



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

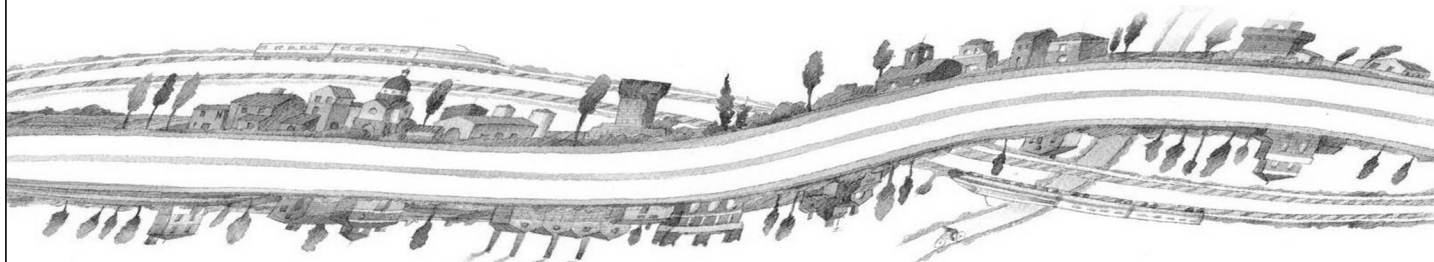
### VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

CANALE EMISSARIO ACQUE BASSE

RELAZIONE IDRAULICA



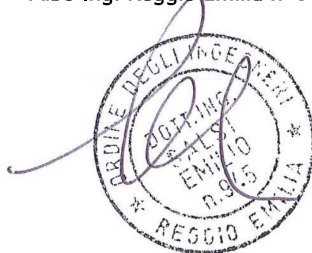
IL PROGETTISTA

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  
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.
5311	PD	0	D05	DWS08	0	WW	RI	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA: VARIE

## 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>6</b>
3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO .....	6
3.2. IL MODELLO MATEMATICO PER LA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA .....	8
<b>4. AMBITO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>12</b>
4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA .....	12
4.2. TRACCIATO STRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA .....	13
<b>5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>14</b>
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE .....	14
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA) .....	19
<b>6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>22</b>
<b>7. VERIFICHE IDRAULICHE.....</b>	<b>24</b>
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE.....	24
7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO.....	25
7.2.1. Condizioni di riferimento .....	25
7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento.....	25
7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica.....	35
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	37
<b>8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>38</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo della Viabilità di adduzione al sistema autostradale - D04-D08 (ex 1FE) Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana facente parte della progettazione delle opere complementari all'Autostrada Regionale Cispadana. Il lavoro 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 stradali di attraversamento del Canale Emissario Acque Basse, corso d'acqua di bonifica interferito direttamente dall'opera in progetto. Il canale viene attraversato dal Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana nel tratto terminale del suo corso a circa 4 km dalla foce in Panaro; si segnala inoltre che il Canale Acque Basse viene attraversato anche dall'Autostrada, a sud di Alberone, con ponte a luce unica.

La presente relazione tratta il solo attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento tuttavia la modellistica idraulica, come si vedrà dai grafici, è stata sviluppata in modo estensivo su tutto il tratto analizzato esteso da monte dell'autostrada Cispadana fino alla foce e tiene conto, nella configurazione di progetto, anche delle opere di attraversamento autostradali 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 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 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 relativa all'attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento 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 m<sup>3</sup>/s, rapportata ad una  $Q_{max}$  attualmente sostenibile pari a 60 m<sup>3</sup>/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.*

Con successiva nota n° 4668 del 27/03/2012 il Consorzio ha ribadito le precedenti prescrizioni anche per l'attraversamento del Raccodro Bondeno-Cento sul Canale Acque Basse:

*in considerazione del precedente parere relativo al Canale Collettore Acque Basse prot. 4079 del 21/03/2012, si prescrivono gli stessi accorgimenti di carattere tecnico al fine di contenere la portata con tempo di ritorno centennale e permettere il transito dei mezzi d'opera mediante scatolari esterni alle pile del ponte.*

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<sup>a</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 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 11,7km a monte e 4,4km a valle dell'attraversamento in progetto; l'estensione a monte è rivolta a comprendere anche l'attraversamento dell'Autostrada Cispadana.

*Fase 2<sup>a</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 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 50 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. Nel caso specifico dell'attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento sul Canale Acque Basse si sono mantenuti i valori caratteristici già determinati per l'autostrada in quanto, poco a valle della stessa, iniziano le arginature del canale e pertanto non si hanno variazioni sul bacino sottesi e sui contributi idrici drenati.

L'analisi idrologica è stata sviluppata adottando coefficienti udometrici 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^: 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 e delle arginature.



Per il progetto delle difese attive sono state privilegiate soluzioni di ingegneria naturalistica a basso impatto ambientale; 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 del Raccordo Bondeno-Cento sia quello posto a monte dell'Autostrada Cispadana.

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, posizione delle spalle del ponte e rialzo arginale necessario al contenimento delle portate di progetto

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 scatoari, traverse fluviali, soglie di fondo, briglie etc.) e/o longitudinali in alveo;
- caratterizzazione della resistenza al moto in alveo e golene mediante la definizione del coefficiente di scabrezza di Manning;
- definizione dei coefficienti di contrazione/espansione, per effetto di perturbazioni offerte al moto da parte di opere trasversali presenti in alveo;
- definizione del tipo di moto (corrente lenta o veloce) nel tronco fluviale;
- condizione al contorno di partenza del calcolo del profilo secondo tre possibili metodologie;
- introduzione di una altezza d'acqua nota di valle o di monte, a seconda che il moto avvenga in corrente lenta o veloce,
- calcolo eseguito a partire dall'altezza critica,



- calcolo eseguito a partire dalla pendenza di fondo alveo.

