato per il bacino imbrifero afferente composto dalla quota parte interna al comprensorio della Bonifica Reno Palata e di anche di quella esterna che scarica nel Collettore di Acque Alte i propri contributi. L'analisi è stata condotta con riferimento alla Carta dell'uso del suolo della Regione Emilia Romagna ed evidenzia le seguenti coperture.

Usso del suolo	Cod.	Acque Alte <i>superficie (ha)</i>	Fuori bacino <i>superficie (ha)</i>	Totale <i>superficie (ha)</i>
Corsi d'acqua	Al	159	24	183
Zone umide	Zp	51	10	61
Frutteti e vigneti	C	2411	1232	3643
Colture da legno	Cp	50	11	61
Prati stabili	Pp	9	-	9
Seminativi	S	12486	6534	19020
Cespuglieti	Zs	8	-	8
Cave e discariche	Zc	33	-	33
Urbanizzato	I	510	338	848
Verde urbano	Iv	192	30	222
Aree industriali	Zi	278	108	386
TOTALE		16187	8287	24474

TABELLA 5-2: COLLETTORE ACQUE ALTE, USO DEL SUOLO DEL BACINO ALLA SEZIONE CISPADANA

Il passaggio dei mezzi consorziali per le attività di ispezione idraulica, sorveglianza e manutenzione dei corpi arginali nonché per le attività di sfalcio della vegetazione interna all'alveo avviene con percorrenza del coronamento arginale, che presenta larghezza variabile da 3 a 5m, sia dalle banche interne alle quali si accede attraverso rampe di collegamento. E' inoltre possibile la percorrenza lungo le capezzagne poste al piede esterno del rilevato arginale, anche queste collegate, mediante rampe, alle piste arginali.

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.

<b>CODICE</b>	<b>A02A205</b>
<b>NOME</b>	<b>CANALE ACQUE ALTE</b>

DATA RILIEVO	26/01/2012	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio della Bonifica di Burana	
LOCALITA'	Casa Sinino	
COMUNE	Finale Emilia	
PROVINCIA	Modena	
PROGRESSIVA		
FOTOGRAFIE	A02A205_1.jpg	A02A205_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	4964355.651
	GAUSS BOAGA Y	1679086.269
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (m2)	
	LUNGHEZZA (m)	
	SORGENTE	acque di scolo
	FOCE	Fiume Panaro
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	rettilineo con sinuosità modesta
	TIPO SEZIONE	arginata

	TIPO ALVEO	<i>canale in terra parzialmente pensile sulla campagna, sezione arginata composta da alveo di magra, banca intermedia destra e sinistra, piana di golena laterale</i>
	EROSIONI	<i>fondo stabile, erosioni di sponda localizzate nel canale di magra</i>
CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA	RANGO	<i>principale</i>
	USO	<i>promiscuo</i>
	GRANULOMETRIA	<i>limi e argille</i>
	AMBIENTE FLUVIALE	<i>canale rinaturalizzato - sponde e banche con vegetazione erbacea sfalciata, canneto (elofite e fragmiteto) sulle banche ed in golena, poca vegetazione acquatica - assenza di fascia riparia - fauna ittica ed anfibia, avifauna e mammiferi di piccola taglia</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta coltivata a mais, ortaggi e cereali - alberi ed arbusti isolati, a filare e boschetti - cascine agricole e strade</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI AL CONTRONO	<i>corrente lenta: livelli noti di valle</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler	<i>18-21</i>
NOTE	<i>Ponte di Selvabella con due pile sulle banche - vicinanza scarico Fossa Navarra Ponte di Selvabella con due pile sulle banche - vicinanza scarico Fossa Navarra</i>	



## **5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)**

Nel tratto oggetto di intervento il corso d'acqua ha andamento rettilineo ed è caratterizzato da alveo monocorsuale di forma complessa con arginature sopraelevate di 4.5m sulla compagna circostante.

Avendo constatato che le opere idrauliche in progetto non determinano riduzione della sezione disponibile al deflusso, la presenza di 2 pile in alveo è infatti ininfluenza sull'efficienza idraulica del canale, e non essendoci effetti laminativi per assenza di aree golenali, 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.

Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici propedeutici alla progettazione definitiva eseguiti nell'anno 2011 da ARCOS; il rilievo si compone di 24 sezioni trasversali, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo e la campagna circostante; il tratto rilevato e restituito è di circa 5193m.

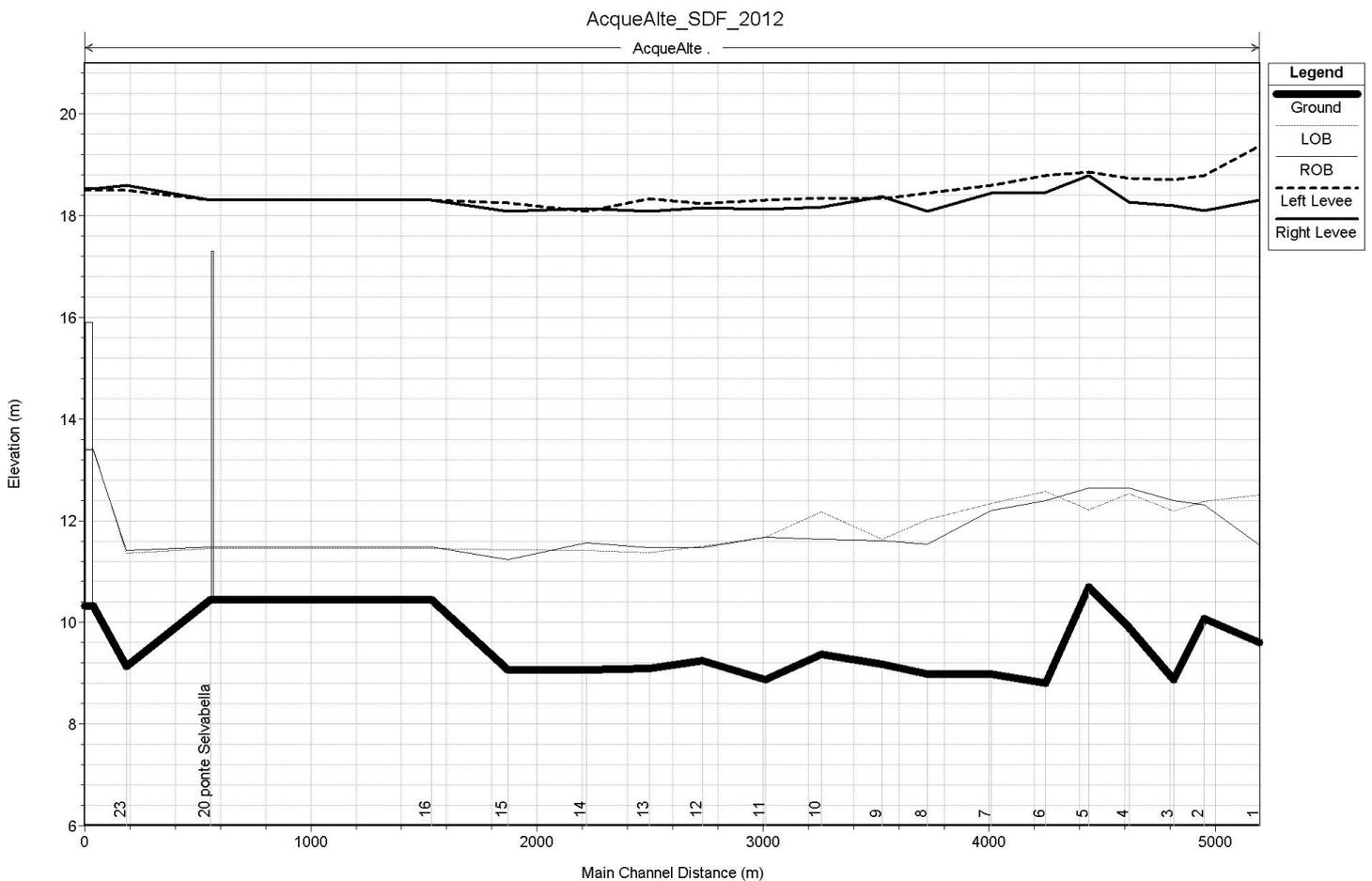
I valori di scabrezza assunti tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite durante un evento di piena:

- 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.

