



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

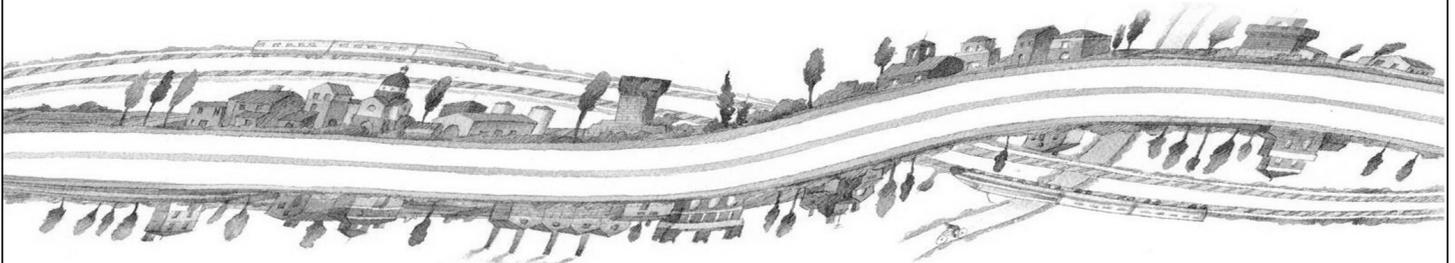
ASSE AUTOSTRADALE

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

CANALE EMISSARIO ACQUE BASSE

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
Graziiano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				ZANZUCCHI	TELO'	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.	SCALA:
0701	PD	0	A34	AWS14	0	WW	RI	01	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	3
2.1. NORMATIVA	3
2.2. CRITERI E RACCOMANDAZIONE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DI BURANA	3
3. CRITERI GENERALI	6
3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	6
3.2. IL MODELLO MATEMATICO PER LA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA	8
4. AMBITO DI RIFERIMENTO	11
4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA	11
4.2. TRACCIATO AUTOSTRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA	12
5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	13
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	13
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)	18
6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	21
7. VERIFICHE IDRAULICHE.....	23
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE.....	23
7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO.....	24
7.2.1. Condizioni di riferimento	24
7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento.....	24
7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica.....	34
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisoriali.....	36
8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	37

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 Emissario Acque Basse, corso d'acqua di bonifica interferito direttamente dall'opera autostradale in progetto. Il canale viene attraversato due volte, una dall'Autostrada Cispadana ed una dalla viabilità di adduzione Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana.

La presente relazione tratta il solo attraversamento autostradale tuttavia la modellistica idraulica, come si vedrà dai grafici, è stata sviluppata tenendo conto, nella configurazione di progetto, anche delle opere di attraversamento della Bondeno-Cento al fine di avere una rappresentazione completa dell'idraulica del corso d'acqua.

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 oltretutto 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 Emissario Acque Basse sono state impartite le seguenti prescrizioni:

- *La soluzione proposta per l'attraversamento del canale Emissario Acque Basse 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 Emissario Acque Basse, fino a ridosso delle spalle del ponte.*
- *Gli scatolari in C.A. da posare per garantire la continuità del passaggio monte-valle dei mezzi di servizio per la manutenzione del Canale Emissario Acque Basse (in destra ed in sinistra idraulica), devono essere posati con quota di scorrimento/calpestio alla quota della campagna circostante per evitare il ristagno di acqua all'interno dello scatolare. Si può eventualmente ridurre l'altezza degli scatolari in C.A. da 5m a 3.5m.*
- *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.*

In fase di progettazione definitiva sono stati richiesti chiarimenti al Consorzio di Burana il quale ha risposto con nota n° 4079 del 21/03/2012 precisando che:

- *in considerazione di una portata Q_{100} pari a 81 m³/s, rapportata ad una Q_{max} attualmente sostenibile pari a 60 m³/s, si prescrive – in corrispondenza dell'opera di attraversamento – un rialzo*

della sommità spondale ad una quota tale da contenere il livello idrico per una portata di piena con tempo di ritorno centennale;

- *la soluzione di attraversamento proposta quindi, che prevede un innalzamento dell'altezza tra l'attuale coronamento arginale e l'intradosso del ponte pari a 3.5m, - per una larghezza pari a 5m – risulterebbe non più sufficiente per garantire contemporaneamente il passaggio dei mezzi consorziali ed rialzo finalizzato al contenimento della piena centennale;*
- *per garantire il passaggio dei mezzi d'opera si prescrive pertanto una delle seguenti due possibilità alternative:*
 - *utilizzo di scatolari esterni alle pile del ponte di sezione interna non inferiore a 3.5m x 3.5m con quota di scorrimento/calpestio non inferiore al piano campagna;*
 - *sopralzo dell'impalcato del ponte di una quota tale da garantire 3.5m di altezza per il passaggio dei mezzi d'opera in aggiunta al rialzo di cui al punto precedente per il contenimento della piena centennale.*

Tutte le richieste indicate sono state rispettate nell'ambito della progettazione definitiva; la presente relazione ne da evidenza nei vari capitoli.

3. CRITERI GENERALI

3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

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

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

Scopo di questa fase è 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 Basse 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 54 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 16,1 km dei quali 1,6km a monte e 14,5km a valle dell'attraversamento in progetto, tale estensione verso valle è rivolta a comprendere anche il successivo attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento.

Fase 2^a: 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 Basse 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. In merito alla richiesta generale formulata dal Consorzio di aumento delle portate del 30% del valore stimato nel preliminare lo stesso Consorzio ha tuttavia indicato con nota successiva (n° 4079 del 21/03/2012) di utilizzare a riferimento la portata centennale già calcolata nel preliminare e stimata in $Q_{100}=81 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si conferma che la massima portata sostenibile, portata a piene rive, si colloca nella curva di durata delle portate dei canali di bonifica, nel range di tempi di ritorno compreso tra i 20 ed i 100 anni. Ciò si dimostra in linea con i tempi di ritorno caratteristici della progettazione di bonifica, generalmente associabili a TR=20-30 anni.

L'analisi idrografica ha preso in esame, per i canali principali, 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 e si è posta a confronto anche la portata monosecolare.

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^a: 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'ufficiosa 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 dove presenti.

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 di bonifica 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 Basse è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale estesa per un lungo tratto di canale e tale da ricomprendere sia l'attraversamento dell'Autostrada Cispadana sia quello dell'opera di adduzione Raccordo Bondeno-Cento.

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 ciglio sponda o 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,
- 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 scatorari, 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 :

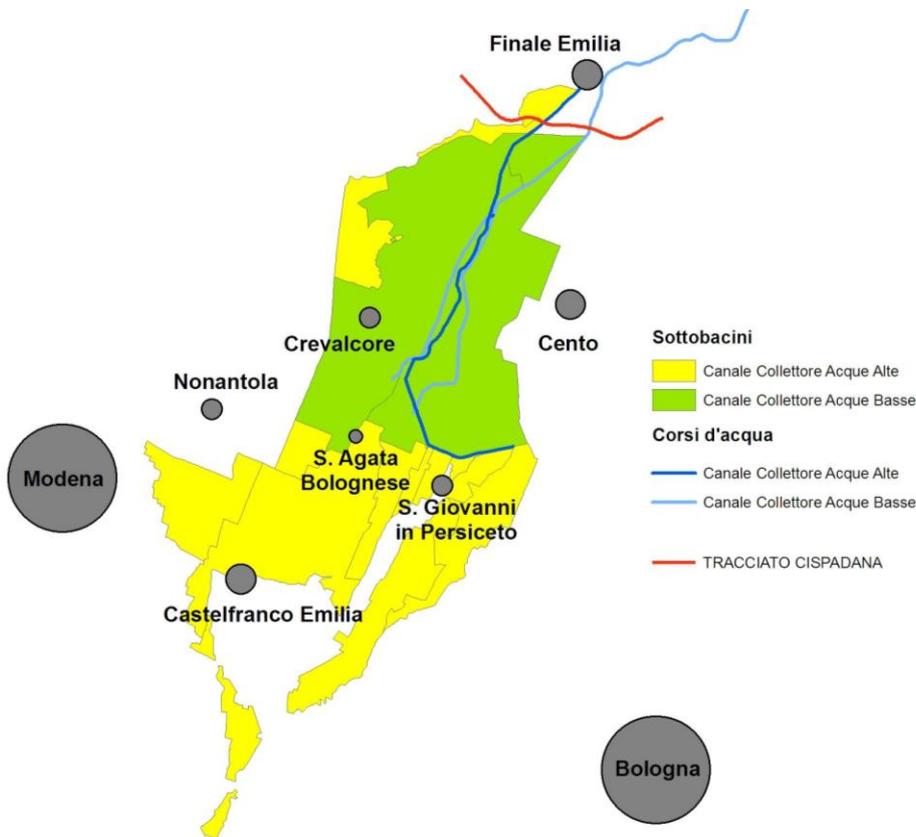
- Equazione di Yarnell;
- Metodo di conservazione della quantità di moto.

4. AMBITO DI RIFERIMENTO

4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA

Il comprensorio della bonifica del Canale Emissario Acque Basse e del Canale Acque Alte, 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 38+788; il tracciato si presenta in rettilineo orientato lungo la direttrice NW-SE e compreso tra la curva a nord delle Partecipanze e quella a sud dell'autostazione di Cento.

Il tracciato autostradale si sviluppa a nord dell'area storica delle Partecipanze di Cento che tuttavia ne risulta lambita per un breve tratto.

