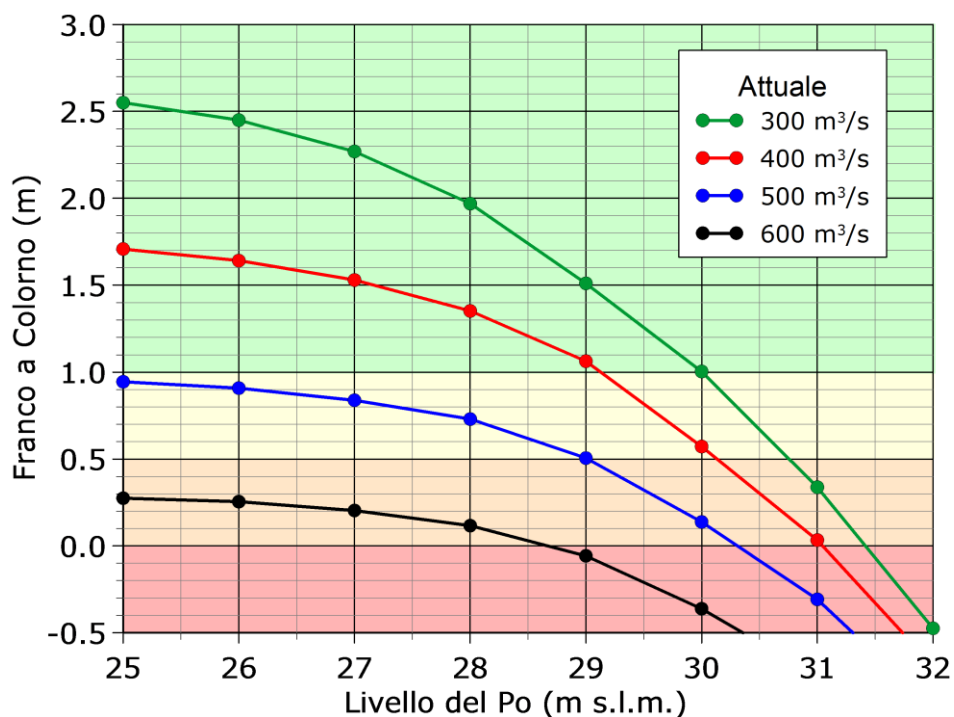


Modellazione 2D del tratto di torrente Parma:

- da Colorno alla confluenza in Po, con possibili scenari di sistemazione;
- da Parma a Colorno, con possibili interventi volti a migliorare l'effetto di laminazione.



Gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Paolo Mignosa, Ing. Renato Vacondio, Ing. Andrea Zanini (DICATeA)
Dott. Fabrizio Giuffredi, Ing. Massimo Valente, Dot.ssa Annamaria Belardi (AIPO)

Parma, luglio 2012

Sommario

1.	INTRODUZIONE	1
2.	COSTRUZIONE E TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO 2D DELL'ASTA DEL TORRENTE PARMA	3
2.1.	Costruzione del modello matematico	5
2.1.1.	Rilievo Lidar, rilievo batimetrico e loro elaborazioni.....	5
2.1.2.	Rilievo e modellazione dei ponti	9
2.1.3.	Ortofoto e rilievi di dettaglio.....	18
2.1.4.	Costruzione della mesh.....	22
2.2.	Simulazioni della piena del gennaio 2009 e taratura del modello matematico	31
2.2.1.	Introduzione	31
2.2.2.	Condizioni al contorno.....	31
2.2.3.	Condizioni Iniziali	34
2.2.4.	Taratura del modello	34
2.2.5.	Considerazioni conclusive	40
3.	VALUTAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE A COLORNO NELLA SITUAZIONE ATTUALE	42
3.1.	Introduzione	42
3.2.	Simulazioni effettuate	47
3.2.1.	Condizioni iniziali	48
3.2.2.	Condizioni al contorno.....	48
3.3.	Elaborazioni ed analisi dei risultati.....	49
3.4.	Considerazioni conclusive	55
4.	ANALISI DI POSSIBILI INTERVENTI DI RICALIBRATURA DELL'ALVEO	59
4.1.	Introduzione	59
5.1	Ipotesi di intervento	61
4.1.	Simulazione con il nuovo assetto.....	64
5.	INDIVIDUAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE A COLORNO CON LA NUOVA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO.....	69
5.1.	Introduzione	69
5.2.	Individuazione della portata compatibile a Colorno in relazione alle diverse quote idriche del fiume Po	70
5.3.	Considerazioni conclusive	71

6.	VALUTAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE NEL TRATTO DI TORRENTE PARMA COMPRESO TRA LA CITTÀ E COLORNO.....	75
6.1.	Introduzione	75
6.2.	Simulazioni effettuate e determinazione delle portate compatibili	75
6.2.1.	Condizioni al contorno.....	76
6.3.	Risultati delle simulazioni	77
7.	VALUTAZIONE DEI VOLUMI IMMAGAZZINABILI NELLE GOLENE TRA PARMA E COLORNO	80
7.1.	Introduzione	80
7.2.	Individuazione delle golene lungo l'alveo	80
7.3.	Valutazioni dei volumi necessari alla laminazione.....	89
7.4.	Considerazioni conclusive	92
8.	CONTRIBUTO AL MOTO DELLE GOLENE.....	93
8.1.	Introduzione	93
8.2.	Analisi dell'evento di piena del Gennaio 2009.....	93
8.2.1.	Profondità idriche e velocità nella Zona A	94
8.2.2.	Profondità idriche e velocità nella Zona B.....	96
8.2.3.	Profondità idriche e velocità nella Zona C	98
8.2.4.	Profondità idriche e velocità registrate nella Zona D	99
8.3.	Portate in golena e in alveo risultanti dalla simulazione di moto permanente con portata pari a 600 m ³ /s.....	101
8.4.	Considerazioni conclusive	106
9.	Conclusioni	107
10.	Bibliografia	110
	APPENDICE A.....	111
	APPENDICE B.....	130
	APPENDICE C.....	138

1. INTRODUZIONE

L'Agenzia Interregionale per il Po (AIPO) ha stipulato con il Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio ed Architettura (DICAteA) dell'Università degli Studi di Parma una convenzione “di ricerca per lo sviluppo di una serie di attività propedeutiche alla realizzazione della cassa di espansione del torrente Baganza”.

Più in particolare, nella convenzione, di durata complessivamente biennale, devono essere affrontate le tematiche seguenti:

1. Revisione dello studio dell'Università di Parma sulla “messa in sicurezza del territorio parmense...”, e revisione del progetto preliminare della cassa sul torrente Baganza;
2. Modellazione 2D del tratto di torrente Parma da Colorno (PR) alla confluenza in Po e possibili scenari di sistemazione;
3. Modellazione 2D del tratto di torrente Parma da Parma a Colorno (PR) con possibili interventi volti a migliorare l'effetto di laminazione;
4. Studio geologico, geotecnico e idrogeologico dell'acquifero interagente con la cassa di laminazione del t. Baganza;
5. Studio della risposta sismica locale e definizione dell'azione sismica di progetto per l'area interessata dalla cassa di espansione del torrente Baganza;
6. Modello di gestione ottimizzata degli invasi sui torrenti Parma e Baganza;
7. Integrazione della strada provinciale pedemontana con il manufatto principale.

La presente relazione espone le metodologie ed i risultati delle analisi svolte, relativamente ai punti 2) e 3) elencati precedentemente.

La relazione è organizzata nel modo seguente:

- nel Capitolo 2 vengono esposti i risultati della costruzione e taratura di un modello matematico bidimensionale dell'intera asta del torrente Parma da Parma alla confluenza in Po;
- nel Capitolo 3 viene valutata la portata compatibile del torrente Parma in corrispondenza dell'abitato di Colorno nella configurazione attuale dell'alveo;
- nel Capitolo 4 vengono proposti gli interventi di ricalibratura dell'alveo, in corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia Parma-Brescia, volti a incrementare l'efficienza idraulica dell'alveo e ridurre i livelli, a parità di portata, in corrispondenza del ponte di piazza Garibaldi a Colorno;
- nel Capitolo 5 viene valutata, con i medesimi criteri adottati al Capitolo 3, la portata compatibile a Colorno con gli interventi di ricalibratura prospettati;

- nel Capitolo 6 viene valutata la portata compatibile nel tratto del torrente Parma compreso tra la città e Colorno;
- nel Capitolo 7 vengono individuate alcune ampie golene, nel tratto compreso tra Parma e Colorno, e ne vengono valutati i volumi immagazzinabili;
- nel Capitolo 8 viene individuato il contributo al moto di tali golene, valutando se esse possono essere oggetto di chiusura senza ridurre sensibilmente la capacità di portata dell'alveo;
- nel Capitolo 9 vengono sintetizzati i risultati complessivi dello studio.

2. COSTRUZIONE E TARATURA DEL MODELLO MATEMATICO 2D DELL'ASTA DEL TORRENTE PARMA

Al fine di approfondire le conoscenze del sistema idraulico del torrente Parma si è costruito un modello matematico bidimensionale di moto vario che risolve le equazioni alle acque basse mediante un codice ai volumi finiti su griglia non strutturata¹.

In particolare il tratto analizzato e modellato si estende dal ponte della ferrovia a Nord della città di Parma (Figura 2-1) fino alla confluenza tra l'omonimo torrente e il Po (Figura 2-2) e comprende tutta l'area interna agli argini maestri per un totale di circa 590 ettari. La lunghezza del tratto di torrente misurata lungo il thalweg è di circa 30 Km.

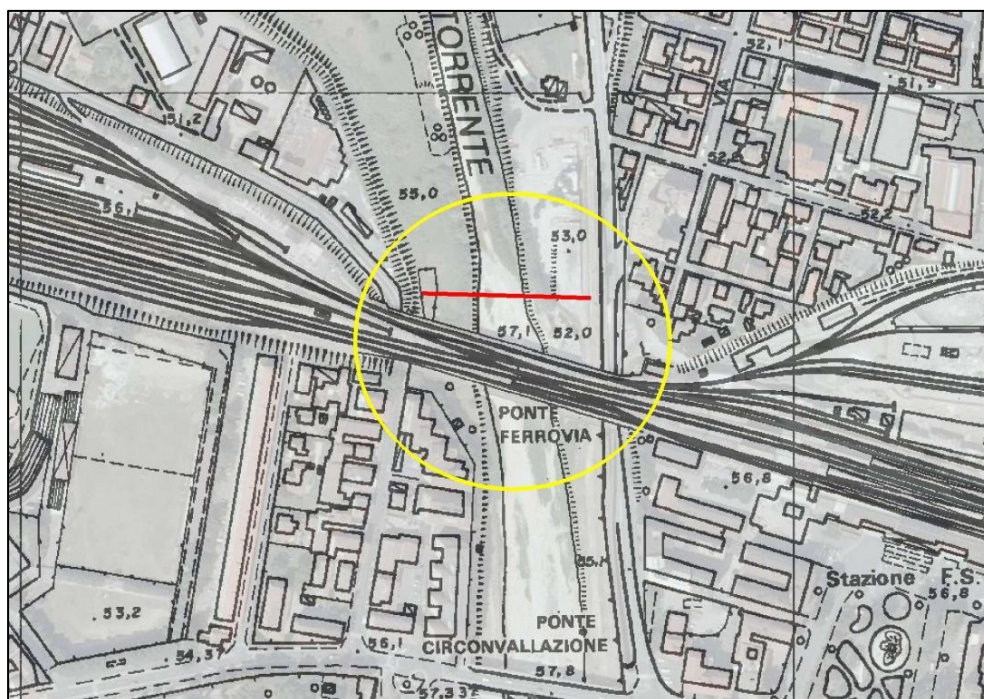


Figura 2-1. Sezione iniziale del modello: a valle del ponte della ferrovia a Nord della città di Parma

¹ Nel presente studio si sono utilizzati i software SMS – Surface Water Modelling System - e Basement, in particolare la sua applicazione Baseplane.

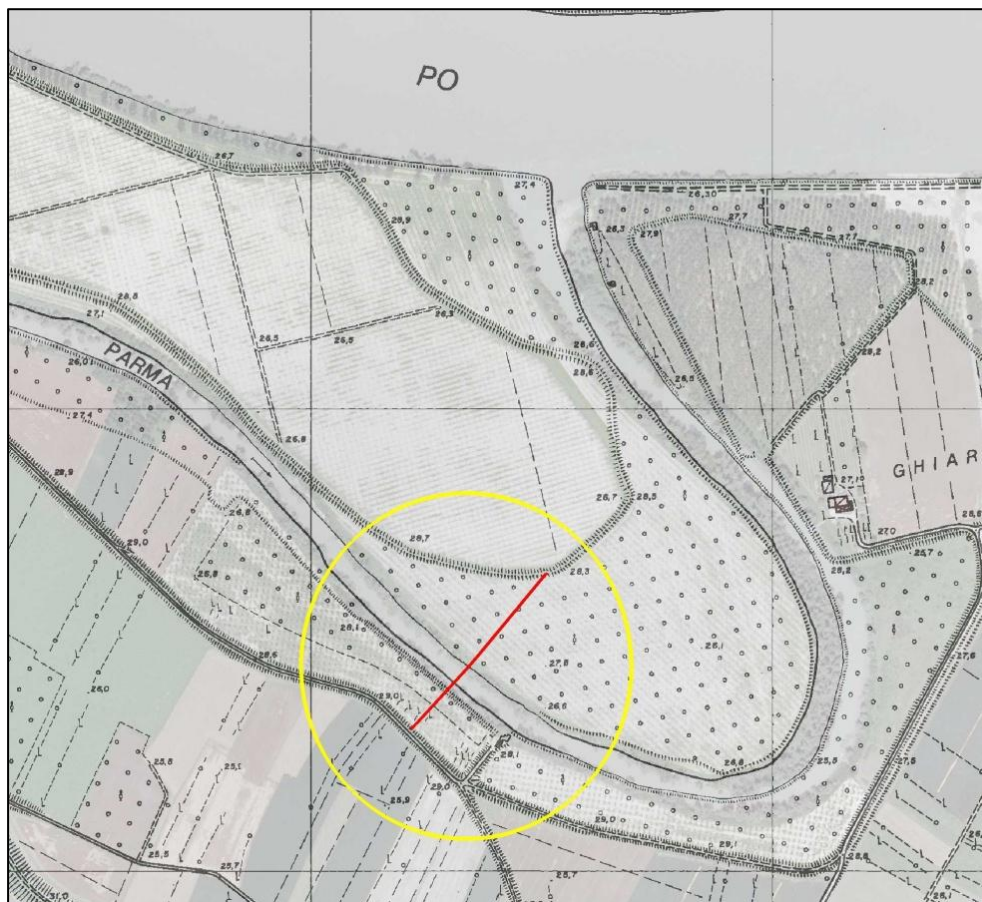


Figura 2-2: Sezione di chiusura del modello: presso la confluenza tra il torrente Parma e il fiume Po

Si è scelto di descrivere mediante modello 2D un tratto così esteso per i seguenti motivi:

- a valle di Parma, il torrente omonimo presenta un alveo inciso con andamento meandriforme ed estese zone golenali, talune anche chiuse. Una descrizione mediante modello monodimensionale di un alveo siffatto presenta notevoli elementi di arbitrarietà, che sono invece automaticamente risolti mediante un modello 2D;
- in aggiunta od in alternativa all'incremento di officiosità idraulica, una soluzione potenzialmente adottabile per migliorare la sicurezza idraulica di Colorno prevede interventi di bacinizzazione di alcune delle golene più ampie ubicate a valle della città di Parma, in modo tale da ottimizzare la laminazione dell'onda di piena e permettere di ridurre il volume della cassa d'espansione sul torrente Baganza. Per una valutazione attendibile dell'effetto di laminazione è indispensabile una descrizione accurata del tratto in cui sono invasabili i maggiori volumi idrici. Anche in questo caso, un modello 2D fornisce risultati sicuramente più attendibili.

La taratura del modello è stata condotta considerando l'evento di piena del gennaio 2009, uno dei più intensi fra quelli recentemente registrati; di tale evento, anche se meno rilevante di quello del

novembre 2000, è stata fornita un'accurata picchettatura dall'Agenzia Interregionale per il Po (AIPo).

2.1. Costruzione del modello matematico

2.1.1. Rilievo Lidar, rilievo batimetrico e loro elaborazioni

Per sfruttare al meglio le caratteristiche di un modello bidimensionale è indispensabile disporre di adeguati rilievi dell'alveo del corso d'acqua.

Nel caso in esame si è utilizzato come base di partenza il DEM interpolato su una griglia regolare con spaziatura 1 metro ricavato dal rilievo Lidar effettuato dal Ministero dell'Ambiente nel 2008. Esso copre tutta la regione in fase di studio. Purtroppo, non è stato possibile reperire le fotografie aeree contestuali al volo Lidar. Poiché, come è noto, il raggio laser non penetra al di sotto del pelo dell'acqua (se non per profondità idriche di modesta entità), dal rilievo Lidar non è possibile apprezzare l'andamento della parte di alveo immerso.

Inoltre, a causa dell'interpolazione e della mancanza di fotografie aeree contestuali, non è neppure possibile stabilire dove fosse presente acqua e dove terreno. Come si esporrà in seguito, trovare e identificare gli errori causati da questi trattamenti preliminari è stato piuttosto oneroso: si auspica in futuro di poter ottenere il rilievo Lidar originale, cioè non interpolato, e le ortofoto contestuali al volo.

Per poter descrivere l'alveo anche al di sotto del pelo libero si è richiesto all'AIPo di effettuare un rilievo batimetrico.

Il momento più idoneo per tale rilievo sarebbe in concomitanza di un elevato livello di Po e di una modesta (o addirittura nulla) portata nel torrente Parma. In queste condizioni si avrebbe un livello idrico sufficientemente alto da consentire il transito dell'imbarcazione che effettua la misura e sufficienti punti di sovrapposizione tra il rilievo batimetrico e quello Lidar; contemporaneamente si avrebbe un pelo libero pressoché orizzontale che eviterebbe problemi di collocazione in quota dell'imbarcazione.

Il rilievo è stato effettuato il 22 marzo 2011 (dalle 8:38 alle 9:58) mediante l'imbarcazione dell'ARNI (ora AIPo) dotata di un sistema *multibeam* posizionato nella parte inferiore dell'imbarcazione. Operativamente l'imbarcazione ha proceduto dalla confluenza in Po verso monte ma nel prosieguo dell'analisi con sezione "iniziale" e "finale" si farà riferimento a sezioni intese nel verso del moto e cioè da monte verso valle.

A causa dello stato idrometrico del torrente Parma, è stato possibile eseguire il rilievo unicamente nel tratto compreso tra l'abitato di Colorno, in particolare da circa 250 m a monte del ponte di piazza Garibaldi (Figura 2-3) e la confluenza in Po (Figura 2-4). Il rilievo Lidar del 2008 è stato comunque effettuato in un periodo nel quale l'alveo del torrente era pressoché asciutto nel tratto a

monte, per cui si è ritenuta sufficiente la descrizione geometrica dedotta dal DEM elaborato dal rilievo Lidar stesso.

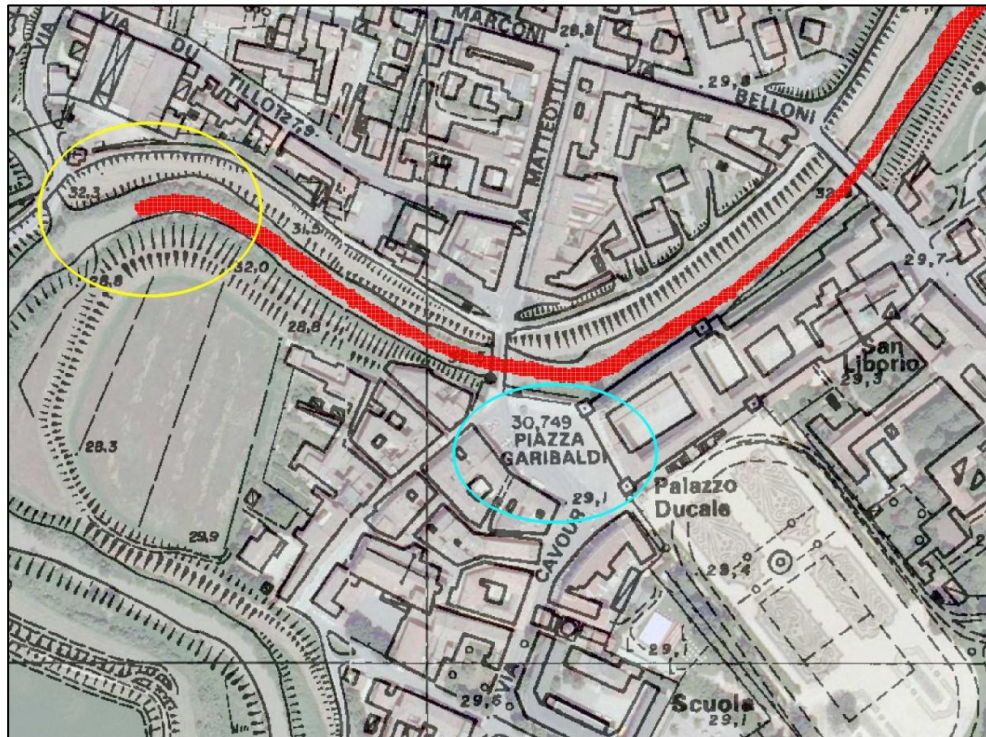


Figura 2-3: Tratto iniziale del rilievo batimetrico, rappresentato in rosso: in giallo è evidenziata la sezione iniziale, in azzurro Piazza Garibaldi a Colorno.

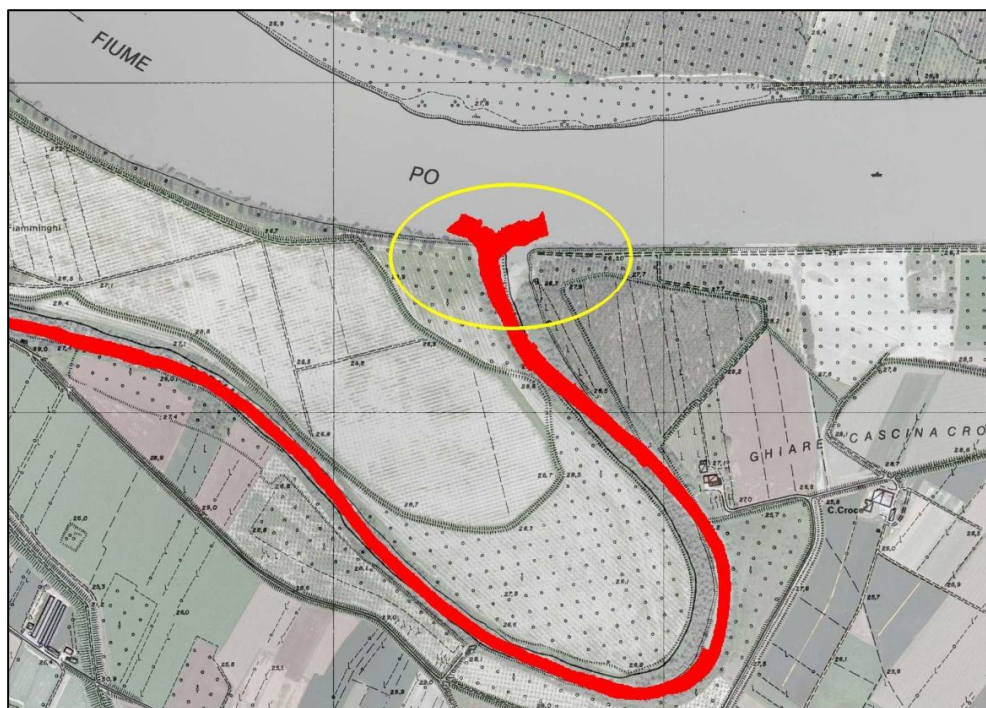


Figura 2-4: Tratto finale del rilievo batimetrico (confluenza del torrente Parma nel fiume Po).

Dal rilievo batimetrico sono state fornite agli scriventi solo le profondità idriche rilevate ed il livello idrico all'idrometro di Boretto (+2.25→2.23 m). Per integrare tali dati nel DEM è indispensabile convertire le profondità idriche in quote assolute, conoscendo la quota assoluta del natante lungo la navigazione. Purtroppo questo dato non è stato fornito, né si è rilevata la quota del pelo libero in alcuni punti significativi (ponti, aste idrometriche, muri di sponda, ecc.) che avrebbero potuto fungere da ancoraggio del rilievo. Con le informazioni disponibili non rimanevano che due possibilità: la prima (e più semplice) era quella di sfruttare le zone di sovrapposizione tra la batimetria e il DEM “attendibile”, cioè non corrispondente a zone in cui era originariamente presente acqua, per “ancorare” le profondità della batimetria alle quote del rilievo Lidar; questo purtroppo non è stato possibile a causa della scarsa sovrapposizione tra la batimetria stessa e il DEM (Figura 2-5).

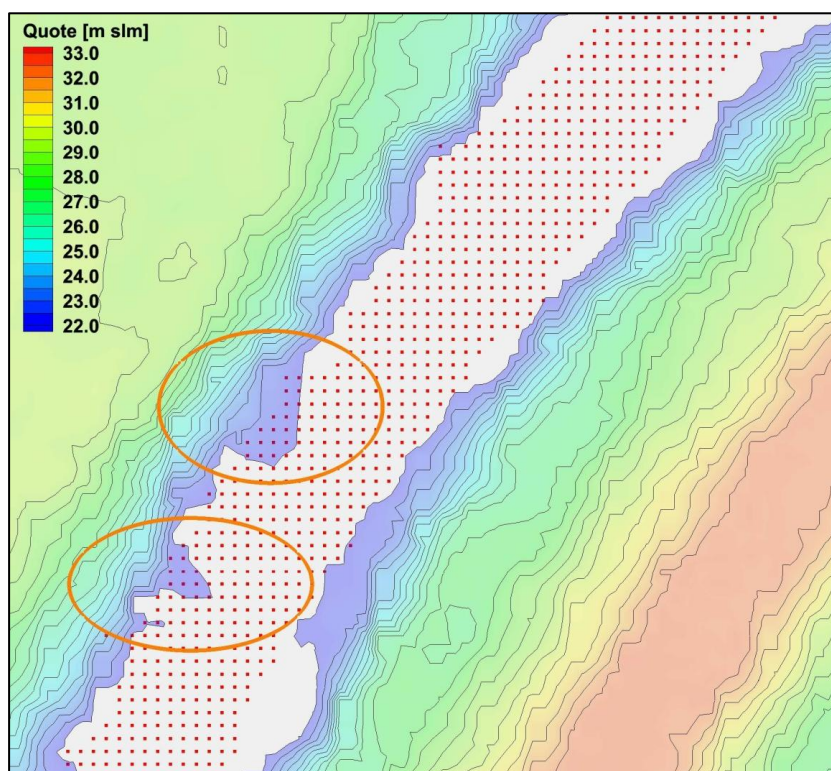


Figura 2-5: Tratto a valle del ponte della ferrovia Parma-Brescia a Colorno scelto a titolo di esempio: è evidente la scarsa sovrapposizione tra la batimetria (punti rossi) e il DEM considerato “attendibile”.

Si è optato allora per una seconda possibilità, ben più complessa e meno attendibile, basata sul tracciamento del profilo di moto permanente corrispondente il più possibile alla situazione idrica del torrente nel momento in cui è stato effettuato il rilievo mediante ecoscandaglio. A questo scopo

si è utilizzato un modello monodimensionale del torrente Parma disponibile presso il DICATeA, la cui geometria è basata su alcune sezioni rilevate nell'anno 2000.

La simulazione è stata effettuata imponendo a monte una portata in ingresso pari a quella registrata all'idrometro di Ponte Verdi a Parma il giorno 22 marzo 2011 ($32 \text{ m}^3/\text{s}$) ed a valle, in corrispondenza della confluenza in Po, una quota idrica (23.64 m s.l.m.) ricavata a partire dalla lettura a Boretto². La quota idrica alla confluenza in Po è stata dedotta incrementando la quota idrica a Boretto di 1.5 m, pari al prodotto della distanza tra la confluenza Parma-Po e Boretto (circa 10 km) per la pendenza media del Po nel tratto, assunta pari a $i=1.5 \cdot 10^{-4}$.

Il risultato di questa simulazione è un profilo di moto permanente che associa ad ogni sezione una quota idrica. Nelle zone comprese tra le sezioni si è infine interpolato per ottenere una quota idrica in tutti i punti di interesse.

I risultati della simulazione sono stati considerati accettabili, nonostante la geometria non coeva, grazie alla scarsa portata transitante nel torrente Parma e all'elevato livello di Po il giorno del rilievo batimetrico: nella zona di interesse (a valle di Colorno) si è riscontrato un rigurgito piuttosto marcato e questo fa sì che i risultati risentano effettivamente poco di eventuali variazioni del fondo avvenute tra l'anno 2000 (periodo del rilievo delle sezioni) e oggi.

Si è poi affrontato il problema di associare le quote del profilo longitudinale così ottenuto alla batimetria, eliminare la parte di DEM inattendibile e generare un nuovo DEM.

Prima di unire i due rilievi è stato necessario identificare in ogni tavoletta la minima quota alla quale le curve di livello potevano considerarsi ancora "attendibili" (si veda, a titolo di esempio, la Figura 2-6). I punti del DEM interni a tale curva di livello (presente sia in destra che in sinistra idraulica) sono stati eliminati in quanto ritenuti appartenenti allo specchio liquido e quindi frutto di interpolazioni inattendibili.

Determinate per ogni tavoletta tali quote, si è creato uno script con il programma di calcolo MATLAB che, in estrema sintesi, elimina la parte di DEM ritenuta inattendibile e la sostituisce con la quote dedotte dal rilievo batimetrico. La costruzione della mesh del modello 2D, per la parte interessata dal rilievo batimetrico, si è dunque basata sulle nuove tavolette ottenute dall'unione tra la batimetria stessa e il DEM.

² Lo zero dell'idrometro di Boretto è stato assunto a 19.90 m s.l.m..

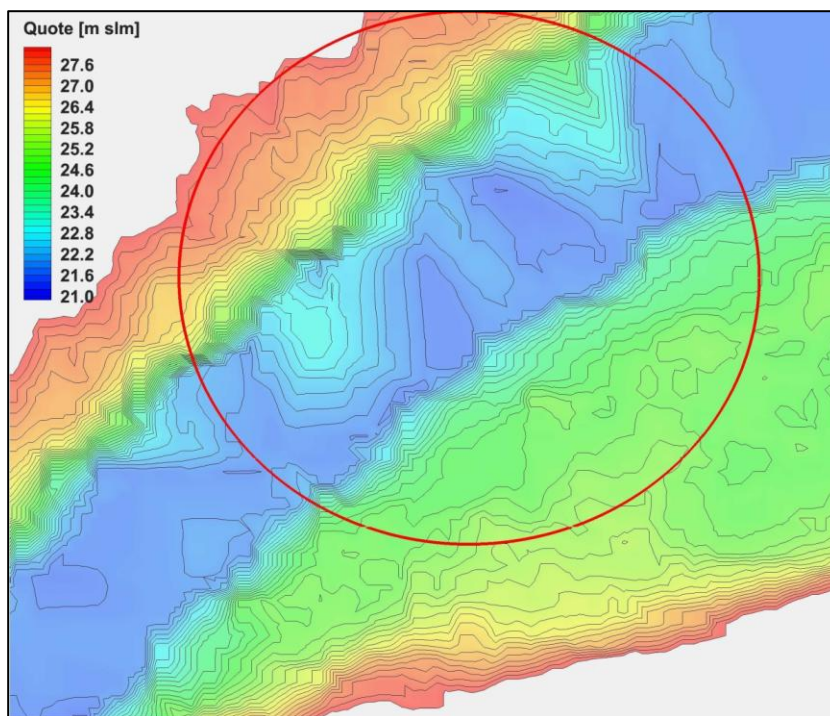


Figura 2-6: Tratto di torrente a valle del ponte della ferrovia Parma-Brescia: è evidente che le curve di livello che si sviluppano in corrispondenza dell'alveo di magra non hanno alcun significato.

2.1.2. Rilievo e modellazione dei ponti

Per la descrizione dei ponti presenti nel tratto prossimo a Colorno (dal nuovo ponte della tangenziale in poi) si sono utilizzati i dati forniti da AIPo; essi consistono, per ogni ponte, in un rilievo topografico della sezione trasversale, in alcune fotografie e nell'ubicazione territoriale.

Si sono descritti nel modello solo i ponti che, per la loro conformazione, si è ritenuto potessero influenzare in maniera significativa i livelli di piena e, conseguentemente, la portata compatibile a Colorno; per questi motivi i sovrappassi pedonali in località Torrile e Rivarolo non sono stati presi in considerazione.

Ponte della tangenziale Nord di Parma, ponte dell'autostrada MI-BO e ponte di strada Matteotti in località san Siro

Per i suddetti ponti (cfr. Figura 2-7 per il ponte di Strada Matteotti) si è costruita la mesh del modello 2D seguendo il profilo delle spalle in modo tale che la larghezza utile tracciata coincidesse con la larghezza utile reale. Si sono poi ritenuti trascurabili, ai fini della descrizione delle dinamiche di piena, gli effetti dovuti alla presenza delle pile.

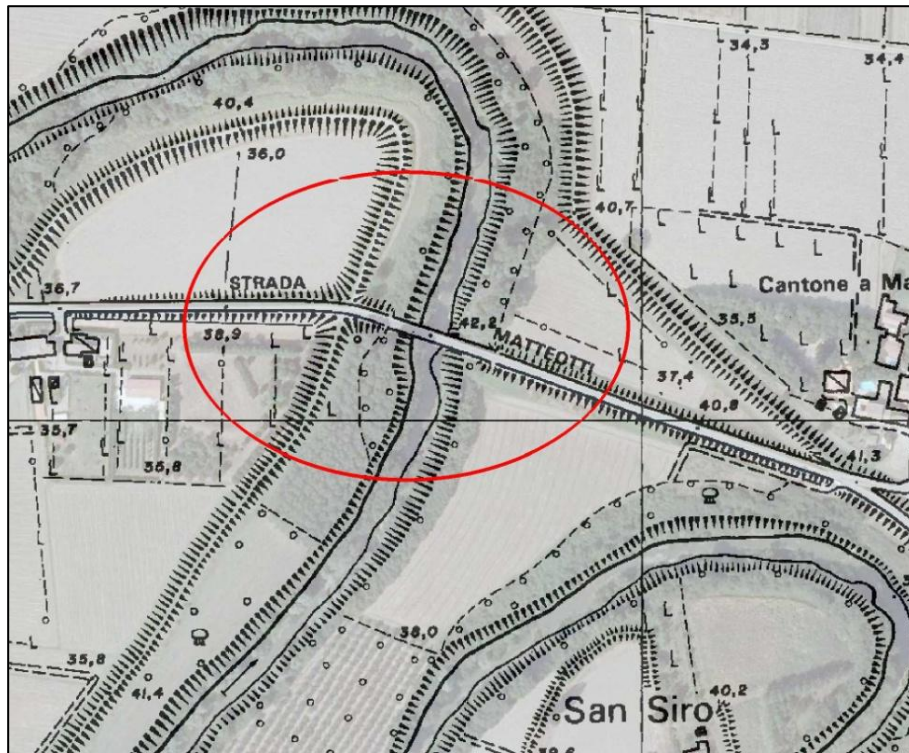


Figura 2-7: Ubicazione del ponte di strada Matteotti in località s. Siro.

Ponte della nuova tangenziale di Colorno

Il ponte della nuova tangenziale di Colorno si trova a monte della cittadina in corrispondenza della località Vedole (Figura 2-8).



Figura 2-8: Ubicazione del ponte della nuova tangenziale di Colorno, a monte del cittadina.

Lo schema strutturale evidenzia quattro pile, due appena esterne all'alveo di magra e due in corrispondenza della sommità della scarpa dell'argine maestro. Si sono ritenute rilevanti solo le prime due (visibili in Figura 2-9) eliminando gli elementi di mesh posti in loro corrispondenza (Figura 2-10) e verificando successivamente che l'altezza idrica massima fosse inferiore alla quota dell'intradosso del ponte.



Figura 2-9: Ponte della nuova tangenziale di Colorno (Fonte: AIPo).

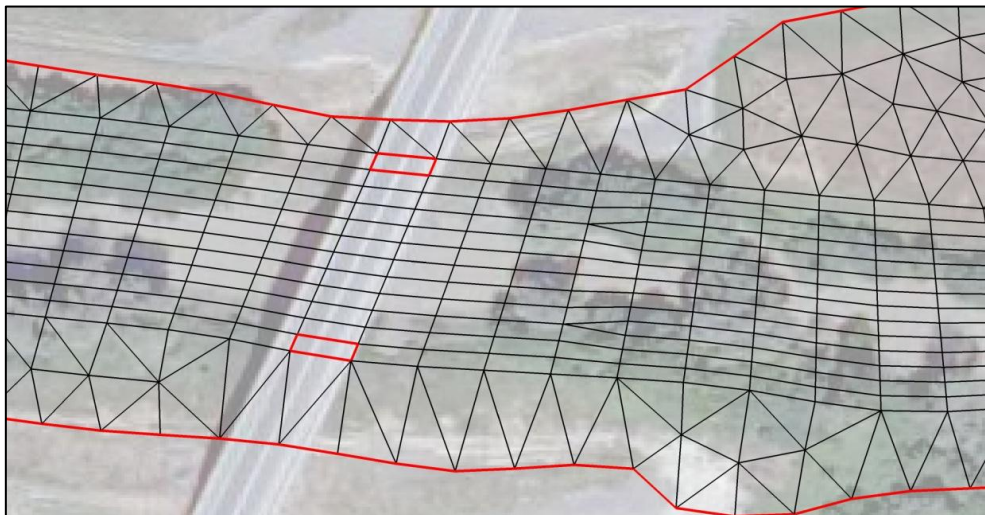


Figura 2-10: Tratto di mesh che descrive il ponte della nuova tangenziale di Colorno: sono evidenziati in rosso i due poligoni privi di mesh, corrispondenti alle due pile considerate.

Ponte di piazza Garibaldi a Colorno

Il ponte di piazza Garibaldi (Figura 2-11) rappresenta una delle sezioni più vincolanti per la definizione della portata compatibile a Colorno. Per questa ragione la sua modellazione ha richiesto delle valutazioni più specifiche rispetto agli altri.

La struttura è in muratura caratterizzata da uno schema ad arco e dall'assenza di pile, grazie anche alla ridotta larghezza dell'alveo in corrispondenza di questa sezione (Figura 2-12).

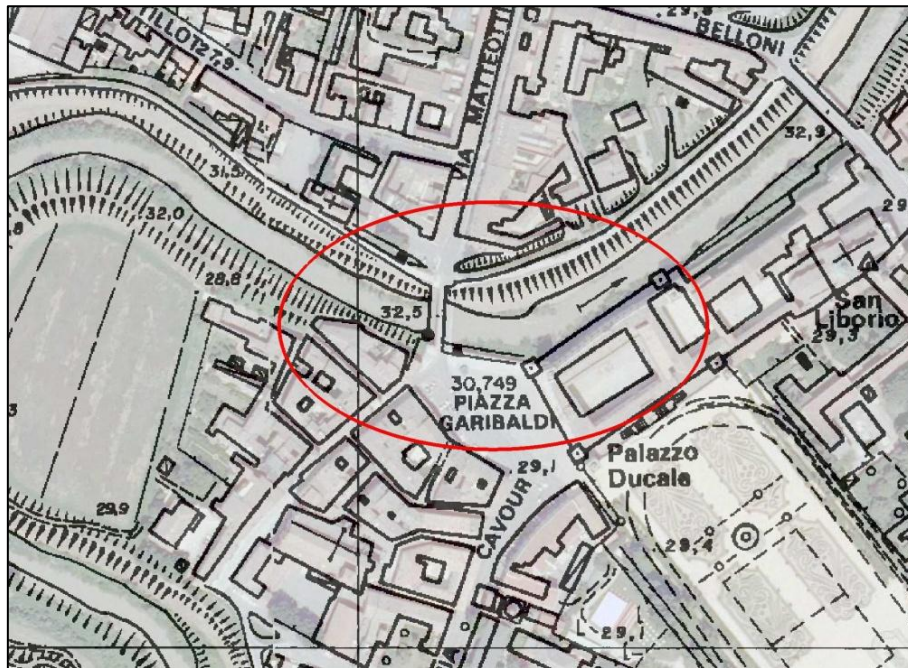


Figura 2-11: Ubicazione del ponte di Piazza Garibaldi a Colorno.



Figura 2-12: Ponte di Piazza Garibaldi visto da valle (Fonte: AIPo).

La soluzione a cui si è giunti per descrivere questo ponte nel modello 2D è illustrata in Figura 2-13. Il fondo della sezione coincide con il fondo dell'alveo così come restituito dal rilievo batimetrico. Non essendo possibile rappresentare l'impalcato del ponte (a causa dell'approssimazione bidimensionale delle equazioni alle acque basse), la modellazione si è basata su un'equivalenza tra l'area della sezione reale e l'area del poligono ABCD: l'estremo superiore di tale sezione si è assunto alla quota dell'intradosso del colmo dell'arco, rappresentata dalla retta BC. Fissata tale altezza si è variata la posizione delle rette AB e CD in modo tale che l'area del poligono ABCD fosse equivalente a quella della sezione utile reale. In pratica si è fatto in modo che l'area della regione piana FCP coincidesse con la superficie della regione DF2, e che quella della zona BEP fosse equivalente a quella dell'area AE1. Questa schematizzazione sottostima le aree di passaggio e sovrastima conseguentemente le perdite di carico per portate modeste; per le portate elevate che provocano la pressoché totale chiusura del ponte fornisce risultati simili a quelli della geometria effettiva. Nel caso di portate ancora superiori, che provocano l'entrata in pressione del ponte, tale schematizzazione non è attendibile in quanto sovrastima le aree e sottostima le perdite di carico. La mesh che si è costruita in seguito a queste considerazioni è riportata in Figura 2-14.

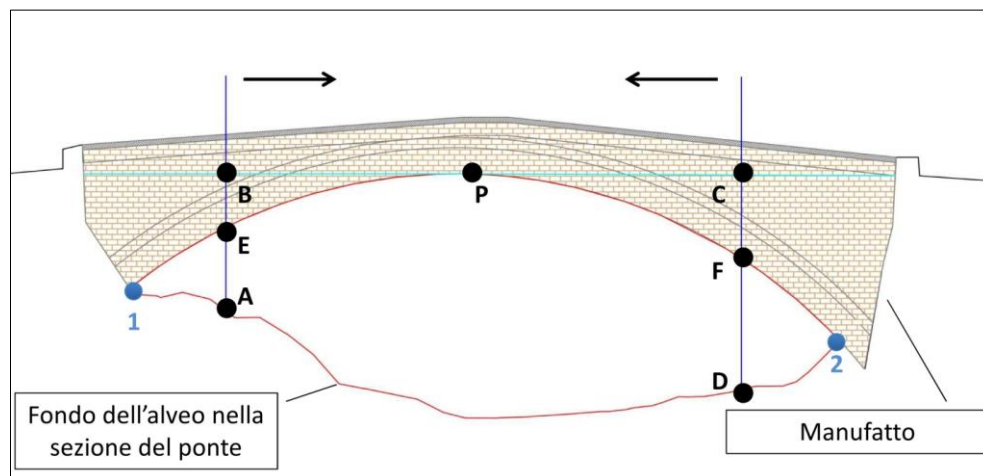


Figura 2-13: Schema adottato per la modellazione del ponte di piazza Garibaldi.

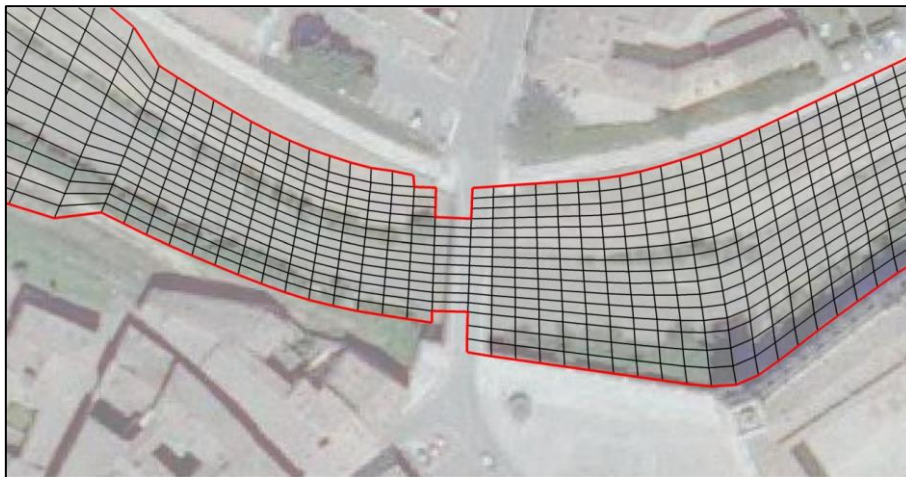


Figura 2-14: Tratto di mesh nell'intorno del ponte di piazza Garibaldi.

Ponte di via Roma a Colorno

Il ponte di via Roma (Figura 2-15) è ubicato a valle del ponte di piazza Garibaldi. Lo schema strutturale è piuttosto complesso: l'impalcato orizzontale è sostenuto da due pile poste nell'alveo di magra e da una serie di pilastri che poggiano su una struttura ad arco (Figura 2-16).

Questo ponte è stato modellato tenendo presente la lunghezza dell'impalcato, in particolare la distanza tra le spalle, e inserendo alcuni elementi “vuoti” nella mesh in corrispondenza delle due pile; in particolare ad ogni pila corrisponde una cella vuota in cui la mesh non è stata interpolata (Figura 2-17).

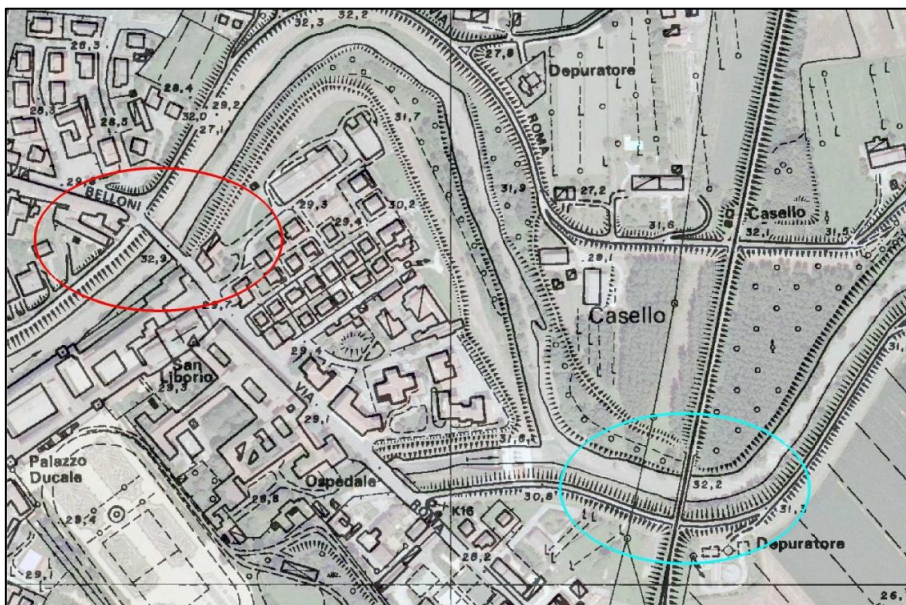


Figura 2-15: Ubicazione del ponte di via Roma (contorno rosso) e del ponte della linea ferroviaria Parma-Brescia (contorno azzurro).



Figura 2-16: Ponte di via Roma visto da valle (Fonte: AIPo).

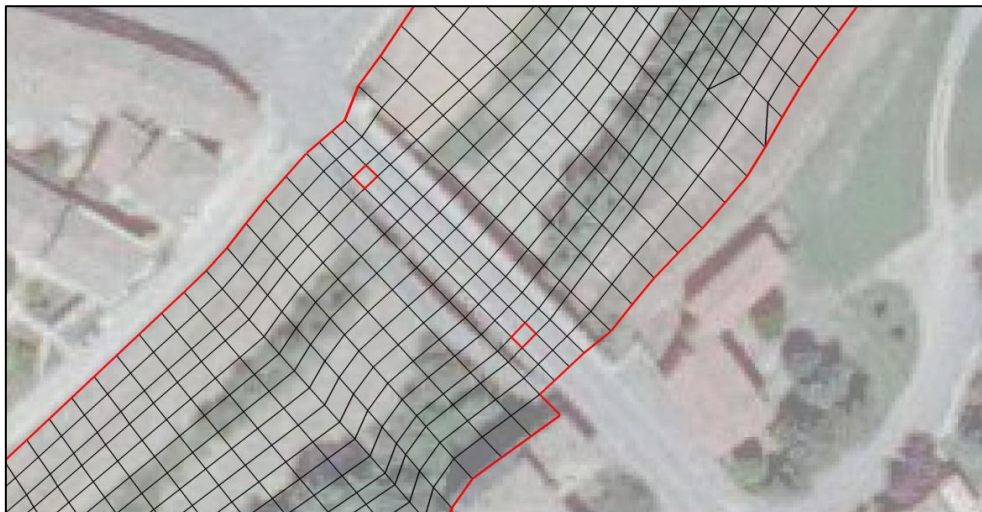


Figura 2-17: Tratto di mesh nell'intorno del ponte di via Roma: sono indicati in rosso i due elementi privi di mesh, posti in corrispondenza delle due pile.

