



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

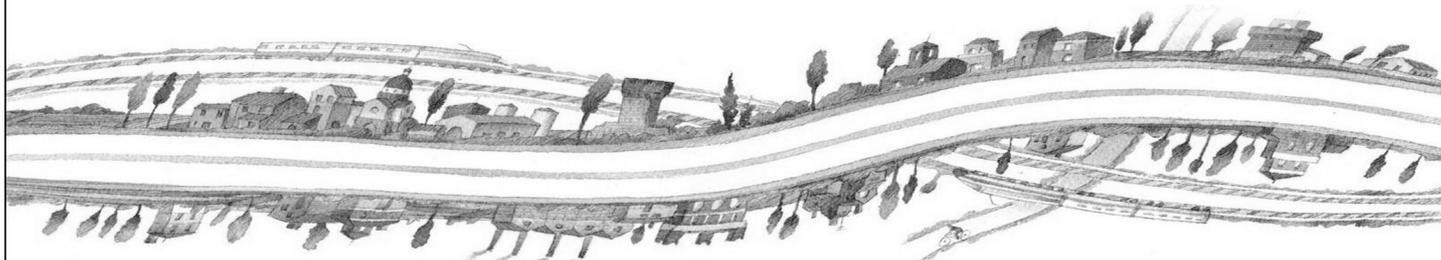
VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE) - Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana

IDROLOGIA E IDRAULICA

IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

DERIVAZIONE SANTA BIANCA

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.
5314	PD	0	D05	DWS09	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	12
5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	13
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	13
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA)	17
6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	19
7. VERIFICHE IDRAULICHE.....	20
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE.....	20
7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO.....	21
7.2.1. Condizioni di riferimento	21
7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento.....	21
7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica.....	26
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	28
8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	29

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 Derivatore Santa Bianca, corso d'acqua di bonifica di sola funzione irrigua interferito direttamente dall'opera in progetto. Il canale viene attraversato dal Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana a metà del suo corso che si sviluppa dal Fiume Panaro al Canale di Cento e fornisce acque per l'irrigazione alle campagne circostanti.

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

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 Ferrara con il parere prot. 10429 del 16/05/2011 espresso per la Conferenza dei Servizi (CdS). Le prescrizioni avevano carattere generale e riportavano richieste suddivise per attraversamenti risolti con ponti a luce libera e per quelli risolti mediante inserimento di manufatti tombinati; durante l'attuale fase progettuale sono stati esaminati, con i tecnici del Consorzio, tutti gli attraversamenti in progetto e sono state adottate scelte condivise per la risoluzione di ciascuno di essi.

Per quanto riguarda i ponti a luce libera i criteri e le raccomandazioni prevedono:

- *verifiche idrauliche da sviluppare per lo stato di fatto e di progetto adottando come portata di riferimento la portata a piene rive (portata massima sostenibile);*
- *nei punti d'intersezione in cui si realizzeranno ponti a luce libera si dovranno strutturare i manufatti in modo da evitare il posizionamento di pile di appoggio all'interno dell'alveo del canale e mantenere un franco minimo di ml. 1,00 tra il sottotrave e il piano campagna o la sommità arginale del punto intersecato;*
- *nei ponti a luce libera dovranno inoltre essere previsti, sia in destra che in sinistra idraulica, appositi sottopassi all'arteria stradale, realizzati lungo la canalizzazione demaniale o nelle immediate vicinanze,*

con una larghezza minima di ml. 4,00 ed un'altezza utile minima di ml. 5,00, posizionati a quota tale da evitare ristagni di acque meteoriche sul piano di transito;

- *se i sottopassi di cui al punto precedente saranno posizionati non in linea con il canale ma nelle immediate vicinanze, dovranno essere previste apposite strade di raccordo tra gli stessi e la canalizzazione dotate, se necessario, delle rampe di salita e discesa dagli argini. Tali strade di raccordo dovranno essere appositamente strutturate tramite massetto in stabilizzato di adeguato spessore in modo da essere percorribili, anche in condizioni di avversità climatiche, con i mezzi abitualmente impiegati per la manutenzione e la gestione della canalizzazione;*
- *eventuali modifiche del tracciato dell'alveo dovranno prevedere, a cura e spese del titolare dell'opera viaria, l'acquisizione al demanio dello Stato per opere di bonifica delle superfici necessarie al nuovo tracciato, compreso di frazionamenti ed atti notarili. Inoltre i nuovi tratti dovranno essere realizzati con pendenza e sezioni tali da garantire almeno le attuali portate, sia irrigue che di scolo, dei canali. Le sezioni e i profili proposti per i nuovi tracciati all'atto della richiesta di autorizzazione dovranno essere corredati da apposite relazioni idrauliche.*
- *in presenza di ponti a luce libera si dovrà procedere al rivestimento di scarpate e fondo sia nel tratto sottostante l'impalcato che per ulteriori 10 ml. a monte ed a valle dello stesso;*
- *la progettazione dell'opera dovrà prevedere anche tutti gli interventi necessari per garantire il mantenimento della funzionalità dei corsi d'acqua, di scolo ed irrigui, di competenza privata intersecati dalla nuova autostrada e dalla viabilità di raccordo;*
- *tutti gli interventi che si andranno ad attuare sulla canalizzazione dovranno prevedere la realizzazione delle opere provvisoriale necessarie ad assicurare la continuità del flusso idraulico durante tutto il periodo di cantiere.*

In fase di progettazione definitiva sono stati svolti vari incontri con i tecnici del Consorzio di Ferrara finalizzati ad approfondire i criteri generali esposti nel parere di CdS nonché ad esaminare nel dettaglio i singoli attraversamenti e per ciascuno di essi definire le prescrizioni specifiche. Durante tali incontri sono stati concordati ulteriori prescrizioni generali:

- *i sottopassi funzionali al passaggio dei mezzi consorziali potranno essere ridotti ad una altezza minima di 4.0m solo per quei canali specificamente discussi con il CB; la larghezza dovrà essere comunque di 4m (netti);*
- *se il passaggio dei mezzi consorziali avviene sulla sponda e sotto l'impalcato del ponte dovrà essere garantita una larghezza minima tra ciglio sponda e spalla del ponte di almeno 5-7m;*

- se non è previsto il passaggio dei mezzi sotto il ponte dovrà comunque essere garantita una distanza minima tra ciglio sponda e spalla ponte di almeno 2-3m; tale superficie dovrà essere rivestita in massi intasati di cemento analogamente alla sezione sotto l'ombra del ponte;
- in alcuni casi il rivestimento spondale a monte e valle dei tombini potrà essere ridotto a 5m anziché i 10 prescritti in relazione all'importanza del canale e comunque da definirsi puntualmente.