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

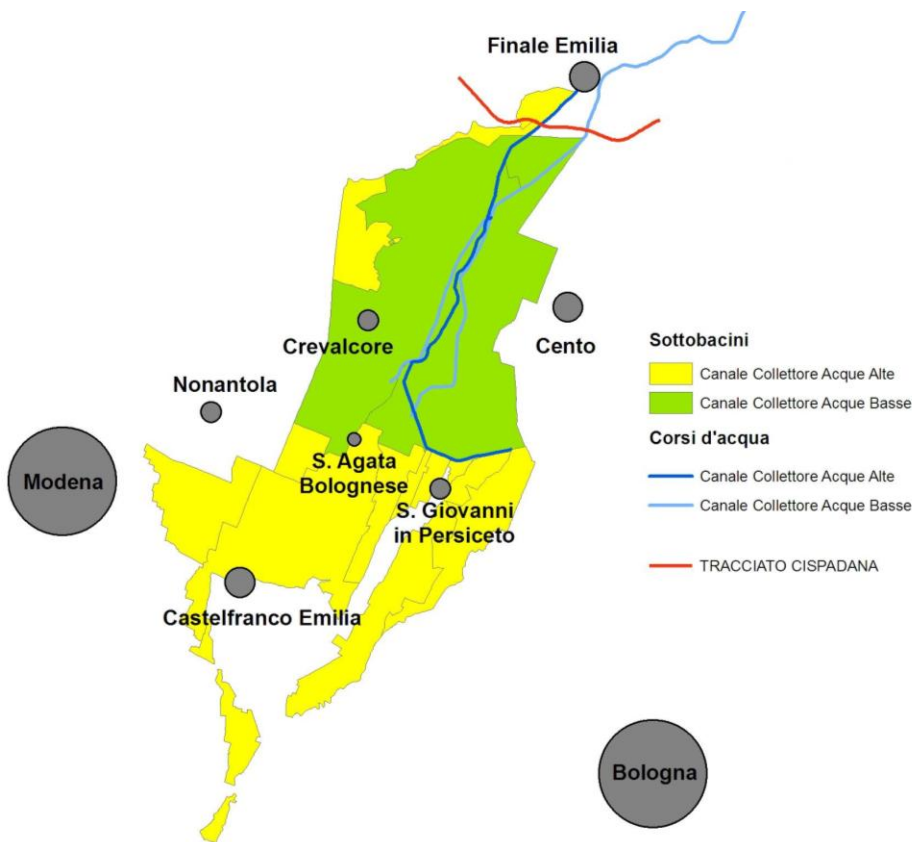
- Equazione di Yarnell;
- Metodo di conservazione della quantità di moto.

## 4. AMBITO DI RIFERIMENTO

### 4.1. IL COMPRESORIO 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 STRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA**

---

Il tracciato del Raccordo Bondeno-Cento interseca il Canale Acque Basse alla progressiva chilometrica 8+807 del tratto C in località Cantagallo; il tracciato si presenta in curva orientato lungo la direttrice S-N.

Il Raccordo si presenta in rilevato alto sulla campagna imposto dalla necessità di superare il Canale Acque Basse ed il derivatore S.Bianca posto poco a nord; entrambi i canali sono arginati e necessitano di sottopassi per la continuità dei mezzi d'opera, ciò ha pertanto richiesto la realizzazione di ponti con intradosso alto sulla campagna circostante sia per superare le arginature che devono essere rialzate sia per superare i sottopassi carrabili.

L'interferenza avviene in campagna aperta in una area caratterizzata da coltivazioni di mais e foraggiere priva di abitati ed in presenza di cascine agricole; l'attraversamento è ubicato a 1800m a nord-est di Casumaro in provincia di Ferrara.

Il Raccordo presenta piste di servizio a nord che collegano in senso est-ovest le strade poderali esistenti sfruttando il sottopasso predisposto all'esterno dell'argine nord del Canale Acque Basse. A sud il sottopasso è impostato direttamente sulla capezzagna di servizio all'argine sud del canale che percorre lo stesso a campagna.

## 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 Reno-Palata 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 Persiceto, 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 8 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 4.500 m dalla foce in Panaro.

Area del bacino	156,06	km <sup>2</sup>
Lunghezza dell'asta principale	32,70	km
Elevazione massima del bacino	21.0	msm
Elevazione della sezione di chiusura	8,20	msm
Distanza dalla foce in Panaro	5000	km

**TABELLA 5-1: CANALE ACQUE BASSE, CARATTERISTICHE FISICHE SOTTESE ALLA SEZIONE D'INTERFERENZA**

Nel tratto studiato il canale presenta sezione arginata di forma regolare e costante; le arginature si alzano di circa 3.0m sulla campagna circostante mentre il fondo alveo è depresso, rispetto al coronamento arginale, di circa 4.1m. All'interno del canale sono presenti banche intermedie poste a -2.3m rispetto alle arginature e corrispondenti al piano della campagna, sull'esterno dei corpi arginali non sono presenti banche intermedie. La larghezza da massima superiore è di 38.5m mentre la larghezza di fondo è di 16.5m.

Il canale, proveniente da Ovest ha andamento rettilineo modestamente sinuoso, scorre verso est e piega decisamente a nord circa 500m a valle dell'interferenza di progetto; successivamente mantiene la sua direzione prevalente verso nord fino alla foce in Panaro.

Attualmente il passaggio dei mezzi consorziali avviene lungo le arginature ed al piede delle stesse; la larghezza arginale è limitata a 2.5-3.0m pertanto spesso sono presenti rampe di discesa verso la campagna per consentire ai mezzi il transito agevole a campagna e la risalita sull'argine per le manutenzioni specifiche. Le capezzagne non in terra senza alcun tipo di pavimentazione; in corrispondenza dei ponti esistenti la continuità di transito dei mezzi avviene sfruttando i passaggi a campagna e l'attraversamento delle strade comunali e/o poderali; la maggior parte dei ponti presenta impalcato a quota inferiore al coronamento arginale e quindi senza possibilità di continuità di percorrenza sulle arginature.