Ponte della ferrovia Parma-Brescia

Il ponte della linea ferroviaria Parma-Brescia (Figura 2-15) è ubicato a valle del ponte di via Roma. Come si nota dalla Figura 2-18 la struttura di attraversamento è composta da un'unica campata orizzontale. La rappresentazione nel modello 2D è stata effettuata imponendo la distanza tra gli estremi della mesh che descrivono l'alveo di magra in questa sezione pari alla distanza tra le spalle (Figura 2-19).



Figura 2-18: Ponte della linea ferroviaria Parma-Brescia visto da monte (Fonte: AIPo).



Figura 2-19: Tratto di mesh nell'intorno del ponte della ferrovia Parma-Brescia. La zona del rilevato è priva di mesh perché la sommità ha una quota superiore ai massimi livelli idrici raggiunti in condizioni di piena.

Ponte Albertelli

Il ponte Albertelli è il ponte più a valle tra quelli considerati ed anche il più prossimo alla confluenza col fiume Po (Figura 2-20). Come per il ponte della ferrovia Parma-Brescia la struttura è priva di pile (Figura 2-21) e per questo si è proceduto con la modellazione in modo analogo al caso precedente: nella mesh si è imposta una distanza tra gli estremi della sezione del ponte pari alla distanza tra le spalle dello stesso, nota dal rilievo topografico (Figura 2-22).

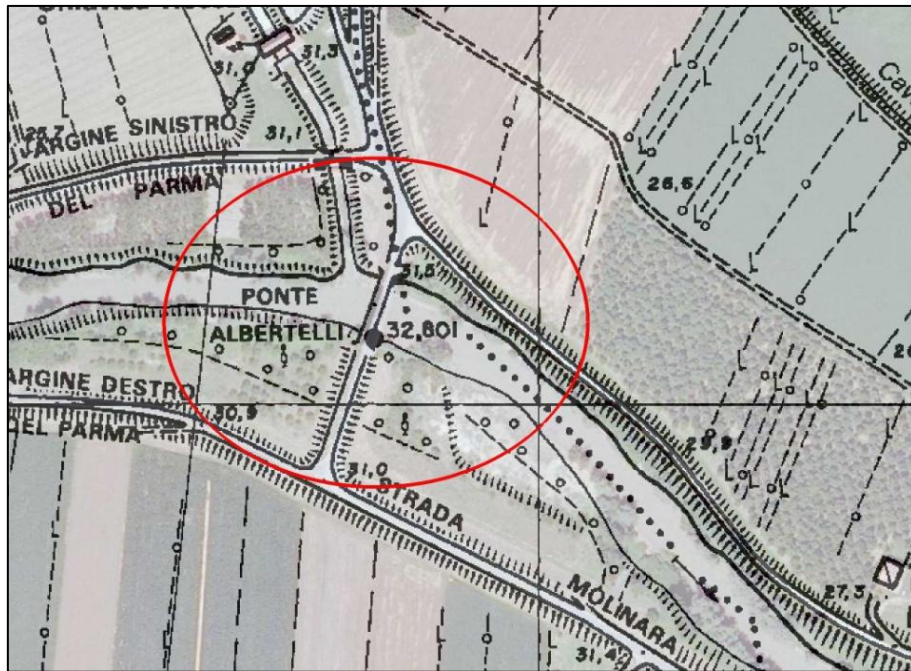


Figura 2-20: Ubicazione del ponte Albertelli, a valle di Colorno.



Figura 2-21: Ponte Albertelli (Fonte: AIPo).



Figura 2-22: Tratto di mesh nell'intorno del ponte Albertelli.

2.1.3. Ortofoto e rilievi di dettaglio

L'analisi di dettaglio delle ortofoto³ ha permesso di valutare la presenza di argini golenali, edifici, strade e carraie che dal DEM o dalla CTR non erano facilmente individuabili. Il loro utilizzo è stato inoltre essenziale per assegnare i valori di scabrezza nelle zone golenali, distinguendo tra aree boschive e aree prevalentemente erbose.

Grazie all'osservazione delle ortofoto si sono individuati alcuni argini golenali che da un'analisi anche dettagliata del DEM erano risultati di difficile interpretazione, principalmente per la presenza di alberatura ad alto fusto.

La descrizione di tali argini si è però ritenuta importante, almeno da un punto di vista locale, per confrontare i risultati della simulazione della piena del Gennaio 2009 con la picchettatura. Si è chiesto pertanto all'AIPo di effettuare rilievi topografici ad hoc in corrispondenza di ognuna delle zone di interesse.

Procedendo da monte verso valle, la prima zona si trova di poco a valle della città di Parma, tra il ponte della tangenziale e il ponte dell'autostrada (Figura 2-23). Ivi sono presenti in golena alcuni edifici, difesi da un arginello golenale descritto dal DEM a passo 1 metro in maniera poco

³ Come già ricordato, le ortofoto disponibili non sono contemporanee al rilievo Lidar.

soddisfacente. Purtroppo l'AIPo ha comunicato che non è stato possibile effettuare il rilievo topografico per descrivere l'argine golenale per le condizioni e la struttura del terreno in quella zona. Si è pertanto rinunciato ad una descrizione di dettaglio.



Figura 2-23: argine golenale presso Stradello Dazzi (laterale di via Moletolo), tra il ponte della tangenziale e il ponte dell'autostrada A1. In rosso sono rappresentati i punti della picchettatura della piena del Gennaio 2009.

La seconda zona di interesse si trova presso via argine Baganzolino, a Nord del ponte dell'autostrada A1 (Figura 2-24).



Figura 2-24: argine golenale presso via argine Baganzolino, a Nord del ponte dell'autostrada A1. In rosso sono rappresentati i punti della picchettatura della piena del Gennaio 2009.

In questa zona, come in quelle descritte nel seguito, il rilievo topografico ha permesso di migliorare in modo rilevante la descrizione locale dell'argine che, come risulta evidente dall'ortofoto, è a protezione di alcuni edifici civili.

La terza zona identificata si trova in località San Siro (Figura 2-25). Anche in questo caso le abitazioni sono protette da un arginello golenale ben evidente nelle ortofoto.



Figura 2-25: argine golenale in località San Siro, laterale della provinciale di Golese. In rosso sono rappresentati i punti della picchettatura della piena del Gennaio 2009, le linee gialle sottili identificano i confini della mesh.

La quarta zona si trova in località Vedole (Figura 2-26): l'argine golenale racchiude un'ampia area in cui è ubicato un edificio a cui si accede con una strada che proviene dalla golenale adiacente. Le sottili linee gialle rappresentano i confini del modello che seguono gli argini maestri del torrente, in rosso sono rappresentati i punti della picchettatura della piena del Gennaio 2009.



Figura 2-26: Quarto argine golenale individuato: si trova in località Vedole in stradello Penza laterale della strada provinciale per Torrile.

Gli ultimi due argini si trovano a Colorno, in corrispondenza del ponte della ferrovia Parma-Brescia (Figura 2-27) e a valle del medesimo ponte (Figura 2-28): l'inserimento del rilievo di questi due argini nella tavolette del DEM ha avuto una rilevanza particolare, essendo queste zone possibile oggetto di interventi di ricalibratura dell'alveo.



Figura 2-27: argine golenale in corrispondenza del ponte della ferrovia a Colorno. I punti rossi rappresentano la picchettatura della piena, le linee gialle sottili sono i confini del modello.

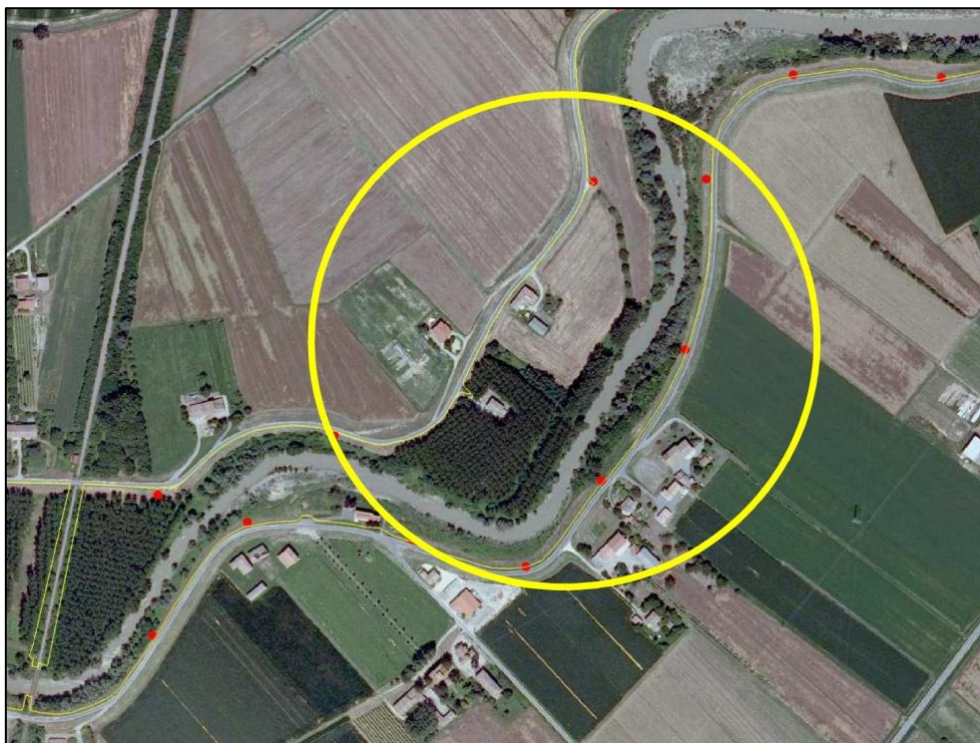


Figura 2-28: argine golenale a valle del ponte della ferrovia di Colorno. I punti rossi rappresentano la picchettatura della piena, le linee gialle sottili sono i confini del modello.

2.1.4. Costruzione della mesh

La costruzione della maglia (o “mesh”) è un elemento fondamentale nella definizione del modello bidimensionale. Per il suo corretto tracciamento occorre considerare l’altimetria del territorio (argini maestri e golenali, alveo di magra, scarpate, rilevati, ecc.) nonché le caratteristiche di uso del suolo (aree boschive, prative, alveo, ecc.).

Si sono dapprima selezionate le tavolette del DEM fornite dall’AIPo descrittive le aree comprese tra gli argini maestri del torrente Parma, dalla città alla confluenza con il fiume Po (Figura 2-29). La corrispondenza tra il numero progressivo delle tavolette di Figura 2-29 e il codice identificativo è riportata in *Tabella 2-1*.

I confini laterali della zona modellata sono stati posizionati in corrispondenza degli argini maestri del torrente Parma: più in particolare, essi sono stati individuati tracciando sul DEM la linea descrivente il piede interno della scarpata dell’argine, nel tratto tra Parma e Colorno (Figura 2-30), mentre tra Colorno e la confluenza in Po la delimitazione è stata tracciata in corrispondenza della sommità dell’argine maestro (Figura 2-31). Questa scelta è giustificata dalla ridotta influenza che la scarpata dell’argine maestro ha in zone con un’estensione rilevante delle golene.

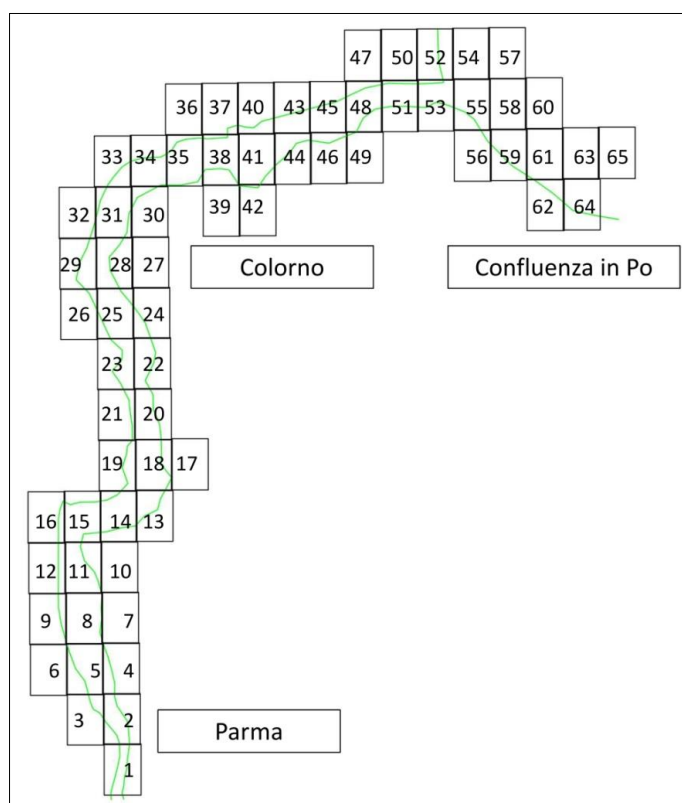


Figura 2-29: Sovrapposizione delle tavolette del DEM al corso del torrente Parma (di colore verde).

Tabella 2-1: Corrispondenza tra il numero indicato in Figura 2-29 e il codice della tavoletta

n° tav.	Codice identificativo	n° tav.	Codice identificativo	n° tav.	Codice identificativo	n° tav.	Codice identificativo
1	d44801032	18	d44861033	34	d44921033	50	d44941040
2	d44811032	19	d44861032	35	d44921034	51	d44931040
3	d44811031	20	d44871033	36	d44931034	52	d44941041
4	d44821032	21	d44871032	37	d44931035	53	d44931041
5	d44821031	22	d44881033	38	d44921035	54	d44941042
6	d44821030	23	d44881032	39	d44911035	55	d44931042
7	d44831032	24	d44891033	40	d44931036	56	d44921042
8	d44831031	25	d44891032	41	d44921036	57	d44941043
9	d44831030	26	d44891031	42	d44911036	58	d44931043
10	d44841032	27	d44901033	43	d44931037	59	d44921043
11	d44841031	28	d44901032	44	d44921037	60	d44931044
12	d44841030	29	d44901031	45	d44931038	61	d44921044
13	d44851033	30	d44911033	46	d44921038	62	d44911044
14	d44851032	31	d44911032	47	d44941039	63	d44921045
15	d44851031	32	d44911031	48	d44931039	64	d44911045
16	d44851030	33	d44921032	49	d44921039	65	d44921046
17	d44861034						

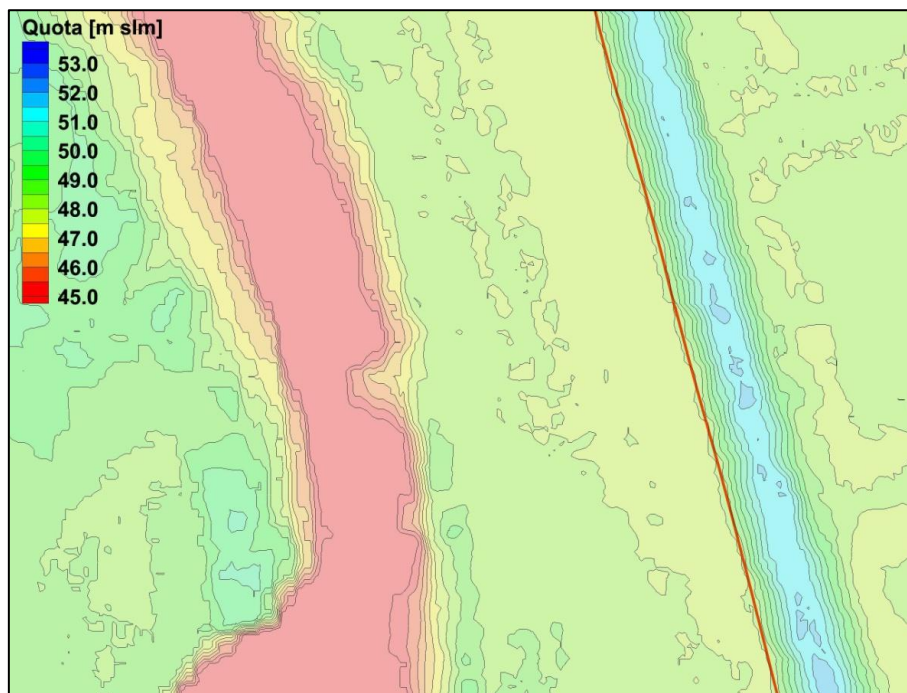


Figura 2-30: Immagine a carattere puramente esemplificativo del confine destro della zona modellata nel tratto tra Parma e Colorno. La linea rossa evidenzia il confine, tracciato al piede dell'argine maestro; sono evidenti l'alveo di magra (tonalità rossa) e l'argine maestro destro (tonalità azzurra).

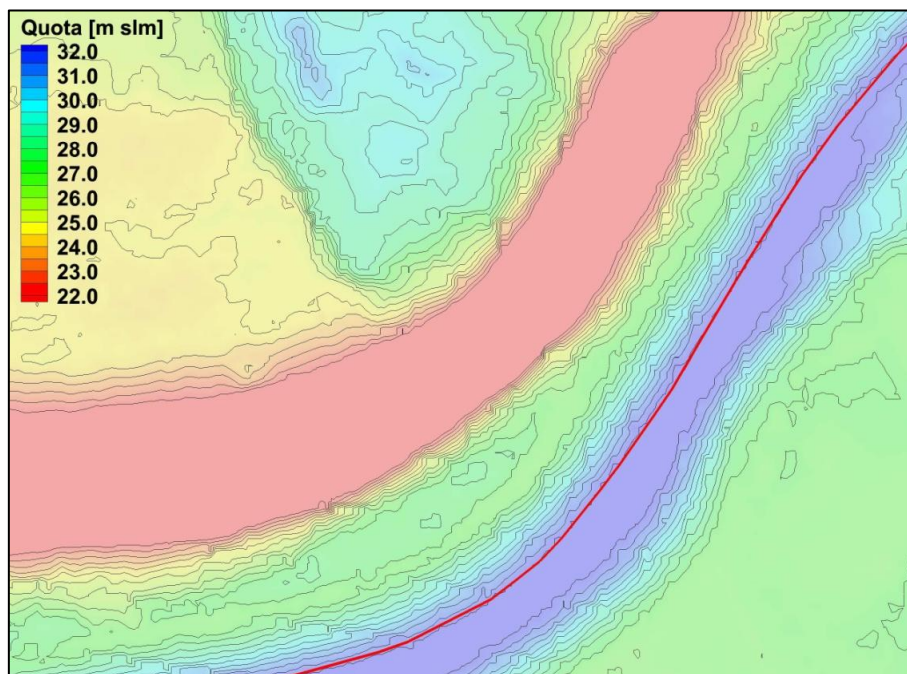


Figura 2-31: Immagine a carattere puramente esemplificativo del confine destro della zona modellata nel tratto tra Colorno e la confluenza in Po. La linea rossa evidenzia il confine, tracciato sulla sommità dell'argine maestro; sono evidenti l'alveo di magra (tonalità rossa) e l'argine maestro destro (tonalità azzurra).

L'alveo di magra è stato delimitato tracciando le linee corrispondenti al piede esterno della scarpata (Figura 2-32).

Gli argini golenali sono stati descritti tracciando delle "breaklines", ovvero linee tridimensionali derivanti dagli approfondimenti topografici effettuati dall'AIPo sulle quali si appoggiano gli elementi di mesh.

Alla descrizione dell'argine golenale e del rilevato della ferrovia Parma-Brescia (Figura 2-27) è stata dedicata particolare attenzione, trovandosi proprio in corrispondenza di una zona oggetto di un possibile intervento di ricalibratura (Figura 2-33). Sono state utilizzate tre breaklines per descrivere sia l'argine golenale sulla sinistra, sia il rilevato della ferrovia sulla destra. Le linee corrispondono ai due piedi della scarpata e alla sommità dell'argine (o del rilevato): per questo si è reso necessario utilizzare un numero di elementi di mesh superiore a quello utilizzato per gli altri argini golenali ma ciò ha permesso una modellazione e una descrizione più accurata.

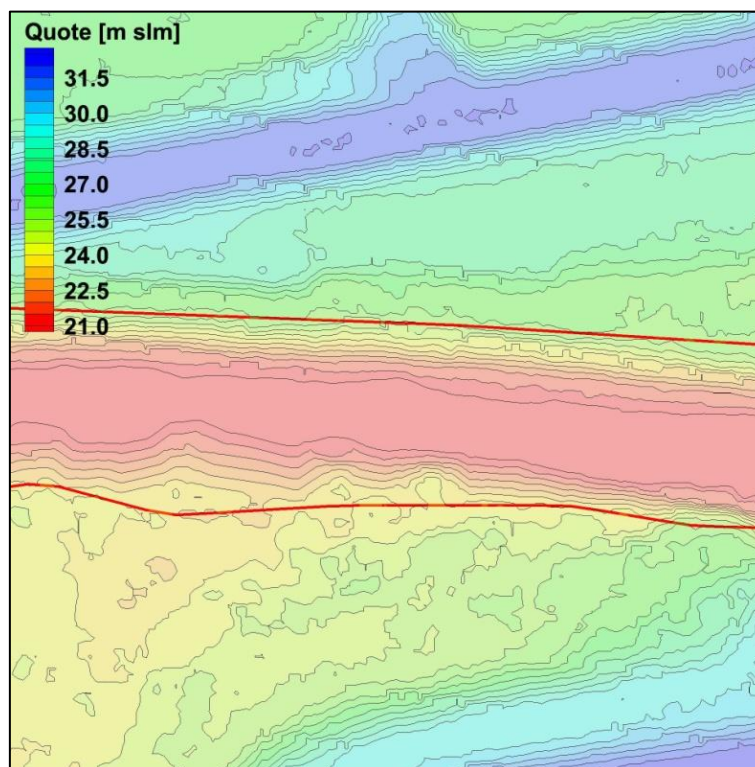


Figura 2-32: Immagine a carattere puramente esemplificativo del limite della delimitazione dell'alveo di magra, chiaramente distinguibile in tonalità rossa. Si distingue anche l'argine maestro (tonalità blu).

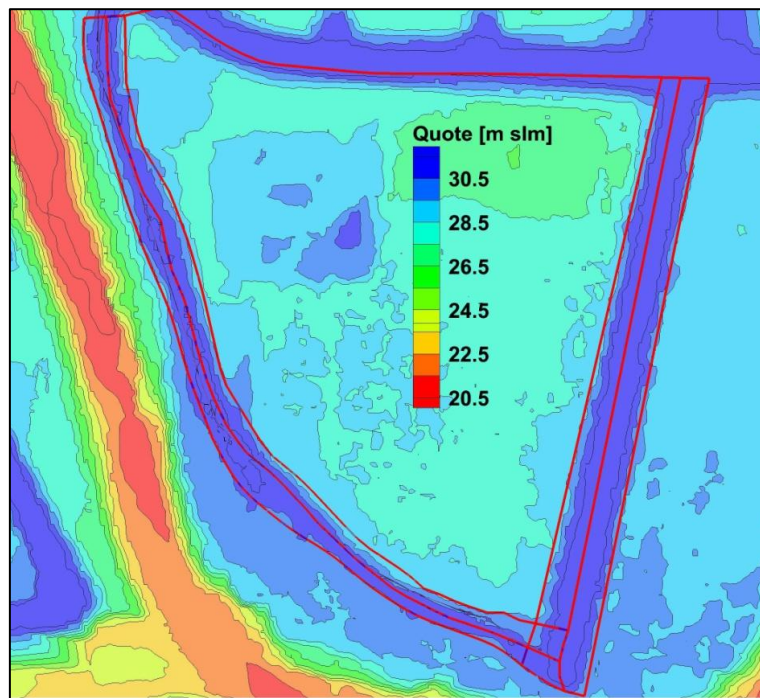


Figura 2-33: Schematizzazione utilizzata per l'argine golenale e per il rilevato della ferrovia Parma-Brescia a Colorno : oltre alla breakline in sommità ne sono state tracciate altre due ai piedi della scarpata.

Nel rispetto delle linee di delimitazione degli argini (maestri e golenali) e dell'alveo di magra, l'area del modello è stata poi suddivisa in numerosi poligoni (in totale 441), a cui sono stati poi associati valori di scabrezza, dimensioni e tipologie di mesh differenti.

Si considerino a titolo d'esempio le aree evidenziate in Figura 2-34: il tracciamento delle linee trasversali all'alveo di magra del torrente permette di delimitarne le anse planimetriche in modo da guidare il tracciamento della mesh ed evitare elementi troppo piccoli e tali da causare un notevole aumento del tempo di calcolo in fase di simulazione.

Nelle aree golenali i poligoni sono stati tracciati seguendo le suddivisioni tra zone "boschive" e "erbose", grazie all'ausilio delle ortofoto. Tale suddivisione ha permesso di assegnare differenti valori di scabrezza, rendendo il modello più aderente alla realtà.

Una volta tracciati i poligoni si è proceduto ad individuare tipologia e dimensioni degli elementi descriventi la mesh.



Figura 2-34: Tracciamento dei poligoni per descrivere le anse dell'alveo dimagra del e per suddividere le zone golenali a differente scabrezza.

L'alveo di magra è stato descritto mediante elementi quadrangolari, con il lato maggiore orientato nella direzione prevalente della corrente. Tra Parma e Colorno si sono adottati elementi di dimensione 5m x 10m (Figura 2-35), mentre tra Colorno e la confluenza in Po le dimensioni sono state ridotte a 2m x 5m (Figura 2-36).

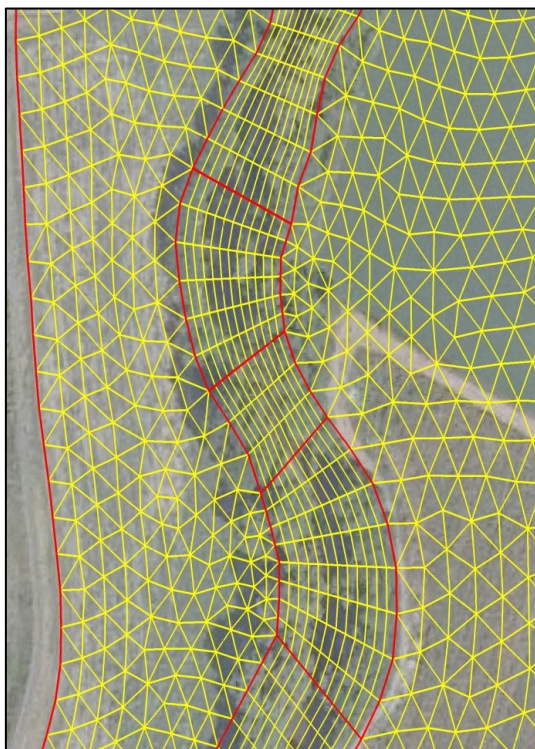


Figura 2-35: Tratto di mesh esemplificativo della forma degli elementi a monte di Colorno.

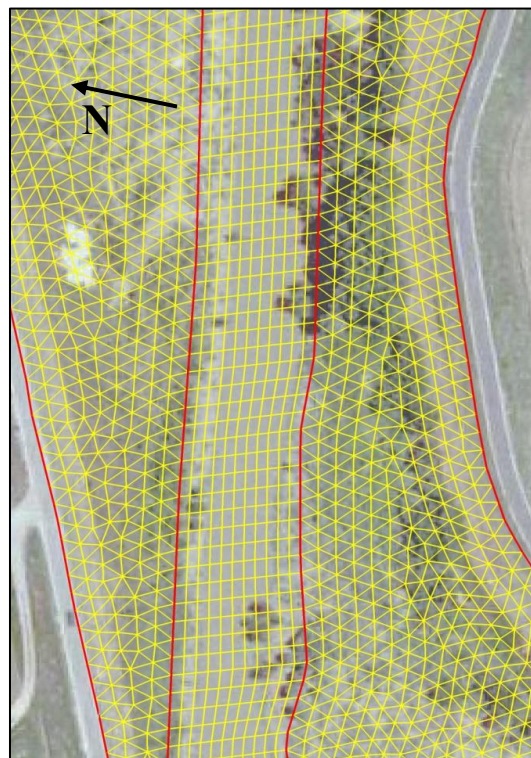


Figura 2-36: Tratto di mesh esemplificativo della forma degli elementi tra Colorno e la confluenza in Po.

Questa scelta è stata dettata da diverse considerazioni. A valle di Colorno le aree golenali, quando presenti, sono talmente ridotte che un'accurata descrizione dell'alveo di magra ha una rilevanza fondamentale; inoltre Colorno è proprio la zona in cui si valuterà la possibilità di effettuare interventi di ricalibratura d'alveo. A monte di Colorno, invece, le golene sono molto più ampie e contribuiscono, come si vedrà, in maniera rilevante al deflusso di piena. Occorre poi considerare che un numero elevato di elementi di mesh allunga notevolmente i tempi di simulazione.

Come risulta evidente dalla Figura 2-35 e dalla Figura 2-36, le golene sono state rappresentate utilizzando elementi triangolari: non si riscontra più, infatti, quella direzione preferenziale della corrente che nell'alveo di magra è servita a definire la dimensione maggiore dell'elemento quadrangolare.

La spaziatura tra i nodi sulle linee di confine dell'alveo di magra corrispondono alla dimensione longitudinale degli elementi quadrangolari, ovvero 10 m a monte di Colorno e 5 m a valle. Per la modellazione delle golene con area molto rilevante si è poi utilizzata la funzione "bias" che permette di ridurre il numero di elementi descriventi una certa superficie. Con tale funzione è cioè possibile imporre un passo non costante dei nodi sulle linee di confine dei poligoni, diradandoli in una certa direzione, per esempio allontanandosi dalla zona di maggiore interesse. Dalla Figura 2-37, riportata a titolo di esempio, risulta evidente che la distanza tra i punti varia dai 10 m, in adiacenza all'alveo inciso, ai 20 m in corrispondenza dell'argine maestro ("bias"=2).

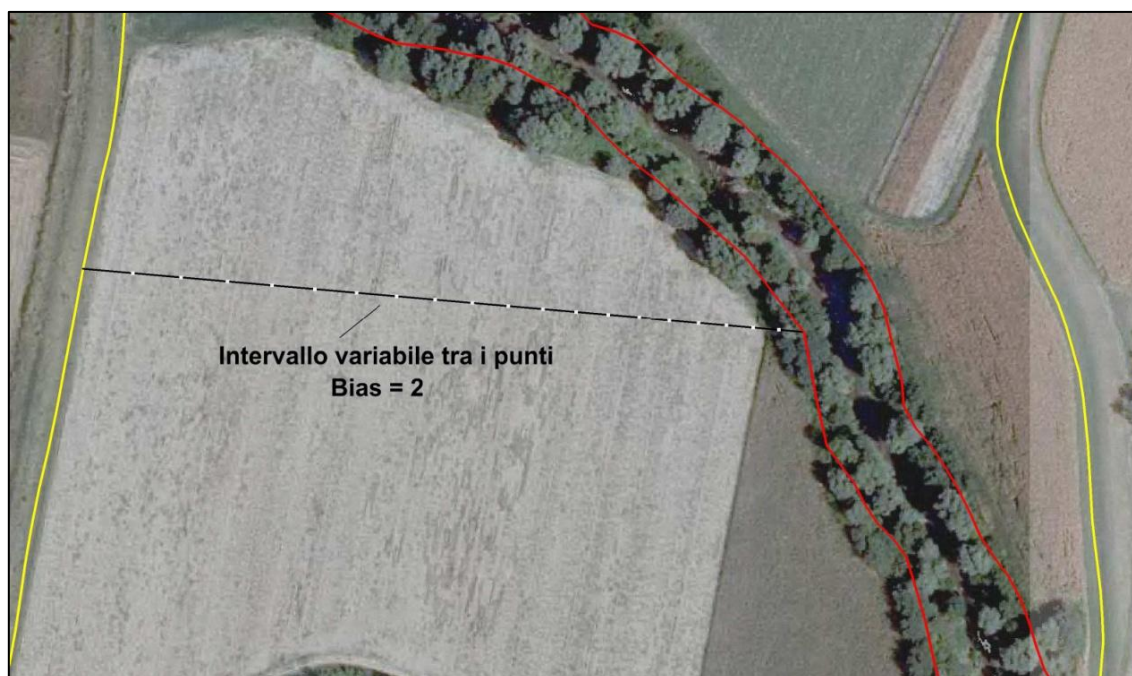


Figura 2-37: Esempio di zona golenale in cui si è sfruttata la funzione "bias".

La seconda osservazione riguarda le zone a valle di Colorno in cui la distanza dell'alveo inciso dagli argini maestri è modesta, nell'ordine della decina di metri (a titolo d'esempio si osservi la Figura 2-38).

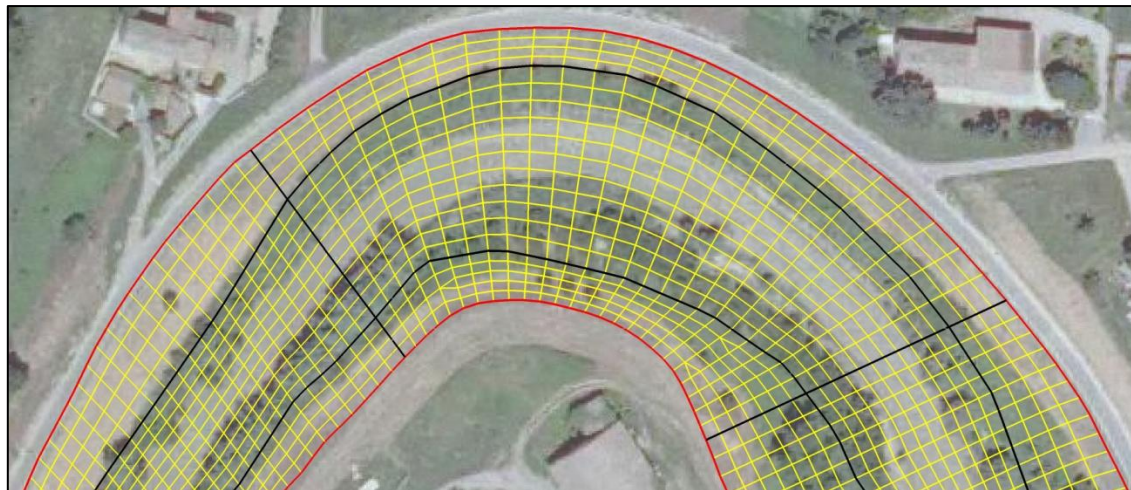


Figura 2-38: Esempio di zona nei pressi di Colorno in cui le golene sono talmente ristrette che si è ritenuto più opportuno descriverle con elementi rettangolari

In queste zone si è mantenuta una descrizione caratterizzata da elementi quadrangolari anche esternamente all'alveo di magra poiché si è ritenuto che in condizioni di piena si possa considerare la corrente essenzialmente monodirezionale anche al di fuori dell'alveo di magra.

Il tracciamento della mesh ha portato a descrivere il tratto fluviale complessivamente con 169.238 elementi.

Dopo aver terminato la costruzione della mesh sono state tracciate delle sezioni (cosiddette Nodestrings) in zone di particolare interesse. La finalità di queste Nodestrings è quella di imporre grandezze utili ai fini del calcolo o di restituire i valori risultanti di grandezze di interesse. Ad esempio, le Nodestrings iniziale e finale riportate nelle Figure 2-39 e 2-40 consentono di imporre le condizioni al contorno di monte e di valle necessarie per ogni simulazione.

Sono state poi tracciate dodici Nodestrings intermedie in corrispondenza delle quali il programma restituisce gli andamenti temporali dei livelli idrici e delle portate transistanti, in modo da valutare l'entità dell'effetto di laminazione.



Figura 2-39: Tratto iniziale del modello a valle del ponte della ferrovia a Nord di Parma: si sono evidenziate la nodestring che apre il modello e due di quelle sfruttate per lo studio della laminazione



Figura 2-40: Tratto finale del modello, in corrispondenza della confluenza con il Po: si sono evidenziate la nodestring che chiude il modello e due di quelle sfruttate per lo studio della laminazione

2.2. Simulazioni della piena del gennaio 2009 e taratura del modello matematico

2.2.1. Introduzione

Nel presente paragrafo vengono descritte le simulazioni effettuate per la taratura del modello matematico. In generale la procedura di taratura consiste nell'individuare il set di parametri che consentono di riprodurre in maniera ottimale i livelli idrici registrati in uno o più eventi reali. Nel tratto di torrente Parma oggetto del presente studio è disponibile il rilievo costituito dall'involuppo dei massimi livelli idrici rilevati durante l'evento di piena del Gennaio 2009 in ben 321 punti, ubicati sia sull'argine destro sia su quello sinistro. Tale set di dati ha rappresentato un elemento fondamentale del processo di taratura, ed ha consentito di calibrare il modello matematico in maniera piuttosto accurata. Nelle usuali procedure di taratura, infatti, il confronto fra i dati registrati e i livelli idrici simulati è possibile solo in corrispondenza di poche (tipicamente una) stazioni di misura. Nel caso in esame è stato invece possibile confrontare i livelli idrici restituiti dal modello matematico con quelli rilevati sul campo lungo tutto il corso del fiume. Ciò ha consentito di tarare in maniera molto più robusta i valori di scabrezza sia dell'alveo inciso che delle zone golenali.

2.2.2. Condizioni al contorno

La regione in cui sono state condotte le simulazioni di taratura comprende l'intera asta fluviale descritta dal modello, dalla città di Parma fino alla confluenza in Po. Tale scelta è giustificata dalla presenza della picchettatura prima ricordata e dall'unica sezione di misura di portata disponibile, in corrispondenza della stazione di Ponte Verdi a Parma.

L'idrogramma di portata imposto come condizione al contorno di monte in corrispondenza della sezione posizionata immediatamente a valle del ponte ferroviario (linea Milano-Bologna) (Figura 2-41) è stato ricavato convertendo, mediante la scala di deflusso, i livelli idrometrici registrati durante l'evento del Gennaio 2009 alla sezione di misura di Ponte Verdi.

A valle è stato imposto un idrogramma di livello in corrispondenza della confluenza con il fiume Po dedotto sulla base dei livelli idrometrici registrati, per lo stesso evento di piena, nella stazione di misura di Boretto. Sulla base delle misure effettuate in occasione dell'evento di piena dell'ottobre 2000 si è stimata una pendenza media del pelo libero tra Casalmaggiore e Boretto pari a 0.0166 %. L'andamento delle quote idriche alla confluenza Parma-Po (Figura 2-42) è stato ottenuto sommando al livello registrato a Boretto la quota assoluta dello zero idrometrico ed incrementando

poi i valori di 1.66 m, pari al prodotto della pendenza del pelo libero (0.0166 %) per la distanza (10 km) calcolata lungo il thalweg fra la confluenza e Boretto.

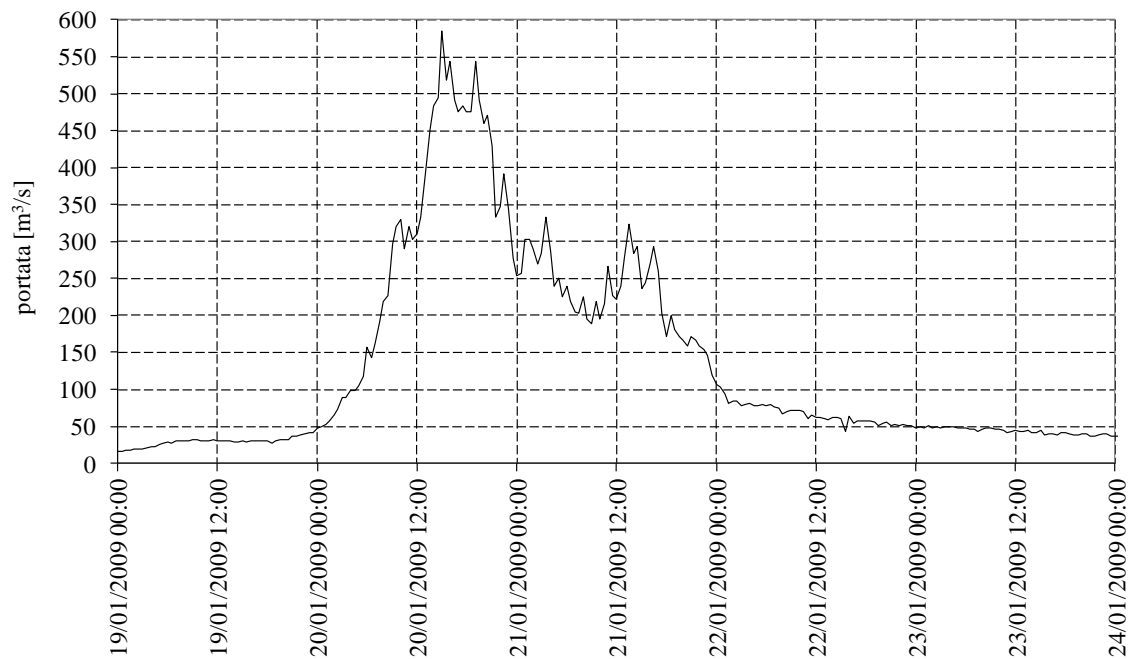


Figura 2-41: Idrogramma di piena a Ponte Verdi per l'evento di piena del Gennaio 2009.

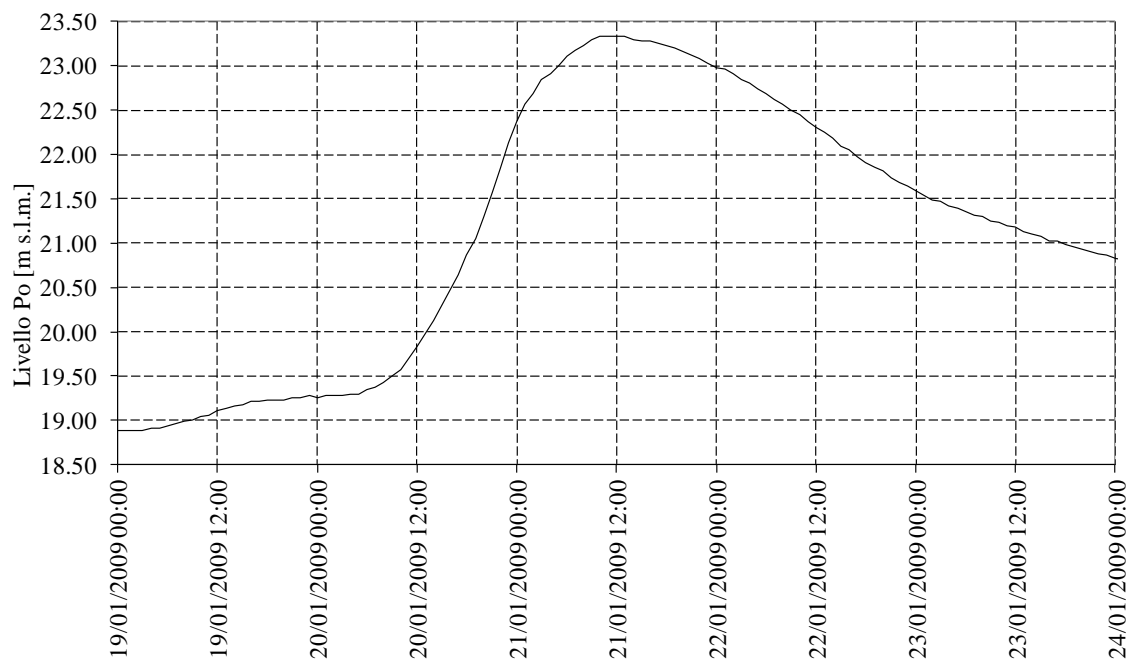


Figura 2-42: Livelli di Po registrati a Boretto con inizio il 19 Gennaio 2009 alle 0:00

In Tabella 2-2 sono riportati i valori numerici utilizzati: l'istante temporale di inizio della condizione al contorno di monte corrisponde alle ore 09:00 del 19 gennaio 2009.

Tabella 2-2: Portate (c.c. di monte) e quote idriche (c.c. di valle) per l'evento del gennaio 2009

t ore	Q m ³ /s	h m s.l.m.	t ore	Q m ³ /s	h m s.l.m.	t ore	Q m ³ /s	h m s.l.m.
0	32.3	20.67	25	329.9	21.23	50	266.0	24.99
1	29.9	20.7	26	319.9	21.36	51	222.0	24.99
2	29.9	20.72	27	310.1	21.5	52	278.3	24.99
3	29.9	20.77	28	392.4	21.64	53	284.5	24.96
4	29.9	20.79	29	482.9	21.79	54	236.3	24.94
5	28.7	20.82	30	585.6	21.96	55	269.0	24.94
6	31.1	20.84	31	543.5	22.13	56	259.9	24.91
7	29.9	20.87	32	475.1	22.3	57	171.2	24.89
8	31.1	20.87	33	475.1	22.52	58	181.4	24.86
9	29.9	20.89	34	543.5	22.71	59	166.2	24.82
10	29.9	20.89	35	459.5	22.96	60	171.2	24.79
11	32.3	20.89	36	429.1	23.23	61	158.8	24.74
12	36.1	20.92	37	346.8	23.5	62	146.8	24.69
13	38.8	20.92	38	343.4	23.79	63	107.0	24.64
14	41.5	20.94	39	253.9	24.03	64	93.0	24.62
15	47.1	20.92	40	303.6	24.23	65	83.5	24.57
16	53.0	20.94	41	290.9	24.35	66	78.0	24.5
17	65.8	20.94	42	284.5	24.5	67	81.6	24.47
18	89.1	20.94	43	287.7	24.57	68	78.0	24.4
19	98.9	20.96	44	250.9	24.67	69	78.0	24.35
20	104.9	20.96	45	239.2	24.77	70	76.2	24.28
21	156.4	21.01	46	205.3	24.84	71	67.5	24.23
22	161.2	21.04	47	224.8	24.89	72	70.9	24.16
23	219.2	21.09	48	189.3	24.96			
24	297.2	21.16	49	194.6	24.99			

Per la taratura del modello sono state eseguite diverse simulazioni utilizzando i valori di scabrezza indicati in Tabella 2-3. La prime due simulazioni sono state effettuate attribuendo alle porzioni dell'area in studio due valori di scabrezza, uno per le zone appartenenti all'alveo di magra e l'altro per le zone golenali, indifferentemente dalla loro copertura. Nella terza simulazione si sono utilizzati tre valori di scabrezza: uno per l'alveo di magra e due per le zone golenali, in modo tale da differenziare le golene con prevalente copertura erbacea da quelle a copertura arborea.

Tabella 2-3: Valori di scabrezza utilizzati nelle simulazioni effettuate

	Coefficiente di scabrezza secondo Strickler k_s ($m^{1/3}s^{-1}$)			
	Alveo di magra	Golena (indifferenziata)	Golena erbosa	Golena boscata
Simulazione 1	35	15	-	-
Simulazione 2	40	25	-	-
Simulazione 3	40	-	35	25

2.2.3. Condizioni Iniziali

Le condizioni iniziali utilizzate per ciascuna simulazione di moto vario sono state ottenute mediante simulazioni preliminari di moto permanente, in cui è stato imposto a monte un valore di portata costante e pari al valore iniziale dell'idrogramma di piena ($32.33 \text{ m}^3/\text{s}$) mentre a valle è stato imposto un livello idrico di 20.67 m s.l.m. , pari al valore iniziale della condizione al contorno di valle imposta nella simulazione di moto vario. Tali simulazioni sono state realizzate a partire dalla condizione iniziale di alveo asciutto e sono state arrestate al raggiungimento delle condizioni di moto permanente lungo tutto il tratto oggetto di studio. Tale condizione di moto permanente ha poi rappresentato la condizione iniziale della simulazione di moto vario.

2.2.4. Taratura del modello

La taratura del modello consiste nel variare i parametri in modo da minimizzare le differenze tra i valori dei massimi livelli idrici rilevati nell'evento di piena di interesse e i risultati forniti dal modello stesso.

