



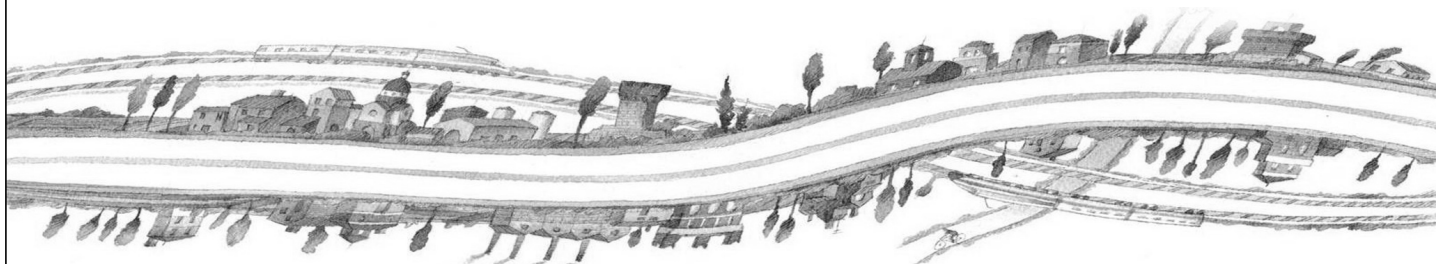
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

ASSE AUTOSTRADALE

IDROLOGIA E IDRAULICA
IDRAULICA CORSI D'ACQUA PRINCIPALI
CONDOTTO GENERALE
RELAZIONE IDRAULICA



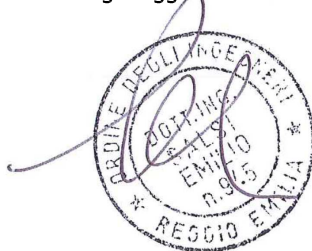
IL PROGETTISTA

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.
0704	PD	0	A38	AWS15	0	WW	RI	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA:

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	3
2.1. NORMATIVA	3
2.2. CRITERI E RACCOMANDAZIONE DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLA PIANURA DI FERRARA.....	3
3. CRITERI GENERALI	6
3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	6
3.2. IL MODELLO MATEMATICO PER LA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA	8
4. AMBITO DI RIFERIMENTO	11
4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA	11
4.2. TRACCIATO AUTOSTRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA	12
5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	13
5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	13
5.2. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MORFOLOGICHE DELL'ALVEO (TENDENZA MORFO-EVOLUTIVA DEL CORSO D'ACQUA).....	17
6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	19
7. VERIFICHE IDRAULICHE.....	21
7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE.....	21
7.2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO.....	22
7.2.1. Condizioni di riferimento	22
7.2.2. Risultati delle analisi idrauliche e verifica del franco di sicurezza dell'attraversamento.....	22
7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica.....	30
7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali.....	32
8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	33

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale Cispadana e si propone di definire le grandezze idrauliche di riferimento e, di conseguenza, di stabilire gli interventi e gli accorgimenti da adottare, al fine di garantire la compatibilità tra le infrastrutture autostradali di attraversamento ed il Condotto Generale, corso d'acqua di bonifica interferito direttamente dall'opera autostradale in progetto.

Il percorso progettuale seguito è stato coordinato e condiviso con l'Ente Gestore del corso d'acqua interessato dall'interferenza (Consorzio di bonifica della Pianura di Ferrara) 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.

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 DELLA PIANURA DI FERRARA

La progettazione definitiva delle opere autostradali necessarie al superamento delle interferenze con i canali di bonifica è stata fondata oltretutto sulle risultanze del progetto preliminare sulle indicazioni e prescrizioni impartite dal Consorzio della Bonifica di 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 Condotto Generale è stato richiesto e sono stati concordati con il Consorzio i seguenti interventi:

1. realizzazione di nuovo attraversamento con ponte in luce;
2. realizzazione di 2 sottopassi all'autostrada, rispettivamente in sponda destra e sinistra del canale, in modo da consentire il passaggio dei mezzi consorziali per le attività di manutenzione e ispezione e garantire la continuità nord-sud alle attività consorziali;
3. realizzazione di opere di protezione del fondo e spondale continue nel tratto compreso tra il futuro attraversamento dell'Autostrada Cispadana e quello del Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada al fine di ridurre gli interventi di manutenzione nel tratto intercluso.

Come si evince dalle risultanze dello studio e dalle descrizioni seguenti dell'intervento in progetto risultano rispettate i criteri e prescrizioni impartite.

3. CRITERI GENERALI

3.1. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

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

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

Scopo di questa fase è la predisposizione di uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche del corso d'acqua nel tratto di interesse, intese quali idrogrammi di piena (livelli e portate), ricavate attraverso analisi idrologiche e processi di modellazione matematica, e le condizioni idrauliche al contorno, sia a monte che a valle, per quanto non espresso dagli eventuali dati idrometrici disponibili.

Per la definizione completa della geometria del Condotto Generale 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 40 sezioni trasversali per una lunghezza di circa 12 km dei quali 7km a monte e 5km a valle dell'attraversamento in progetto.

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 Condotto Generale è un corso d'acqua artificiale con funzione promiscua di scolo ed irrigazione e sottende un comprensorio territoriale non univocamente definito in quanto variabile in funzione dell'uso considerato ed in funzione della regolazione meccanica delle portate sia in condizioni irrigue sia in condizioni di sofferenza allo scolo. La particolare caratteristica dei corsi d'acqua di bonifica risiede proprio nella loro funzionalità e negli usi a cui sono preposti; l'ambivalenza delle funzioni di scolo ed irrigazione rende non poco difficile l'analisi idrologica in quanto a rigori essi vanno studiati sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche tuttavia utilizzati, soprattutto nelle stagioni primaverili ed estive anche per irrigazione mantenendo alti i livelli in alveo e riducendo la capacità di assorbimento di eventi pluviometrici importanti. All'interno delle difficoltà oggettive e tipiche di un comprensorio di bonifica sono stati sviluppati studi funzionali alla caratterizzazione dei deflussi dei canali principali per i quali è stata predisposta una modellazione matematica dei deflussi volta ad individuare i livelli idrometrici da assumere a riferimento per la progettazione dei manufatti di attraversamento.

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

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

Tra i parametri progettuali si è scelta, come condizione più critica la funzione di scolo; le portate massime assunte a riferimento ed adottate come portate di progetto sono le portate massime sostenibili dalla sezione media del canale nel tratto studiato. Tale assunzione, già adottata ed approvata dal Consorzio di bonifica della Pianura di Ferrara nell'ambito del proprio parere alla Conferenza di Servizio sul Progetto Preliminare, è stata ribadita nel presente Progetto Definitivo dove tuttavia si è estesa la valutazione all'intero tratto di canale rilevato e modellato idraulicamente.

Si conferma che la massima portata sostenibile, portata a piene rive, si colloca nella curva di durata delle portate dei canali di bonifica, nel range di tempi di ritorno compreso tra i 20 ed i 100 anni. Ciò si dimostra in linea con i tempi di ritorno caratteristici della progettazione di bonifica, generalmente associabili a $TR=20-30$ anni. I manufatti di attraversamento sono stati sempre impostati con tirante d'aria, rispetto al piano campagna di almeno 100 cm per evitare funzionamenti in pressione.

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

L'analisi idrologica è stata sviluppata adottando coefficienti idrometrici di riferimento che hanno consentito il tracciamento di curve di durata caratteristiche dalle quali, nota la superficie afferente al canale sono state ricavate le portate che sollecitano l'alveo per gli assegnati tempi di ritorno; la portata di riferimento è stata fissata nella massima portata sostenibile dalla sezione attuale e si è posta a confronto anche la portata monosecolare.

L'analisi idraulica è stata condotta mediante modellazione matematica in moto permanente, si sono indagate e confrontate la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

Fase 3^a: Progettazione delle opere di presidio idraulico

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche si è, quindi, proceduto alla definizione delle opere di presidio idraulico necessarie a garantire sia l'efficienza idraulica delle strutture in progetto, che la compatibilità delle stesse con le dinamiche del corso d'acqua. Sono stati, inoltre, definiti gli accorgimenti e gli interventi necessari al corretto superamento dell'alveo inciso nonché delle arginature dove presenti.