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. 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	<b>1FEA224</b>
NOME	<b>CANALE ACQUE BASSE</b>

DATA RILIEVO	27/01/2012	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio della Bonifica di Burana	
LOCALITA'	Canatalupo	
COMUNE	Bondeno	
PROVINCIA	Ferrara	
PROGRESSIVA		
FOTOGRAFIE	1FEA224_1.jpg	1FEA224_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	1688838.75
	GAUSS BOAGA Y	4968744.68
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (km2)	166.11
	LUNGHEZZA (m)	37700
	SORGENTE	scoli campagna
	FOCE	fiume Panaro

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO		<i>rettilineo con curve sinuose</i>
	TIPO SEZIONE		<i>arginato</i>
	TIPO ALVEO		<i>alveo inciso e arginato, parzialmente pensile di forma trapezoidale complessa con base larga e sponde regolari 1:1 - piccole banche interne ed esterne - B»H</i>
	EROSIONI		<i>fondo alveo stabile, con erosioni di sponda da franamento rive dell'alveo 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 rinaturalizzato con sponde in erba continua e sfalciata; canneto di elofite sulle sponde e nell'alveo di magra - assenza di rivestimenti - assenza di vegetazione arborea ed arbustiva - fauna ittica e anfibia con presenza di nutrie</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE		<i>campagna aperta con colture stagionali di mais e foraggere - alcuni maceri abbandonati ed altri utilizzati per irrigazione - pochi alberi ed arbusti prevalentemente isolati - cascine isolate e strade carraie</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI CONTRONO	AL	<i>corrente lenta: livelli idrometrici noti</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler		<i>21-24</i>
NOTE			<i>ponti a 3 luci in CA</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 con modesta singolarità più sinuose, compie diverse curve sia a monte sia a valle dell'attraversamento; il tratto oggetto di modellazione matematica, di lunghezza 16km, è caratterizzato da alveo monocorsuale.

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 54 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:

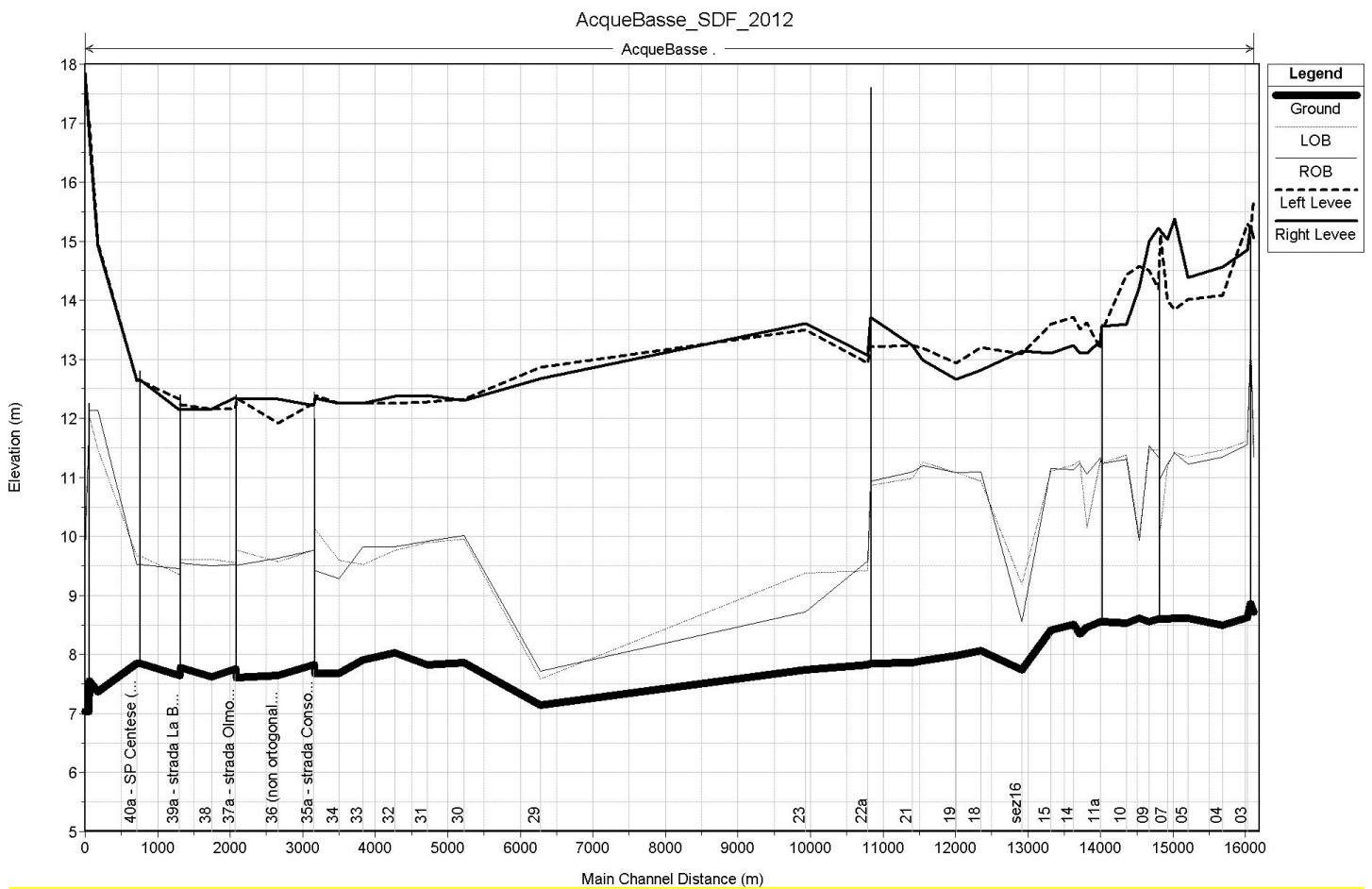
- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche morfologiche e geometriche quali il grado di sinuosità del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- caratterizzazione della copertura vegetale presente nelle zone spondali.

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 trovandoci 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 e argini vegetati; 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 valle entro cui ricade l'attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento.