L'autostrada si presenta in rilevato alto sulla campagna imposto dalla necessità di superare le strade presenti ad ovest ed est del canale alle quali risulta necessario dare continuità; nello specifico è previsto ad ovest il sottovia della Strada vicinale Gnola e ad est il sottovia della SP n° 41 "Riga". Il rilevato si presenta alto anche per la necessità di realizzare un ponte sul canale Acque Basse tale da garantire il passaggio dei mezzi consorziali lungo le sponde dello stesso per le attività di ispezione e manutenzione.

L'interferenza avviene a nord dell'abitato di Dodici Morelli ad una distanza di circa 1400m dal centro urbano.

L'autostrada è affiancata, a sud e nord dell'attraversamento, da piste di servizio 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 sfruttando le sponde dello stesso, il passaggio si mantiene alla medesima quota della campagna circostante.

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il Canale Emissario di Acque Basse è il canale di drenaggio delle acque dei territori bassi del distretto di pianura della bonifica in destra Panaro, esso raccoglie i contributi provenienti dalla rete dei canali, principalmente ad uso promiscuo, e li trasferisce con deflusso a gravità nel recettore finale attraverso una chiavica di scarico e l'impianto idrovoro di Bondeno.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella bassa pianura bolognese a valle di S. Agata e S. Giovanni in Persicelo, è suddiviso nel semibacino sinistro e destro rispettivamente drenati dal Collettore sinistro e destro. Il bacino idrografico, individuato su base CTR, ha una superficie complessiva di $S=166.11 \text{ km}^2$ ed un dislivello di 11 m; le quote della campagna variano dalla massima in testa al bacino e pari a 21 msm fino alla minima in chiusura pari a 10 msm.

Le origini del Collettore Acque Basse di sinistra sono geograficamente poste al termine dello Scolo Cerchia, scorre con sezione interamente in scavo e con caratteristiche di canale promiscuo; lungo il suo corso raccoglie i contributi degli affluenti di sinistra: Scolo destra Fossa Nuova, Scolo Ravanello, Scolo Pozzorotto, Scolo Fossetta delle Armi, Scolo Limite Vecchio, Scolo Limite Nuovo, Scolo Caramasco, Scolo destra Rangona e Scolo Edoardo Palata; confluisce nel collettore di destra a C.na Cavamento.

Il Collettore Acque Basse di destra ha origine dallo Scolo Romita, scorre con sezione in scavo che diventa arginata nel tratto terminale prima della foce; l'uso è promiscuo di scolo (autunno-inverno) ed irrigazione (primavera-estate). Lungo il suo corso raccoglie i contributi degli affluenti di destra: Romita Vecchia, Scolo Trombina, Scolo via Nuova, Scolo Bassone; e di quelli di sinistra: Scolo Guisa, Emissario Acque Basse di sinistra, Scolo Pupilla-Galeazza.

La foce è ubicata a monte di Bondeno in destra Panaro dove il Canale Emissario entra nel fiume attraverso la chiavica e l'impianto idrovoro. Le arginature sono a quota inferiore rispetto a quelle di Panaro e pertanto lo scolo delle acque a gravità è controllato dall'impianto idrovoro che consente sempre lo scarico della portata massima delle pompe e che, in caso di piena del Panaro, invasa le acque nel canale; in questo caso si attivano sistemi di emergenza disposti lungo l'asta principale del canale Emissario che riducono l'afflusso meteorico per scarico in altri canali.

Il Canale Emissario scorre incassato nella pianura a profondità variabili in funzione della larghezza e forma di sezione nonché dell'officiosità idraulica; nel Tronco I, esteso da Bevilacqua a Ponte Reno la profondità dell'alveo rispetto al piano campagna varia da 4.2 m fino a 5.2 m; nel Tronco II, esteso da Ponte Reno a Bondeno la sezione è arginata con argine rilevato rispetto alla campagna da 0.5 m fino a 3.1 m; alveo

incassato rispetto alla sommità arginale da 4.2 m fino a 5.0 m. La quota di fondo alveo alla foce è di 7.8 msm dove quella di fondo alveo del Panaro è di 5.6 msm.

La sezione di interferenza dista circa 14.500 m dalla foce in Panaro.

Area del bacino	156,06	km ²
Lunghezza dell'asta principale	23,1	km
Elevazione massima del bacino	21.0	msm
Elevazione della sezione di chiusura	8,91	msm
Distanza dalla foce in Panaro	14,459	km

TABELLA 5-1: CANALE ACQUE BASSE, CARATTERISTICHE FISICHE ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO CISPADANA

Nel tratto studiato il canale presenta sezione in scavo di forma regolare e costante; il fondo alveo si trova a profondità di circa -6.0m rispetto al piano campagna circostante e sono presenti banche intermedie interne sia in destra sia in sinistra idraulica.

Il canale, proveniente da SW piega proprio in corrispondenza del futuro attraversamento verso nord, direzione che percorre per circa 3km per poi piegare con un'ampia curva verso NEE e mantenere per circa 10km questa direzione fino a piegare ancora verso nord e confluire dopo ulteriori 5km nel Panaro.

Attualmente il passaggio dei mezzi consorziali avviene lungo le sponde mediante capezzagne realizzate senza alcun tipo di pavimentazione; verso valle, dove il canale diventa arginato, il passaggio dei mazzi avviene sulle arginature, in sommità presentano larghezze minime dell'ordine dei 3.0m, con discesa a campagna e scavalco mediante i ponti esistenti dei quali la maggior parte presenta impalcato a quota inferiore al coronamento arginale e quindi senza possibilità di continuità dei mezzi sulle sponde e arginature.

La morfologia della sezione caratteristica può essere schematizzata a forma doppio trapezia con una sezione trapezoidale più larga in sommità ed una sezione trapezoidale più stretta sul fondo. A piano campagna il canale presenta larghezza di circa 38m, le sponde degradano con pendenza 3:2 per 3.15m fino alle banche intermedie che hanno larghezza 2.5m; la sponda inferiore prosegue con pendenza circa 3:2 per una altezza di 2.85m fino a raggiungere il fondo alveo che ha larghezza di circa 15m.

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 con argini antiche o recenti ma prevalentemente in scavo rispetto alla campagna. La campagna è destinata a seminativi con frequenti frutteti e vigneti; essa è

caratterizzata da piccoli appoderamenti appartenenti all'antico sistema delle Partecipanze Agrarie diffuso nel territorio della basa pianura emiliana dove i terreni venivano goduti in modo comune dagli utenti. L'urbanizzazione è scarsa in sinistra al canale e riconducibile a cascine agrarie isolate, mentre è diffusa e sparsa in destra dove si trovano le Partecipanze di Cento ed in particolare di Dodici Morelli, Alberone e Reno Centese. Il Canale Emissario si presenta in scavo fino a Ponte Reno drenando naturalmente la campagna circostante e poi prosegue arginato fino al Panaro.

L'Emissario Acque Basse svolge il ruolo di corridoio ecologico ed è popolato da fasce di vegetazione elofitica che si sviluppano a ridosso dell'alveo inciso caratterizzate da colonizzazione di formazioni chiuse assai povere dal punto di vista floristico.

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	A02A216
NOME	CANALE ACQUE BASSE

DATA RILIEVO	26/01/2012	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio della Bonifica di Burana	
LOCALITA'	Punta della Valleta	
COMUNE	Finale Emilia	
PROVINCIA	Modena	
PROGRESSIVA		
FOTOGRAFIE	A02A216_1.jpg	A02A216_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	4963878.194
	GAUSS BOAGA Y	1681491.962
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (m2)	
	LUNGHEZZA (m)	
	SORGENTE	scoli campagna
	FOCE	Fiume Panaro

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	<i>misto con tratti rettilinei e curve</i>
	TIPO SEZIONE	<i>in scavo</i>
	TIPO ALVEO	<i>canale in terra a sezione composta con alveo largo di magra, sponde distese e banca intermedia</i>
	EROSIONI	<i>fondo alveo 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 di origine artificiale, storicamente rinaturalizzato con vegetazione erbacea diffusa e regolarmente sfalciata - canneto diffuso in banca e sponda destra e sinistra (phragmites) - assenza di vegetazione arborea ed arbustiva - fauna ittica ed anfibia, avifauna (osservati 20 aironi bianchi) e mammiferi di piccola taglia (nutrie e volpi)</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta coltivata a foraggiere, mais e frutteti di pere - alberi ed arbusti isolati</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI AL CONTRONO	<i>corrente lenta: livelli noti di valle</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler	<i>21-24</i>
NOTE	<i>ponti di via Riga, via Gnola e scarico Fossa Navarraponti di via Riga, via Gnola e 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 e compie una leggera curva verso nord proprio in corrispondenza del futuro ponte; il tratto oggetto di modellazione matematica, di lunghezza 16km, è caratterizzato da alveo monocorsuale con alternanza di tratti rettilinei a tratti più sinuosi senza tuttavia mai assumere andamenti meandriiformi e con sezione inizialmente in scavo e poi arginata.

L'indagine idraulica è stata sviluppata in forma univoca da Galeazza Pepoli fino all'impianto idrovoro di Bondeno.

Avendo constatato che le opere idrauliche in progetto non determinano riduzione della sezione disponibile al deflusso 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 44 sezioni trasversali, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo e la campagna circostante; il tratto rilevato e restituito è di circa 16116m.

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 trovandocisi 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 e delle sponde del Canale Acque Basse; la prima immagine riporta l'intero tratto studiato mentre la seconda riporta un dettaglio della parte di monte entro cui ricade l'attraversamento dell'Autostrada Cispadana.