Nell'analisi specifica del Derivatore Santa Bianca è stato richiesto e sono stati concordati con il Consorzio i seguenti interventi:

1. realizzazione di nuovo attraversamento con ponte in luce rispettando il franco di 1.5m sulla piena di progetto definita in base alla portata massima sostenibile;
2. continuità del passaggio dei mezzi consorziali ottenuta realizzando piste di raccordo tra le capezzagne esistenti in destra e sinistra del canale con il Raccordo Bondeno-Cento che potrà essere percorso e superato dai mezzi d'opera;
3. realizzazione di opere di protezione del fondo e spondale estese all'ombra del ponte e prolungate a monte e valle per almeno 10m; il rivestimento dovrà inoltre estendersi anche a valle del ponte in progetto.

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

3. CRITERI GENERALI

3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

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

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

Scopo di questa fase è la predisposizione di uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche del corso d'acqua nel tratto di interesse, intese quali idrogrammi di piena (livelli e portate), ricavate attraverso analisi idrologiche e processi di modellazione matematica, e le condizioni idrauliche al contorno, sia a monte che a valle. Il canale Santa Bianca è un derivatore irriguo per cui i riferimenti idrologici sono riconducibili alle massime portate derivabili in funzione sia della presa sia delle capacità di invaso e lento deflusso delle acque.

Per la definizione completa della geometria del Derivatore Santa Bianca è stato realizzato uno specifico rilievo topografico nell'estate del 2011 nell'ambito del quale è stata rilevata la geometria del canale descritta attraverso 12 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 2300m che risulta descrivere l'intera asta del canale dalla presa sul Panaro alla foce nel Canale di Cento.

Fase 2^a: Analisi idrologia e idraulica del corso d'acqua

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

Il Derivatore Santa Bianca è un corso d'acqua artificiale con sola funzione irrigua; le acque vengono immesse nel canale nel periodo primaverile-estivo, indicativamente da marzo ad ottobre, attraverso la presa sul fiume Panaro alla Chiavica Santa Bianca. Il canale è poi collegato per lo scolo terminale al Canale di Cento. Il Santa Bianca risulta completamente arginato dalla presa alla foce e non sottende pertanto nessun bacino di scolo naturale.

La portata di progetto è quindi determinata come portata massima sostenibile dal canale lungo il suo intero tratto; essa risulta determinata sia in relazione alla sezione di deflusso disponibile ed invasabile per irrigazione sia in relazione alla presenza della botte sifone esistente sotto il Canale Acque Basse. Trattandosi di canale irriguo la portata è definita al massimo invaso disponibile utilizzato durante la stagione irrigua.

La progettazione è stata quindi condotta adottando come portata di riferimento la massima portata di esercizio del canale corrispondente a quella di massimo invaso irriguo. Non risulta possibile definire pertanto una portata centennale in quanto non sussistono le condizioni idrauliche di scolo.

L'analisi idrografica ha preso in esame i parametri caratteristici del corso d'acqua che nel caso specifico non hanno un bacino di riferimento ma sono riconducibili alla lunghezza dell'asta, alla geometria delle sezioni trasversali, alle quote e pendenze che ne governano la funzionalità irrigua; nonché alla presenza di manufatti di regolazione.

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 il Derivatore Santa Bianca è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale estesa a tutto il canale dal Panaro al Canale di 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 Raccordo Bondeno-Cento 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. La definizione dei profili idraulici nello stato di fatto, così come in quello di progetto, è fortemente condizionata dalla presenza della botte sifone sotto il Canale Acque Basse;

essa rappresenta una strozzatura al deflusso che limita la portata effluente e che pertanto produce un allagamento per rigurgito della sezione di canale a monte.

Non si rilevano viceversa alterazioni per l'attraversamento di progetto. Dall'analisi modellistica nello stato di fatto si sono ricavati i vincoli geometrici che l'opera di attraversamento deve rispettare, in termini di quota dell'intradosso e posizione delle spalle del ponte.

Il modello adottato per le simulazioni matematiche effettuate, integra numericamente le equazioni differenziali del moto vario per correnti monodimensionali gradualmente variate. L'ipotesi di monodimensionalità è ampiamente giustificata nella grande maggioranza dei tratti dei corsi analoghi a quelli in esame; essa risulta poco corretta solo in corrispondenza di brusche variazioni nella geometria della sezione liquida trasversale, ma in tali circostanze il raffittimento del rilievo geometrico limita le possibili fonti di imprecisione.

Il modello utilizzato, è *HEC-RAS River Analysis System*, elaborato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers degli U.S.A.* (versione 4.1.0, gennaio 2010).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre quaranta nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni della portata, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica di portata nota, per effetto della capacità di laminazione naturale dell'alveo, della sua resistenza d'attrito, della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

Il modello, calcola i profili di moto vario per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista. Il programma, è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di

portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,
 Z_1, Z_2 quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,
 V_1, V_2 velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,
 α_1, α_2 coefficienti di velocità,
 h_e perdita di carico nel tratto 1-2.