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

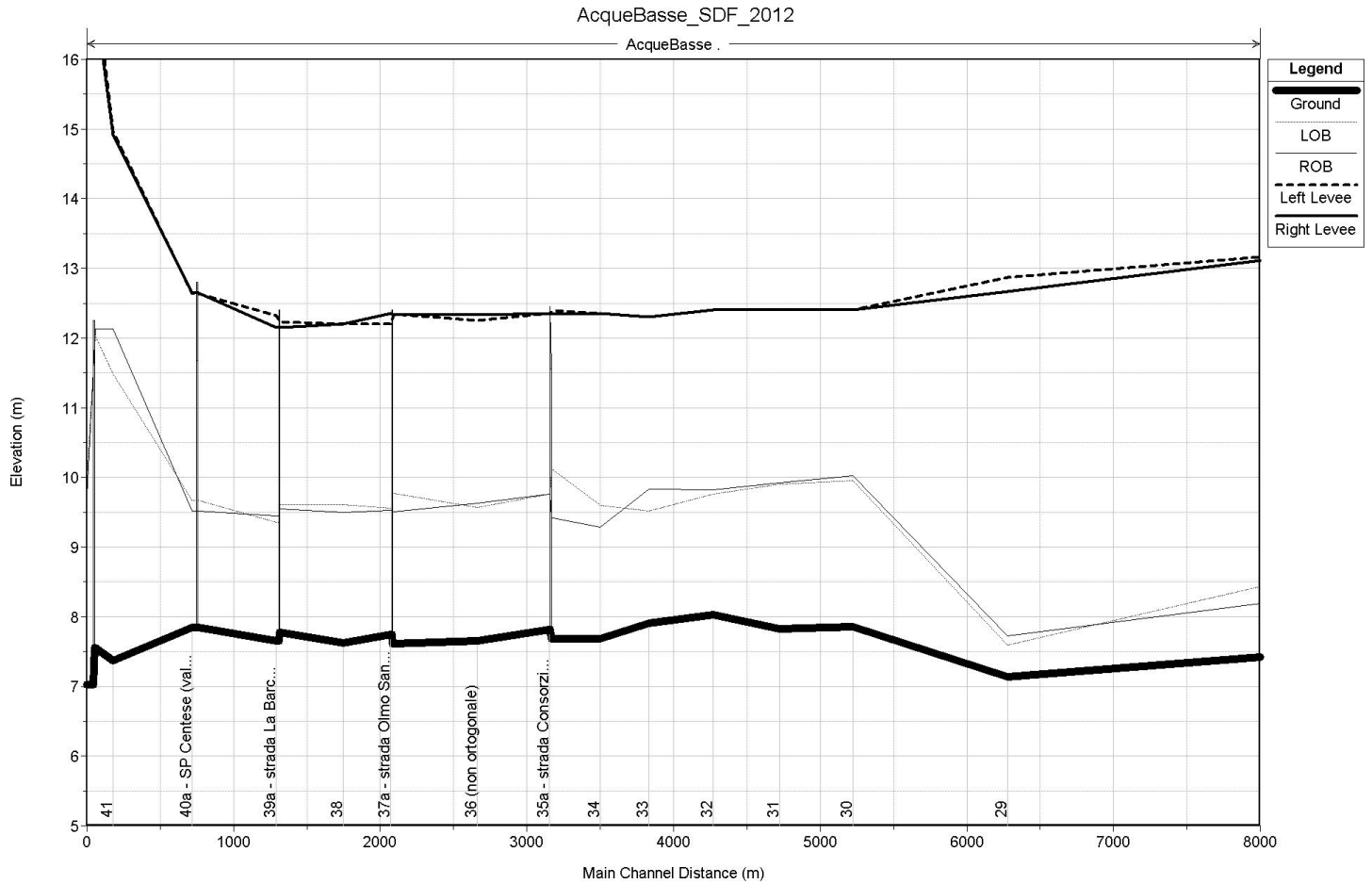


FIGURA 5-2: ANDAMENTO LONGITUDINALE DI DETTAGLIO DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI ATTRAVERSAMENTO

## 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.

I parametri utilizzati per la trasformazione afflussi-deflussi sono quelli calcolati dal Consorzio di bonifica; come accennato si adottano le medesime valutazioni idrologiche già sviluppate per l'autostrada in quanto tra i due attraversamenti il canale risulta arginato e privo di ulteriori contributi idrici. Si riportano le risultanze dell'analisi idrologica sviluppata per l'attraversamento del canale.

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 <sup>3</sup> /s)	31	41	57	69	81

**TABELLA 6-1: 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  $Q_{max}=42.0$  m<sup>3</sup>/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  $Q_{max}=60$  m<sup>3</sup>/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  $Q_{100}=81$  m<sup>3</sup>/s.



AUTOSTRADA  
REGIONALE  
CISPADANA

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTO DELLE VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE  
D04-D08 (ex 1FE) – Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana  
IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI - CANALE EMISSARIO ACQUE BASSE  
**RELAZIONE IDRAULICA**

---

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 Basse avverrà con ponte a luce unica con impalcati separati per la via nord e sud, entrambi appoggiati su spalle impostate sui corpi arginali conformemente a quanto già previsto in sede di progetto preliminare ed approvato dal Consorzio di bonifica in CdS. Il ponte ha luce 42m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta quasi ortogonale al canale).

Le analisi idrauliche hanno dimostrato, come si vedrà nel seguito, che la sezione attuale del canale è appena sufficiente a garantire il transito della portata massima mentre risulta inadeguata al transito della portata centennale. Si è pertanto previsto, su richiesta del Consorzio di bonifica, il rialzo e la regolarizzazione dei corpi arginali fino a quota tale da contenere la portata centennale; il rialzo è di 90cm in sinistra e di 70cm in destra idraulica. 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'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione del necessario rialzo arginale, è stato impostato ad una quota di 14,10 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.

Come evidenziato dai risultati seguenti emerge che la portata centennale risulta contenuta nella sezione di progetto con rialzo arginale in destra e sinistra idraulica che verrà esteso a monte e valle per l'ingombro dell'intervento e dove sarà raccordato alle sezioni esistenti; è inoltre prevista la risagomatura dell'alveo al fine di regolarizzare la pendenza delle sponde che localmente, nel tratto di intervento, risultano inferiori al 3:2 previsto dalla sezione di progetto consorziale.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione degli argini, alle attività di ispezione e sfalcio della vegetazione avverrà attraverso due sottopassi esterni ai corpi arginali e ubicati a nord e sud sotto il rilevato stradale; i sottopassi rispettano le dimensioni richieste dal Consorzio e raccordati con piste in materiale inerte costipato alle capezzagne esistenti. La quota di calpestio all'interno dei sottopassi è superiore alla quota del piano campagna circostante in modo da impedire eventuali ristagni d'acqua.

