



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

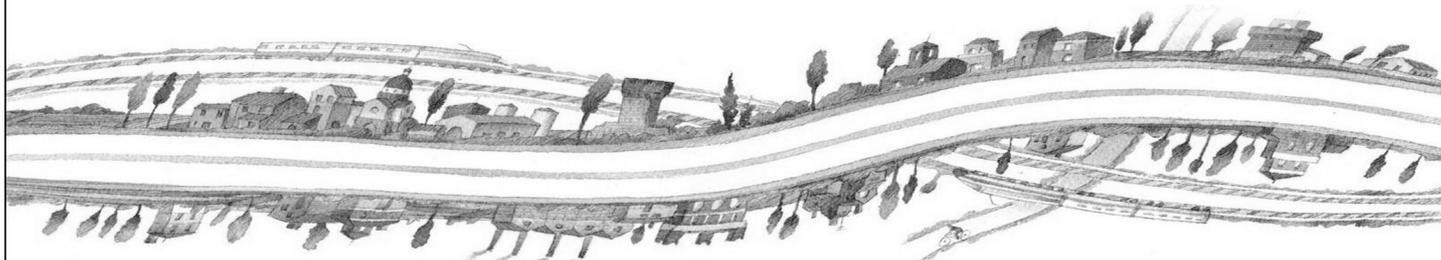
VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

CAVO PORETTO E CAVO RONDONE PRIMO

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.
5320	PD	0	D08	DWS11	0	WW	RI	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA: VARIE

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	7
4. AMBITO DI RIFERIMENTO	11
4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA	11
4.2. TRACCIATO STRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA	11
5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	13
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	13
5.1.1. Cavo Poretto	13
5.1.2. Cavo Rondone Primo	16
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)	19
6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	22
7. VERIFICHE IDRAULICHE.....	23
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE	23
7.1.1. Cavo Poretto	23
7.1.2. Cavo Rondone Primo	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 sul Cavo Poretto	25
7.2.3. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento sul Cavo Rondone Primo	30
7.2.4. Valutazione della compatibilità idraulica	35
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali	37
8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	38

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 dei canali Poretto e Rondone Primo, corsi d'acqua di bonifica interferiti direttamente dall'opera in progetto.

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

Il risultato finale consiste nell'aver rispettato:

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

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1. NORMATIVA

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

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

0036PD0000000000GEKT01A - ELENCO DELLE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.2. CRITERI E RACCOMANDAZIONE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DI BURANA

La progettazione definitiva delle opere 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 Poretto relativa all'attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento sono state impartite le seguenti prescrizioni:

- *La soluzione proposta per l'attraversamento del Cavo Poretto 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 Cavo Poretto, fino a ridosso delle spalle del ponte.*
- *Il rivestimento della sezione del canale in corrispondenza dell'attraversamento, mediante posa in opera di massi di cava intasati con calcestruzzo, deve essere realizzato mantenendo una pendenza di 2/3 con una larghezza di fondo della sezione di 5,00 m.*
- *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 50kg e un massimo di 150kg con intasamento in calcestruzzo.*
- *Si devono realizzare rampe di raccordo tra gli argini ed il piano stradale di larghezza minima 3,50 m in destra e sinistra idraulica del Cavo Poretto, sia a monte che a valle del manufatto, per favorire il passaggio dei mezzi di manutenzione del Consorzio della Bonifica Burana.*

Nella scheda monografica fornita per il Cavo Rondone Primo relativa all'attraversamento del Raccordo Bondeno-Cento sono state impartite le seguenti prescrizioni:

- *La soluzione proposta per l'attraversamento del Cavo Rondone Primo 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 Cavo Rondone Primo, fino a ridosso delle spalle del ponte.*
- *Il rivestimento della sezione del canale in corrispondenza dell'attraversamento, mediante posa in opera di massi di cava intasati con calcestruzzo, deve essere realizzato mantenendo una pendenza di 2/3 con una larghezza di fondo della sezione di 5,00 m.*
- *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 50kg e un massimo di 150kg con intasamento in calcestruzzo.*
- *Si devono realizzare rampe di raccordo tra gli argini ed il piano stradale di larghezza minima 3,50 m in destra e sinistra idraulica del Cavo Rondone Primo, sia a monte che a valle del manufatto, per favorire il passaggio dei mezzi di manutenzione del Consorzio della Bonifica Burana.*

In fase di progettazione definitiva sono stati richiesti chiarimenti al Consorzio di Burana il quale ha risposto con nota n° 4668 del 27/03/2012 precisando che:

- *in considerazione della prescrizione di cui alla nota prot. 4891 del 04/04/2011, l'incremento di portata pari al 30% in aggiunto all'attuale capacità massima scolante deve essere garantito mediante allargamento della sezione dei due cavi consorziali, mantenendo pertanto inalterato il livello idrico di piena;*
- *l'ampliamento di sezione può essere effettuato nello spazio ricompreso tra l'attuale ciglio spondale e la spalla del ponte di progetto;*
- *le rampe di collegamento fra il ciglio di sponda e la strada Bondeno- Cento devono essere larghe almeno 4,00 m ed avere una pendenza massima del 20% o comunque una pendenza adeguata al transito dei mezzi d'opera consortili;*
- *i raccordi tra la sezione allargata sottostante il ponte e i t6ratti di canale a monte e valle dovranno essere realizzati mediante le modalità di rivestimento con sasso trachitico intasato di cls di cui alla scheda monografica trasmessa con nota 4891 del 04/04/2011.*

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^: 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 Cavo Poretto 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 7 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 3.7 km dei quali 1.4km a monte e 2.3km a valle dell'attraversamento in progetto.

Per la definizione completa della geometria del Cavo Rondone Primo 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 7 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 2.5 km dei quali 10.9km a monte e 1.6km a valle dell'attraversamento in progetto.

Fase 2^: 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 cavi Poretto e Rondone sono corsi d'acqua artificiali con funzione promiscua di scolo ed irrigazione; la particolare caratteristica dei corsi d'acqua di bonifica risiede 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.

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. Tale assunzione era stata già adottata nell'ambito del progetto preliminare approvato dal Consorzio di Bonifica Burana. Inoltre è stata considerata come portata di riferimento anche la portata massima incrementata del 30% al fine di accogliere le richieste del Consorzio prevedendo l'allargamento della localizzato della sezione d'alveo esistente.

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'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 entrambi i cavi Poretto e Rondone sono state condotte analisi idrauliche mediante modellazione numerica monodimensionale estesa per un tratto sufficientemente lungo dei canali e tale da ricomprendere l'attraversamento del 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 stradale, 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 e tombini con impalcati a quote inferiori a quella del ciglio sponda e che pertanto riducono la sezione massima di deflusso. Non si rilevano viceversa alterazioni per gli attraversamenti 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 allargamento di sezione 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,
- α_1, α_2 coefficienti di velocità,
- h_e perdita di carico nel tratto 1-2.

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. AMBITO DI RIFERIMENTO

4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA

Il comprensorio di bonifica è caratterizzato da una morfologia piatta sulla quale le fluttuazioni antiche dei principali corsi d'acqua naturali hanno originato paleovalvei e da essi i dossi di pianura disposti in una complessa rete e che si trovano in condizioni altimetriche di rilevato relativo e che sono solitamente caratterizzati da terreni più grossolani rispetto alla matrice alluvionale delle zone un tempo vallive e dei bacini di colmata che popolano la pianura.

L'altimetria del comprensorio degrada dai 15 metri sul livello del mare fino a qualche metro sul livello del mare in corrispondenza della depressioni più marcate. Le condizioni altimetriche e morfologiche del comprensorio consentono, ad eccezione di alcune depressioni, lo scolo naturale delle acque. L'idrografia è caratterizzata da una marcata complessità, dovuta essenzialmente alla diversità dei recapiti esterni e all'origine ovunque antica del reticolo dei canali. I terreni del comprensorio hanno un'origine alluvionale, caratterizzata da un'intima mescolanza di apporti dal sistema padano-alpino con quelli prevalenti di origine appenninica. In esso assumono un'importanza fondamentale i terreni sabbioso limosi, che si ritrovano in corrispondenza dei dossi di pianura mentre nelle aree intervallive la matrice dominante è quella di suoli limosi ed argillosi caratteristici dei depositi alluvionali. Il territorio del comprensorio presenta una dominanza di seminativi pari a circa il 70% del totale della superficie, seguono le superfici urbanizzate 17%, le superfici destinate ad colture arboree e boscate 13%. Il territorio è soggetto al clima continentale moderatamente temperato della pianura padana ed è scarsamente influenzato dalla vicina presenza del mare Adriatico. Il comprensorio ricade nella Provincia di Ferrara ed appartiene al bacino idrografico del fiume Po.

