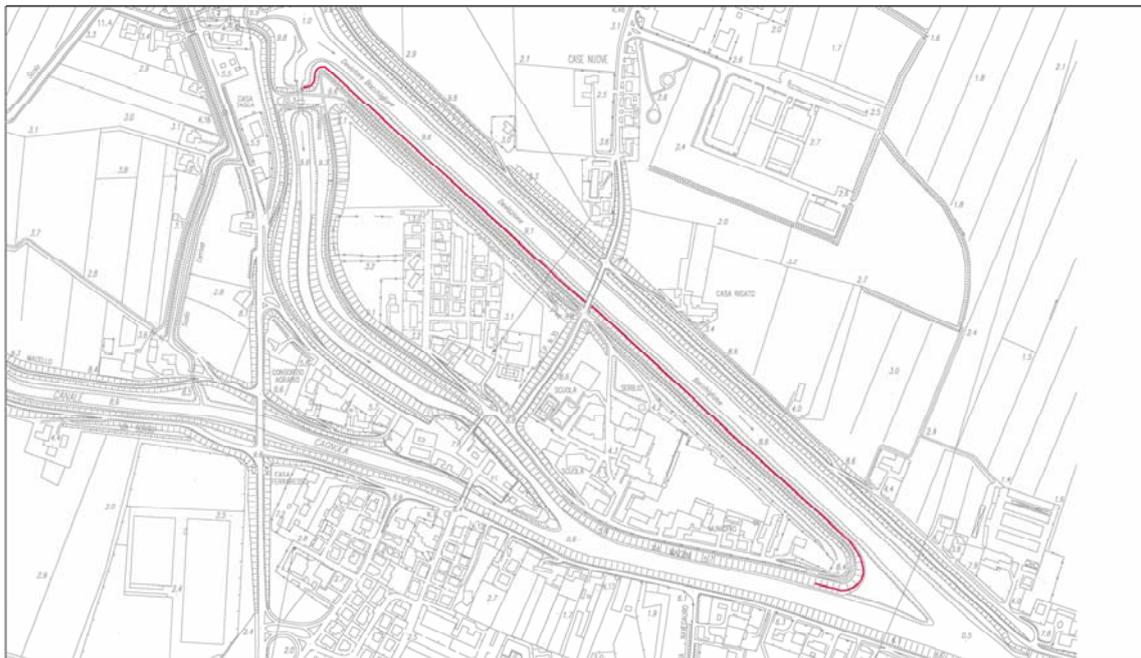




REGIONE DEL VENETO

giunta regionale



PROGETTO DEFINITIVO CUP: H89H10001180001

DATA
31.10.2013

LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DELL'ABITATO DI BOVOLENTA (PD)
Importo complessivo €. 4.300.000

ELABORATO:
RELAZIONE IDRAULICA

Allegato N°
R3-1

PROGETTISTI:

dott. ing. Stefania Stella _____
dott. ing. Alessandra Tessarollo _____
geom. Giuseppe Capparotto _____

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

dott. ing. Tiziano Pinato _____

CONSULENZE TECNICO-SPECIALISTICHE:

prof. Paolo Salandin

colleselli & p.
INGEGNERIA GEOTECNICA

prof. Francesco Colleselli

Segreteria Regionale per l'Ambiente
U.P. Genio Civile di Padova

C.so Milano, 20 - Padova- tel. 049.8778604 - pec: protocollo.generale@pec.regione.veneto.it

REV	DATA	DESCRIZIONE	PROG. N.
			237/2013

INDICE

1.	PREMESSE	1
1.1	Generalità	1
2.	SITUAZIONE IDROGRAFICA DEL TERRITORIO INTERESSATO	2
2.1	Generalità	2
2.2	Le portate di piena a Bovolenta	3
3.	RILIEVI TOPOGRAFICI	6
3.1	I rilievi dell’Autorità di Bacino e le indagini topografiche del 2008	6
4.	RICOSTRUZIONE DEI PROFILI LIQUIDI E VERIFICA DELLE SEZIONI IDRAULICHE	11
4.1	Assunzioni nello sviluppo del calcolo	11
4.2	I franchi arginali nelle simulazioni a moto permanente: condizione corrispondente al colmo di piena nel Roncaiette	12
5.	VERIFICHE DEI PROCESSI FILTRANTI NELL’ARGINATURA DEL DEVIATORE DEL BACCHIGLIONE	14
5.1	Ipotesi alla base del calcolo e sviluppo delle verifiche	20
6.	CONCLUSIONI	27
	BIBLIOGRAFIA	29
	APPENDICE: geometria delle sezioni utilizzate nel calcolo dei profili idraulici	30

1. PREMESSE

1.1 Generalità.

Il nodo idraulico di Bovolenta nasce dall'immissione del canale Cagnola nel tratto del fiume Bacchiglione che a valle di Padova assume il nome di canale Roncaiette, racchiudendo il centro storico in uno stretto cuneo che nella parte terminale immediatamente prima della confluenza è conosciuto come la "pontara". Nel 1974 è stato aperto il canale deviatore e ad esso hanno fatto seguito la realizzazione di un manufatto d'interclusione a monte negli anni 1989 – 1990 e quella di un manufatto d'interclusione a valle, conclusasi di recente nel 2008.