E' stata prevista la realizzazione di opere di difesa spondale e di fondo estese a tutta la sezione bagnata del

canale, al coronamento arginale superiore nonché risvoltate sul petto esterno; le 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 54 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 m<sup>3</sup>/s;
- portata di riferimento: Q<sub>max</sub>=60 m<sup>3</sup>/s e Q<sub>100</sub>=81 m<sup>3</sup>/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 solo la portata massima risulta contenuta all'interno delle arginature esistenti con azzeramento del franco idraulico e livello di piena che raggiunge la quota di 12.25msm; viceversa è evidente che la portata centennale esce dai corpi arginali raggiungendo l'ipotetica quota di 12.90msm.

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 nullo per la portata massima mentre non esiste franco per la portata centennale.

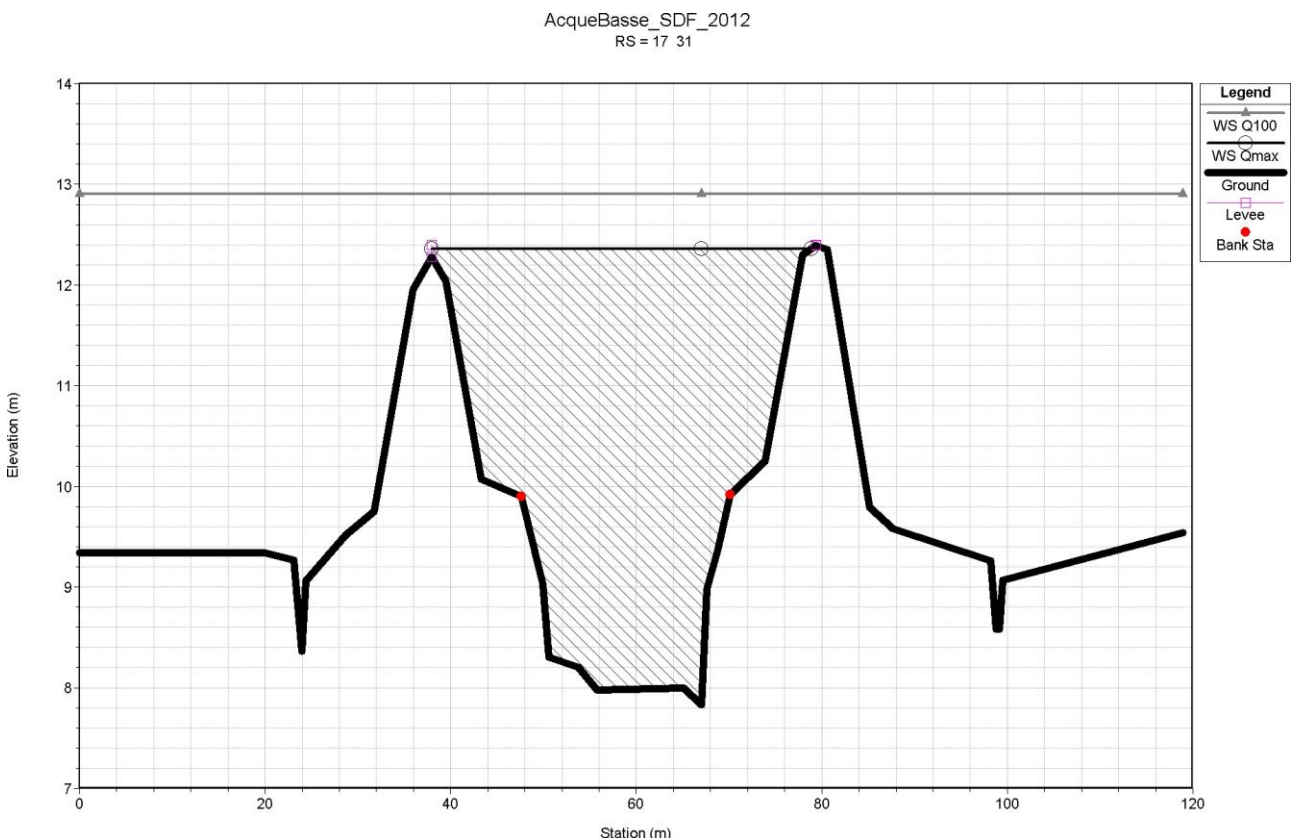


FIGURA 7-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER  $Q_{MAX}$  E  $Q_{100}$  ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE DI PROGETTO NELLO STATO DI FATTO

### Stato di progetto

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un ponte a luce unica con impalcato alto sul corpo arginale di progetto e spalle impostate sul filo esterno del coronamento arginale. Al fine di garantire un franco d'aria minimo di 1m rispetto ai cigli arginali e di contenere la portata centennale di progetto si è previsto il rialzo dei corpi arginali fino alla quota di 12.90msm pari alla quota raggiunta dalla piena di progetto.

La sezione di progetto del canale si estende a monte e valle dell'attraversamento per 25m e comprende anche la sezione sotto l'ombra del ponte; all'interno di tale intervento è previsto il rialzo arginale, la risagomatura dell'alveo interno è finalizzata alla regolarizzazione delle pendenze di sponda a valore minimo 3:2 e alla regolarizzazione delle banche interne, inoltre comprende anche il rivestimento dell'intera sezione realizzato in massi cementati. Il raccordo, planimetrico ed altimetrico, con la sezione attuale del canale avviene all'esterno dei 65m dell'intervento descritto sopra.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta  $F_{max}=1,87m$  e  $F_{100}=1,21m$ .