Sulla base dei sopralluoghi effettuati e dei riferimenti bibliografici che si riconducono ai principali studi in materia su corsi d'acqua analoghi si sono assunti valori della scabrezza in funzione della copertura vegetale e del tipo e granulometria del materiale presente in alveo; in generale si è sempre discretizzata la sezione idraulica bagnata associando valori diversi di scabrezza in relazione alle variabili sopradette. I valori di scabrezza sono stati confrontati con quelli abitualmente adottati dai tecnici del Consorzio di bonifica trovandosi allineati sui medesimi valori.

I valori provenienti dalla modellizzazione idraulica sono stati ottenuti, assumendo un coefficiente di Strickler di  $K_{G-S}=28 \text{ m/s}^{1/3}$  per l'alveo inciso e  $K_{G-S}=25 \text{ m/s}^{1/3}$  per le sponde vegetate; per i tratti rivestiti si sono adottate scabrezze  $K_{G-S}=40 \text{ m/s}^{1/3}$ . I valori adottati trovano conforto nei valori presenti in letteratura nelle pubblicazioni: "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959, Macgraw-Hill, Singapore e da "Meccanica dei fluidi", Marchi - Rubatta.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del thalweg con evidenziate anche le banche interne (LOB: sinistra e ROB: destra) ed i coronamenti arginali di destra e sinistra idraulica (Right Levee e Left Levee) del Canale Acque Alte.



**FIGURA 5-1: ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE ARGINATURE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO**

## 6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La determinazione delle portate di riferimento è stata sviluppata con riferimento alle informazioni ricevute dal Consorzio e con riferimento allo specifico funzionamento del canale che come detto in precedenza svolge la doppia funzione di scolo delle acque e di invaso e laminazione. Il Piano di classifica del Consorzio adotta come riferimento TR=10 anni ad esso risultano adeguate le opere idrauliche consorziali sia come sezione dei canali in gestione, sia come sistema di scolo delle acque piovane sia come sistema di recapito, naturale o meccanico, delle portate di bonifica.

A completamento della informazione idrologica del Collettore di Acque Alte è stata condotta una analisi di trasformazione afflussi-deflussi con metodo cinematico a partire dalle piogge di riferimento per determinare i valori di portata massima al colmo per assegnato tempo di ritorno; essa ha lo scopo di ottenere un valore di riferimento per le portate con tempo di ritorno superiore a quello di bonifica fino al limite massimo di TR=100 anni (indicato nella Direttiva 4 dell'Autorità di bacino del Po).

L'uso del suolo è stato ricavato per il bacino imbrifero afferente composto dalla quota parte interna al comprensorio di bonifica ed anche di quella esterna che scarica nel Collettore di Acque Alte; l'analisi è stata condotta con riferimento alla Carta dell'uso del suolo della Regione Emilia Romagna.

Uso del suolo	Cod.	Acque Alte <i>superficie (ha)</i>	Fuori bacino <i>superficie (ha)</i>	Totale <i>superficie (ha)</i>
Corsi d'acqua	Al	159	24	183
Zone umide	Zp	51	10	61
Frutteti e vigneti	C	2411	1232	3643
Colture da legno	Cp	50	11	61
Prati stabili	Pp	9	-	9
Seminativi	S	12486	6534	19020
Cespuglieti	Zs	8	-	8
Cave e discariche	Zc	33	-	33
Urbanizzato	I	510	338	848
Verde urbano	Iv	192	30	222
Aree industriali	Zi	278	108	386
TOTALE		16187	8287	24474

TABELLA 6-1: COLLETTORE ACQUE ALTE, USO DEL SUOLO DEL BACINO ALLA SEZIONE CISPADANA

I parametri utilizzati sono quelli calcolati dal Consorzio di bonifica: area del bacino: 244.74 km<sup>2</sup>; lunghezza asta principale: 57.1 km; tempo di corrivazione: 59.2 ore.

Dalle informazioni del Consorzio si evince che la portata di progetto del canale ovvero quella del piano di classifica (TR=10 anni) è  $Q=37$  mc/s; le portate ricavate nel presente studio per assegnato tempo di ritorno ottenute dall'analisi afflussi-deflussi, riferite al canale chiuso alla sezione Cispadana sono le seguenti.

tempo di ritorno (anni)	5	10	25	50	100
intensità di pioggia critica (mm/h)	1.8	2.0	2.4	2.6	2.9
coefficiente di deflusso	0.27	0.31	0.36	0.39	0.42
coefficiente udometrico (l/s ha)	1.2	1.5	2.0	2.5	2.9
portata (m <sup>3</sup> /s)	27	37	50	60	70

**TABELLA 6-2: COLLETTORE ACQUE ALTE, STIMA DEI PARAMETRI IDROLOGICI**

Dalle analisi idrauliche sviluppate nella condizione dello stato di fatto del canale è stata ricavata la massima portata sostenibile dal Canale Acque Alte lungo l'intero tratto schematizzato relativo agli ultimi 5200m prima della foce; emerge che, ipotizzando lo scarico libero alla foce, la portata massima contenuta in alveo vale  $Q_{max}=200$  m<sup>3</sup>/s; come risulterà evidente nei grafici seguenti i livelli idrometrici corrispondenti raggiungono, e localmente superano, il coronamento arginale di destra idraulica tra le sezioni 7 e 15.

Per ottemperare a quanto richiesto dal Consorzio di bonifica si è incrementata la portata di piena di un valore pari al 30% ovvero 60 m<sup>3</sup>/s sviluppando le analisi anche per la portata di riferimento  $Q_{max+30\%}=260$  m<sup>3</sup>/s..

Il Collettore Acque Alte è un canale ad uso promiscuo utilizzato per lo scolo delle acque di piena dei territori alti nella stagione autunno-invernale ed utilizzato, in alcuni tratti e/o affluenti o per intero, per l'irrigazione nella stagione primaverile-estiva. Ai fini delle verifiche idrauliche si esamina, in quanto più critica, la condizione di scolo delle acque; essa ammette due tipi di funzionamento:

1. Canale Acque Alte in piena, Fiume Panaro in magra: le acque del canale scorrono a pelo libero entro l'alveo e lo scarico avviene con sbocco a pelo libero non rigurgitato attraverso le porte vinciane;
2. Canale Acque Alte in piena, Fiume Panaro in piena: le acque del canale scorrono a pelo libero entro l'alveo fino alla chiusura delle porte per contrastare i rigurgiti di Panaro, il canale invasa le acque.

Le verifiche idrauliche sono state condotte ipotizzando, come condizione al contorno di valle, il deflusso libero, attraverso le 3 porte della chiusa di Fosaglia in condizioni di completa apertura; non viene analizzata la condizione di invaso in quanto essa non rappresenta una condizione critica per il viadotto di progetto (ad eccezione delle pile tuttavia già verificate nelle più gravose condizioni idrodinamiche) essendo lo stesso realizzato con intradosso dell'impalcato viario superiore alla quota arginale e quindi non soggetto alle spinte idrostatiche della corrente nella condizione di invaso.

## **7. VERIFICHE IDRAULICHE**

### **7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE**

L'attraversamento dell'Autostrada Cispadana sul Canale Acque Alte avverrà con ponte a 3 luci di interasse 38m, 43m, 38m per una lunghezza complessiva, da spalla a spalla di 119m. Le spalle sono sterne ai corpi arginali e distanti oltre 10m dal piede esterno dell'argine; all'interno della sezione bagnata del canale sono presenti 2 pile realizzate sulle banche e quindi fuori dall'alveo di magra. Le pile interne sono realizzate con fondazione iddi forma rettangolare ottenute con setti verticali; il setto interno, lato alveo, svolge anche la funzione di diaframma idraulico e pertanto viene prolungato a monte e valle per 20m pari a tutta l'estensione degli interventi di progetto.

Il ponte risulta inclinato rispetto all'asse del canale di 66°.