Questa operazione è stata possibile avendo a disposizione i dati di picchettatura dell'evento di piena, cioè la registrazione delle coordinate plano-altimetriche di numerosi punti, situati sugli argini, raggiunti dall'acqua durante l'evento del gennaio 2009. La picchettatura dei punti situati sull'argine destro e sinistro è riportata nelle Tabelle A.1 e A.2 in Appendice A.

Per confrontare le quote idriche ottenute mediante il modello numerico con quelle della picchettatura della piena del gennaio 2009 si è elaborato uno programma in MATLAB che permette di estrarre, fra tutti i nodi della mesh con un livello idrico non nullo, quelli più vicini ai punti della picchettatura della piena.

Nelle Tabelle A.1 e A.2 in Appendice A sono riportati i valori numerici dei risultati delle tre simulazioni effettuate con i diversi set di coefficienti di scabrezza.

Per completezza si riportano anche nelle Tabelle A.3 e A.4 in Appendice A i profili degli argini, sia con le quote rilevate topograficamente che con quelle restituite dal DEM della zona di interesse. Nel primo tratto, fra Parma (sezione iniziale del modello) e Torrile, la differenza fra le quote della

sommità arginale rilevate topograficamente e restituite dal DEM si mantengono costanti e pari a circa 26 cm per l'argine destro e 30 cm per quello sinistro. Procedendo più a valle verso la confluenza fra il torrente Parma e il fiume Po, tale differenza di quota diminuisce progressivamente fino ad assestarsi, a valle dell'abitato di Colorno, a valori medi di 3 cm per l'argine destro e 15 cm per l'argine sinistro. Nella parte terminale dell'asta, a valle del ponte Albertelli, la sommità arginale è stata rialzata con muri di contenimento di modesta altezza: in questa zona il DEM a passo 1 metro non è adeguato a restituire con sufficiente accuratezza l'andamento della sommità arginale, che pertanto risulta molto irregolare a seconda che il punto del DEM cada sopra o al piede del muro di contenimento. Nonostante queste incongruenze locali si può ritenere che il rilievo effettuato topograficamente sia congruente con l'informazione fornita dal modello digitale del terreno.

La prima simulazione effettuata, con valori di scabrezza pari a 35 e $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ rispettivamente per l'alveo di magra e le golene, fornisce dei risultati che si discostano significativamente dai valori restituiti dalla picchettatura. Per l'argine destro, nella parte compresa fra Parma e la progressiva 3.5 km, le differenze di quota sono mediamente pari a 25 cm, che si incrementano a circa 70 cm fino alla progressiva 9.7 km. Da questa progressiva fino alla località Case Comelli (progressiva 15.6 km) la differenza si riduce mediamente a 54 cm; successivamente, fino alla progressiva 16.6 km, le differenze sono in media pari a 26 cm, fino ad scendere a 9 cm nel tratto terminale del modello. Per l'argine sinistro nel tratto a monte dell'Autostrada A1 le differenze sono mediamente pari a 37 cm, che diventano circa 57 cm fino alla progressiva 16.6 km, a monte dell'abitato di Torrile. Le differenze si riducono poi in media a 8 cm fino alla progressiva 23 km, mentre nell'attraversamento dell'abitato di Colorno le differenze medie si riducono a 6 cm, che diventano poi 13 cm nel tratto terminale del modello.

Per cercare di ridurre tali differenze si è effettuata una seconda simulazione con valori di scabrezza pari a 40 e $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, rispettivamente per l'alveo di magra e le golene (indifferenziate). Osservando i grafici riportati nelle Figure 2-43÷2-50 sono evidenti i miglioramenti ottenuti: per l'argine destro, nel tratto compreso fra la sezione iniziale del modello e la progressiva 3.5 km, le differenze di quota sono mediamente pari 12 cm (contro i 25 cm della prima simulazione); successivamente fino alla progressiva 14 km, a monte della località Case Comelli, le differenze sono in media pari a 39 cm. Da questa progressiva fino a monte del ponte di Colorno (progressiva 25 km) le differenze medie si assestano sui 13 cm per poi diventare 10 cm fino al termine del modello. Per l'argine sinistro le differenze sono mediamente pari a 25 cm fino a valle dell'Autostrada A1 (progressiva 5.8 km), che diventano 33 cm fino a monte dell'abitato di Torrile (progressiva 15.7 km), mentre nella zona in prossimità del paese medesimo si riducono a 13 cm (progressiva 19.4 km). Nell'attraversamento di Colorno le differenze si riducono a soli 9 cm, che diventano 12 cm nella parte terminale del modello.

Visti i miglioramenti ottenuti tra la prima e la seconda simulazione, si è deciso di effettuare una terza simulazione con valori dei coefficienti di Strickler pari a 40, 35 e 25 $\text{m}^{1/3} \text{s}^{-1}$, rispettivamente per l'alveo inciso, le golene a copertura erbosa e le golene boscate. Fino alla progressiva 3.7 km, a monte dell'Autostrada A1, le differenze medie in destra idraulica fra i risultati di questa simulazione e la picchettatura si attestano intorno ai 10 cm, che diventano mediamente 34 cm fino alla progressiva 10.6 km. Successivamente, fino a monte di Case Comelli le differenze medie si assestano sui 23 cm, mentre nella zona in prossimità di tale località si riducono a 5 cm per poi crescere a circa 18 cm fino alla progressiva 21.3 km e scendere nuovamente a 8 cm fino a Colorno. In corrispondenza dell'attraversamento del centro abitato le differenze sono in media pari a 9 cm, e tali si mantengono fino al termine del modello. Per l'argine sinistro, fino alla progressiva 6.5 km, a valle dell'Autostrada A1, le differenze sono pari a 19 cm, che diventano 27 cm fino alla progressiva 15.6 km a monte di Torrile e 14 cm fino a monte di Colorno (progressiva 21.9 km). In corrispondenza del centro abitato le differenze sono di circa 9 cm, che diventano 11 cm fino alla sezione finale del modello.

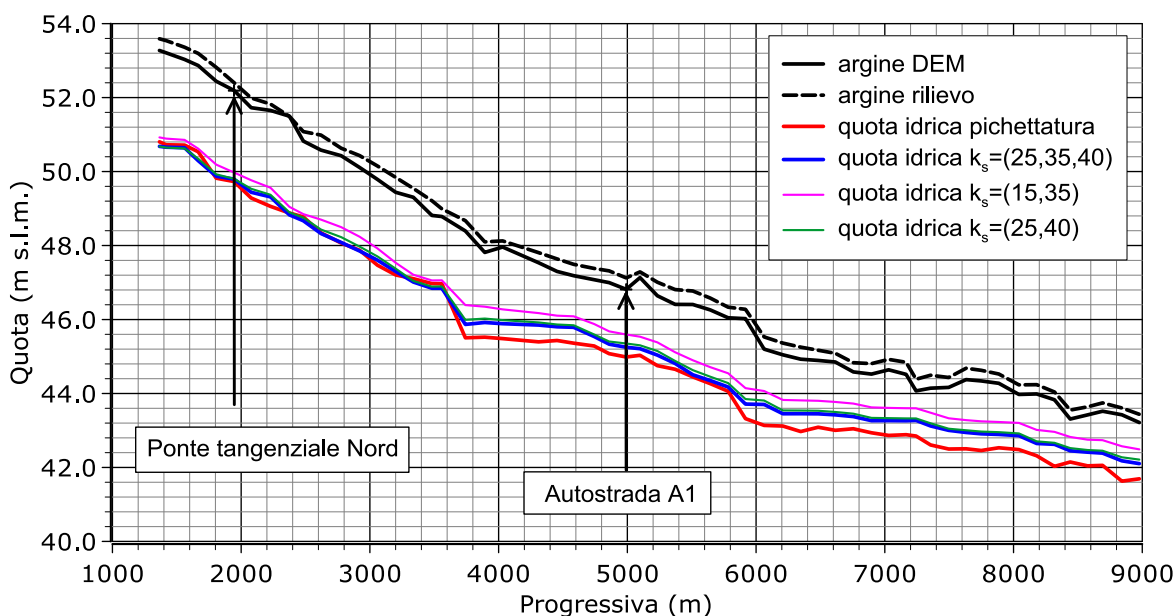


Figura 2-43: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il primo tratto dell'argine destro.

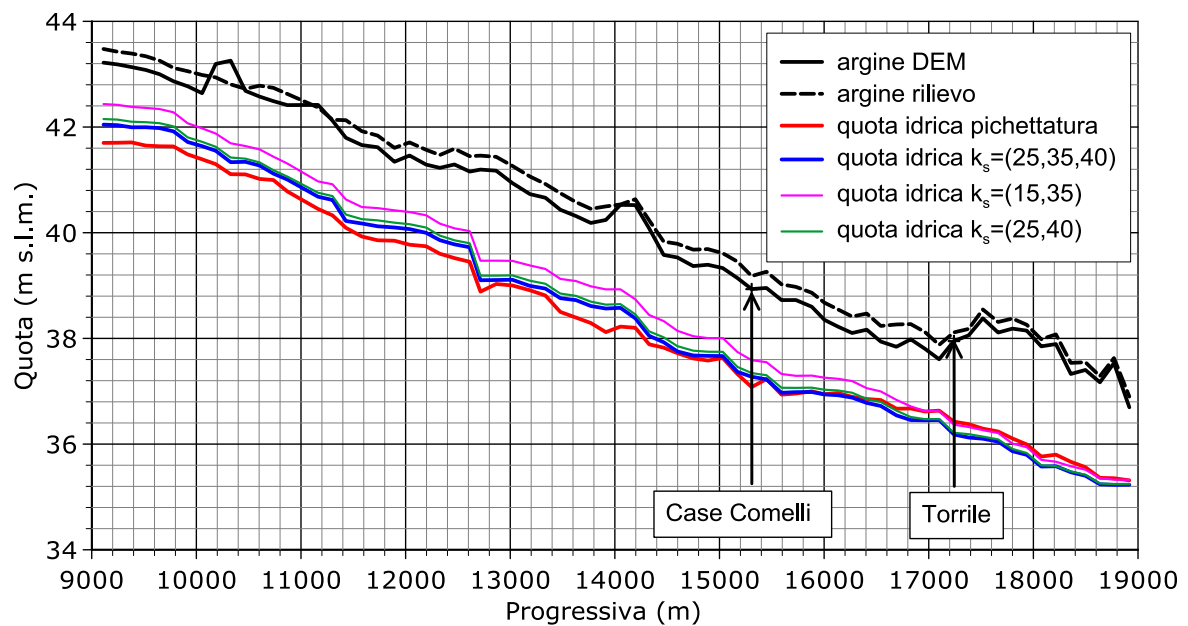


Figura 2-44: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il secondo tratto dell'argine destro.

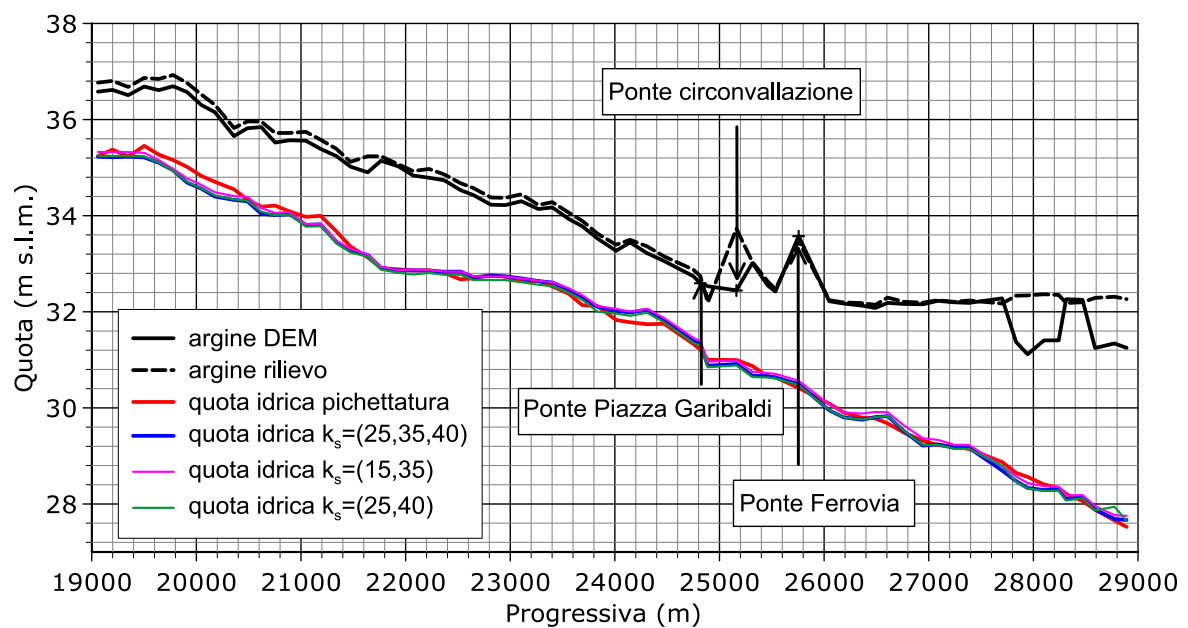


Figura 2-45: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il terzo tratto dell'argine destro.

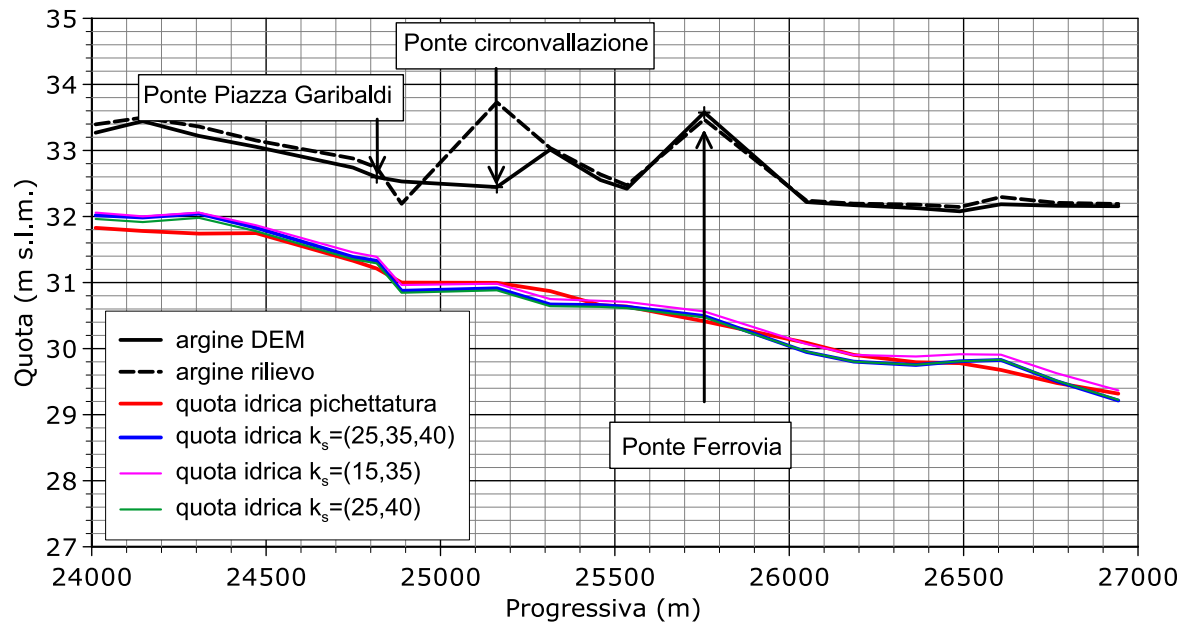


Figura 2-46: Confronto fra i risultati della tre simulazioni in corrispondenza dell'abitato di Colorno (sponda destra).

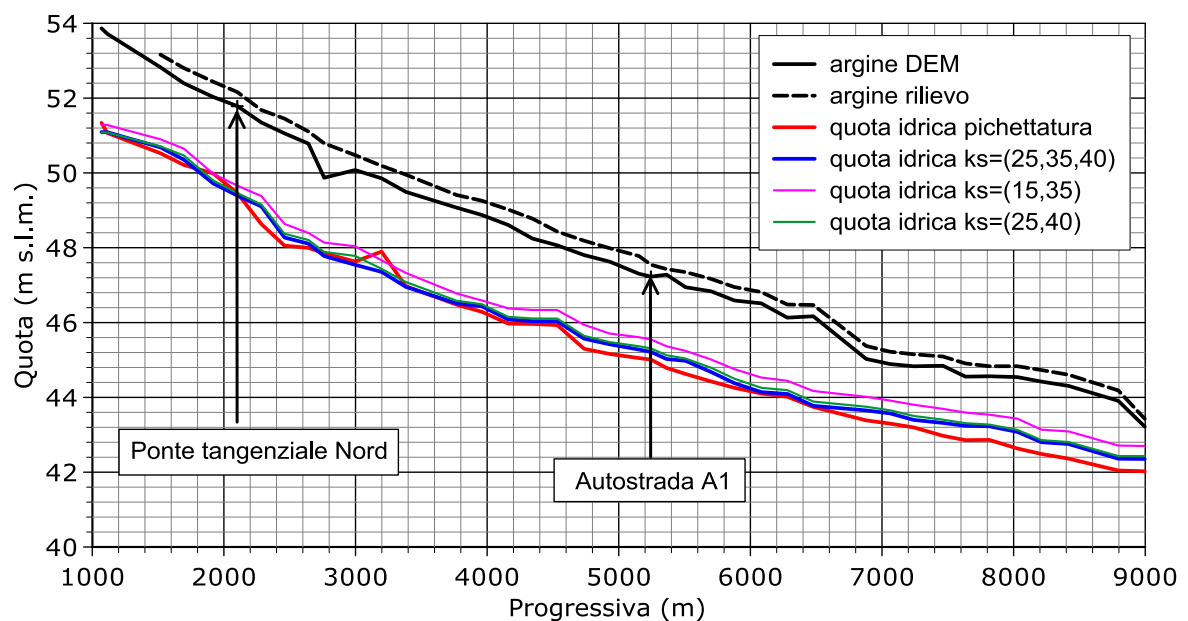


Figura 2-47: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il primo tratto dell'argine sinistro.

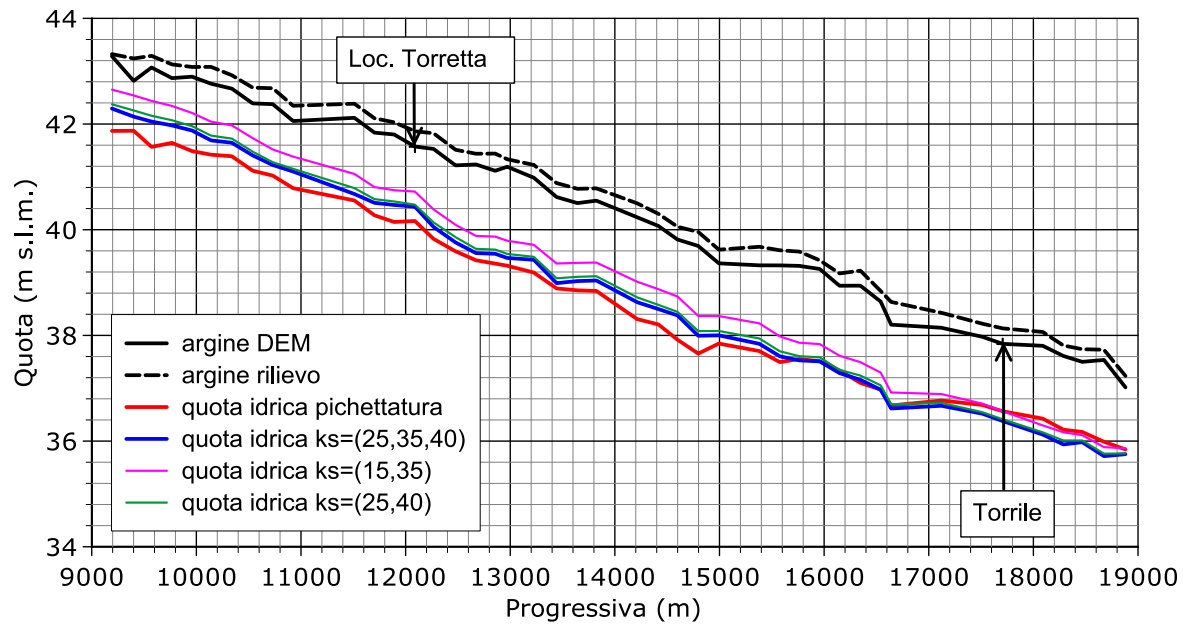


Figura 2-48: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il secondo tratto dell'argine sinistro.

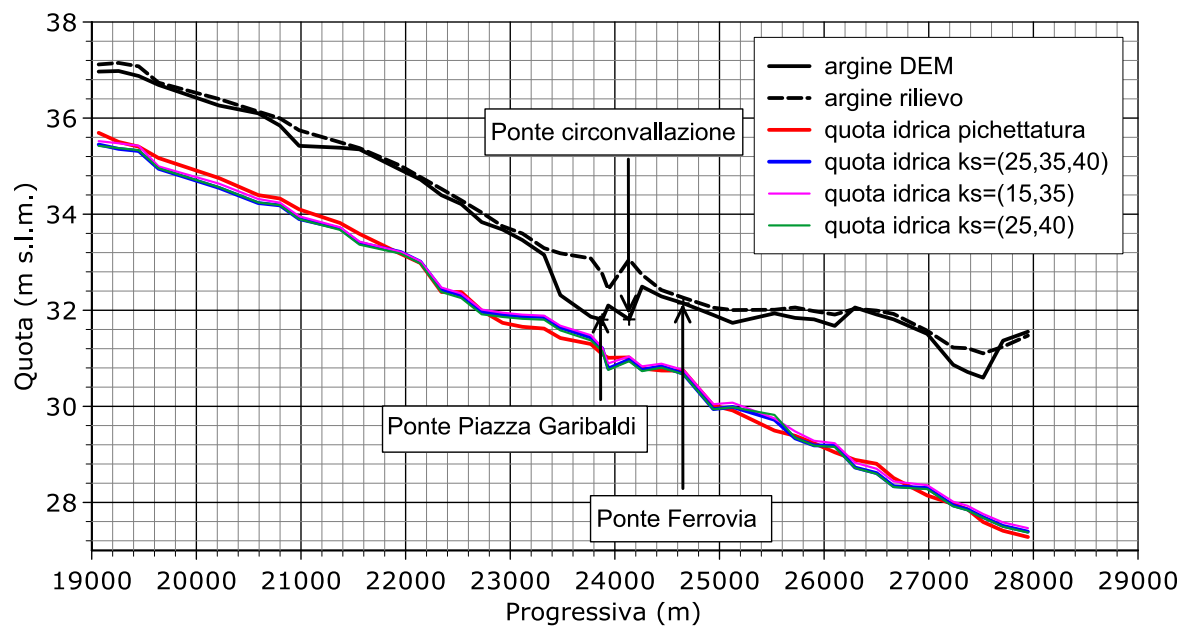


Figura 2-49: Confronto fra i risultati della tre simulazioni per il terzo tratto dell'argine sinistro.

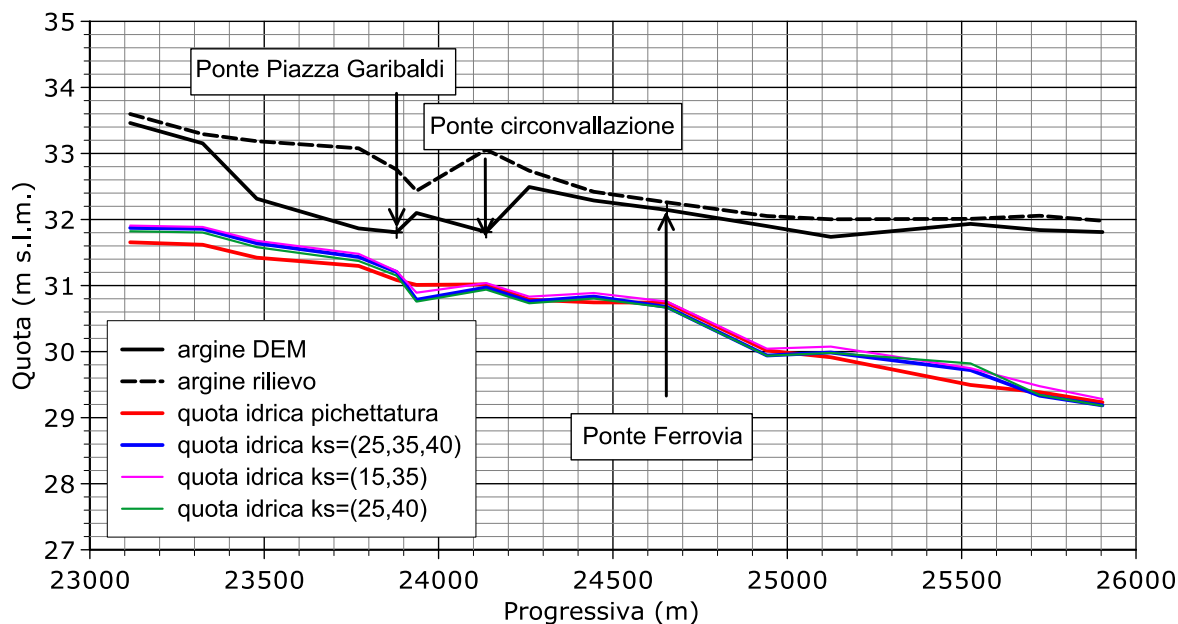


Figura 2-50: Confronto fra i risultati della tre simulazioni in corrispondenza dell'abitato di Colorno (sponda sinistra).

2.2.5. Considerazioni conclusive

Dai risultati riportati nel paragrafo precedente si nota che i valori di scabrezza del coefficiente di Strickler che meglio riproducono l'evento di piena reale, rappresentato dalla picchettatura, sono pari a 40, 35 e 25 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ rispettivamente per l'alveo di magra, per le golene con copertura erbosa e per quelle a prevalente copertura arborea. A ulteriore conferma, nella Tabella 2-4 sono riportati i valori dello scarto quadratico medio ottenuti dalle tre simulazioni, calcolato confrontando i risultati di ogni simulazione con la picchettatura della piena. È evidente che la simulazione con coefficienti di scabrezza pari a 40, 35 e 25 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ è quella che fornisce scarti quadratici medi minori, ovvero quote idriche simulate più vicine ai valori osservati nell'evento di piena reale.

Tabella 2-4: Scarto quadratico medio dei risultati delle tre simulazioni effettuate

	Scarto quadratico medio [m]		
	Simulazione ($k_s = 35, 15$)	Simulazione ($k_s = 40, 25$)	Simulazione ($k_s = 40, 35, 25$)
Argine destro	0.45	0.28	0.23
Argine sinistro	0.43	0.27	0.22

Il dettaglio dei valori ottenuti da ogni simulazione sono riportati in Appendice A: per ogni picchetto utilizzato per rilevare i massimi livelli di piena dell'evento del gennaio 2009 sono riportate le coordinate planimetriche, le quote rilevate sul campo e i risultati ottenuti per ciascuna simulazione.

Nelle Tabelle 2-5 e 2-6 sono riportate, per alcuni punti di interesse, le quote idriche rilevate con la picchettatura, i valori restituiti dalle tre simulazioni e le relative differenze. Si nota che la concordanza tra i risultati delle simulazioni e la picchettatura migliora procedendo da monte verso valle. Questo risultato non è facilmente interpretabile. Una possibile causa potrebbe essere la maggiore dimensione delle celle della mesh nel primo tratto (fra la città di Parma e Colorno) rispetto al secondo (tra Colorno e la confluenza in Po). Una seconda motivazione potrebbe essere ascrivita alle ampie zone golenali nel tratto di monte, il cui comportamento idraulico, nonostante l'adozione di un modello 2D, potrebbe non essere descritto in maniera completamente adeguata.

Tabella 2-5: Risultati ottenuti dalle tre simulazioni in alcuni punti notevoli sull'argine destro.

Punto di interesse	A - Quota picchetto [m s.l.m.]	B - Simulazione ($k_s = 35, 15$)		C - Simulazione ($k_s = 40, 25$)		D - Simulazione ($k_s = 40, 35, 25$)	
		Quota [m s.l.m.]	Differenza B-A [cm]	Quota [m s.l.m.]	Differenza C-A [cm]	Quota [m s.l.m.]	Differenza D-A [cm]
Parma - autostrada A1	44.99	45.59	60	45.35	36	45.25	26
Colorno - ponte Piazza Garibaldi	31.21	31.39	18	31.29	8	31.33	12
Colorno - ponte via Roma	31.00	30.98	-2	30.88	-12	30.91	-9
Colorno - ponte ferrovia	30.41	30.56	15	30.47	6	30.49	8

Tabella 2-6: Risultati ottenuti dalle tre simulazioni in alcuni punti notevoli sull'argine sinistro.

Punto di interesse	A - Quota picchetto [m s.l.m.]	B - Simulazione ($k_s = 35, 15$)		C - Simulazione ($k_s = 40, 25$)		D - Simulazione ($k_s = 40, 35, 25$)	
		Quota [m s.l.m.]	Differenza B-A [cm]	Quota [m s.l.m.]	Differenza C-A [cm]	Quota [m s.l.m.]	Differenza D-A [cm]
Parma - autostrada A1	45.01	45.55	54	45.31	30	45.22	21
Colorno - ponte Piazza Garibaldi	31.08	31.22	14	31.15	7	31.21	13
Colorno - ponte via Roma	30.79	30.83	4	30.73	-6	30.76	-3
Colorno - ponte ferrovia	30.74	30.76	2	30.67	-7	30.68	-6

3. VALUTAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE A COLORNO NELLA SITUAZIONE ATTUALE

3.1. Introduzione

Nel presente capitolo viene valutata la portata attualmente compatibile con l'attraversamento di Colorno e vengono analizzati possibili interventi atti ad incrementarne l'officiosità idraulica. È noto, infatti, come uno dei tratti più critici sia quello del ponte di piazza Garibaldi a Colorno (Figura 3-1) e quello che costeggia la Reggia (Figura 3-2).



**Figura 3-1. Ponte di piazza Garibaldi durante la piena del 25 dicembre 2009 alle 15:22
(Foto P. Mignosa)**

L'area interessata da questo studio di dettaglio è evidenziata in Figura 3-3. Nelle Figure 3-4÷3-6 è riportata, sulla CTR 1:10000 e sulle foto aeree, la mesh di calcolo utilizzata nel modello bidimensionale.



Figura 3-2. Tratto del Torrente Parma prospiciente la reggia di Colorno (25 dicembre 2009 ore 15:14) (Foto P. Mignosa).



Figura 3-3: Area interessata dal modello per lo studio delle portate compatibili a Colorno.

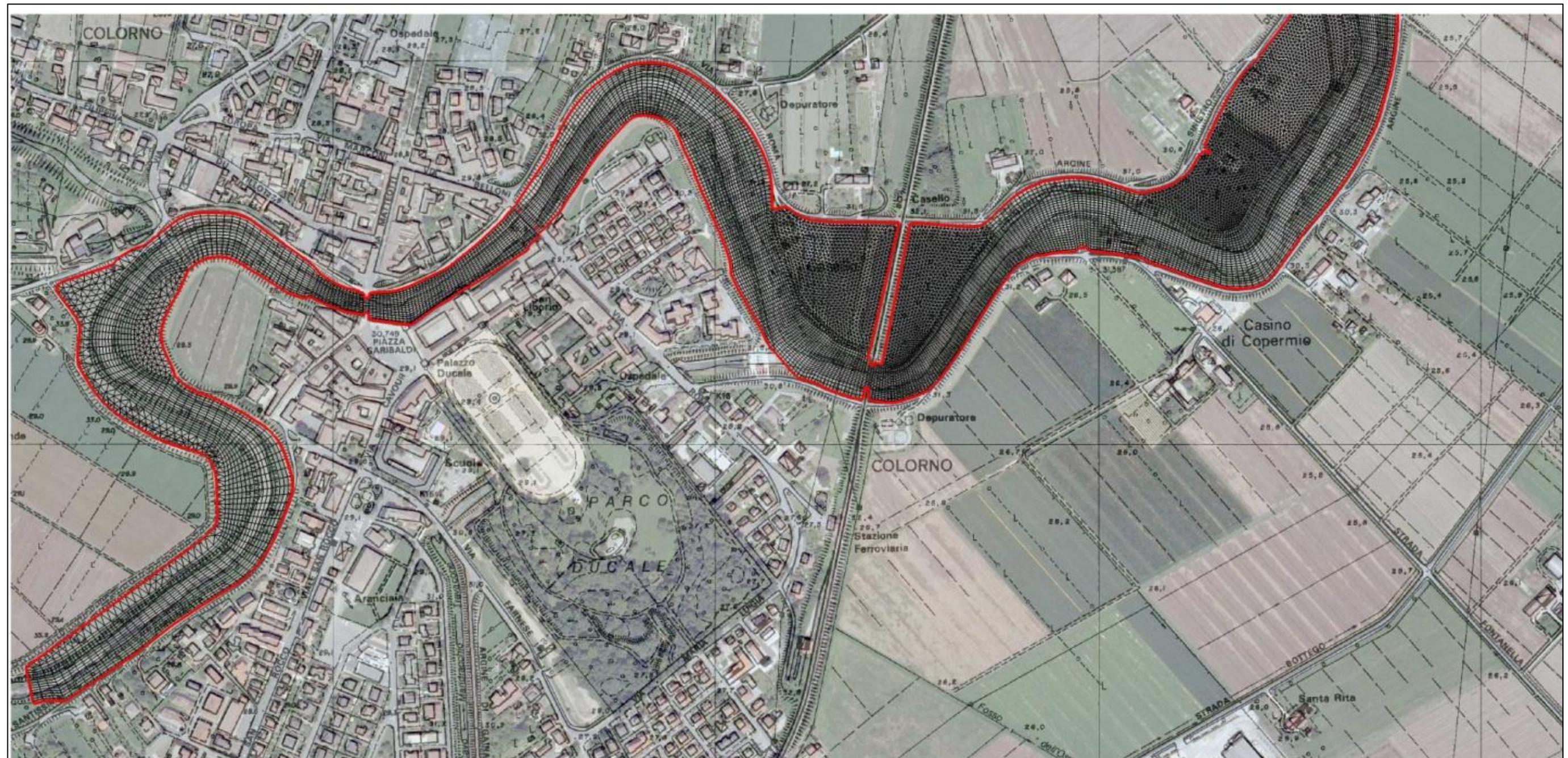


Figura 3-4: Prima parte della mesh utilizzata per le simulazioni nella configurazione attuale dell'alveo

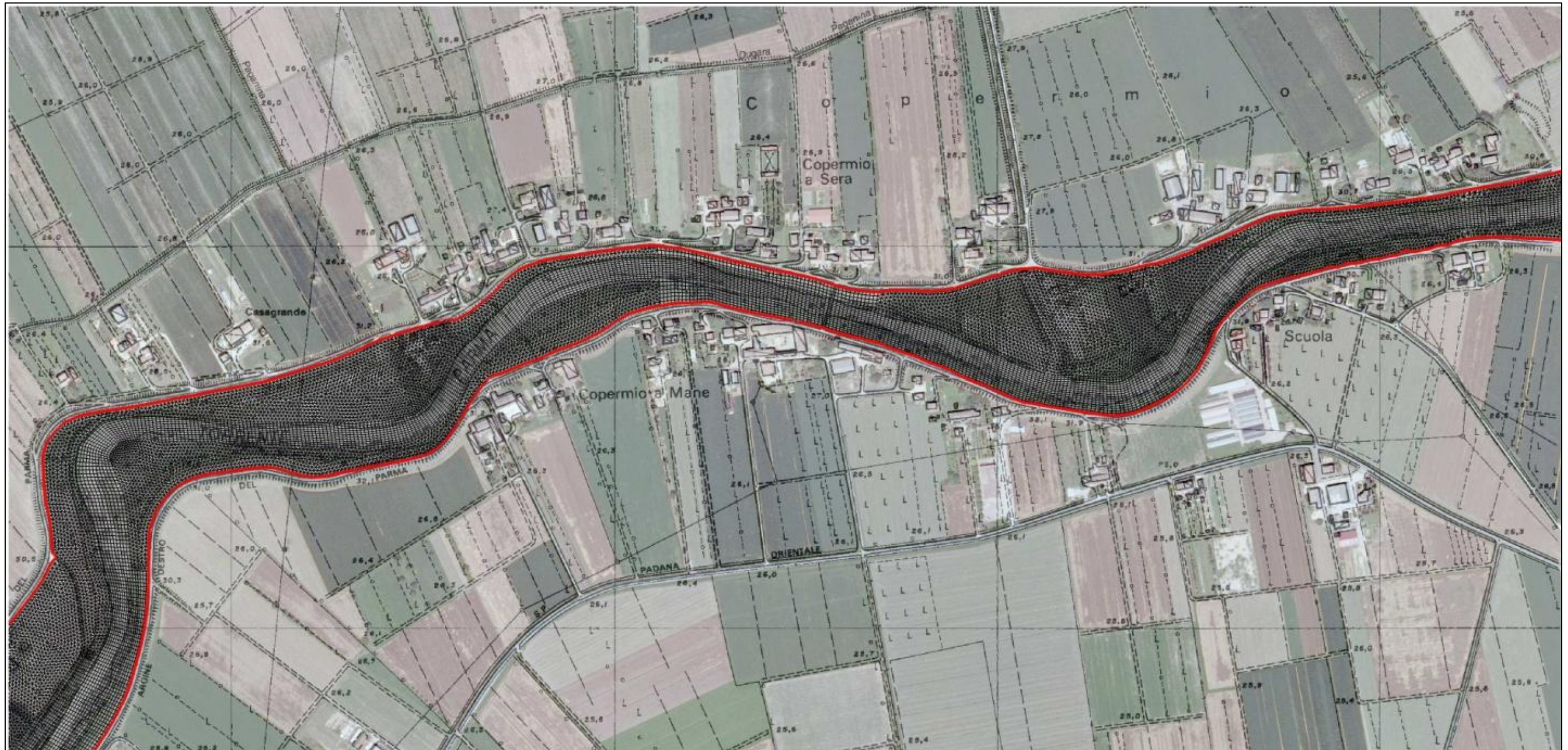


Figura 3-5: Seconda parte della mesh utilizzata per le simulazioni nella configurazione attuale dell'alveo

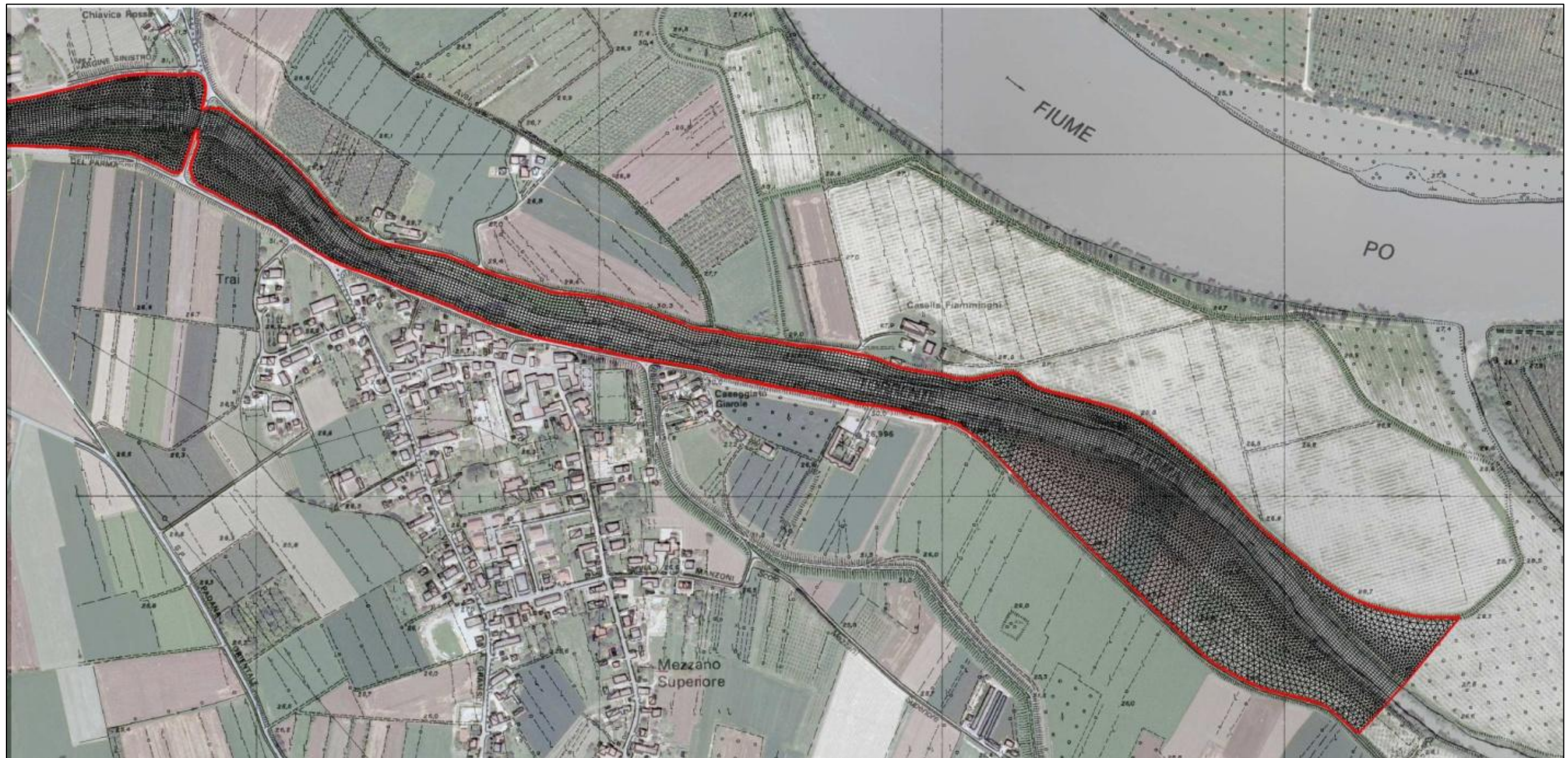


Figura 3-6: Ultima parte della mesh utilizzata per le simulazioni nella configurazione attuale dell'alveo

Si è poi concentrata l'attenzione, per le ragioni già esposte, nell'intorno del ponte di piazza Garibaldi a Colorno (Figura 3-7).

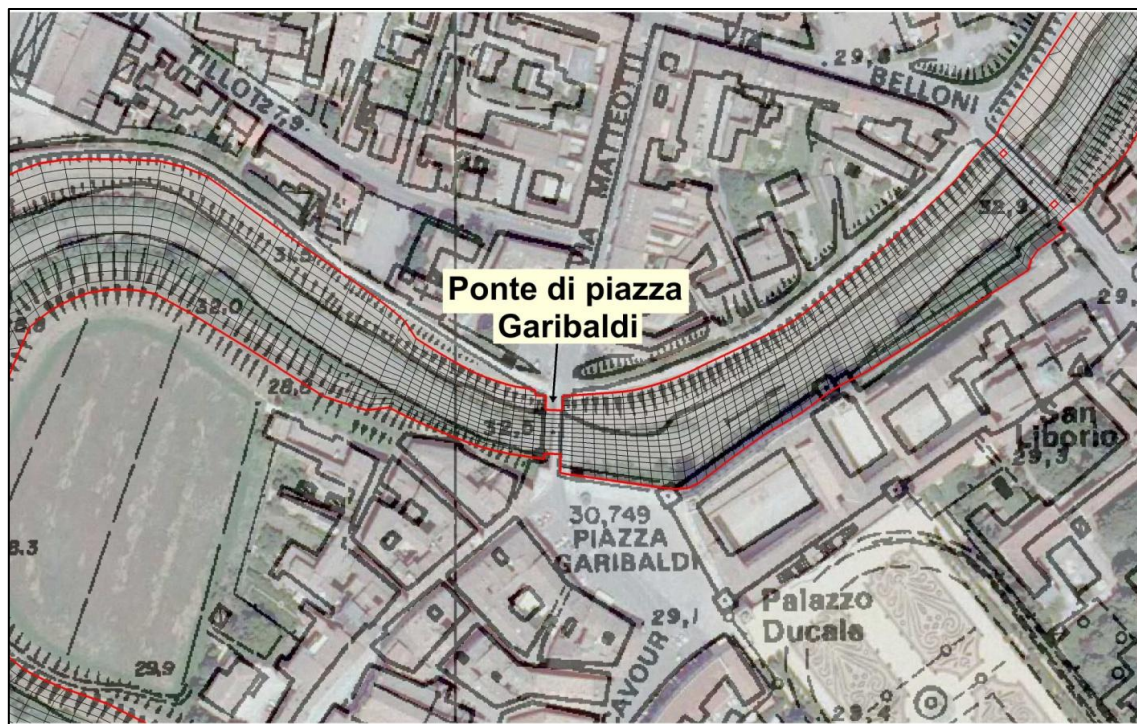


Figura 3-7: Ponte di piazza Garibaldi a Colorno

3.2. Simulazioni effettuate

I livelli idrici del torrente Parma a Colorno sono influenzati dalle contemporanee quote del pelo libero del fiume Po alla confluenza, almeno per livelli di quest'ultimo sufficientemente alti; per questa ragione non è possibile definire un unico valore di portata compatibile. Lo studio ha quindi analizzato portate comprese fra i 300 e i 600 m³/s, a intervalli di 50 m³/s, in relazione ai livelli idrici presenti nel fiume Po. L'obiettivo principale è stato quello di calcolare, per ogni portata transitante nel torrente Parma, il profilo di moto permanente relativo a una determinata quota idrica presente in Po. Operativamente, disponendo di un modello in grado di simulare fenomeni di moto vario, tale analisi può essere effettuata con un'unica simulazione per ogni portata, facendo crescere in maniera discontinua il livello di Po secondo un andamento a gradini, ciascuno di durata sufficiente per il raggiungimento di una condizione di moto permanente in corrispondenza di ogni nuovo livello.

3.2.1. Condizioni iniziali

Le condizioni iniziali assegnate a ciascuna simulazione a livello variabile sono state ottenute mediante simulazioni preliminari di moto permanente, in cui è stato imposto a monte un valore di portata costante e pari al valore di interesse (300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 m³/s), mentre a valle è stata imposta una scala di deflusso. In assenza di una scala di deflusso sperimentale, questa è stata calcolata in base alla pendenza media dell'ultimo tratto fluviale (0.06%). Tali simulazioni preliminari sono state a loro volta eseguite a partire dalla condizione iniziale di alveo asciutto e sono state arrestate al raggiungimento delle condizioni di moto permanente lungo tutto il tratto oggetto di studio. Questa condizione di moto permanente ha poi rappresentato la condizione iniziale della simulazione a portata costante e livello variabile.

3.2.2. Condizioni al contorno

Nel caso in esame, attraverso alcune prove preliminari, si è riscontrato che, attribuendo al livello del Po alla confluenza incrementi di un metro, ogni nuovo livello dovesse mantenersi per una durata di circa due ore per garantire l'assestarsi di una nuova situazione di moto permanente. Pertanto, per ogni valore di portata analizzato, la condizione al contorno di valle imposta è consistita in un idrogramma di livello con andamento a gradini, ciascuno di durata pari a due ore che incrementa il livello del Po di un metro. Il livello idrico massimo (ultimo gradino) è stato assunto pari alla quota del coronamento degli argini del fiume Po in corrispondenza della confluenza con il torrente Parma ($\cong 32$ m s.l.m.), mentre il livello idrico minimo è stato fissato cautelativamente un metro al di sotto della quota calcolata mediante la scala di deflusso. In Figura 3-8 si riportano, a titolo di esempio, i livelli idrici imposti come condizione al contorno di valle per la portata di 600 m³/s e i corrispondenti livelli idrici simulati nella sezione iniziale del tratto modellato. Come si vede dalla figura, la durata di ciascun gradino (2 ore) è effettivamente sufficiente a ricostituire, anche nella sezione estrema di monte, una nuova condizione di livello costante. In Tabella 3-1 sono riportati in azzurro i valori utilizzati come condizione al contorno per ogni portata analizzata.

Quale condizione al contorno di monte si è imposta, per ogni simulazione a livello variabile, una portata costante nel tempo, di durata pari a quella della condizione al contorno di valle.