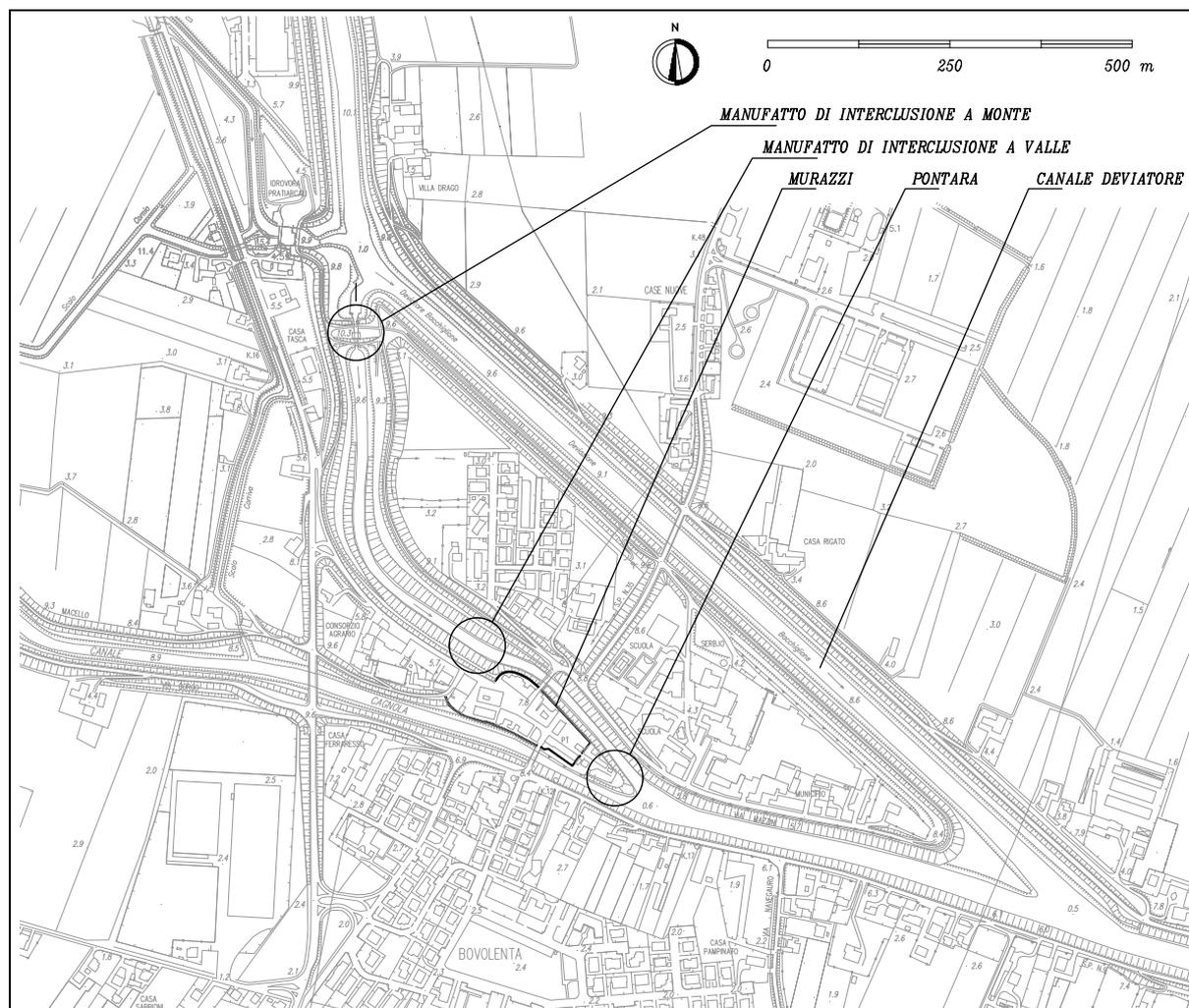


Fig. 1: planimetria del nodo idraulico di Bovolenta.

Il centro storico compreso fra Cagnola e Roncaiette è difeso da "murazzi", bastioni in sasso e mattoni realizzati a più riprese nella seconda metà dell'ottocento. I murazzi escludono dalla difesa la "pontara", alla quale è possibile accedere attraverso un varco panconabile. Talvolta vengono chiamati murazzi anche i manufatti a ridosso dell'argine sinistro del vecchio alveo del Roncaiette lungo via Mazzini.

Di come l'articolato sistema di arginature e murazzi, deviatore ed opere di interclusione possano garantire la difesa dell'abitato di Bovolenta dalle piene è oggetto della presente relazione. Non verranno invece trattate le ragioni – lungamente discusse in altre sedi – che hanno portato all'attuale stato delle opere, rimandando per un approfondimento ad altri lavori

(si veda ad esempio Gomiero, 2002) in cui è con particolare attenzione analizzata l'interessante evoluzione storica dell'abitato nel rapporto con i fiumi e il territorio circostante.

2. SITUAZIONE IDROGRAFICA DEL TERRITORIO INTERESSATO

2.1 Generalità.

L'abitato di Bovolenta è situato all'immissione del canale Cagnola nel canale Roncaiette, circa 16 km a sud di Padova. Entrambi i corsi d'acqua s'inseriscono nel complesso ed articolato sistema idrografico del Bacchiglione.

Il Bacchiglione propriamente detto nasce con il nome di Bacchiglioncello da un sistema di risorgive nella frazione Novoledo del comune di Villaverla. Dopo un breve percorso (circa 3 km), ricevuti in destra gli apporti dell'Igna e del Timonchio, assunto il nome di Bacchiglione si dirige verso Vicenza. Dopo la città riceve in destra il Retrone e prosegue in direzione Sud - Est verso Longare, dove giunge avendo ricevuto subito prima le acque del sistema Astico - Tesina in sinistra. Dall'abitato di Longare il fiume prosegue verso Padova, dove a seguito dei numerosi interventi operati dall'uomo, il suo percorso si fraziona e viene ad interagire con le acque del fiume Brenta. Ed è proprio a valle di Padova che il Bacchiglione, assunto il nome di Roncaiette si dirige a Sud verso l'abitato di Bovolenta, dopo il quale, deviando verso Est - Sud Est con il nome canale di Pontelongo si congiunge con il Brenta e sfocia nel Mare Adriatico pochi chilometri sotto Chioggia (Figura 2).