Le analisi idrauliche hanno dimostrato, come si vedrà nel seguito, che la sezione attuale del canale è abbondantemente sufficiente al transito della portata centennale mentre risulta appena sufficiente a garantire il transito della portata massima. Non risultano invece contenuti in alveo i deflussi corrispondenti alla portata massima incrementata del 30% e pertanto, come richiesto dal Consorzio, si è previsto il rialzo dei corpi arginali fino a quota tale da contenere la incrementata. Dalle verifiche idrauliche emerge pertanto la necessità di realizzare un rialzo arginale fino alla quota di 18.90 msm pari ad un rialzo di 50-80cm. Il rialzo arginale avverrà mediante preventiva sgradonatura del paramento esterno del corpo arginale e successiva ricarica e costipamento del materiale inerte fino a costruzione del nuovo rialzo, il conseguente allargamento dell'argine avverrà all'esterno dell'alveo andando ad occupare aree a campagna. L'intervento sarà esteso alla sezione in ombra del ponte ed esteso per 20 m a monte e valle; più oltre la risagomatura sarà raccordata agli argini esistenti.

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione del necessario rialzo arginale, è stato impostato ad una quota di 21,00 msm garantendo un franco minimo superiore a 1m su entrambe le sponde in modo da rispettare i minimi richiesti dal Consorzio e previsti dalle Direttive dell'Autorità di bacino del Fiume Po e dalle NTC/2008.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione degli argini, alle attività di ispezione e sfalcio della vegetazione avverrà con passaggio sotto il ponte all'esterno degli argini; è prevista la realizzazione di piste di manutenzione con materiali inerti costipati aventi larghezza 4.0m ed altezza utile superiore a 5.0. Le piste saranno raccordate a quelle esistenti sugli argini attraverso rampe di collegamento, anch'esse esterne all'argine.

Infine, come richiesto, è stata prevista una difesa spondale e di fondo estesa a tutto l'alveo interno e

prolungata all'esterno oltre l'argine per 2.0m; la difesa realizzata con massi 100-300 kg/cad intasati di calcestruzzo ha spessore di 1.5m nella parte interna dell'alveo di magra e spessore 1.0m nella parte delle banche e del petto arginale.

## **7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO**

### **7.2.1. Condizioni di riferimento**

Le condizioni al contorno per il calcolo dei profili di rigurgito sono le seguenti:

- rappresentazione geometrica del corso d'acqua nello stato di fatto ricavata dal rilievo topografico composto da 24 sezioni per una lunghezza complessiva di 5193m oltre a 2 sezioni specifiche del ponte di Selvabella e della chiavica Foscaglia;
- rappresentazione geometrica del corso d'acqua nello stato di progetto ottenuta integrando quella esistente con l'opera di scavalco e con le relative opere idrauliche a corredo, difese spondali, ecc...;
- lo scarico del Canale Acque Alte avviene a gravità attraverso 3 porte regolabili nel Fiume Panaro quando questo presenta un livello idrico inferiore a 10.3 msm, pari al fondo del canale; per livelli idrometrici superiori del recettore le paratoie si chiudono e le acque vengono invasate;
- portate di riferimento:  $Q_{100}=70 \text{ m}^3/\text{s}$   $Q_{\max}=200 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{\max+30\%}=240 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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;
- configurazione di progetto con la presenza del nuovo attraversamento e delle opere idrauliche di difesa e protezione.

### **7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento**

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

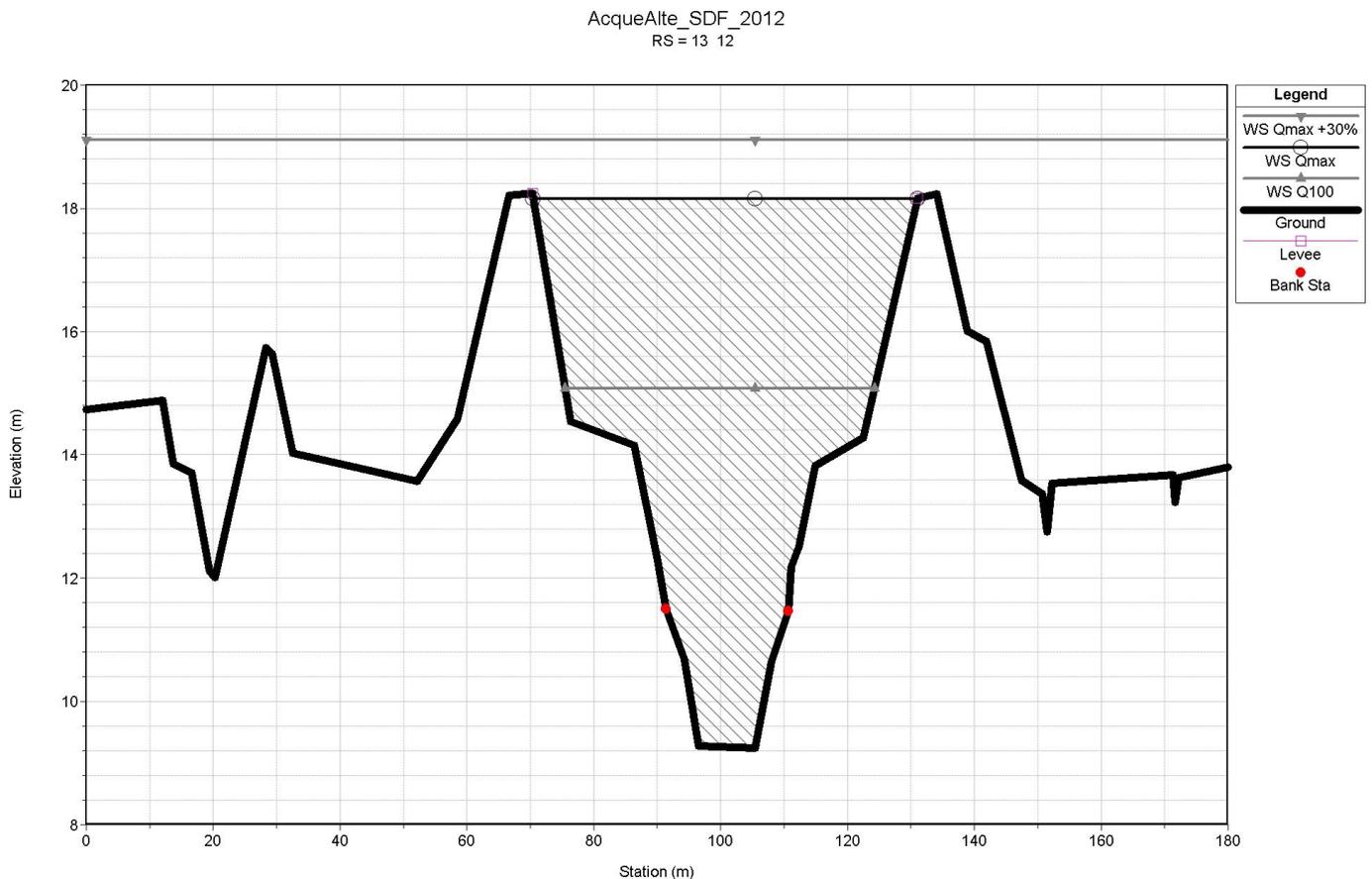
Le risultanze delle propagazioni nelle configurazioni simulate consistono nell'espore le principali grandezze idrauliche, soprattutto in termini di livelli idrometrici raggiunti durante gli eventi considerati in corrispondenza delle varie sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, risultano rilevate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

singoli tratti dell'alveo sia in condizioni di alveo attuale che di progetto.

Stato di fatto

Dall'analisi emerge che le portate Q100 e Qmax transitano all'interno del canale senza provocare fuoriuscite d'acqua, il livello raggiunto è rispettivamente di 15.06 msm per la portata centennale e di 18.02 msm per la portata massima. In entrambi i casi le acque di piena risultano contenute, localmente, all'interno della sezione arginata esistente. La portata massima incrementata Qmax+30% non rimane contenuta all'interno della sezione arginata ed il livello, ipotizzato un fittizio rialzo arginale estensivo, raggiunge al quota 18.84 msm; per tali portate si evidenzia, nei profili di rigurgito, una generalizzata fuoriuscita d'acqua lungo l'intero tratto simulato, segno evidente che le quote arginali attuali non sono assolutamente in grado di contenere la portata richiesta dal Consorzio.