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

Tutte le soluzioni adottate sono state discusse e concordate con il Consorzio di bonifica Pianura di Ferrara con il quale il confronto diretto ha consentito di approfondire le problematiche dell'intervento nonché rispettare le prescrizioni di carattere generale e specifiche che sono state fornite durante la fase progettuale definitiva in apposite riunioni come risulta dai verbali relativi.

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

Per il Condotto Generale è stata condotta un'analisi idraulica mediante modellazione numerica monodimensionale. La ricostruzione in formato digitale delle morfologie dell'alveo e delle aree limitrofe si è basata sui dati geometrici rilevati direttamente per la esecuzione dell'infrastruttura in progetto.

Il confronto tra le dinamiche idrauliche nello stato di fatto ed in quello di progetto, che prevede la realizzazione del tracciato autostradale e delle relative opere accessorie, ha consentito di evidenziare sia il funzionamento attuale del corso d'acqua, considerando anche le interferenze prodotte dagli attraversamenti esistenti, sia l'influenza apportata dall'infrastruttura in progetto. Tali influenze si riconducono soprattutto ad alterazioni dei profili di rigurgito e di velocità della corrente dove si sono osservate significative alterazioni nello stato di fatto per la presenza di numerosi tombini e ponticelli di sezione ridotta rispetto a quella del canale mentre non si rilevano 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 ed eventualmente di numero e posizione di pile e 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 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti

quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni della portata, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica di portata nota, per effetto della capacità di laminazione naturale dell'alveo, della sua resistenza d'attrito, della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

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

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

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

dove:

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. AMBITO DI RIFERIMENTO

4.1. IL COMPENSORIO DI BONIFICA

Il comprensorio della bonifica del 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 AUTOSTRADALE INTERFERENTE CON IL CORSO D'ACQUA

Il tracciato dell'Autostrada regionale Cispadana interseca il Condotto Generale alla progressiva chilometrica 41+834; il tracciato si presenta in curva, in rilevato alto sulla campagna circostante per la necessità di superare il canale garantendo anche il passaggio dei mezzi di servizio consorziali; nel tratto d'interferenza l'Autostrada di progetto ha appena lasciato l'autostazione di Cento e piega verso nord mantenendosi affiancata al Raccordo Bondeno-Cento.

L'interferenza avviene 1300m a sud-est dell'abitato di Alberone.

L'autostrada è affiancata, a sud dell'attraversamento, da piste di servizio che verranno raccordate alle viabilità esistenti di carattere podereale e comunale funzionali all'accesso ai campi ed all'accesso al canale; le piste saranno inoltre collegate al raccordo Bondeno-Cento anche per consentire l'attraversamento del canale fuori dal percorso autostradale. Nel tratto a nord del canale è prevista una pista di servizio ad est dell'autostrada mentre, ad ovest, si potrà accedere al canale attraverso il Raccordo Bondeno-Cento anche sfruttando l'area interclusa tra questo e l'autostrada.

L'interferenza avviene ortogonale rispetto all'asse del canale mantenendo un angolo tra l'asse canale e l'asse autostrada di 89,6°.

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

5.1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Il Condotto Generale è un canale promiscuo raccoglie i contributi di diversi affluenti e drena un bacino ampio della bassa pianura padana tra Cento e Casumaro e delimitato ad ovest dallo Scolo Salione e ad est dal Canale di Cento. Il canale ha origine a Cento dai contributi reflui dell'abitato e dalla confluenza dello Scolo Rigone di solo drenaggio.

La sezione di chiusura è stata fissata in corrispondenza dell'interferenza con l'Autostrada Cispadana nei pressi di Alberone; il bacino imbrifero, individuato su base CTR, ha una superficie complessiva di $S=36.20 \text{ km}^2$, la quota massima di bacino è pari a 22 msm e la minima è pari a 11 msm sul piano campagna e 6.5 msm a fondo alveo; il dislivello complessivo è di 11 m su uno sviluppo longitudinale di bacino di 11 km e larghezza media di bacino di 4.6 km.

Il Condotto ha origine dalla strada comunale circonvallazione di Cento, e riceve i contributi degli affluenti di sinistra: Scolo Rigone, canale di scolo di lunghezza 2862 m, Canalazzo inferiore, uso promiscuo $L=1000 \text{ m}$; Scolo Guadora, uso promiscuo $L=6061 \text{ m}$; Scolo Gorghi, uso promiscuo $L=5451 \text{ m}$; ed i contributi degli affluenti di destra: Scolo Reno Canale, canale di scolo di $L=2952 \text{ m}$, Scolo Banche Superiore, canale promiscuo $L=430 \text{ m}$; Scolo Pievese, canale promiscuo con origine dal fiume Reno e lunghezza 1596 m. La lunghezza dell'asta principale chiusa alla Cispadana è $L=11230 \text{ m}$, la lunghezza complessiva è di 16746 m; la foce è diretta e naturale nel Canale di Cento in località Sandrina dove quest'ultimo risulta arginato.

Area del bacino	36,20	km ²
Lunghezza dell'asta principale	11,230	km
Elevazione massima del bacino	22,0	msm
Elevazione della sezione di chiusura	6,5	msm
Distanza dalla foce	5,516	km

TABELLA 5-1: CARATTERISTICHE FISICHE DEL CONDOTTO GENERALE ALLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO CISPADANA

Nel tratto studiato il canale presenta sezione in scavo, regolare e costante di forma trapezoidale con sponde molto ripide a causa dei progressivi franamenti che si verificano durante l'invasamento delle acque di irrigazione; lungo il canale corre una strada carraia in sponda sinistra utilizzata per la manutenzione. Il tratto subito a valle dell'interferenza è rivestito in calcestruzzo per stabilizzare la sezione in corrispondenza di una

curva repentina a 90° in vicinanza di una abitazione.

La morfologia della sezione caratteristica può essere schematizzata con una larghezza a piano campagna di 16.5 m, una larghezza di fondo di 12.5 m ed una altezza massima di 2.5 m, le sponde hanno scarpa 1:3,5.

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	A02A232
NOME	CONDOTTO GENERALE

DATA RILIEVO	26/01/2012	
PROPRIETA'	demaniale	
ENTE GESTORE	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	
LOCALITA'	C. Ghisellini	
COMUNE	Cento	
PROVINCIA	Ferrara	
PROGRESSIVA		
FOTOGRAFIE	A02A232_1.jpg	A02A232_2.jpg

UBICAZIONE	GAUSS BOAGA X	4964044.62
	GAUSS BOAGA Y	1684209.646
CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	BACINO (m2)	62973913
	LUNGHEZZA (m)	16748
	SORGENTE	scoli campagna
	FOCE	Canale di Cento
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPO TRACCIATO	misto con tratti rettilinei e sinuosi e curve angolate
	TIPO SEZIONE	in scavo
	TIPO ALVEO	sezione in terra (a tratti rivestita in cls), forma trapezoidale con fondo largo e sponde a tratti ripide B»H - alzaie carrabili su entrambe le sponde

	EROSIONI	<i>erosioni di sponda, franamenti al piede della sponda per alteranza del livello idrico</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 poca vegetazione acquatica e vegetazione erbacea e canneto (fragmiteto) sulle sponde - tratti con rivestimenti in calcestruzzo - assenza di fascia riparia, solo alberi isolati sulle rive - fauna ittica ed anfibia, avifauna (aironi bianchi e grigi), mammiferi di piccola taglia (nutrie)</i>
CARATTERISTICHE DEL PAESAGGIO	TERRITORIO CIRCOSTANTE	<i>campagna aperta con coltivazioni di mais, foraggere e cerealicole - alberi ed arbusti isolati - bosco di pioppi</i>
CARATTERISTICHE IDRAULICHE	CONDIZIONI AL CONTRONO	<i>corrente lenta: pendenza di moto uniforme a valle e livello a piene rive</i>
	SCABREZZA Gauckler-Strickler	<i>21-24</i>
NOTE	<i>a valle ponte in muratura ad arco su via Orologi - paratoie a regolazione manuale per gestione portate e livelli irrigua valle ponte in muratura ad arco su via Orologi - paratoie a regolazione manuale per gestione portate e livelli irrigui</i>	



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

Nel tratto oggetto di intervento il corso d'acqua ha andamento rettilineo con curve angolate e con sviluppo prevalente da SE verso NW che piega, 150m a valle dell'attraversamento, in direzione NE fino alla foce nel canale di Cento, l'ultimo tratto è caratterizzato da andamento sinuoso. L'indagine idraulica è stata sviluppata in forma univoca da Corpo Reno, Cà Ramedello, fino alla foce a Casumaro. La struttura d'alveo nel tratto d'interesse è ovunque unicursale di sezione trapezoidale con sponde a pendenza variabile spesso soggette ad erosioni causate dall'alternanza di livello idrico; la sezione è sempre in scavo rispetto alla campagna circostante.