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

- descrizione completa del tronco fluviale, costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni di

rilievo trasversali e relativo loro posizionamento plano-altimetrico;

- descrizione geometrica di opere trasversali (ponti e relativi rilevati di accesso, tombini 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 della bonifica del Consorzio della Pianura di Ferrara comprende un vasto territorio che precedentemente apparteneva a vari consorzi della bassa pianura nel tratto delimitato dal fiume Panaro fino al mar Adriatico; nello specifico il territorio tra Panaro e Ferrara apparteneva al Consorzio Valli di Vecchio Reno. Il comprensorio di interesse è caratterizzato da una morfologia piatta sulla quale le fluttuazioni antiche del Reno hanno originato i paleoalvei 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 22 metri sul livello del mare all'estremo sud-ovest, fino a meno di 4 metri 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 65% del totale della superficie, seguono le superfici urbanizzate 20%, le superfici destinate ad colture arboree e boscate 15%. Il territorio è soggetto al clima continentale moderatamente temperato della pianura padana ed è scarsamente influenzato dalla vicina presenza del mare Adriatico. Le precipitazioni sono numericamente scarse ma distribuite uniformemente nelle quattro stagioni, con valori più alti in autunno, primavera e estate e più bassi in inverno; la piovosità media annua è dell'ordine dei 700-600 mm.

Il comprensorio di bacino 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 Derivatore Santa Bianca alla progressiva chilometrica 9+067 del tratto C in località Cantagallo; il tracciato si presenta in curva orientato lungo la direttrice NE-SW e taglia il canale in un tratto dove l'alveo è rettilineo ma limitato ad est ed ovest da curve sinuose. La scelta del punto di interferenza ha tenuto conto sia delle esigenze stradali ma anche di quelle idrauliche cercando di "centrare" l'interferenza nel breve ma sufficiente tratto rettilineo del canale.

Il Raccordo si presenta in rilevato alto sulla campagna imposto dalla necessità di superare il Canale Acque Basse ed il Derivatore Santa Bianca; i canali sono distanti fra loro circa 250m ed entrambi sono arginati. La necessità di inserire sotto il nastro stradale, in corrispondenza del canale Acque Basse, due sottopassi per la continuità dei mezzi d'opera ha richiesto la realizzazione di ponti con intradosso alto sulla campagna circostante funzionale sia al superamento delle arginature sia al superamento dei passaggi carrabili consorziali di progetto.

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 sud e nord collegate che consentono l'ingresso e l'uscita sulla viabilità di progetto e che pertanto permettono il passaggio dei mezzi consorziali sia in direzione sud-nord, sfruttando il raccordo, sia in direzione est-ovest collegamento le capezzagne esistenti ai piedi delle arginature.

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il Derivatore Santa Bianca è un canale di irrigazione con origine dal Fiume Panaro con chiavica di derivazione in località La Coronella scorre incassato nella campagna fino a Cà Alto con asse in direzione ovest est ed attraversa la S.P. di Casumaro con ponticello; il secondo tratto è arginato, l'alveo comincia ad essere pensile sulla campagna con corpi arginali che via via diventano più alti e sinuosi. Nella seconda metà del suo tracciato attraversa il canale Acque Basse sottopassandolo con 2 tubazioni circolari che risultano in parte sifonate; più oltre prosegue fino alla foce nel Canale di Cento.

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.

Il canale ha una lunghezza complessiva di 3370 me l'attraversamento previsto della Bondeno-Cento-Cispadana è ubicato circa a metà tracciato prima del sottopassaggio dell'Acque Basse; la sezione d'alveo presenta larghezza superiore sempre maggiore di 10m.

Lunghezza dell'asta principale	3,370	km
Elevazione alveo alla chiavica iniziale	7,92	msm
Elevazione della sezione di chiusura	7,24	msm
Distanza dalla foce nel Canale di Cento	1,370	km

TABELLA 5-1: DERIVAZIONE SANTA BIANCA, CARATTERISTICHE FISICHE SOTTESE ALLA FOCE

Nel tratto d'interferenza il canale presenta sezione arginata di forma regolare e costante; le arginature si alzano di circa 1.5m sulla campagna circostante mentre il fondo alveo è depresso, rispetto al coronamento arginale, di circa 2.6m. All'interno del canale non sono presenti banche intermedie e la sponda deprime direttamente con pendenza 2:1 fino al fondo alveo; anche all'esterno, vista la modesta altezza del rilevato sulla campagna, non sono presenti banche intermedie. La larghezza da massima superiore è di 14.3m mentre la larghezza di fondo è di 5.2m.

Attualmente il passaggio dei mezzi consorziali avviene lungo le arginature ed al piede delle stesse; la

larghezza arginale è limitata a 3.0-3.5 m 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 sono 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.

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	1FEA225
NOME	DERIVAZIONE SANTA BIANCA

DATA RILIEVO	27/01/2012	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	
LOCALITA'	Canatalupo	
COMUNE	Bondeno	
PROVINCIA	Ferrara	
PROGRESSIVA		
FOTOGRAFIE	1FEA225_1.jpg	1FEA225_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	1688842.96
	GAUSS BOAGA Y	4968966.62
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (km2)	
	LUNGHEZZA (m)	3369
	SORGENTE	fiume Panaro
	FOCE	Canale di Cento
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	misto con tratti sinuosi alternati a tratti rettilinei con con curve angolate

	TIPO SEZIONE		<i>arginato</i>
	TIPO ALVEO		<i>alveo inciso parzialmente pensile di forma trapezoidale complessa con base larga, banche intermedie interne e sponde regolari 1:1 - B>H</i>
	EROSIONI		<i>fondo alveo stabile, con erosioni di sponda evidenti con scavo al piede della riva</i>
CARATTERISTICHE CORSO D'ACQUA	RANGO		<i>principale</i>
	USO		<i>irrigazione</i>
	GRANULOMETRIA		<i>limi e argille</i>
	AMBIENTE FLUVIALE		<i>canale di origine artificiale rinaturalizzato con sponde inerbite e sfalciate regolarmente - canneto diffuso di elofite - assenza di vegetazione riparia - fauna ittica ed anfibia (rane), mammiferi di piccola taglia (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: pendenza di moto uniforme a valle</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler		<i>21-24</i>
NOTE	<i>poco a valle botte a sifone con 2 tubi in GLS DN100cm per sottopasso Canale Acque Alte</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 sinuoso con alternanza di curve a tratti rettilinei, nel punto specifico di passaggio del Raccordo il canale è rettilineo per 30m limitato a est ed ovest da due curve. Il ponte di progetto attraversa sul tratto rettilineo mentre i rilevati di approccio interessano anche le porzioni in curva tuttavia solo per l'ancoraggio degli stessi ai corpi arginali.