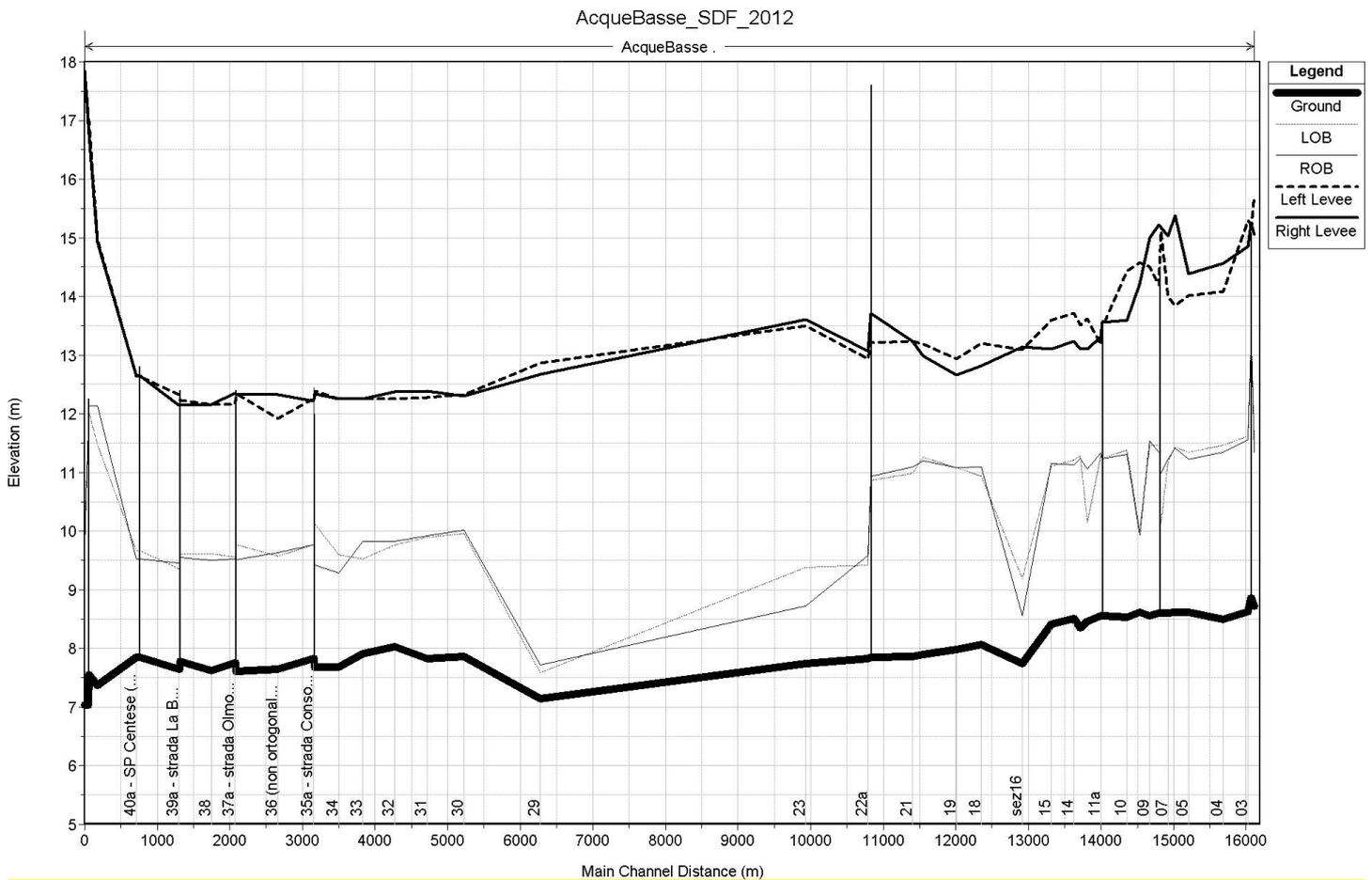


FIGURA 5-1: ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO

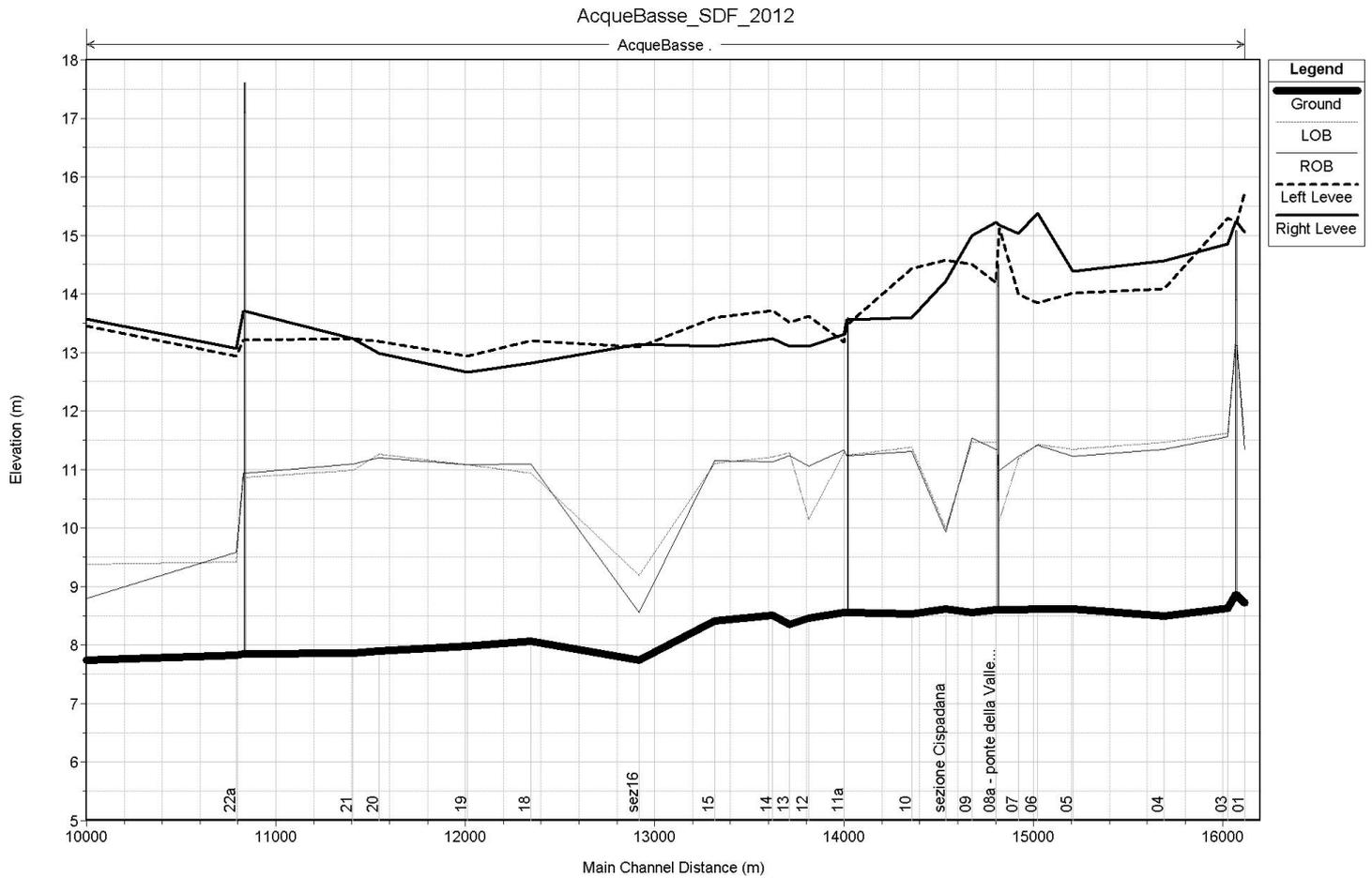


FIGURA 5-2: ANDAMENTO LONGITUDINALE DI DETTAGLIO DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI ATTRAVERSAMENTO

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La determinazione delle portate di riferimento è stata sviluppata con riferimento alle informazioni ricevute già in fase di progettazione preliminare dal Consorzio e relative al tempo di ritorno del Piano di classifica ovvero TR=10 anni ad esso risultano adeguate le opere idrauliche consorziali sia come sezione incisa del canale sia come impianto idrovoro di scarico in Panaro. Il GIS del consorzio riporta anche la massima portata smaltibile a franco nullo ovvero la massima portata sostenibile dalla sezione minima del canale ipotizzandone il totale riempimento.

A completamento della informazione idrologica 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. Il modello sintetico di trasformazione afflussi-deflussi è stato calibrato sulla base dell'informazione idrologica consorziale (TR=10 anni). Per la definizione del coefficiente di deflusso si è sviluppata una specifica analisi sull'uso del suolo che è stato ricavato per il bacino imbrifero, suddiviso nei sottobacini destro e sinistro, la cui chiusura fisiografica avviene a monte dell'attraversamento Cispadana in località Valletta. L'analisi è stata condotta con riferimento alla Carta dell'uso del suolo della Regione Emilia Romagna ed evidenzia le seguenti coperture.