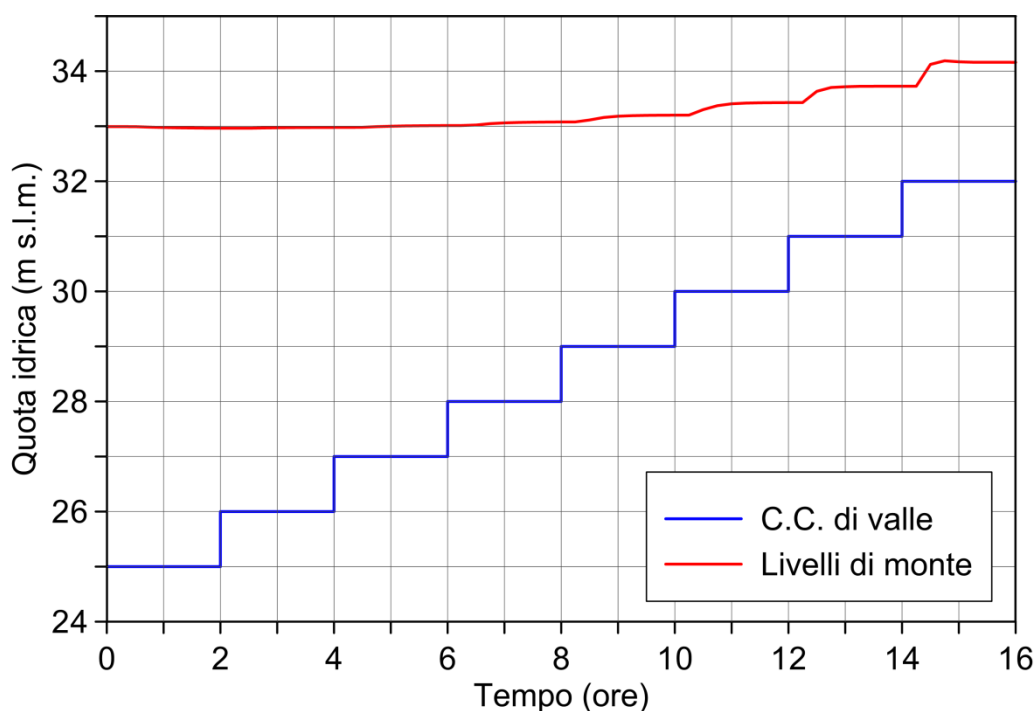


Figura 3-8: Condizione al contorno di valle e livelli idrici simulati nella sezione iniziale del modello per la portata di 600 m³/s

Tabella 3-1: Livelli idrici imposti come condizione al contorno di valle per ciascuna portata analizzata

Quote idriche imposte come condizione al contorno di valle [m s.l.m.]										
Q [m ³ /s]	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
300										
350										
400										
450										
500										
550										
600										

3.3. Elaborazioni ed analisi dei risultati

Per la valutazione dei franchi e l'individuazione della portata compatibile si sono presi in considerazione due punti, situati immediatamente a monte e a valle del ponte di piazza Garibaldi a Colorno (Figura 3-9).



Figura 3-9: Punti utilizzati per l'elaborazione dei risultati della simulazione

Il punto a monte del ponte è situato sul muro in sponda destra, nella zona in cui la quota di contenimento è pari a 32.30 m s.l.m. (Figura 3-10). Il punto a valle è ubicato in corrispondenza della muro di sponda destra confinante con la piazza Garibaldi (Figura 3-11). Ivi la quota di contenimento è, in base a recenti ed accurati rilievi topografici, pari a 32.05 m s.l.m.. La quota di contenimento a monte del ponte è 25 centimetri maggiore rispetto a quella di valle: sembrerebbe quindi che il punto più critico sia quest'ultimo. Occorre però considerare che il rigurgito causato dal ponte può, in certe situazioni, superare i 25 centimetri, per cui il punto a monte può risultare più critico di quello a valle. In effetti, dalle elaborazioni effettuate risulta che, quando il livello di Po è molto alto e le portate nel torrente Parma sono abbastanza basse, la prima zona a rischiare l'esondazione è quella prospiciente la Reggia. Infatti, in questa situazione il ponte non genera un apprezzabile rigurgito, proprio in virtù della bassa portata transitante nel torrente Parma. Al contrario, per portate elevate, il rigurgito causato dal ponte ad arco di piazza Garibaldi (Figura 3-14) provoca un innalzamento sufficiente a spostare a monte il punto più a rischio di esondazione. Nelle Figure 3-12 e 3-13 sono riportate le fotografie in corrispondenza della zona di cui si discute, alle ore 15:00 del 25 dicembre 2009, poco dopo il transito del colmo della piena. Si noti, in Figura 3-12, la traccia del livello idrico raggiunto dall'acqua sul muro della Reggia.



Figura 3-10: Punto a monte del ponte di piazza Garibaldi a Colorno utilizzato per l'elaborazione dei risultati della simulazione (Foto P. Mignosa).



Figura 3-11: Punto a valle del ponte di piazza Garibaldi a Colorno utilizzato per l'elaborazione dei risultati della simulazione



Figura 3-12: Arcate della Reggia di Colorno alle ore 15:00 del 25 dicembre 2009 (Foto P. Mignosa).



Figura 3-13: Sacchettatura sul muro in sponda destra, a monte del ponte di piazza Garibaldi (ore 15:00 del 25 dicembre 2009) (Foto P. Mignosa).

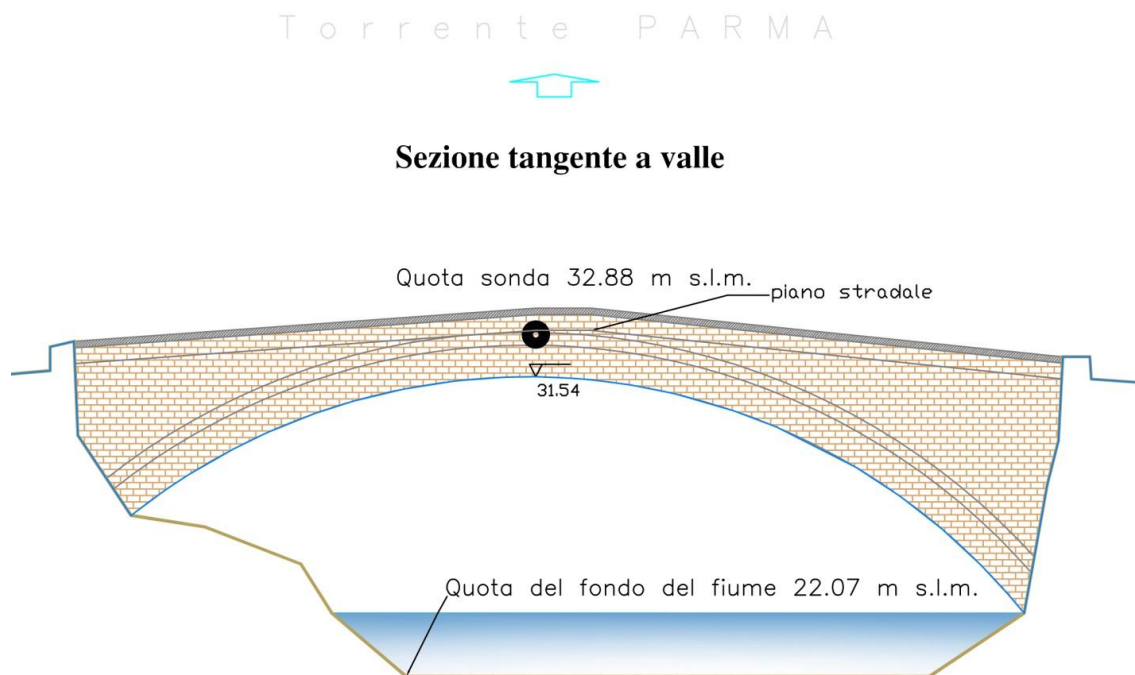


Figura 3-14: Sezione del ponte di piazza Garibaldi a Colorno.

Nelle Figure 3-15 e 3-16 si riportano, per i due punti considerati, i livelli idrici restituiti dalle simulazioni in regime permanente, in funzione della portata transitante nel torrente Parma e della quota idrica del fiume Po alla confluenza. È evidente che in entrambe i punti, anche per portate nel Parma non elevate, non è garantito il contenimento in alveo per elevati livelli idrici del fiume Po. Come era lecito attendersi, al crescere della portata transitante nel torrente Parma decresce il livello idrico massimo in Po che garantisce il contenimento. Ad esempio, a monte del ponte può essere contenuta (con franco nullo) solo la portata di $300 \text{ m}^3/\text{s}$ se il livello di Po è pari a 31.60 m s.l.m. (valore, quest'ultimo, comunque estremamente elevato), mentre per contenere (con franco nullo) la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ è necessario che la quota idrica nel Po alla confluenza sia non superiore a 28.60 m s.l.m..

Analogamente, a valle del ponte la portata di $300 \text{ m}^3/\text{s}$ è contenuta se il livello di Po è pari o inferiore a 31.40 m s.l.m., mentre per consentire il transito della portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ è necessario che la quota idrica nel Po alla confluenza sia non superiore a 29.40 m s.l.m..

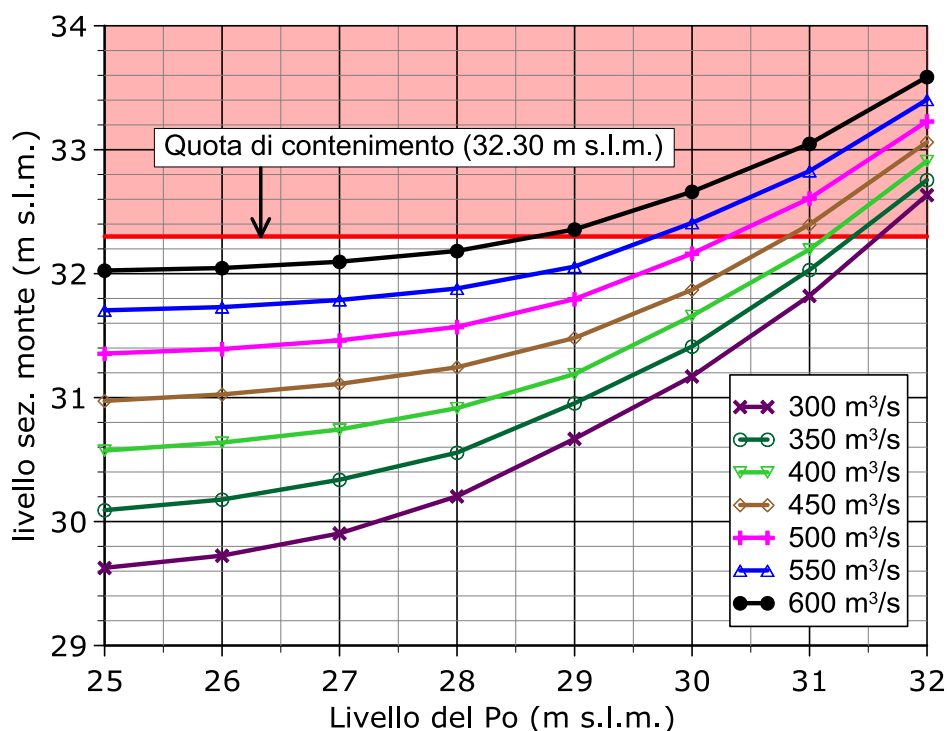


Figura 3-15: Livelli restituiti dalle simulazioni nel punto a monte del ponte di piazza Garibaldi in funzione della portata transitante e della quota idrica del fiume Po alla confluenza

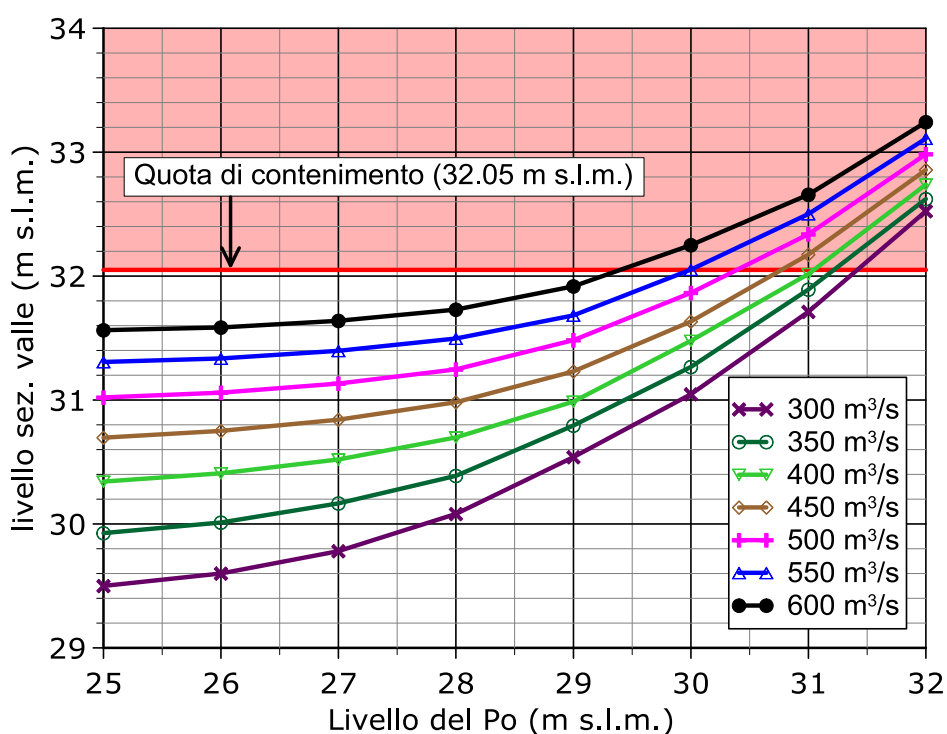


Figura 3-16: Livelli restituiti dalle simulazioni nel punto ai valle del ponte di piazza Garibaldi in funzione della portata transitante e della quota idrica del fiume Po alla confluenza

Nella Figura 3-17 sono riportate le quote idriche restituite dal modello per una portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$, quando il livello di Po è pari a 25 m s.l.m.. Si nota che sia il restringimento della sezione in corrispondenza del ponte di piazza Garibaldi che quello indotto dal ponte della ferrovia Parma – Brescia causano un rigurgito di circa 60 centimetri ciascuno.

Nella Figura 3-18 si riportano i moduli (mappe a colori) e i vettori delle velocità (freccie) ottenuti dalla stessa simulazione: si evince che in corrispondenza del ponte di piazza Garibaldi e di quello della ferrovia Parma - Brescia le velocità sono piuttosto elevate, con valori massimi pari a 4.2 m/s nel primo e 3.3 m/s nel secondo. Nella golena sinistra, sia a monte che a valle del ponte della ferrovia, le velocità sono pressoché nulle a causa dell'ostacolo indotto dal rilevato di accesso al ponte.

3.4. Considerazioni conclusive

A conclusione delle analisi svolte, in Figura 3-19 si riportano i franchi ottenuti in corrispondenza del ponte di Piazza Garibaldi a Colorno, per livelli di Po variabili fra 25 e 32 m s.l.m.. In particolare la Figura 3-19 è stata ottenuta calcolando il franco minimo fra i punti di riferimento a monte e a valle del ponte (Figura 3-9). Tale franco è stato determinato come differenza fra le quote dei punti critici di riferimento (così come individuati al paragrafo 3.3) e il livello idrico restituito dalle simulazioni, una volta raggiunta la nuova condizione di moto permanente.

Con l'attuale assetto fluviale, la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ transiterebbe con un franco di poco meno di 30 centimetri solamente per livelli in Po alla confluenza inferiori a 25 m s.l.m.. Per un livello del Po alla confluenza pari a 28.6 m s.l.m. il franco si azzererebbe e, per livelli di Po ancora superiori, comincerebbero a verificarsi esondazioni. Con l'attuale assetto il franco di un metro, normalmente richiesto nelle sistemazioni fluviali, non sarebbe garantito neppure per una portata di $500 \text{ m}^3/\text{s}$ e per livelli bassi del fiume Po. Per una portata di $300 \text{ m}^3/\text{s}$ il franco di 2.6 m, presente se la quota idrica in Po è di 25 m s.l.m., si annulla per un livello di Po pari a circa 31.40 m s.l.m.. Quest'ultimo valore è comunque estremamente alto, ben superiore al massimo livello raggiunto dal Po alla confluenza durante l'evento dell'ottobre 2000.

A causa di queste criticità si ritiene necessario ipotizzare nuove sistemazioni dell'alveo fluviale per ottenere un aumento dei franchi associati alle portate considerate. Queste analisi sono oggetto del capitolo successivo.

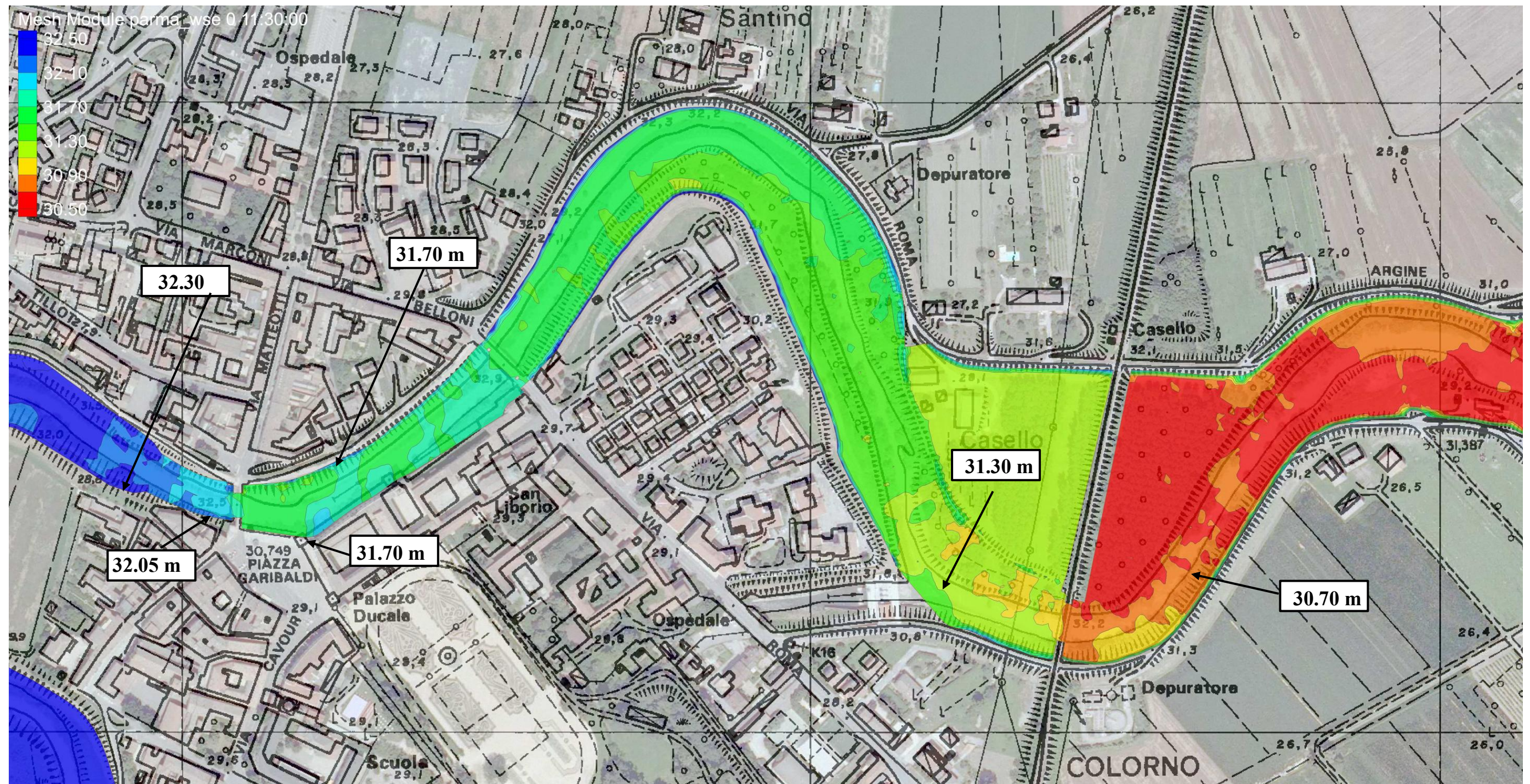


Figura 3-17: Quote idriche calcolate in corrispondenza del l'attraversamento di Colorno per una portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e un livello idrico in Po di 25 m s.l.m.

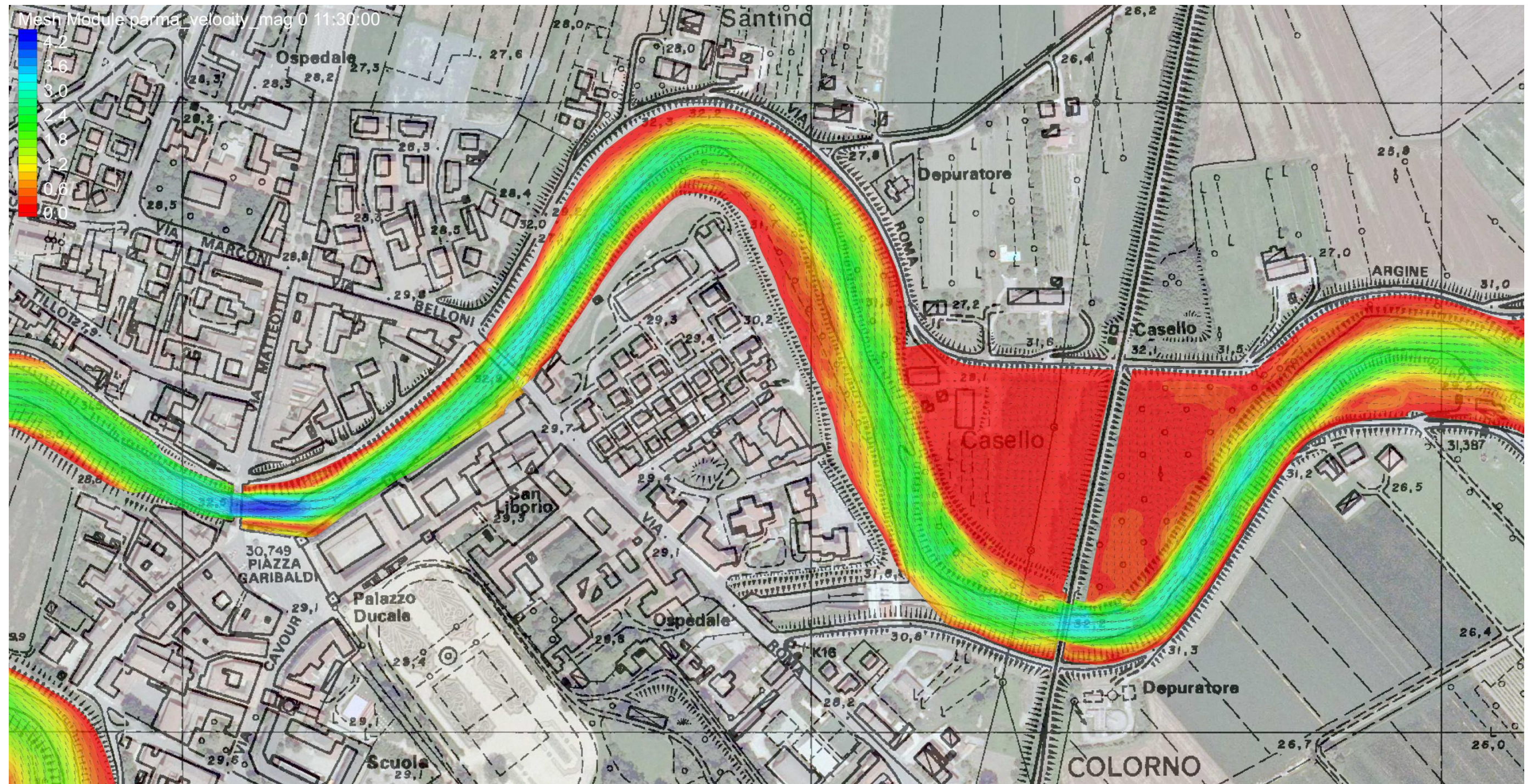


Figura 3-18: Velocità calcolate in corrispondenza dell'attraversamento di Colorno per una portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e un livello idrico in Po di 25 m s.l.m.

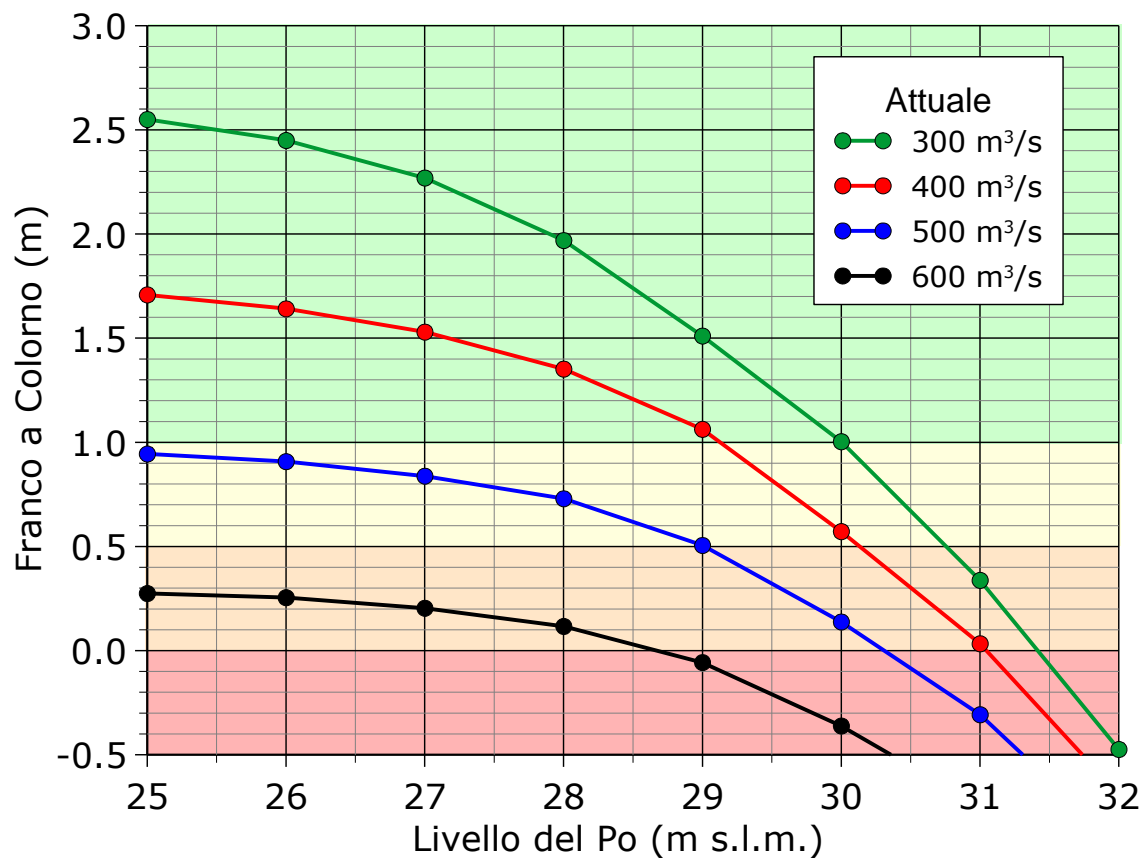


Figura 3-19: Portate compatibili a Colorno

4. ANALISI DI POSSIBILI INTERVENTI DI RICALIBRATURA DELL'ALVEO

4.1. Introduzione

Al fine di aumentare l'efficienza idraulica in corrispondenza dell'abitato di Colorno è necessario intervenire nelle aree ubicate a valle di tale centro, il più vicino possibile alle zone a maggior rischio di esondazione. In particolare la sezione più critica a Colorno è rappresentata dal ponte di piazza Garibaldi, soggetto però a vincoli storici che impediscono qualsiasi modifica rispetto all'assetto attuale. Immediatamente a valle di tale ponte, in destra idraulica, è situata la Reggia di Colorno, che rappresenta anch'essa un ulteriore vincolo che non consente di allargare le sezioni dell'alveo fluviale e aumentarne così l'efficienza idraulica. In sinistra idraulica è presente un muro di sponda a protezione delle case ubicate nelle vicinanze; anche in questa zona, quindi, non è possibile proporre alcun intervento di ampliamento della sezione fluviale. A causa di queste limitazioni si sono concentrati gli interventi di ricalibratura dell'alveo fluviale nelle aree circostanti l'attraversamento della linea ferroviaria Parma – Brescia. In questa zona la distanza fra gli argini maestri è notevole, permettendo quindi ampliamenti significativi delle sezioni fluviali; la picchettatura effettuata a seguito della piena del gennaio 2009 ha poi indicato che in questa zona la cadente è circa tre volte quella media del tratto, evidenziando quindi forti perdite di carico durante il deflusso della piena (Figura 4-1), che potrebbero essere significativamente ridotte da un intervento di allargamento della luce del ponte (Figura 4-2) e contestuale ricalibratura dell'alveo. Il vincolo principale, oltre a quello dovuto al ponte, è la presenza di alcuni edifici in zona golenale in sinistra idraulica (Figura 4-3).

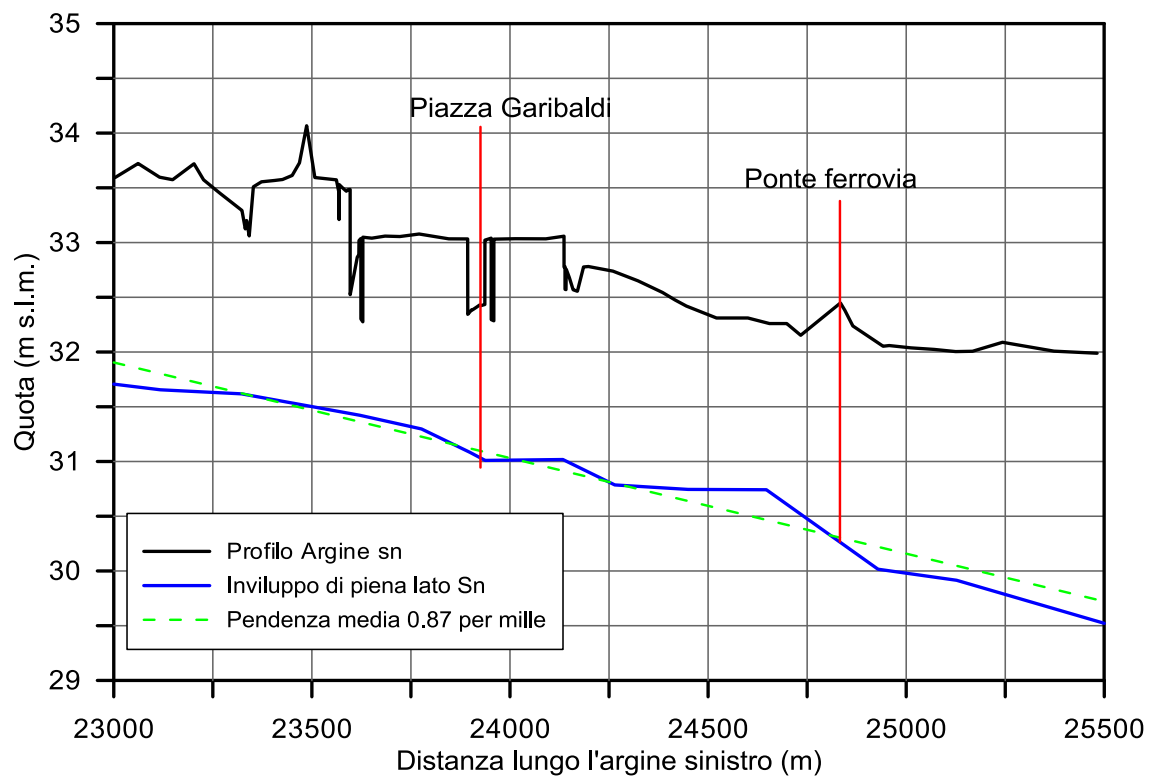


Figura 4-1: Quote arginali e picchettatura della piena del gennaio 2009 nella zona di Colorno (sinistra idraulica).



Figura 4-2: Ponte della linea ferroviaria Parma – Brescia.

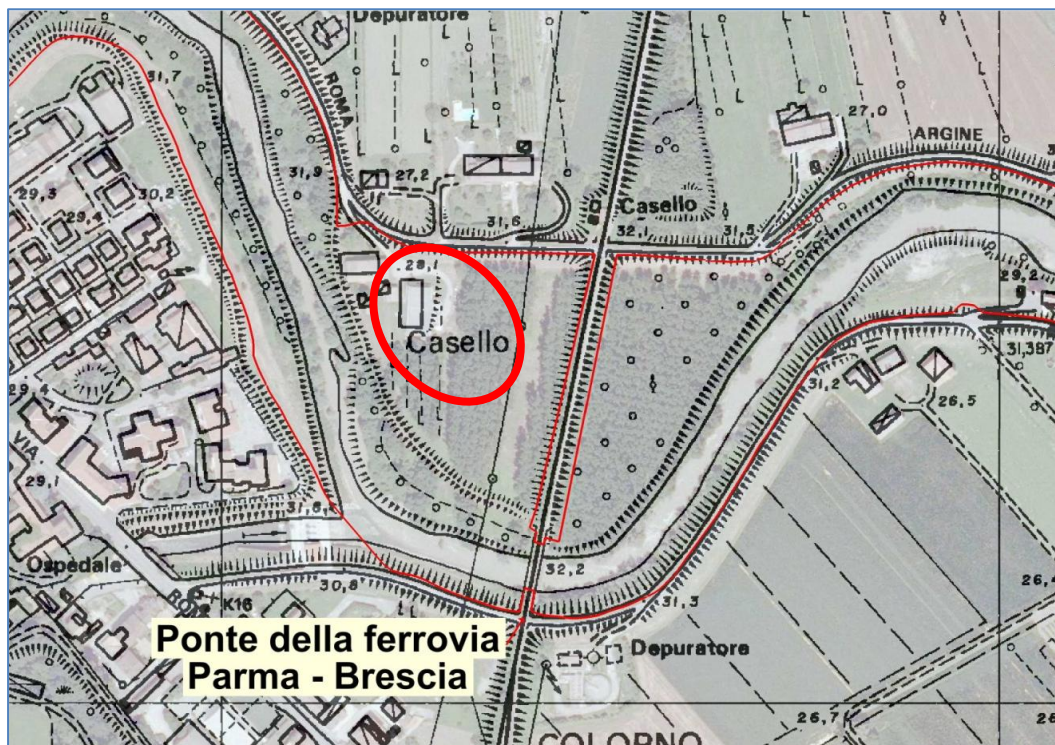


Figura 4-3: Area circostante l'attraversamento della ferrovia Parma – Brescia.

5.1 Ipotesi di intervento

L'ipotesi di intervento, sviluppata di concerto con l'AIPo, prevede l'aumento della luce libera del ponte della ferrovia Parma-Brescia dagli attuali 32 m (Figura 4-4) a 50 m (Figura 4-5).

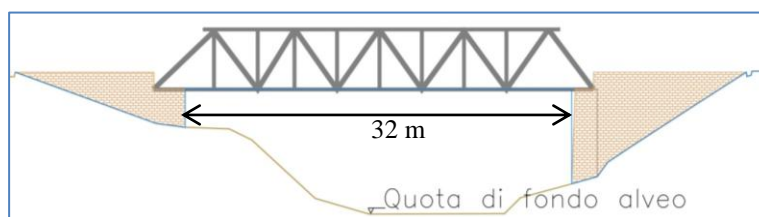


Figura 4-4: Stato di fatto del ponte della ferrovia Parma – Brescia.

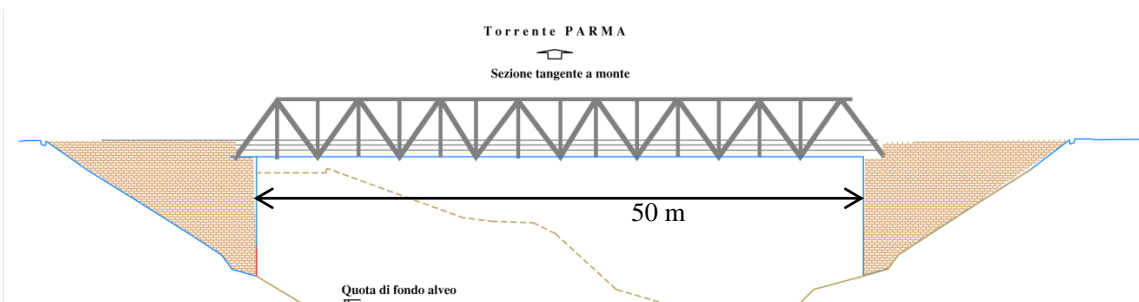


Figura 4-5: Intervento sul ponte della ferrovia Parma – Brescia.

Dopo aver determinato il nuovo assetto del ponte si è proceduto a riprofilare l'alveo del torrente Parma nelle tratto compreso fra le due sezioni indicate in Figura 4-6. La riprofilatura riguarda solo la parte in sinistra idraulica.

Il nuovo assetto a monte del ponte è stato individuato ipotizzando una scarpata con pendenza 1:2 a partire dalla posizione nota della nuova spalla sinistra del ponte. Da questo punto (punto A in Figura 4-6) si è tracciata una linea di raccordo fino a raggiungere la sezione iniziale dell'area di intervento (punto B in Figura 4-6). Tale linea rappresenta la nuova sommità dell'argine golenale a difesa degli edifici posti in golena. Il piede interno della scarpata è stato individuato per ogni sezione imponendo una pendenza 1:2 a partire dalla sommità arginale (Figura 4-7). Per la zona a valle della ferrovia si è prima individuata la linea luogo dei punti rappresentanti il piede interno della scarpata. Da questa linea si è prevista una pendenza 1:2 fino al raggiungimento dell'attuale quota del terreno in sinistra idraulica (Figura 4-8).

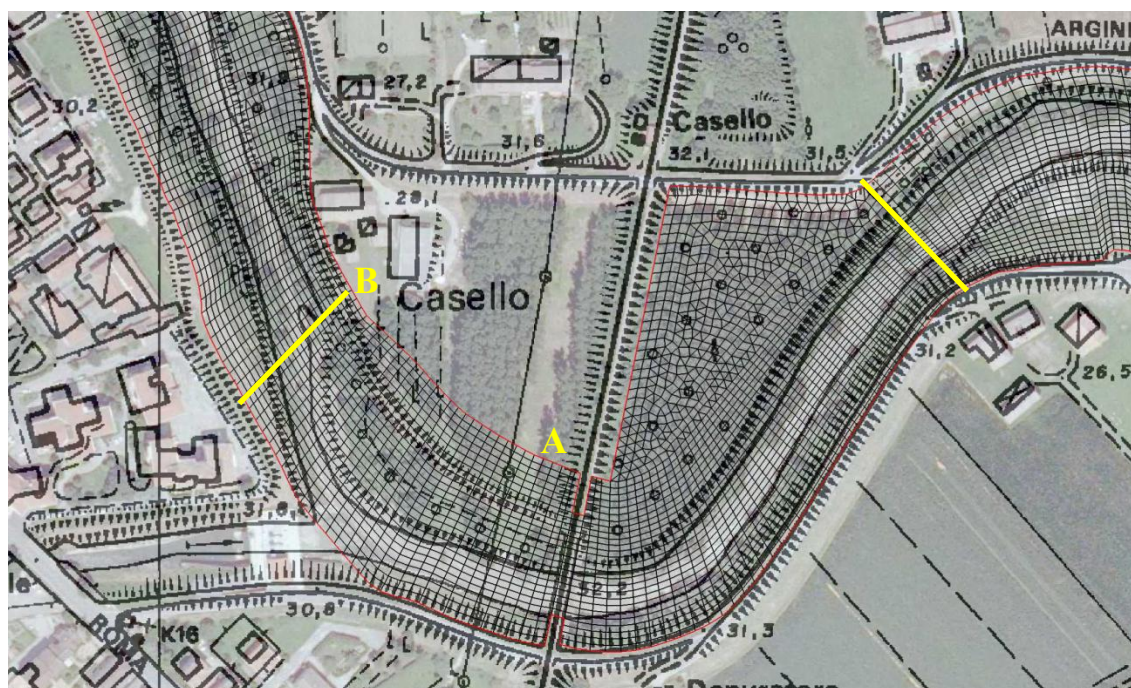


Figura 4-6: Mesh della zona della ferrovia a seguito dell'ipotesi di intervento.

A seguito di questi interventi si è ottenuta la mesh di Figura 4-6, con la batimetria riportata in Figura 4-9. La sistemazione implica un volume complessivo di scavo di circa 71000 m^3 . Si noti che la zona in sinistra idraulica compresa tra il limite esterno della mesh e l'argine maestro non è stata considerata nelle simulazioni. L'obiettivo era infatti quello di valutare, mediante il modello numerico, i tiranti idrici in sponda sinistra a monte del ponte e di adeguare, di conseguenza, le

quote dell'argine golenale al fine di evitare l'allagamento della golenale, ove sono presenti degli insediamenti permanenti.

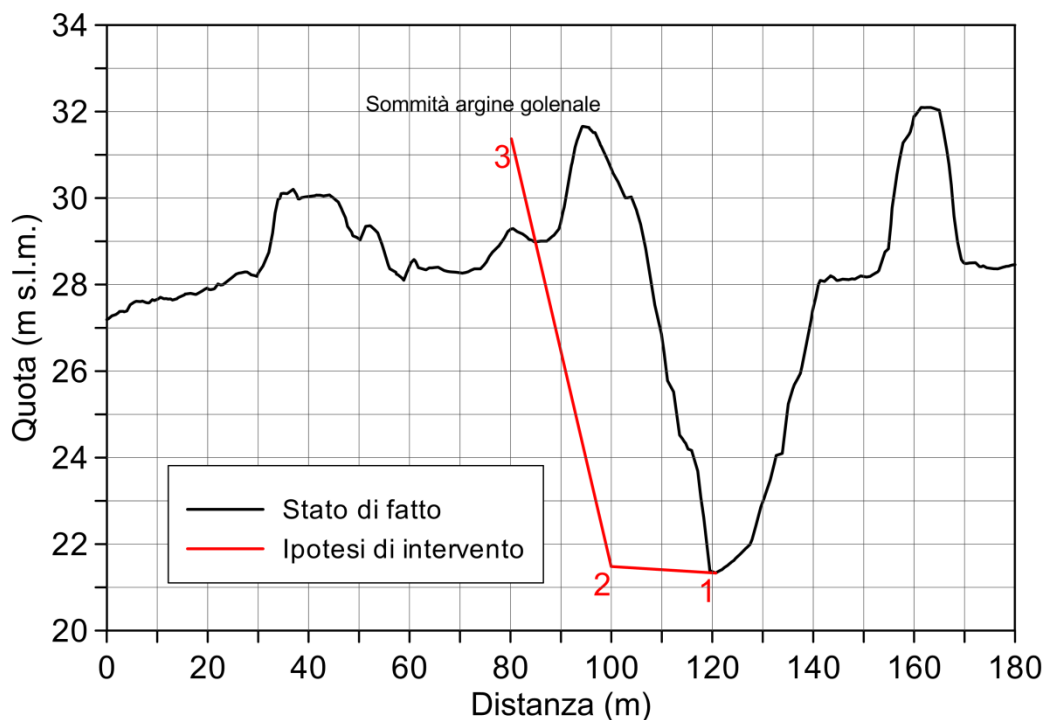


Figura 4-7: Ampliamento delle sezioni a monte del ponte della ferrovia.

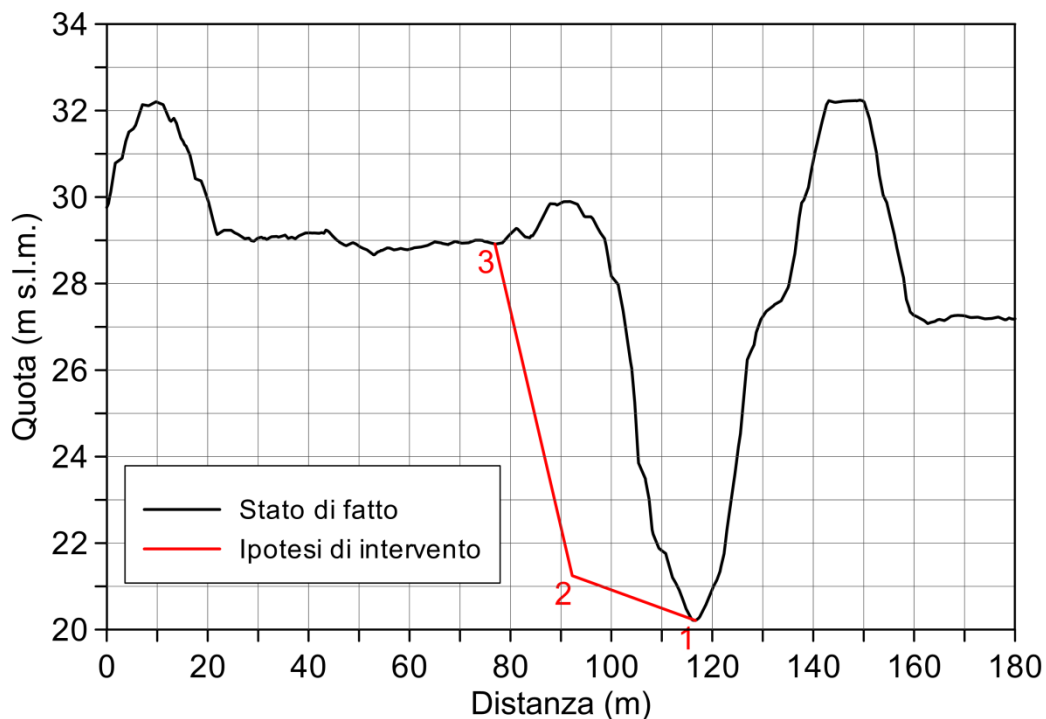


Figura 4-8: Ampliamento delle sezioni a valle del ponte della ferrovia.

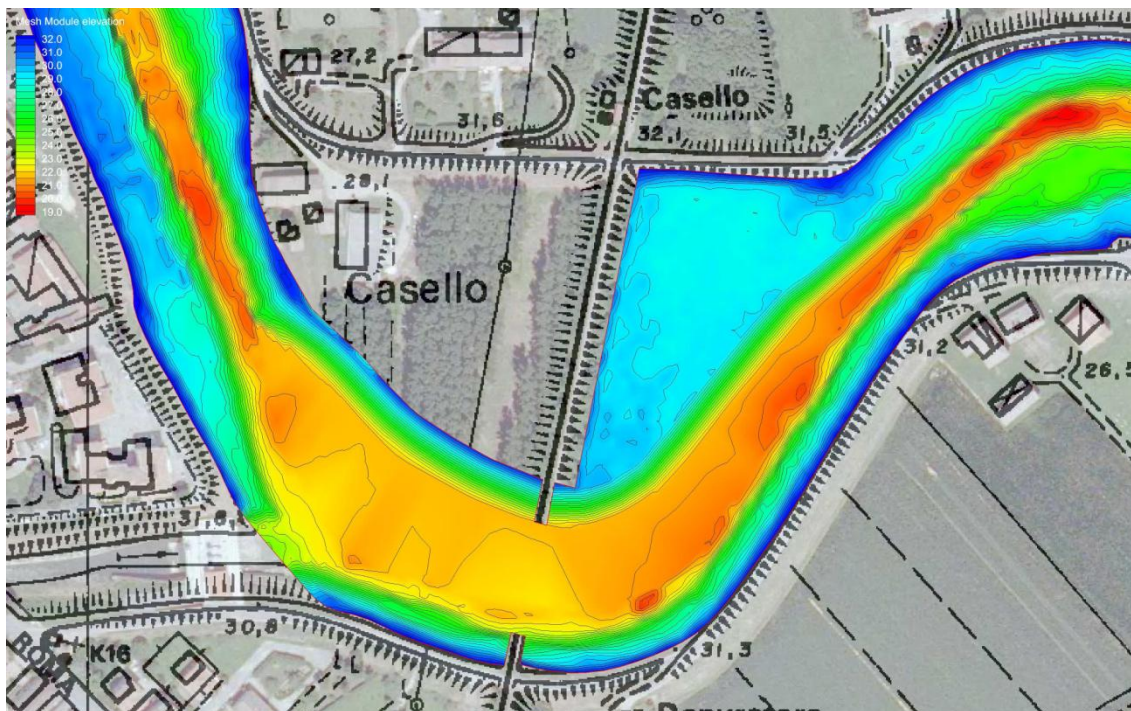


Figura 4-9: Batimetria conseguente agli interventi di progetto

4.1. Simulazione con il nuovo assetto

Con il nuovo assetto di progetto è stata effettuata una simulazione di moto permanente con portata in ingresso di $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Alla confluenza in Po è stato imposto un livello idrico pari a 25 m s.l.m..

In Figura 4-10 sono riportate le quote idriche ottenute dalla simulazione di moto permanente in corrispondenza dell'attraversamento di Colorno.