AcqueBasse\_PRJ\_2012  
RS = 16.5 BR ponte Bondeno Cento

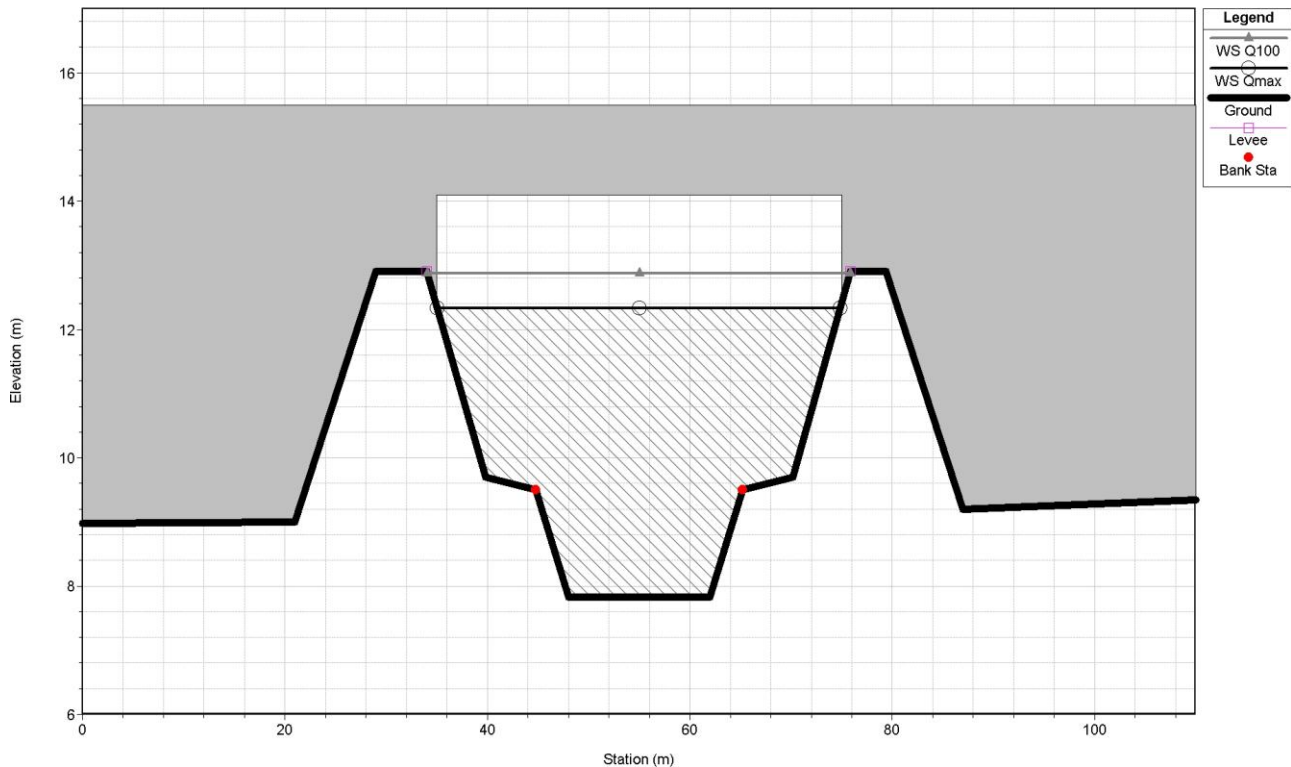


FIGURA 7-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER  $Q_{MAX}$  E  $Q_{100}$  ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE STRADALE NELLO STATO DI PROGETTO

### Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portate le portate di progetto  $Q_{max}=60 \text{ m}^3/\text{s}$  e per la  $Q_{100}=81 \text{ m}^3/\text{s}$ , 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 (m)	Pendenza	Portata $Q_{max}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF ( $\text{m}/\text{s}$ )	Velocità SP ( $\text{m}/\text{s}$ )	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
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
ponte 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
ponte 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



Sezioni	Sezioni H-C	Progressi ve	Quota fondo (m)	Pendenz a	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
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
ponte 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
ponte 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
ponte Cispadana	31.5 BR U	1555	8.62	0.0000	60		13.01		0.59		13.03		0.11
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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

Sezioni	Sezioni H-C	Progressi ve	Quota fondo	Pendenz a	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)		
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
ponte Bondeno- Cento	16.5 BR U	11656	7.83	0.0000	60		12.31		0.48		12.32		0.09
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
ponte 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
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

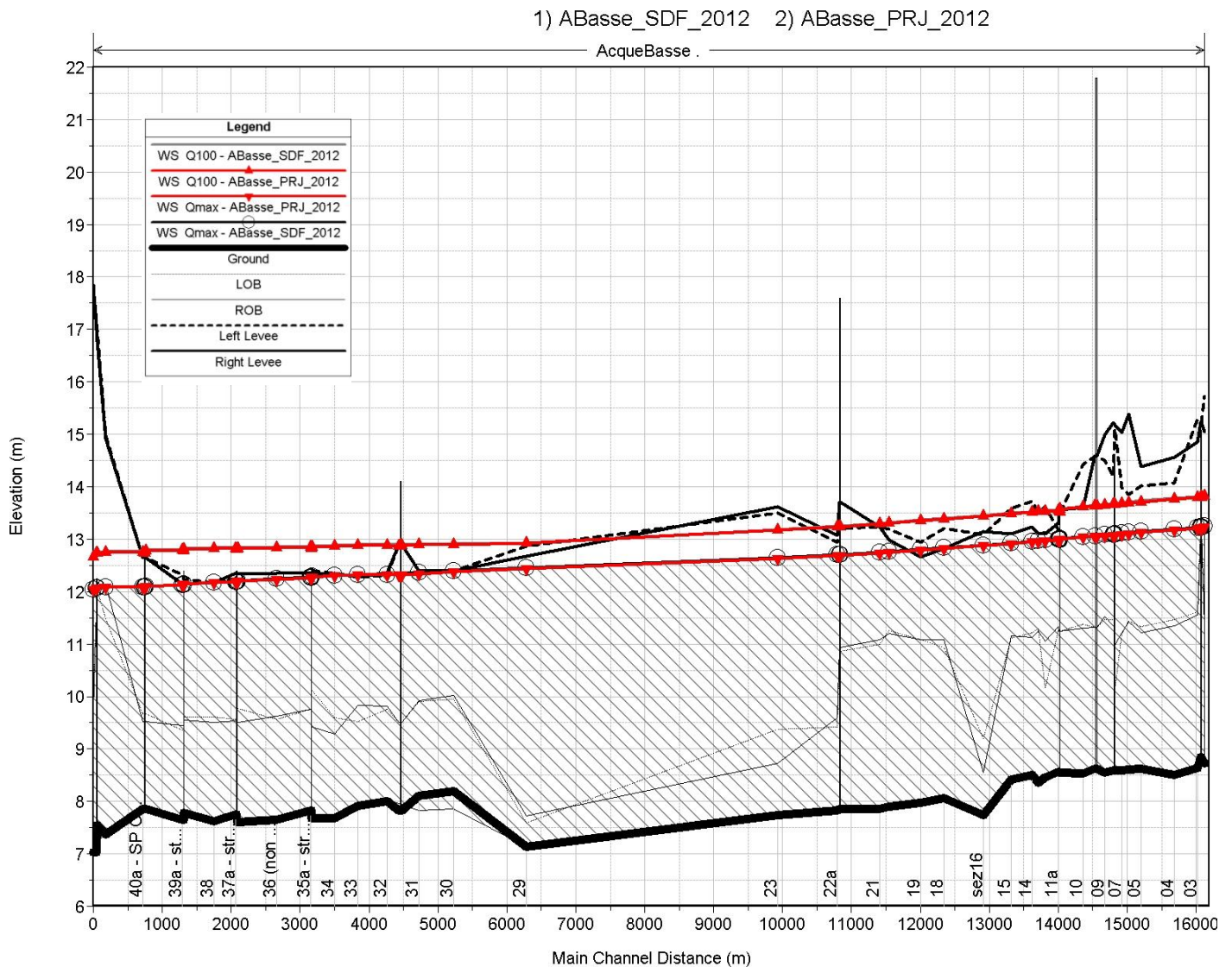
Sezioni	Sezioni H-C	Progressi ve	Quota fondo	Pendenza	Portata Q100	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m3/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
1	41	0	8.72	-0.0031	81	13.83	13.83	0.67	0.67	13.86	13.86	0.13	0.13
2	40	42	8.85	0.0000	81	13.82	13.82	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
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