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 40 sezioni trasversali, che rappresentano in modo esaustivo l'alveo e la campagna circostante; il tratto rilevato e restituito è di circa 12.000m distribuiti in 7000m a monte dell'attraversamento e 5000m a valle.

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 provenienti dalla modellizzazione idraulica sono stati ottenuti, assumendo un coefficiente di Strickler di $K_{G-S}=28 \text{ m/s}^{1/3}$ per l'alveo inciso e $K_{G-S}=25 \text{ m/s}^{1/3}$ per le sponde vegetate; per i tratti rivestiti si sono adottate scabrezze $K_{G-S}=40 \text{ m/s}^{1/3}$. I valori adottati trovano conforto nei valori presenti in letteratura nelle

pubblicazioni: "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959, Macgraw-Hill, Singapore e da "Meccanica dei fluidi", Marchi - Rubatta.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del thalweg e delle sponde del Condotto Generale nel tratto vallivo in cui ricade l'attraversamento di progetto.

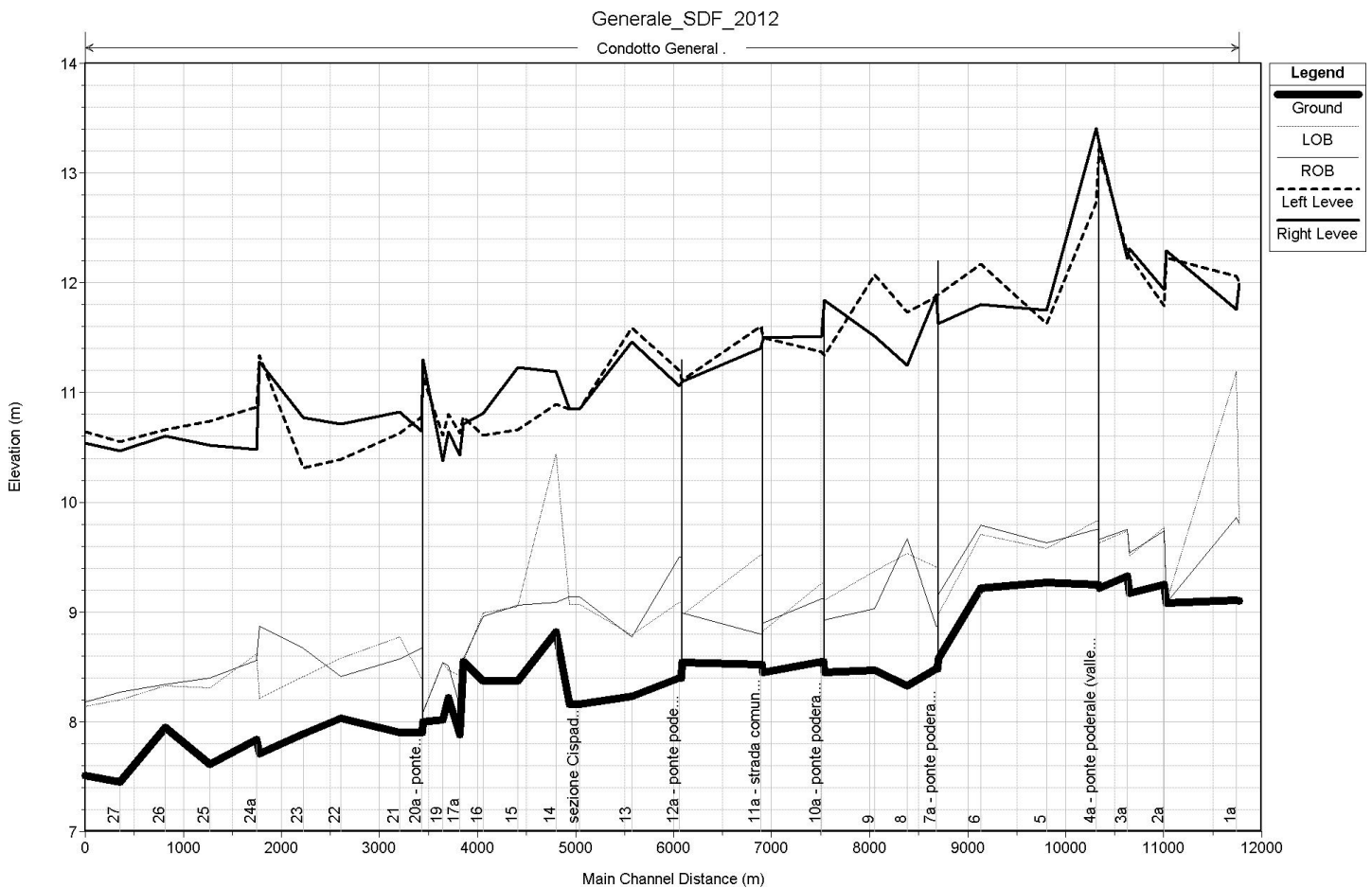


FIGURA 5-1: ANDAMENTO LONGITUDINALE DEL THALWEG E DELLE SPONDE NEL TRATTO DI CANALE ANALIZZATO

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

La determinazione delle portate di riferimento è stata ricavata mediante una analisi speditiva di trasformazione afflussi-deflussi con metodo cinematico a partire dalle piogge di riferimento per determinare i valori di portata massima al colmo per assegnato tempo di ritorno; essa ha lo scopo di ottenere un valore di riferimento per le portate con tempo di ritorno: TR=20 anni, caratteristico per i territori di bonifica e segnalato dal Consorzio come valore di riferimento per la loro pianificazione e progettazione; TR=100 anno come limite massimo indicato nella Direttiva 4 dell'Autorità di bacino del Po. Il modello sintetico di trasformazione afflussi-deflussi individua valori del coefficiente idrometrico che trovano conforto in quelli usualmente adottati dal Consorzio di Bonifica nella progettazione dei propri interventi sulla rete idrografica.

I parametri di calcolo utilizzati sono: area del bacino $S=36,2028 \text{ km}^2$, lunghezza asta principale $L=11,230 \text{ km}$, tempo di corrivazione $t_c=22.6 \text{ ore}$. Si ricavano le seguenti informazioni idrologiche.

tempo di ritorno (anni)	20	100
intensità di pioggia critica (mm/h)	4.37	5.54
coefficiente di deflusso	0.33	0.41
portata (m^3/s)	14.7	22.8

TABELLA 6-1: CONDOTTO GENERALE, STIMA DEI PARAMETRI IDROLOGICI

La massima portata sostenibile dal canale è stata fissata in $Q_{\max}=15.0 \text{ m}^3/\text{s}$, essa corrisponde, sulla scala di durata del Condotto Generale, ad un tempo di ritorno dell'ordine dei 20 anni; la portata centennale vale $23 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il Condotto Generale è un canale ad uso promiscuo, le acque di scolo confluiscono, con sbocco libero, nel Canale di Cento. Nelle verifiche idrauliche si adotta, come condizione allo scarico, la totale capacità recettiva del Canale di Cento ancorché, per le portate superiori alla venticinquennale, essa presupporrebbe interventi di adeguamento dell'intera rete consorziale oggi non immaginabili. La portata massima sostenibile è relativa al tratto analizzato e rappresenta il limite oltre il quale l'acqua può fuoriuscire dalla sezione incisa in alcuni punti dello stesso.