I risultati della simulazione sono stati successivamente confrontati con quelli ottenuti, a parità di condizioni idrauliche, con la batimetria relativa allo stato attuale. In Figura 4-11 è riportata la differenza fra le quote idriche delle due simulazioni, calcolata sottraendo i risultati ottenuti dall'assetto di progetto a quelli relativi allo stato di fatto. Valori positivi di tale differenza corrispondono quindi a diminuzioni di quota idrica. È evidente dall'immagine che a monte del ponte ferroviario si è ottenuta una diminuzione della quota idrica di 20-30 cm, mentre a valle del ponte si registrano aumenti di tale quota. Per il tratto in prossimità del ponte di piazza Garibaldi a Colorno si può osservare che la diminuzione della quota idrica ottenuta con l'ipotesi di intervento è in media pari a 30 cm.

Nella Figura 4-12 si riportano i moduli (mappe a colori) e i vettori delle velocità (freccie) ottenuti dalla simulazione con l'assetto di progetto: in corrispondenza della ferrovia Parma - Brescia le velocità massime sono di circa 1.9 m/s con una riduzione di oltre 1 m/s rispetto all'assetto attuale.

In corrispondenza del Ponte di Piazza Garibaldi le velocità rimangono invece, come era da attendersi, sostanzialmente invariate, con valori massimi pari a 4.2 m/s.

In definitiva il prospettato intervento è in grado di ridurre, a parità di portata, i livelli idrici in corrispondenza del ponte di Piazza Garibaldi di circa 30 centimetri. Esso consente quindi di aumentare i franchi, a parità di portata transitante nel torrente Parma e di livello idrico in Po. Ma consente anche di aumentare la portata compatibile a Colorno, a parità di franco e di livello idrico in Po, ovvero di aumentare il livello idrico massimo accettabile in Po, a parità di franco e di portata transitante nel torrente Parma.

Per esplorare tutte queste possibili implicazioni, nel capitolo seguente si è approfondito lo studio dell'alveo modificato, come se l'intervento fosse stato effettivamente realizzato.

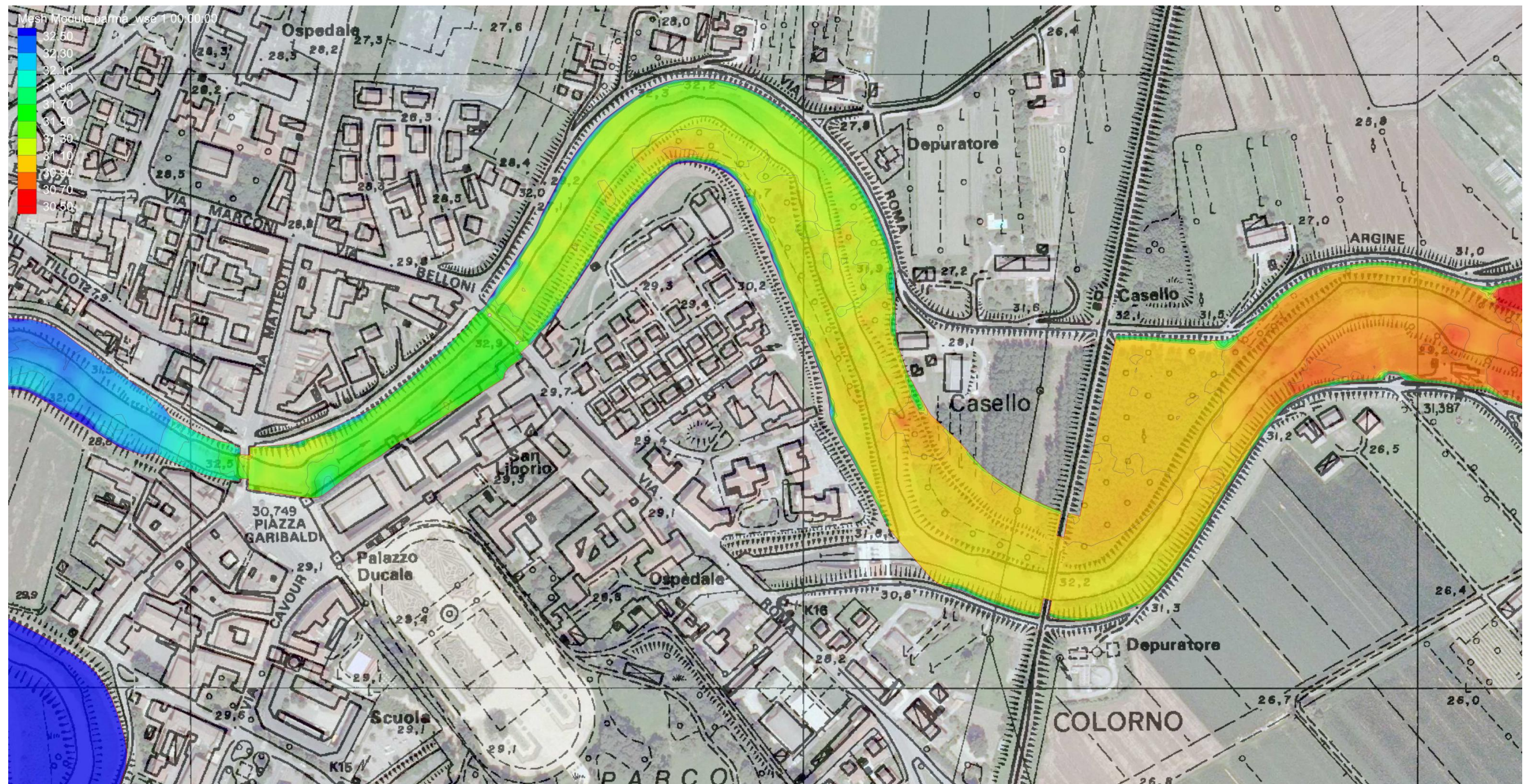


Figura 4-10: Quote idriche in corrispondenza dell'attraversamento di Colorno ottenuti dalla simulazione di moto permanente con portata in ingresso di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ in seguito all'ipotesi di intervento.

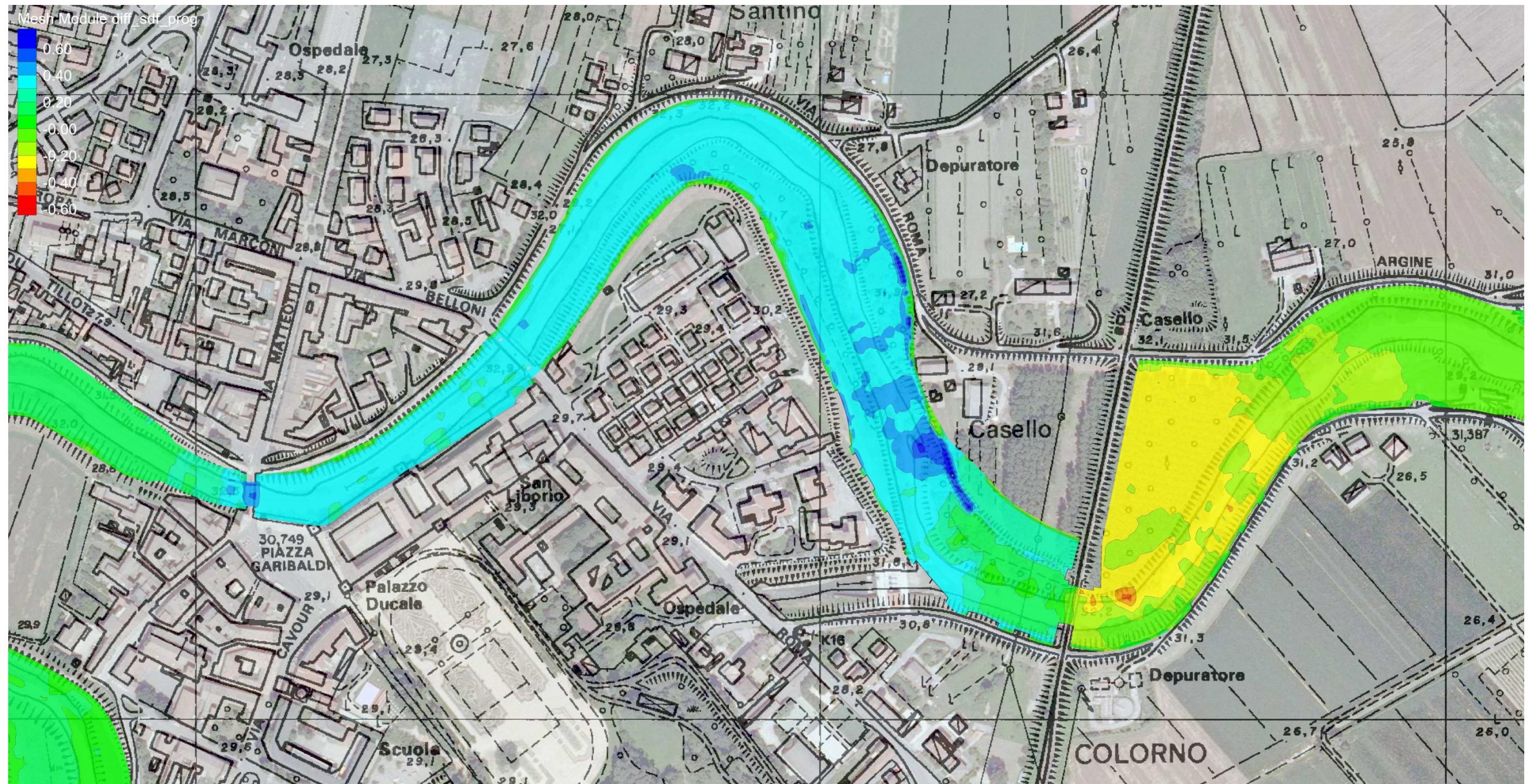


Figura 4-11: Differenza di quota idrica fra lo stato attuale e l'ipotesi di intervento

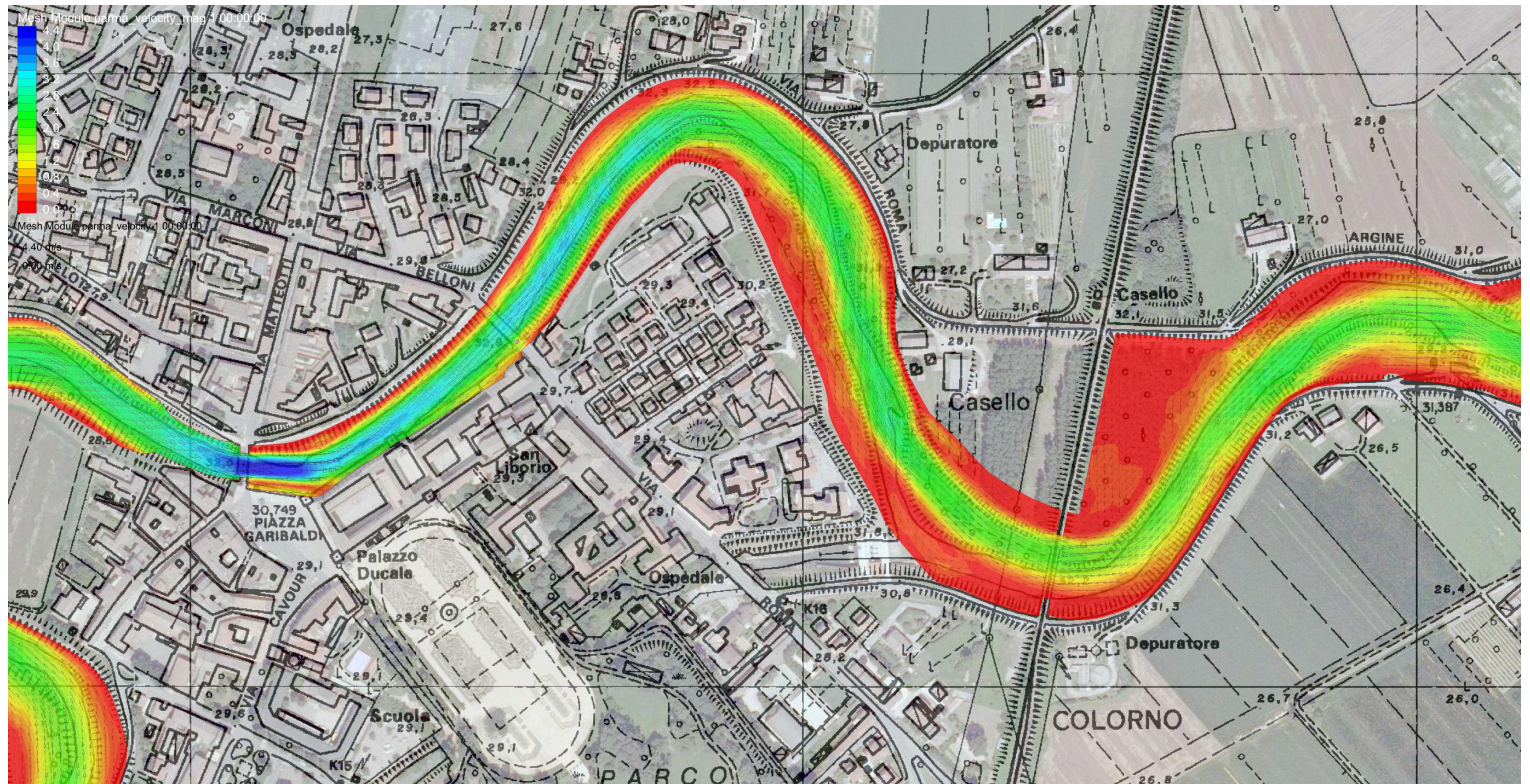


Figura 4-12: Velocità in corrispondenza dell'attraversamento di Colorno ottenuti dalla simulazione di moto permanente con portata in ingresso di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ in seguito all'ipotesi di intervento.

5. INDIVIDUAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE A COLORNO CON LA NUOVA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

5.1. Introduzione

Nel presente capitolo vengono descritte le elaborazioni effettuate per individuare le portate compatibili a Colorno con la nuova configurazione di progetto proposta. L'assetto utilizzato per le simulazioni è quello dell'ipotesi progettuale che è risultata essere più vantaggiosa, così come descritto nel capitolo precedente. In particolare l'intervento prevede un aumento di circa 18 m della luce del ponte della ferrovia Parma – Brescia e una ricalibratura dell'alveo al fine di aumentare la sezione disponibile al deflusso.

In analogia con quanto descritto nel Capitolo 3 del presente studio, si è effettuata una simulazione di moto vario facendo crescere in maniera discontinua il livello di Po secondo un andamento a gradini, ciascuno di durata sufficiente per il raggiungimento di una condizione di moto permanente in corrispondenza di ogni nuovo livello. Lo studio ha analizzato portate comprese fra i 300 e i 600 m³/s, a intervalli di 50 m³/s, in relazione ai livelli idrici presenti nel fiume Po. Lo scopo della simulazione è quello di calcolare, per ogni portata transitante nel torrente Parma, il profilo di moto permanente relativo a una determinata quota idrica presente in Po.

Le condizioni iniziali assegnate a ciascuna simulazione a livello variabile sono state ottenute mediante simulazioni preliminari di moto permanente, in cui è stato imposto a monte un valore di portata costante e pari al valore di interesse (300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 m³/s), mentre a valle è stata imposta una scala di deflusso. In assenza di una scala di deflusso sperimentale, questa è stata calcolata fornendo al software Basement la pendenza media dell'ultimo tratto fluviale (0.06%). Tali simulazioni preliminari sono state a loro volta eseguite a partire dalla condizione iniziale di alveo asciutto e sono state arrestate al raggiungimento delle condizioni di moto permanente lungo tutto il tratto oggetto di studio. Questa condizione di moto permanente ha poi rappresentato la condizione iniziale della simulazione a portata costante e livello variabile. La regione fluviale in cui è stata condotta la simulazione, le condizioni iniziali e al contorno sono esattamente quelle descritte nel Capitolo 3. L'unica variazione è l'assetto della zona in prossimità della linea ferroviaria Parma – Brescia, dove si sono concentrati gli interventi di progetto.

5.2. Individuazione della portata compatibile a Colorno in relazione alle diverse quote idriche del fiume Po

Per la valutazione dei franchi e l'individuazione della portata compatibile si sono presi in considerazione gli stessi due punti, situati immediatamente a monte e a valle del ponte di piazza Garibaldi a Colorno, riportati in Figura 3-9.

In Figura 5-1 e in Figura 5-2 si riportano, per i due punti considerati, i livelli idrici restituiti dalle simulazioni in regime permanente, in funzione della portata transitante e della quota idrica del fiume Po alla confluenza. Al contrario di quanto indicato nel Capitolo 4 per lo stato di fatto, si riscontra che con l'intervento proposto è garantito il contenimento in alveo anche per livelli idrici del fiume Po piuttosto elevati. Ad esempio, nella configurazione attuale per contenere, con franco nullo, la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ è necessaria una quota idrica in Po inferiore a 28.60 m s.l.m. , mentre grazie all'intervento proposto questa quota può aumentare fino a raggiungere circa 29.80 m s.l.m. : si è quindi reso compatibile con la sezione a monte del ponte un aumento di 1.2 m del livello del Po. Analogamente, a valle del ponte, con l'ipotesi di intervento, la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ è contenuta se il livello di Po è pari o inferiore a 30.20 m s.l.m. , mentre con lo stato di fatto lo era solo per un livello di Po inferiore a 31.40 m s.l.m. : è quindi compatibile con la sezione a valle del ponte un incremento di livello in Po di 80 cm .

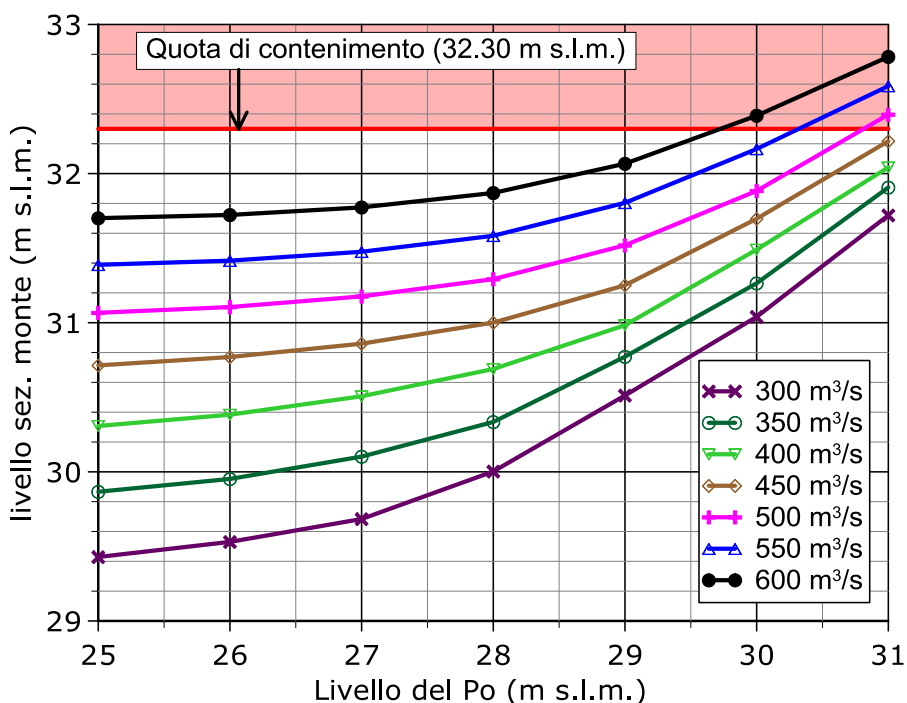


Figura 5-1: Livelli restituiti dalle simulazioni nel punto a monte del ponte di piazza Garibaldi in funzione della portata transitante e della quota idrica del fiume Po alla confluenza.

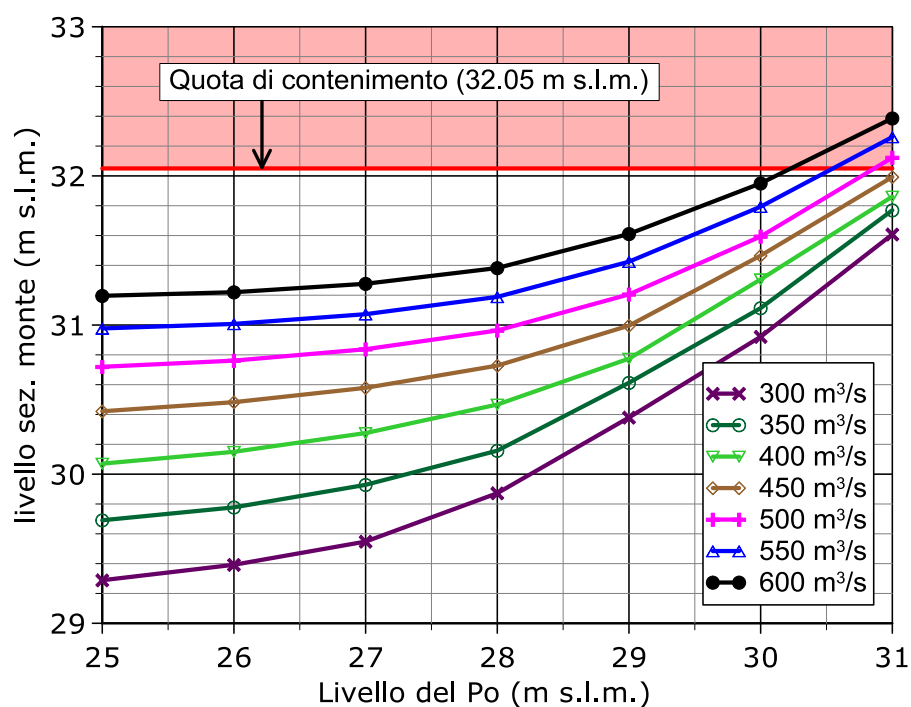


Figura 5-2: Livelli restituiti dalle simulazioni nel punto a valle del ponte di piazza Garibaldi in funzione della portata transitante e della quota idrica del fiume Po alla confluenza.

5.3. Considerazioni conclusive

In Figura 5-3 si riportano i franchi ottenuti in corrispondenza del ponte di Piazza Garibaldi, per livelli di Po variabili fra 25 e 32 m s.l.m.. In particolare la Figura 5-3 è stata ottenuta calcolando il franco minimo fra i punti di riferimento a monte e a valle del ponte (Figura 3-9). Tale franco è stato determinato come differenza fra le quote dei punti critici di riferimento e il livello idrico restituito dalle simulazioni, una volta raggiunta una condizione di moto permanente.

Con il nuovo assetto dell'alveo proposto, la portata di 600 m³/s transita con un franco di 60 centimetri se il livello in Po alla confluenza non supera i 25 m s.l.m.; tale franco è pari al doppio di quello ottenuto con l'attuale assetto fluviale. Per un livello del Po alla confluenza pari a 29.7 m s.l.m. il franco si azzererebbe e, per livelli di Po ancora superiori, comincerebbero a verificarsi esondazioni. Va ricordato che, come descritto nel Capitolo 4, con l'attuale assetto fluviale e portata di 600 m³/s le esondazioni si verificherebbero già per livelli di Po superiori a 28.6 m s.l.m.: l'intervento proposto permetterebbe quindi un aumento di 1.1 m delle quote in Po senza che si verificassero problemi per le sezioni circostanti al ponte di piazza Garibaldi a Colorno. Inoltre con l'intervento proposto il franco di un metro, normalmente richiesto per le sistemazioni fluviali,

sarebbe garantito anche per portate piuttosto elevate: per 300 m³/s fino a livelli di Po alla confluenza di 30.2 m s.l.m., per 400 m³/s fino a livelli alla confluenza di 29.5 m s.l.m. e 28 m s.l.m. per la portata di 500 m³/s. È necessario ricordare che con l'attuale assetto il franco di un metro non sarebbe garantito neppure per una portata di 500 m³/s e per livelli bassi del fiume Po, ma solo per portate di 300 e 400 m³/s con livelli alla confluenza rispettivamente di 30 m s.l.m. e 29.1 m s.l.m.. Per una portata di 300 m³/s il franco di 2.7 m, presente se la quota idrica in Po è di 25 m s.l.m., si annulla per un livello di Po pari a 31.50 m s.l.m., valore comunque estremamente elevato e ben superiore al massimo livello raggiunto dal Po alla confluenza durante l'evento dell'ottobre 2000.

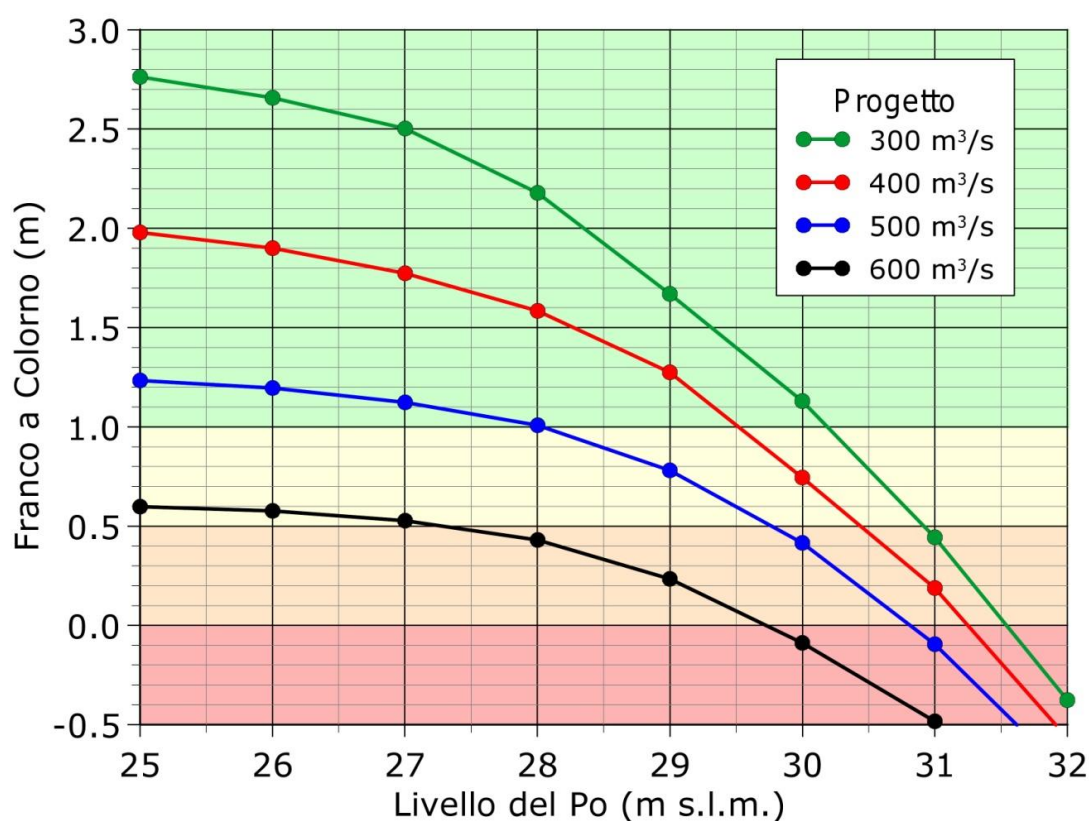


Figura 5-3: Portate compatibili a Colorno

L'intervento proposto è quindi efficace nel migliorare le criticità che ad oggi si riscontrano nell'attraversamento di Colorno. In particolare la Tabella 5-1 riporta i franchi a Colorno per le varie portate in relazioni alle quote idriche presenti alla confluenza in Po: con l'intervento proposto le esondazioni si verificano per livelli idrici in Po superiori rispetto a quelli individuati per l'assetto fluviale attuale. La differenza delle quote idriche in Po che causano l'esondazione aumenta al crescere della portata analizzata. Inoltre con l'intervento analizzato si riesce a garantire il franco di un metro anche per portate piuttosto elevate, come ad esempio 500 m³/s.

Tabella 5-1: Livelli nel Po che garantiscono a Colorno un franco di un metro o un franco nullo per portate nel torrente Parma comprese fra 300 e 600 m³/s

Portata [m ³ /s]	Franco 0 m			Franco 1 m		
	Livello di Po [m s.l.m.]		Differenza b)–a) [cm]	Livello di Po [m s.l.m.]		Differenza b)–a) [cm]
	a) Stato di fatto	b) Ipotesi di intervento		a) Stato di fatto	b) Ipotesi di intervento	
300	31.4	31.5	10	30.0	30.2	20
400	31.0	31.3	30	29.1	29.5	40
500	30.4	30.8	40	-	28.0	-
600	28.6	29.7	110	-	-	-

La Figura 5-4 visualizza, in maniera sintetica, i miglioramenti ottenibili con l'intervento proposto.

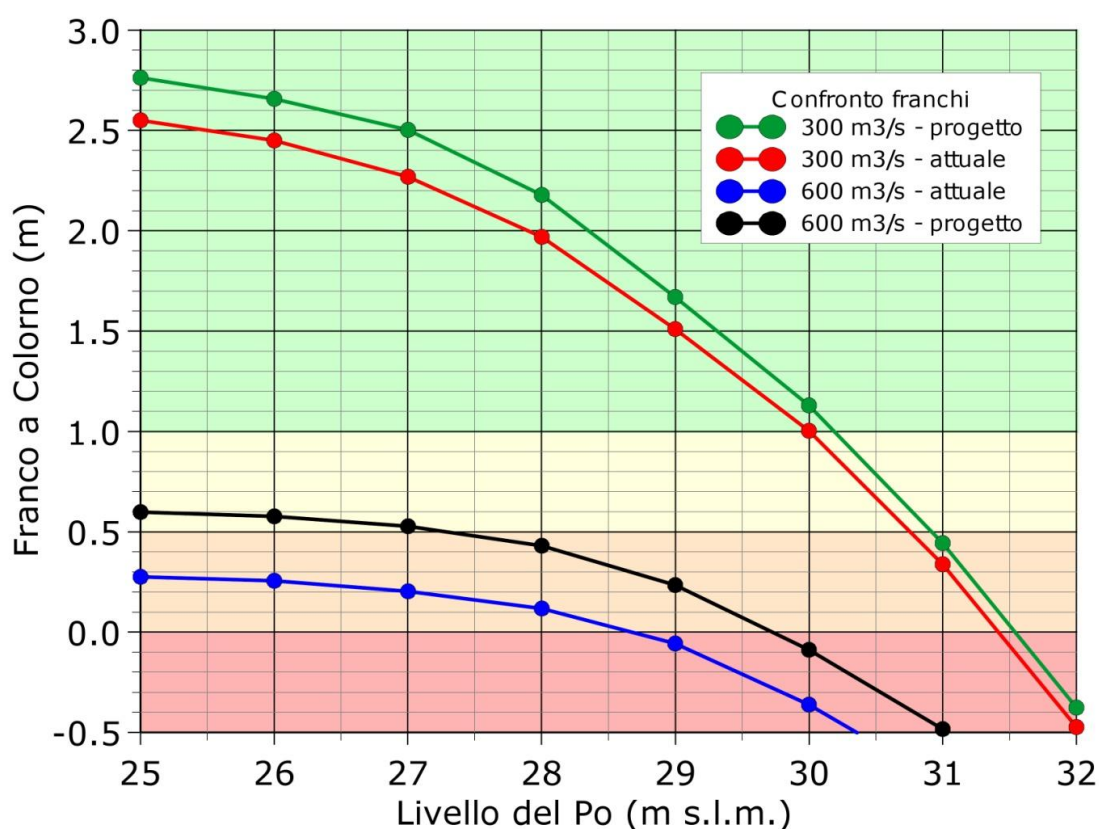


Figura 5-4: Confronto fra i franchi ottenuti con lo stato di fatto e a seguito dell'intervento proposto.

In particolare per portate di 600 m³/s e livello di Po di 25 m s.l.m. il franco aumenta di 32 cm, mentre l'esondazione avviene per livelli di Po pari a 29.7 m s.l.m., valore maggiore di 110 centimetri rispetto a quello relativo allo stato attuale dell'alveo fluviale. Per una portata di 300 m³/s

il franco, per un livello di Po pari a 25 m s.l.m., aumenta di 21 centimetri e l'eventuale esondazione si verifica per livelli di Po che sono di 10 centimetri maggiori rispetto a quanto avviene per lo stato di fatto dell'area.

Si può quindi concludere che l'intervento proposto risulta efficace, assieme ad altri interventi di riduzione delle portate che verranno realizzati a monte, nel risolvere le criticità che ad oggi si riscontrano nel nodo idraulico di Colorno.

6. VALUTAZIONE DELLA PORTATA COMPATIBILE NEL TRATTO DI TORRENTE PARMA COMPRESO TRA LA CITTÀ E COLORNO

6.1. Introduzione

Nel presente capitolo vengono esposte le metodologie adottate ed i risultati ottenuti per la valutazione della portata compatibile nel tratto di torrente Parma compreso tra l'omonima città e Colorno.

La sezione iniziale del tratto considerato è ubicata immediatamente a valle del ponte della ferrovia, a nord della città di Parma (Figura 2-1); la sezione terminale è ubicata a monte dell'abitato di Colorno e dista circa 7.7 km, misurati lungo il thalweg, dalla confluenza in Po. In tale tratto gli effetti del rigurgito del Po sono trascurabili fino a quote idriche alla confluenza Parma-Po piuttosto elevate ($h_{Po} \leq 28$ m s.l.m.) per cui si può ritenere che la portata compatibile sia indipendente dai livelli di Po e quindi individuabile in maniera univoca. Inoltre, la riduzione dell'estensione del tratto modellato ha permesso di ridurre sensibilmente il numero di elementi descrittivi del modello 2D (circa 50000 elementi) portando ad una significativa riduzione dei tempi di simulazione.

6.2. Simulazioni effettuate e determinazione delle portate compatibili

Per la valutazione delle portate compatibili nei vari tratti si è proceduto fissando alcuni valori di portata e verificando, dai risultati delle simulazioni, il contenimento dei livelli idrici entro gli argini del torrente ed i franchi corrispondenti. Da un'analisi preliminare si è valutato che la portata compatibile fosse compresa tra 600 m³/s e 650 m³/s e pertanto si sono effettuate due simulazioni di moto permanente con questi valori di portata.

Si tenga presente che, per come è strutturato il modello, la corrente viene comunque contenuta in alveo, anche se i livelli idrometrici superano localmente la quota del coronamento delle arginature: la mesh di calcolo non si estende infatti esternamente agli argini, e pertanto il limite della mesh corrisponde ad un confine invalicabile da parte della corrente idrica. I risultati, anche nel caso di franchi negativi, sono comunque utili al fine di verificare la necessità di eventuali sovralti arginali localizzati.

6.2.1. Condizioni al contorno

Le portate pari a 600 e 650 m³/s costituiscono la condizione di monte delle due simulazioni e sono state imposte nella sezione iniziale del tratto di studio. A valle si è invece imposta una quota idrica calcolata sulla base della scala di deflusso della sezione finale del tratto modellato ottenuta mediante simulazioni 2D nel tratto di torrente Parma compreso fra Colorno e la confluenza in Po, come riportato al Capitolo 3. Tale scala di deflusso, riportata in Figura 6-1, è stata ottenuta considerando un livello di Po alla confluenza pari a 28 m s.l.m., che è anche il massimo che non influenza in modo significativo i livelli nella zona a monte dell’abitato di Colorno e consente quindi di ricavare una scala di deflusso univoca per la sezione di valle del presente modello.

I punti di tale scala sono stati interpolati con un polinomio di secondo grado che ha permesso di estrapolare la quota idrica in corrispondenza della portata di 650 m³/s, non compatibile con il tratto di valle (Colorno-confluenza Po) nella configurazione attuale dell’alveo.

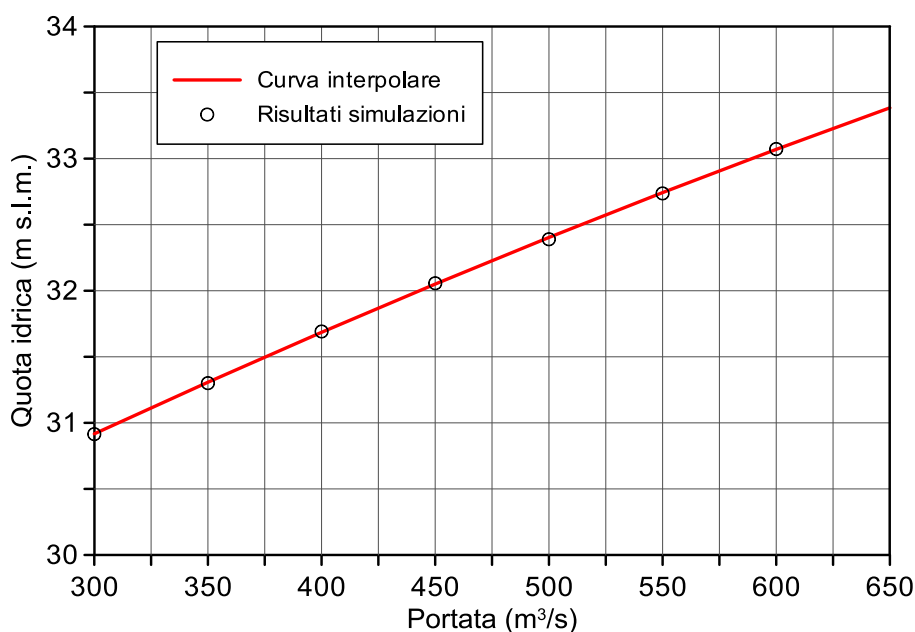


Figura 6-1- Scala di deflusso calcolata sulla base delle simulazioni di moto permanente con portate comprese tra 300 e 600 m³/s.

È opportuno infine osservare che la scala di deflusso di cui sopra è relativa all’attuale assetto dell’alveo a valle. Nel caso in cui venissero realizzati gli interventi di ricalibratura prospettati al Capitolo 4 le quote idriche, a parità di portata, potrebbero subire abbassamenti di alcuni

centimetri, ritenuti comunque trascurabili ai fini della definizione delle portate compatibili nel tratto Parma-Colorno.

6.3. Risultati delle simulazioni

Essendo il modello bidimensionale, non ha particolare significato definire delle sezioni trasversali, almeno per la valutazione dei franchi, in quanto la quota idrica lungo esse non si mantiene costante, al contrario di quanto accade per un modello monodimensionale. Si è quindi preferito confrontare l'andamento delle quote idriche ottenute dalle simulazioni con le quote del coronamento arginale, separatamente in destra e sinistra idraulica.

La Figura 6-2 riporta le quote arginali ed i profili idrici ottenuti dalle due simulazioni con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrispondenza dell'argine destro. Nella stessa figura sono riportati i franchi.

Fino a circa due chilometri a valle dell'intersezione con l'autostrada A1, il franco si mantiene superiore al metro anche per la portata più elevata. Procedendo verso valle si nota una diminuzione del franco, con alcune zone localizzate in cui esso scende anche al di sotto del mezzo metro per la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e scendono a 25-30 cm per la portata di $650 \text{ m}^3/\text{s}$. In corrispondenza della sezione terminale la portata di $650 \text{ m}^3/\text{s}$ non è neppure contenuta in alveo (in destra idraulica) come si evince dai franchi negativi.

La Figura 6-3 riporta gli analoghi andamenti in sinistra idraulica⁴. Fino alla progressiva 9 km il franco risulta superiore al metro, anche per la portata di $650 \text{ m}^3/\text{s}$. Dalla progressiva 9 km alla progressiva 11 km i franchi si abbassano sensibilmente, scendendo quasi a zero per la portata di $650 \text{ m}^3/\text{s}$. Più a valle (dalla progressiva 11 km in poi) aumentano un po', assestandosi sui 75-100 cm per la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e sui 50-75 per la portata di $650 \text{ m}^3/\text{s}$. Non si evidenziano mai franchi negativi, neppure nella sezione terminale.

Alla luce di questi risultati, e trascurando la presenza di alcuni abbassamenti locali della sommità arginale (da confermare con un rilievo topografico di dettaglio), si è ritenuto di poter dividere il torrente in due tratti a diversa portata compatibile: il primo, con portata compatibile pari a $650 \text{ m}^3/\text{s}$, si estende da Parma (inizio del modello) fino a un chilometro circa a valle del ponte dell'autostrada A1; il secondo, con portata compatibile di $600 \text{ m}^3/\text{s}$, da tale sezione fino al termine del tratto modellato, a monte dell'abitato di Colorno.

⁴ Si noti che le progressive relative alla medesima struttura (ad esempio l'intersezione con l'autostrada A1) sono diverse da quelle in destra idraulica poiché le distanze sono misurate seguendo un'ascissa curvilinea che si sviluppa lungo ciascun argine.

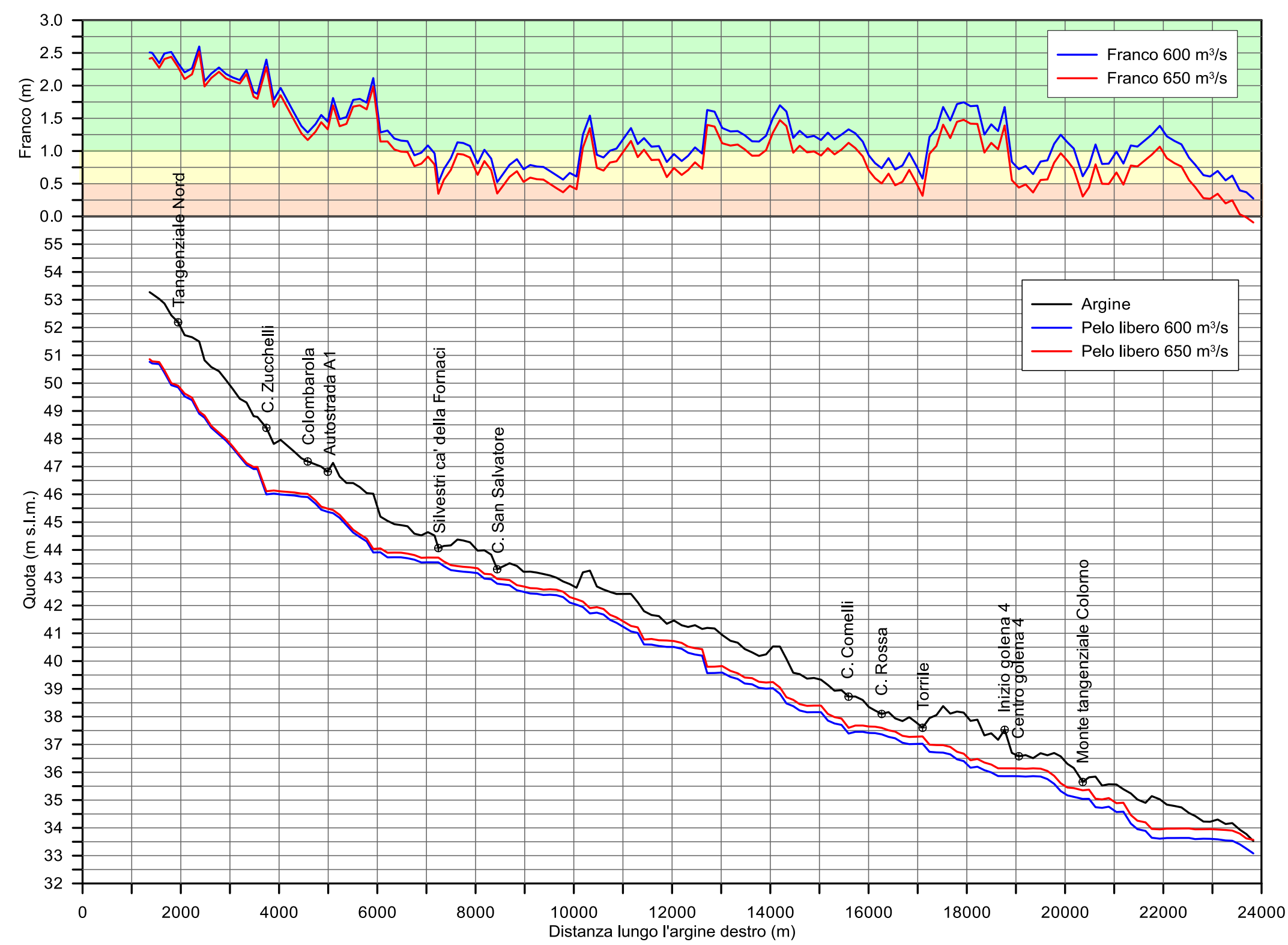


Figura 6-2- Profilo altimetrico del coronamento dell’argine, quote idriche e franchi arginali in destra idraulica del torrente Parma.

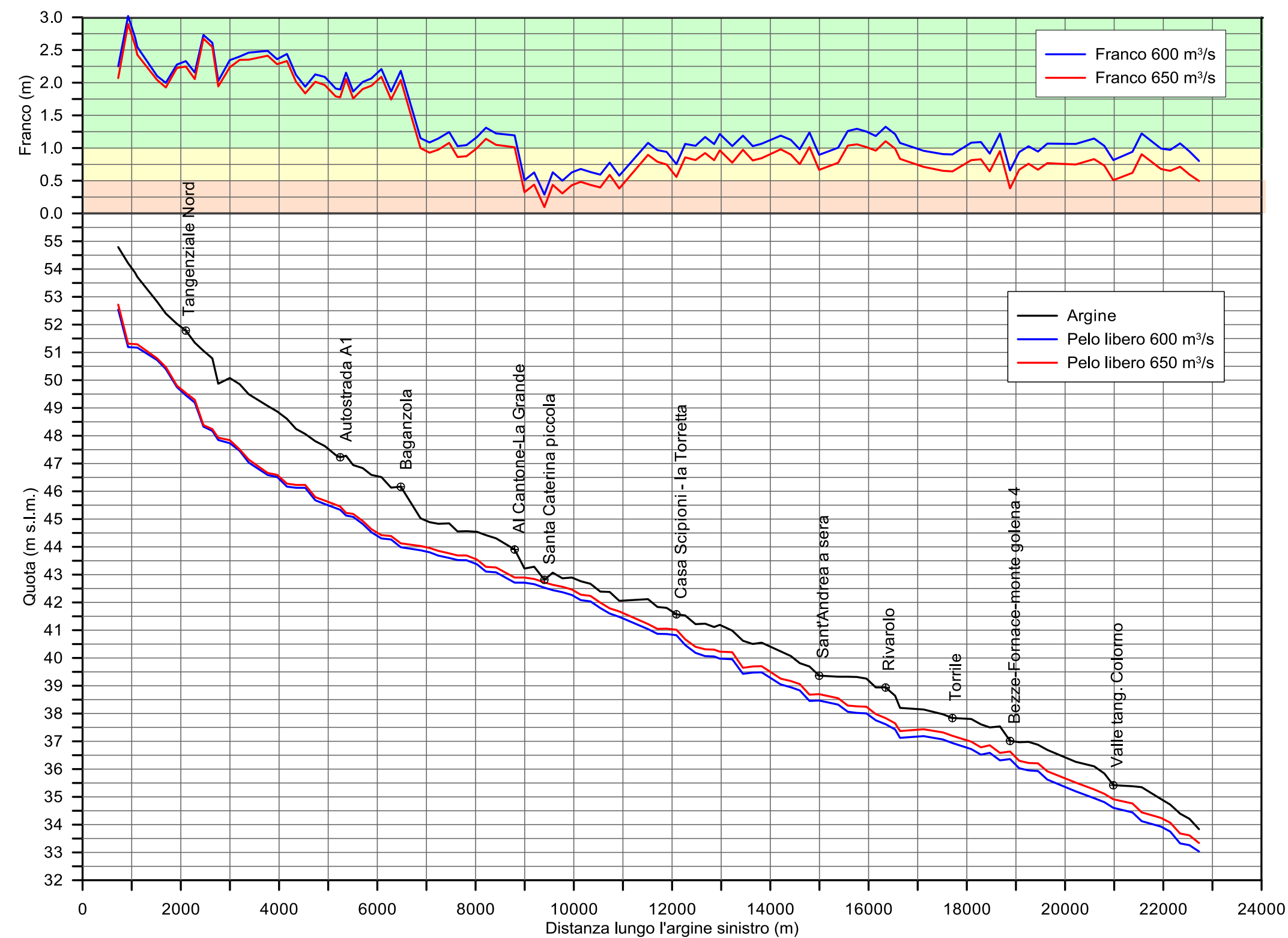


Figura 6-3- Profilo altimetrico del coronamento dell'argine, quote idriche e franchi arginali in sinistra idraulica nel primo tratto del torrente Parma.

7. VALUTAZIONE DEI VOLUMI IMMAGAZZINABILI NELLE GOLENE TRA PARMA E COLORNO

7.1. Introduzione

Nei capitoli precedenti si sono individuate le portate compatibili nel tratto del torrente Parma tra Parma e Colorno (Cap. 6) e nell'attraversamento di Colorno, sia nell'assetto attuale dell'alveo (Cap. 3) che a seguito degli interventi prospettati (Cap.5). Anche in quest'ultimo caso ed in presenza di livelli di Po non particolarmente elevati, la portata compatibile a Colorno non è superiore a $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Occorrerebbe quindi, attraverso interventi di laminazione controllata, fare in modo che, in occasione di un evento con tempo di ritorno almeno centenario, non provenga a Colorno una portata superiore a $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il principale intervento di laminazione controllata già esistente e funzionante, a monte di Colorno è, come è noto, la cassa di espansione sul torrente Parma. Essa è però in grado di controllare, in maniera piuttosto efficiente peraltro, solo le portate provenienti dal bacino del torrente Parma a monte della confluenza con il Baganza.