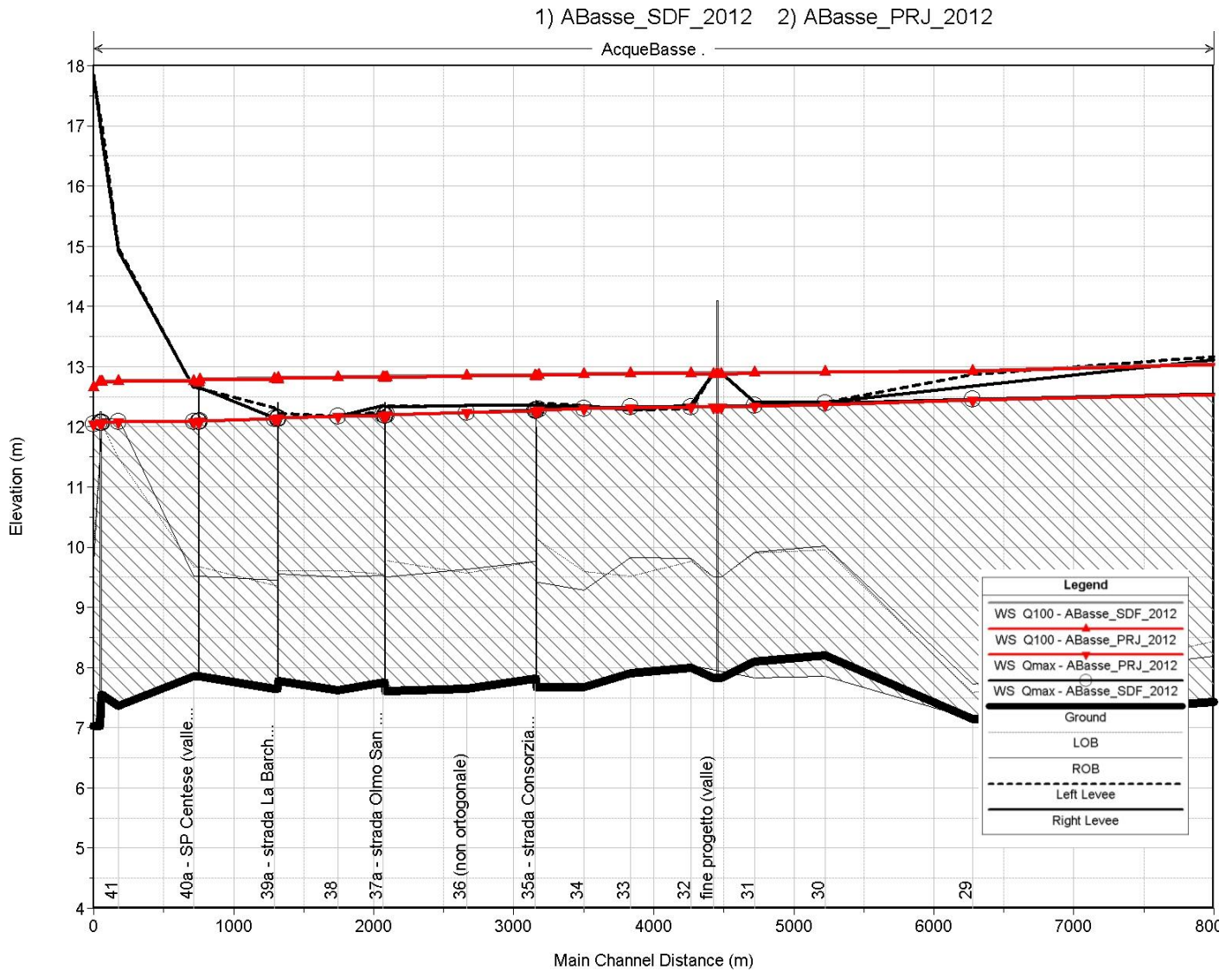
Sezioni	Sezioni H-C	Progressi ve	Quota fondo	Pendenza	Portata Q100	Livello SF	Livello SP	Velocità SF	Velocità SP	Energia SF	Energia SP	Froude SF	Froude SP
			(m)		(m3/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)		
22	20	5276	7.85	0.0000	81	13.25	13.26	0.6	0.59	13.27	13.28	0.14	0.14
ponte Reno Finalese	19.5 BR U	5277	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
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

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
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