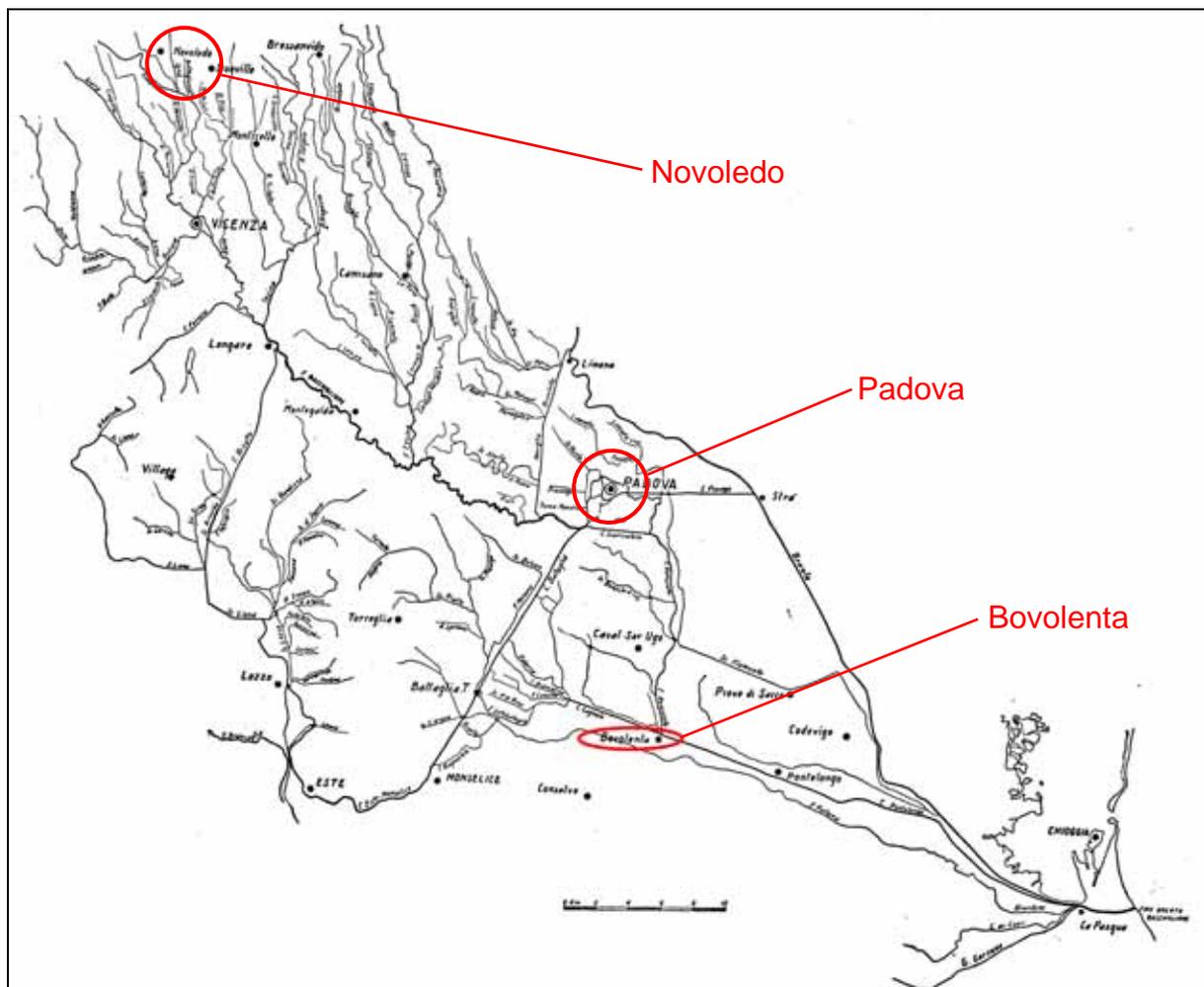


Fig. 2: schema del sistema idrografico del Bacchiglione da Novoledo allo sbocco in mare.

2.2 Le portate di piena a Bovolenta

I deflussi di piena nel nodo di Bovolenta sono strettamente legati ai problemi della difesa idraulica della città di Padova e a come vengano ripartiti i contributi del Bacchiglione nei nodi idraulici del Bassanello e di Voltabarozzo.