Per controllare in maniera completa le portate a Colorno è necessario considerare anche la realizzazione della cassa di espansione sul torrente Baganza, a monte della città di Parma.

Un ulteriore intervento teoricamente possibile per ridurre la portata a Colorno sarebbe quello di utilizzare in maniera efficiente i volumi golenali esistenti nel tratto compreso tra Parma e Colorno. Se ciò fosse possibile, il volume della cassa sul torrente Baganza, in via di definizione, potrebbe essere ridotto.

Nel presente capitolo si sono valutati i volumi teoricamente disponibili in alcune zone golenali individuate tra Parma e Colorno, confrontandoli con i volumi necessari per ottenere un ulteriore abbattimento della portata su un'onda di piena sintetica già laminata dalla presenza delle due casse sui torrenti Parma e Baganza.

7.2. Individuazione delle golene lungo l'alveo

In una prima fase si sono ricercate nel tratto di alveo a valle della città di Parma zone golenali che, almeno da un punto di vista planimetrico, fossero idonee a garantire una discreta capacità di invaso. Si sono individuate quattro zone, alle quali è stata assegnata una lettera (Zona A...

Zona D). Alcune di esse, per le regioni che saranno meglio chiarite in seguito, sono state ulteriormente suddivise in sottozone, alle quali è stato assegnato un numero, indicato sull'ortofoto.

Per ogni sottozona sono state determinate alcune quote di particolare interesse:

- Z_{min} : quota minima del terreno;
- Z_{max} : quota massima del terreno;
- Z_{minAM} : quota minima del coronamento dell'argine maestro (destro o sinistro) prospiciente la sottozona;
- $Z_{max,eff}$: quota massima "effettiva", fino alla quale si considera possibile invasare acqua nella golenale, calcolata sottraendo il franco di un metro alla quota minima del coronamento dell'argine maestro (destro o sinistro) prospiciente la sottozona.

Una volta definite tali quote si sono calcolate, utilizzando il DEM e il programma Surfer 9[®], le curve delle superfici e dei volumi tra Z_{min} e $Z_{max,eff}$ con un passo costante $\Delta Z = 0.25$ m, sufficiente a descrivere adeguatamente gli andamenti.

Poiché l'obiettivo finale era quello di valutare la possibile chiusura di alcune zone per ottimizzare l'invaso e aumentare l'effetto di laminazione, si è anche calcolata la lunghezza della linea di confine tra golenale e alveo di magra che, evidentemente, coincide con la lunghezza dell'ipotetico argine golenale da realizzare.

Tali lunghezze si indicano dunque come segue:

- L_g = lunghezza riferita ad ogni sottozona.
- $L_{g,TOT} = \sum_{i=1}^n L_{gi}$, con n pari al numero di sottozone: lunghezza riferita all'intera Zona.

Di seguito viene fornita l'ubicazione, una breve descrizione e le caratteristiche principali di ciascuna zona. I valori numerici delle superfici e dei volumi sono riportati in Appendice C.

Zona A (Figura 7-1): è ubicata tra il ponte della tangenziale e il ponte dell'autostrada A1, a Nord della città di Parma. Si considera suddivisa in tre sottozone, due in destra e una in sinistra idraulica rispetto all'alveo di magra del torrente. Tra la sottozona A1 e la sottozona A3 è presente un argine golenale a protezione di civili abitazioni.

Le Figure 7-2 e 7-3 riportano rispettivamente le curve delle superfici e dei volumi. In Tabella 7.1 sono riportati i dati riassuntivi. Il volume massimo immagazzinabile è dell'ordine di $700 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. La lunghezza di confine tra l'alveo di magra e la zona golenale di interesse ($L_{g,TOT}$), che coincide con la lunghezza dell'argine golenale necessario per "chiudere" tutte le golene di questa zona, è molto rilevante, pari a 4.6 km.



Figura 7-1 – Ubicazione della Zona A, con indicazione delle tre sottozone in cui è stata suddivisa nel prosieguo dell'analisi.

Tabella 7.1 – Dati riassuntivi della Zona A

Sottozona	ZONA A		
	1	2	3
L_g [m]	1629	1302	1712
$L_{g,TOT}$ [m]	4644		
Z_{min} [m slm]	40.91	41.58	39.02
Z_{max} [m slm]	50.68	49.87	48.57
Z_{minAM} [m slm]	48.60	48.70	47.00
$Z_{max,eff}$ [m slm]	47.60	47.70	46.00
$S(Z_{max,eff})$ [ha]	21.1	16.4	24.0
$V(Z_{max,eff})$ [10^3 m ³]	160	306	238

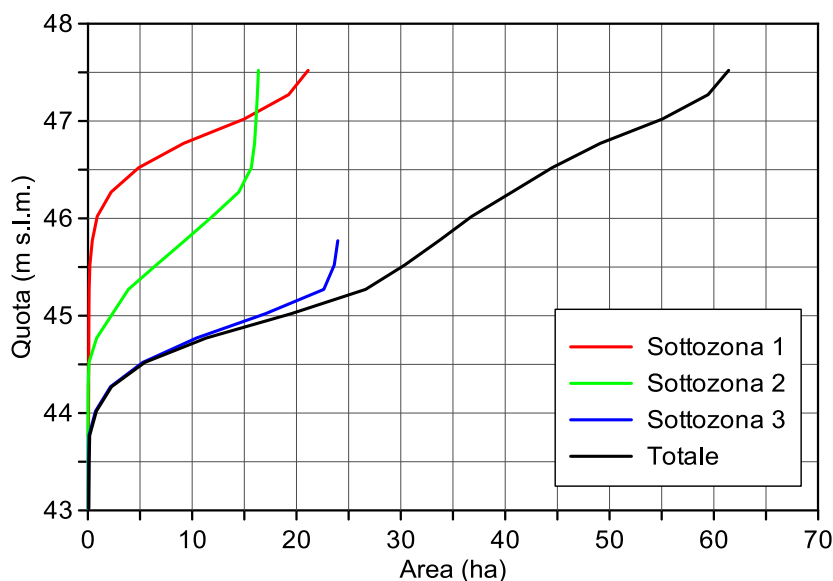


Figura 7-2 – Curva delle superfici, zona A

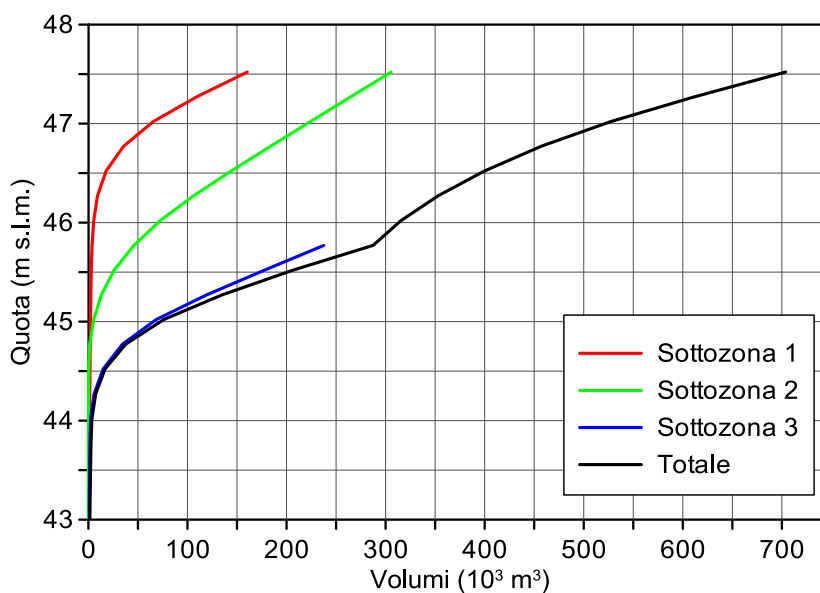


Figura 7-3 – Curva dei volumi, zona A

Zona B (Figura 7-4): è ubicata a valle del ponte dell’autostrada A1, nei pressi del centro abitato di Baganzola. Per la sua conformazione piuttosto regolare e trovandosi tutta in destra idraulica rispetto all’alveo di magra, sembra essere la zona più idonea da sfruttare con l’obiettivo di laminare l’onda di piena.

Per ottimizzare i volumi disponibili si è ipotizzato di “bacinizzare” quest’ampia Zona suddividendola in quattro sottozone. L’aumento di volume invasabile con la bacinizzazione è notevole, visto che senza di essa la massima quota d’invaso sarebbe vincolata alla quota minima assoluta del coronamento dell’argine maestro prospiciente ($Z_{max,eff,min}$). Le Figure 7-5 e 7-6

riportano rispettivamente le curve delle superfici e dei volumi al crescere della quota. In Tabella 7.2 sono riportati i dati riassuntivi. In essa si sono indicati rispettivamente con V^* e S^* il volume e la superficie calcolate nell'ipotesi di bacinizzazione. In quest'ultimo caso il volume massimo immagazzinabile è dell'ordine di $500 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ poco inferiore rispetto alla Zona A. La lunghezza di confine tra l'alveo di magra e la zona golenale di interesse ($L_{g,TOT}$), è di circa 1.9 km, meno della metà rispetto alla Zona A.



Figura 7-4 - Ubicazione della Zona B, con indicazione delle quattro sottozone in cui in cui è stata suddivisa nel prosieguo dell'analisi.

Tabella 7.2 – Dati riassuntivi della zona B

Sottozona	ZONA B			
	B1	B2	B3	B4
L_g [m]	486	421	680	320
$L_{g,TOT}$ [m]	1908			
Z_{min} [m slm]	41.29	40.50	40.89	40.32
Z_{max} [m slm]	46.66	46.27	45.99	45.12
Z_{minAM} [m slm]	46.10	45.90	45.06	44.73
$Z_{max,eff}$ [m slm]	45.10	44.90	44.06	43.06
$S(Z_{max,eff,min})$ [ha]	3.24	5.63	14.64	8.49
$S^*(Z_{max,eff})$ [ha]	5.17	7.11	14.69	8.49
$V(Z_{max,eff,min})$ [10^3 m^3]	27.4	33.7	123.9	124.8
$V^*(Z_{max,eff})$ [10^3 m^3]	97.5	119.4	160.7	124.8

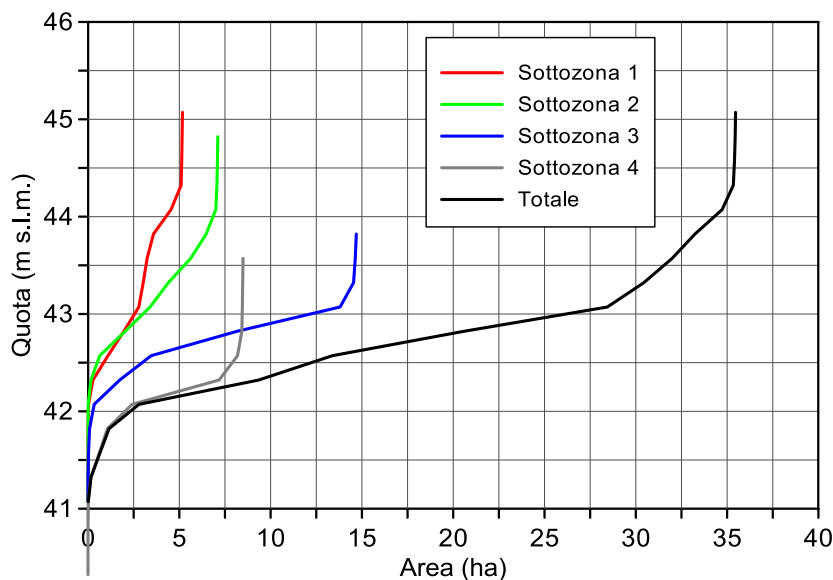


Figura 7-5 – Curva delle superfici, zona B

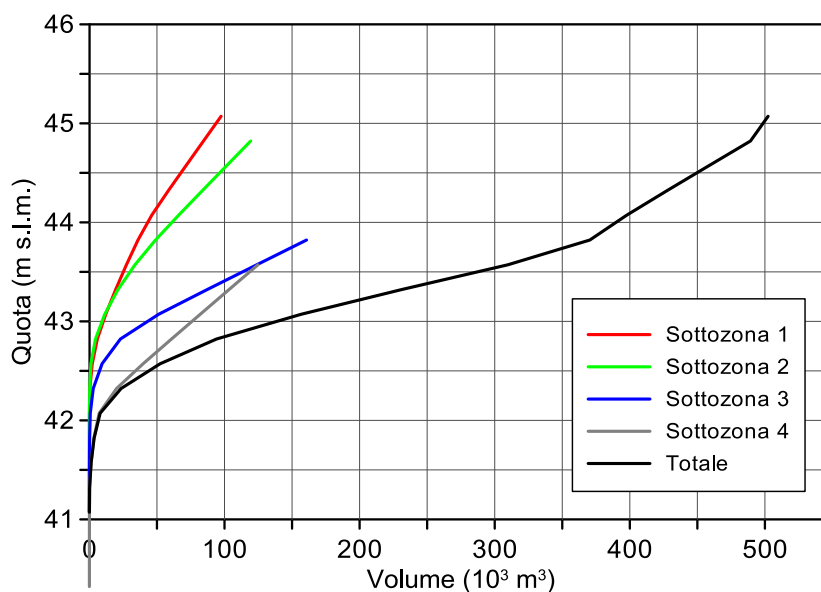


Figura 7-6 – Curva dei volumi, zona B

Zona C (Figura 7-7): è ubicata nei pressi della località Castelnuovo, circa 2 km a Nord Est dell'abitato di Baganzola. È stata suddivisa in quattro sottozone, due in destra e due in sinistra idraulica rispetto all'alveo di magra. Osservando i dati riassuntivi riportati in Tabella 7.3 si nota che la lunghezza $L_{g,TOT}$ è ragguardevole a fronte di un volume complessivo V non particolarmente elevato, pari a circa $635 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (Tabella 7.5).



Figura 7-7 - Ubicazione della Zona C con indicazione delle varie parti delle quattro sottozone in cui è stata suddivisa nel prosieguo dell'analisi.

Tabella 7.3 – Dati riassuntivi della zona C

Sottozona	ZONA C			
	C1	C2	C3	C4
L_g [m]	1960	1107	993	1489
$L_{g,TOT}$ [m]	5549			
Z_{min} [m slm]	34.57	38.33	38.12	35.18
Z_{max} [m slm]	44.33	44.46	43.58	43.29
Z_{minAM} [m slm]	43.18	43.12	43.17	42.93
$Z_{max,eff}$ [m slm]	42.18	42.12	42.17	41.93
$S(Z_{max,eff})$ [ha]	12.60	10.77	12.27	7.39
$V(Z_{max,eff})$ [$10^3 m^3$]	146.7	142.4	236.9	109.0

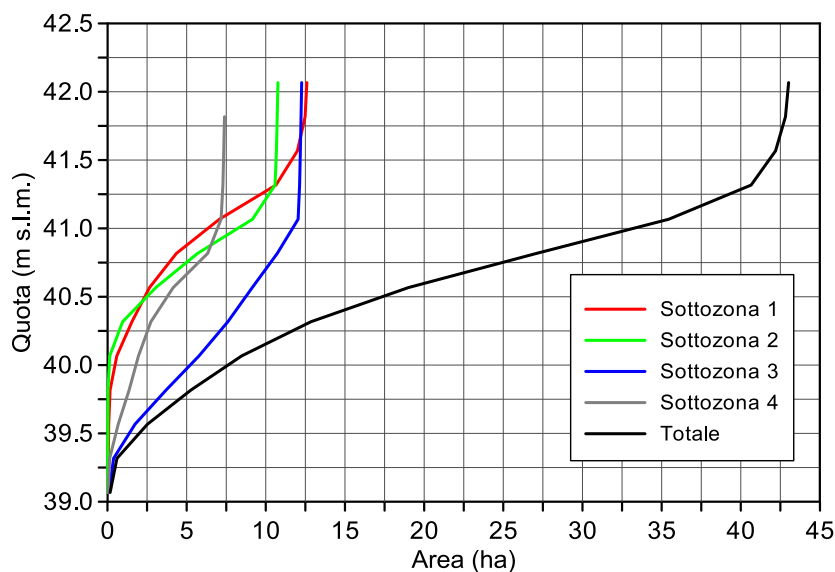


Figura 7-8 – Curva delle superfici, zona C

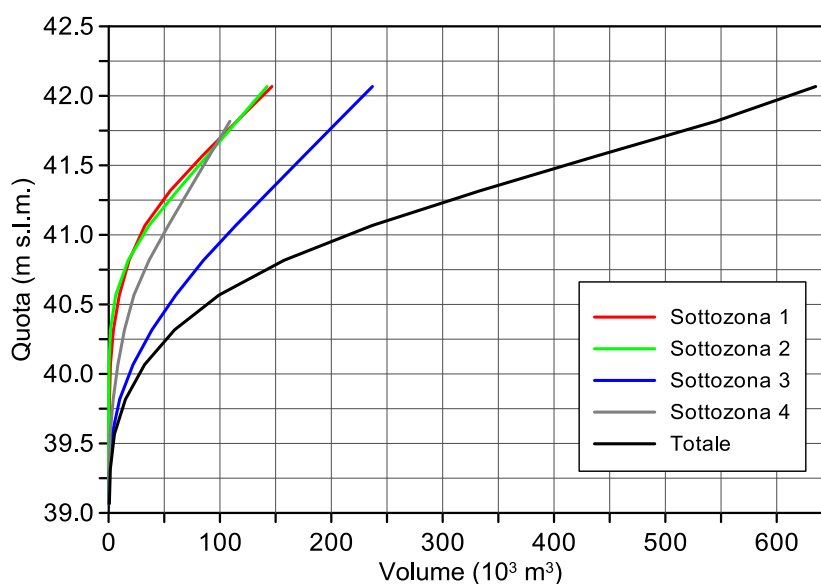


Figura 7-9 – Curva dei volumi, zona C

Zona D (Figura 7-10): è ubicata circa 2 km a monte di Colorno, nei pressi della località Vedole. Data la sua conformazione regolare e il suo sviluppo areale limitato rispetto alle altre zone, non è stata suddivisa in ulteriori sottozone.

Questa zona, al contrario delle altre, appare come una varice in destra idraulica. Le Figure 7-11 e 7-12 riportano rispettivamente le curve delle superfici e dei volumi al crescere della quota. La lunghezza del confine tra alveo inciso e golenia è molto più ridotta rispetto a quella delle zone precedenti e i volumi immagazzinabili sono discreti ma inferiori alle zone precedenti, come testimoniano i dati riportati in Tabella 7.4.

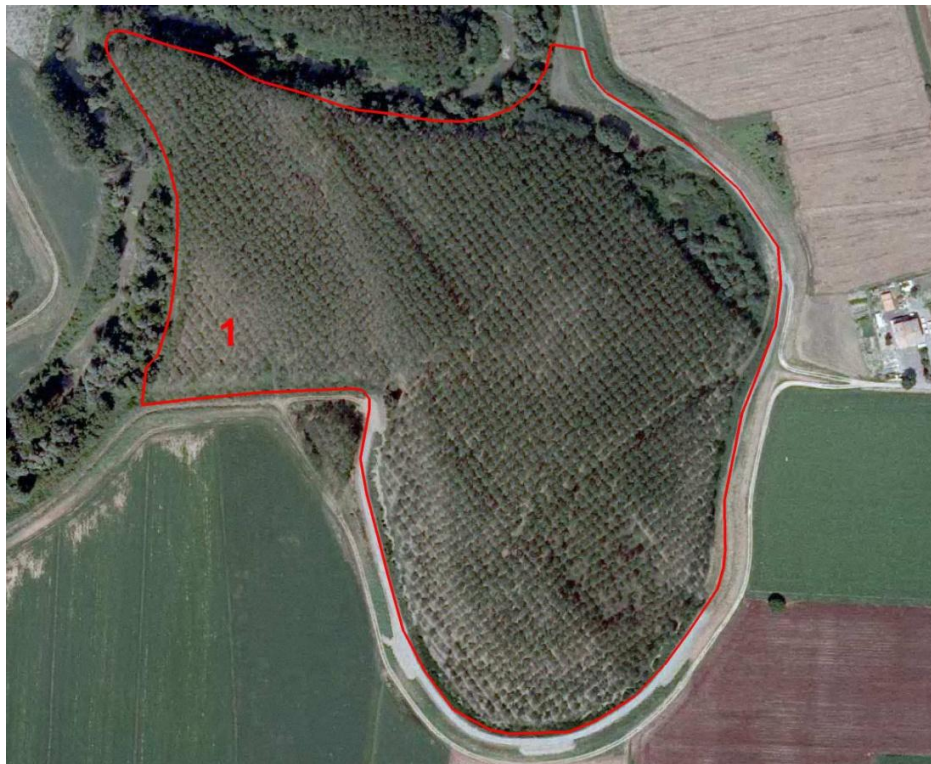


Figura 7-10 – Ubicazione della Zona D.

Tabella 7.4 – Dati riassuntivi della zona D

Zona D	
$L_g, L_{g,TOT}$ [m]	567
Z_{min} [m slm]	31.60
Z_{max} [m slm]	37.75
Z_{minAM} [m slm]	36.60
$Z_{max,eff}$ [m slm]	35.60
$S(Z_{max,eff})$ [ha]	11.12
$V(Z_{max,eff})$ [10^3 m^3]	191.9

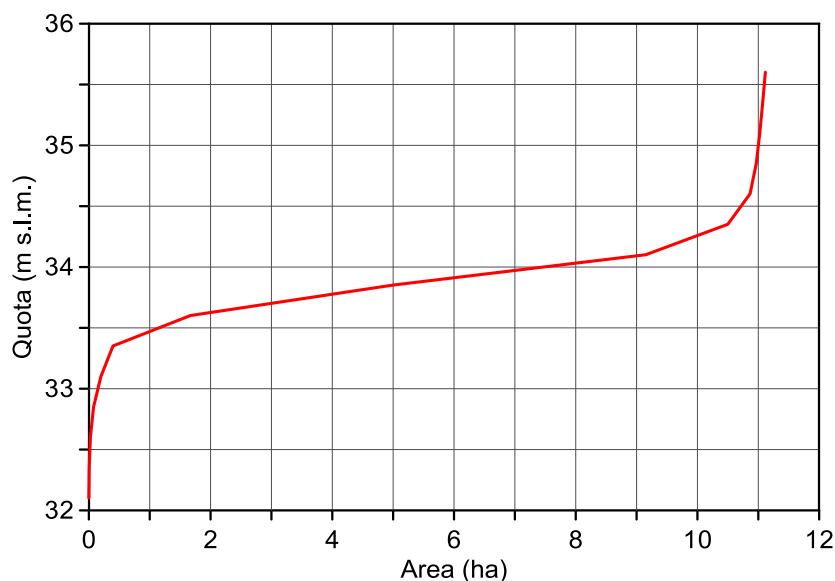


Figura 7-11 – Curva delle superfici, zona D

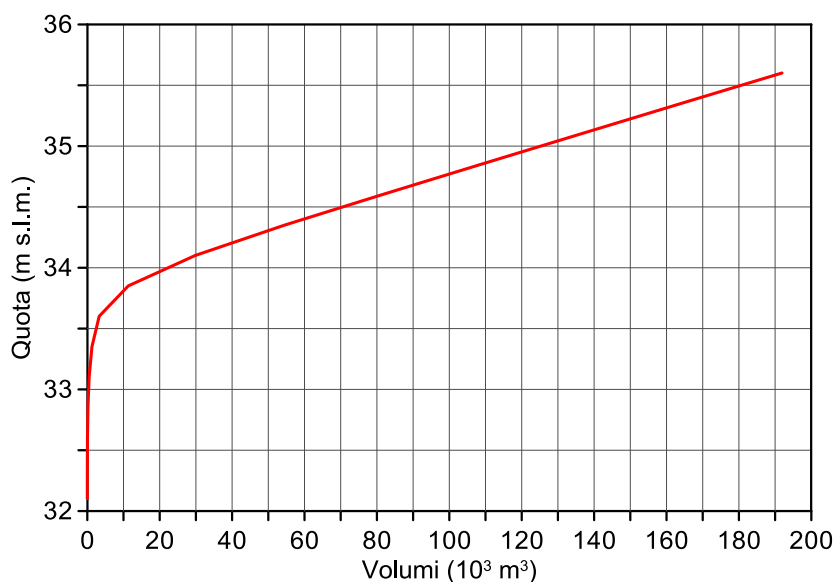


Figura 7-12 – Curva dei volumi, zona D

7.3. Valutazioni dei volumi necessari alla laminazione

Nella Figura 7-13 è riportata l'onda di piena sintetica di tempo di ritorno pari a 100 anni del torrente Parma a ponte Bottego in assenza di casse, ottenuta da analisi statistiche sulle onde di piena storiche nello studio effettuato dagli scriventi per conto del Servizio Provinciale Difesa del Suolo e Risorse Idriche della Regione Emilia-Romagna ([3],[4]).

Essendo la sezione di ponte Bottego a valle della confluenza tra il torrente Baganza e il torrente Parma, l'idrogramma sintetico considera il contributo alla piena di entrambi i corsi d'acqua. Si è

ipotizzato in una prima fase che le casse di espansione fossero in grado di “decapitare” tale onda a una portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$: la laminazione dovrà essere ottenuta mediante opportune manovre di parzializzazione delle paratoie (che qui non è importante precisare) del manufatto regolatore della cassa sul torrente Parma (che si trova a monte della confluenza con il torrente Baganza) e di quello *in fieri* sul torrente Baganza.

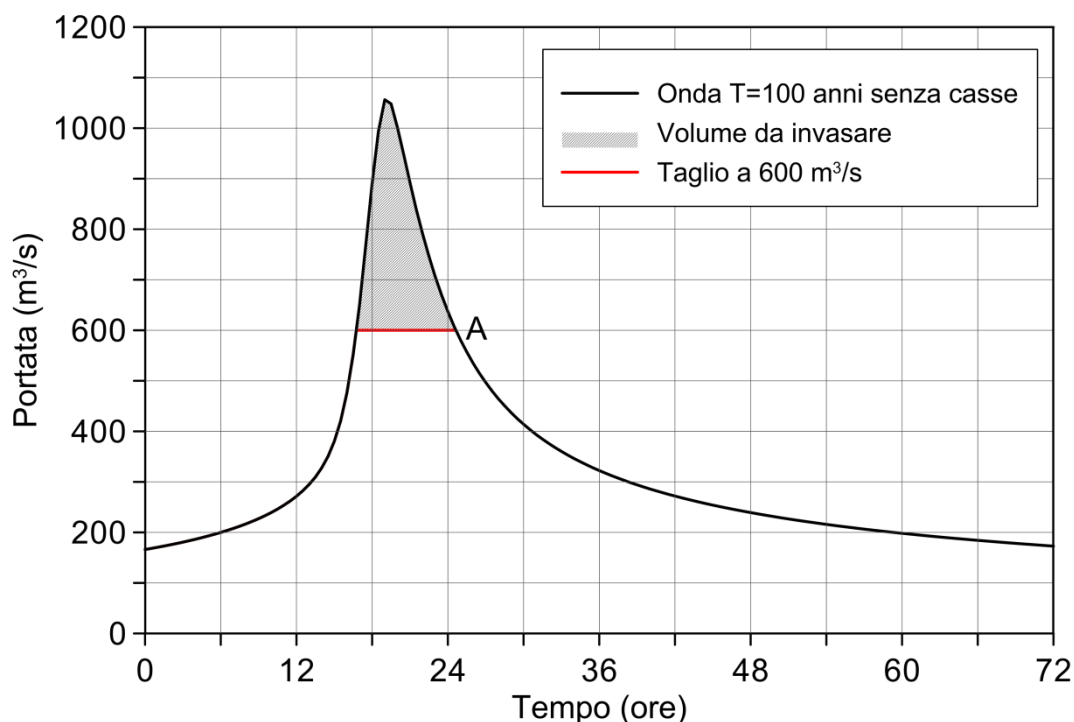


Figura 7-13- Idrogramma sintetico centennale a ponte Bottego e volume al di sopra della portata $Q=600 \text{ m}^3/\text{s}$

In prima analisi, il volume W_1 da invasare nelle casse è pari all'area della regione tratteggiata, compresa tra i due istanti in cui l'onda assume il valore di $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

In corrispondenza del punto A l'onda di piena in uscita interseca quella in ingresso. Da tale istante l'andamento della portata uscente è funzione delle ulteriori manovre sulle paratoie delle casse. Se si volessero svuotare rapidamente, sarebbe necessario procedere a manovre di apertura progressiva delle paratoie tali da mantenere, finché possibile, la portata uscente al valore di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (senza superarla). In alternativa le paratoie potrebbero non subire ulteriori manovre: a fronte di tempi più lunghi di svuotamento delle casse ciò garantirebbe un'immediata riduzione della portata uscente, a seguito dell'abbassamento del livello negli invasi.

Per valutare il possibile andamento della portata uscente dopo l'intersezione A si è ipotizzato che le paratoie non venissero più manovrate (né in apertura né in chiusura) e che lo svaso, perlomeno nei primi istanti, fosse assimilabile a quello di un serbatoio cilindrico, ottenendo

l'andamento riportato in Figura 7-14. Nella stessa figura è indicato l'ulteriore volume minimo che sarebbe necessario invasare lungo l'alveo se si volesse ridurre la portata al colmo da 600 a 550 m³/s.

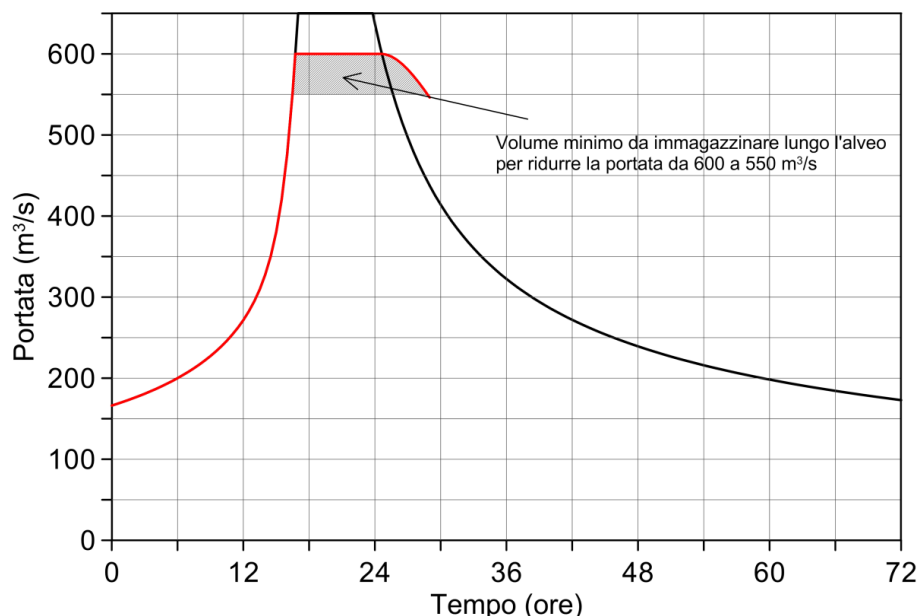


Figura 7-14- Onde in ingresso e in uscita dalla cassa per T=100 anni

Nella Tabella 7.5 sono riportati i volumi necessari per riduzioni di portata di 10÷50 m³/s.

Come si può notare tali volumi sono cospicui: la riduzione ulteriore di soli 10 m³/s richiede un volume aggiuntivo di 320·10³ m³, che diventano ben 1.90·10⁶ m³ qualora si volesse raggiungere una riduzione di 50 m³/s. Ciò è dovuto all'elevata permanenza della portata di 600 m³/s (circa 8 ore) causata dalla laminazione delle casse. Solo reperendo lungo l'alveo volumi almeno di tale entità si potrebbero ottenere le riduzioni precedentemente prospettate.

Tali volumi dovrebbero però essere utilizzati in maniera efficiente, e ciò richiede interventi strutturali, come la chiusura di alcune zone golenali, ammesso che esse non siano essenziali al convogliamento della portate di piena.

Tabella 7.5– Volumi necessari per ridurre la portata al valore specificato

Q [m ³ /s]	V [10 ⁶ m ³]
590	0.32
580	0.68
570	1.06
560	1.47
550	1.90

7.4. Considerazioni conclusive

Dai calcoli effettuati è evidente che per ottenere volumi d'invaso confrontabili con quelli utili alla riduzione della portata centenaria di almeno 50 m³/s, è necessario valutare la chiusura tutte e quattro le zone A÷D precedentemente identificate: nessuna, infatti, come sintetizzato in Tabella 7.6, ha da sola un volume prossimo o quanto meno confrontabile con quello richiesto.

Tabella 7.6- Volumi invasabili in ogni zona.

ZONA	Volume [10 ⁶ m ³]
A	0.70
B	0.50
C	0.63
D	0.19
A+B+C+D	2.02

8. *CONTRIBUTO AL MOTO DELLE GOLENE*

8.1. Introduzione

Nel capitolo precedente si sono individuate alcune golene che, dal punto di vista esclusivamente geometrico, sarebbero in grado di immagazzinare un volume dell'ordine di 2 milioni di metri cubi. Come riportato al paragrafo 7.3 tale volume, se ben gestito, sarebbe sufficiente ad abbattere la portata di un evento di piena centenario, già laminato dal sistema di casse Parma-Baganza, da 600 a 550 m³/s.

In questo capitolo si riportano i risultati di alcune simulazioni volte a verificare se il contributo al moto di ogni golenza sia trascurabile, ovvero se una loro chiusura non ostacoli apprezzabilmente lo smaltimento delle portate di piena.

L'analisi si è basata sui risultati di due simulazioni: 1) quella dell'evento di piena del Gennaio 2009, già utilizzata per la taratura, con la quale si sono messe in evidenza le velocità e le quote idriche raggiunte nelle golene di interesse; 2) una simulazione di moto permanente con portata in ingresso pari a 600 m³/s, con la quale si sono valutate le portate transitanti nell'alveo inciso e quelle transitanti in golenza su una stessa sezione.

8.2. Analisi dell'evento di piena del Gennaio 2009

La simulazione dell'evento di piena del Gennaio 2009, descritta nel dettaglio nel Capitolo 2, è stata utilizzata per verificare se e quanto le golene appartenenti alle quattro zone considerate contribuiscano al moto allo stato di fatto.

In prima analisi si è valutato l'effetto di laminazione lungo l'alveo calcolando la portata transitante attraverso le 12 sezioni (*nodestrings*) tracciate tra Parma e la confluenza in Po: in Figura 8-1 sono riportate le onde di piena calcolate in corrispondenza di tali sezioni. Si può notare che l'effetto di laminazione è rilevante nel tratto immediatamente a valle della città, dove le portate di picco si riducono da 575 m³/s a valori di poco inferiori a 500 m³/s. Questa diminuzione è proprio attribuibile alla presenza di ampie golene in questo tratto. Più a valle, dalla sezione n.7, corrispondente alla progressiva 28 km, l'effetto di laminazione diventa trascurabile, per l'assenza di golene di apprezzabili dimensioni. Nella sezione terminale la portata si assesta a circa 490 m³/s. Complessivamente, per l'evento analizzato, il coefficiente di laminazione risulta pari a circa il 15%.

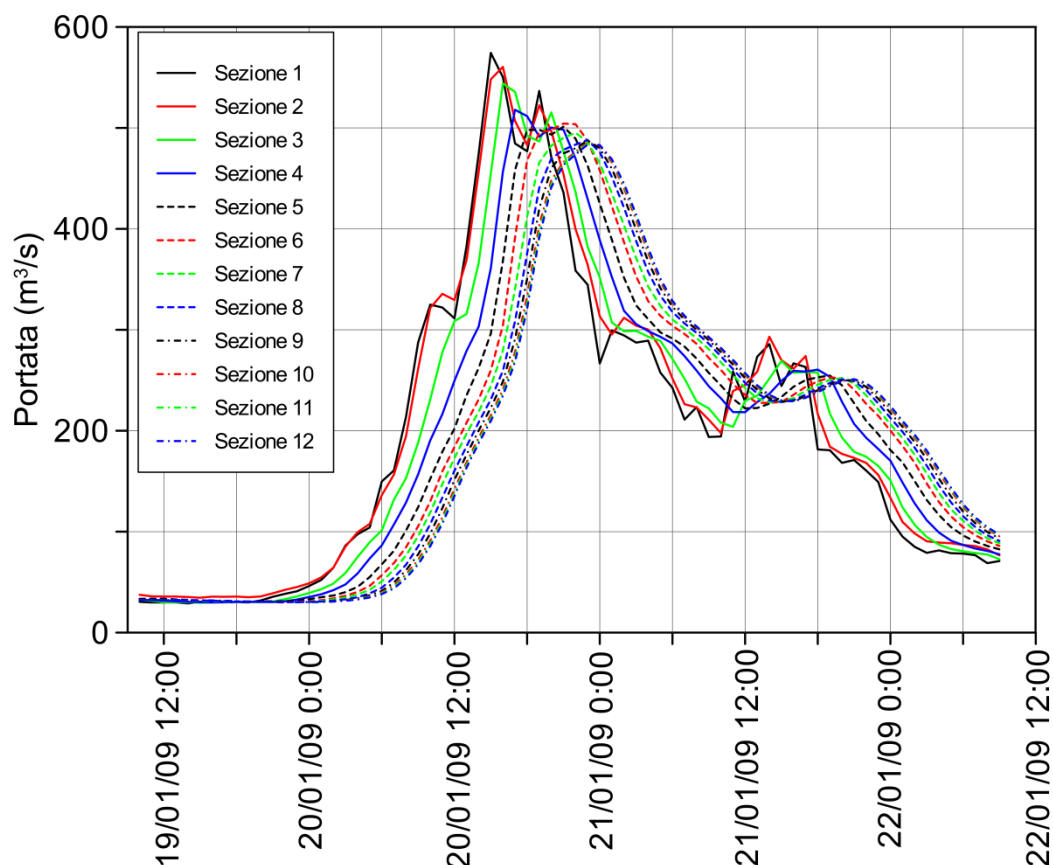


Figura 8-1- Effetto di laminazione lungo l'asta per l'evento del Gennaio 2009

Si sono poi valutate le profondità idriche e il campo di velocità in un istante prossimo al colmo di piena, variabile da zona a zona, nelle quattro zone golenali A-D precedentemente individuate. È opportuno fin da ora puntualizzare che le scale di colore utilizzate per descrivere i risultati variano da zona a zona: questa scelta è stata dettata dalla volontà di massimizzare il risalto e il contrasto cromatico in tutte le aree golenali.

8.2.1. Profondità idriche e velocità nella Zona A

Dalla Figura 8-2 si può osservare che in ampie regioni di golena si raggiungono profondità idriche nell'ordine di 1-1.5 m, come si evince dalle ampie zone con colore tendente al verde.

Le Figura 8-3 riporta la distribuzione delle velocità in termini di modulo ed in termini di campo vettoriale: si nota che in ampie porzioni di golena le velocità massime sono dell'ordine di 1 m/s. Dall'analisi del campo di velocità risulta evidente che le aree golenali contribuiscono apprezzabilmente al moto e che le correnti in golena “tagliano” i meandri dell'alveo di magra.

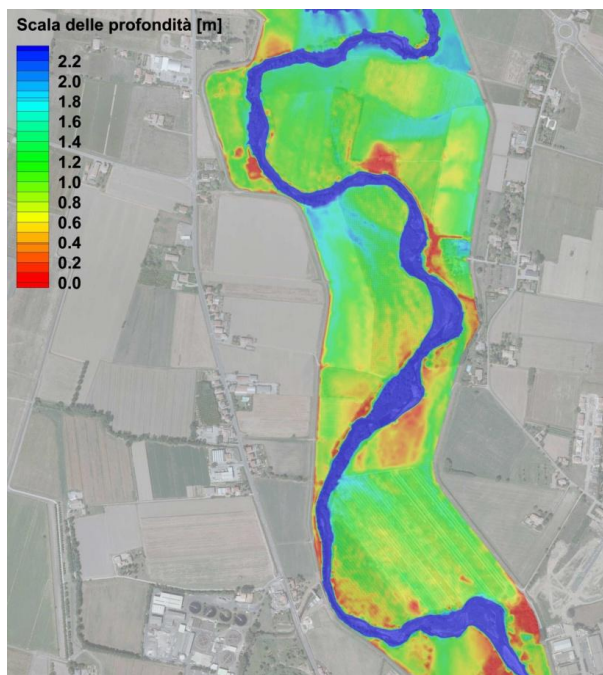


Figura 8-2 – Profondità idriche nella Zona A in corrispondenza del colmo di piena

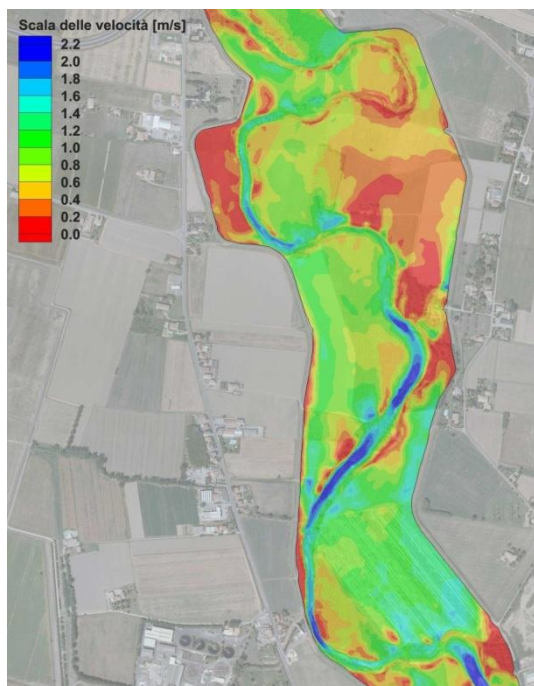


Figura 8-3- Modulo e campo di velocità nella Zona A in corrispondenza del colmo di piena

8.2.2. Profondità idriche e velocità nella Zona B

La Figura 8-4 mostra come nell'area golenale di interesse vi siano ampie superfici dove i tiranti sono nell'ordine del mezzo metro (colore rosso), ma anche superfici in cui i tiranti raggiungono valori prossimi a 1.5 m (dominanza di colore verde). Si osservi che con il colore blu scuro sono indicate le profondità idriche superiori a 2.5 m, senza ulteriore differenziazione: dalla figura è evidente che tali valori vengono raggiunti unicamente nell'alveo inciso e che questa scelta nella rampa dei colori ha permesso di rendere al meglio i contrasti cromatici nelle aree golenali.

L'analisi del modulo e dei vettori della velocità (Figura 8-5 e Figura 8-6) permette di osservare che anche in questa golenale si manifestano velocità non trascurabili di 1.0÷1.5 m/s. Dalla distribuzione dei vettori velocità si evince come la corrente invada l'area golenale, che contribuisce quindi decisamente al moto. Solo nella parte terminale destra di quest'ampia zona golenale le velocità sono modeste e si apprezza la formazione di vortici dovuti al brusco cambiamento di direzione dell'argine maestro.

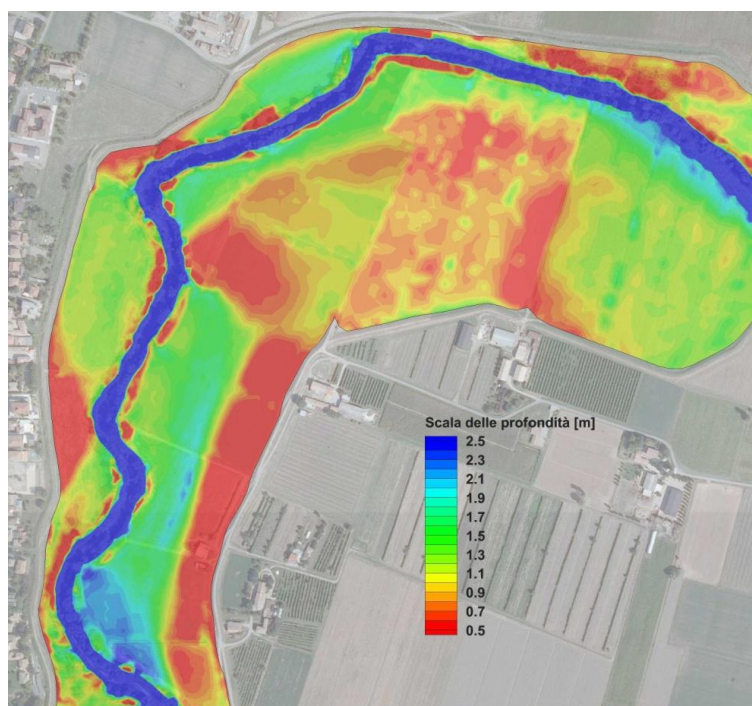


Figura 8-4 – Profondità idriche nella Zona B in corrispondenza del colmo di piena

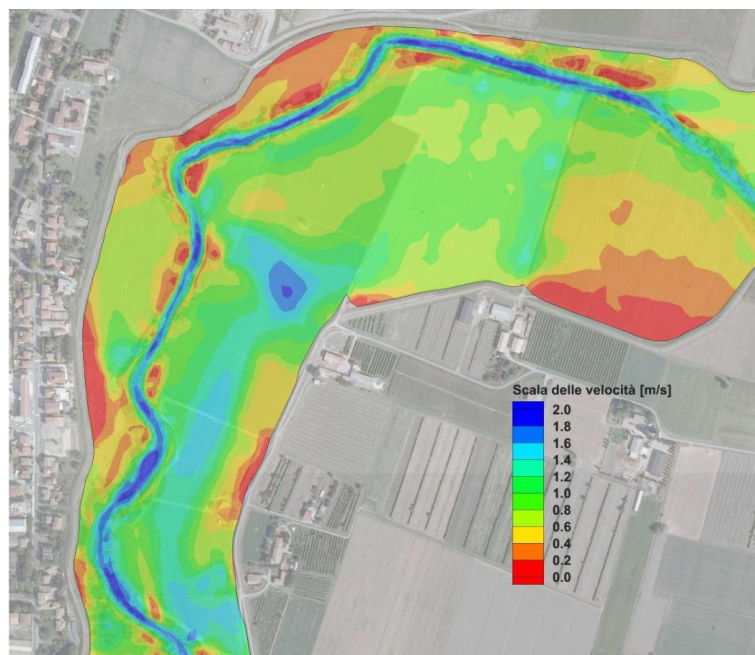


Figura 8-5- Modulo delle velocità nella Zona B in corrispondenza del colmo di piena

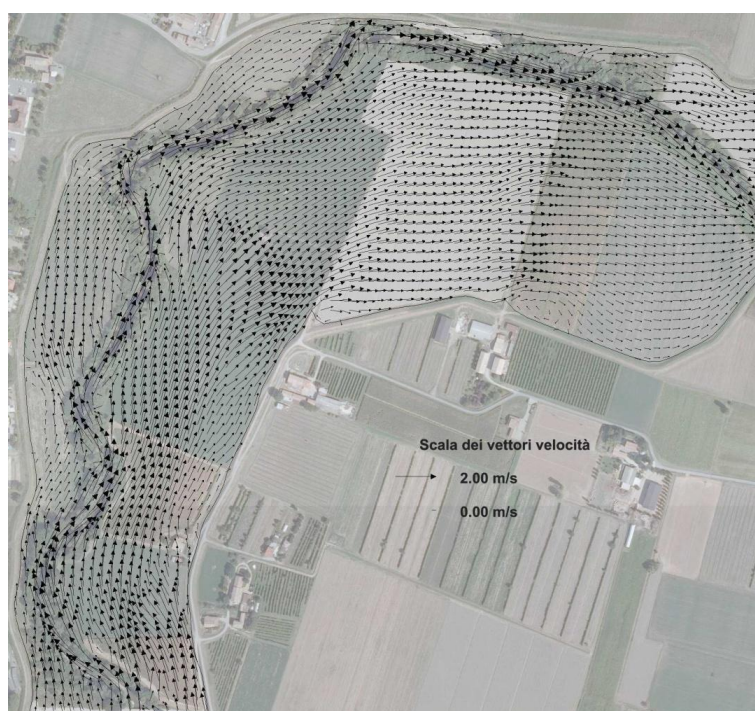


Figura 8-6– Campo di velocità nella Zona B in corrispondenza del colmo di piena

8.2.3. Profondità idriche e velocità nella Zona C

In Figura 8-7 si osserva che nelle zone golenali vi è un'alternanza di livelli nell'ordine del metro (zone di colore giallo-arancione) e livelli che raggiungono il valore di 2 m (zone verdi-azzurre). La distribuzione delle velocità, Figura 8-8, rende chiaro ancora una volta che l'onda di piena nell'istante di deflusso del colmo tende a "tagliare" le sinuosità dell'alveo di magra rendendo la golena notevolmente contribuyente al moto.