Il franco tra il livello idrometrico di massima piena ed il coronamento arginale è nullo in destra e pari a 20cm in sinistra; il franco sulla piena centennale è di oltre 3 m. La portata massima incrementata raggiunge una quota superiore di 50-70cm rispetto ai coronamenti arginali.



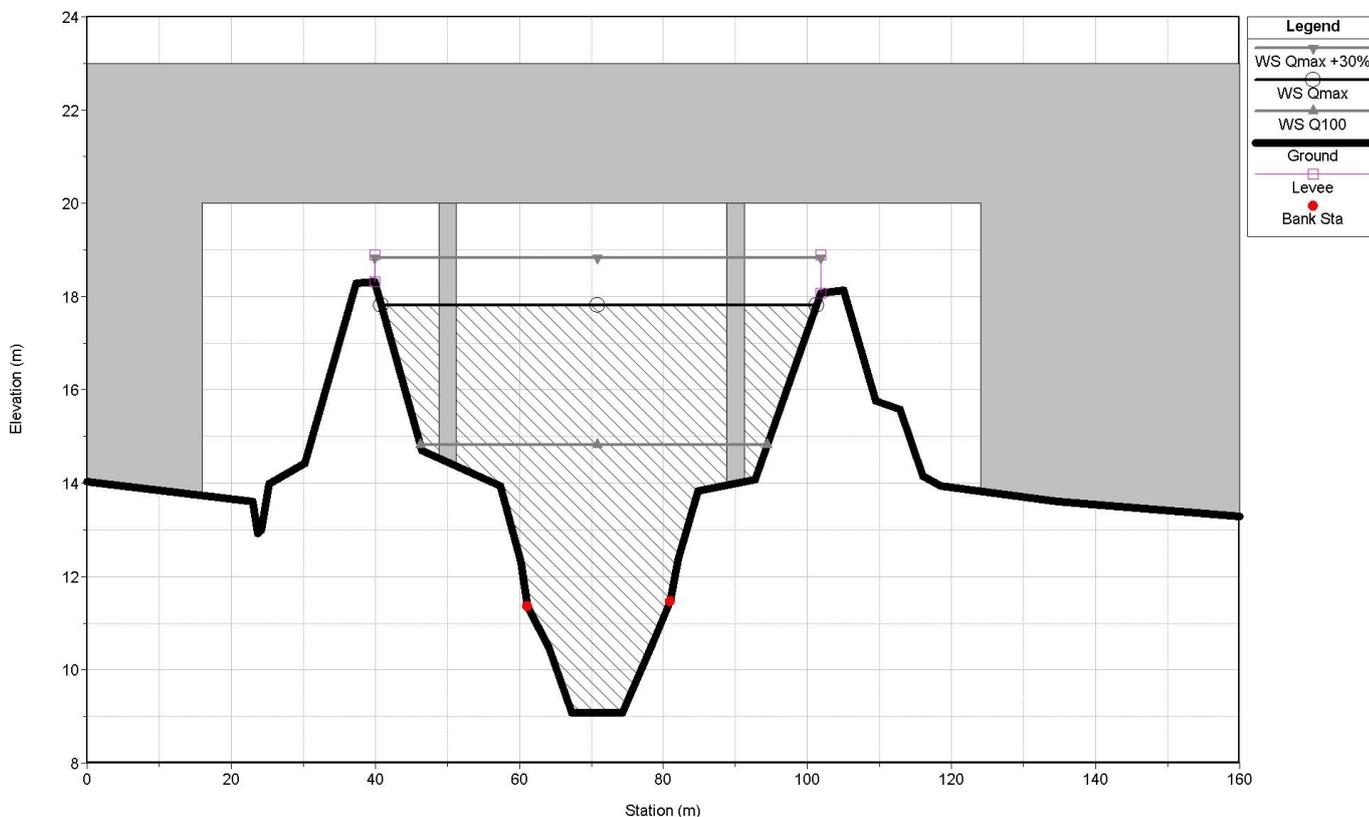
**FIGURA 7-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE PORTATE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE DELL'ASSE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI FATTO**

Stato di progetto

L'intervento in progetto comprende il ponte a 3 luci di campate 38+43+38 m, il rialzo di entrambi gli argini fino alla quota di 18.90 msm esteso per un tratto complessivo di 77m ed il rivestimento spondale e di fondo in massi cementati. La quota minima di intradosso del ponte è fissata a 21.00 msm.

Dall'analisi emerge che le portate Q100 e Qmax transitano all'interno del canale senza provocare fuoriuscite d'acqua, il livello raggiunto è rispettivamente di 14.82 msm per la portata centennale e di 17.82 msm per la portata massima; si osservano livelli debolmente inferiori rispetto a quelli dello stato di fatto a seguito dell'inserimento di opere di difesa che aumentano la velocità e riducono, a parità di portata, il livello raggiunto. In entrambi i casi le acque di piena risultano contenute all'interno della sezione arginata di progetto. La portata massima incrementata Qmax+30% rimane contenuta all'interno della sezione arginata di progetto (argini rialzati) ed il livello idrometrico raggiunge al quota 18.84 msm; si osserva il contenimento delle portate nel tratto oggetto di rialzo arginale mentre la generalizzata fuoriuscita delle stesse nei tratti di monte e valle. I franchi idraulici minimi che si instaurano nella condizione di progetto sono i seguenti:  $F_{100}=5,94$  m,  $F_{max}=3,18$  m e  $F_{max+30\%}=2,16$  m

AcqueAlte\_PRJ\_2012  
 RS = 11.5 BR ponte Autostrada Cispadana



**FIGURA 7-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER LE PORTATE DI RIFERIMENTO ALLA SEZIONE DELL'ASSE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI PROGETTO**

### Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per le portate di riferimento con confronto tra lo stato di fatto e quello di progetto. Nelle tabelle e nei grafici seguenti si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite.

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Q100 (m3/s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
1	24	0	9.60	-0.0020	70	15.32	15.07	0.65	0.70	15.35	15.10	0.13	0.14
2	23	242	10.08	0.0090	70	15.29	15.04	0.65	0.71	15.32	15.07	0.14	0.15
3	22	377	8.87	-0.0052	70	15.28	15.03	0.60	0.65	15.30	15.06	0.12	0.13
4	21	576	9.90	-0.0045	70	15.26	15.01	0.63	0.68	15.28	15.04	0.13	0.13
5	20	753	10.69	0.0098	70	15.23	14.98	0.72	0.78	15.26	15.01	0.14	0.16
6	19	945	8.81	-0.0007	70	15.21	14.97	0.57	0.61	15.23	14.99	0.10	0.11
7	18	1186	8.98	0.0000	70	15.19	14.94	0.61	0.66	15.21	14.97	0.12	0.12
8	17	1468	8.99	-0.0010	70	15.16	14.92	0.60	0.65	15.18	14.94	0.13	0.14
9	16	1667	9.18	-0.0007	70	15.14	14.90	0.60	0.65	15.16	14.93	0.12	0.13
10	15	1937	9.37	0.0020	70	15.12	14.88	0.58	0.63	15.14	14.90	0.12	0.13
11	14	2183	8.87	-0.0013	70	15.10	14.86	0.53	0.58	15.12	14.88	0.12	0.13
12	13	2461	9.24	0.0006	70	15.08	14.84	0.52	0.56	15.09	14.86	0.11	0.13
13	12	2696	9.09	0.0004	70	15.06	14.82	0.51	0.55	15.08	14.84	0.11	0.12
interpolata Cispadana (monte)	11.7	2721	9.08	0.0000	70		14.82		0.55		14.84		0.12
	11.6	2741	9.08	0.0000	70		14.82		0.55		14.84		0.12
ponte Cispadana	11.5 BR U	2743	9.08	0.0002	70		14.82		0.57		14.84		0.12
ponte Cispadana	11.5 BR D	2768	9.08	0.0000	70		14.82		0.56		14.84		0.12
Cispadana (valle)	11.4	2771	9.08	0.0000	70		14.82		0.55		14.84		0.12
interpolata	11.3	2791	9.08	0.0000	70		14.82		0.55		14.84		0.12
14	11	2975	9.07	0.0000	70	15.04	14.80	0.52	0.56	15.06	14.82	0.11	0.12
15	10	3323	9.06	-0.0041	70	15.01	14.78	0.49	0.54	15.03	14.80	0.11	0.12
16	9	3660	10.45	0.0000	70	14.97	14.74	0.58	0.64	15.00	14.77	0.13	0.15
20	5.1	4623	10.45	0.0000	70	14.84	14.61	0.61	0.67	14.86	14.64	0.14	0.16
ponte Selvabella	5 BR U	4624	10.45	0.0000	70	14.84	14.61	0.64	0.70	14.86	14.64	0.11	0.12
ponte Selvabella	5 BR D	4634	10.45	0.0000	70	14.84	14.61	0.64	0.70	14.86	14.64	0.11	0.12
Selvabella (valle)	4.9	4635	10.45	0.0035	70	14.84	14.61	0.61	0.67	14.86	14.64	0.14	0.16
23	2	5007	9.14	-0.0079	70	14.80	14.57	0.51	0.57	14.82	14.59	0.14	0.15
chiusa Foscaglia	1.2	5157	10.32	0.0000	70	14.79	14.55	0.61	0.68	14.81	14.57	0.15	0.17