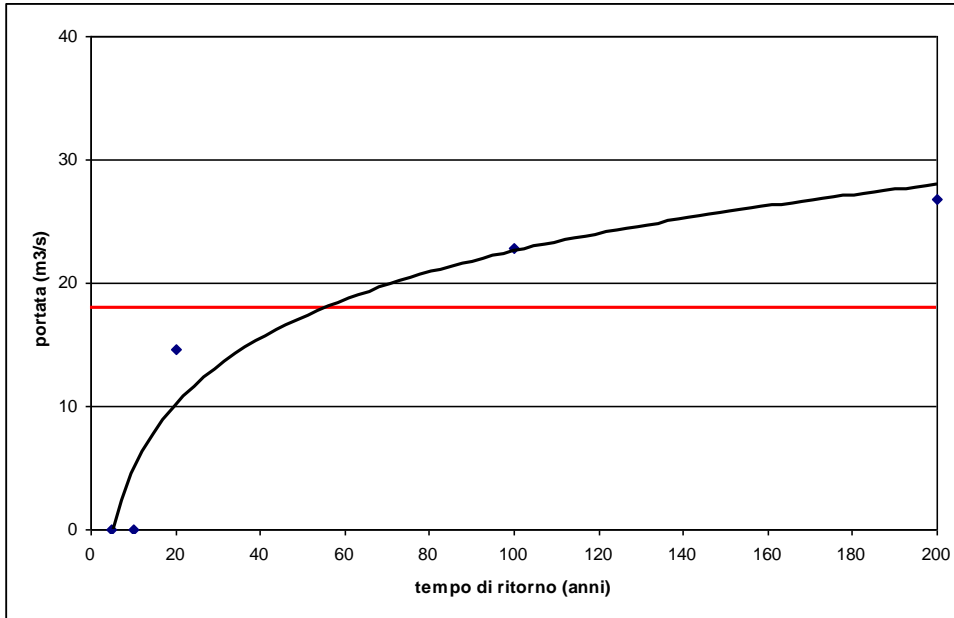


FIGURA 6-1: CONDOTTO GENERALE, CURVA DI DURATA

7. VERIFICHE IDRAULICHE

7.1. ATTRAVERSAMENTO ED OPERE IDRAULICHE CONNESSE

L'attraversamento in progetto sul Condotto Generale avverrà con ponte a luce unica con impalcati separati per la via nord e sud, entrambi appoggiati su spalle esterne ai cigli spondali, arretrate di oltre 2m come richiesto dal Consorzio; il ponte ha luce 32m (misurata lungo l'asse di tracciamento autostradale che risulta ortogonale al canale).

L'intradosso dell'impalcato, a seguito delle verifiche idrauliche successivamente descritte ed in funzione della livelletta stradale che richiede il passaggio sopra i sottopassi consorziali, è stato imposto ad una quota di 14,87 msm garantendo un franco di circa 4.0m abbondantemente superiore a quanto richiesto dal Consorzio di bonifica e da quanto prescritto dalle Direttive e dalle NTC ma necessario per consentire l'inserimento di 2 sottopassi per la viabilità di servizio.

La continuità di passaggio dei mezzi consorziali ai fini della manutenzione delle sponde e fondo del canale viene garantita mediante l'inserimento, in adiacenza al ponte ed esternamente ad esso, di sottopassi carrabili funzionali al passaggio dei mezzi consorziali sulla sponda destra e sinistra del canale. In sinistra il sottopasso è connesso alla viabilità di servizio autostradale collegata alle strade comunali limitrofe ed al Raccordo Bondeno-Cento, in destra invece, il sottopasso consente l'accesso fino all'area intercluso tra raccordo e Autostrada da dove la prosecuzione dei mezzi potrà avvenire attraversando il Raccordo Bondeno-Cento sfruttando le più vicine rampe di accesso ed uscita dallo stesso..

Si prevede la realizzazione di opere accessorie di difesa spondale e di fondo, opportunamente dimensionate al fine di proteggere le sponde e l'alveo da possibili erosioni localizzate; tali difese sono state prolungate a monte e valle dell'impalcato al fine di stabilizzare la sezione idraulica di progetto, modestamente risagomata, lungo tutto l'intervento. 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 40 sezioni per una lunghezza complessiva di 11750m oltre alle sezioni specifiche dei ponti esistenti;
- rappresentazione geometrica del corso d'acqua nello stato di progetto ottenuta integrando quella esistente con l'opera di scavalco e con le relative opere idrauliche a corredo, difese spondali, rialzi arginali, ecc...;
- lo scarico del Condotto Generale avviene a gravità e libero nel Canale di Cento con deflusso in condizioni di corrente lenta non rigurgitata, si assume come condizione al contorno di monte e valle, per il modello matematico, la pendenza di fondo attuale;
- portata di riferimento: $Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{100}=23 \text{ m}^3/\text{s}$;

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 di progetto transita nella sezione incisa del canale senza provocare

fuoriuscite d'acqua, il livello raggiunto è 10.83msm analogo alla quota spondale; la portata monosecolare raggiunge livelli di 11.36msm non contenuti in alveo con conseguenti allagamenti nelle aree circostanti. Dall'analisi dei profili di rigurgito della corrente lungo l'intero tratto simulato sono evidenti criticità idrauliche per insufficienza delle sezioni di deflusso in corrispondenza di alcuni ponti che generano rigurgiti verso monte ed allagamenti localizzati.

Il franco tra il livello idrometrico di massima piena e le sponde è negativo e si osserva dall'immagine seguente che il livello di massima piena è inferiore, di circa 5cm, rispetto alla quota spondale; viceversa il livello della piena centennale è superiore di 50cm rispetto alla sponda.