Uso del suolo	Cod.	Superficie (ha)
Corsi d'acqua	Al	62.5
Frutteti e vigneti	C	1251.6
Colture da legno	Cp	21.6
Prati stabili	Pp	7.3
Seminativi	S	13546.9
Orti e viavi	O	4.4
Urbanizzato	I	444.7
Verde urbano	Iv	30.2
Aree industriali	Zi	236.9
TOTALE		15606.2

TABELLA 6-1: CANALE EMISSARIO ACQUE BASSE, USO DEL SUOLO DEL BACINO ALLA SEZIONE CISPADANA

I parametri utilizzati per la trasformazione afflussi-deflussi sono quelli calcolati dal Consorzio di bonifica: area del bacino: 156.062 km²; lunghezza asta principale: 23.1 km; tempo di corrivazione: 34.6 h. Si ricavano le seguenti informazioni idrologiche.

tempo di ritorno (anni)	5	10	25	50	100
intensità di pioggia critica (mm/h)	2.6	3.0	3.5	3.9	4.3

coefficiente di deflusso	0.27	0.32	0.37	0.40	0.43
coefficiente udometrico (l/s ha)	2.0	2.7	3.6	4.4	5.2
portata (m ³ /s)	31	41	57	69	81

TABELLA 6-2: CANALE EMISSARIO ACQUE BASSE, STIMA DEI PARAMETRI IDROLOGICI

Il Canale Acque Basse è un canale ad uso promiscuo utilizzato per lo scolo delle acque di piena dei territori bassi nella stagione autunno-invernale ed utilizzato, in alcuni tratti e/o affluenti o per intero, per l'irrigazione nella stagione primaverile-estiva. Il canale scarica in Panaro mediante una chiavica emissaria in condizioni di magra del fiume; la chiavica viene chiusa quando cresce il livello idrometrico ed il canale continua a scaricare mediante un impianto idrovoro che garantisce una portata di $Q_{max}=42.0\text{ m}^3/\text{s}$. In caso di formazione di portate maggiori nel bacino imbrifero, la portata scaricata rimane fissa a quella dell'impianto, parte delle acque viene invasata e parte viene limitata da altri impianti di emergenza dislocati lungo l'asta principale che consentono di decapitare il colmo di piena.

La massima portata sostenibile dal canale è stata fissata in $Q_{max}=60\text{ m}^3/\text{s}$, essa corrisponde, sulla scala di durata del Canale Acque Basse, ad un tempo di ritorno compreso tra 25 e 50 anni. Tale portata è stata determinata sulla sezione media del canale nel tratto studiato eliminando tuttavia alcune singolarità morfologiche, prevalentemente abbassamenti localizzati delle quote arginali, che non ne consentirebbero il contenimento in alveo. La portata centennale è stata determinata in $Q_{100}=81\text{ m}^3/\text{s}$.

I valori di portata, come detto in precedenza, sono stati condivisi ed accettati dal Consorzio di Burana.

Le verifiche idrauliche sono state condotte ipotizzando, come condizione al contorno di valle, il deflusso libero, attraverso le 3 porte della chiusa di valle e quindi con condizione di Panaro in magra; in condizioni di Piena del Panaro, l'evacuazione avviene per sollevamento con portata scaricata massima pari a $42\text{ m}^3/\text{s}$.

7. VERIFICHE IDRAULICHE

7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE

L'attraversamento in progetto sul Canale Emissario Acque Alte avverrà con ponte a luce unica con impalcati separati per la via nord e sud, entrambi appoggiati su spalle esterne ai cigli spondali, arretrate di 5m come richiesto dal Consorzio per consentire il passaggio dei mezzi operativi; il ponte ha luce 50m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta quasi ortogonale al canale).

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione della livelletta stradale che richiede il passaggio sopra la SP 41 "Riga", è stato impostato ad una quota di 19,00 msm garantendo un franco di circa 4.4m in sponda sinistra e di 4,86m in sponda destra entrambi superiori ai 3.5m minimi richiesti dal Consorzio per il passaggio dei mezzi. I franchi d'aria sono stati fissati in funzione delle esigenze di manutenzione del Consorzio e risultano idraulicamente più che verificati sia con i limiti consorziali sia con quelli previsti dalle Direttive dell'Autorità di bacino del Fiume Po sia con le NTC/2008.

Come evidenziato dai risultati seguenti delle verifiche idrauliche emerge che la portata centennale risulta contenuta nella sezione incisa del canale e pertanto non si è reso necessario provvedere al rialzo delle sponde. L'alveo è stato modestamente risagomato al fine di regolarizzare la pendenza delle sponde che localmente, nel tratto di intervento, risultava inferiore a quanto prevede la sezione di progetto consorziale.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione delle sponde e fondo del canale viene garantita con le piste di servizio in destra e sinistra idraulica che sottopassano il ponte e consentono pertanto la percorrenza nord sud dei mezzi.

E' stata prevista la realizzazione di opere accessorie di difesa spondale e di fondo, opportunamente dimensionate al fine di proteggere le sponde e l'alveo da possibili erosioni localizzate; tali difese sono state prolungate a monte e valle dell'impalcato al fine di stabilizzare la sezione idraulica di progetto. La tipologia e dimensione delle difese recepisce quanto prescritto dal Consorzio di bonifica in sede di CdS.

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 44 sezioni per una lunghezza complessiva di 16160m oltre a 8 sezioni specifiche dei ponti esistenti;
- 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 Basse avviene a gravità attraverso 3 porte regolabili nel Fiume Panaro quando questo presenta un livello idrico inferiore a 7.6 msm, pari al fondo del canale; per livelli idrometrici superiori del recettore lo scarico avviene meccanicamente per sollevamento fino ad una portata massima di 42 m³/s;
- portata di riferimento: Q_{max}=60 m³/s e Q₁₀₀=81 m³/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 entrambe le portate di progetto simulate transitano all'interno del canale senza

provocare fuoriuscite d'acqua, il livello raggiunto è 13.00msm per la portata massima e di 13.64msm per la portata centennale. In entrambi i casi le acque di piena risultano contenute, localmente, all'interno della sezione incisa; la portata massima infatti è stata determinata per l'intero tratto studiato al fine di definire un valore corretto e compatibile con la morfologia del canale. Dall'analisi dei profili di rigurgito della corrente lungo l'intero tratto simulato sono evidenti criticità idrauliche per insufficienza delle sezioni di deflusso nel tratto mediano, per circa 2500m dalla sezione 11 alla sezione 21, in riferimento alla portata centennale e nel tratto terminale per circa 3500m, dalla sezione 30 alla sezione 39, già per la portata massima; è in questo tratto che si è proceduto a simulare argini regolarizzati eliminando le bassure esistenti.

Il franco tra il livello idrometrico di massima piena e le sponde è negativo e si osserva dall'immagine seguente che il livello idrometrico rispetto alla quota spondale è inferiore, di circa 1.2m per la portata max e di 0.6m per la portata centennale.

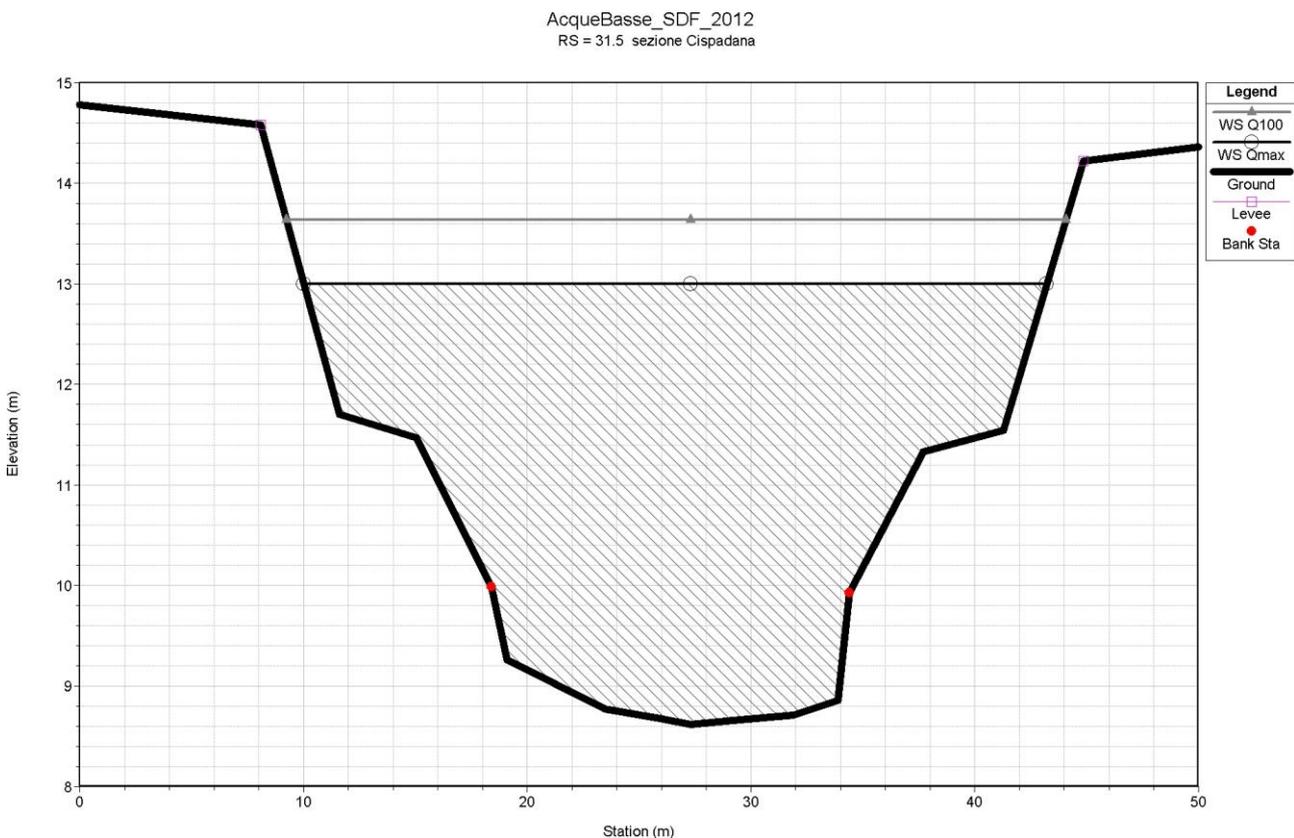


FIGURA 7-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{100} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE DI PROGETTO NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un ponte a luce unica con impalcato e spalle esterni alla sezione del canale e tali da consentire il deflusso delle portate di piena in forma indisturbata e senza rigurgiti. Nell'ambito del progetto è inoltre previsto il risezionamento del canale, con modesti allargamenti della sezione al fine di costruire sponde con scarpa 3/2. Il progetto prevede l'intradosso del ponte molto alto rispetto alle sponde e si determina, come si evince dall'immagine seguente, che i livelli idrometrici non risentono della presenza del ponte per entrambe le portate analizzate.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta $F_{max}=5,94m$ e $F_{100}=5,36m$.