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Q100	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
chiusa Foscaglia	1.1	5193											
24	1	5193	10.32		70	14.74	14.49	0.62	0.70	14.76	14.52	0.15	0.17

**TABELLA 7-1: CANALE ACQUE ALTE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA Q100**

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Qmax	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
1	24	0	9.60	-0.0020	200	18.36	18.06	0.80	0.86	18.40	18.11	0.16	0.15
2	23	242	10.08	0.0090	200	18.33	18.04	0.71	0.82	18.37	18.09	0.16	0.15
3	22	377	8.87	-0.0052	200	18.32	18.03	0.67	0.77	18.35	18.07	0.15	0.14
4	21	576	9.90	-0.0045	200	18.30	18.01	0.63	0.80	18.33	18.05	0.14	0.14
5	20	753	10.69	0.0098	200	18.27	17.98	0.82	0.88	18.31	18.03	0.14	0.16
6	19	945	8.81	-0.0007	200	18.25	17.97	0.75	0.80	18.29	18.01	0.12	0.13
7	18	1186	8.98	0.0000	200	18.22	17.94	0.77	0.81	18.26	17.99	0.13	0.14
8	17	1468	8.99	-0.0010	200	18.22	17.92	0.45	0.78	18.23	17.96	0.10	0.14
9	16	1667	9.18	-0.0007	200	18.18	17.90	0.73	0.78	18.22	17.94	0.13	0.14
10	15	1937	9.37	0.0020	200	18.16	17.88	0.72	0.76	18.19	17.92	0.12	0.13
11	14	2183	8.87	-0.0013	200	18.16	17.86	0.43	0.71	18.17	17.90	0.08	0.12
12	13	2461	9.24	0.0006	200	18.12	17.84	0.66	0.70	18.15	17.88	0.11	0.12
13	12	2696	9.09	0.0004	200	18.13	17.83	0.35	0.69	18.13	17.86	0.06	0.12
interpolata Cispadana (monte)	11.7	2721	9.08	0.0000	200		17.83		0.69		17.86		0.11
11.6	2741	9.08	0.0000	200		17.83		0.69			17.86		0.11
ponte Cispadana	11.5 BR U	2743	9.08	0.0002	200		17.82		0.73		17.86		0.12
ponte Cispadana	11.5 BR D	2768	9.08	0.0000	200		17.82		0.73		17.85		0.12
Cispadana (valle)	11.4	2771	9.08	0.0000	200		17.82		0.69		17.85		0.11
interpolata	11.3	2791	9.08	0.0000	200		17.82		0.69		17.85		0.12
14	11	2975	9.07	0.0000	200	18.11	17.80	0.38	0.71	18.13	17.84	0.07	0.12
15	10	3323	9.06	-0.0041	200	18.10	17.78	0.44	0.67	18.11	17.81	0.08	0.11
16	9	3660	10.45	0.0000	200	18.05	17.75	0.72	0.77	18.09	17.78	0.12	0.13
20	5.1	4623	10.45	0.0000	200	17.95	17.65	0.74	0.79	17.98	17.69	0.12	0.13
ponte Selvabella	5 BR U	4624	10.45	0.0000	200	17.93	17.63	0.97	0.97	17.98	17.69	0.12	0.12
ponte Selvabella	5 BR D	4634	10.45	0.0000	200	17.92	17.63	0.97	0.97	17.98	17.68	0.12	0.12
Selvabella (valle)	4.9	4635	10.45	0.0035	200	17.93	17.64	0.74	0.79	17.97	17.68	0.12	0.13
23	2	5007	9.14	-0.0079	200	17.92	17.63	0.44	0.48	17.94	17.65	0.08	0.09

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Qmax	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
chiusa Foscaglia	1.2	5157	10.32	0.0000	200	17.92	17.61	0.50	0.55	17.93	17.64	0.10	0.12
chiusa Foscaglia	1.1	5193											
24	1	5193	10.32		200	16.99	16.69	0.69	0.77	17.02	16.74	0.16	0.19

TABELLA 7-2: CANALE ACQUE ALTE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA QMAX

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Q <sub>max+30%</sub>	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
1	24	0	9.60	-0.0020	260	19.19	18.94	0.82	0.88	19.24	19.00	0.16	0.18
2	23	242	10.08	0.0090	260	19.19	18.95	0.45	0.48	19.21	18.97	0.10	0.11
3	22	377	8.87	-0.0052	260	19.18	18.94	0.47	0.51	19.20	18.96	0.10	0.12
4	21	576	9.90	-0.0045	260	19.17	18.93	0.47	0.50	19.19	18.95	0.11	0.12
5	20	753	10.69	0.0098	260	19.16	18.92	0.42	0.45	19.18	18.94	0.09	0.10
6	19	945	8.81	-0.0007	260	19.15	18.91	0.40	0.42	19.17	18.93	0.08	0.09
7	18	1186	8.98	0.0000	260	19.15	18.91	0.38	0.40	19.16	18.92	0.07	0.08
8	17	1468	8.99	-0.0010	260	19.14	18.90	0.31	0.33	19.15	18.91	0.06	0.06
9	16	1667	9.18	-0.0007	260	19.13	18.89	0.38	0.41	19.14	18.90	0.07	0.08
10	15	1937	9.37	0.0020	260	19.13	18.89	0.29	0.31	19.13	18.90	0.05	0.06
11	14	2183	8.87	-0.0013	260	19.12	18.88	0.30	0.32	19.13	18.89	0.05	0.06
12	13	2461	9.24	0.0006	260	19.12	18.88	0.27	0.28	19.12	18.89	0.04	0.05
13	12	2696	9.09	0.0004	260	19.11	18.88	0.30	0.31	19.12	18.88	0.05	0.05
interpolata Cispadana (monte)	11.7	2721	9.08	0.0000	260		18.84		0.74		18.88		0.11
	11.6	2741	9.08	0.0000	260		18.84		0.74		18.88		0.11
ponte Cispadana	11.5 BR U	2743	9.08	0.0002	260		18.83		0.79		18.88		0.12
ponte Cispadana	11.5 BR D	2768	9.08	0.0000	260		18.83		0.79		18.88		0.12
Cispadana (valle)	11.4	2771	9.08	0.0000	260		18.84		0.74		18.87		0.11
interpolata	11.3	2791	9.08	0.0000	260		18.86		0.31		18.86		0.05
14	11	2975	9.07	0.0000	260	19.10	18.85	0.32	0.34	19.11	18.86	0.05	0.06
15	10	3323	9.06	-0.0041	260	19.09	18.84	0.38	0.40	19.10	18.85	0.06	0.07
16	9	3660	10.45	0.0000	260	19.09	18.84	0.29	0.31	19.09	18.84	0.05	0.05
20	5.1	4623	10.45	0.0000	260	19.07	18.82	0.30	0.31	19.07	18.82	0.05	0.05
ponte Selvabella	5 BR U	4624	10.45	0.0000	260	19.07	18.82	0.33	0.35	19.07	18.82	0.04	0.04
ponte Selvabella	5 BR D	4634	10.45	0.0000	260	19.07	18.82	0.33	0.35	19.07	18.82	0.04	0.04
Selvabella (valle)	4.9	4635	10.45	0.0035	260	19.07	18.82	0.30	0.31	19.07	18.82	0.05	0.05