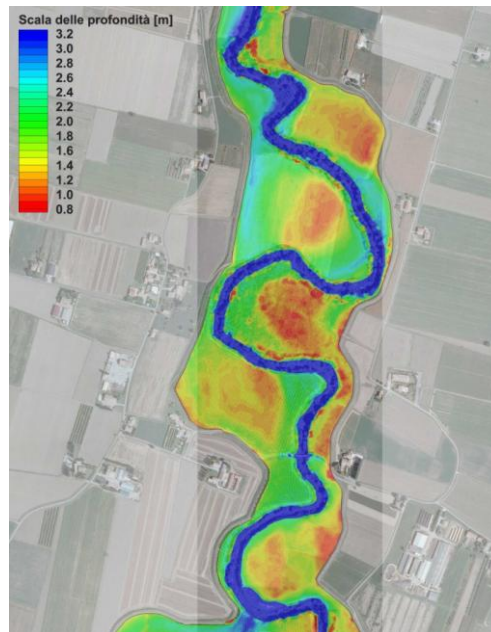


Figura 8-7 – Profondità idriche nella Zona C in corrispondenza del colmo di piena



Figura 8-8- Modulo e campo di velocità nella Zona C in corrispondenza del colmo di piena

8.2.4. Profondità idriche e velocità registrate nella Zona D

In questa zona golenale le profondità idriche (Figura 8-9), in corrispondenza del transito del colmo dell'onda di piena, variano da circa 1 m a valori prossimi ai 2 m.

Al contrario delle altre zone analizzate il modulo della velocità, visualizzato in Figura 8-8, è quasi ovunque prossimo allo zero (colore rosso): in particolare si nota un chiaro andamento decrescente delle velocità allontanandosi dall'alveo. La Figura 8-11 conferma la differenza di questa zona rispetto alle precedenti: il contributo al moto di quest'area golenale è piuttosto ridotto, come la conformazione e la forma dell'area stessa lasciava supporre.

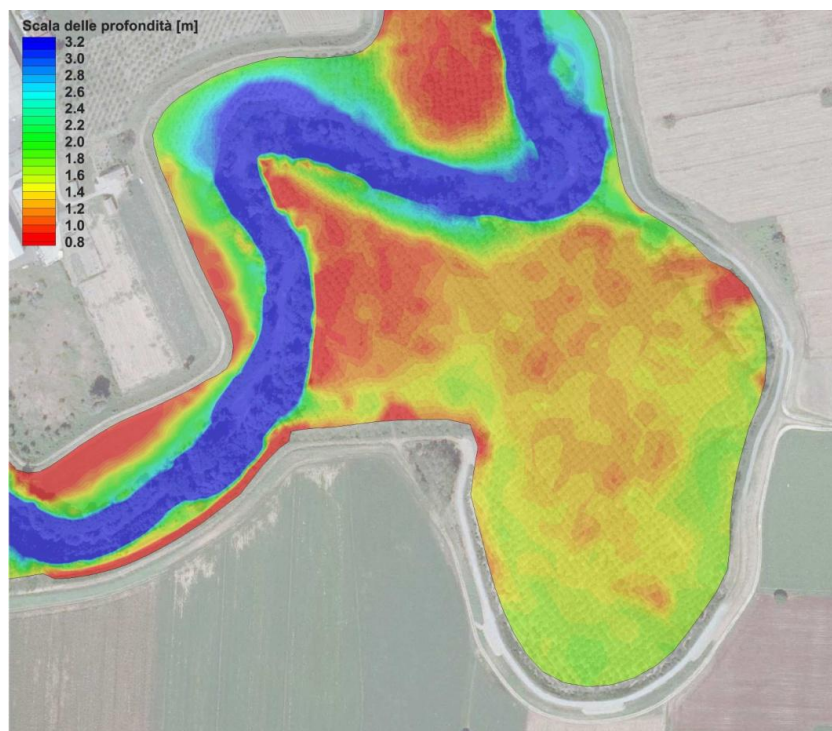


Figura 8-9 – Profondità idriche nella Zona D in corrispondenza del colmo di piena

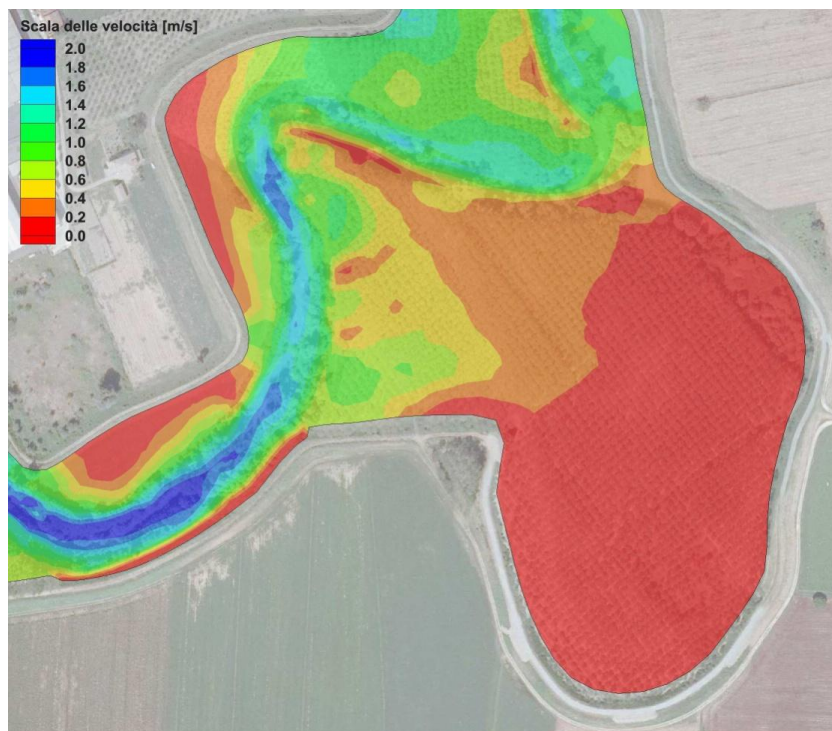


Figura 8-10- Modulo delle velocità nella Zona D in corrispondenza del colmo di piena



Figura 8-11 – Campo di velocità nella Zona D in corrispondenza del colmo di piena

8.3. Portate in golena e in alveo risultanti dalla simulazione di moto permanente con portata pari a 600 m³/s

Nella *mesh* utilizzata per la simulazione con portata costante di 600 m³/s sono state individuate alcune sezioni, definite *nodestrings*, in cui è stata calcolata la portata defluente sia nell'alveo che nelle zone golenali. Il numero di tali *nodestrings* per ciascuna zona (1÷3) è scaturito dalla necessità di valutare la portata transitante in alveo e nelle corrispondenti golene (o nella corrispondente golena). Nella Zona B e D, caratterizzate dall'avere lo sviluppo golenale unicamente in destra idraulica, è stata sufficiente una sola *nodestring*; nella Zona A si sono invece definite due *nodestrings*, mentre nella Zona C ne sono risultate necessarie tre.

È ovvio, ma si ritiene opportuno sottolinearlo, che il mancato andamento rettilineo e esattamente perpendicolare all'alveo di ogni *nodestring* è dovuto alla forma irregolare della *mesh* (formata da triangoli e rettangoli) tra i cui nodi le sezioni sono tracciate.

In Figura 8-12 sono indicate le due *nodestrings* (A e B) all'interno della Zona A. Si noti che la “*nodestring A*” è costituita da due parti, una in alveo e una in destra idraulica. La “*nodestring B*” è invece formata da tre differenti tratti, vista la sussistenza di una rilevante golena anche in sinistra idraulica.

In Tabella 8.1 sono indicate le portate calcolate nei vari tratti: per quanto riguarda la *nodestring A* è evidente che la portata transitante in golena è più che doppia rispetto a quella transitante in alveo. Un risultato analogo, anche se caratterizzato da un minore divario, si ha per la *nodestring B*, in particolare tra l'alveo e la golena in sinistra. Si noti inoltre il valore molto scarso registrato nella golena in destra (61 m³/s), nonostante la sua estensione sembri confrontabile con le altre: questo comportamento è dovuto alla presenza di un argine golenale immediatamente a monte della sezione in destra idraulica, a difesa di alcuni insediamenti abitativi. Tale argine, pur sormontato, funge da “barriera” per il transito della portate incanalandole maggiormente verso l'alveo.

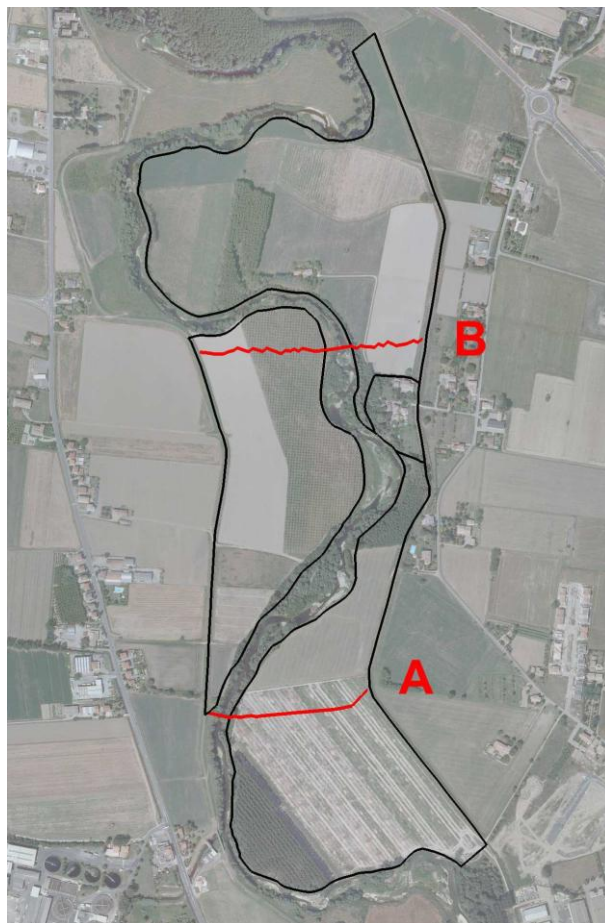


Figura 8-12 – Visualizzazione delle due *nodestrings* tracciate all'interno della Zona A

Tabella 8.1 – Confronto tra le portate transitanti in alveo e in golena nella Zona A

	<i>nodestring A</i>		<i>nodestring B</i>		
	Alveo	Golena dx	Golena sn	Alveo	Golena dx
Portata [m ³ /s]	173	427	331	208	61
Percentuale (%)	28.8	71.2	55.1	34.7	10.2

Nella Zona B, posta a valle del ponte dell'autostrada A1 nei pressi dell'abitato di Baganzola, è stata tracciata una sola sezione (*nodestring A*) grazie alla forma piuttosto regolare dell'area golenale e al suo svilupparsi unicamente in destra idraulica.

La Tabella 8.2 mostra le portate calcolate nei tratti che compongono questa sezione: si noti la totale trascurabilità della golena in sinistra, praticamente inesistente, e la superiorità della portata transitante in golena destra (334 m³/s) rispetto a quella smaltita dall'alveo (260 m³/s).



Figura 8-13 – Visualizzazione della *nodestring* tracciata all'interno della Zona B

Tabella 8.2 – Confronto tra le portate transitanti in alveo e in golena nella Zona B

	<i>nodestring A</i>		
	Golena sx	Alveo	Golena dx
Portata [m^3/s]	6	260	334
Percentuale (%)	10.0	43.3	55.7

La Figura 8-14 mostra le sezioni tracciate nella Zona C, che si trova nei pressi della località di Castelnuovo, circa 2 km a Nord Est dell'abitato di Baganzola. Visto l'andamento sinuoso dell'alveo si è reso necessario tracciare tre *nodestrings*, una per ogni sottozona in cui tale golena era stata suddivisa. Vista inoltre la sussistenza di rilevanti golene in destra e in sinistra idraulica, ognuna di queste tre *nodestrings* è stata divisa in tre tratti (Figura 8-14).

Dalla Tabella 8.3 risulta che nella sezione A la portata transitante in alveo è pari circa al 48% del totale; il resto è convogliato dalle golene in sinistra (41% della portata totale) e in destra (11% della portata totale). Nella sezione B la portata transitante in alveo si riduce al 37% del totale, mentre nella *nodestring C* diminuisce ulteriormente costituendo solo il 24% del totale.

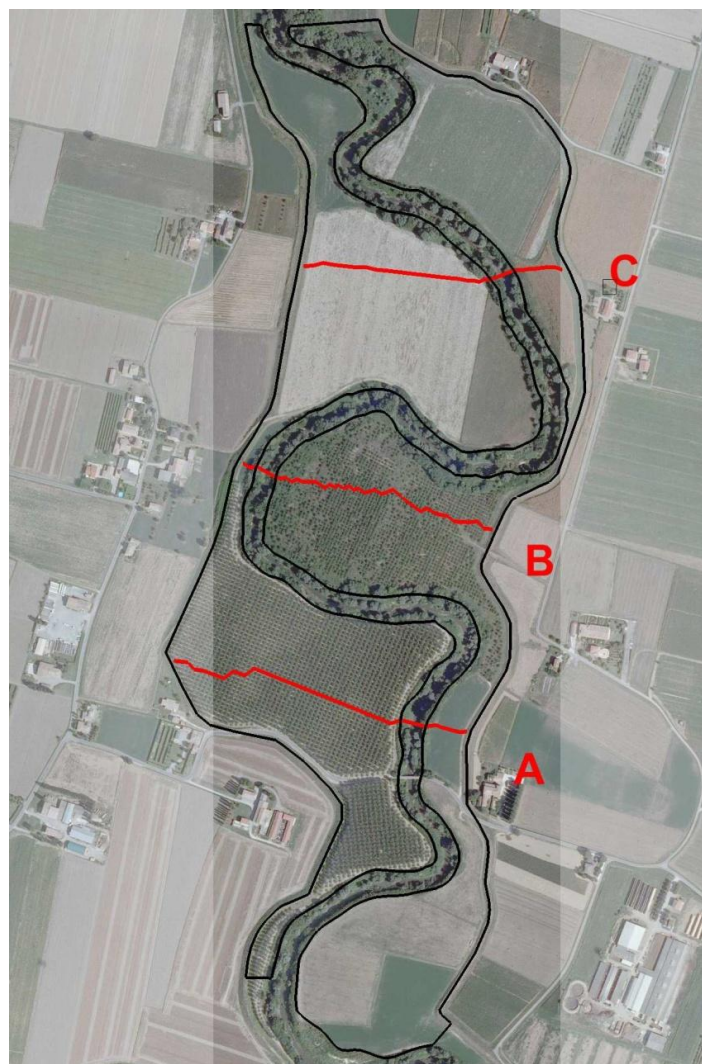


Figura 8-14 – Visualizzazione delle tre *nodestrings* tracciate all'interno della Zona C

Tabella 8.3 – Confronto tra le portate transitanti in alveo e in golena nella Zona C

	<i>nodestring A</i>			<i>nodestring B</i>			<i>nodestring C</i>		
	Golena sn	Alveo	Golena dx	Golena sn	Alveo	Golena dx	Golena sn	Alveo	Golena dx
Portata [m^3/s]	244	287	69	36	222	342	354	145	101
Percentuale (%)	40.7	47.8	11.5	6.0	37.0	57.0	59.0	24.2	16.8

Ciò che accomuna le tre sezioni è ancora una volta l'evidenza che la portata smaltita dall'alveo di magra è meno della metà di quella transitante nelle golene, che paiono dunque decisamente contribuenti al moto.

La zona D è la più a Nord delle quattro considerate e si trova circa 2 Km a monte di Colorno, nei pressi della località Vedole. Data la limitatezza areale di questa zona in confronto alle altre,

e visto il suo svilupparsi unicamente in destra rispetto all'alveo di magra (Figura 8-15), è stato sufficiente il tracciamento di una singola sezione (*nodestring A*). In questo caso, sulla base del campo di moto riportato in Figura 8-11, la golena destra è stata ulteriormente suddivisa in due parti, secondo la linea tratteggiata riportata in Figura 8-15. Come mostrato in Tabella 8.4, l'entità delle portate transitanti nell'ultima parte della golena destra è, in questo caso, modesto. Questo conferma quanto dedotto dalla Figura 8-11, dove l'impressione era di una golena meno contribuente al moto rispetto alle altre analizzate. Tale porzione di golena potrebbe essere pertanto esclusa dall'alveo, mediante un argine golenale, senza incidere apprezzabilmente sui livelli di piena. Purtroppo, però, il volume immagazzinabile in questa porzione di golena è di circa $100 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, quindi del tutto insufficiente a ridurre la portata al colmo di un evento già laminato dalle casse in maniera apprezzabile.

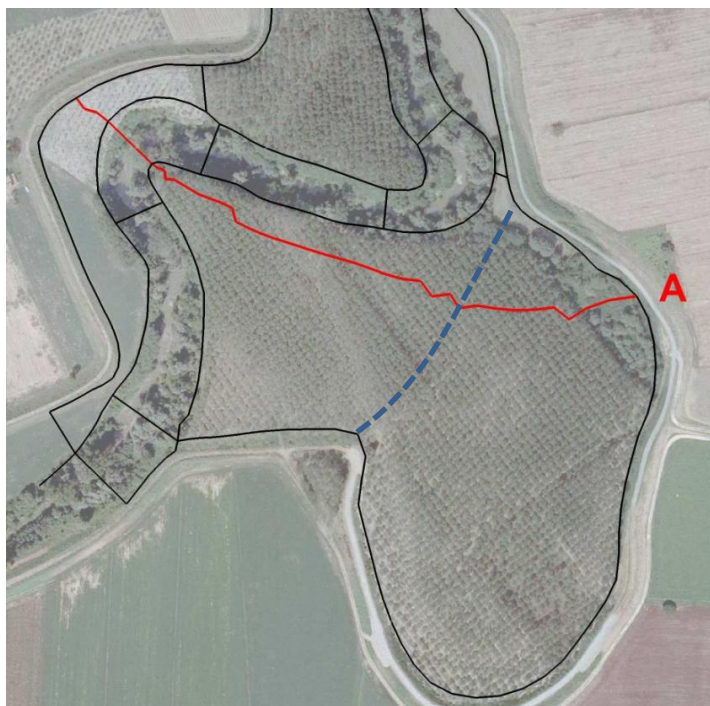


Figura 8-15 – Visualizzazione della nodestring tracciata all'interno della Zona D

Tabella 8.4 – Confronto tra le portate transitanti in alveo e in golena nella Zona D

	<i>nodestring A</i>			
	Golena sx	Alveo	Golena dx1	Golena dx2
Portata [m^3/s]	17	258	281	44
Percentuale (%)	2.8	43.0	46.9	7.3

8.4. Considerazioni conclusive

Sia i risultati relativi alle profondità idriche, sia quelli relativi al campo di velocità mostrano in modo inequivocabile come le prime tre zone golenali A÷C contribuiscano al moto in modo decisivo: tale risultato è confermato anche dal confronto tra le portate transitanti in gola e in alveo attraverso una stessa sezione. L'unica zona golenale scarsamente contribuente al moto è la D, ma essa garantisce un volume di invaso poco superiore a $100 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, del tutto insufficiente. Non è dunque pensabile smaltire portate di piena nell'ordine dei $600 \text{ m}^3/\text{s}$ “chiudendo” le golene A÷C e sfruttando per il convogliamento delle portate di piena unicamente la sezione utile dell'alveo di magra. Un intervento di questo tipo andrebbe necessariamente affiancato ad un allargamento dello stesso alveo di magra, che richiederebbe però costi molto ingenti: si riportano in Tabella 8.5 le lunghezze dei tratti di argini golenali che si dovrebbero realizzare e che coincidono con la lunghezza dei tratti di alveo ipoteticamente da allargare.

Tabella 8.5- Lunghezza dei tratti di alveo che andrebbero ipoteticamente allargati

Zona	L [Km]
A	4.64
B	1.91
C	5.55
TOTALE	11.10

Questi valori vanno relazionati all'entità del movimento terra che risulterebbe necessario per allargare l'alveo. Giusto per avere un'idea del volume di svaso con cui si avrebbe a che fare si considerino i seguenti calcoli molto approssimativi: si associ a una lunghezza di 11 km una larghezza di 40 m (ipotizzando di voler circa raddoppiare l'alveo di magra esistente) e un'altezza di circa 7 m; trascurando la scarpa dell'attuale sponda dell'alveo di magra, il volume di svaso corrispondente sarebbe pari a circa 3 milioni di metri cubi.

Sottolineando di nuovo la natura approssimata di questi calcoli, è possibile comunque apprezzare l'infattibilità dell'intervento.

9. Conclusioni

Nella prima parte del presente studio (Cap.2-5) si è affrontata la valutazione della portata compatibile del torrente Parma a Colorno e si è proceduto ad individuare i possibili interventi risolutivi delle criticità attualmente presenti nella zona.

A questo scopo è stato implementato un modello bidimensionale del torrente Parma che risolve le equazioni alle acque basse mediante un codice ai volumi finiti su griglia non strutturata. L'area interessata dal modello va dal ponte della ferrovia MI-BO, a valle dell'attraversamento cittadino, alla confluenza con il fiume Po.

La taratura, effettuata sulla base della picchettatura dell'evento di piena del gennaio 2009 fornita dall'AIPo, ha permesso di ottenere un modello in grado di descrivere con buona approssimazione i fenomeni studiati.

A causa dell'influenza del rigurgito causato dal Po sui livelli idrici a Colorno, non è stato possibile individuare un unico valore di portata compatibile con la sezione del ponte di piazza Garibaldi a Colorno, che è la più critica della zona oggetto di studio. Si sono quindi effettuate numerose simulazioni in condizioni di moto permanente al fine di individuare le relazioni tra le portate transanti nel torrente Parma, le quote idriche del fiume Po alla confluenza e i franchi restituiti in prossimità della sezione del ponte di piazza Garibaldi a Colorno (Figura 9-1).

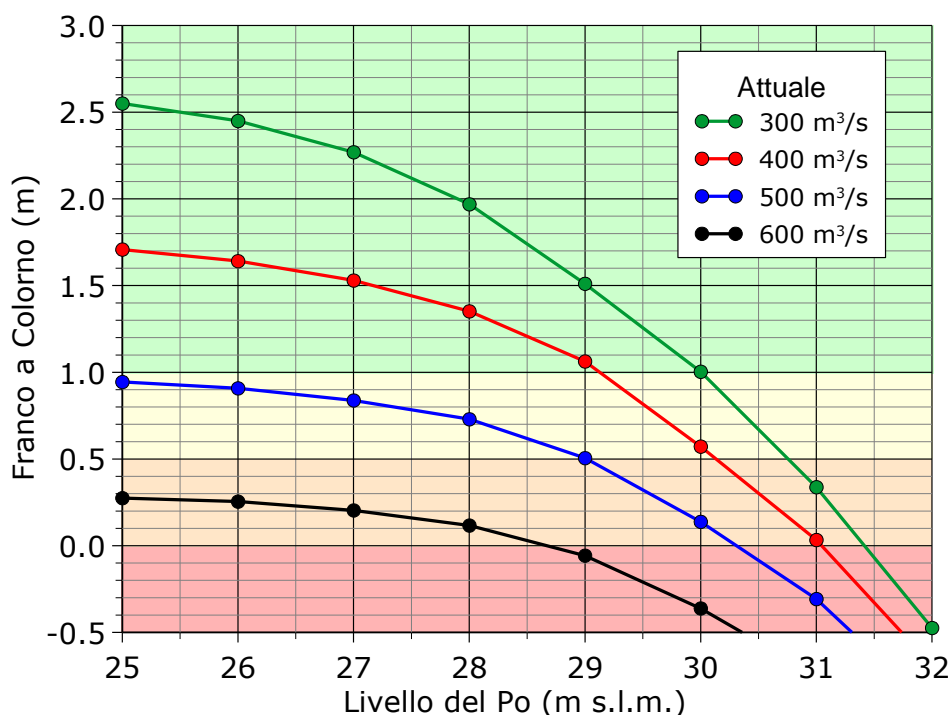


Figura 9-1: Portate compatibili a Colorno

Da questa analisi è emersa chiaramente la criticità dell'attraversamento di Colorno in quanto anche portate non elevate transitano in corrispondenza del ponte di piazza Garibaldi con franchi ridotti.

Per aumentare il livello di sicurezza a Colorno è stata proposta una soluzione di intervento nella zona circostante l'attraversamento della ferrovia Parma – Brescia. In particolare l'ipotesi progettuale scelta prevede un aumento di circa 18 m (da 32 a 50) della luce del ponte della ferrovia Parma – Brescia e una riprofilatura dell'alveo al fine di aumentare la sezione disponibile al deflusso delle piene.

Sono state poi eseguite, con l'assetto di progetto, le medesime simulazioni effettuate con l'attuale assetto del fiume per valutare l'efficacia dell'intervento. Dai risultati è emersa l'adeguatezza della soluzione proposta in quanto essa permette, a parità di portata, una significativa diminuzione della quota idrica a Colorno e un conseguente aumento dei franchi registrati al passaggio delle onde di piena nel centro abitato. Alcuni dei risultati ottenuti sono sintetizzati nella Figura 9-2, che riporta il confronto fra i franchi nella situazione attuale e quelli relativi all'ipotesi di intervento proposta. Si nota che, a parità di portata e di livello del fiume Po alla confluenza, i franchi aumentano grazie alla sistemazione proposta.

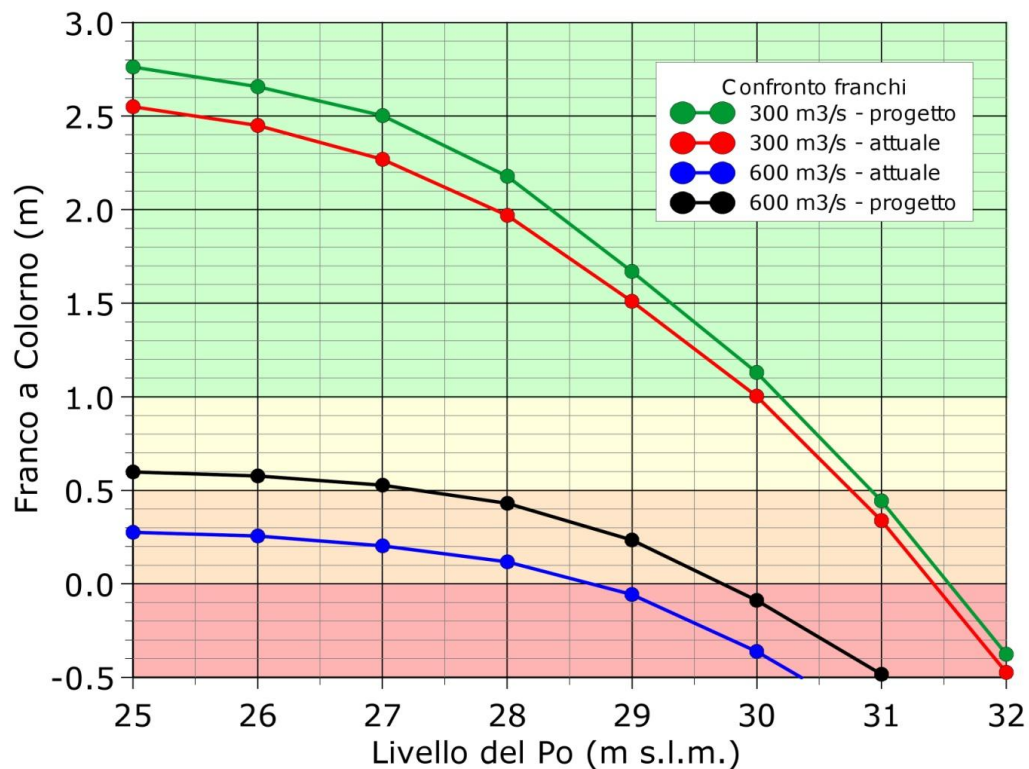


Figura 9-2: Confronto fra i franchi ottenuti nello stato di fatto e a seguito dell'intervento proposto

In particolare per portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e livello di Po di 25 m s.l.m. il franco aumenta di 32 cm, mentre l'esondazione avviene per livelli di Po pari a 29.7 m s.l.m., valore maggiore di 110 centimetri rispetto a quello relativo allo stato attuale dell'alveo fluviale.

Si può quindi concludere che l'intervento proposto risulta efficace, assieme ad altri interventi di riduzione delle portate che verranno realizzati a monte, nel risolvere le criticità che ad oggi si riscontrano nell'attraversamento di Colorno.

Nella seconda parte dello studio (Cap.6-8) si è valutata la portata compatibile tra Parma e Colorno. La trattazione si è poi particolarmente concentrata sulla possibilità di bacinnizzare alcune ampie golene presenti a valle di Parma in modo da laminare l'onda di piena uscente dal sistema di casse Parma-Baganza e conseguentemente diminuire il volume di progetto della cassa d'espansione sul torrente Baganza.

I dati e le procedure utilizzate hanno però dimostrato la sostanziale infattibilità dell'intervento semplicemente chiudendo le golene, a causa del contributo fondamentale che esse forniscono nello smaltimento delle portate di piena.

Oltre al prospettato intervento di ricalibratura d'alveo a Colorno, l'unica possibilità per proteggere adeguatamente Colorno rimane quindi la realizzazione di una cassa d'espansione sul torrente Baganza a monte della confluenza con il torrente Parma: le capacità di laminazione di questa nuova cassa e di quella già in esercizio sul torrente Parma dovrebbero garantire che, in occasione di un evento di tempo di ritorno secolare, a Colorno la portata non superi i $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Ciò aumenterebbe in maniera rilevante la sicurezza idraulica a Colorno, anche se essa rimane in parte dipendente dai contemporanei livelli di Po.

10. Bibliografia

1. V. Braglia (2003): “*Studio del sistema Parma-Baganza finalizzato alla difesa dalle piene del territorio parmense – Parte I – Analisi Idrologica*”, tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Parma.
2. R. Vacondio (2003): “*Studio del sistema Parma-Baganza finalizzato alla difesa dalle piene del territorio parmense – Parte II – Analisi Idraulica*”, tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Parma.
3. Regione Emilia-Romagna – DICATeA (2003) “Studio della messa in sicurezza del territorio parmense, con particolare riferimento alla realizzazione della cassa di espansione del torrente Baganza – Relazione Idrologica”.
4. Regione Emilia-Romagna – DICATeA (2003) “Studio della messa in sicurezza del territorio parmense, con particolare riferimento alla realizzazione della cassa di espansione del torrente Baganza – Relazione Idraulica”.
5. AIPo – DICATeA (2008): “*Cassa di espansione sul torrente Parma: Quinta fase di invasi sperimentali (17 marzo-31 luglio 2008)*”
6. AIPo – DICATeA (2008): “*Prove su modello fisico del manufatto regolatore della cassa di espansione sul torrente Parma*”
7. R. Ferri (2011): “*Valutazione della portata compatibile del torrente Parma a Colorno: situazione attuale e possibili interventi di ricalibratura dell'alveo*”, tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Parma.
8. L. Caravita (2011): “*Modellazione matematica bidimensionale del torrente Parma tra la città e Colorno*”, tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Parma.
9. System manuals of Basement 2.1, User manual, 2010
10. E.F. Toro (2000): “*Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows*”, Wiley and Sons Ltd, 2001
11. Regione Emilia-Romagna - Studio Maione - Ingegneri associati (2004) “*Progetto preliminare della cassa di laminazione sul torrente Baganza nei comuni di Collecchio, Parma e Sala Baganza*”.
12. L. Da Deppo, C. Datei e P. Salandin (2004) “*Sistemazione dei corsi d'acqua*”, ed. Cortina, Padova.
13. V. Vetere (2011): “*Allestimento di un modello idraulico monodimensionale del torrente Parma a partire da un recente rilievo Lidar*”, tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Parma.

APPENDICE A

Dati utilizzati per la taratura e risultati numerici delle simulazioni

Tabella A.1- Coordinate dei picchetti con i relativi valori di quota del pelo libero rilevati e restituiti dalle varie simulazioni effettuate per l'argine destro

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
1	604819.70	4962359.15	53.54	53.76	53.58	53.54
2	604564.53	4963441.39	50.80	50.92	50.68	50.68
3	604546.49	4963491.14	50.72	50.89	50.65	50.66
4	604499.26	4963627.36	50.72	50.86	50.63	50.64
5	604464.17	4963726.24	50.54	50.62	50.35	50.30
6	604428.73	4963864.25	49.82	50.19	49.93	49.88
7	604465.34	4963999.81	49.73	49.98	49.80	49.80
8	604465.93	4964123.64	49.29	49.77	49.53	49.44
9	604425.56	4964268.47	49.06	49.56	49.37	49.32
10	604386.83	4964410.08	48.88	49.05	48.90	48.83
11	604355.96	4964518.52	48.78	48.85	48.76	48.67
12	604297.94	4964646.59	48.34	48.70	48.43	48.33
13	604217.62	4964766.99	48.07	48.50	48.23	48.08
14	604130.16	4964878.49	47.87	48.24	47.97	47.85
15	604051.29	4964995.83	47.47	47.92	47.71	47.61
16	604077.03	4965136.34	47.21	47.53	47.38	47.30
17	604114.17	4965269.03	47.10	47.21	47.04	47.01
18	604169.45	4965398.56	46.97	47.06	46.89	46.85
19	604168.97	4965474.73	46.97	47.06	46.89	46.85
20	604157.46	4965655.35	45.51	46.39	45.99	45.87
21	604182.45	4965804.65	45.52	46.35	46.03	45.92
22	604204.20	4965940.62	45.48	46.27	45.98	45.89
23	604132.50	4966205.17	45.40	46.17	45.92	45.85
24	604084.08	4966333.78	45.43	46.10	45.87	45.80
25	604001.18	4966424.09	45.36	46.09	45.84	45.79
26	603859.36	4966412.52	45.28	45.88	45.60	45.54
27	603769.62	4966511.69	45.08	45.68	45.41	45.33
28	603756.13	4966647.82	44.99	45.59	45.35	45.25
29	603742.79	4966752.69	45.03	45.54	45.30	45.21
30	603730.18	4966876.57	44.75	45.38	45.15	45.04
31	603703.40	4967014.72	44.65	45.11	44.88	44.81
32	603683.39	4967152.66	44.45	44.90	44.63	44.51
33	603729.42	4967276.84	44.27	44.71	44.45	44.35
34	603785.05	4967408.00	44.06	44.55	44.28	44.18
35	603867.07	4967516.47	43.32	44.14	43.85	43.71
36	604007.27	4967544.14	43.14	44.07	43.81	43.70
37	604147.17	4967539.16	43.12	43.83	43.54	43.45
38	604280.48	4967485.38	42.97	43.81	43.54	43.45
39	604408.38	4967484.55	43.09	43.80	43.53	43.45

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
40	604494.12	4967577.37	43.00	43.77	43.50	43.42
41	604631.75	4967586.52	43.05	43.73	43.45	43.38
42	604765.57	4967597.57	42.94	43.62	43.34	43.27
43	604893.42	4967566.77	42.87	43.61	43.33	43.27
44	605007.30	4967610.52	42.89	43.60	43.33	43.26
45	605037.77	4967691.06	42.85	43.60	43.33	43.27
46	605078.28	4967789.29	42.61	43.48	43.19	43.12
47	605190.69	4967877.28	42.50	43.33	43.05	43.00
48	605318.35	4967856.66	42.50	43.28	43.01	42.95
49	605413.50	4967938.56	42.46	43.25	42.97	42.91
50	605426.66	4968066.12	42.53	43.23	42.95	42.89
51	605343.91	4968170.46	42.48	43.20	42.92	42.86
52	605351.09	4968283.58	42.32	43.02	42.71	42.65
53	605376.01	4968417.86	42.03	42.96	42.67	42.63
54	605345.59	4968531.70	42.15	42.82	42.52	42.45
55	605371.68	4968662.23	42.04	42.75	42.47	42.41
56	605411.71	4968778.45	42.06	42.74	42.45	42.39
57	605380.30	4968906.64	41.63	42.57	42.28	42.18
58	605469.54	4969004.61	41.69	42.49	42.21	42.10
59	605520.62	4969125.10	41.70	42.44	42.15	42.05
60	605518.32	4969251.30	41.70	42.42	42.14	42.04
61	605480.90	4969383.88	41.71	42.38	42.10	42.00
62	605490.93	4969511.17	41.65	42.36	42.09	42.00
63	605392.34	4969587.36	41.64	42.34	42.07	41.98
64	605270.24	4969637.32	41.63	42.28	42.01	41.92
65	605213.81	4969752.43	41.48	42.07	41.81	41.72
66	605253.96	4969882.33	41.39	41.98	41.72	41.64
67	605270.15	4970012.55	41.30	41.88	41.63	41.55
68	605286.44	4970149.27	41.11	41.69	41.42	41.34
69	605317.42	4970280.78	41.10	41.64	41.40	41.34
70	605272.29	4970408.61	41.02	41.58	41.33	41.27
71	605166.10	4970481.77	41.00	41.44	41.18	41.12
72	605112.04	4970600.41	40.78	41.31	41.06	41.01
73	605188.41	4970835.58	40.45	40.97	40.76	40.68
74	605212.11	4970968.86	40.33	40.92	40.69	40.62
75	605158.83	4971097.23	40.09	40.63	40.34	40.22
76	605264.30	4971141.92	39.93	40.49	40.26	40.18
77	605396.91	4971185.47	39.86	40.47	40.23	40.12
78	605368.40	4971335.99	39.85	40.42	40.19	40.10
79	605287.22	4971451.77	39.77	40.39	40.16	40.07
80	605159.24	4971528.34	39.74	40.33	40.10	40.00
81	605132.33	4971659.74	39.60	40.17	39.95	39.86

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
82	605160.34	4971796.29	39.52	40.08	39.86	39.78
83	605123.27	4971917.44	39.45	40.03	39.80	39.73
84	605047.39	4971983.47	38.89	39.47	39.19	39.10
85	604938.94	4972087.39	39.03	39.47	39.19	39.11
86	604899.00	4972230.28	39.00	39.47	39.19	39.11
87	604743.16	4972272.73	38.91	39.38	39.09	38.99
88	604596.43	4972290.60	38.81	39.31	39.03	38.94
89	604610.09	4972409.95	38.50	39.13	38.85	38.76
90	604618.11	4972552.09	38.39	39.09	38.81	38.72
91	604521.40	4972655.17	38.29	38.99	38.70	38.61
92	604525.02	4972785.42	38.12	38.93	38.64	38.57
93	604407.87	4972837.43	38.22	38.93	38.65	38.58
94	604286.12	4972793.64	38.20	38.74	38.46	38.38
95	604209.57	4972880.98	37.89	38.44	38.13	38.05
96	604168.86	4973014.35	37.83	38.33	38.02	37.93
97	604172.20	4973145.77	37.72	38.15	37.85	37.75
98	604279.55	4973238.95	37.62	38.04	37.77	37.68
99	604368.02	4973350.52	37.58	38.01	37.75	37.67
100	604374.08	4973464.16	37.63	38.01	37.75	37.67
101	604303.57	4973574.28	37.33	37.74	37.46	37.37
102	604387.42	4973657.01	37.08	37.59	37.35	37.28
103	604431.62	4973780.11	37.23	37.55	37.30	37.23
104	604411.83	4973925.29	36.94	37.33	37.07	36.97
105	604522.49	4973870.83	36.96	37.29	37.06	36.98
106	604639.47	4973799.39	37.00	37.30	37.07	36.99
107	604725.27	4973882.76	36.94	37.26	37.03	36.94
108	604730.89	4974006.54	36.97	37.24	37.02	36.93
109	604673.50	4974130.87	36.90	37.19	36.97	36.88
110	604674.65	4974261.92	36.85	37.06	36.85	36.78
111	604729.45	4974383.33	36.83	37.00	36.80	36.72
112	604736.14	4974531.44	36.67	36.84	36.63	36.54
113	604772.73	4974665.97	36.67	36.71	36.51	36.46
114	604850.13	4974777.62	36.62	36.63	36.47	36.45
115	604890.16	4974893.90	36.63	36.63	36.47	36.46
116	604884.48	4975016.01	36.43	36.37	36.21	36.18
117	604990.91	4975105.05	36.38	36.32	36.19	36.12
118	605121.82	4975122.68	36.29	36.26	36.14	36.10
119	605211.53	4975231.30	36.24	36.21	36.09	36.05
120	605324.97	4975284.85	36.11	36.01	35.91	35.87
121	605460.93	4975305.62	35.99	35.94	35.83	35.80
122	605588.62	4975268.86	35.76	35.70	35.60	35.58
123	605658.87	4975150.96	35.80	35.67	35.58	35.58

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
124	605792.83	4975170.52	35.67	35.58	35.48	35.47
125	605911.44	4975247.09	35.56	35.52	35.42	35.40
126	606035.86	4975290.94	35.36	35.36	35.25	35.24
127	606094.81	4975200.44	35.35	35.33	35.24	35.23
128	606157.05	4975071.84	35.31	35.33	35.24	35.23
129	606281.46	4975115.22	35.24	35.33	35.24	35.23
130	606318.53	4975243.40	35.38	35.33	35.25	35.22
131	606344.67	4975386.30	35.23	35.32	35.24	35.23
132	606229.52	4975484.97	35.45	35.31	35.23	35.21
133	606200.77	4975620.94	35.27	35.16	35.11	35.10
134	606135.05	4975741.59	35.16	34.97	34.93	34.95
135	606232.83	4975801.08	35.02	34.78	34.70	34.69
136	606368.95	4975807.54	34.83	34.64	34.57	34.56
137	606484.76	4975756.65	34.71	34.49	34.42	34.40
138	606660.06	4975699.17	34.55	34.41	34.34	34.33
139	606770.22	4975749.08	34.33	34.39	34.31	34.30
140	606897.18	4975796.74	34.19	34.16	34.08	34.04
141	607028.97	4975781.23	34.21	34.06	34.01	34.01
142	607161.03	4975793.91	34.09	34.07	34.02	34.03
143	607310.76	4975861.26	33.98	33.83	33.77	33.81
144	607348.33	4975966.21	34.00	33.83	33.78	33.82
145	607375.76	4976073.52	33.67	33.48	33.42	33.45
146	607512.16	4976042.62	33.36	33.30	33.24	33.27
147	607669.68	4976012.52	33.13	33.19	33.14	33.18
148	607750.06	4975922.66	32.91	32.94	32.88	32.92
149	607706.55	4975764.60	32.88	32.87	32.81	32.86
150	607640.01	4975639.08	32.86	32.88	32.78	32.86
151	607530.88	4975532.26	32.87	32.87	32.81	32.86
152	607399.15	4975473.85	32.81	32.84	32.77	32.83
153	607346.49	4975339.32	32.67	32.84	32.77	32.84
154	607387.25	4975222.14	32.70	32.74	32.66	32.72
155	607451.96	4975068.38	32.77	32.73	32.66	32.75
156	607577.53	4975071.77	32.73	32.73	32.66	32.74
157	607664.65	4975178.33	32.64	32.69	32.61	32.70
158	607704.41	4975337.34	32.64	32.65	32.56	32.64
159	607757.42	4975461.98	32.53	32.62	32.53	32.61
160	607852.05	4975580.15	32.38	32.49	32.40	32.47
161	607986.54	4975601.27	32.14	32.34	32.25	32.31
162	608112.20	4975644.62	32.12	32.12	32.00	32.11
163	608258.54	4975750.30	31.83	32.06	31.96	32.02
164	608372.49	4975827.05	31.78	32.00	31.92	31.99
165	608404.24	4975972.40	31.74	32.06	31.98	32.04

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
166	608273.66	4976058.90	31.75	31.87	31.78	31.83
167	608382.36	4976196.28	31.33	31.46	31.35	31.39
168	608445.98	4976163.37	31.21	31.39	31.29	31.33
169	608519.92	4976147.72	31.00	30.96	30.85	30.88
170	608749.83	4976272.46	31.00	30.98	30.88	30.91
171	608834.33	4976387.69	30.87	30.75	30.64	30.67
172	608941.51	4976344.52	30.66	30.72	30.63	30.66
173	608970.97	4976274.55	30.64	30.71	30.61	30.63
174	609047.47	4976072.99	30.41	30.56	30.47	30.49
175	609293.00	4976118.69	30.09	30.07	29.95	29.95
176	609389.25	4976233.44	29.91	29.90	29.80	29.80
177	609556.35	4976216.12	29.79	29.88	29.76	29.75
178	609672.19	4976188.57	29.78	29.92	29.81	29.81
179	609748.94	4976275.54	29.68	29.91	29.83	29.83
180	609834.25	4976408.74	29.48	29.63	29.51	29.51
181	609855.38	4976581.97	29.32	29.37	29.22	29.21
182	609943.68	4976687.80	29.22	29.33	29.23	29.24
183	610094.10	4976685.16	29.20	29.23	29.15	29.17
184	610237.10	4976719.82	29.14	29.23	29.14	29.17
185	610484.30	4976894.85	28.87	28.79	28.79	28.70
186	610620.23	4976906.91	28.65	28.57	28.46	28.48
187	610728.11	4976883.96	28.56	28.43	28.33	28.33
188	610878.62	4976836.06	28.41	28.37	28.27	28.29
189	611005.52	4976781.00	28.33	28.36	28.28	28.30
190	611074.84	4976772.30	28.21	28.18	28.07	28.10
191	611211.55	4976805.99	28.06	28.19	28.12	28.14
192	611280.78	4976911.36	27.88	27.96	27.87	27.88
193	611460.62	4976972.13	27.66	27.77	27.94	27.69
194	611571.62	4976994.50	27.52	27.75	27.65	27.67
Scarto quadratico medio [m]				0.45	0.28	0.23

Tabella A.2- Coordinate dei picchetti con i relativi valori di quota del pelo libero rilevati e restituiti dalle varie simulazioni effettuate per l'argine sinistro

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
1	604701.91	4962927.60	52.04	52.54	52.62	52.50
2	604577.14	4963081.04	51.48	51.31	51.11	51.11
3	604502.09	4963197.88	51.34	51.29	51.09	51.09
4	604481.16	4963237.68	51.07	51.28	51.08	51.09
5	604219.26	4963532.83	50.53	50.90	50.71	50.68
6	604186.17	4963701.95	50.21	50.65	50.47	50.36
7	604138.05	4963920.06	49.99	49.98	49.80	49.72
8	604068.85	4964072.08	49.46	49.66	49.46	49.40
9	604076.12	4964250.93	48.63	49.38	49.16	49.11
10	604008.17	4964406.46	48.06	48.64	48.37	48.27
11	603867.00	4964521.88	48.00	48.40	48.21	48.11
12	603742.41	4964644.84	47.85	48.14	47.89	47.78
13	603713.38	4964788.07	47.63	48.04	47.78	47.54
14	603713.27	4964983.62	47.90	47.66	47.44	47.36
15	603724.69	4965170.82	46.97	47.33	47.08	46.95
16	603741.78	4965556.41	46.48	46.78	46.58	46.51
17	603678.93	4965736.58	46.29	46.59	46.49	46.43
18	603492.27	4965801.11	45.97	46.38	46.15	46.08
19	603436.84	4965969.86	45.96	46.34	46.11	46.04
20	603445.83	4966130.59	45.93	46.33	46.11	46.04
21	603567.60	4966256.43	45.30	45.94	45.64	45.57
22	603461.25	4966418.52	45.16	45.71	45.48	45.42
23	603486.72	4966599.54	45.05	45.61	45.37	45.28
24	603516.70	4966687.68	45.01	45.55	45.31	45.22
25	603508.14	4966812.96	44.79	45.37	45.13	45.03
26	603447.47	4966938.63	44.63	45.24	45.04	44.98
27	603430.53	4967123.71	44.43	45.01	44.79	44.68
28	603463.00	4967297.86	44.26	44.75	44.50	44.38
29	603445.86	4967500.41	44.10	44.53	44.26	44.14
30	603495.12	4967693.84	44.02	44.44	44.19	44.09
31	603628.17	4967808.59	43.74	44.17	43.89	43.77
32	603970.06	4967958.93	43.39	44.02	43.75	43.65
33	604152.51	4967934.97	43.30	43.91	43.65	43.57
34	604328.09	4967914.82	43.20	43.80	43.50	43.40
35	604526.20	4967866.60	42.97	43.69	43.40	43.32
36	604701.25	4967899.91	42.86	43.59	43.31	43.24
37	604743.91	4968073.14	42.86	43.54	43.27	43.23