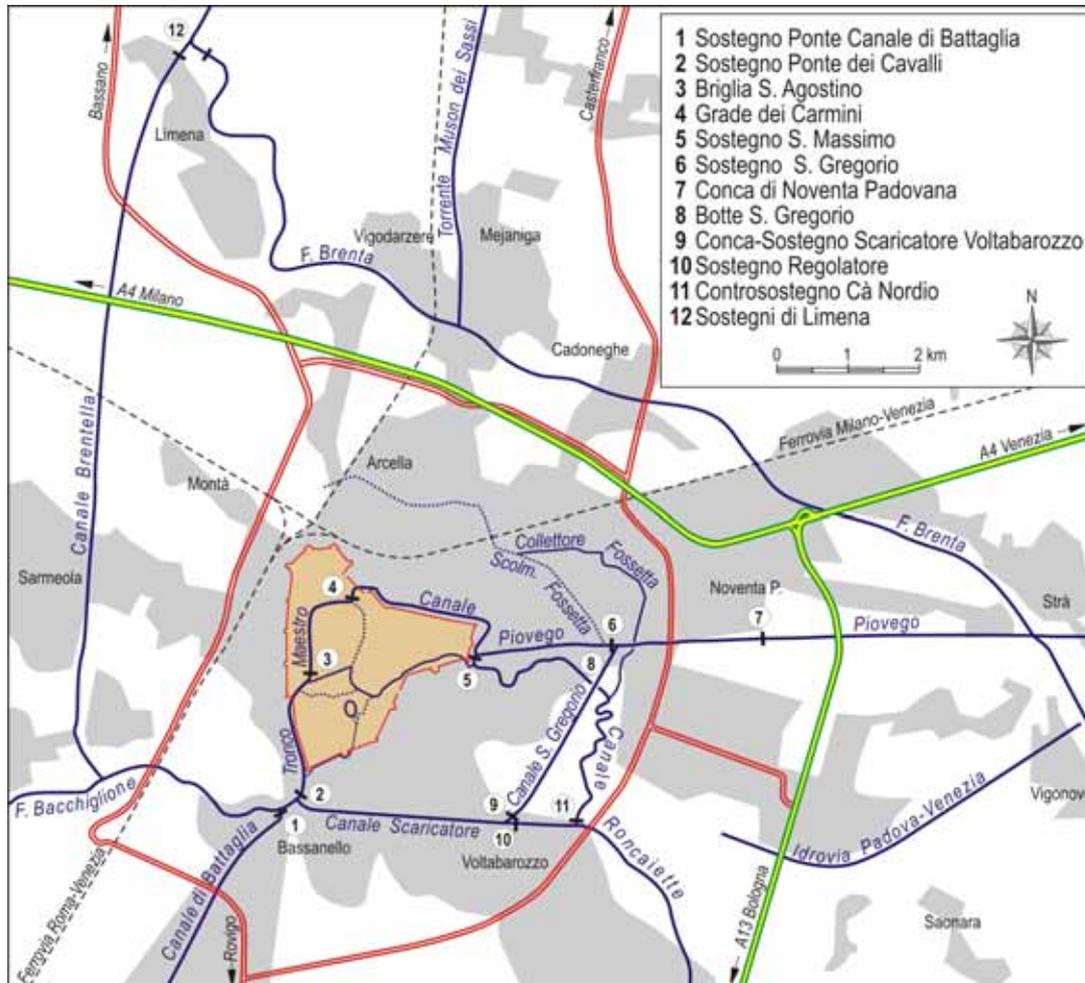


Fig. 3: rete fluviale della zona circostante la città di Padova.

A seguito delle piene accadute intorno al 1820, il Governo Lombardo Veneto si rivolse al famoso idraulico *V. Fossombroni* per avere un progetto di sistemazione dei fiumi Bacchiglione e Brenta anche per ridurre la vulnerabilità della città di Padova: ad assistere il quale fu delegato il non meno famoso *P. Paleocapa*.

Nel 1835 fu presentato il celebre piano di sistemazione del Brenta a valle di Strà; e realizzati la cosiddetta Cunetta (iniziata nel 1817 e aperta nel 1858), e, più vicino a Padova, il Canale scaricatore dal Bassanello a Cà Nordio lungo 4 km e aperto nel 1863; e anche il taglio di S. Massimo fra il Piovego e il Roncaille (1857), così da dare altro scarico al Bacchiglione.

Tra il 1863 e il 1874 furono costruiti al Bassanello tre sostegni: all'origine del Canale di Battaglia, all'origine del Canale scaricatore e uno regolatore del Bacchiglione; chiudendo quest'ultimo si sarebbero dovute escludere le piene dalla città.

L'aver sottostimato la piena del Bacchiglione (280 m³/s contro l'attuale valutazione di circa 1000 m³/s) rese non sempre possibile l'esclusione delle piene dalla città; sono memorabili le piene del 1882 e del 1905.

Una riprogettazione delle opere fu eseguita da *L. Gasparini* nel 1922, mantenendo sostanzialmente lo schema *Fossombroni-Paleocapa*.

Il concetto fondamentale del progetto di *L. Gasparini* (1922) riprese le direttive del precedente piano riassumibili nell'esigenza che tutti i canali interni alla città di Padova dovessero essere isolati da eventuali piene del Bacchiglione. Il proposito fu ottenuto allacciando esternamente alla città, con un nuovo canale, il Bacchiglione e il Piovego: con il duplice scopo di sostituire sia il Tronco Maestro, nella sua funzione di adduttore di portata al Piovego, sia il Naviglio Interno, in quella di collegamento navigabile. Per il nuovo canale, che si stacca dallo Scaricatore con un alveo a tracciato quasi rettilineo per entrare nel Piovego presso S. Gregorio, si rese chiaramente necessario un allargamento del Canale Scaricatore dal Bassanello al nodo di Voltabarozzo. Il sistema di difesa dalle piene del Bacchiglione nelle zone attigue a Padova venne così attuato attraverso un canale diversivo composto da due tratti:

- il primo, o Scaricatore, di sezione ampliata, raccoglie le acque di piena del Bacchiglione al Bassanello, le convoglia a sud di Padova fino al nuovo sostegno di Voltabarozzo, dove si provvede alla ripartizione delle portate tra il Roncaietto e il Canale nuovo (detto di S. Gregorio);
- il Canale nuovo che convoglia le sue acque nel Piovego e da qui nel Brenta.

I canali, realizzati con sezione trapezia di terra, hanno banchine interne a quota conveniente sopra i livelli normali. Per i due sostegni di Voltabarozzo furono utilizzate paratoie Stoney, manovrate da soprastante galleria con quattro luci al sostegno regolatore e due presso quello scaricatore all'incile del Canale di S. Gregorio.

Il Canale scaricatore viene a contenere, in caso di piena, circa 800 m³/s, con una quota al Bassanello di 14,55 m s.m.m. Con una pendenza di circa 0,3‰ tra Bassanello e Tencarola, esso raggiunge al massimo una quota di 13,50 m s.m.m. a Voltabarozzo. La massima portata che, in tali condizioni, si potrebbe deviare nel Canale di S. Gregorio raggiungerebbe 250 m³/s, risultando di 550 m³/s la portata che prosegue per il Roncaietto. Alcune più recenti valutazioni (D'Alpaos, 2006) stimano invece in poco meno di 200 m³/s la portata che è possibile convogliare nel Brenta, con una differenza da attribuire al Roncaietto di 600 m³/s. Nello stesso lavoro è però messo in evidenza come il limite della capacità di portata dello stesso corso d'acqua a valle di Voltabarozzo sia non superiore a circa 500 m³/s.

A fronte di tali stime, legate al sistema delle opere realizzate per la difesa della Città di Padova, l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione definiva fino a qualche anno fa (Salandin, 2009) in circa 670 m³/s la portata centenaria del Bacchiglione a Voltabarozzo, valore che si riduce a 520 m³/s alla confluenza con il fiume Brenta circa 41 km a valle. Tali valori, per un tempo di ritorno $T_r=50$ anni, diventano rispettivamente a 620 e 460 m³/s (Figura 4).

A seguito dei recenti eventi di piena che hanno interessato il bacino del fiume Bacchiglione, la stessa Autorità di Bacino sta provvedendo alla rideterminazione delle portate di piena nelle diverse sezioni del corso d'acqua considerando anche eventuali sfiori dovuti ad insufficienza arginale, pur non tenendo conto degli effetti di laminazione che si potrebbero avere con la realizzazione del sistema di interventi previsti nel "Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico" (Commissario Delegato, 2011). Il nuovo andamento dei idrogrammi di piena a monte e a valle dell'abitato di Bovolenta così ottenuti sono riportati nella Figura 5 per i tempi di ritorno $T_r=30$, 100 e 300 anni.