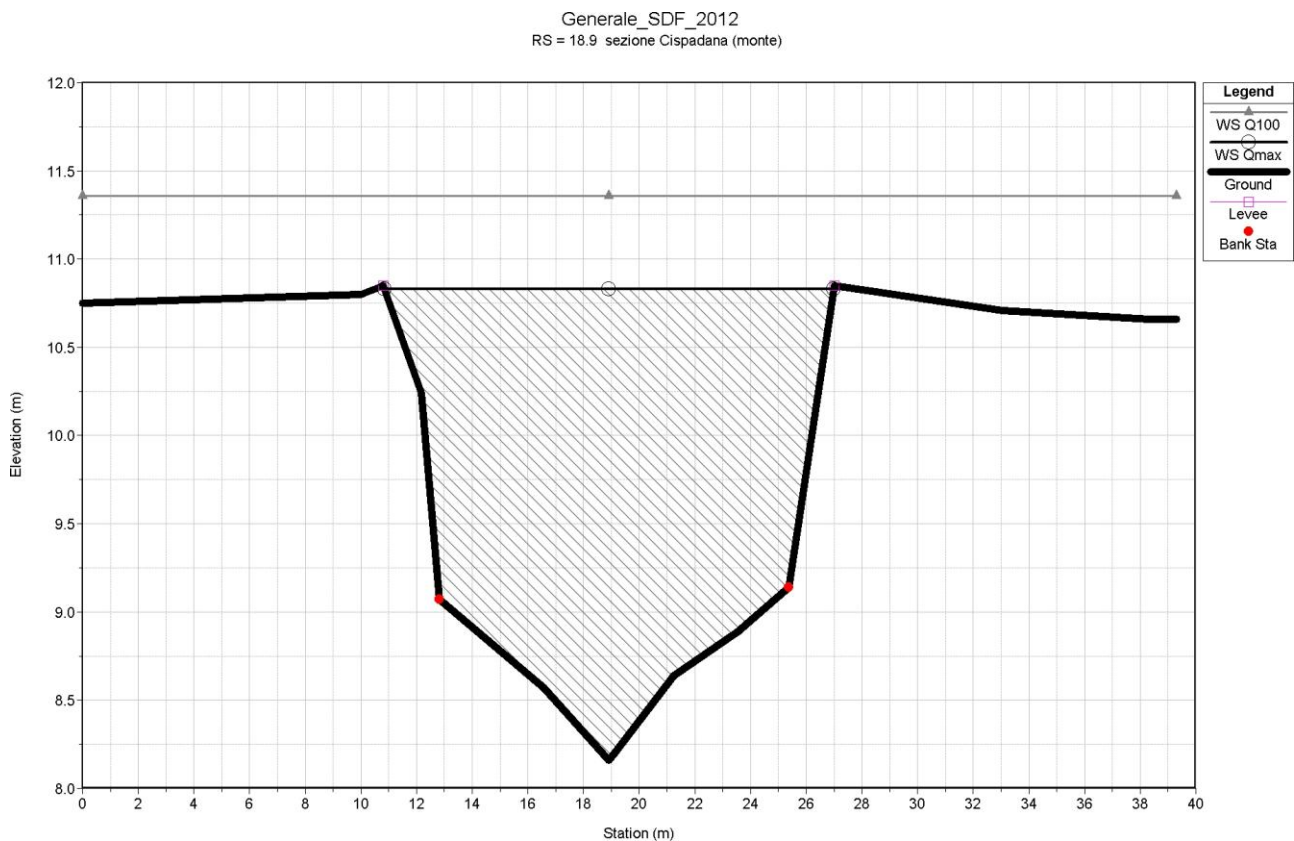


FIGURA 7-1: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{100} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE DEL PONTE DI PROGETTO NELLO STATO DI FATTO

Stato di progetto

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un ponte a luce unica con impalcato e spalle esterni alla sezione del canale e tali da consentire il deflusso delle portate di piena in forma indisturbata e senza rigurgiti. Nell'ambito del progetto è inoltre previsto il rizezionamento 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 a quota 14,28 msm ovvero circa 4 m sopra la quota spondale attuale e si determina, come si evince

dall'immagine seguente, che i livelli idrometrici non risentono della presenza del ponte per entrambe le portate analizzate.

Il franco tra il livello idrometrico e l'intradosso del ponte risulta $F_{max}=3,5m$ e $F_{100}=2,95m$.

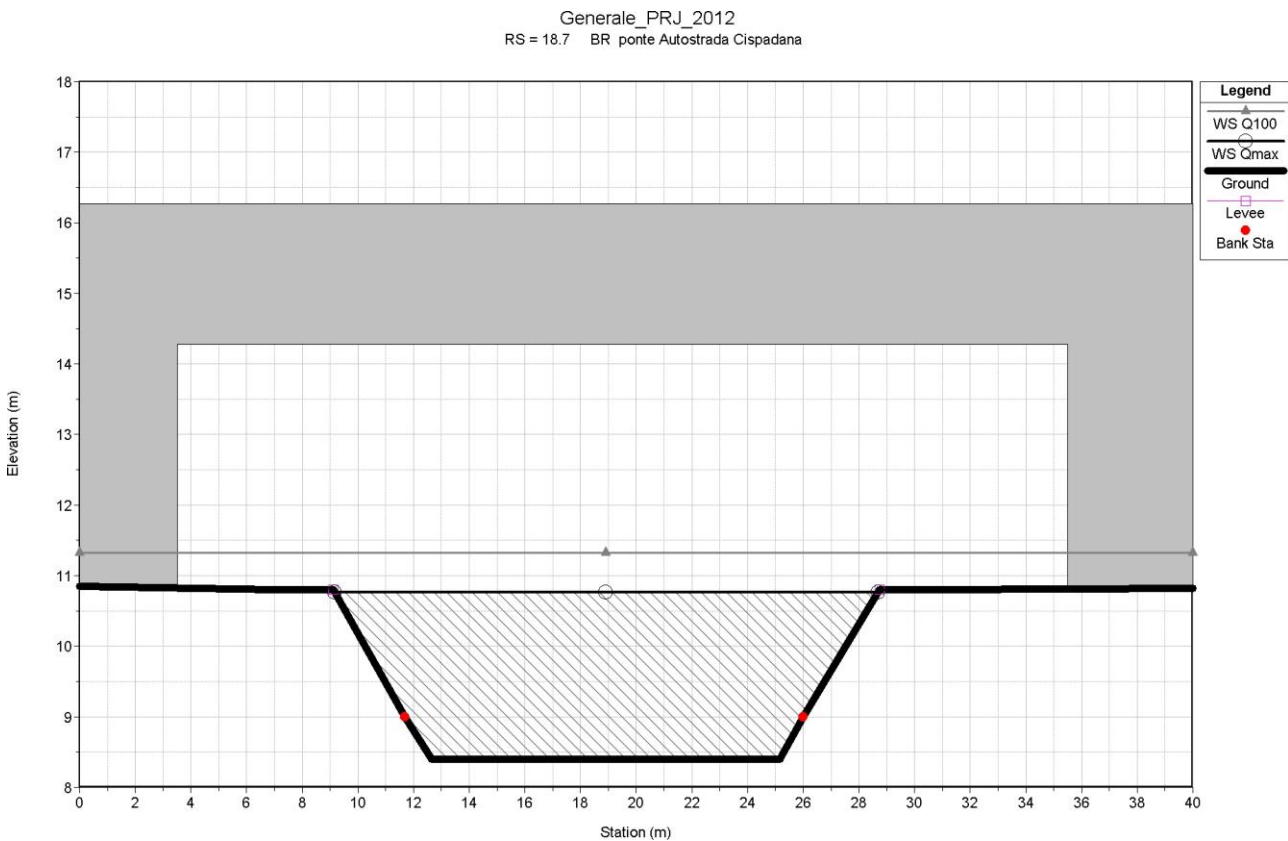


FIGURA 7-2: LIVELLO IDROMETRICO RAGGIUNTO PER Q_{MAX} E Q_{100} ALLA SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DELL'ASSE AUTOSTRADALE NELLO STATO DI PROGETTO

Confronto Stato di fatto – Stato di progetto

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni numeriche eseguite per portata la portata di progetto $Q_{max}=15 m^3/s$ e per la $Q_{100}=23 m^3/s$, rispettivamente, alla situazione attuale e di progetto. Nelle tabelle e nei grafici seguenti si riporta il confronto fra le principali grandezze idrauliche di riferimento relative alle simulazioni eseguite.

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (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	39	0	9,10	-0,04%	14	12,19	12,17	0,53	0,54	12,23	12,21	0,35	0,37
1a	38	26	9,11	0,00%	14	12,18	12,17	0,62	0,64	12,22	12,20	0,28	0,29