4.2. TRACCIATO STRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA

Il tracciato del Raccordo Bondeno-Cento interseca il Cavo Poretto alla progressiva chilometrica 2+515 del tratto D in località Belfiore nei pressi della SP 45; il tracciato si presenta rettilineo lungo la direttrice nord-sud. Il Raccordo si presenta in rilevato basso sulla campagna al fine di contenere, come richiesto dagli Enti territoriali in CdS, un impatto altimetrico contenuto adeguato al territorio di pianura attraversata. Il rilevato si alza modestamente per superare il canale garantendo il rispetto dei franchi idraulici minimi richiesti. 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 2300m ad ovest di Bondeno.

Il Raccordo interseca il Cavo Rondone Primo alla progressiva chilometrica 5+574 del tratto D in località Marmagna poco distante dalle prime abitazioni di Bondeno; il tracciato si presenta rettilineo lungo la direttrice est-ovest e congiunge le rotatorie di svincolo previste sulla strada comunale Via Bassa e sulla SP Bondeno-Ficarolo. Il Raccordo si presenta in rilevato basso sulla campagna con rialzo in corrispondenza del ponte al fine di rispettare i franchi idraulici minimi richiesti. L'interferenza avviene al limite dell'area artigianale di Bondeno dove tuttavia è ancora inserito nella campagna coltivata a foraggiere.

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

5.1.1. Cavo Poretto

Il Cavo Poretto è un canale promiscuo con origine in località Castagnata scorre inizialmente da nord verso sud attraversando la campagna, poi piega verso est e riceve le acque dell'Emissario Serragli in uscita dal Diversivo di Burana, prosegue scorrendo a campagna fino a costeggiare a sud l'abitato di Bondeno e confluire nel Collettore Burana poco prima della botte napoleonica di sottopasso del Fiume Panaro. Il canale ha una lunghezza complessiva di 5752 m ed una lunghezza di 3306 m dall'origine all'attraversamento previsto della Bondeno-Cento-Cispadana.

Il canale scorre a cielo aperto con sezione in scavo sul piano campagna, il tracciato di origine artificiale si presenta misto con lunghi tratti rettilinei raccordati da curve talvolta anche strette a angolate; il canale ha alveo stabile, naturale con fondo in terra e sponde inerbite ricche di canneto.

Nel tratto studiato il canale presenta sezione in scavo con larghezza a piano campagna di 9.2 m e larghezza di fondo 7.2m; l'altezza massima della sezione, nel punto di interferenza è di 1.2 m; dalla rappresentazione topografica fornita si evidenzia che l'area interessata dal ponte in progetto risulta più depressa rispetto a quelle circostanti con sezione idraulica di minore officiosità rispetto a quella rilevata nelle sezioni di monte e valle.

Le attività di ispezione e manutenzione da parte del Consorzio sono svolte percorrendo il canale sulle capezzagne in tessa poste al margine superiore delle sponde ed il passaggio di sponda viene effettuato sfruttando i ponti esistenti.

Si riporta per completezza di informazioni la scheda del rilevamento di campagna condotto durante le indagini idrologiche e idrauliche preliminari alla progettazione definitiva.

CODICE	1FEA059
NOME	CAVO PORETTO

DATA RILIEVO	18/10/2011
ENTE GESTORE	Consorzio della Bonifica Burana

LOCALITA'	<i>Dosso Alto</i>	
COMUNE	<i>Bondeno</i>	
PROVINCIA	<i>Ferrara</i>	
PROGRESSIVA	<i>13+200</i>	
FOTOGRAFIE	<i>1FEA059_1.jpg</i>	<i>1FEA059_2.jpg</i>

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	<i>1688197.59</i>
	GAUSS BOAGA Y	<i>4972674.18</i>
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (km2)	
	LUNGHEZZA (m)	<i>5729</i>
	SORGENTE	<i>scoli campagna</i>
	FOCE	<i>Collettore Burana</i>
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	<i>rettilineo con tratti sinuosi</i>
	TIPO SEZIONE	<i>in scavo</i>
	TIPO ALVEO	<i>alveo inciso a sezione trapezoidale con fondo largo e sponde aperte B>H</i>
	EROSIONI	<i>erosioni spondali per cedimenti al piede</i>
CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA	RANGO	<i>principale</i>
	USO	<i>promiscuo</i>
	GRANULOMETRIA	<i>limi e argille</i>
	AMBIENTE FLUVIALE	<i>canale rinaturalizzato con sponde in erba tagliata regolarmente; canneto di phragmites sul fondo ed al piede spondale - alberi isolati sul ciglio - fauna ittica e anfibia (pescegatto, gobio, gamberi della Louisiana e rane) con presenza di nutrie, anatre e aironi bianchi</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta coltivata a mais ed erba medica - alberi ed arbusti isolati presso le cascine agricole isolate</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI CONTRONO	AL <i>corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle</i>
	SCABREZZA	Gauckler-Strickler <i>24-27</i>
NOTE	<i>Ponte sulla SP.</i>	



5.1.2. Cavo Rondone Primo

Il Canale Rondone primo è un canale promiscuo con origine dal Canale delle Pilastresi in località Meletta scorre nel primo tratto da NW verso SE, raggiunge località Prosperetta dove riceve le acque del Diversivo Rondone oltre il quale compie una curva a 90° verso est e poco oltre ne compie una seconda, sempre a 90° verso sud per proseguire il suo corso lambendo ad ovest l'abitato di Borgo Scala e confluire nel Collettore Burana dopo aver lasciato parte delle proprie acque al cavo Rondone Secondo che attraversa il Borgo e piega verso Panaro.

Il canale scorre a cielo aperto con sezione in scavo sul piano campagna, il tracciato di origine artificiale si presenta misto con lunghi tratti rettilinei raccordati da curve talvolta anche strette a angolate; il canale ha alveo stabile e naturale con fondo in terra; le sponde sono inerbite e ricche di canneto. L'area circostante il canale è caratterizzata da colture stagionali, sono presenti l'area artigianale e quella urbanizzata di Borgo Scala oltre alle cascine isolate.

Nel tratto studiato il canale presenta sezione in scavo con larghezza a piano campagna di 14.1 m e larghezza di fondo 3.3m; l'altezza massima della sezione, nel punto di interferenza è di 3.5 m.

Si riporta per completezza di informazioni la scheda del rilevamento di campagna condotto durante le indagini idrologiche e idrauliche preliminari alla progettazione definitiva.

CODICE	1FEA050
NOME	CAVO RONDONE PRIMO

DATA RILIEVO	18/10/2011	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio della Bonifica Burana	
LOCALITA'	-	
COMUNE	Bondeno	
PROVINCIA	Ferrara	
PROGRESSIVA	16+200	
FOTOGRAFIE	1FEA050_1.jpg	1FEA050_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	1688979.86
------------	---------------	------------

	GAUSS BOAGA Y	4975386.59
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (km2)	
	LUNGHEZZA (m)	3470
	SORGENTE	<i>scoli campagna</i>
	FOCE	<i>Collettore Burana</i>
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	<i>rettilineo con tratti sinuosi</i>
	TIPO SEZIONE	<i>in scavo</i>
	TIPO ALVEO	<i>alveo inciso a sezione trapezoidale con fondo largo e sponde ripide B>H</i>
	EROSIONI	<i>erosioni spondali per cedimenti al piede dovuti alla presenza di scarpate ripide</i>
CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA	RANGO	<i>principale</i>
	USO	<i>promiscuo</i>
	GRANULOMETRIA	<i>limi e argille</i>
	AMBIENTE FLUVIALE	<i>canale rinaturalizzato con sponde in erba tagliata regolarmente; canneto di phragmites sul fondo ed al piede spondale - assenza di vegetazione arborea ed arbustiva - fauna ittica e anfibia (pescegatto, gobio, gamberi della Louisiana e rane) con presenza di nutrie</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta coltivata a mais e frutteto (pesche) - alberi ed arbusti isolati - cascine agricole isolate</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI CONTRONO	AL <i>corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler	21-24
NOTE	<i>passi carrai agricoli con ponti in muratura o tubi di officiosità molto inferiore a quella della sezione a cielo aperto</i>	



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

Il Cavo Poretto presenta andamento sinuoso nel tratto oggetto di intervento con alternanza di tratti rettilinei a tratti curvilinei poco accentuali; il tratto oggetto di modellazione matematica, di lunghezza 3.7km, è caratterizzato da alveo monocorsuale e si sviluppa da località Carioncellina fino alla foce nel Collettore di Burana. Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici propedeutici alla progettazione definitiva eseguiti nell'anno 2011 da ARCOS composto da 7 sezioni trasversali.

Il Cavo Rondone Primo presenta andamento rettilineo nel tratto studiato con presenza di alcune curve angolate, l'alveo è sempre monocorsuale. Il tratto oggetto di modellazione matematica si sviluppa da Cà Grande fino alla foce nel Collettore di Burana a Borgo Scala. Il modello geometrico utilizzato è stato costruito sulla base dei rilievi topografici propedeutici alla progettazione definitiva eseguiti nell'anno 2011 da ARCOS composto da 7 sezioni trasversali.