Dalle nuove elaborazioni risulta evidente come il valore al colmo risulti sostanzialmente lo stesso - 500 e 520 m³/s rispettivamente a monte e a valle dell'abitato di Bovolenta - per i tre tempi di ritorno considerati, mentre viene a modificarsi la durata dello stato di massima piena che, a valle di Bovolenta, risulta di circa 1,5 giorni per $T_r=30$ anni, 2 giorni per $T_r=100$ anni e, addirittura, 4-5 giorni per $T_r=300$ anni.

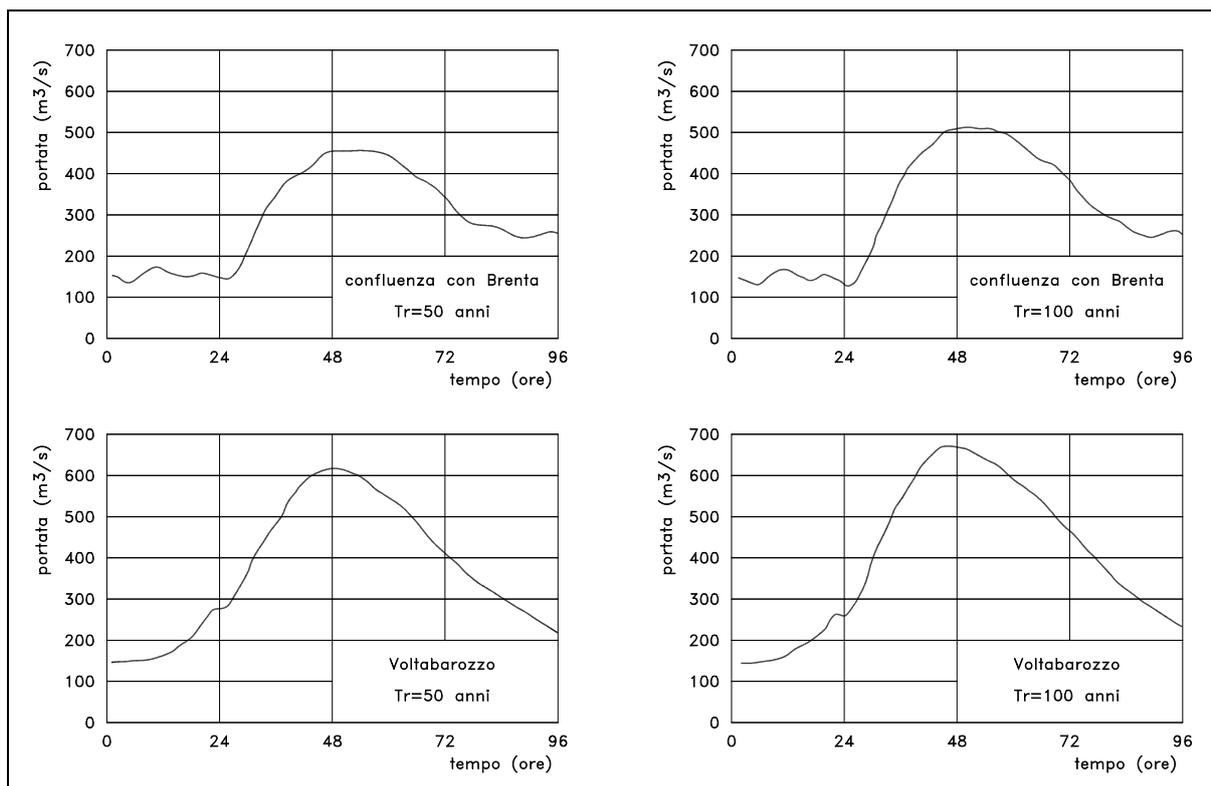


Fig. 4: onde di piena simulate del Bacchiglione – Roncaiette per $Tr = 50$ e 100 anni nel nodo di Voltabarozzo e alla confluenza con il Brenta (elaborazioni Autorità di Bacino antecedenti l'evento del 2010).

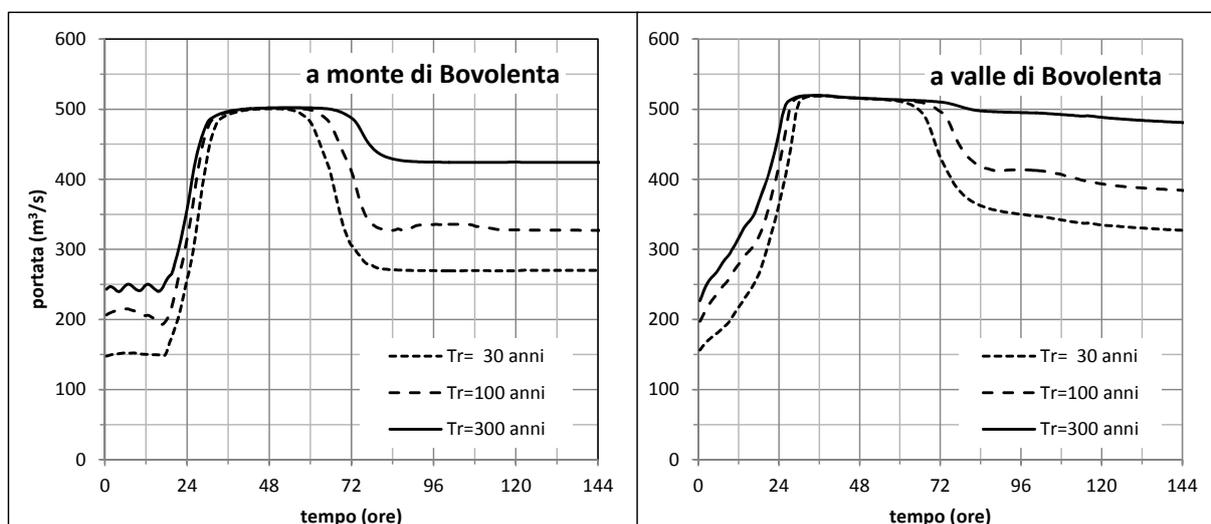


Fig. 5: onde di piena del Roncaiette simulate per $Tr = 30$, 100 e 300 anni a monte e a valle dell'abitato di Bovolenta (elaborazioni posteriori l'evento del 2010 - fonte Autorità di Bacino).