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	37	739	9,08	-0,61%	14	11,88	11,85	0,8	0,82	11,93	11,90	0,24	0,24
2a	36	767	9,25	0,02%	14	11,86	11,83	0,87	0,88	11,91	11,89	0,28	0,27
3	35	1115	9,17	-0,59%	14	11,76	11,73	0,65	0,66	11,79	11,76	0,18	0,18
3a	34	1142	9,33	0,04%	14	11,76	11,73	0,57	0,59	11,78	11,75	0,16	0,16
4	33	1425	9,22	0,00%	14	11,67	11,63	0,75	0,77	11,71	11,67	0,21	0,22
ponte podereale	32.5 BR U	1427	9,22	-0,50%	14	11,67	11,63	0,75	0,77	11,71	11,67	0,21	0,22
ponte podereale	32.5 BR D	1433	9,25	0,00%	14	11,68	11,64	0,63	0,64	11,7	11,67	0,17	0,18
4a	32	1454	9,25	0,00%	14	11,67	11,63	0,63	0,64	11,7	11,66	0,17	0,18
5	31	1963	9,27	0,01%	14	11,57	11,52	0,56	0,58	11,59	11,54	0,16	0,16
6	30	2634	9,22	0,15%	14	11,46	11,40	0,52	0,54	11,47	11,42	0,14	0,14
7	29	3064	8,57	0,00%	14	11,38	11,32	0,54	0,56	11,4	11,34	0,15	0,15
ponte podereale	28.5 BR U	3066	8,57	1,50%	14	11,38	11,32	0,62	0,62	11,4	11,34	0,13	0,13
ponte podereale	28.5 BR D	3072	8,48	0,00%	14	11,38	11,32	0,58	0,58	11,4	11,34	0,12	0,12
7a	28	3088	8,48	0,05%	14	11,38	11,31	0,51	0,53	11,39	11,33	0,13	0,14
8	27	3387	8,33	-0,04%	14	11,34	11,27	0,45	0,48	11,35	11,29	0,16	0,17
9	26	3720	8,47	0,00%	14	11,3	11,23	0,47	0,49	11,32	11,25	0,12	0,12
10	25	4230	8,45	0,00%	14	11,24	11,16	0,51	0,53	11,26	11,18	0,14	0,15
ponte podereale	24.5 BR U	4232	8,45	-1,67%	14	11,24	11,16	0,57	0,57	11,25	11,18	0,12	0,12
ponte podereale	24.5 BR D	4238	8,55	0,00%	14	11,23	11,16	0,55	0,55	11,25	11,17	0,11	0,12
10a	24	4259	8,55	0,02%	14	11,23	11,15	0,5	0,53	11,25	11,17	0,13	0,14
11	23	4854	8,45	0,00%	14	11,17	11,08	0,46	0,48	11,18	11,09	0,11	0,12
ponte comunale	22.5 BR U	4856	8,45	-0,88%	14	11,15	11,07	0,64	0,64	11,18	11,09	0,13	0,13
ponte comunale	22.5 BR D	4864	8,52	0,00%	14	11,15	11,06	0,68	0,68	11,17	11,09	0,14	0,14
11a	22	4879	8,52	0,00%	14	11,15	11,06	0,48	0,50	11,17	11,08	0,12	0,13
12	21	5677	8,54	0,00%	14	11,05	10,95	0,46	0,49	11,07	10,97	0,13	0,13
ponte podereale	20.5 BR U	5679	8,54	2,33%	14	11,05	10,95	0,56	0,56	11,07	10,97	0,12	0,12
ponte podereale	20.5 BR D	5685	8,40	0,00%	14	11,04	10,94	0,6	0,60	11,06	10,96	0,12	0,13
12a	20	5706	8,40	0,04%	14	11,04	10,94	0,51	0,54	11,06	10,96	0,13	0,14
13	19	6191	8,23	-0,03%	14	10,92	10,79	0,72	0,78	10,95	10,83	0,2	0,22
Cispadana (monte)	18,9	6726	8,40	0,00%	14	10,83	10,77	0,47	0,37	10,84	10,78	0,12	0,09
ponte Cispadana	18.7 BR U	6728	8,40	0,00%	14		10,77		0,37		10,77		0,09
ponte Cispadana	18.7 BR D	6753	8,40	0,00%	14		10,77		0,37		10,77		0,09
Cispadana (valle)	18,6	6756	8,40	0,00%	14		10,77		0,37		10,77		0,09
Bondeno-Cento (monte)	18,4	6806	8,40	0,00%	14	10,82	10,77	0,48	0,36	10,83	10,77	0,12	0,09
ponte Bondeno-Cento	18.3 BR U	6809	8,40	0,00%	14		10,77		0,36		10,77		0,09

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Qmax (m3/s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
ponete Bondeno-Cento	18.3 BR D	6824	8,40	0,00%	14		10,76		0,36		10,77		0,09
Bondeno-Cento (valle)	18,2	6826	8,40	-0,08%	14		10,76		0,36		10,77		0,09
14	18	6946	8,50	0,03%	14	10,72	10,71	1,1	0,91	10,79	10,76	0,35	0,27
15	17	7333	8,37	0,00%	14	10,63	10,63	0,52	0,52	10,64	10,64	0,14	0,14
16	16	7692	8,37	-0,09%	14	10,56	10,56	0,54	0,54	10,58	10,58	0,15	0,15
17	15	7895	8,55	2,16%	14	10,46	10,46	0,92	0,92	10,51	10,51	0,28	0,28
17a	14	7926	7,88	-0,28%	14	10,47	10,47	0,53	0,53	10,49	10,49	0,17	0,17
18	13	8048	8,22	0,37%	14	10,46	10,45	0,52	0,52	10,47	10,47	0,14	0,14
19	12	8102	8,02	0,01%	14	10,45	10,45	0,48	0,48	10,46	10,46	0,22	0,22
20	11	8301	8,00	0,00%	14	10,37	10,37	0,79	0,79	10,41	10,41	0,22	0,22
ponete poderale	10.5 BR U	8303	8,00	1,67%	14	10,37	10,37	0,83	0,83	10,41	10,41	0,19	0,19
ponete poderale	10.5 BR D	8309	7,90	0,00%	14	10,38	10,38	0,62	0,62	10,4	10,40	0,13	0,13
20a	10	8322	7,90	0,00%	14	10,38	10,38	0,59	0,59	10,4	10,40	0,16	0,16
21	9	8545	7,90	-0,02%	14	10,35	10,35	0,45	0,45	10,36	10,36	0,11	0,11
22	8	9142	8,03	0,04%	14	10,27	10,27	0,53	0,53	10,29	10,29	0,14	0,14
23	7	9527	7,89	0,04%	14	10,23	10,23	0,41	0,41	10,24	10,24	0,1	0,10
24	6	9968	7,71	-0,38%	14	10,16	10,16	0,64	0,65	10,18	10,18	0,16	0,16
24a	5	10002	7,84	0,05%	14	10,16	10,16	0,47	0,47	10,17	10,17	0,12	0,12
25	4	10475	7,61	-0,07%	14	10,1	10,10	0,48	0,48	10,11	10,11	0,12	0,12
26	3	10932	7,95	0,11%	14	10,03	10,03	0,52	0,52	10,04	10,04	0,14	0,14
27	2	11393	7,45	-0,02%	14	9,96	9,96	0,5	0,50	9,98	9,98	0,12	0,12
28	1	11747	7,51	-0,02%	14	9,92	9,92	0,5	0,50	9,93	9,93	0,13	0,13

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

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Q100 (m3/s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
1	39	0	9,10	-0,04%	23	12,83	12,83	0,42	0,42	12,85	12,84	0,16	0,16
1a	38	26	9,11	0,00%	23	12,82	12,81	0,51	0,5	12,84	12,84	0,19	0,2
2	37	739	9,08	-0,61%	23	12,49	12,47	0,76	0,8	12,57	12,56	0,45	0,48
2a	36	767	9,25	0,02%	23	12,49	12,46	0,74	0,77	12,55	12,53	0,43	0,45
3	35	1115	9,17	-0,59%	23	12,34	12,33	0,72	0,76	12,4	12,38	0,4	0,29
3a	34	1142	9,33	0,04%	23	12,35	12,33	0,67	0,68	12,38	12,36	0,26	0,25
4	33	1425	9,22	0,00%	23	12,24	12,22	0,89	0,9	12,29	12,27	0,23	0,24
ponete poderale	32.5 BR U	1427	9,22	-0,50%	23	12,24	12,22	0,89	0,9	12,29	12,27	0,23	0,24
ponete poderale	32.5 BR D	1433	9,25	0,00%	23	12,25	12,23	0,75	0,76	12,29	12,26	0,19	0,19