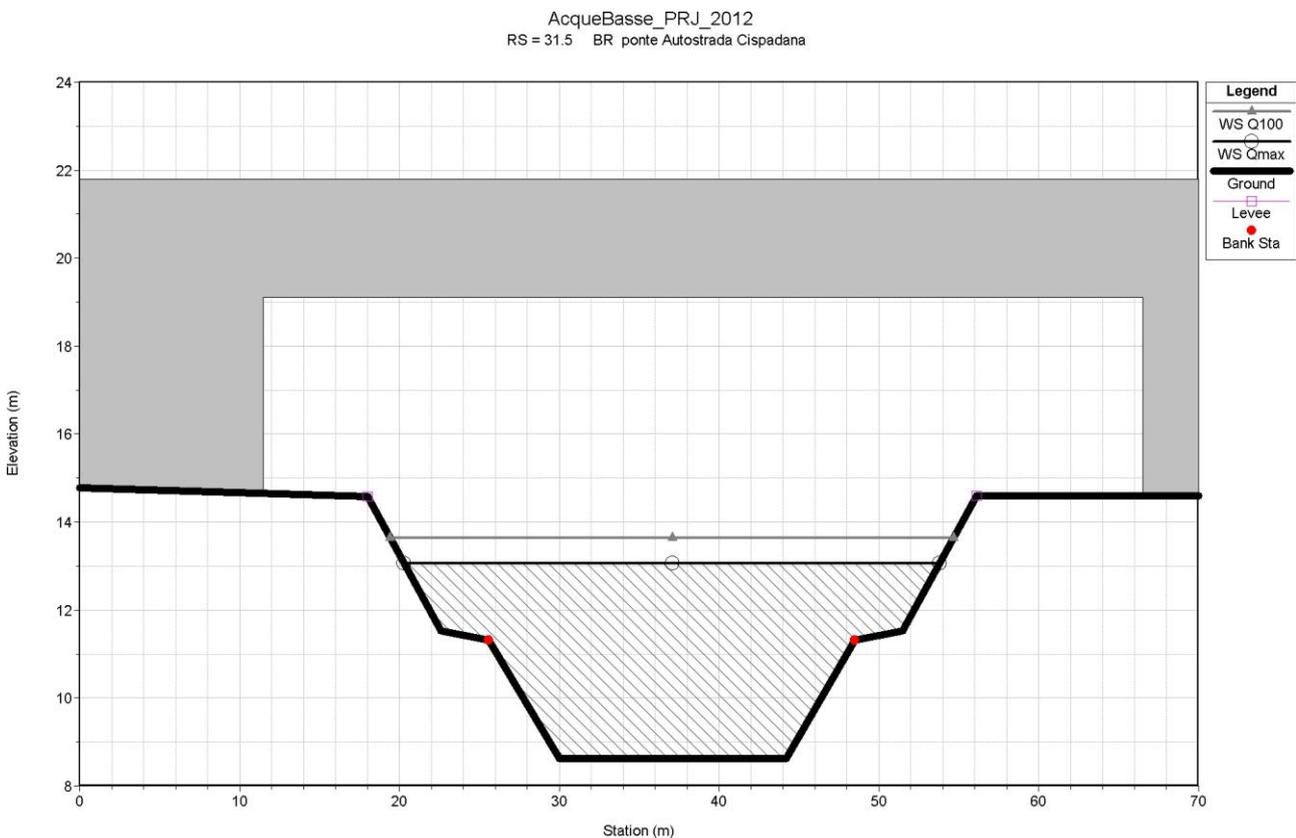


FIGURA 7-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{100} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI PROGETTO

Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portate le portate di progetto $Q_{max}=60 m^3/s$ e per la $Q_{100}=81 m^3/s$, rispettivamente, alla situazione attuale e 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	Pendenza	Portata Qmax	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
1	41	0	8.72	-0.0031	60	13.19	13.19	0.62	0.61	13.21	13.22	0.12	0.12
2	40	42	8.85	0.0000	60	13.18	13.18	0.72	0.71	13.21	13.21	0.14	0.14
ponete Galeazza Pepoli	39.5 BR U	43	8.85	0.0000	60	13.17	13.17	0.85	0.84	13.20	13.21	0.13	0.13
ponete Galeazza Pepoli	39.5 BR D	51	8.85	0.0000	60	13.16	13.17	0.85	0.85	13.20	13.21	0.13	0.13
interpolata	39.1	52	8.85	0.0058	60	13.17	13.18	0.72	0.72	13.20	13.20	0.14	0.14
3	39	90	8.63	0.0004	60	13.17	13.17	0.61	0.61	13.19	13.20	0.12	0.12
4	38	428	8.50	-0.0002	60	13.14	13.14	0.60	0.60	13.16	13.16	0.12	0.12
5	37	910	8.62	0.0001	60	13.09	13.09	0.61	0.61	13.11	13.11	0.12	0.12
6	36	1096	8.61	0.0001	60	13.06	13.07	0.64	0.64	13.09	13.09	0.13	0.13
7	35	1194	8.60	0.0000	60	13.05	13.05	0.67	0.67	13.07	13.08	0.14	0.14
8	34	1295	8.60	0.0000	60	13.03	13.04	0.68	0.68	13.06	13.06	0.14	0.14
ponete Valletta	33.5 BR U	1300	8.60	0.0000	60	13.03	13.03	0.74	0.74	13.06	13.06	0.11	0.11
ponete Valletta	33.5 BR D	1306	8.60	0.0000	60	13.03	13.03	0.72	0.72	13.06	13.06	0.11	0.11
8a	33	1316	8.60	0.0004	60	13.03	13.03	0.66	0.66	13.05	13.06	0.13	0.13
9	32	1443	8.55	-0.0006	60	13.01	13.02	0.63	0.63	13.04	13.04	0.13	0.12
Cispadana (monte)	31.9	1553	8.62	0.0000	60		13.01		0.59		13.03		0.11
ponete Cispadana	31.5 BR U	1555	8.62	0.0000	60		13.01		0.59		13.03		0.11
ponete Cispadana	31.5 BR D	1580	8.62	0.0000	60	13.00	13.01	0.63	0.59	13.02	13.03	0.13	0.11
Cispadana (valle)	31.1	1583	8.62	0.0005	60		13.01		0.59		13.03		0.11
10	31	1758	8.53	-0.0001	60	12.98	12.99	0.62	0.62	13.00	13.02	0.12	0.12
11	30	2092	8.55	0.0000	60	12.94	12.95	0.68	0.67	12.96	12.98	0.13	0.13
ponete Gnola	29.5 BR U	2093	8.55	0.0000	60	12.92	12.94	0.84	0.84	12.96	12.98	0.13	0.13
ponete Gnola	29.5 BR D	2098	8.55	0.0000	60	12.92	12.93	0.84	0.84	12.96	12.97	0.13	0.13
interpolata	29.1	2102	8.55	-0.0007	60	12.93	12.94	0.68	0.68	12.95	12.97	0.13	0.13
11a	29	2117	8.56	0.0005	60	12.93	12.94	0.63	0.62	12.95	12.96	0.13	0.13
12	28	2302	8.46	0.0011	60	12.91	12.92	0.60	0.60	12.93	12.94	0.12	0.12
13	27	2406	8.35	-0.0018	60	12.90	12.91	0.62	0.62	12.92	12.93	0.13	0.12
14	26	2493	8.51	0.0003	60	12.88	12.90	0.64	0.64	12.91	12.92	0.13	0.13
15	25	2799	8.41	0.0017	60	12.85	12.86	0.64	0.64	12.87	12.89	0.13	0.13
16	24.5	3199	7.74	-0.0006	60	12.81	12.82	0.59	0.59	12.83	12.85	0.12	0.12
18	24	3770	8.06	0.0002	60	12.75	12.77	0.61	0.61	12.77	12.79	0.12	0.12
19	23	4107	7.98	0.0002	60	12.72	12.74	0.58	0.57	12.74	12.76	0.16	0.16
20	22	4570	7.90	0.0003	60	12.67	12.69	0.62	0.62	12.70	12.72	0.12	0.12
21	21	4711	7.86	0.0000	60	12.66	12.68	0.59	0.58	12.68	12.70	0.11	0.11
22	20	5276	7.85	0.0000	60	12.61	12.63	0.57	0.57	12.63	12.65	0.11	0.11