Di più incerta valutazione è il contributo che può essere offerto dal Vigenzone-Cagnola.

Il bacino Patriarcati ha una superficie di circa 100 km^2 , di cui un 23% a scolo meccanico, e ad esso è attribuibile un coefficiente udometrico di piena centenaria pari a $10 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$. Fissato da letteratura per $Tr=15$ anni un valore cautelativo di $3-4 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$ nel caso di bonifiche a scolo parzialmente meccanico, il colmo della piena del Cagnola è stimabile in circa 60 , 100 e $130 \text{ m}^3/\text{s}$ per tempi di ritorno rispettivamente pari a 30 , 100 e 300 anni.

Resta comunque da considerare l'eventuale sfasamento fra il colmo della piena del Roncaiette e del Cagnola, che comporta una opportuna riduzione in una analisi a moto permanente. Il tempo di corrivazione del bacino Patriarcati è certamente ben inferiore alle 24 ore: un ordine di grandezza è ottenibile dall'applicazione della formula di Turazza (Da Deppo et al., 2013) che restituisce un valore di circa 11 ore, venendosi quindi quasi ad esaurire il contributo del Cagnola prima del raggiungimento del colmo nel Roncaiette. Cautelative considerazioni sulla forma dell'idrogramma suggeriscono di assumere una riduzione sui colmi di piena del Cagnola circa pari al 50%, venendo di conseguenza a considerare il suo contributo in corrispondenza al picco di piena del Roncaiette pari a 30, 50 e 65 m³/s per Tr=30, 100 e 300 anni rispettivamente.

Tale contributo del Cagnola è stato sommato ai valori di portata stimati a monte dell'abitato di Bovolenta dall'Autorità di Bacino, risultando quindi per il nodo la distribuzione di portate illustrate in Tabella I.

Tab. I: valori di portata (m³/s) da utilizzare nelle simulazioni a moto permanente in corrispondenza al nodo di Bovolenta per il fiume Bacchiglione – Roncaiette e il canale Cagnola.

istante	corso d'acqua	Tempo di ritorno (anni)		
		30	100	300
al colmo del Cagnola	Cagnola	60	100	130
	Roncaiette monte	150	200	250
	Roncaiette valle	210	300	380
al colmo del Roncaiette	Cagnola	30	50	65
	Roncaiette monte	500	500	500
	Roncaiette valle	530	550	565

I valori di portata così determinati nel Roncaiette a valle dell'abitato di Bovolenta, risultano leggermente superiori a quelli al colmo determinati dall'Autorità di Bacino prima e dopo l'evento del 2010. Al tempo stesso sono di poco inferiori quanto riportato nella Piano del Commissario Delegato, dove è indicata in 600 m³/s la portata che s'intende far transitare in condizioni di sicurezza mediante gli interventi previsti dal Piano stesso. E' comunque da sottolineare come nel predetto Piano il valore al colmo di piena del canale Cagnola sia stato cautelativamente assunto contemporaneo al colmo di piena del Roncaiette, situazione che, dalle simulazioni dell'Autorità di Bacino e dalle precedenti considerazioni sui tempi di corrivazione del bacino Patriarcati, appare comunque alquanto improbabile.

Resta invece confermato e eguale a quanto previsto nel Piano e ai valori riportati in Figura 5, il colmo della piena a monte dell'abitato di Bovolenta, assunto per ogni tempo di ritorno pari 500 m³/s e corrispondente al massimo che il tratto del Bacchiglione subito a valle di Voltabarozzo è in grado di far defluire senza tracimare le arginature (D'Alpaos, 2006).

I valori di portata riportati in Tabella I saranno utilizzati nei successivi paragrafi della presente relazione per ricostruire a moto permanente i profili di piena nei corsi d'acqua attorno la città di Bovolenta al fine di determinare le massime quote che vi si instaurano.

3. RILIEVI TOPOGRAFICI

3.1 I rilievi dell'Autorità di Bacino e le indagini topografiche del 2008.

Per la modellazione idraulica dei profili a moto permanente che s'instaurano nel nodo di Bovolenta, si sono utilizzati due diversi supporti cartografici.

Questo principalmente per la necessità inserire lo studio in quelle che erano le analisi precedentemente sviluppate al fine di poter fare fondate assunzioni sulla condizione al contorno a valle. Si sono utilizzati a tale scopo i rilievi disponibili presso l'Autorità di Bacino sviluppati in relazione allo "Studio finalizzato alla realizzazione del Piano di Bacino – Sicurezza idraulica aste principali, 1994" la cui posizione planimetrica è illustrata in Figura 6. Tali sezioni – in tutto 16 – coprono un tratto del canale Roncaietto dello sviluppo di circa 10 km, a partire dall'ultima sezione a valle BA019813 situata subito a monte dell'abitato di Pontelongo, fino alla prima sezione di monte BA029911. Con riferimento al nodo idraulico oggetto del presente studio tali sezioni si localizzano rispettivamente 6 km a valle e 2 km a monte.

Allo scopo di integrare le informazioni topografiche, il Comune di Bovolenta ha commissionato un rilievo di dettaglio che è stato realizzato nel maggio 2008 (Salandin, 2009). Come illustrato in Figura 7, nel 2008 sono state rilevate in tutto ulteriori 16 sezioni relative al canale deviatore, al vecchio argine del Roncaietto e al Cagnola.

Per quanto a conoscenza dello scrivente, dal 2008 ad oggi non è stata sviluppata nessuna ulteriore campagna topografica nell'area in esame e per tale ragione il supporto cartografico adottato per le simulazioni è lo stesso già utilizzato in Salandin (2009).