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Q100 (m3/s)	Livello SF (m)	Livello SP (m)	Velocità SF (m/s)	Velocità SP (m/s)	Energia SF (m)	Energia SP (m)	Froude SF	Froude SP
4a	32	1454	9,25	0,00%	23	12,24	12,22	0,75	0,76	12,28	12,26	0,19	0,2
5	31	1963	9,27	0,01%	23	12,15	12,13	0,43	0,44	12,17	12,15	0,19	0,2
6	30	2634	9,22	0,15%	23	12,04	12,01	0,57	0,59	12,07	12,03	0,2	0,21
7	29	3064	8,57	0,00%	23	11,96	11,92	0,46	0,49	11,99	11,95	0,23	0,25
ponte poderale	28.5 BR U	3066	8,57	1,50%	23	11,92	11,88	1,02	1,02	11,98	11,94	0,2	0,2
ponte poderale	28.5 BR D	3072	8,48	0,00%	23	11,92	11,87	0,95	0,95	11,97	11,93	0,18	0,18
7a	28	3088	8,48	0,05%	23	11,93	11,88	0,49	0,6	11,96	11,92	0,25	0,27
8	27	3387	8,33	-0,04%	23	11,91	11,87	0,28	0,29	11,92	11,88	0,1	0,11
9	26	3720	8,47	0,00%	23	11,87	11,82	0,51	0,53	11,89	11,84	0,19	0,2
10	25	4230	8,45	0,00%	23	11,81	11,76	0,41	0,43	11,83	11,77	0,14	0,15
ponte poderale	24.5 BR U	4232	8,45	-1,67%	23	11,77	11,72	0,94	0,94	11,82	11,77	0,18	0,18
ponte poderale	24.5 BR D	4238	8,55	0,00%	23	11,77	11,72	0,91	0,91	11,82	11,76	0,17	0,17
10a	24	4259	8,55	0,02%	23	11,79	11,73	0,37	0,39	11,8	11,75	0,16	0,17
11	23	4854	8,45	0,00%	23	11,72	11,65	0,41	0,44	11,74	11,67	0,19	0,21
ponte comunale	22.5 BR U	4856	8,45	-0,88%	23	11,68	11,61	0,86	1,03	11,73	11,67	0,18	0,2
ponte comunale	22.5 BR D	4864	8,52	0,00%	23	11,65	11,58	0,98	1,12	11,71	11,65	0,2	0,21
11a	22	4879	8,52	0,00%	23	11,67	11,62	0,41	0,43	11,69	11,63	0,18	0,19
12	21	5677	8,54	0,00%	23	11,6	11,53	0,33	0,35	11,61	11,54	0,13	0,14
ponte poderale	20.5 BR U	5679	8,54	2,33%	23	11,59	11,51	0,54	0,61	11,61	11,54	0,11	0,13
ponte poderale	20.5 BR D	5685	8,40	0,00%	23	11,58	11,5	0,57	0,65	11,6	11,53	0,12	0,14
12a	20	5706	8,40	0,04%	23	11,58	11,5	0,37	0,4	11,59	11,52	0,16	0,18
13	19	6191	8,23	-0,03%	23	11,44	11,34	0,89	0,93	11,49	11,4	0,23	0,24
Cispadana (monte)	18,9	6726	8,40	0,00%	23	11,36	11,33	0,44	0,39	11,37	11,34	0,15	0,12
ponte Cispadana	18.7 BR U	6728	8,40	0,00%	23		11,33		0,42		11,34		0,09
ponte Cispadana	18.7 BR D	6753	8,40	0,00%	23		11,32		0,42		11,34		0,09
Cispadana (valle)	18,6	6756	8,40	0,00%	23		11,33		0,39		11,34		0,12
Bondeno-Cento (monte)	18,4	6806	8,40	0,00%	23	11,35	11,32	0,45	0,37	11,36	11,33	0,15	0,12
ponte Bondeno-Cento	18.3 BR U	6809	8,40	0,00%	23		11,32		0,45		11,33		0,09
ponte Bondeno-Cento	18.3 BR D	6824	8,40	0,00%	23		11,32		0,45		11,33		0,09
Bondeno-Cento (valle)	18,2	6826	8,40	-0,08%	23		11,32		0,37		11,33		0,12
14	18	6946	8,50	0,03%	23	11,3	11,29	0,59	0,55	11,33	11,32	0,28	0,26
15	17	7333	8,37	0,00%	23	11,23	11,23	0,42	0,42	11,25	11,25	0,16	0,16
16	16	7692	8,37	-0,09%	23	11,19	11,19	0,39	0,39	11,2	11,2	0,16	0,16
17	15	7895	8,55	2,16%	23	11,15	11,15	0,48	0,48	11,17	11,17	0,2	0,2
17a	14	7926	7,88	-0,28%	23	11,15	11,15	0,4	0,4	11,16	11,16	0,15	0,15

Sezioni	Sezioni H-C	Progressive	Quota fondo (m)	Pendenza	Portata Q100 (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
18	13	8048	8,22	0,37%	23	11,14	11,14	0,33	0,33	11,15	11,15	0,13	0,13
19	12	8102	8,02	0,01%	23	11,14	11,14	0,27	0,27	11,14	11,14	0,11	0,11
20	11	8301	8,00	0,00%	23	11,06	11,06	0,89	0,89	11,11	11,11	0,24	0,24
ponte poderale	10.5 BR U	8303	8,00	1,67%	23	10,99	10,99	1,36	1,36	11,11	11,11	0,28	0,28
ponte poderale	10.5 BR D	8309	7,90	0,00%	23	11,02	11,02	1,02	1,02	11,08	11,08	0,2	0,2
20a	10	8322	7,90	0,00%	23	11,04	11,04	0,47	0,47	11,06	11,06	0,19	0,19
21	9	8545	7,90	-0,02%	23	11,02	11,02	0,41	0,41	11,03	11,03	0,19	0,19
22	8	9142	8,03	0,04%	23	10,95	10,95	0,4	0,4	10,97	10,96	0,17	0,17
23	7	9527	7,89	0,04%	23	10,91	10,91	0,42	0,42	10,93	10,93	0,13	0,13
24	6	9968	7,71	-0,38%	23	10,83	10,83	0,77	0,77	10,87	10,87	0,17	0,17
24a	5	10002	7,84	0,05%	23	10,84	10,84	0,47	0,47	10,86	10,86	0,16	0,16
25	4	10475	7,61	-0,07%	23	10,78	10,78	0,48	0,48	10,8	10,8	0,18	0,18
26	3	10932	7,95	0,11%	23	10,72	10,72	0,52	0,52	10,74	10,74	0,22	0,22
27	2	11393	7,45	-0,02%	23	10,65	10,65	0,51	0,51	10,67	10,67	0,2	0,2
28	1	11747	7,51	-0,02%	23	10,6	10,6	0,56	0,56	10,62	10,62	0,19	0,19