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.

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 dei canali Poretto e Rondone Primo.

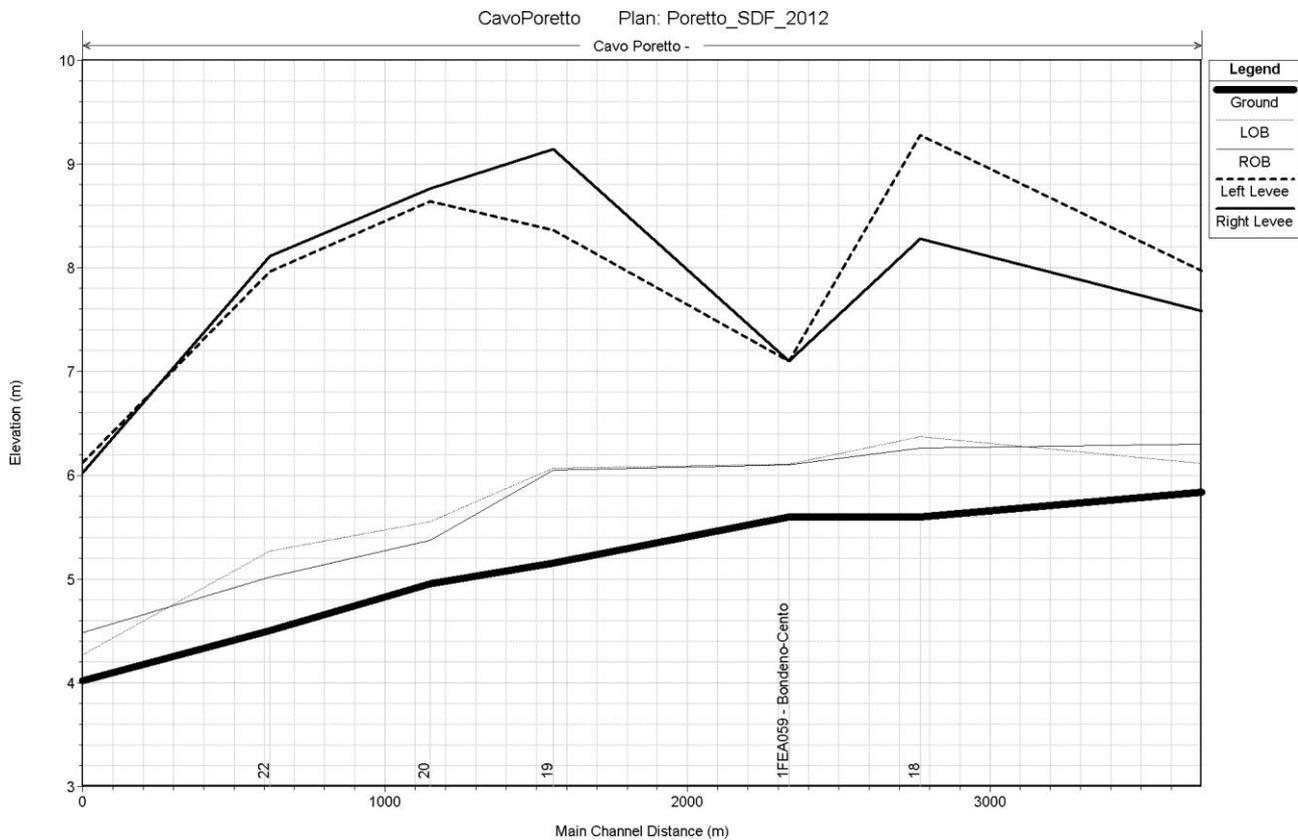


FIGURA 5-1: CAVO PORETTO, ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO

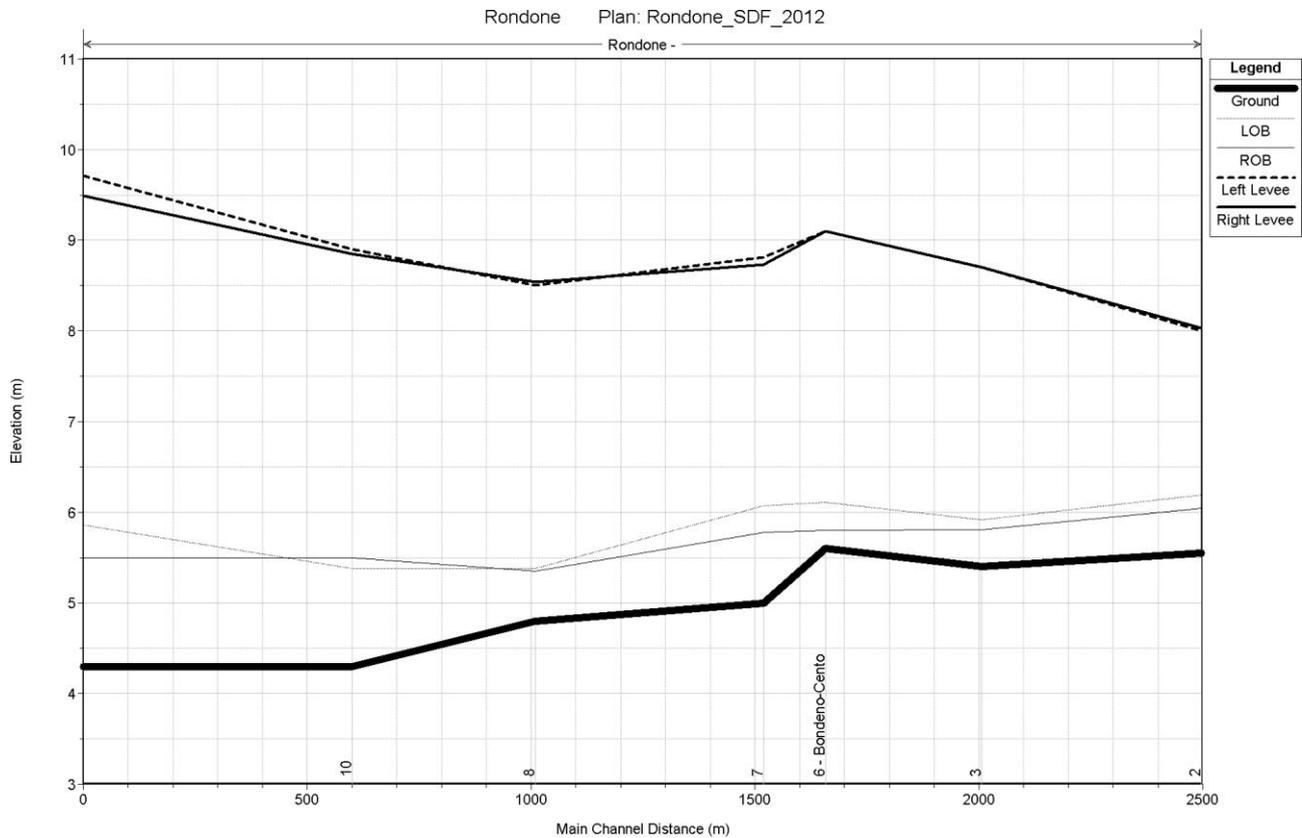


FIGURA 5-2: CAVO RONDONE, ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La determinazione delle portate di riferimento è stata sviluppata attraverso analisi idrauliche determinando, per via indiretta la massima portata che attualmente può defluire all'interno del canale nel tratto esaminato; nella determinazione della portata massima si sono considerate tutte le sezioni rilevate topograficamente apportando eventuali rialzi localizzati per annullare evidenti singolarità; non si è tenuto conto dei manufatti esistenti, che in genere rappresentano una riduzione dell'efficienza del canale, al fine di non ridurre la portata di progetto. Si è inoltre tenuto conto, per la stima delle portate, dei contributi relativi agli apporti degli affluenti presenti nel tratto in studio per i quali la portata è stata stimata come portata a piene rive.

La portata massima è stata poi incrementata del 30% come richiesto dal Consorzio di Bonifica.

Le verifiche idrauliche sono state condotte ipotizzando, come condizione al contorno di valle, il deflusso libero delle acque verso il recettore.

	Q_{\max} (m ³ /s)	$Q_{\max+30\%}$ (m ³ /s)
Cavo Poretto	5,5	7,2
Cavo Rondone Primo	16,0	21,0

7. VERIFICHE IDRAULICHE

7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE

7.1.1. Cavo Poretto

L'attraversamento in progetto sul Cavo Poretto avverrà con ponte a luce unica appoggiato su spalle esterne alla sezione incisa del canale per la quale è previsto un allargamento di progetto al fine di contenere l'aumento di portata richiesto; il ponte ha luce 18m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta quasi ortogonale al canale, l'angolo formato è di 88°).

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 massima incrementata. Si è pertanto previsto, come indicato dal Consorzio di Burana, l'allargamento della sezione al fine di contenere le portate incrementate; l'allargamento viene realizzato prevalentemente nella parte alta del canale adeguando le sponde, oggi molto ripide, alla pendenza di progetto 3:2.