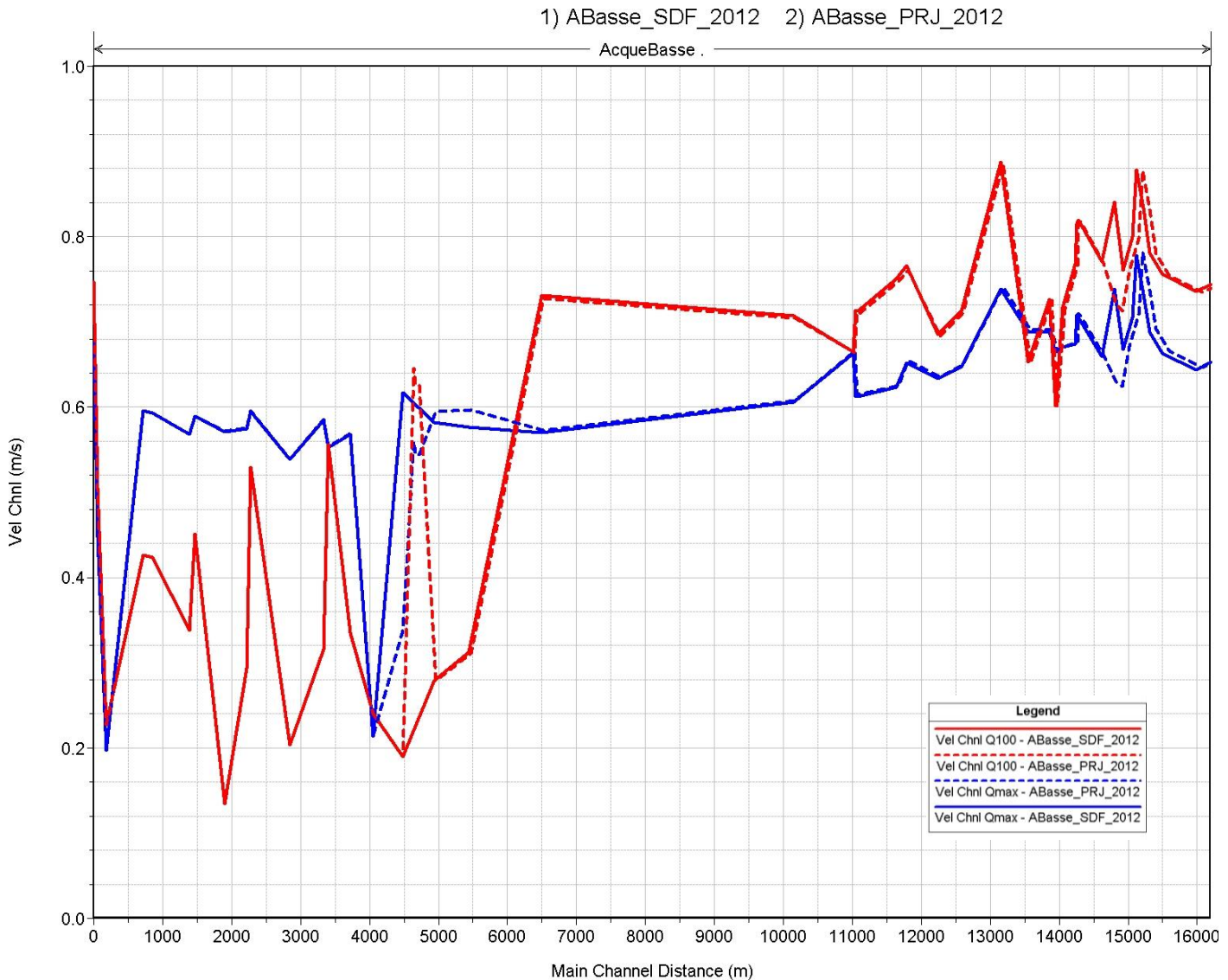
**TABELLA 7-2: CANALE ACQUE BASSE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA Q100**



**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 Q<sub>MAX</sub> E Q<sub>100</sub> 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 identici nella simulazione Ante opera ed in quella Post opera per la portata massima sostenibile. La portata centennale viceversa non è contenuta entro al sezione arginata attuale del canale (ante opera) mentre è contenuta nella sezione di progetto (post opera) risagomata ed ampliata proprio per contenere tali portate.

In condizioni di progetto i profili di piena sono indisturbati dalla presenza del ponte in quanto non sono presenti strutture in alveo e l'impalcato è posto a quota superiore al ciglio arginale in modo da non interferire con i deflussi.

#### 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. Si precisa tuttavia che l'opera è stata dimensionata per la portata centennale 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 uno sviluppo di circa 3500m in corrispondenza dei quali un evento centennale provocherebbe la fuoriuscita delle acque dal canale con allagamento estensivo delle campagne circostanti e probabile cedimento delle arginature.

#### 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 0,6m/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 70cm sull'argine destro e 90cm 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  $114\text{m}^2$  a quella di progetto pari a  $148\text{m}^2$ .

#### 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 sostenibile è di 1.87m mentre il franco rispetto alla piena centennale è di 1.21m. Gli interventi di progetto previsti a corredo del ponte migliorano la sicurezza idraulica in quanto la nuova sezione di progetto contiene le portate centennali 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 realizzazione del ponte non richiede la predisposizione di opere provvisori in quanto la costruzione delle spalle avviene dall'esterno dei corpi arginali che verranno mantenuti in funzione. Saranno preliminarmente realizzati i rialzi arginali che consentiranno di raggiungere la stabilità del corpo arginale e successivamente si provvederà alla posa dei pali di fondazione ed all'esecuzione del corpo spalla operando dall'esterno.

Non sono previste demolizioni e riduzioni della funzionalità delle arginature.

## **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/m<sup>3</sup>. La mantellata verrà realizzata sia sul fondo sia sulle sponde del canale garantendo uno spessore minimo omogeneo di 1m e con estensione della stessa oltre al coronamento arginale anche per 2m oltre al fine di stabilizzarne la parte superiore.. Successivamente con il fine sia di stabilizzare i massi posati sia di preservare l'integrità delle sponde e dell'argine fuori terra 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 25m 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 attraverso i sottopassi laterali posti a sud e nord del canale e realizzati con manufatti scatolari in C.A. di dimensioni 4.0x4.0m; 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.