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Qmax (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
ponete Reno Finalese	19.5 BR U	5277	7.85	0.0000	60	12.61	12.63	0.57	0.57	12.63	12.65	0.11	0.11
ponete Reno Finalese	19.5 BR D	5285	7.85	0.0000	60	12.61	12.63	0.57	0.57	12.63	12.65	0.11	0.11
interpolata	19.1	5286	7.85	0.0008	60	12.61	12.63	0.57	0.57	12.63	12.65	0.11	0.11
22a	19	5326	7.82	0.0001	60	12.61	12.63	0.57	0.56	12.63	12.65	0.12	0.11
23	18.5	6186	7.74	0.0002	60	12.55	12.57	0.53	0.52	12.56	12.59	0.11	0.11
29	18.2	9838	7.14	-0.0010	60	12.34	12.36	0.44	0.44	12.35	12.38	0.09	0.09
30	18	10892	8.20	0.0002	60	12.31	12.34	0.27	0.21	12.31	12.34	0.06	0.04
31	17	11395	8.10	0.0011	60	12.27	12.33	0.52	0.28	12.29	12.33	0.11	0.06
inizio progetto (monte)	16.9	11635	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.33		0.09
Bondeno-Cento (monte)	16.8	11655	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.32		0.09
ponete Bondeno-Cento	16.5 BR U	11656	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.32		0.09
ponete Bondeno-Cento	16.5 BR D	11666.5	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.32		0.09
Bondeno-Cento (valle)	16.2	11668	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.32		0.09
fine progetto (valle)	16.1	11688	7.83	-0.0011	60		12.31		0.48		12.32		0.09
32	16	11848	8.00	0.0002	60	12.26	12.30	0.27	0.52	12.27	12.31	0.05	0.11
33	15	12284	7.91	0.0007	60	12.26	12.26	0.16	0.51	12.26	12.28	0.03	0.10
34	14	12617	7.68	0.0000	60	12.24	12.26	0.50	0.22	12.25	12.27	0.10	0.05
35	13	12936	7.68	-0.0005	60	12.22	12.24	0.51	0.50	12.23	12.25	0.10	0.10
ponete Rondona	12.5 BR U	12950	7.69	-0.0190	60	12.20	12.23	0.69	0.69	12.23	12.25	0.11	0.11
ponete Rondona	12.5 BR D	12957	7.82	0.0000	60	12.20	12.22	0.71	0.71	12.22	12.25	0.11	0.11
35a	12	12965	7.82	0.0003	60	12.20	12.24	0.52	0.29	12.22	12.24	0.11	0.06
36	11	13453	7.65	0.0001	60	12.20	12.23	0.22	0.22	12.20	12.23	0.04	0.04
37	10	14023	7.61	0.0000	60	12.16	12.20	0.53	0.52	12.18	12.21	0.11	0.11
ponete S.Giovanni	9.5 BR U	14032	7.61	-0.0234	60	12.15	12.18	0.72	0.72	12.18	12.21	0.11	0.11
ponete S.Giovanni	9.5 BR D	14038	7.75	0.0000	60	12.15	12.18	0.70	0.70	12.17	12.21	0.11	0.11
37a	9	14047	7.75	0.0004	60	12.16	12.19	0.28	0.28	12.17	12.20	0.06	0.06
38	8	14370	7.62	-0.0004	60	12.16	12.17	0.10	0.49	12.16	12.18	0.02	0.10
39	7	14798	7.78	0.0000	60	12.14	12.14	0.51	0.51	12.16	12.16	0.10	0.10
ponete Barchessa	6.5 BR U	14800	7.78	0.0260	60	12.13	12.13	0.69	0.69	12.16	12.16	0.11	0.11
ponete Barchessa	6.5 BR D	14805	7.65	0.0000	60	12.13	12.13	0.66	0.66	12.16	12.16	0.10	0.10
39a	6	14824	7.65	-0.0004	60	12.14	12.14	0.49	0.49	12.15	12.15	0.10	0.10
40	5	15355	7.85	0.0000	60	12.10	12.10	0.52	0.52	12.11	12.11	0.10	0.10
ponete SP Centese	4.5 BR U	15360	7.85	0.0000	60	12.09	12.09	0.66	0.66	12.11	12.11	0.11	0.11
ponete SP Centese	4.5 BR D	15370	7.85	0.0000	60	12.08	12.08	0.66	0.66	12.11	12.11	0.11	0.11
40a	4	15401	7.85	0.0009	60	12.09	12.09	0.52	0.52	12.10	12.10	0.10	0.10
41	3	15936	7.37	-0.0015	60	12.09	12.09	0.20	0.20	12.09	12.09	0.03	0.03

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 ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
42	2	16057	7.55	0.0088	60	12.08	12.08	0.45	0.45	12.09	12.09	0.08	0.08
chiavica finale	1.5												
42a	1		7.03		60	12.04	12.04	0.61	0.61	12.06	12.06	0.13	0.13

TABELLA 7-1: CANALE ACQUE BASSE, 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 Q100	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
1	41	0	8.72	-0.0031	81	13.83	13.83	0.67	0.67	13.86	13.86	0.13	0.13
2	40	42	8.85	0.0000	81	13.82	13.82	0.77	0.77	13.86	13.85	0.14	0.14
ponte Galeazza Pepoli	39.5 BR U	43	8.85	0.0000	81	13.81	13.81	0.91	0.91	13.85	13.85	0.13	0.13
ponte Galeazza Pepoli	39.5 BR D	51	8.85	0.0000	81	13.81	13.81	0.91	0.91	13.85	13.85	0.13	0.13
interpolata	39.1	52	8.85	0.0058	81	13.82	13.81	0.77	0.77	13.85	13.85	0.14	0.14
3	39	90	8.63	0.0004	81	13.81	13.81	0.67	0.67	13.84	13.84	0.13	0.13
4	38	428	8.50	-0.0002	81	13.78	13.78	0.66	0.66	13.81	13.8	0.12	0.12
5	37	910	8.62	0.0001	81	13.73	13.73	0.68	0.68	13.76	13.75	0.13	0.13
6	36	1096	8.61	0.0001	81	13.7	13.7	0.71	0.71	13.73	13.73	0.13	0.13
7	35	1194	8.60	0.0000	81	13.69	13.69	0.74	0.74	13.72	13.72	0.14	0.14
8	34	1295	8.60	0.0000	81	13.67	13.67	0.74	0.74	13.71	13.71	0.14	0.14
ponte Valletta	33.5 BR U	1300	8.60	0.0000	81	13.67	13.67	0.81	0.81	13.71	13.7	0.12	0.12
ponte Valletta	33.5 BR D	1306	8.60	0.0000	81	13.67	13.67	0.79	0.79	13.7	13.7	0.11	0.11
8a	33	1316	8.60	0.0004	81	13.67	13.67	0.72	0.72	13.7	13.7	0.14	0.14
9	32	1443	8.55	-0.0006	81	13.66	13.66	0.69	0.69	13.69	13.68	0.13	0.13
Cispadana (monte)	31.9	1553	8.62	0.0000	81		13.65		0.66		13.67		0.12
ponte Cispadana	31.5 BR U	1555	8.62	0.0000	81		13.65		0.66		13.67		0.12
ponte Cispadana	31.5 BR D	1580	8.62	0.0000	81	13.64	13.65	0.7	0.66	13.67	13.67	0.13	0.12
Cispadana (valle)	31.1	1583	8.62	0.0005	81		13.65		0.66		13.67		0.12
10	31	1758	8.53	-0.0001	81	13.62	13.63	0.64	0.63	13.65	13.65	0.22	0.21
11	30	2092	8.55	0.0000	81	13.58	13.58	0.68	0.68	13.61	13.61	0.23	0.23
ponte Gnola	29.5 BR U	2093	8.55	0.0000	81	13.53	13.54	1.14	1.14	13.6	13.61	0.17	0.17
ponte Gnola	29.5 BR D	2098	8.55	0.0000	81	13.53	13.53	1.14	1.14	13.6	13.6	0.17	0.17
interpolata	29.1	2102	8.55	-0.0007	81	13.55	13.56	0.7	0.7	13.58	13.59	0.19	0.19
11a	29	2117	8.56	0.0005	81	13.55	13.56	0.58	0.58	13.58	13.59	0.2	0.2
12	28	2302	8.46	0.0011	81	13.54	13.55	0.52	0.52	13.56	13.57	0.16	0.15