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte, è stato impostato ad una quota di 8.35 msm garantendo un franco idraulico di 1m su entrambe le sponde in modo da rispettare i minimi richiesti dal Consorzio e previsti dalle Direttive dell'Autorità di bacino Po e dalle NTC/2008.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione del canale è stata garantita, come richiesto dal Consorzio, attraverso rampe di accesso che collegano le sponde del canale, a monte e valle dell'attraversamento, al Raccordo Bondeno-Cento; le rampe sono previste sia in sponda destra sia in sponda sinistra.

7.1.2. Cavo Rondone Primo

L'attraversamento in progetto sul Cavo Rondone Primo avverrà con ponte a luce unica appoggiato su spalle esterne alla sezione incisa del canale per la quale è previsto un allargamento di progetto al fine di contenere l'aumento di portata richiesto; il ponte ha luce 20m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta quasi ortogonale al canale, l'angolo formato è di 79°).

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 massima incrementata. Si è pertanto previsto, come indicato dal Consorzio di Burana, l'allargamento

della sezione al fine di contenere le portate incrementate; l'allargamento viene realizzato a partire dal fondo alveo, allargato dagli attuali 3.3 m a 6.0 m ed attraverso la formazione di scarpate a pendenza 3:2; in sommità il canale si allarga di 2.5 m da 14.1 m attuali a 16.6 m di progetto.

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte, è stato impostato ad una quota di 10.80 msm garantendo un franco idraulico di 1.7m su entrambe le sponde in modo da rispettare i minimi richiesti dal Consorzio e previsti dalle Direttive dell'Autorità di bacino del Fiume Po e dalle NTC/2008.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione del canale è stata garantita, come richiesto dal Consorzio, attraverso rampe di accesso che collegano le sponde del canale, a monte e valle dell'attraversamento, al Raccordo Bondeno-Cento; le rampe sono previste sia in sponda destra sia in sponda sinistra.

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 dei corsi d'acqua nello stato di fatto ricavata dai rilievi topografici composti ciascuno di 7 sezioni trasversali;
- 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 di entrambi i canali è ipotizzato libero nel Collettore di Burana, la condizione al contorno assegnata è quella di pendenza di fondo;
- portata di riferimento: sono state adottate, per entrambi i canali, le portate massime sostenibili e le portate massime incrementate del 30%.

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 sul Cavo Poretto

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 della sezione esistente con azzeramento del franco idraulico e livello di piena che raggiunge la quota di 7.10 msm; viceversa è evidente che la portata massima incrementata esce dall'alveo allagando le campagne circostanti e raggiungendo un livello di 7.45 msm. Si osserva che la portata massima, e quella incrementata di conseguenza, trovano il tratto più critico proprio in corrispondenza dell'attraversamento di progetto per un tratto di circa 500m. 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 incrementata.

CavoPoretto Plan: Poretto_SDF_2012
RS = 5 1FEA059 - Bondeno-Cento

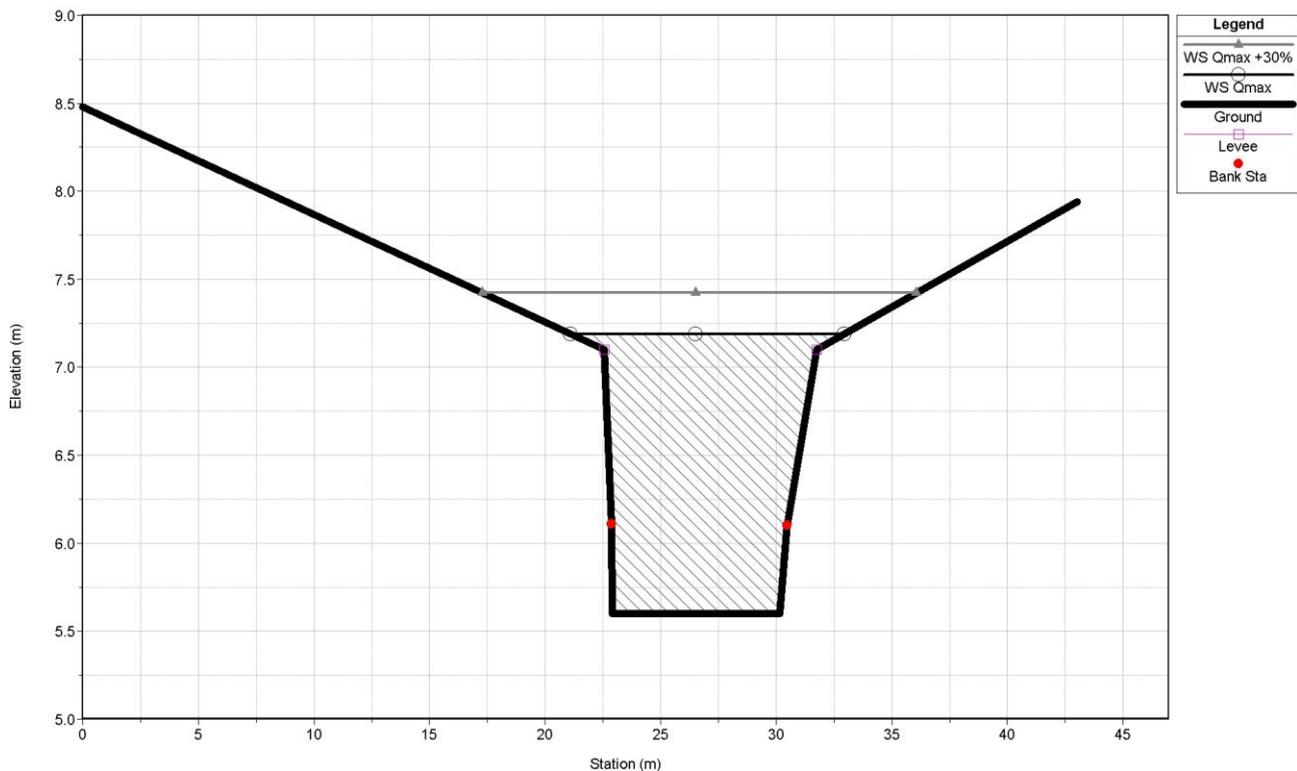


FIGURA 7-1: CAVO PORETTO, LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{MAX+30} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto – Cavo Poretto

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un ponte a luce unica con impalcato alto sulle sponde e spalle impostate all'esterno della sezione incisa. Al fine di garantire un franco d'aria minimo di 1m rispetto ai cigli spondali e di contenere la portata incrementata si è previsto l'allargamento della sezione d'alveo esistente la cui larghezza a piano campagna viene portata dagli attuali 9.2 m a 12.4 m di progetto. L'allargamento di progetto si estende a monte e valle fino a raccordarsi alla sezione esistente, l'intervento si estende per 10 m all'esterno dell'ombra del ponte.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta $F_{max}=1,00m$ e $F_{max+30\%}=1,27m$.