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 12 sezioni trasversali, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo e la campagna circostante; il tratto rilevato e restituito è di circa 2200m.

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 della Derivazione Santa Bianca; l'attraversamento di progetto sarà ubicato nel tratto compreso tra le sezioni 61 e 61A.

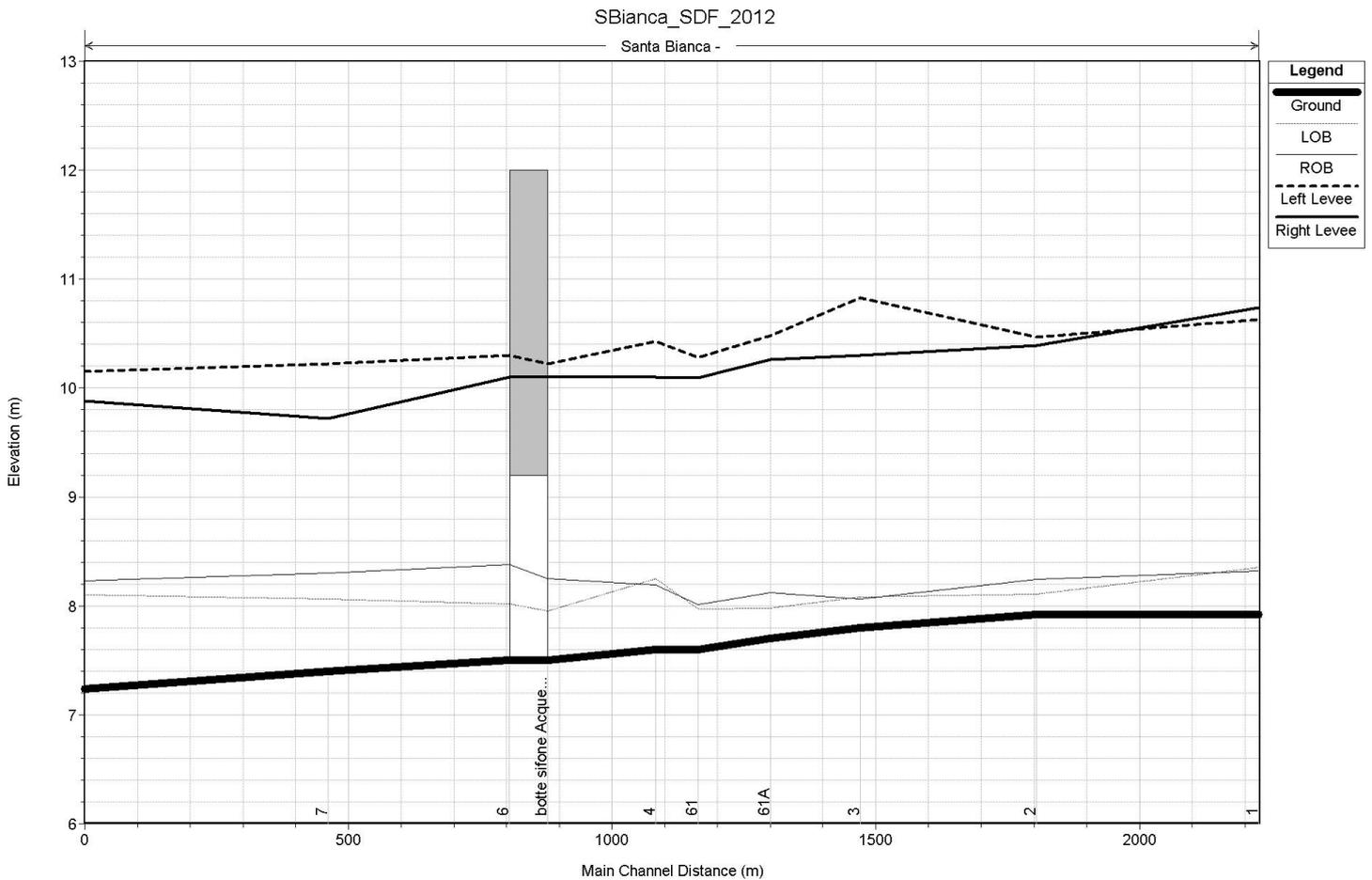


FIGURA 5-1: ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La portata di riferimento determinata per la verifica e progettazione idraulica è la portata irrigua di esercizio che risulta il cui deflusso risulta possibile nella sezione del canale, lungo l'intero tratto, in condizioni di massimo invaso.

Trattandosi infatti di un canale irriguo il massimo invaso rappresenta la condizione limite di deflusso esercitata nel canale e governata dal Consorzio di Bonifica; essendo il canale a completa regolazione non sono possibili portate superiori a quelle contenibili in alveo.

Dalle indagini morfologiche ed idrologiche emergono due situazioni differenti:

- il canale è caratterizzato da sezioni simili lungo l'intero tratto pertanto la portata transitabile attraverso tali sezioni risulta essere dell'ordine dei 20 m³/s;
- il canale è altresì caratterizzato dalla presenza delle tubazioni di sottopassaggio del Canale Acque Alte, tali opere limitano significativamente la portata transitabile attraverso di essi; le acque in deflusso vanno in pressione all'interno delle tubazioni e i livelli rigurgitano verso monte fino al completo invaso dell'alveo; tale situazione definisce la portata massima attuale in $Q_{max}=9.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

E' stata quindi scelta come portata massima quella oggi sostenibile dalla sezione del canale esistente e dai relativi manufatti presenti; la portata di progetto è quindi $Q_{max}=9.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si precisa inoltre che qualora la sezione di sottopasso fosse adeguata a portate superiori, possibilità oggi difficile da immaginare, la sezione del canale e quindi anche le opere in progetto risultano adeguate a deflussi di valore fino a 20 m³/s.