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 ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
13	27	2406	8.35	-0.0018	81	13.54	13.54	0.38	0.38	13.55	13.56	0.16	0.16
14	26	2493	8.51	0.0003	81	13.52	13.53	0.52	0.52	13.54	13.55	0.17	0.17
15	25	2799	8.41	0.0017	81	13.5	13.5	0.43	0.43	13.51	13.52	0.15	0.15
16	24.5	3199	7.74	-0.0006	81	13.44	13.45	0.63	0.63	13.47	13.48	0.15	0.15
18	24	3770	8.06	0.0002	81	13.39	13.4	0.53	0.53	13.41	13.42	0.18	0.18
19	23	4107	7.98	0.0002	81	13.36	13.37	0.49	0.49	13.38	13.39	0.18	0.18
20	22	4570	7.90	0.0003	81	13.31	13.32	0.58	0.58	13.34	13.35	0.25	0.25
21	21	4711	7.86	0.0000	81	13.3	13.31	0.6	0.6	13.32	13.33	0.21	0.21
22	20	5276	7.85	0.0000	81	13.25	13.26	0.6	0.59	13.27	13.28	0.14	0.14
ponte Reno Finalese	19.5 BR U	5277	7.85	0.0000	81	13.25	13.26	0.6	0.6	13.27	13.28	0.14	0.14
ponte Reno Finalese	19.5 BR D	5285	7.85	0.0000	81	13.24	13.26	0.6	0.6	13.27	13.28	0.14	0.14
interpolata	19.1	5286	7.85	0.0008	81	13.24	13.25	0.6	0.59	13.27	13.28	0.14	0.14
22a	19	5326	7.82	0.0001	81	13.25	13.26	0.39	0.38	13.26	13.27	0.15	0.15
23	18.5	6186	7.74	0.0002	81	13.18	13.19	0.59	0.59	13.2	13.21	0.11	0.11
29	18.2	9838	7.14	-0.0010	81	12.93	12.94	0.48	0.48	12.95	12.96	0.13	0.13
30	18	10892	8.20	0.0002	81	12.91	12.92	0.23	0.23	12.91	12.92	0.04	0.04
31	17	11395	8.10	0.0011	81	12.9	12.91	0.21	0.21	12.9	12.92	0.04	0.04
inizio progetto (monte)	16.9	11635	7.83	0.0000	81		12.91		0.21		12.91		0.04
Bondeno-Cento (monte)	16.8	11655	7.83	0.0000	81		12.91		0.21		12.91		0.04
ponte Bondeno-Cento	16.5 BR U	11656	7.83	0.0000	81		12.9		0.54		12.91		0.08
ponte Bondeno-Cento	16.5 BR D	11666.5	7.83	0.0000	81		12.9		0.54		12.91		0.08
Bondeno-Cento (valle)	16.2	11668	7.83	0.0000	81		12.91		0.21		12.91		0.04
fine progetto (valle)	16.1	11688	7.83	-0.0011	81		12.89		0.54		12.91		0.1
32	16	11848	8.00	0.0002	81	12.9	12.9	0.14	0.14	12.9	12.9	0.03	0.03
33	15	12284	7.91	0.0007	81	12.89	12.89	0.18	0.18	12.89	12.89	0.03	0.03
34	14	12617	7.68	0.0000	81	12.89	12.89	0.24	0.24	12.89	12.89	0.05	0.05
35	13	12936	7.68	-0.0005	81	12.87	12.87	0.4	0.4	12.88	12.88	0.11	0.11
ponte Rondona	12.5 BR U	12950	7.69	-0.0190	81	12.85	12.85	0.64	0.64	12.88	12.88	0.1	0.1
ponte Rondona	12.5 BR D	12957	7.82	0.0000	81	12.85	12.85	0.66	0.66	12.87	12.87	0.1	0.1
35a	12	12965	7.82	0.0003	81	12.86	12.86	0.24	0.24	12.86	12.86	0.04	0.04
36	11	13453	7.65	0.0001	81	12.86	12.86	0.15	0.15	12.86	12.86	0.03	0.03
37	10	14023	7.61	0.0000	81	12.84	12.84	0.36	0.36	12.85	12.85	0.1	0.1
ponte S.Giovanni	9.5 BR U	14032	7.61	-0.0234	81	12.82	12.82	0.64	0.64	12.85	12.85	0.1	0.1
ponte S.Giovanni	9.5 BR D	14038	7.75	0.0000	81	12.82	12.82	0.63	0.63	12.84	12.84	0.1	0.1
37a	9	14047	7.75	0.0004	81	12.83	12.83	0.22	0.22	12.84	12.84	0.04	0.04

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 ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
38	8	14370	7.62	-0.0004	81	12.83	12.83	0.11	0.11	12.83	12.83	0.02	0.02
39	7	14798	7.78	0.0000	81	12.82	12.82	0.33	0.33	12.83	12.83	0.07	0.07
ponte Barchessa	6.5 BR U	14800	7.78	0.0260	81	12.8	12.8	0.67	0.67	12.83	12.83	0.1	0.1
ponte Barchessa	6.5 BR D	14805	7.65	0.0000	81	12.8	12.8	0.64	0.64	12.82	12.82	0.1	0.1
39a	6	14824	7.65	-0.0004	81	12.81	12.81	0.25	0.25	12.82	12.82	0.05	0.05
40	5	15355	7.85	0.0000	81	12.8	12.8	0.31	0.31	12.8	12.8	0.06	0.06
ponte SP Centese	4.5 BR U	15360	7.85	0.0000	81	12.76	12.76	0.89	0.89	12.8	12.8	0.13	0.13
ponte SP Centese	4.5 BR D	15370	7.85	0.0000	81	12.75	12.75	0.89	0.89	12.79	12.79	0.13	0.13
40a	4	15401	7.85	0.0009	81	12.77	12.77	0.31	0.31	12.78	12.78	0.06	0.06
41	3	15936	7.37	-0.0015	81	12.77	12.77	0.23	0.23	12.77	12.77	0.03	0.03
42	2	16057	7.55	0.0088	81	12.75	12.75	0.49	0.49	12.77	12.77	0.09	0.09
chiavica finale	1.5	16116											
42a	1		7.03		81	12.67	12.67	0.64	0.64	12.69	12.69	0.14	0.14

TABELLA 7-2: CANALE ACQUE BASSE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA Q100

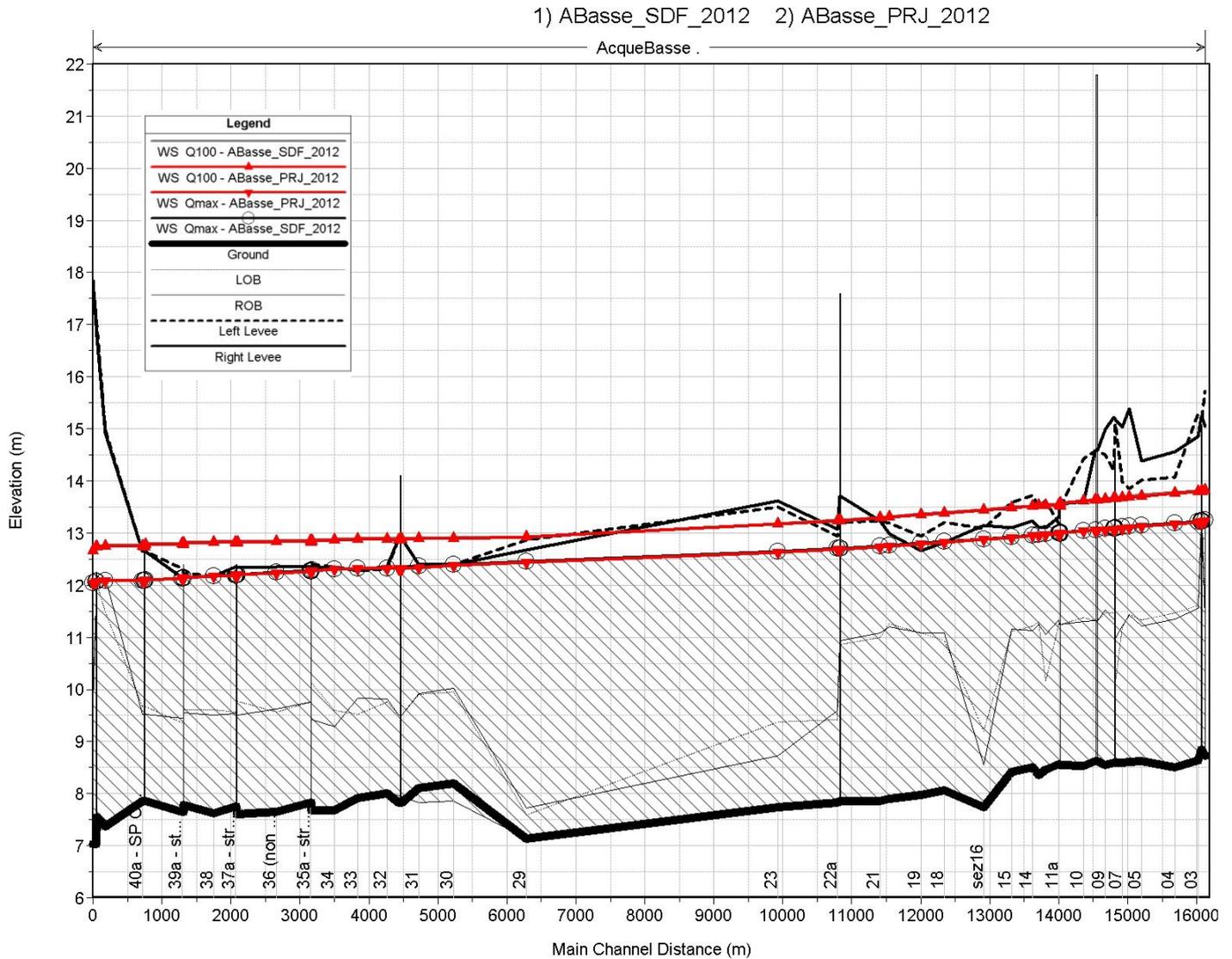


FIGURA 7-3: CANALE ACQUE BASSE, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER LE PORTATE QMAX E Q100 NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