CavoPoretto Plan: Poretto_PRJ_2012
RS = 5 BR ponte Bondeno-Cento

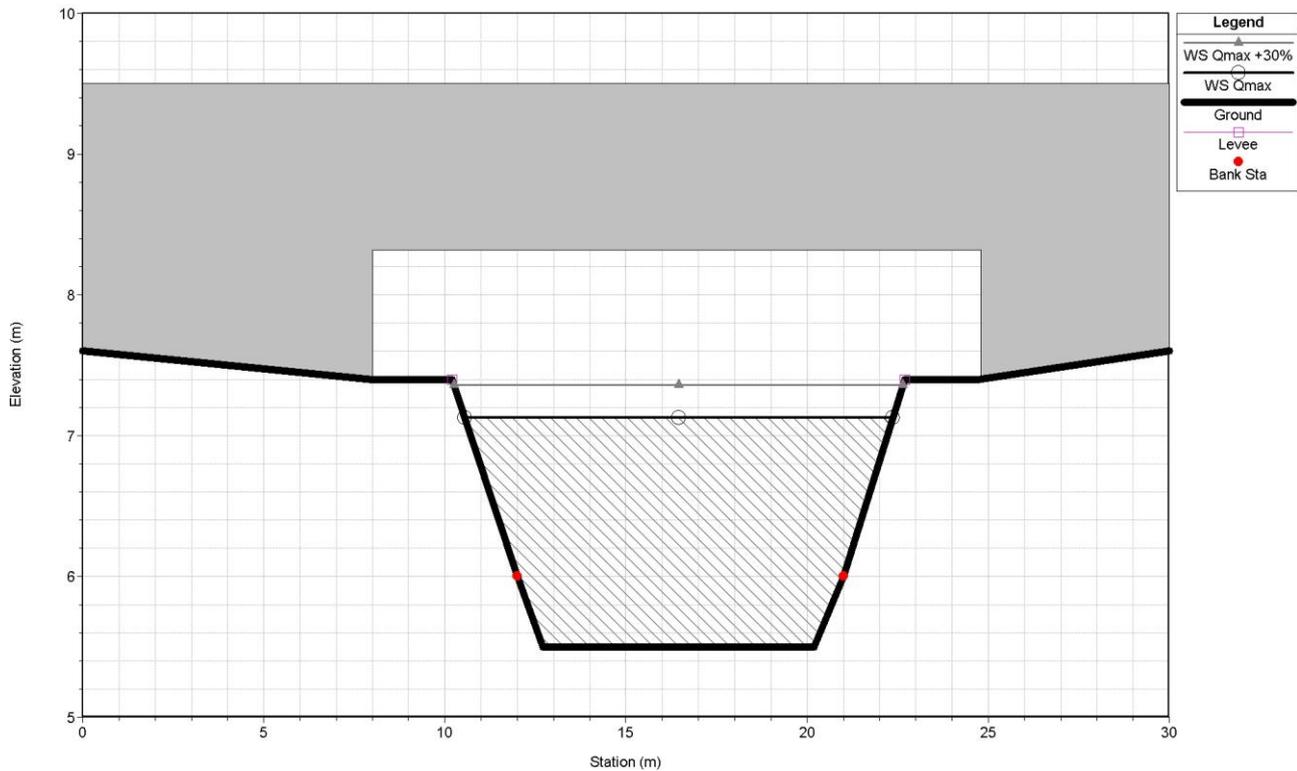


FIGURA 7-2: CAVO PORETTO, LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{MAX+30} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI PROGETTO

Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portate le portate di riferimento con confronto tra lo stato di fatto SF e quello di progetto SP. 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 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
18	7	0	5.840	0.0003	4.0	7.47	7.41	0.44	0.46	7.48	7.42	0.15	0.16
18a	6	946	5.600	0.0002	5.5	7.27	7.15	0.52	0.57	7.28	7.17	0.16	0.18
sezione progetto	5.2	1366	5.500	0.0000	5.5	7.19	7.13	0.42	0.35	7.20	7.13	0.13	0.10
sezione progetto	5.1	1376	5.500	0.0000	5.5		7.13		0.35		7.13		0.10
ponte Bondeno-Cento	5 BR U	1378	5.500	0.0000	5.5		7.12		0.35		7.13		0.10
ponte Bondeno-Cento	5 BR D	1389	5.500	0.0000	5.5		7.12		0.35		7.13		0.10
sezione progetto	4.9	1391	5.500	0.0000	5.5		7.12		0.35		7.13		0.10

sezione progetto	4.8	1401	5.500	0.0005	5.5		7.12		0.35		7.13		0.10
19	4	2156	5.150	0.0005	5.5	7.08	7.08	0.40	0.40	7.09	7.09	0.12	0.12
20	3	2564	4.950	0.0009	11.0	6.93	6.93	0.79	0.79	6.97	6.97	0.24	0.24
22	2	3093	4.500	0.0008	11.0	6.71	6.71	0.69	0.69	6.74	6.74	0.22	0.22
23	1	3712	4.020		11.0	6.44	6.44	0.58	0.58	6.48	6.48	0.34	0.34

TABELLA 7-1: CAVO PORETTO, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO SF E NELLO SP CON PORTATA Q_{MAX}

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Q_{max+30}	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)		
18	7	0	5.84	0.0003	6.0	7.73	7.66	0.49	0.54	7.74	7.68	0.24	0.24
18a	6	946	5.60	0.0002	7.2	7.50	7.38	0.56	0.62	7.52	7.40	0.16	0.18
sezione progetto	5.2	1366	5.50	0.0000	7.2	7.42	7.36	0.43	0.39	7.43	7.37	0.17	0.11
sezione progetto	5.1	1376	5.50	0.0000	7.2		7.36		0.39		7.37		0.11
ponte Bondeno-Cento	5 BR U	1378	5.50	0.0000	7.2		7.36		0.39		7.37		0.11
ponte Bondeno-Cento	5 BR D	1389	5.50	0.0000	7.2		7.36		0.39		7.37		0.11
sezione progetto	4.9	1391	5.50	0.0000	7.2		7.36		0.39		7.37		0.11
sezione progetto	4.8	1401	5.50	0.0005	7.2		7.36		0.39		7.37		0.11
19	4	2156	5.15	0.0005	7.2	7.31	7.31	0.44	0.44	7.32	7.32	0.12	0.12
20	3	2564	4.95	0.0009	14.3	7.14	7.14	0.89	0.89	7.19	7.19	0.25	0.25
22	2	3093	4.50	0.0008	14.3	6.89	6.89	0.79	0.79	6.93	6.93	0.24	0.24
23	1	3712	4.02		14.3	6.60	6.60	0.60	0.60	6.64	6.64	0.30	0.30

TABELLA 7-2: CAVO PORETTO, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO SF E NELLO SP CON PORTATA $Q_{MAX+30\%}$

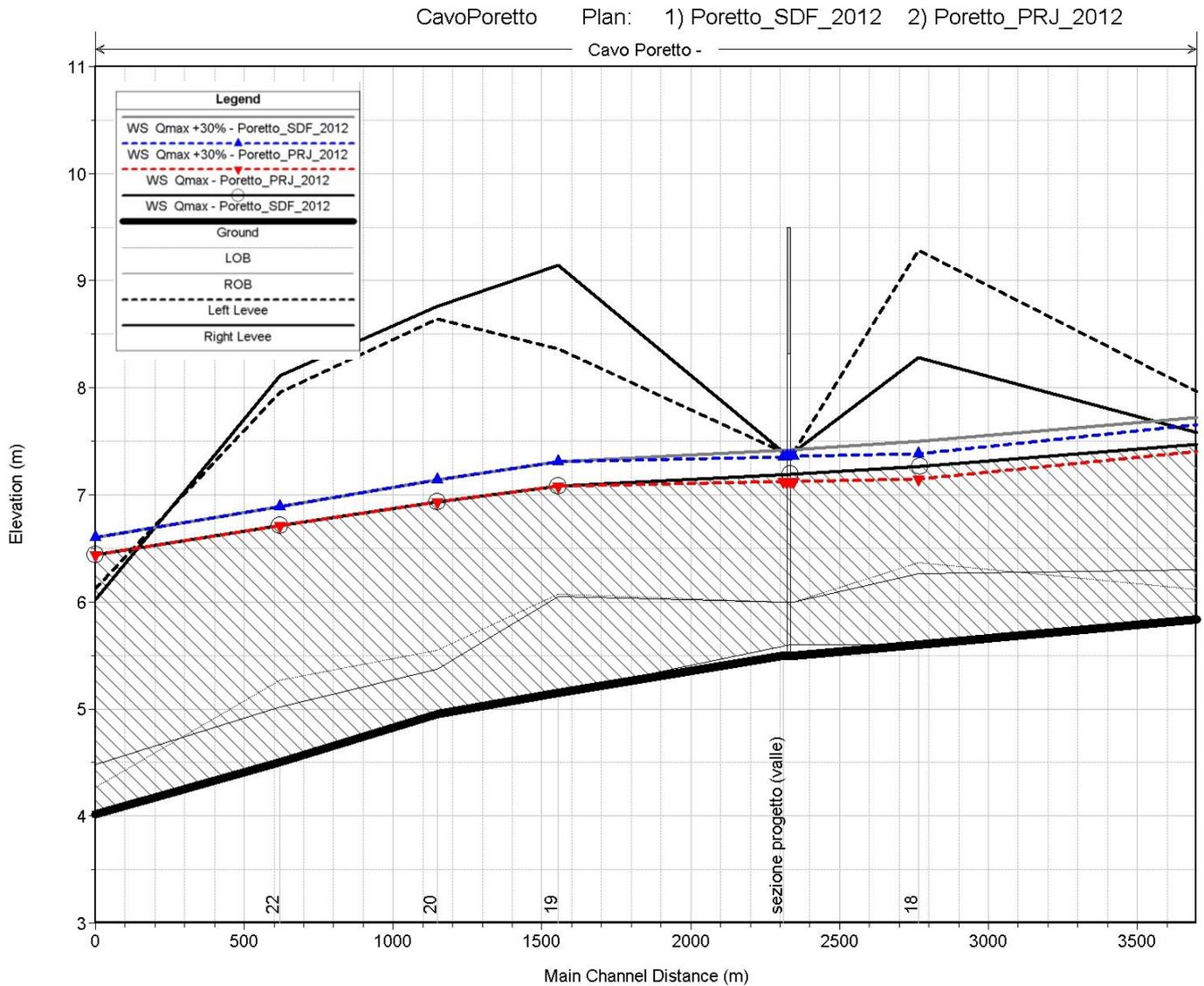


FIGURA 7-3: CAVO PORETTO, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGIO PER LE PORTATE Q_{MAX} E $Q_{MAX+30\%00}$ NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