7. VERIFICHE IDRAULICHE

7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE

L'attraversamento in progetto sulla Derivazione Santa Bianca 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 21m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta inclinato e forma un angolo di 74° con l'asse del canale).

Le analisi idrauliche hanno dimostrato, come si vedrà nel seguito, che la sezione attuale del canale è tale da consentire il deflusso di portate superiori alla massima portata di esercizio del canale tuttavia la "strozzatura" prodotta dalla botte sifone sotto il canale Acque Basse produce rigurgiti verso monte fino al massimo invaso, la portata sostenibile dal canale sull'intera tratta risulta pertanto limitata al valore massimo invasabile.

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte, è stato impostato ad una quota di 12,63 msm garantendo un franco di 2.15m su entrambe le sponde superiore a quanto richiesto dal Consorzio ed in linea con le Direttive dell'Autorità di bacino del Fiume Po e con le NTC/2008.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione delle sponde e fondo del canale viene garantita attraverso la connessione delle strade interpoderali esistenti alle piste di servizio specificatamente realizzate tali da collegare le percorrenze arginali con le viabilità interpoderali esistenti. La continuità monte e valle lungo il canale viene garantita con accesso ed uscita dal Raccordo mediante piste di servizio e rampe di collegamento; l'attraversamento di sponda sarà garantito, analogamente a quanto avviene attualmente con il passaggio sui ponti esistenti.

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 12 sezioni per una lunghezza complessiva di 2230m oltre a 2 sezioni specifiche del ponte esistente e della botte sifone;
- 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...;
- portata di riferimento: $Q_{max}=9.0 \text{ m}^3/\text{s}$;

I calcoli idraulici per la definizione del profilo di inviluppo di piena sono stati svolti con riferimento alle seguenti condizioni fisiche del corso d'acqua:

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

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

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

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

Stato di fatto

Dall'analisi emerge che la portata massima, come già detto portata di massimo invaso, risulta contenuta all'interno delle arginature esistenti con azzeramento del franco idraulico e livello di piena che raggiunge, alla sezione d'interferenza, la quota di 10.10 msm.

Dall'analisi dei profili di rigurgito della corrente lungo l'intero tratto simulato è evidente l'effetto prodotto dalla strozzatura della botte sifone sotto il canale Acque Basse; le tubazioni esistenti sono in grado di far defluire

una portata, con funzionamento sotto pressione, pari alla portata di progetto. A monte si genera un rigurgito con invaso della sezione d'alveo che nei punti di massima depressione delle arginature raggiunge il livello del coronamento arginale; a valle invece si osserva un rialzo con rialzo dei profili senza che ciò tuttavia raggiunga le quote arginali.

Il franco tra il livello idrometrico di massimo invaso ed il coronamento arginale è di circa 40cm.