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata $Q_{max+30\%}$ (m <sup>3</sup> /s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
23	2	5007	9.14	-0.0079	260	19.06	18.81	0.31	0.33	19.06	18.82	0.05	0.06
chiusa Foscaglia	1.2	5157	10.32	0.0000	260	19.05	18.80	0.34	0.36	19.06	18.81	0.06	0.07
chiusa Foscaglia	1.1	5193											
24	1	5193	10.32		260	17.62	17.32	0.72	0.79	17.66	17.37	0.16	0.19

TABELLA 7-3: CANALE ACQUE ALTE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA  $Q_{MAX} + 30\%$

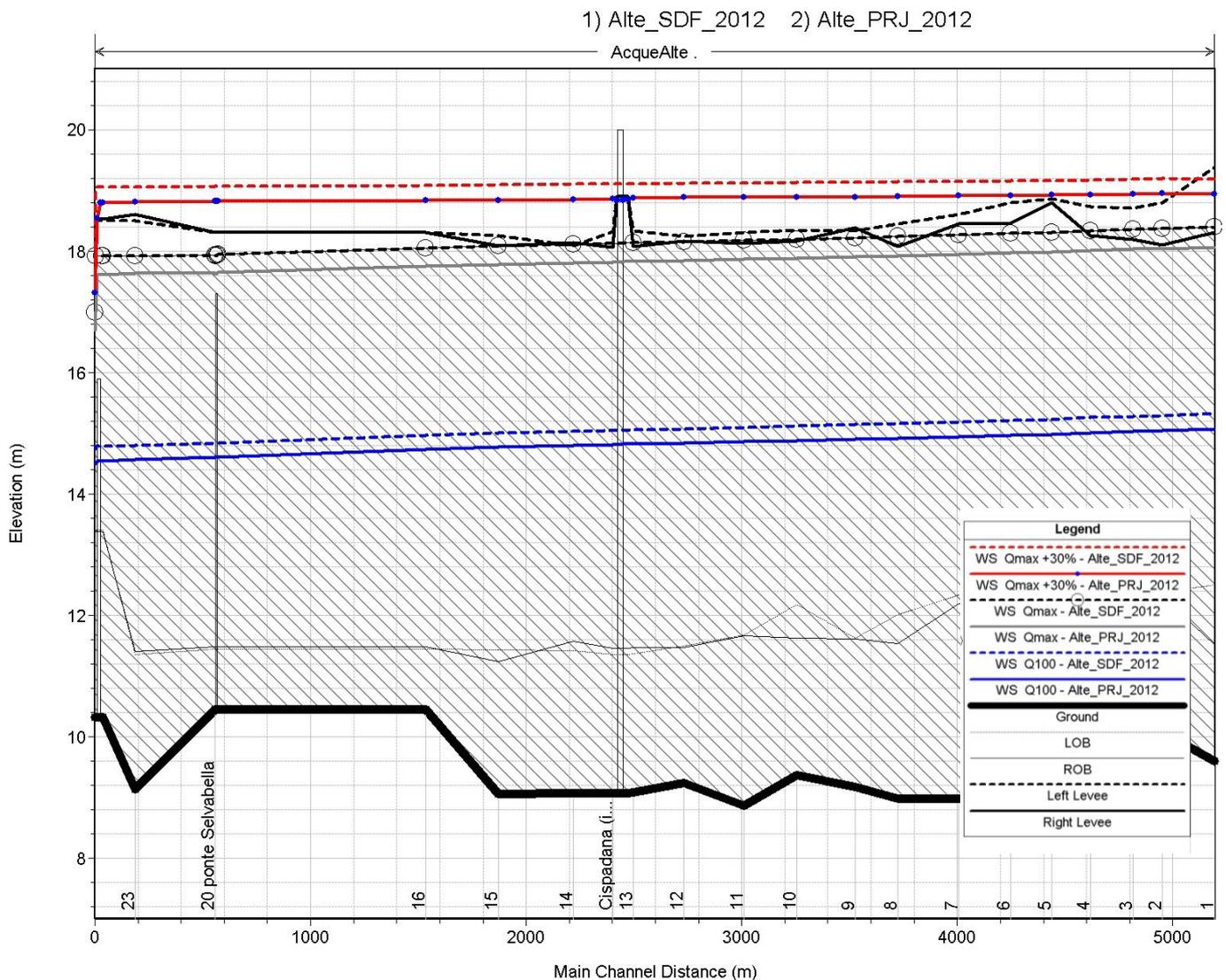
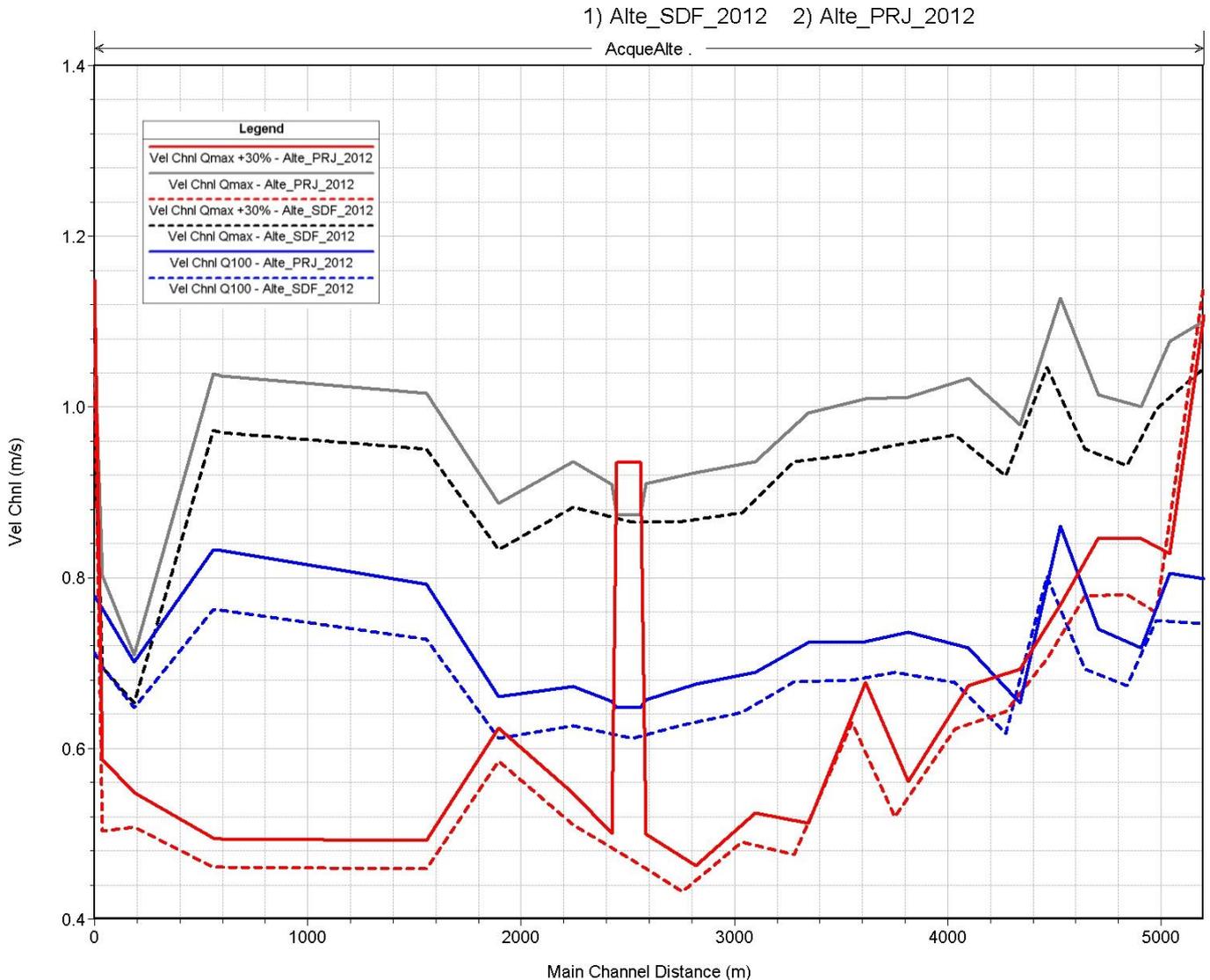