Anche in questa occasione alcune delle sezioni rilevate nel 2008 (indicate a tratteggio nella stessa Figura 7) sono state fittiziamente raddoppiate per poter convenientemente descrivere i manufatti di attraversamento che interessano il nodo idraulico, ovvero il ponte della S.P. 35 sul canale deviatore compreso fra le sezioni Ba06 e Ba06-bis, il "ponte azzurro" sull'alveo vecchio del Roncaietto compreso fra le sezioni Bv01 e Bv01-bis, e, sul canale Cagnola, il ponte ad arco di via Roma compreso fra le sezioni Ba06 e Ba06-bis e il ponte di via Padova compreso fra le sezioni Ca05 e Ca05-bis.

Nella stessa Figura 7 sono riportate anche le posizioni planimetriche e l'ingombro dei manufatti d'intercettazione di monte e di valle, oltre alle sezioni BA026052, BA026462 e BA027540, così come dedotte dal rilievo dell'Autorità di Bacino.

Il confronto fra le sezioni BA026052 e Ba01 distanti fra loro circa 15 m, assicurano che i due diversi rilievi possono essere assunti congruenti, mostrando differenze che risultano al massimo di 5 cm fra le quote arginali rilevate.

Oltre alle sezioni, nel maggio 2008 sono stati rilevate in dettaglio le quote dei profili arginali e del fondo alveo (con esclusione, per le quote d'alveo, del tratto compreso fra i due manufatti d'intercettazione in cui non è stato possibile varare il gommone), ottenendo i risultati riportati nella planimetria di Figura 8.

Le geometrie delle interclusioni di monte e di valle sono state ricavate dai disegni di progetto degli stessi manufatti e riprodotte su modello idraulico come illustrato nelle Figure 9 e 10 rispettivamente.

Il manufatto d'interclusione di monte è caratterizzato da una luce di $4,0 \times 4,5 \text{ m}^2$, con quota del fondo e dell'intradosso rispettivamente pari a -0,20 e 3,80 m s.m.m.



Fig. 6: disposizione planimetrica delle sezioni fornite dall'Autorità di Bacino (Salandin, 2009).

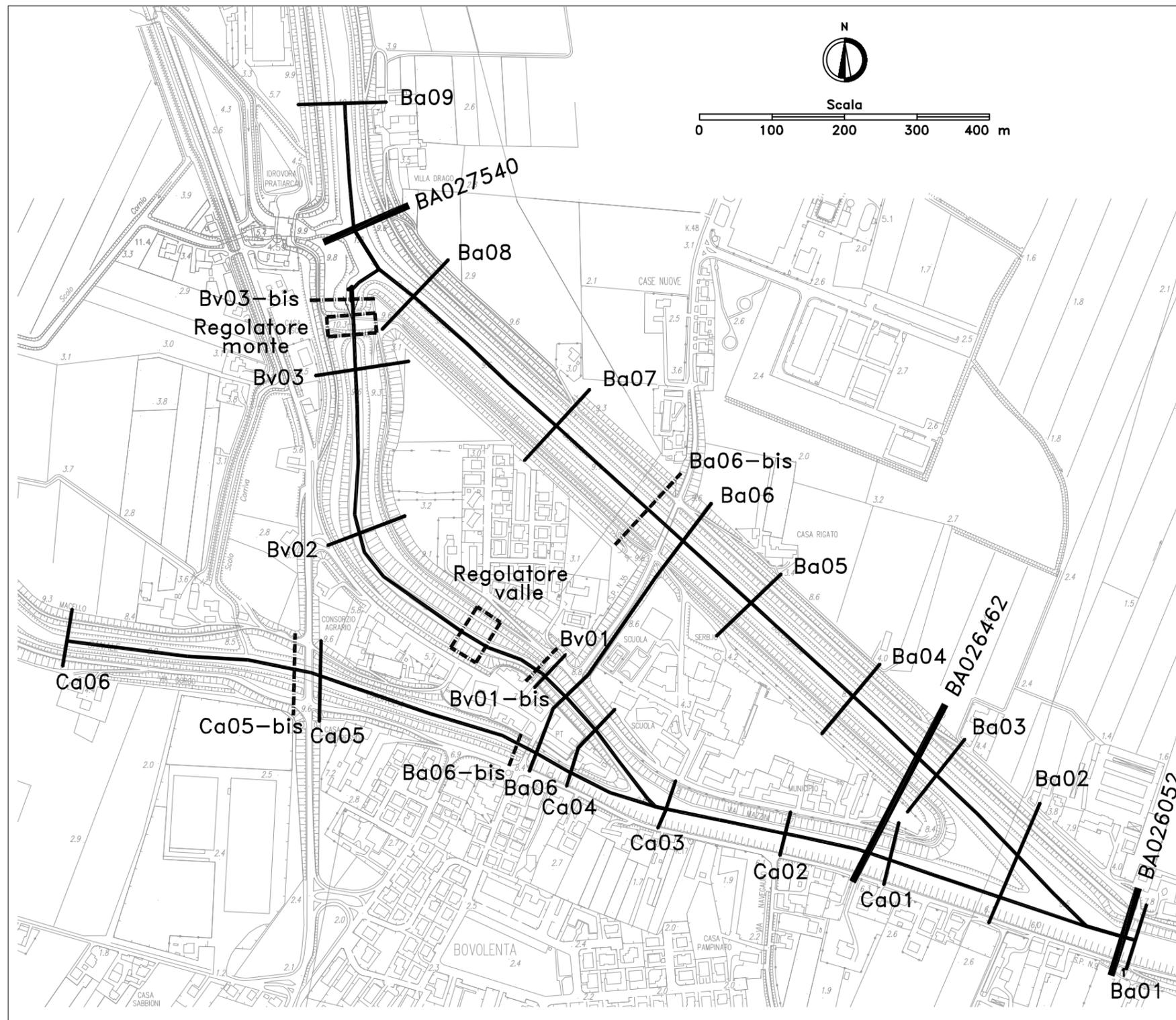


Fig. 7: planimetria con indicati i rilievi topografici di dettaglio del maggio 2008 assieme ad alcune sezioni del vecchio rilievo. Sono indicate a tratteggio anche le sezioni fittizie raddoppiate per la modellazione dei ponti ed i manufatti d'intercettazione di monte e di valle (Salandin, 2009).