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

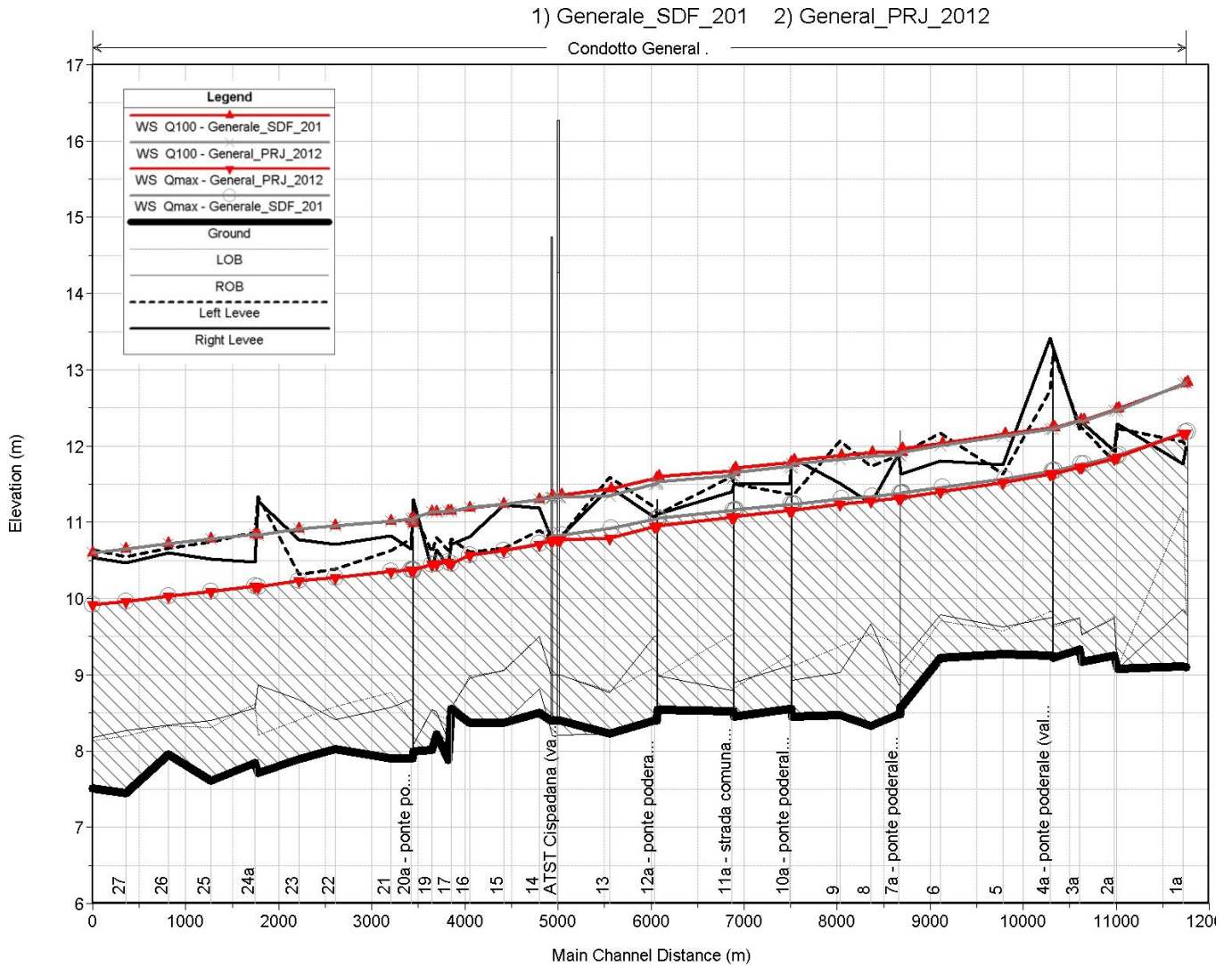


FIGURA 7-3: CONDOTTO GENERALE, CONFRONTO TRA I PROFILI DI RIGURGITO PER LE PORTATE QMAX E Q₁₀₀ NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO.

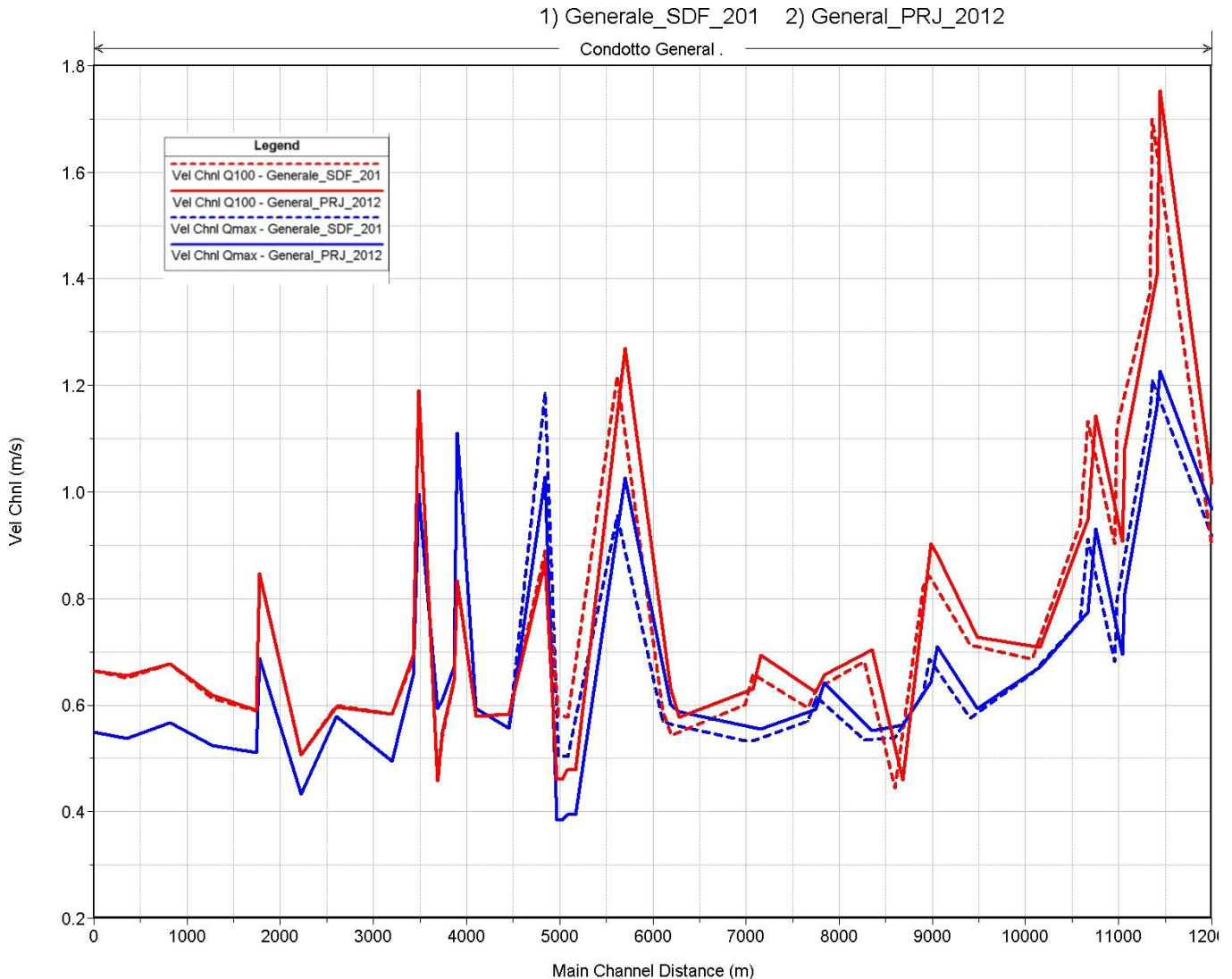


FIGURA 7-4: CONDOTTO GENERALE, ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ MEDIE DELLA CORRENTE PER LE PORTATE NELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO.

7.2.3. Valutazione della compatibilità idraulica

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

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

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

Dai risultati esposti precedentemente, sia in forma tabellare sia in forma grafica, dei profili di rigurgito calcolati per la portata di progetto Qmax ed a confronto anche per la portata Q100 nelle condizioni attuali e di progetto si evince che nelle sezioni interessate dalla costruzione del nuovo ponte i profili di piena sono

quasi identici nella simulazione Ante opera ed in quella Post opera; nello specifico si osserva che il risonamento del canale ed il rivestimento spondale favoriscono un abbassamento di qualche centimetro dei livelli raggiunti dalla corrente di piena.

Effetto E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo.

Fattori determinanti: riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale.

L'opera in progetto non comporta alcuna variazione delle superfici allagabili che per altro, per la specificità del corso d'acqua, sono limitate al solo alveo inciso.

Effetto E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti.

Fattori determinanti: localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto.

Modalità di quantificazione: valutazioni idrodinamiche sugli effetti idrodinamici indotti.

La situazione di progetto non determina variazioni idrodinamiche apprezzabili delle caratteristiche della corrente di piena rispetto alla situazione attuale; come si osserva dal precedente grafico sull'andamento medio delle velocità non si notano in corrispondenza del ponte variazioni apprezzabili e si verifica che la velocità si mantiene sempre inferiore a 1.2m/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 superiore a 4.0m; il franco idraulico relativo alla portata centennale è superiore a 3.9m.

7.3. Verifica di compatibilità idraulica in presenza di opere provvisionali

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

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

8. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Sulla base di quanto già previsto in fase di Progetto Preliminare e di quanto prescritto dal Consorzio di bonifica 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. Le opere di difesa saranno estese a monte per 10m ed a valle fino a connettersi alle analoghe sistemazioni idrauliche previste nell'ambito del ponte del raccordo Bondeno-Cento sempre sul condotto Generale; la difesa è ovviamente prevista anche sotto l'ombra del ponte.

Il mantenimento della continuità delle piste di manutenzione avverrà con realizzazione di sottopassi scatolari di dimensioni B=4m, H=4m, tali da consentire il passaggio dei mezzi consorziali. Saranno realizzate piste di raccordo tra le attuali capezzagne e le viabilità di servizio; le piste saranno posizionate con quota di calpestio superiore al piano campagna, anche nel tratto di sottopasso, in modo da non favorire ristagni d'acqua, il pacchetto stradale sarà in materiale inerte costipato.

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.