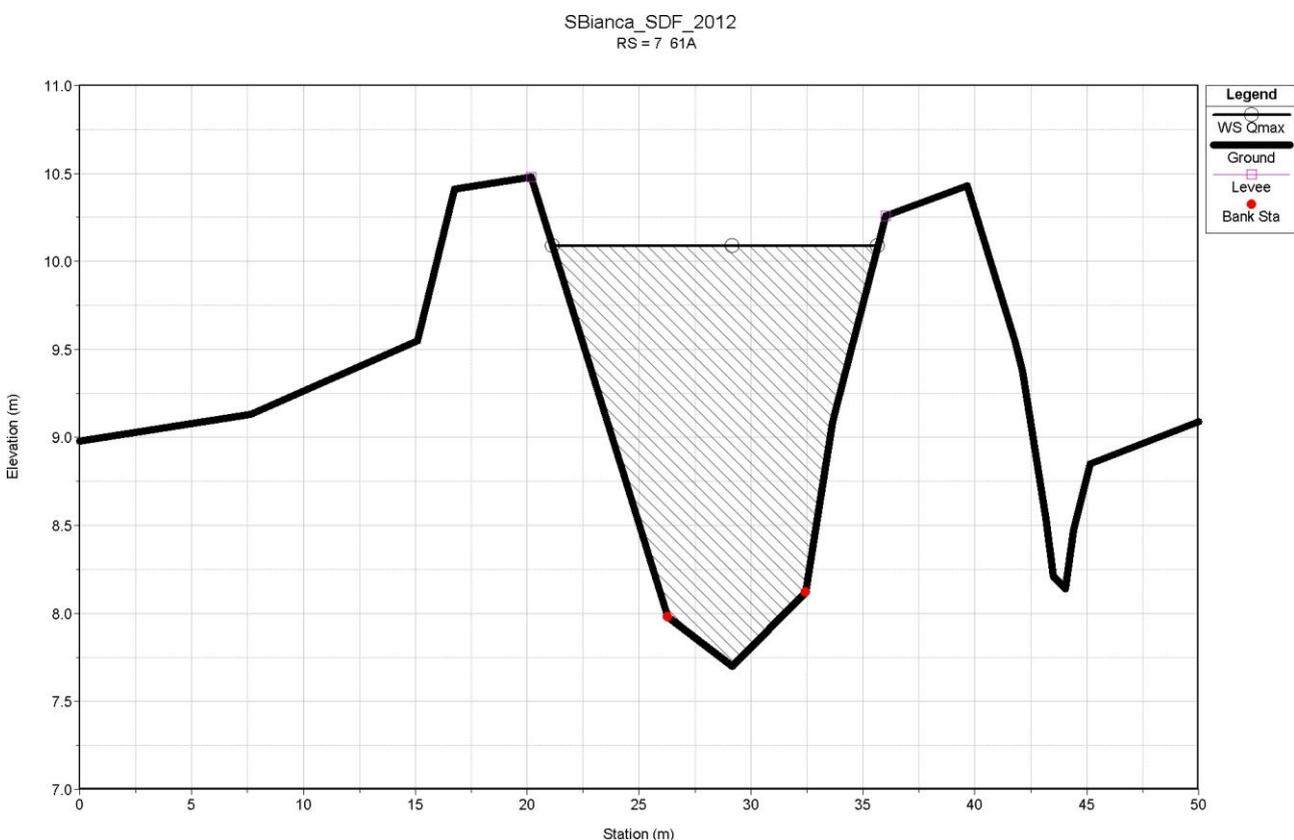


FIGURA 7-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} ALLA SEZIONE DEL PONTE DI PROGETTO NELLO STATO DI FATTO

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 e tali da consentire il deflusso e l'invaso delle acque in forma indisturbata e senza rigurgiti. Nell'ambito del progetto è inoltre previsto il risonamento del canale, con allargamento della sezione al fine di costruire una sezione con sponde a scarpa 3/2. Il progetto prevede l'intradosso del ponte ad una quota minima di 12,63 garantendo il franco idraulico richiesto.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta $F_{max}=2.20m$.

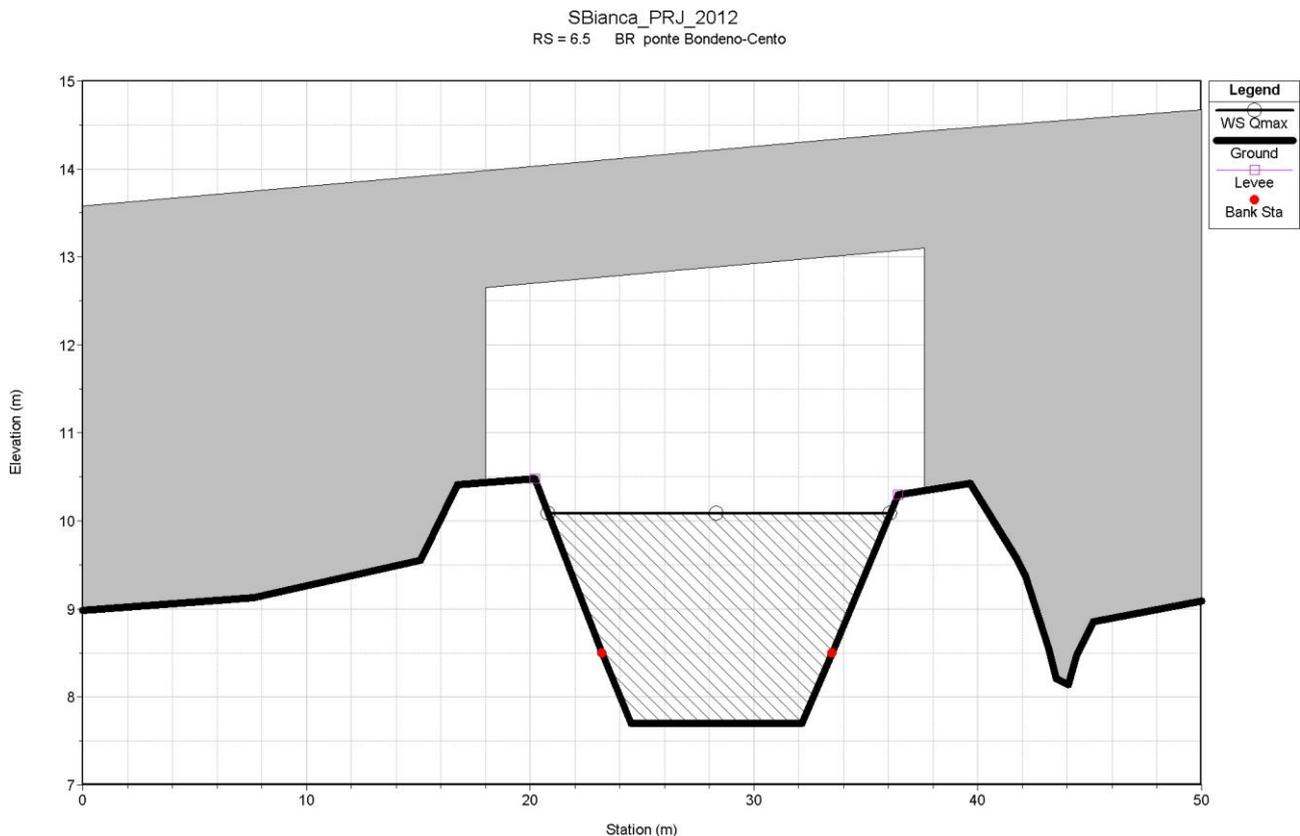


FIGURA 7-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} ALLA SEZIONE DELL'ASSE STRADALE NELLO STATO DI PROGETTO

Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portata la portata di progetto $Q_{max}=9.0 m^3/s$ riferite alla situazione attuale ed a quella 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} (m^3/s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
1	10	0	7.92	0.0000	9.0	10.21	10.19	0.44	0.44	10.22	10.20	0.13	0.13
2	9	421	7.92	0.0004	9.0	10.15	10.13	0.45	0.46	10.17	10.15	0.13	0.14
3	8	756	7.80	0.0006	9.0	10.11	10.09	0.44	0.44	10.12	10.10	0.13	0.13
interpolata	7.1	911	7.70	0.0000	9.0		10.08		0.33		10.09		0.08
61A	7	921	7.70	0.0000	9.0	10.09	10.08	0.41	0.33	10.10	10.09	0.12	0.08
ponte Bondeno-Cento	6.5 BR U	923	7.70	0.0000	9.0		10.08		0.33		10.09		0.08