FIGURA 7-3: CANALE ACQUE ALTE, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER LE PORTATE DI RIFERIMENTO NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO



**FIGURA 7-4: CANALE ACQUE ALTE, ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO**

### **7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica**

#### Effetto E.1. Modifiche indotte sul profilo involuppo 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.

Dai risultati esposti precedentemente, sia in forma tabellare sia in forma grafica, dei profili di rigurgito calcolati per le portate di riferimento nelle condizioni attuali e di progetto si evince che nelle sezioni

interessate dalla costruzione del nuovo ponte i profili di piena sono quasi identici nella simulazione Ante opera ed in quella Post opera; nello specifico si osserva che il rivestimento spondale favorisce un abbassamento di qualche centimetro dei livelli raggiunti dalla corrente di piena. Inoltre è evidente che la presenza delle pile non mostra effetti sui profili di rigurgito e ciò a dimostrazione del fatto che l'ingombro delle pile è minimale se visto alla luce della larghezza d'alveo se ne può concludere che il ponte risulta "trasparente" ai deflussi di piena. Da ultimo vale la pena ribadire che la portata massima incrementata come richiesto è contenuta in alveo solo nella configurazione d'alveo di progetto con rialzo arginale.

#### 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.

L'opera in progetto non comporta alcuna variazione delle superfici allagabili che per altro, per la specificità del corso d'acqua, sono limitate al solo alveo arginato. Si precisa tuttavia che l'opera è stata dimensionata per la portata massima incrementata con adeguamento della sezione nel tratto di intervento; attualmente la portata non è invece sostenibile dalla sezione del canale nel tratto a monte e valle dell'attraversamento per l'intero sviluppo del tratto simulato. L'ingombro delle pile non riduce in modo apprezzabile la capacità di invaso del canale.

#### 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; come si osserva dal precedente grafico sull'andamento medio delle velocità non si notano in corrispondenza del ponte variazioni apprezzabili e si verifica che le velocità, sia quelle massime sia quelle medie, si mantengono sempre inferiori ad 1 m/s. In corrispondenza dell'intervento il rivestimento spondale esteso a tutta la sezione di progetto favorisce il deflusso con annullamento dell'azione erosiva della corrente sul corpo arginale.

#### Effetto E.4. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena

L'assetto morfologico dell'alveo verrà modificato al seguito del rialzo arginale previsto. La modifica riguarda prevalentemente l'assetto altimetrico dove è previsto il rialzo di 50cm sull'argine destro e 75cm su quello sinistro; planimetricamente tale modifica si sviluppa all'esterno dell'alveo inciso con il necessario

allargamento del corpo arginale. Le modifiche previste generano un aumento di officiosità idraulica dall'attuale sezione bagnata pari a 303m<sup>2</sup> a quella di progetto pari a 330m<sup>2</sup>.

Effetto E.5. 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 delle attuali caratteristiche ambientali del corso d'acqua fatto salvo l'inserimento localizzato delle opere di difesa e protezione spondale.

Effetto E.6. 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.

Le condizioni di sicurezza idraulica migliorano localmente rispetto alla situazione attuale. Il franco idraulico tra l'intradosso del ponte ed il livello idrometrico raggiunto dalla portata massima incrementata è di 2,16 m, è di 3,18 per la portata massima sostenibile ed è 5,94 per la portata centennale. Gli interventi di progetto previsti a corredo del ponte migliorano la sicurezza idraulica in quanto la nuova sezione di progetto contiene le portate massime incrementate del 30% cosa che invece non si verifica nel tratto a monte e valle dell'intervento dove le arginature risultano altimetricamente insufficienti.

### **7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisori**

---

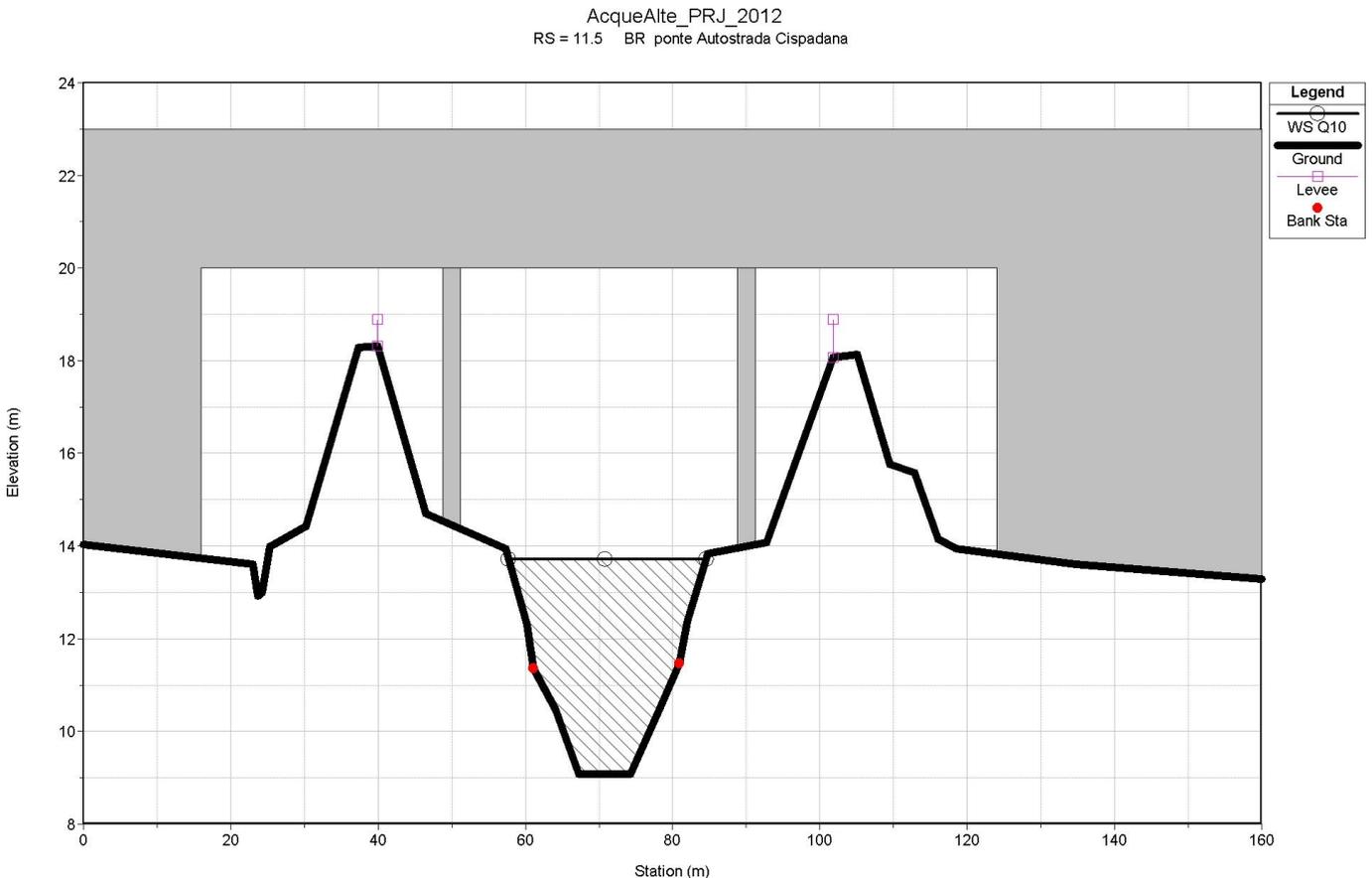
La costruzione delle pile avverrà mediante la preventiva esecuzione di diaframmi strutturali mediante perforazione a vuoto operando direttamente dalle banche interne; successivamente si provvederà alla infissione delle palancole provvisori per la protezione dell'area di scavo, le palancole dovranno avere una quota di tenuta pari ad almeno 14.2 msm. Una volta chiusa con le palancole l'area interna di fondazione si procederà allo scavo dell'area ed alla scapitozzatura dei diaframmi con successiva costruzione del plinto di fondazione. Da ultimo sarà realizzato il fusto delle pile. La struttura metallica di impalcato verrà assemblata in opera mediante apposita officina di saldatura e varata a spinta pertanto senza interferenze con i deflussi idrici.