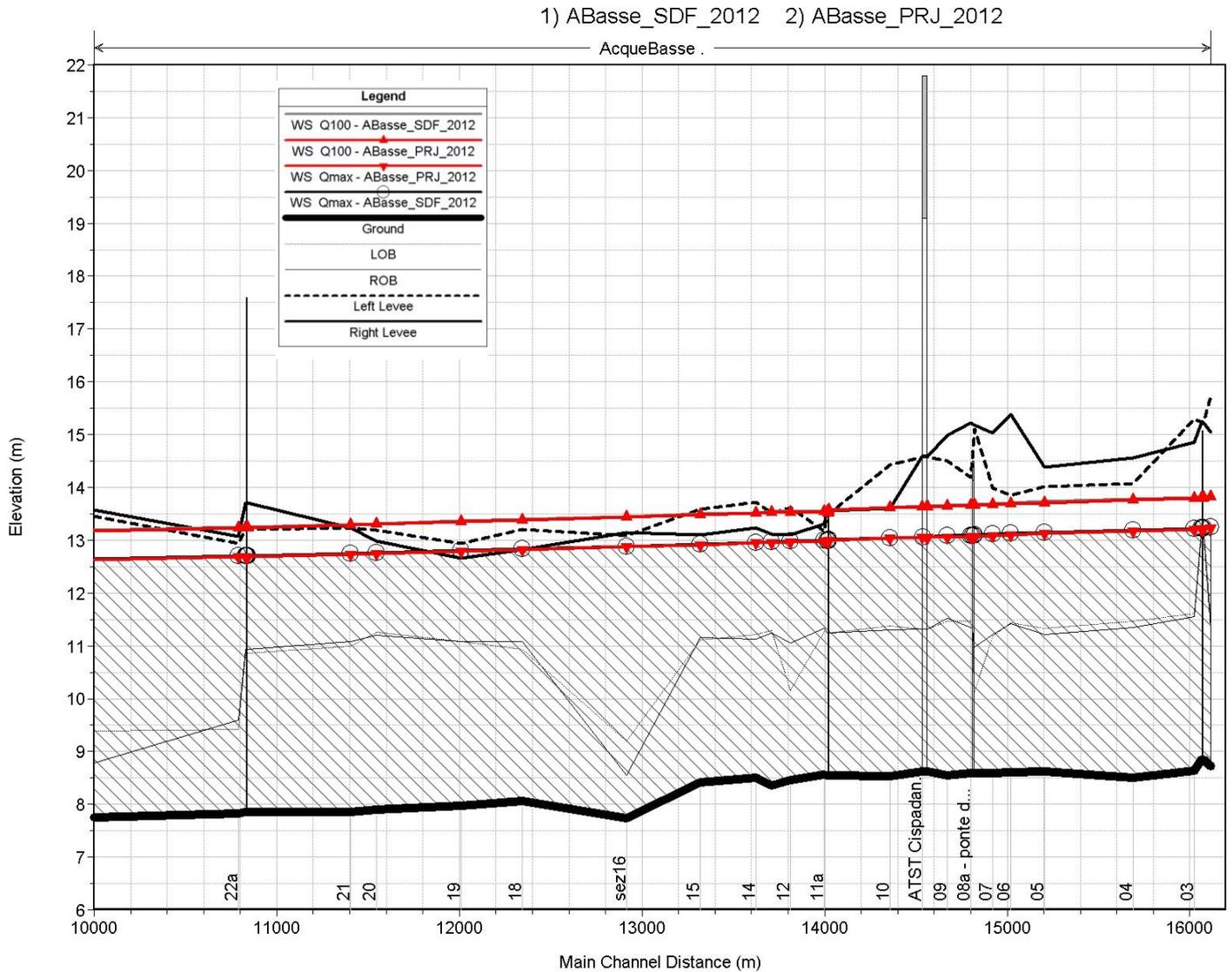


FIGURA 7-4: CANALE ACQUE BASSE, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER LE PORTATE QMAX E Q100 NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO - DETTAGLIO

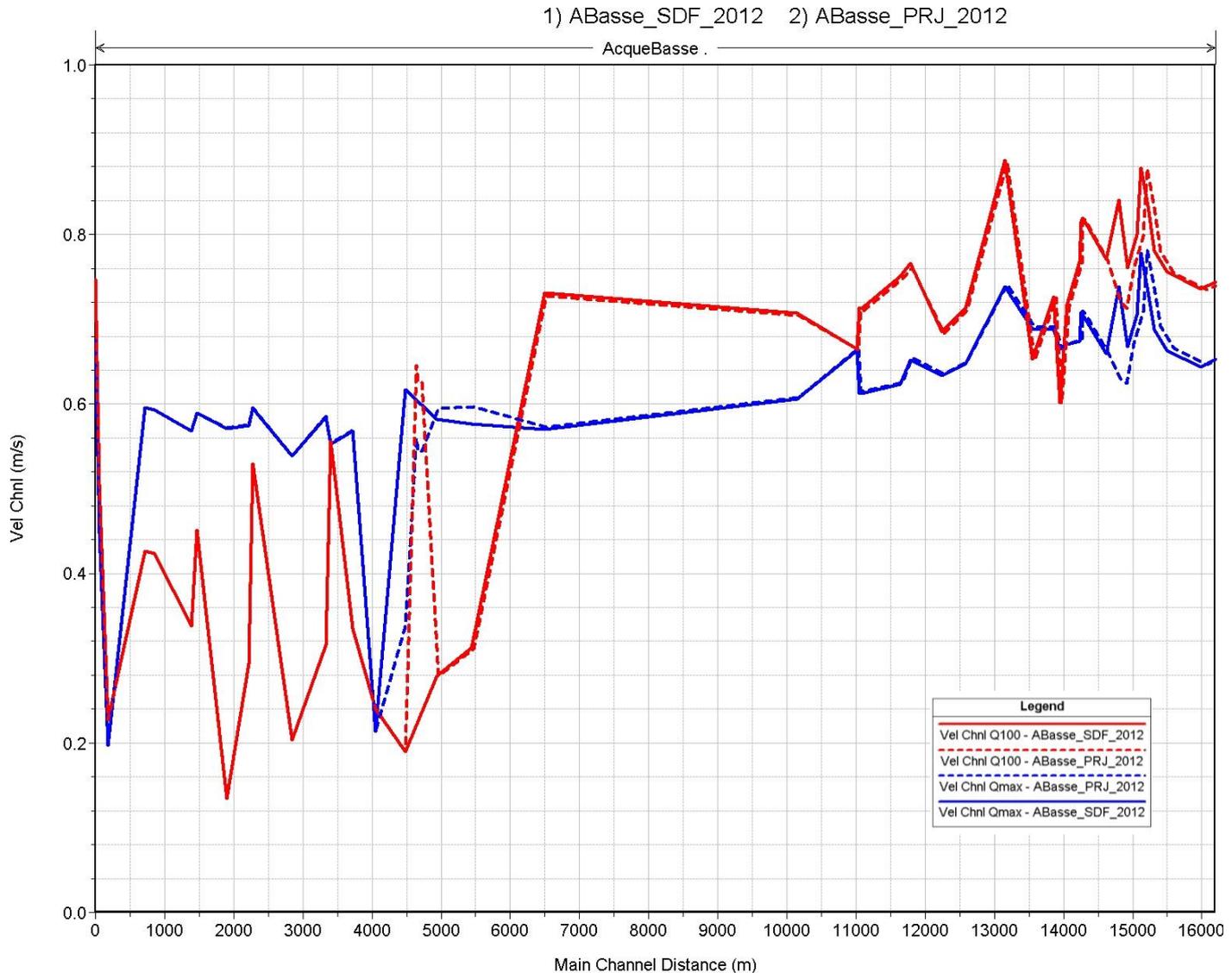


FIGURA 7-5: CANALE ACQUE BASSE, ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

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 la portata di progetto Qmax e Q100 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 risezionamento del canale ed il rivestimento spondale favoriscono un abbassamento di qualche centimetro dei livelli raggiunti dalla corrente di piena.

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 inciso.

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 la velocità si mantiene sempre inferiore a 0.9m/s.

Effetto E.4. 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 in piena.

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.

Il franco idraulico tra l'intradosso del ponte ed il livello idrometrico raggiunto dalla portata di progetto è di 5,94m; il franco idraulico relativo alla portata centennale è superiore a 5,36m.

7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali

La realizzazione del ponte non richiede la predisposizione di opere provvisionali in quanto la costruzione delle spalle avviene dall'esterno senza interessare il corso d'acqua la cui funzionalità verrà mantenuta inalterata.

Non essendo previsti interventi di riduzione della sezione di deflusso durante la costruzione non risulta necessario sviluppare verifica di compatibilità idraulica per la fase provvisoria.

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 delle sponde e del fondo 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 3 categorie:

- 1) difese longitudinali volte a contenere i processi erosivi sulle sponde e di fondo;
- 2) mantenimenti e collegamento della viabilità di servizio interferita;
- 3) realizzazione di ripristino delle aree di intervento.

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/m³. La mantellata verrà realizzata sia sul fondo sia sulle sponde del canale garantendo uno spessore minimo omogeneo di 1m. 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 estese a monte e valle per 20m fino a comprendere tutta l'impronta del rilevato delle rampe; la difesa è ovviamente prevista anche sotto l'ombra del ponte.

Il mantenimento della continuità delle piste avverrà direttamente sotto il ponte dove sia in destra sia in sinistra è previsto un passaggio di larghezza 5m ed altezza minima 4.4m; le piste saranno pavimentate con materiali inerti costipati.

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.