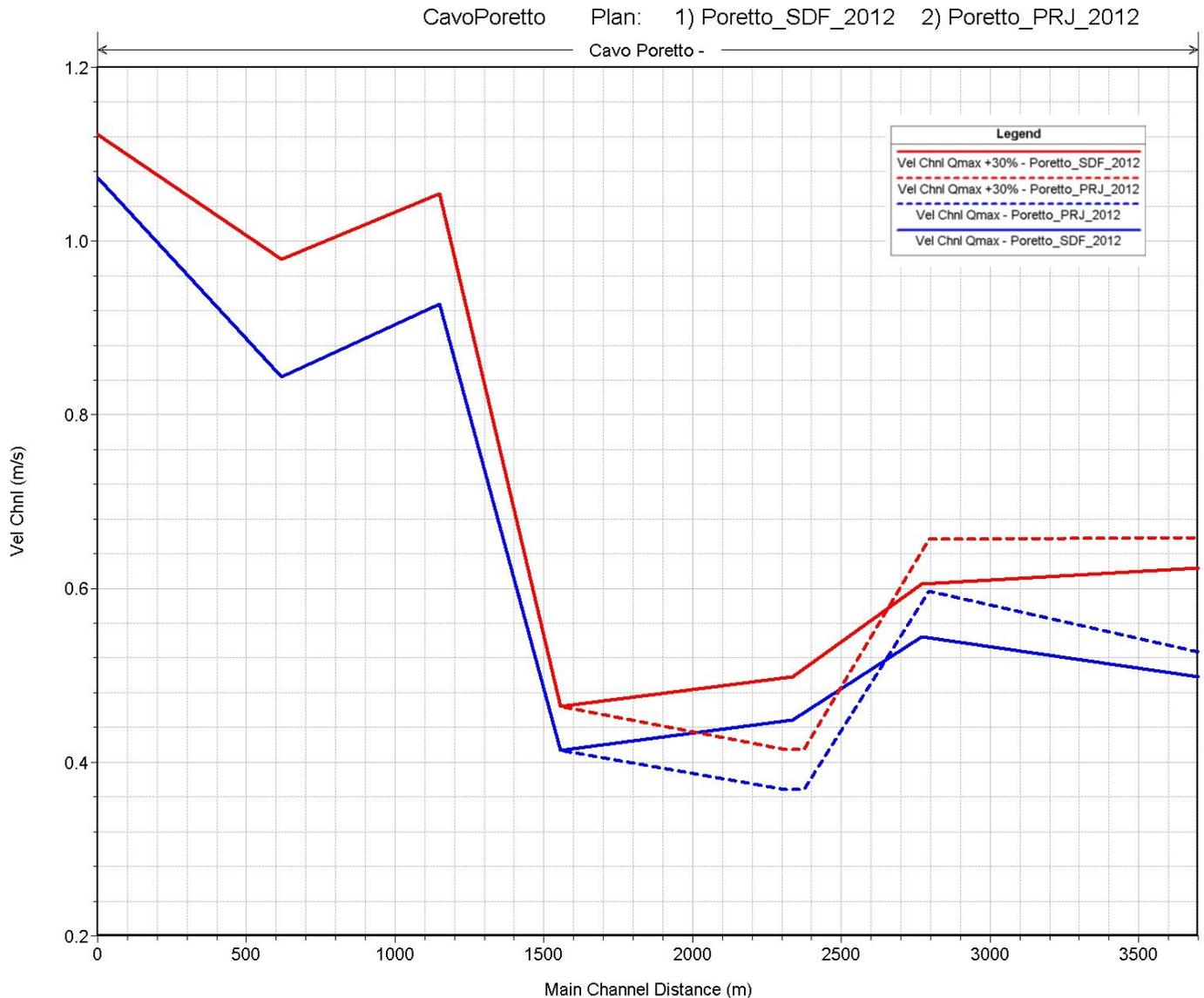


FIGURA 7-4: CAVO PORETTO, , ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

7.2.3. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento sul Cavo Rondone Primo

Stato di fatto

Dall'analisi emerge che solo la portata massima risulta contenuta all'interno della sezione esistente con azzeramento del franco idraulico e livello di piena che raggiunge la quota di 8.60 msm; viceversa è evidente che la portata massima incrementata esce dall'alveo allagando le campagne circostanti e raggiungendo un livello di 9.30 msm. Si osserva che la portata massima risulta contenuta nella sezione di interferenza mentre

sono evidenti, già per tale portata criticità nei primi 700m del tratto simulato. Per la portata incrementata si nota invece una crisi generalizzata lungo l'intero tratto simulato ad eccezione degli ultimi 500m prima della foce. 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 incrementata.

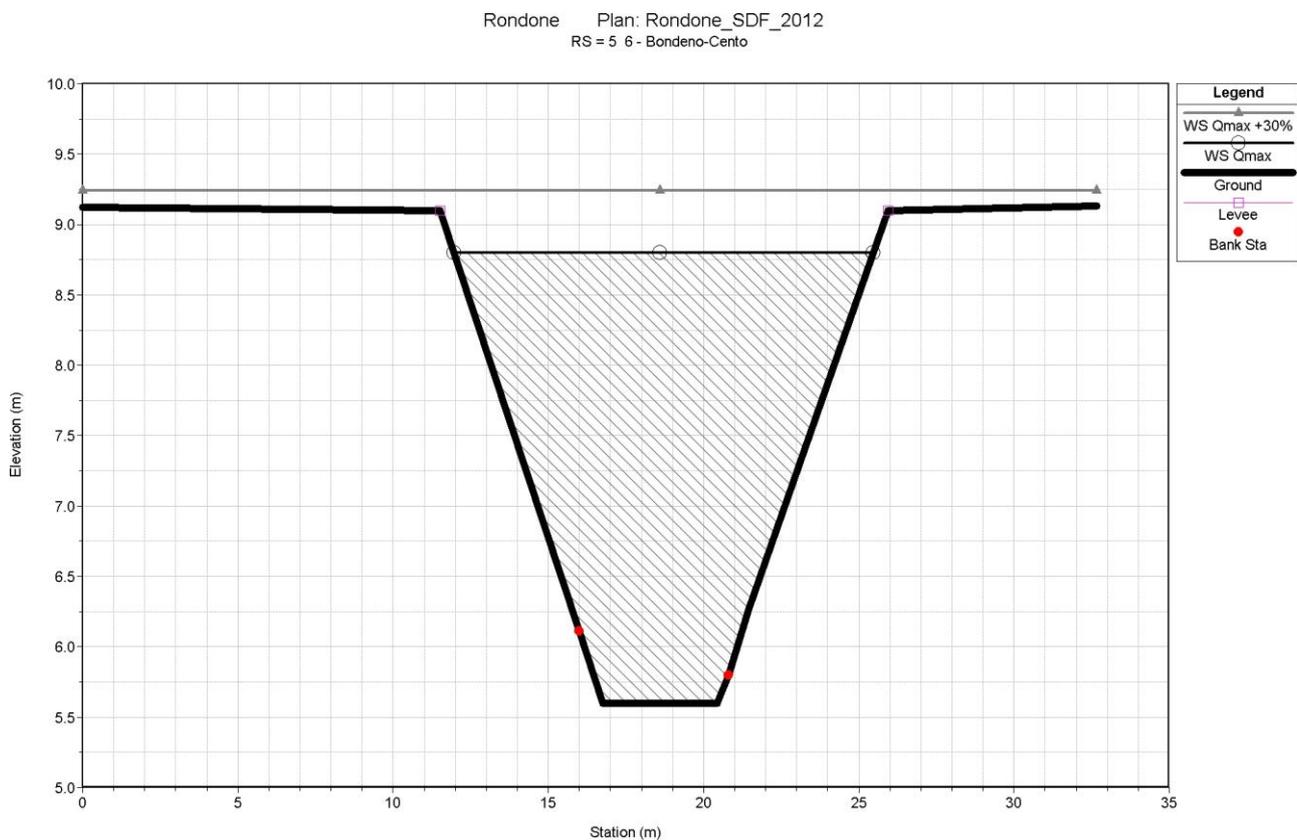


FIGURA 7-5: CAVO RONDONE PRIMO, LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{MAX+30} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un ponte a luce unica con impalcato alto sulle sponde e spalle impostate all'esterno della sezione incisa. Al fine di garantire un franco d'aria minimo di 1.5m rispetto ai cigli spondali e di contenere la portata incrementata si è previsto l'allargamento della sezione d'alveo esistente la cui larghezza a piano campagna viene portata dagli attuali 14.1 m a 16.6 m di progetto. L'allargamento di progetto si estende a monte per 33m in quanto ricomprende anche la deviazione del Diversivo Rondone mentre si estende a valle per 10 m fuori l'ombra del ponte.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta $F_{max}=1,72m$ e $F_{max+30\%}=2,17m$.