Al fine di verificare la compatibilità idraulica delle opere provvisionali con i deflussi di piena è stata condotta una ulteriore verifica idraulica per determinare la quota di imposta delle palancole provvisionali atte al contenimento dei deflussi.

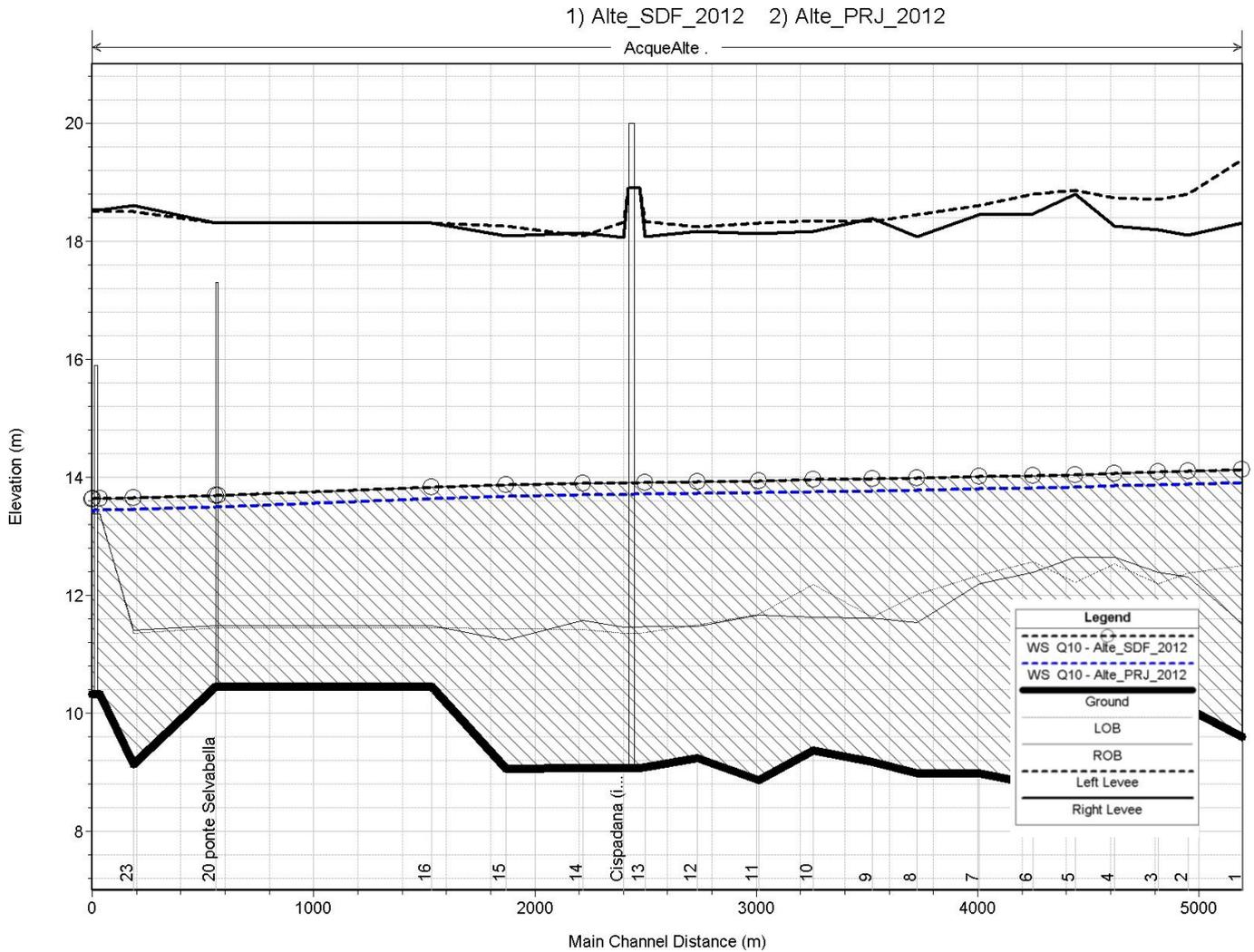
La portata di riferimento utilizzata è stata fissata in  $Q_{10}=37 \text{ m}^3/\text{s}$  pari alla portata prevista nel piano di classifica consorziale.

Si osserva che in corrispondenza della sezione del ponte il livello raggiunto dalla corrente è pari a 13.70 msm e pertanto si è imposta una quota di sommità minima delle palancole pari a 14.20 msm.

I grafici seguenti evidenziano il livello idrometrico della piena di riferimento decennale raggiunto alal sezione di interesse e lungo l'intera asta.



**FIGURA 7-5: CANALE ACQUE ALTE, LIVELLI DELLA CORRENTE IN CONDIZIONI PROVVISORIALI CON PORTATA Q10 - SEZIONE**



**FIGURA 7-6: CANALE ACQUE ALTE, LIVELLI DELLA CORRENTE IN CONDIZIONI PROVVISORIALI CON PORTATA Q10 - PROFILO**

## 8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Sulla base di quanto già previsto in fase di Progetto Preliminare e di quanto prescritto dal Consorzio di bonifica Burana in sede di CdS nonché durante la fase di Progettazione Definitiva, si è proceduto alla progettazione dei presidi difensivi da apporre a protezione degli argini e dell'alveo sia sotto la luce del ponte di progetto sia fuori l'ombra del ponte per un conveniente intorno a monte e valle.

Gli interventi previsti sono suddivisi in 4 categorie:

- 1) realizzazione di diaframmi idraulici a protezione dei corpi arginali realizzati sulle banche interne;
- 2) difese longitudinali volte a contenere i processi erosivi sulle sponde e sul fondo;
- 3) realizzazione di piste di servizio in raccordo a quelle esistenti per il mantenimento della continuità di percorrenza spondale da parte dei mezzi consorziali;
- 4) realizzazione di ripristino delle aree di intervento.

E' prevista la realizzazione di diaframmi idraulici al fine di contenere potenziali fenomeni di sifonamento stimati in 10÷12 m. Le analisi strutturali hanno verificato i diaframmi che saranno realizzati mediante strutture in CA a tenuta idraulica dello spessore di 80cm e di lunghezza (profondità) 14m; i diaframmi saranno estesi a tutto l'ingombro del ponte e prolungati di 20m sia a monte sia a valle del ponte.

La difesa spondale e di fondo si ottiene attraverso la realizzazione di una mantellata continua in massi di cava non gelivi di dimensioni 40-60cm/cad corrispondenti ad elementi variabili in peso da 100 a 300kg adottando massi di peso specifico dell'ordine dei 2400 kg/m<sup>3</sup>. La mantellata verrà realizzata sia sul fondo sia sulle sponde del canale garantendo uno spessore minimo di 1,5 m nel canale di magra e di 1,0 m sulle banche interne e sul petto arginale; la difesa sarà inoltre estesa a tutto il coronamento arginale ed ai primi 2 m del petto esterno. Successivamente con il fine sia di stabilizzare i massi posati sia di preservare l'integrità delle sponde si provvederà all'intasamento della mantellata mediante getto di calcestruzzo magro a parziale intasamento delle fessure avendo cura di chiudere le porosità profonde e mantenendo liberi da calcestruzzo il paramento esterno ed i primi 20cm in modo da favorire l'inserimento ambientale e percettivo della difesa nel contesto naturale. Le opere di difesa saranno realizzate sotto l'ombra del ponte ed estese per 20m a monte e valle.

Il mantenimento della continuità delle piste avverrà direttamente sotto il ponte dove sia in destra sia in sinistra è prevista la realizzazione di piste di servizio in materiali inerti costipati che saranno raccordate, a monte e valle, mediante apposite rampe alle piste arginali.



Una volta completati i lavori di realizzazione delle opere idrauliche, si procederà ad effettuare il ripristino delle aree di intervento mediante sistemazione del terreno movimentato con opportune lavorazioni e con la finale semina a spaglio delle superfici lavorate. Per la semina saranno utilizzate rigorosamente solo essenze erbacee autoctone.