Sezioni	Sezioni H-C	Progressi ve	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)		
ponte Bondeno-Cento	6.5 BR D	933.5	7.70	0.0000	9.0		10.08		0.33		10.09		0.08
interpolata	6.2	936	7.70	0.0000	9.0		10.08		0.33		10.09		0.08
interpolata	6.1	946	7.70	0.0009	9.0		10.08		0.33		10.09		0.08
61	6	1063	7.60	0.0000	9.0	10.07	10.07	0.44	0.44	10.08	10.08	0.13	0.13
4	5	1143	7.60	0.0005	9.0	10.06	10.06	0.43	0.43	10.07	10.07	0.12	0.12
5	4	1347	7.50	0.0000	9.0	10.04	10.04	0.37	0.37	10.05	10.05	0.09	0.09
botte sifone	3.5	1421			9.0								
6	3	1421	7.50	0.0003	9.0	9.41	9.41	0.64	0.64	9.43	9.43	0.19	0.19
7	2	1764	7.40	0.0003	9.0	9.30	9.30	0.64	0.64	9.32	9.32	0.19	0.19
8	1	2226	7.24		9.0	9.15	9.15	0.62	0.62	9.17	9.17	0.18	0.18

TABELLA 7-1: DERIVAZIONE SANTA BIANCA, PRINCIPALI GRANDEZZE IDRAULICHE A CONFRONTO NELLO STATO DI FATTO (SF) E DI PROGETTO (SP) CON PORTATA QMAX

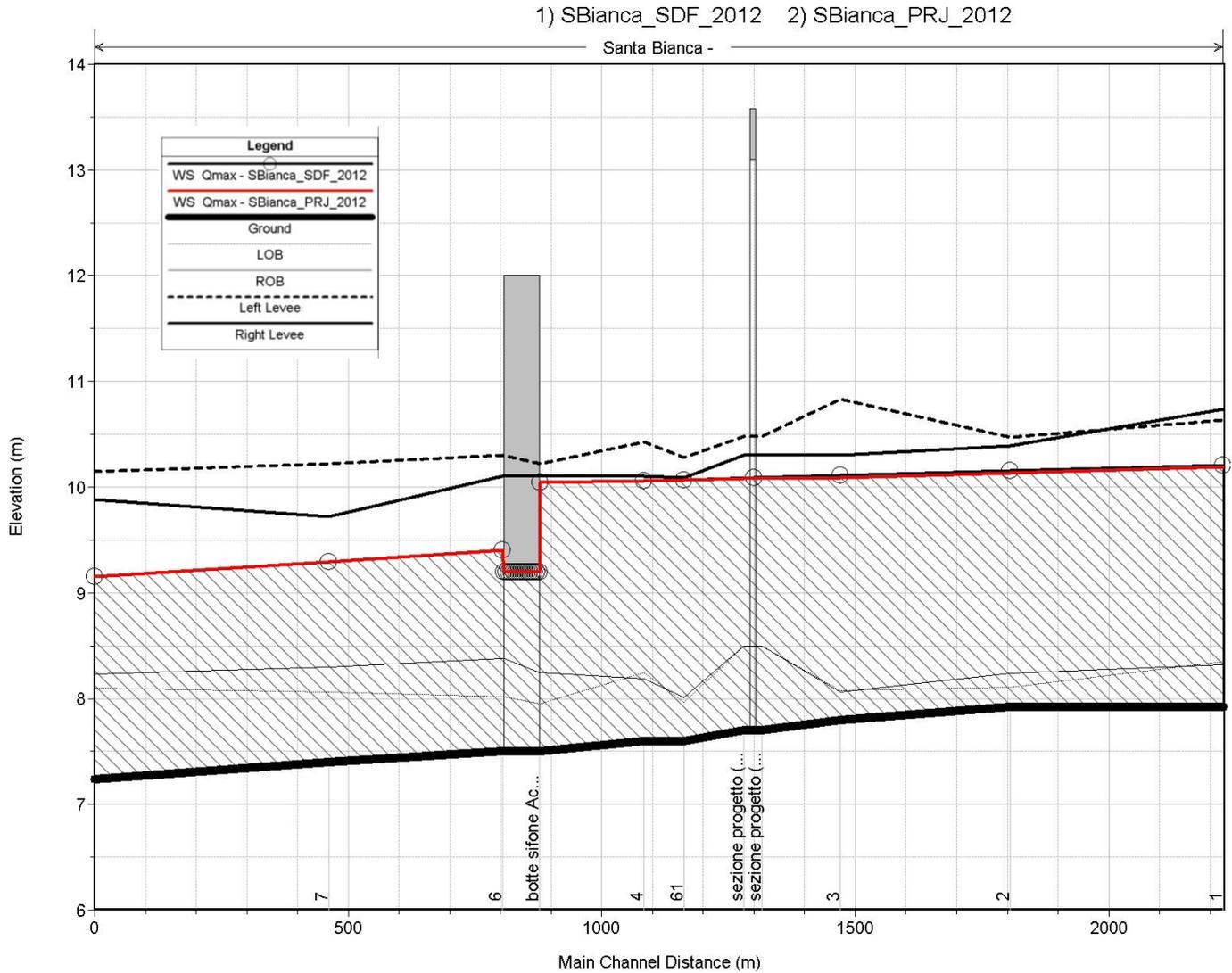


FIGURA 7-3: DERIVAZIONE SANTA BIANCA, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER QMAX NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