Rondone Plan: Rondone_PRJ_2012
RS = 4.7 BR ponte Bondeno-Cento

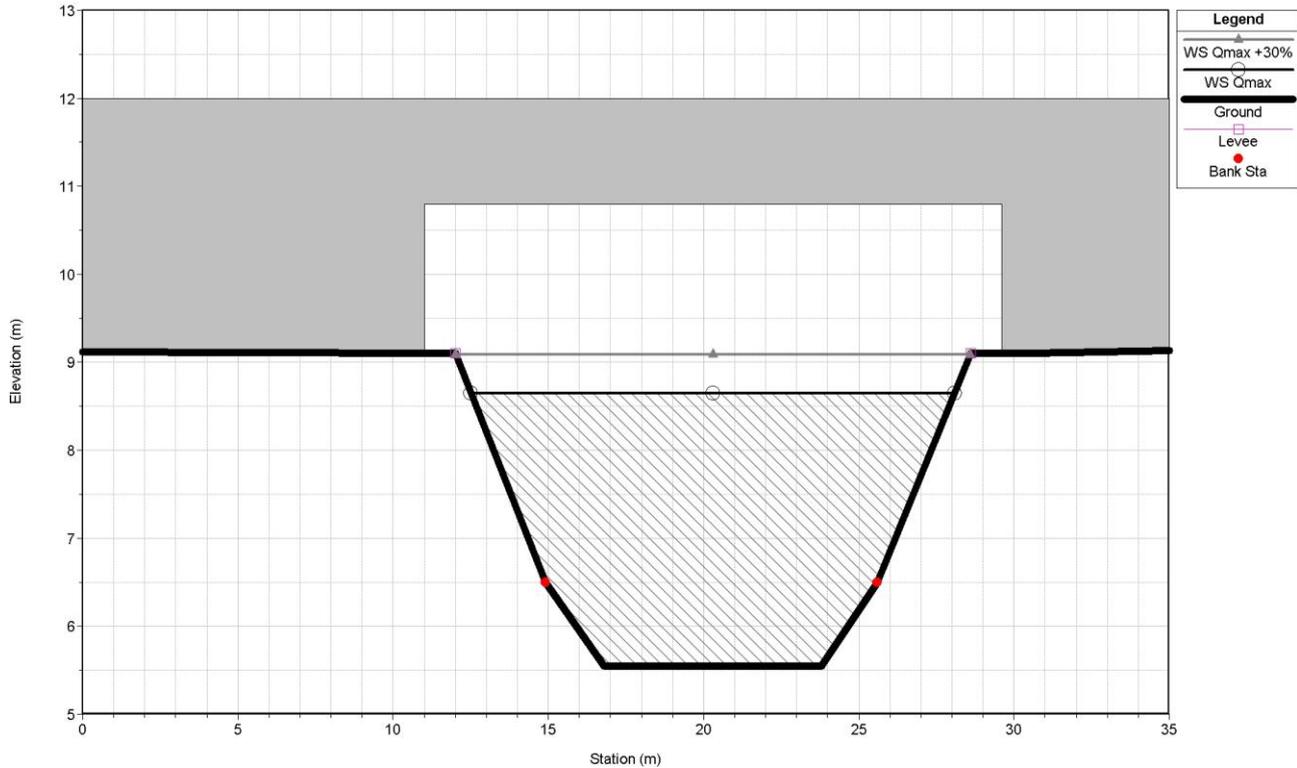


FIGURA 7-6: CAVO RONDONE PRIMO, LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER QMAX E QMAX+30 ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE NELLO STATO DI PROGETTO

Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portata le portate di riferimento con confronto tra lo stato di fatto SF e quello di progetto SP. 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 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
2	7	0	5.50	0.0002	5.0	8.86	8.68	0.14	0.15	8.86	8.69	0.05	0.05
3	6	491	5.40	-0.0006	5.0	8.85	8.68	0.15	0.14	8.85	8.68	0.07	0.05
sezione progetto	5.1	799	5.60	0.0012	16.0		8.66		0.44		8.67		0.10
6	5	839	5.55	0.0000	21.0	8.80	8.65	0.62	0.57	8.82	8.67	0.16	0.13
ponte Bondeno-Cento	4.7 BR U	842	5.55	0.0000	21.0		8.65		0.57		8.67		0.13
ponte Bondeno-Cento	4.7 BR D	854	5.55	0.0000	21.0		8.65		0.57		8.67		0.13
sezione progetto	4.5	857	5.55	0.0012	21.0		8.65		0.57		8.67		0.13

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)		
sezione progetto	4.1	897	5.50	0.0063	21.0		8.65		0.57		8.66		0.12
7	4	977	5.00	0.0004	21.0	8.77	8.62	0.67	0.71	8.80	8.65	0.17	0.17
8	3	1487	4.80	0.0010	21.0	8.66	8.50	0.66	0.72	8.69	8.54	0.21	0.19
10	2	1896	4.40	0.0002	21.0	8.56	8.38	0.73	0.80	8.59	8.43	0.18	0.20
16	1	2496	4.30		21.0	8.39	8.16	0.79	0.89	8.43	8.21	0.20	0.23

TABELLA 7-3: CAVO RONDONE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO SF E NELLO SP CON PORTATA Q_{MAX}

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo	Pendenza	Portata Q _{max+30}	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)		
2	7	0	5.50	0.0002	6.5	9.32	9.12	0.20	0.15	9.32	9.13	0.06	0.04
3	6	491	5.40	-0.0006	6.5	9.31	9.12	0.18	0.13	9.31	9.12	0.06	0.04
sezione progetto	5.1	799	5.60	0.0012	21.0		9.10		0.48		9.11		0.10
6	5	839	5.55	0.0000	27.0	9.24	9.09	0.64	0.62	9.28	9.11	0.27	0.13
ponte Bondeno-Cento	4.7 BR U	842	5.55	0.0000	27.0		9.09		0.62		9.11		0.13
ponte Bondeno-Cento	4.7 BR D	854	5.55	0.0000	27.0		9.09		0.62		9.11		0.13
sezione progetto	4.5	857	5.55	0.0012	27.0		9.09		0.62		9.11		0.13
sezione progetto	4.1	897	5.50	0.0063	27.0		9.08		0.61		9.10		0.13
7	4	977	5.00	0.0004	27.0	9.21	9.05	0.61	0.69	9.25	9.09	0.22	0.26
8	3	1487	4.80	0.0010	27.0	9.11	8.91	0.62	0.71	9.15	8.96	0.21	0.26
10	2	1896	4.40	0.0002	27.0	9.00	8.79	0.75	0.85	9.05	8.84	0.29	0.21
16	1	2496	4.30		27.0	8.81	8.56	0.84	0.94	8.86	8.62	0.20	0.23