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
38	604931.04	4968086.24	42.63	43.43	43.13	43.08
39	605070.25	4968146.59	42.49	43.14	42.86	42.80
40	605043.26	4968328.95	42.36	43.09	42.81	42.75
41	605058.59	4968619.44	42.05	42.71	42.43	42.36
42	604914.04	4968726.04	42.02	42.70	42.43	42.35
43	604973.13	4968903.30	41.87	42.65	42.37	42.29
44	605046.70	4969090.27	41.87	42.54	42.26	42.14
45	605088.66	4969261.10	41.57	42.44	42.16	42.05
46	605117.83	4969452.75	41.64	42.34	42.07	41.97
47	605035.68	4969623.26	41.49	42.21	41.96	41.88
48	605029.52	4969801.58	41.42	42.05	41.78	41.69
49	605106.28	4969983.54	41.39	41.97	41.72	41.65
50	605174.80	4970166.39	41.12	41.73	41.48	41.41
51	605147.35	4970351.21	41.02	41.52	41.28	41.23
52	605001.31	4970476.88	40.79	41.38	41.15	41.10
53	605009.31	4970840.53	40.55	41.06	40.79	40.68
54	605083.22	4971008.00	40.27	40.81	40.58	40.51
55	604929.75	4971115.41	40.15	40.75	40.54	40.47
56	604852.37	4971251.52	40.17	40.72	40.47	40.44
57	604944.34	4971386.91	39.83	40.38	40.14	40.05
58	604819.36	4971530.94	39.59	40.09	39.86	39.76
59	604635.15	4971590.73	39.42	39.88	39.64	39.56
60	604589.75	4971735.69	39.36	39.87	39.62	39.55
61	604703.97	4971898.18	39.32	39.79	39.54	39.47
62	604785.24	4972042.83	39.19	39.71	39.49	39.43
63	604731.71	4972170.29	38.89	39.36	39.08	38.99
64	604568.28	4972070.77	38.85	39.37	39.11	39.03
65	604417.25	4972135.78	38.84	39.38	39.12	39.04
66	604460.26	4972487.81	38.31	39.02	38.72	38.63
67	604303.17	4972604.37	38.21	38.87	38.58	38.50
68	604178.13	4972719.44	37.92	38.74	38.45	38.38
69	604054.89	4972865.38	37.66	38.37	38.08	37.99
70	603883.88	4972932.77	37.85	38.37	38.08	38.00
71	604049.76	4973226.13	37.70	38.23	37.94	37.84
72	604204.92	4973344.17	37.49	37.98	37.70	37.60
73	604089.27	4973459.17	37.55	37.86	37.61	37.53
74	604075.74	4973622.84	37.51	37.84	37.59	37.51
75	604262.32	4973693.81	37.34	37.62	37.35	37.29
76	604328.92	4973875.37	37.10	37.49	37.24	37.16
77	604370.22	4974057.68	36.98	37.30	37.06	36.97

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
78	604470.05	4974424.53	36.67	36.92	36.70	36.62
79	604344.75	4974552.62	36.77	36.89	36.72	36.67
80	604596.41	4974801.18	36.68	36.71	36.55	36.52
81	604724.45	4974939.40	36.57	36.57	36.41	36.38
82	604916.60	4975251.58	36.43	36.30	36.17	36.12
83	605098.16	4975310.59	36.22	36.17	36.01	35.94
84	605222.57	4975436.24	36.17	36.11	36.01	35.98
85	605400.09	4975402.25	35.99	35.89	35.76	35.72
86	605593.79	4975417.61	35.84	35.86	35.77	35.75
87	605707.20	4975268.57	35.69	35.52	35.42	35.45
88	605880.54	4975338.92	35.50	35.48	35.38	35.36
89	605826.07	4975519.28	35.41	35.42	35.33	35.32
90	606016.01	4975771.54	35.17	35.00	34.95	34.95
91	606356.29	4975893.37	34.75	34.64	34.56	34.55
92	606705.49	4975854.24	34.40	34.32	34.24	34.23
93	606906.19	4975869.28	34.33	34.24	34.19	34.18
94	607092.36	4975876.03	34.10	33.96	33.90	33.90
95	607206.16	4976158.61	33.82	33.73	33.67	33.70
96	607380.69	4976143.69	33.59	33.43	33.37	33.40
97	607742.09	4976103.42	33.17	33.22	33.18	33.21
98	607828.02	4975944.02	32.98	33.02	32.97	33.01
99	607835.80	4975754.12	32.38	32.47	32.38	32.44
100	608004.81	4975682.49	32.38	32.35	32.25	32.31
101	608178.85	4975769.17	31.99	32.01	31.92	31.97
102	608321.92	4975899.53	31.74	31.95	31.86	31.90
103	608197.62	4976016.54	31.66	31.91	31.82	31.87
104	608107.95	4976188.42	31.62	31.89	31.80	31.86
105	608259.56	4976268.41	31.42	31.68	31.58	31.64
106	608398.40	4976245.99	31.30	31.48	31.37	31.43
107	608503.46	4976184.37	31.08	31.22	31.15	31.21
108	608537.81	4976182.80	31.01	30.89	30.76	30.79
109	608700.16	4976286.58	31.02	31.04	30.94	30.97
110	608771.77	4976395.55	30.79	30.83	30.73	30.76
111	608916.01	4976472.46	30.75	30.89	30.80	30.83
112	609039.76	4976329.56	30.74	30.76	30.67	30.68
113	609298.19	4976261.19	30.02	30.04	29.94	29.94
114	609477.62	4976321.71	29.92	30.08	29.98	29.99
115	609740.94	4976579.34	29.50	29.75	29.82	29.72
116	609765.78	4976758.02	29.39	29.48	29.34	29.33
117	609947.04	4976788.43	29.23	29.28	29.18	29.19

Picchetto N.	Coordinate dei picchetti (UTM-WGS84)		Quota picchettatura [m s.l.m.]	Quote idriche massime simulate [m s.l.m.]		
	X [m]	Y [m]		k_s 35, 15	k_s 40, 25	k_s 40, 35, 25
118	610137.80	4976844.67	29.04	29.23	29.16	29.18
119	610314.66	4976917.72	28.89	28.83	28.72	28.73
120	610503.21	4976979.04	28.80	28.70	28.59	28.61
121	610664.08	4976948.86	28.51	28.44	28.32	28.34
122	610987.42	4976943.38	28.14	28.36	28.28	28.30
123	611222.82	4976968.18	27.96	28.01	27.92	27.94
124	611349.05	4977022.15	27.86	27.93	27.83	27.85
125	611497.17	4977035.82	27.59	27.76	27.68	27.69
126	611693.44	4977064.66	27.41	27.58	27.49	27.51
127	611893.31	4977070.32	27.28	27.46	27.37	27.39
Scarto quadratico medio [m]				0.43	0.27	0.22

Tabella A.3- Argine maestro destro con le quote rilevate e restituite dal DEM (Digital Elevation Model)

Coordinate picchettatura argine destro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine destro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
604569.87	4963446.32	53.59	53.27
604552.08	4963495.31	53.54	53.21
604504.37	4963630.48	53.36	53.03
604469.55	4963730.32	53.20	52.87
604436.02	4963865.37	52.82	52.44
604471.44	4963999.19	52.40	52.19
604471.01	4964128.69	51.99	51.73
604430.76	4964273.09	51.83	51.65
604391.93	4964414.68	51.49	51.50
604362.85	4964518.80	51.08	50.82
604313.88	4964646.20	50.99	50.58
604220.53	4964771.88	50.63	50.43
604132.28	4964885.20	50.43	50.11
604056.35	4965000.09	50.15	49.79
604083.63	4965137.90	49.84	49.44
604119.98	4965270.41	49.54	49.31
604181.15	4965399.67	49.21	48.81
604174.06	4965476.03	48.99	48.79
604165.37	4965656.91	48.67	48.39
604189.00	4965805.62	48.10	47.81
604210.60	4965942.83	48.13	47.96
604137.39	4966208.01	47.81	47.53
604086.22	4966341.81	47.64	47.30
604005.65	4966428.23	47.49	47.19
603846.73	4966419.75	47.38	47.08
603776.81	4966509.55	47.32	47.00
603764.62	4966641.72	47.13	46.82
603749.76	4966747.79	47.29	47.13
603734.78	4966881.74	47.01	46.64
603708.33	4967017.25	46.81	46.41
603689.13	4967152.64	46.77	46.41
603736.30	4967278.81	46.58	46.26
603790.53	4967407.18	46.33	46.05
603869.61	4967509.42	46.28	46.02
604011.11	4967539.53	45.53	45.20
604150.99	4967529.00	45.36	45.05
604280.61	4967480.03	45.25	44.93

Coordinate picchettatura argine destro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine destro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
604407.23	4967480.04	45.17	44.89
604497.68	4967574.15	45.09	44.85
604634.44	4967584.84	44.83	44.58
604767.82	4967593.75	44.81	44.52
604896.23	4967564.17	44.92	44.64
605018.24	4967615.39	44.84	44.52
605041.14	4967688.02	44.39	44.07
605083.09	4967788.07	44.49	44.14
605192.17	4967871.45	44.43	44.16
605322.51	4967853.49	44.68	44.38
605412.38	4967925.39	44.63	44.34
605436.78	4968055.66	44.53	44.28
605343.01	4968176.21	44.23	43.97
605357.78	4968286.20	44.24	43.99
605380.94	4968418.53	44.04	43.83
605349.68	4968531.83	43.55	43.31
605376.01	4968660.94	43.64	43.42
605416.27	4968767.56	43.75	43.52
605384.47	4968904.89	43.61	43.42
605469.80	4969000.54	43.44	43.21
605524.75	4969121.68	43.48	43.22
605522.21	4969255.97	43.43	43.19
605485.33	4969382.91	43.39	43.13
605492.30	4969513.50	43.34	43.08
605393.74	4969591.22	43.26	43.00
605271.75	4969640.71	43.12	42.87
605217.97	4969752.67	43.06	42.77
605256.60	4969883.49	42.99	42.64
605272.46	4970010.70	42.94	43.19
605290.66	4970148.24	42.81	43.26
605321.60	4970284.28	42.72	42.69
605274.49	4970409.53	42.78	42.58
605169.02	4970484.66	42.74	42.49
605113.74	4970602.48	42.63	42.42
605192.13	4970836.59	42.37	42.42
605213.29	4970970.50	42.14	42.12
605163.68	4971086.53	42.13	41.80
605261.57	4971140.28	41.92	41.66
605397.64	4971184.59	41.84	41.62
605372.76	4971338.03	41.61	41.34

Coordinate picchettatura argine destro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine destro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
605286.94	4971453.89	41.71	41.46
605153.46	4971535.23	41.57	41.29
605137.38	4971659.08	41.47	41.23
605162.02	4971794.30	41.59	41.29
605127.23	4971921.57	41.45	41.16
605050.69	4971988.24	41.46	41.20
604941.70	4972091.97	41.44	41.17
604899.43	4972233.06	41.27	40.94
604741.97	4972278.17	41.06	40.73
604595.17	4972295.89	40.92	40.66
604613.81	4972410.74	40.75	40.44
604621.31	4972556.28	40.58	40.32
604524.93	4972659.03	40.45	40.19
604526.94	4972789.68	40.50	40.24
604403.95	4972843.74	40.54	40.53
604276.60	4972793.20	40.63	40.52
604214.33	4972884.26	40.24	40.08
604173.99	4973016.87	39.83	39.58
604170.18	4973137.13	39.79	39.53
604281.86	4973239.31	39.68	39.37
604369.13	4973348.45	39.69	39.39
604374.09	4973465.89	39.61	39.33
604308.54	4973576.11	39.45	39.14
604389.52	4973656.39	39.18	38.93
604433.73	4973781.88	39.26	38.96
604416.76	4973923.47	39.02	38.73
604519.79	4973866.59	38.98	38.73
604643.86	4973797.73	38.86	38.60
604725.52	4973881.44	38.68	38.35
604731.55	4974007.49	38.55	38.22
604675.32	4974131.26	38.41	38.10
604679.09	4974261.85	38.47	38.17
604730.63	4974384.62	38.24	37.94
604740.41	4974533.33	38.26	37.84
604776.87	4974665.33	38.27	37.98
604852.20	4974778.26	38.12	37.80
604891.51	4974894.06	37.88	37.61
604888.24	4975013.67	38.11	37.95
604993.67	4975101.58	38.18	38.06
605123.81	4975121.98	38.55	38.38

Coordinate picchettatura argine destro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine destro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
605216.90	4975229.42	38.31	38.11
605327.33	4975282.62	38.38	38.19
605462.34	4975300.18	38.26	38.15
605584.26	4975266.13	37.98	37.85
605656.10	4975148.88	38.08	37.89
605797.37	4975169.01	37.54	37.33
605912.44	4975245.91	37.55	37.40
606038.68	4975285.70	37.29	37.17
606092.55	4975197.44	37.63	37.53
606158.01	4975069.72	36.90	36.70
606283.91	4975115.47	36.77	36.58
606323.72	4975244.37	36.81	36.62
606345.21	4975388.50	36.68	36.51
606232.35	4975489.22	36.87	36.69
606202.09	4975625.32	36.85	36.61
606139.10	4975745.12	36.93	36.69
606233.40	4975796.65	36.76	36.57
606369.22	4975803.13	36.52	36.30
606486.28	4975755.12	36.31	36.15
606658.37	4975697.99	35.82	35.66
606773.34	4975745.33	35.96	35.82
606898.03	4975792.23	35.96	35.84
607029.91	4975778.52	35.72	35.52
607164.46	4975793.85	35.72	35.57
607307.16	4975855.66	35.75	35.56
607352.71	4975967.06	35.58	35.39
607377.02	4976071.28	35.39	35.24
607507.06	4976040.01	35.12	35.02
607668.72	4976009.29	35.24	34.90
607744.93	4975922.17	35.24	35.14
607701.43	4975765.47	35.07	35.03
607635.18	4975641.10	34.93	34.84
607528.05	4975532.36	34.97	34.79
607399.22	4975476.55	34.86	34.74
607343.22	4975337.17	34.68	34.53
607382.84	4975221.24	34.58	34.43
607447.11	4975067.70	34.38	34.23
607576.90	4975068.34	34.37	34.22
607668.13	4975180.48	34.45	34.30
607708.69	4975336.64	34.22	34.14

Coordinate picchettatura argine destro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine destro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
607762.09	4975461.28	34.28	34.17
607856.01	4975577.63	34.07	33.94
607985.50	4975597.35	33.89	33.78
608117.67	4975643.02	33.63	33.53
608263.33	4975746.59	33.40	33.27
608373.79	4975823.69	33.50	33.44
608407.95	4975972.29	33.36	33.22
608276.06	4976063.07	33.15	33.06
608383.66	4976192.47	32.88	32.74
608444.34	4976161.35	32.74	32.60
608512.73	4976147.41	32.19	32.53
608746.62	4976261.86	33.73	32.45
608838.34	4976383.83	33.04	33.01
608936.13	4976341.76	32.64	32.55
608966.52	4976272.12	32.47	32.42
609046.76	4976071.76	33.47	33.58
609297.72	4976116.76	32.24	32.22
609379.28	4976223.38	32.20	32.17
609554.66	4976211.81	32.18	32.13
609675.84	4976186.82	32.14	32.08
609752.91	4976274.75	32.30	32.19
609837.61	4976409.62	32.21	32.16
609861.46	4976583.88	32.19	32.16
609945.03	4976683.46	32.24	32.23
610099.34	4976681.87	32.21	32.20
610237.11	4976715.68	32.24	32.19
610487.95	4976891.08	32.17	32.28
610618.56	4976901.23	32.34	31.37
610726.29	4976877.40	32.34	31.11
610875.87	4976830.19	32.36	31.40
611006.57	4976777.80	32.35	31.41
611075.89	4976765.56	32.18	32.26
611219.94	4976805.18	32.20	32.25
611286.12	4976905.28	32.29	31.25
611459.52	4976963.65	32.31	31.34
611573.14	4976987.89	32.26	31.25
611852.41	4976949.31	32.17	32.17

Tabella A.4- Argine maestro sinistro con le quote rilevate e restituite dal DEM (Digital Elevation Model)

Coordinate picchettatura argine sinistro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine sinistro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
604698.07	4962925.88	55.14	54.79
604569.15	4963072.79	54.60	54.21
604496.12	4963195.26	54.24	53.87
604475.43	4963234.08	54.06	53.72
604217.75	4963527.19	53.16	52.83
604180.45	4963699.41	52.81	52.40
604133.69	4963915.38	52.44	52.03
604061.78	4964071.14	52.16	51.79
604068.66	4964252.75	51.68	51.35
604003.19	4964400.59	51.45	51.06
603862.71	4964515.49	51.11	50.78
603742.39	4964640.58	50.79	49.87
603711.20	4964782.90	50.48	50.08
603708.12	4964982.16	50.19	49.86
603718.36	4965166.83	49.95	49.49
603737.30	4965549.28	49.41	49.07
603676.97	4965730.68	49.26	48.88
603494.38	4965793.83	49.02	48.61
603432.30	4965963.78	48.78	48.25
603439.91	4966132.49	48.43	48.06
603564.41	4966258.21	48.19	47.80
603457.38	4966412.73	47.99	47.63
603489.98	4966611.12	47.78	47.31
603514.10	4966689.82	47.55	47.23
603505.84	4966808.59	47.43	47.28
603441.02	4966931.81	47.35	46.94
603427.55	4967121.73	47.17	46.84
603459.22	4967293.79	46.95	46.59
603441.85	4967497.19	46.82	46.51
603489.39	4967688.57	46.48	46.13
603618.78	4967807.11	46.47	46.17
603967.82	4967962.36	45.37	45.03
604149.34	4967940.16	45.22	44.89
604326.30	4967919.53	45.15	44.83
604531.46	4967872.44	45.09	44.85
604694.34	4967895.54	44.91	44.55
604738.09	4968071.62	44.83	44.56

Coordinate picchettatura argine sinistro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine sinistro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
604929.11	4968091.07	44.83	44.54
605068.77	4968140.16	44.73	44.42
605038.59	4968328.46	44.61	44.31
605063.86	4968614.20	44.19	43.91
604911.98	4968721.56	43.43	43.22
604968.39	4968902.40	43.32	43.28
605044.27	4969093.77	43.24	42.82
605084.34	4969258.57	43.29	43.07
605113.66	4969450.86	43.13	42.87
605033.97	4969620.27	43.08	42.90
605024.81	4969799.55	43.08	42.76
605101.64	4969982.73	42.92	42.67
605171.15	4970162.83	42.69	42.39
605148.14	4970344.98	42.68	42.38
605001.11	4970472.00	42.35	42.06
605010.74	4970845.27	42.39	42.12
605083.48	4971001.61	42.11	41.84
604930.58	4971107.89	42.03	41.80
604846.44	4971249.36	41.86	41.57
604939.21	4971384.16	41.83	41.53
604821.14	4971524.58	41.51	41.22
604635.22	4971584.77	41.44	41.24
604583.41	4971735.04	41.44	41.12
604699.33	4971900.72	41.33	41.19
604782.29	4972042.04	41.23	40.98
604733.20	4972169.42	40.88	40.62
604567.62	4972068.44	40.77	40.50
604416.13	4972131.10	40.78	40.55
604459.15	4972486.18	40.50	40.24
604306.31	4972601.49	40.30	40.07
604176.35	4972717.08	40.06	39.81
604058.62	4972859.57	39.96	39.69
603881.20	4972926.72	39.62	39.36
604046.13	4973228.83	39.68	39.33
604199.72	4973342.05	39.61	39.33
604091.18	4973453.70	39.59	39.32
604076.15	4973625.14	39.42	39.26
604250.86	4973693.57	39.17	38.94
604325.04	4973872.03	39.23	38.94
604364.96	4974053.74	38.84	38.64

Coordinate picchettatura argine sinistro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine sinistro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
604466.72	4974421.45	38.63	38.20
604342.40	4974548.68	38.43	38.15
604592.96	4974803.18	38.22	37.97
604719.60	4974938.04	38.13	37.84
604911.64	4975251.45	38.07	37.80
605092.73	4975310.31	37.81	37.61
605217.88	4975437.89	37.74	37.50
605397.63	4975406.27	37.73	37.54
605600.27	4975419.31	37.23	37.02
605707.85	4975270.38	37.12	36.97
605876.27	4975338.94	37.15	36.98
605822.88	4975516.45	37.08	36.88
606013.88	4975771.69	36.74	36.69
606354.69	4975897.67	36.40	36.26
606701.20	4975856.27	36.14	36.10
606905.05	4975873.36	36.00	35.84
607086.56	4975877.44	35.75	35.42
607202.44	4976159.92	35.50	35.38
607377.17	4976148.24	35.38	35.35
607742.07	4976108.93	35.01	34.92
607832.04	4975948.29	34.77	34.72
607837.03	4975759.39	34.53	34.40
608001.60	4975687.14	34.29	34.21
608170.97	4975768.58	34.03	33.84
608317.69	4975896.42	33.75	33.68
608197.54	4976013.25	33.60	33.46
608102.19	4976185.36	33.29	33.15
608257.62	4976271.42	33.19	32.32
608394.78	4976251.39	33.08	31.87
608503.46	4976188.06	32.76	31.81
608536.98	4976182.88	32.43	32.10
608700.77	4976290.01	33.06	31.81
608766.36	4976393.73	32.74	32.49
608914.12	4976477.55	32.42	32.29
609045.09	4976323.12	32.26	32.15
609311.13	4976271.01	32.05	31.90
609476.56	4976326.46	32.00	31.74
609733.34	4976581.11	32.01	31.93
609766.06	4976760.09	32.06	31.84
609943.57	4976792.79	31.98	31.81

Coordinate picchettatura argine sinistro (UTM-WGS84)		Quota picchettatura argine sinistro	Quota picchettatura restituita dal DEM
X [m]	Y [m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
610133.50	4976847.12	31.91	31.67
610309.97	4976921.40	32.03	32.06
610501.46	4976982.18	31.99	31.91
610661.50	4976955.51	31.92	31.81
610983.25	4976951.71	31.57	31.51
611220.13	4976973.58	31.22	30.86
611346.71	4977025.25	31.21	30.72
611494.57	4977039.76	31.10	30.60
611681.94	4977074.95	31.24	31.37
611901.10	4977071.45	31.47	31.55

APPENDICE B

**Franchi in corrispondenza degli argini
maestri calcolati dalle simulazioni di
moto permanente con portate di 600 m³/s
e 650 m³/s**

di moto permanente con portate di 600 m³/s e 650 m³/s

ARGINE SINISTRO						
N° punto	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto	Distanza progressiva	Franchi [m]	
-	EST	NORD	-	[km]	Q=600 m ³ /s	Q=650 m ³ /s
21	604698.07	4962925.88	sommità argine	0.73	2.25	2.07
26	604569.15	4963072.79	sommità argine	0.93	3.02	2.90
29	604496.12	4963195.26	sommità argine	1.07	2.69	2.57
30	604475.43	4963234.08	sommità argine	1.11	2.55	2.43
37	604217.75	4963527.19	sommità argine	1.52	2.10	2.04
42	604180.45	4963699.41	sommità argine	1.70	2.00	1.93
47	604133.69	4963915.38	sommità argine	1.92	2.28	2.23
54	604061.78	4964071.14	sommità argine	2.10	2.33	2.25
56	604068.66	4964252.75	sommità argine	2.28	2.16	2.06
61	604003.19	4964400.59	sommità argine	2.46	2.73	2.68
64	603862.71	4964515.49	sommità argine	2.64	2.61	2.55
79	603711.20	4964782.90	sommità argine	3.00	2.35	2.24
81	603708.12	4964982.16	sommità argine	3.20	2.40	2.35
82	603718.36	4965166.83	sommità argine	3.38	2.46	2.35
85	603737.30	4965549.28	sommità argine	3.77	2.49	2.41
86	603676.97	4965730.68	sommità argine	3.96	2.36	2.28
90	603494.38	4965793.83	sommità argine	4.16	2.44	2.33
92	603432.30	4965963.78	sommità argine	4.34	2.12	2.02
95	603439.91	4966132.49	sommità argine	4.53	1.94	1.84
97	603564.41	4966258.21	sommità argine	4.74	2.13	2.01
101	603457.38	4966412.73	sommità argine	4.93	2.09	1.96
104	603489.98	4966611.12	sommità argine	5.15	1.91	1.79
107	603514.10	4966689.82	sommità argine	5.24	1.90	1.78
109	603505.84	4966808.59	sommità argine	5.36	2.15	2.06
119	603441.02	4966931.81	sommità argine	5.51	1.87	1.76
123	603427.55	4967121.73	sommità argine	5.70	2.01	1.90
125	603459.22	4967293.79	sommità argine	5.88	2.07	1.95
127	603441.85	4967497.19	sommità argine	6.08	2.21	2.09
128	603489.39	4967688.57	sommità argine	6.28	1.87	1.74
132	603618.78	4967807.11	sommità argine	6.48	2.18	2.04
139	603967.82	4967962.36	sommità argine	6.88	1.15	1.00
140	604149.34	4967940.16	sommità argine	7.06	1.09	0.93
141	604326.30	4967919.53	sommità argine	7.24	1.15	0.98
S62(SX)	604531.46	4967872.44	Sez. trasversale	7.46	1.25	1.08
149	604694.34	4967895.54	sommità argine	7.63	1.03	0.86
151	604738.09	4968071.62	sommità argine	7.82	1.05	0.88
155	604929.11	4968091.07	sommità argine	8.03	1.17	1.00
158	605068.77	4968140.16	sommità argine	8.21	1.31	1.14
162	605038.59	4968328.46	sommità argine	8.42	1.22	1.05
169	605063.86	4968614.20	sommità argine	8.80	1.19	1.01

di moto permanente con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$

N° punto -	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto -	Distanza progressiva [km]	Franchi [m]	
	EST	NORD			$Q=600$ m^3/s	$Q=650$ m^3/s
176	604911.98	4968721.56	sommità argine	9.00	0.51	0.32
179	604968.39	4968902.40	sommità argine	9.19	0.63	0.44
182	605044.27	4969093.77	sommità argine	9.40	0.29	0.10
184	605084.34	4969258.57	sommità argine	9.57	0.63	0.44
186	605113.66	4969450.86	sommità argine	9.77	0.50	0.31
191	605033.97	4969620.27	sommità argine	9.96	0.63	0.43
193	605024.81	4969799.55	sommità argine	10.14	0.68	0.48
195	605101.64	4969982.73	sommità argine	10.34	0.63	0.44
198	605171.15	4970162.83	sommità argine	10.54	0.59	0.40
203	605148.14	4970344.98	sommità argine	10.73	0.78	0.59
206	605001.11	4970472.00	sommità argine	10.93	0.58	0.38
218	605010.74	4970845.27	sommità argine	11.51	1.08	0.90
223	605083.48	4971001.61	sommità argine	11.70	0.97	0.79
226	604930.58	4971107.89	sommità argine	11.89	0.94	0.75
231	604846.44	4971249.36	sommità argine	12.09	0.75	0.56
234	604939.21	4971384.16	sommità argine	12.27	1.06	0.86
238	604821.14	4971524.58	sommità argine	12.48	1.03	0.82
240	604635.22	4971584.77	sommità argine	12.67	1.17	0.92
244	604583.41	4971735.04	sommità argine	12.86	1.06	0.81
250	604782.29	4972042.04	sommità argine	13.23	1.03	0.78
257	604733.20	4972169.42	sommità argine	13.44	1.19	0.97
261	604567.62	4972068.44	sommità argine	13.64	1.03	0.81
266	604416.13	4972131.10	sommità argine	13.82	1.07	0.84
272	604459.15	4972486.18	sommità argine	14.21	1.19	0.98
275	604306.31	4972601.49	sommità argine	14.42	1.13	0.90
278	604176.35	4972717.08	sommità argine	14.60	0.98	0.75
281	604058.62	4972859.57	sommità argine	14.80	1.24	1.01
284	603881.20	4972926.72	sommità argine	14.99	0.90	0.67
290	604046.13	4973228.83	sommità argine	15.38	1.01	0.77
295	604199.72	4973342.05	sommità argine	15.58	1.26	1.04
300	604091.18	4973453.70	sommità argine	15.76	1.29	1.06
304	604076.15	4973625.14	sommità argine	15.96	1.25	1.01
306	604250.86	4973693.57	sommità argine	16.15	1.18	0.96
310	604325.04	4973872.03	sommità argine	16.35	1.33	1.11
313	604364.96	4974053.74	sommità argine	16.54	1.21	0.99
322	604342.40	4974548.68	sommità argine	17.12	0.96	0.71
329	604592.96	4974803.18	sommità argine	17.51	0.91	0.65
334	604719.60	4974938.04	sommità argine	17.71	0.90	0.64
342	604911.64	4975251.45	sommità argine	18.09	1.08	0.81
347	605092.73	4975310.31	sommità argine	18.29	1.09	0.83
349	605217.88	4975437.89	sommità argine	18.47	0.91	0.64
353	605397.63	4975406.27	sommità argine	18.67	1.22	0.95

di moto permanente con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$

N° punto -	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto -	Distanza progressiva [km]	Franchi [m]	
	EST	NORD			$Q=600$ m^3/s	$Q=650$ m^3/s
360	605600.27	4975419.31	sommità argine	18.88	0.66	0.38
363	605707.85	4975270.38	sommità argine	19.07	0.94	0.67
366	605876.27	4975338.94	sommità argine	19.26	1.03	0.76
369	605822.88	4975516.45	sommità argine	19.45	0.95	0.67
381	606354.69	4975897.67	sommità argine	20.22	1.06	0.75
387	606701.20	4975856.27	sommità argine	20.59	1.15	0.83
392	606905.05	4975873.36	sommità argine	20.80	1.03	0.73
395	607086.56	4975877.44	sommità argine	20.98	0.82	0.51
401	607202.44	4976159.92	sommità argine	21.37	0.94	0.62
404	607377.17	4976148.24	sommità argine	21.56	1.22	0.90
410	607742.07	4976108.93	sommità argine	21.95	0.99	0.68
414	607832.04	4975948.29	sommità argine	22.14	0.97	0.65
418	607837.03	4975759.39	sommità argine	22.34	1.07	0.71
420	608001.60	4975687.14	sommità argine	22.53	0.95	0.59
423	608170.97	4975768.58	sommità argine	22.73	0.80	0.50

di moto permanente con portate di 600 m³/s e 650 m³/s

ARGINE DESTRO						
N° punto	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto	Distanza progressiva	Franchi [m]	
-	EST	NORD	-	[km]	Q=600 m ³ /s	Q=650 m ³ /s
26	604569.87	4963446.32	sommità argine	1.37	2.51	2.41
27	604552.08	4963495.31	sommità argine	1.42	2.50	2.43
29	604504.37	4963630.48	sommità argine	1.56	2.34	2.27
30	604469.55	4963730.32	sommità argine	1.67	2.49	2.41
32	604436.02	4963865.37	sommità argine	1.81	2.51	2.44
33	604443.16	4963907.01	sommità argine	1.94	2.34	2.28
37	604471.01	4964128.69	sommità argine	2.08	2.20	2.10
39	604430.76	4964273.09	sommità argine	2.23	2.26	2.17
41	604391.93	4964414.68	sommità argine	2.37	2.60	2.52
42	604362.85	4964518.80	sommità argine	2.48	2.07	1.99
S69(DX)	604313.88	4964646.20	Sez.trasversale	2.62	2.18	2.12
49	604220.53	4964771.88	sommità argine	2.78	2.28	2.21
51	604132.28	4964885.20	sommità argine	2.92	2.18	2.11
53	604056.35	4965000.09	sommità argine	3.06	2.12	2.07
55	604083.63	4965137.90	sommità argine	3.20	2.09	2.03
57	604119.98	4965270.41	sommità argine	3.34	2.24	2.18
61	604181.15	4965399.67	sommità argine	3.48	1.90	1.83
63	604174.06	4965476.03	sommità argine	3.56	1.87	1.80
68	604165.37	4965656.91	sommità argine	3.74	2.40	2.28
70	604189.00	4965805.62	sommità argine	3.89	1.79	1.68
72	604210.60	4965942.83	sommità argine	4.03	1.97	1.85
77	604137.39	4966208.01	sommità argine	4.31	1.58	1.47
79	604086.22	4966341.81	sommità argine	4.45	1.38	1.27
83	604005.65	4966428.23	sommità argine	4.58	1.28	1.17
85	603846.73	4966419.75	sommità argine	4.74	1.41	1.30
89	603776.81	4966509.55	sommità argine	4.86	1.55	1.44
90	603764.62	4966641.72	sommità argine	4.99	1.45	1.33
92	603749.78	4966747.61	sommità argine	5.10	1.81	1.70
98	603734.78	4966881.74	sommità argine	5.23	1.49	1.38
100	603708.33	4967017.25	sommità argine	5.37	1.52	1.42
103	603689.13	4967152.64	sommità argine	5.51	1.78	1.68
105	603736.30	4967278.81	sommità argine	5.64	1.80	1.70
107	603790.53	4967407.18	sommità argine	5.78	1.74	1.64
111	603869.61	4967509.42	sommità argine	5.92	2.12	1.99
113	604011.11	4967539.53	sommità argine	6.06	1.28	1.15
117	604150.99	4967529.00	sommità argine	6.21	1.31	1.15
119	604280.61	4967480.03	sommità argine	6.35	1.19	1.02
123	604407.23	4967480.04	sommità argine	6.48	1.16	0.99
127	604497.68	4967574.15	sommità argine	6.62	1.15	0.98
131	604634.44	4967584.84	sommità argine	6.76	0.93	0.77
136	604767.82	4967593.75	sommità argine	6.90	0.98	0.81
139	604896.23	4967564.17	sommità argine	7.03	1.09	0.91
144	605018.24	4967615.39	sommità argine	7.17	0.96	0.79
146	605041.14	4967688.02	sommità argine	7.24	0.52	0.35
150	605083.09	4967788.07	sommità argine	7.36	0.72	0.56
157	605192.17	4967871.45	sommità argine	7.50	0.89	0.71
161	605322.51	4967853.49	sommità argine	7.63	1.13	0.96

di moto permanente con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$

N° punto -	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto -	Distanza progressiva [km]	Franchi [m]	
	EST	NORD			$Q=600$ m^3/s	$Q=650$ m^3/s
168	605412.38	4967925.39	sommità argine	7.75	1.12	0.95
171	605436.78	4968055.66	sommità argine	7.89	1.08	0.90
175	605343.01	4968176.21	sommità argine	8.04	0.81	0.63
180	605357.78	4968286.20	sommità argine	8.18	1.02	0.85
184	605380.94	4968418.53	sommità argine	8.32	0.88	0.71
191	605349.68	4968531.83	sommità argine	8.44	0.52	0.35
194	605376.01	4968660.94	sommità argine	8.58	0.66	0.48
197	605416.27	4968767.56	sommità argine	8.69	0.79	0.60
203	605384.47	4968904.89	sommità argine	8.84	0.88	0.69
207	605469.80	4969000.54	sommità argine	8.98	0.72	0.53
210	605524.75	4969121.68	sommità argine	9.11	0.79	0.59
213	605522.21	4969255.97	sommità argine	9.25	0.76	0.57
218	605485.33	4969382.91	sommità argine	9.38	0.76	0.56
221	605492.30	4969513.50	sommità argine	9.52	0.69	0.49
225	605393.74	4969591.22	sommità argine	9.65	0.63	0.43
229	605271.75	4969640.71	sommità argine	9.78	0.56	0.37
233	605217.97	4969752.67	sommità argine	9.92	0.66	0.47
237	605256.60	4969883.49	sommità argine	10.06	0.61	0.41
240	605272.46	4970010.70	sommità argine	10.18	1.25	1.05
243	605290.66	4970148.24	sommità argine	10.33	1.54	1.35
246	605321.60	4970284.28	sommità argine	10.47	0.94	0.74
249	605274.49	4970409.53	sommità argine	10.60	0.90	0.70
252	605169.02	4970484.66	sommità argine	10.74	1.01	0.82
257	605113.74	4970602.48	sommità argine	10.87	1.04	0.84
265	605192.13	4970836.59	sommità argine	11.16	1.35	1.15
267	605213.29	4970970.50	sommità argine	11.30	1.11	0.91
270	605163.68	4971086.53	sommità argine	11.43	1.20	1.02
275	605261.57	4971140.28	sommità argine	11.58	1.07	0.86
279	605397.64	4971184.59	sommità argine	11.73	1.08	0.87
284	605372.76	4971338.03	sommità argine	11.89	0.83	0.60
286	605286.94	4971453.89	sommità argine	12.04	0.95	0.74
288	605153.46	4971535.23	sommità argine	12.20	0.85	0.63
291	605137.38	4971659.08	sommità argine	12.33	0.93	0.71
293	605162.02	4971794.30	sommità argine	12.47	1.06	0.83
296	605127.23	4971921.57	sommità argine	12.61	0.96	0.73
299	605050.69	4971988.24	sommità argine	12.72	1.63	1.40
300	604941.70	4972091.97	sommità argine	12.87	1.60	1.37
305	604899.43	4972233.06	sommità argine	13.02	1.35	1.12
308	604741.97	4972278.17	sommità argine	13.19	1.30	1.08
309	604595.17	4972295.89	sommità argine	13.34	1.31	1.10
312	604613.81	4972410.74	sommità argine	13.48	1.24	1.03
315	604621.31	4972556.28	sommità argine	13.63	1.15	0.93
318	604524.93	4972659.03	sommità argine	13.77	1.15	0.93
323	604526.94	4972789.68	sommità argine	13.91	1.23	1.01
326	604403.95	4972843.74	sommità argine	14.05	1.50	1.28
329	604276.60	4972793.20	sommità argine	14.20	1.70	1.47
332	604214.33	4972884.26	sommità argine	14.33	1.60	1.38
335	604173.99	4973016.87	sommità argine	14.47	1.20	0.97
338	604170.18	4973137.13	sommità argine	14.60	1.31	1.08
342	604281.86	4973239.31	sommità argine	14.75	1.21	0.98

di moto permanente con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$

N° punto	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto	Distanza progressiva [km]	Franchi [m]	
	EST	NORD			$Q=600$ m^3/s	$Q=650$ m^3/s
343	604369.13	4973348.45	sommità argine	14.89	1.23	0.99
346	604374.09	4973465.89	sommità argine	15.03	1.17	0.93
349	604308.54	4973576.11	sommità argine	15.17	1.28	1.04
351	604389.52	4973656.39	sommità argine	15.31	1.18	0.95
354	604433.73	4973781.88	sommità argine	15.45	1.25	1.02
357	604416.76	4973923.47	sommità argine	15.59	1.33	1.13
360	604519.79	4973866.59	sommità argine	15.73	1.27	1.05
363	604643.86	4973797.73	sommità argine	15.88	1.14	0.92
365	604725.52	4973881.44	sommità argine	16.00	0.94	0.70
367	604731.55	4974007.49	sommità argine	16.13	0.81	0.58
368	604675.32	4974131.26	sommità argine	16.27	0.74	0.50
371	604679.09	4974261.85	sommità argine	16.41	0.89	0.65
373	604730.63	4974384.62	sommità argine	16.54	0.72	0.48
375	604740.41	4974533.33	sommità argine	16.69	0.78	0.53
376	604776.87	4974665.33	sommità argine	16.83	0.97	0.71
378	604852.20	4974778.26	sommità argine	16.96	0.78	0.52
381	604891.51	4974894.06	sommità argine	17.10	0.58	0.31
388	604888.24	4975013.67	sommità argine	17.24	1.22	0.96
390	604993.67	4975101.58	sommità argine	17.38	1.34	1.08
395	605123.81	4975121.98	sommità argine	17.52	1.67	1.40
397	605216.90	4975229.42	sommità argine	17.66	1.47	1.20
402	605327.33	4975282.62	sommità argine	17.80	1.72	1.45
404	605462.34	4975300.18	sommità argine	17.94	1.75	1.48
407	605584.26	4975266.13	sommità argine	18.08	1.69	1.42
409	605656.10	4975148.88	sommità argine	18.22	1.69	1.41
410	605797.37	4975169.01	sommità argine	18.36	1.25	0.98
412	605912.44	4975245.91	sommità argine	18.50	1.41	1.12
414	606038.68	4975285.70	sommità argine	18.64	1.31	1.03
418	606092.55	4975197.44	sommità argine	18.77	1.67	1.39
422	606158.01	4975069.72	sommità argine	18.92	0.83	0.55
424	606283.91	4975115.47	sommità argine	19.06	0.72	0.44
426	606323.72	4975244.37	sommità argine	19.20	0.77	0.49
430	606345.21	4975388.50	sommità argine	19.35	0.65	0.37
432	606232.35	4975489.22	sommità argine	19.50	0.84	0.56
434	606202.09	4975625.32	sommità argine	19.64	0.86	0.57
436	606139.10	4975745.12	sommità argine	19.78	1.11	0.82
440	606233.40	4975796.65	sommità argine	19.91	1.25	0.97
441	606369.22	4975803.13	sommità argine	20.05	1.13	0.85
445	606486.28	4975755.12	sommità argine	20.18	1.04	0.72
447	606658.37	4975697.99	sommità argine	20.36	0.61	0.30
449	606773.34	4975745.33	sommità argine	20.49	0.77	0.44
451	606898.03	4975792.23	sommità argine	20.62	1.10	0.80
453	607029.91	4975778.52	sommità argine	20.75	0.80	0.50
455	607164.46	4975793.85	sommità argine	20.89	0.81	0.50
456	607307.16	4975855.66	sommità argine	21.05	0.99	0.67
459	607352.71	4975967.06	sommità argine	21.19	0.81	0.49
463	607377.02	4976071.28	sommità argine	21.34	1.08	0.78
465	607507.06	4976040.01	sommità argine	21.47	1.07	0.76
469	607744.93	4975922.17	sommità argine	21.76	1.25	0.94
471	607701.43	4975765.47	sommità argine	21.93	1.38	1.07

di moto permanente con portate di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ e $650 \text{ m}^3/\text{s}$

N° punto	Coordinate UTM-WGS84		Descrizione punto	Distanza progressiva [km]	Franchi [m]	
	EST	NORD			$Q=600$ m^3/s	$Q=650$ m^3/s
474	607635.18	4975641.10	sommità argine	22.07	1.23	0.89
475	607528.05	4975532.36	sommità argine	22.22	1.16	0.82
479	607399.22	4975476.55	sommità argine	22.37	1.10	0.76
481	607343.22	4975337.17	sommità argine	22.52	0.89	0.55
484	607382.84	4975221.24	sommità argine	22.65	0.79	0.45
487	607447.11	4975067.70	sommità argine	22.82	0.63	0.28
489	607576.90	4975068.34	sommità argine	22.95	0.61	0.27
492	607668.13	4975180.48	sommità argine	23.11	0.70	0.35
494	607708.69	4975336.64	sommità argine	23.27	0.55	0.20
496	607762.09	4975461.28	sommità argine	23.40	0.62	0.25
498	607856.01	4975577.63	sommità argine	23.56	0.40	0.03
500	607985.50	4975597.35	sommità argine	23.69	0.37	-0.02
503	608117.67	4975643.02	sommità argine	23.83	0.27	-0.09
504	608263.33	4975746.59	sommità argine	24.01	0.19	-0.30

APPENDICE C

**Valori di superficie e di volumi
immagazzinabili per le quattro zone
analizzate**

analizzate

ZONA A						
Z	Golena 1		Golena 2		Golena 3	
[m slm]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]
39.0	-	-	-	-	0	0
39.3	-	-	-	-	11	2
39.5	-	-	-	-	19	7
39.8	-	-	-	-	32	16
40.0	-	-	-	-	49	30
40.3	-	-	-	-	64	49
40.5	-	-	0	0	82	74
40.8	0	0	1	0	100	105
41.0	0	0	4	2	121	143
41.3	76	7	10	5	145	189
41.5	152	45	19	11	177	244
41.8	198	99	28	19	211	312
42.0	242	167	37	30	255	392
42.3	281	247	47	44	308	490
42.5	322	338	58	61	364	605
42.8	373	442	81	82	426	737
43.0	429	560	145	118	506	890
43.3	491	695	243	178	597	1069
43.5	550	847	1104	304	708	1276
43.8	605	1015	8435	1292	1074	1533
44.0	673	1198	23599	5404	7394	2247
44.3	747	1403	38839	13119	21705	5790
44.5	834	1629	65530	25945	52659	14821
44.8	925	1880	92732	46001	104009	34215
45.0	1040	2160	119421	72490	170192	68402
45.3	1216	2480	144706	106076	226162	119367
45.5	1945	2911	156671	144069	236176	177889
45.8	4224	3715	159786	183801	239574	237713
46.0	8983	5381	161266	224099	-	-
46.3	22335	9198	162481	264743	-	-
46.5	48739	17828	163501	305673	-	-
46.8	91755	35407	164055	-	-	-
47.0	149798	65453	-	-	-	-
47.3	192410	109304	-	-	-	-
47.5	211134	160385	-	-	-	-

analizzate

ZONA B								
Z	Golena 1		Golena 2		Golena 3		Golena 4	
[m slm]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]
40.3	-	-	0	0	-	-	-	-
40.6	-	-	0	0	-	-	1	0
40.8	-	-	1	0	0	0	7	2
41.1	0	0	10	2	0	0	124	15
41.3	0	0	21	7	38	2	1568	150
41.6	1	0	35	15	296	44	6186	1214
41.8	3	1	53	29	854	185	10621	3304
42.1	287	17	87	49	3386	624	24161	7243
42.3	2705	312	1619	214	17377	2827	71803	20101
42.6	10930	2098	6452	1106	34606	9383	81882	39747
42.8	19625	5866	20334	4499	81521	22943	84244	60778
43.1	27830	12090	33997	11358	138048	51267	84530	82057
43.3	30231	19466	44019	21161	145429	87252	84717	103394
43.6	32386	27396	56254	33721	146372	123888	84896	124776
43.8	35863	35966	64722	48960	146926	160736	-	-
44.1	45450	46115	69975	66015	-	-	-	-
44.3	50980	58506	70594	83718	-	-	-	-
44.6	51323	71445	70892	101521	-	-	-	-
44.8	51526	84442	71069	119383	-	-	-	-
45.1	51732	97491	-	-	-	-	-	-

analizzate

ZONA C								
Z	Golena 1		Golena 2		Golena 3		Golena 4	
[m slm]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]	S [m ²]	V [m ³]
34.6	0	0	-	-	-	-	-	-
34.8	0	0	-	-	-	-	-	-
35.1	1	1	-	-	-	-	0	0
35.3	2	1	-	-	-	-	0	0
35.6	3	2	-	-	-	-	0	0
35.8	5	4	-	-	-	-	0	0
36.1	6	6	-	-	-	-	0	1
36.3	7	8	-	-	-	-	1	1
36.6	10	11	-	-	-	-	6	3
36.8	13	15	-	-	-	-	10	6
37.1	16	20	-	-	-	-	15	11
37.3	21	26	-	-	-	-	20	18
37.6	26	34	-	-	-	-	28	26
37.8	34	43	-	-	-	-	43	38
38.1	44	55	-	-	0	0	68	57
38.3	60	70	0	0	8	0	99	85
38.6	102	94	18	1	65	9	137	124
38.8	153	131	59	12	282	51	197	178
39.1	301	193	123	35	889	199	368	266
39.3	537	312	177	74	3886	729	1408	473
39.6	802	499	248	130	17420	3203	6798	1417
39.8	1660	812	348	210	37041	9962	13691	4142
40.1	5912	1654	1448	377	57846	21974	19596	8353
40.3	15470	4364	9582	1701	76051	38939	27450	14279
40.6	26573	9643	30539	6403	91469	60333	41536	22755
40.8	43545	18428	56912	17577	107261	85192	63289	36332
41.1	70714	32589	91615	36259	120421	114116	71767	53604
41.3	106423	55284	105839	61679	121351	144616	72915	71900
41.6	119952	84101	106713	88435	121833	175270	73443	90366
41.8	124824	115047	107221	115341	122258	206036	73912	108955
42.1	125955	146678	107667	142367	122662	236907	-	-

analizzate

ZONA D		
Z [m slm]	Golena 1	
	S [m ²]	V [m ³]
31.6	0	0
31.9	0	0
32.1	1	1
32.4	57	8
32.6	253	47
32.9	777	177
33.1	1985	511
33.4	3962	1287
33.6	16667	3283
33.9	49893	11334
34.1	91506	29820
34.4	104989	54564
34.6	108642	81464
34.9	109669	108836
35.1	110246	136401
35.4	110721	164098
35.6	111161	191911