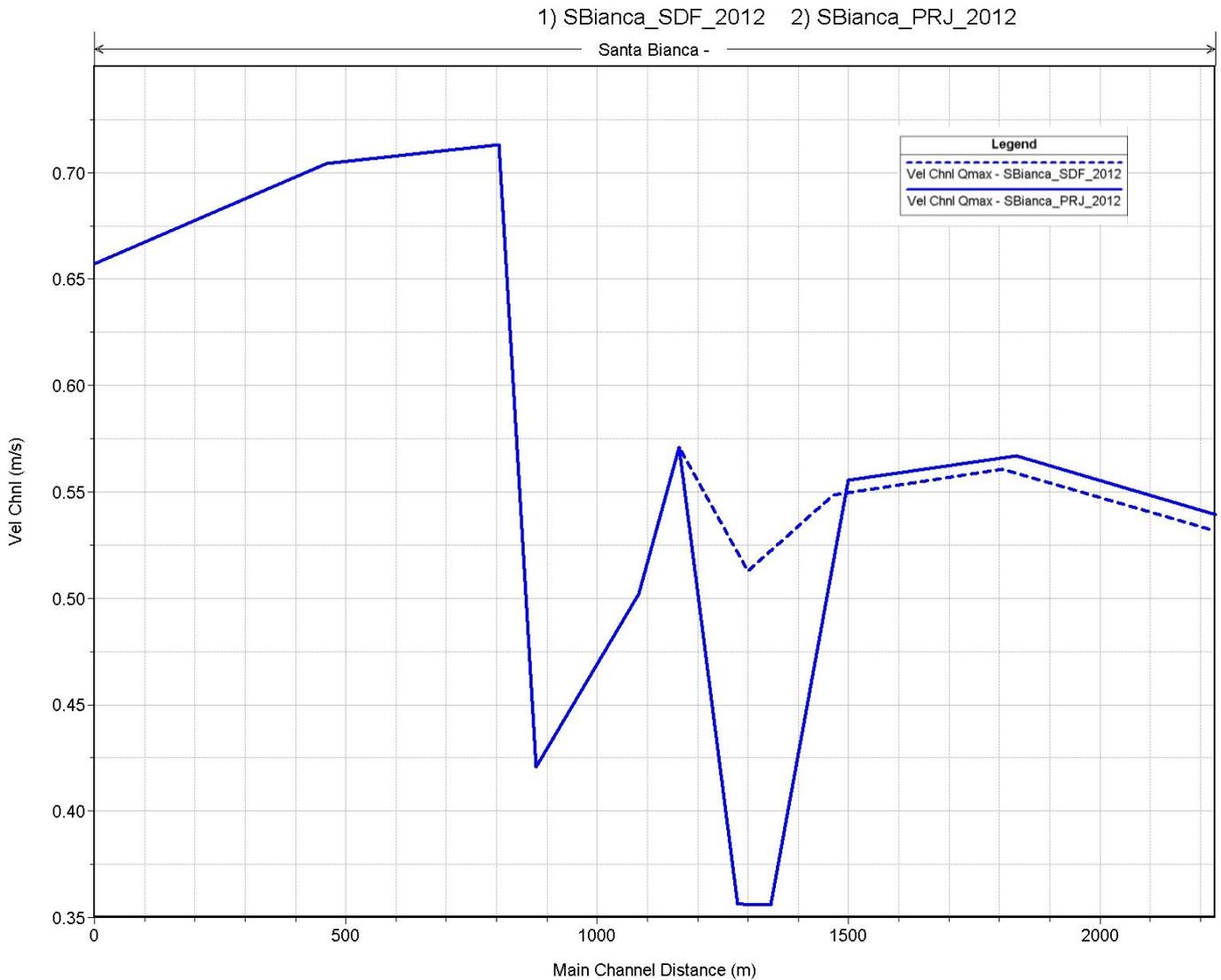


FIGURA 7-4: DERIVAZIONE SANTA BIANCA, ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

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 riferimento Q_{max} 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.

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.

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 0.5m/s.

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

Non si segnala alcuna modifica sostanziale dal punto di vista planimetrico né altimetrico dell'alveo né in regime ordinario né in piena.

Effetto E.5. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Fattori determinanti: opere in progetto e soluzioni di inserimento delle stesse nel sistema fluviale. L'inserimento del ponte non implica una modificazione delle attuali caratteristiche ambientali del corso d'acqua fatto salvo l'inserimento localizzato delle opere di difesa e protezione spondale.

Effetto E.6. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Fattori determinanti:

- condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dell'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni;
- tipologia funzionale dell'intervento.

Il franco idraulico tra l'intradosso del ponte ed il livello idrometrico raggiunto dalla portata di progetto è di 2,20m superiore al minimo di 1.5m richiesto e previsto dalla normativa vigente.

7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali

La realizzazione del ponte non richiede la predisposizione di opere provvisionali in quanto la costruzione delle spalle avviene dall'esterno 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/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 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.

Sulla base di quanto già previsto in fase di Progetto Preliminare e di quanto prescritto dal Consorzio di bonifica della Pianura di Ferrara in sede di CdS nonché durante la fase di Progettazione Definitiva, si è

proceduto alla progettazione dei presidi difensivi da apporre a protezione delle sponde e del fondo alveo sia sotto la luce del ponte di progetto sia fuori l'ombra del ponte per un conveniente intorno a monte e valle.

Gli interventi previsti sono suddivisi in 3 categorie:

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

La difesa spondale e di fondo si ottiene attraverso la realizzazione di una mantellata continua in massi di cava non gelivi di dimensioni 40-60cm/cad corrispondenti ad elementi variabili in peso da 100 a 300kg adottando massi di peso specifico dell'ordine dei 2400 kg/m³. La mantellata verrà realizzata sia sul fondo sia sulle sponde del canale garantendo uno spessore minimo omogeneo di 1m. Successivamente con il fine sia di stabilizzare i massi posati sia di preservare l'integrità delle sponde si provvederà all'intasamento della mantellata mediante getto di calcestruzzo magro a parziale intasamento delle fessure avendo cura di chiudere le porosità profonde e mantenendo liberi da calcestruzzo il paramento esterno ed i primi 20cm in modo da favorire l'inserimento ambientale e percettivo della difesa nel contesto naturale. La difesa viene sviluppata sotto l'ombra del ponte ed estesa per 10m a monte e valle del ponte

La continuità delle attività consorziali di sorveglianza e manutenzione potrà essere ottenuta sfruttando la percorrenza dei mezzi operativi sulle viabilità esistenti e sulle piste di servizio che le raccorderanno tra loro; il passaggio di sponda potrà essere effettuato attraverso lo stesso Raccordo Bondeno-Cento.

Una volta completate le 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.