TABELLA 7-4: CAVO RONDONE, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO SF E NELLO SP CON PORTATA Q_{MAX+30%}

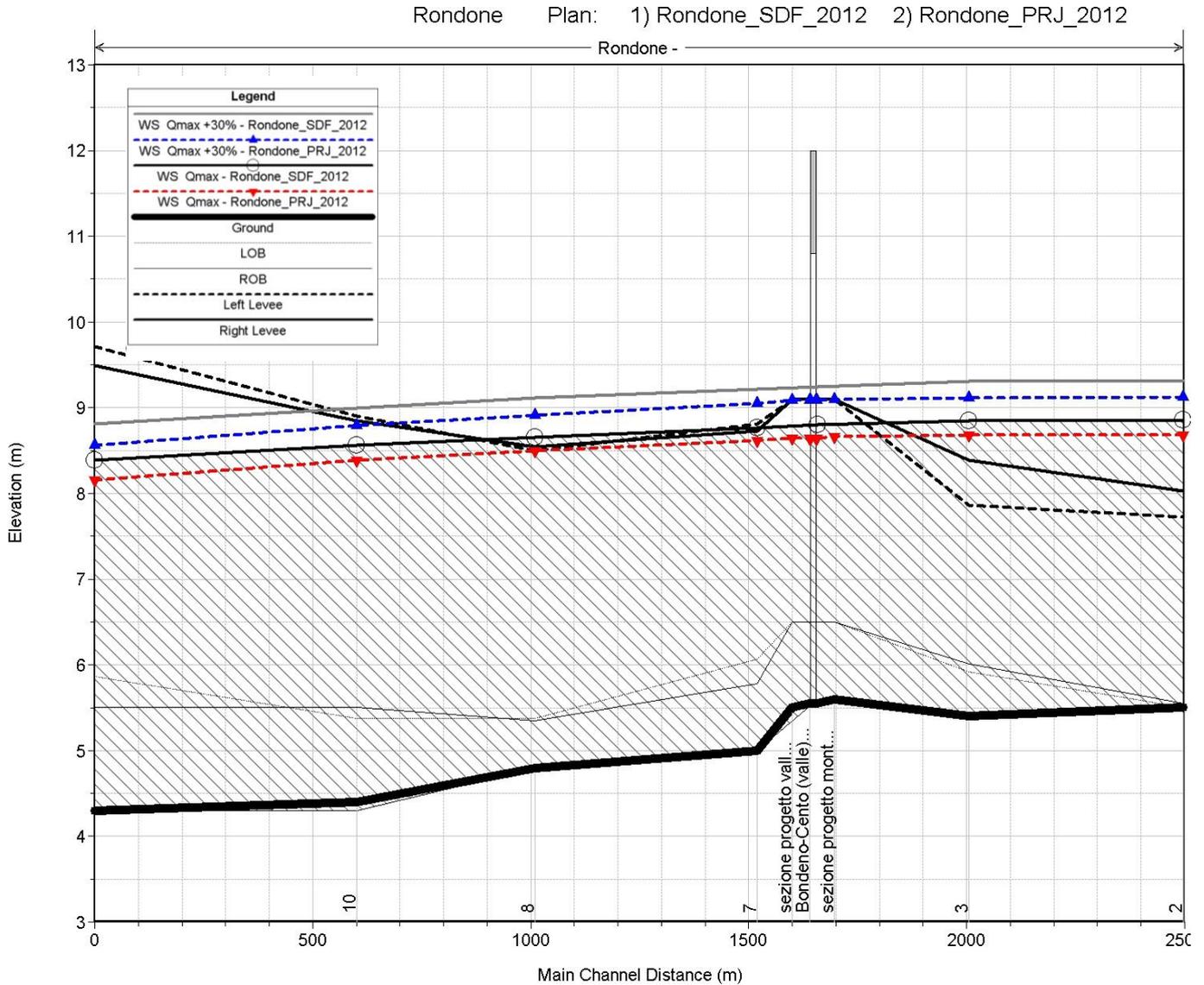


FIGURA 7-7: CAVO RONDONE PRIMO, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER LE PORTATE Q_{MAX} E $Q_{MAX+30\%00}$ NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

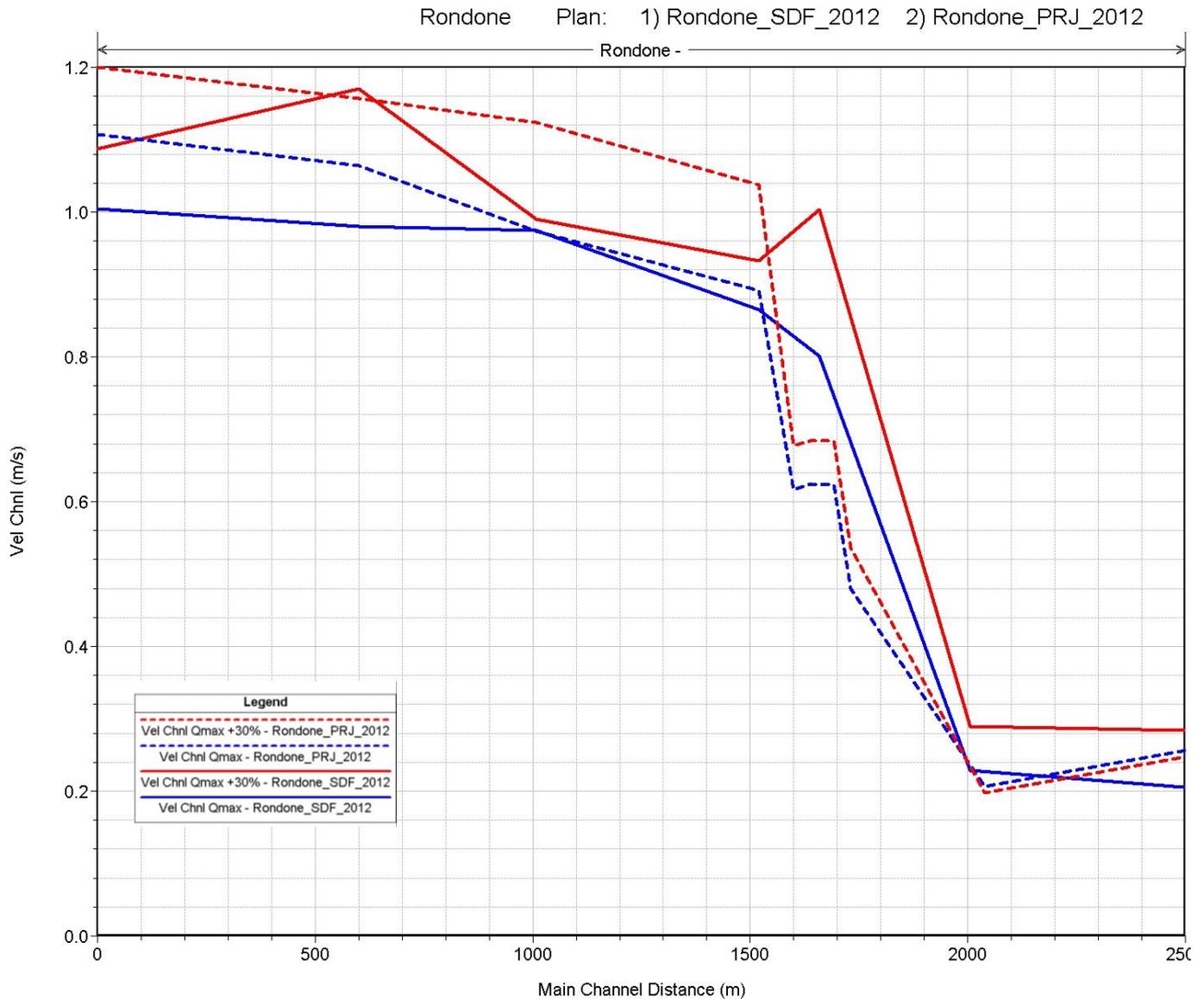


FIGURA 7-8: CAVO RONDONE PRIMO, , ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

7.2.4. Valutazione della compatibilità idraulica

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

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

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

Dai risultati esposti precedentemente, sia in forma tabellare sia in forma grafica, dei profili di rigurgito

calcolati per le portate di riferimento nelle condizioni attuali e di progetto si evince, per entrambi i canali, che nelle sezioni interessate dalla costruzione del nuovo ponte i livelli idrometrici diminuiscono nello stato di progetto a seguito dell'aumento di officiosità idraulica della sezione prodotto dall'allargamento della stessa.

Nel caso del Cavo Poretto il livello idrometrico raggiunto per la portata massima $Q=5.5$ m³/s passa da 7.10 msm nello stato di fatto a 7.03 msm nello stato di progetto; per la portata massima incrementata, $Q=7.2$ m³/s, il livello passa da 7.45 msm a 7.35 msm.

Nel caso del Cavo Rondone Primo il livello idrometrico raggiunto per la portata massima passa da 8.60 msm nello stato di fatto a 8.65 msm nello stato di progetto in quanto in progetto la portata aumenta per il contributo del Diversivo Rondone; per la portata massima incrementata il livello passa da 9.30 msm a 9.09 msm.

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 alle sponde ed alla campagna circostante.

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 comporta un allargamento localizzato della sezione di deflusso e quindi anche delle superfici allagabili riconducibili esclusivamente all'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; in corrispondenza degli interventi il rivestimento spondale esteso a tutta la sezione di progetto favorisce il deflusso con annullamento dell'azione erosiva della corrente sulle sponde.

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 dell'allargamento della sezione idraulica; la modifica riguarda prevalentemente l'assetto planimetrico in quanto non si realizzano variazioni delle quote

spondali per non alterare la capacità recettiva delle acque meteoriche provenienti dalle campagne circostanti e direttamente scolanti nei canali.

Per il Cavo Poretto l'officiosità della sezione varia dagli attuali 8 m² ai 16 m² di progetto.

Per il Cavo Rondone Primo l'officiosità della sezione varia dagli attuali 30 m² ai 40 m² di progetto.

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. L'allargamento d'alveo riduce i livelli idrometrici raggiunti dalla corrente sia per le portate massime oggi transitabili nei canali e consente il transito delle portate massime incrementate oggi non transitabili in alveo.

7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali

La realizzazione dei ponti non richiede la predisposizione di opere provvisionali in quanto la costruzione delle spalle avviene dall'esterno senza interessare i corsi 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 verifiche 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.

Le difese spondali e di fondo saranno realizzate con mantellate continue di massi sia sul Cavo Poretto sia sul Cavo Rondone Primo adottando massi di dimensioni 30-50 cm/cad corrispondenti ad elementi variabili in peso da 50 a 150kg con 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 e con estensione della stessa fin sulle sponde del canale. 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 sviluppate sotto l'ombra del ponte ed estese per 10 m a monte e valle dello stesso.

La continuità del transito per i mezzi consorziali sarà ottenuta sfruttando la percorribilità del Raccordo Bondeno-Cento, è prevista la realizzazione, per entrambi i cavi, di rampe di raccordo delle capezzagne esistenti con la Bondeno-Cento sia a monte sia a valle dell'attraversamento per entrambe le sponde; le piste avranno larghezza di 4.0 m e realizzate con pacchetto di 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.