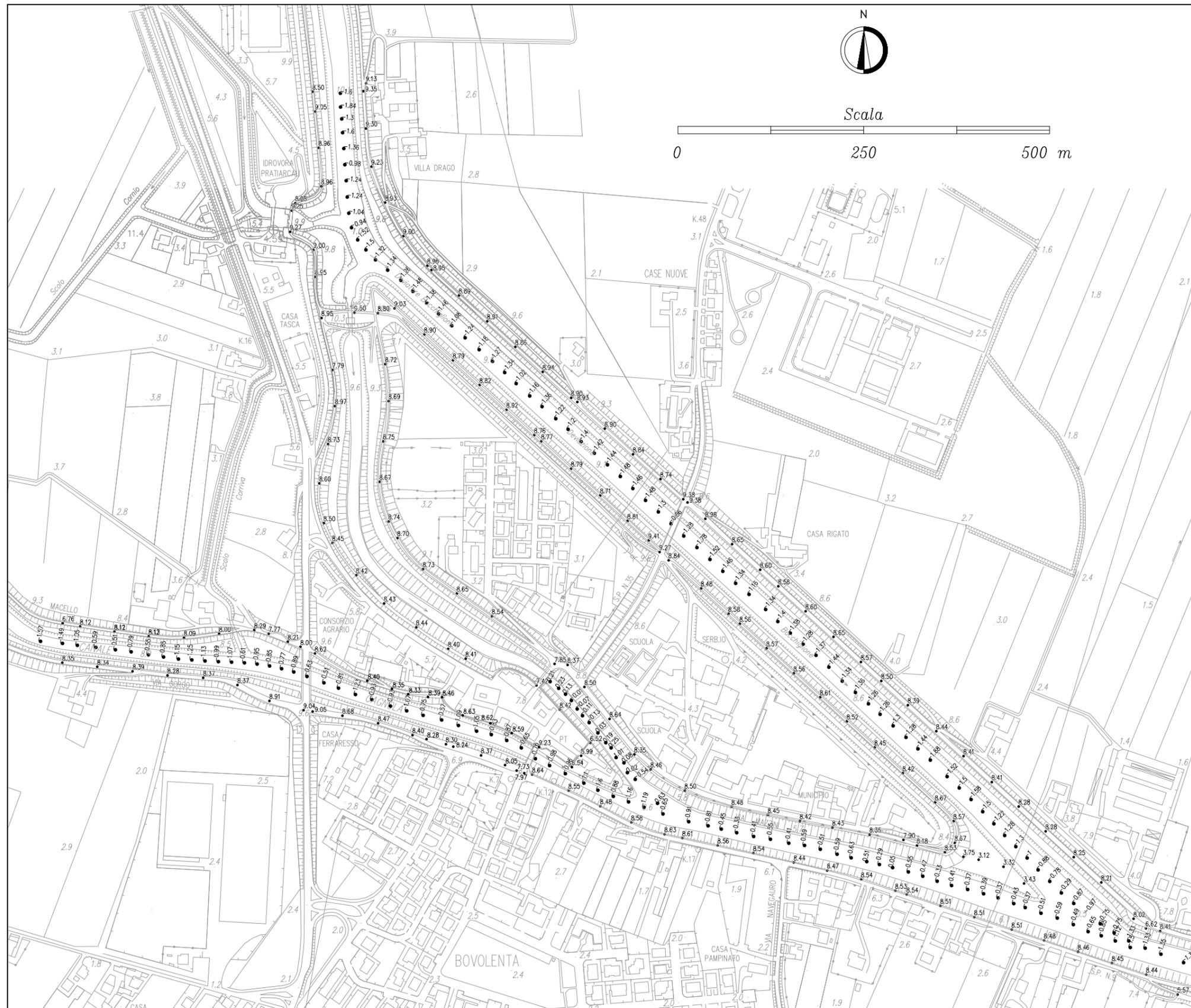


Fig. 8 – Quote di dettaglio relative alle arginature e al fondo.

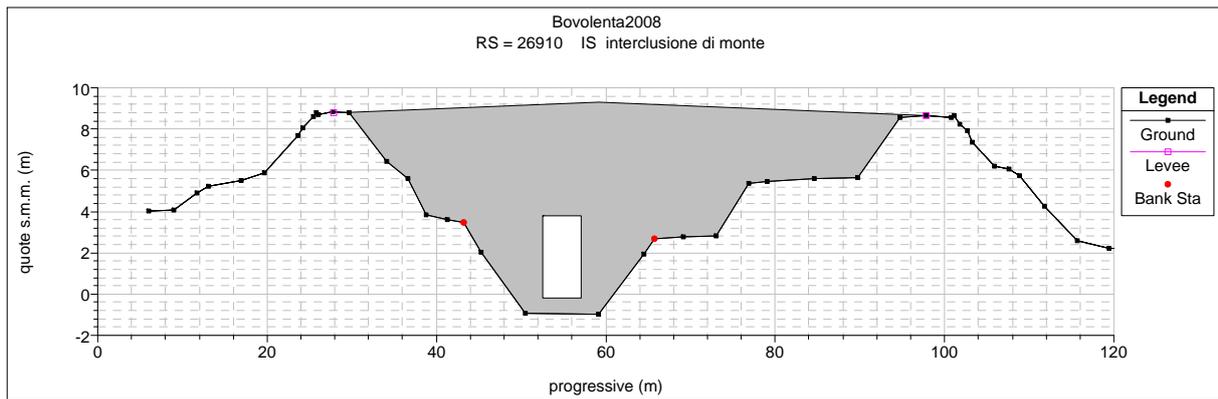


Fig. 9: vista da valle della sezione in corrispondenza al manufatto d'interclusione di monte (Salandin, 2009).

Il deflusso attraverso il manufatto d'interclusione di valle avviene attraverso due luci ciascuna delle dimensioni $2,20 \times 4,00 \text{ m}^2$, con quota del fondo e dell'intradosso rispettivamente pari a $-0,16$ e $2,04 \text{ m s.m.m.}$

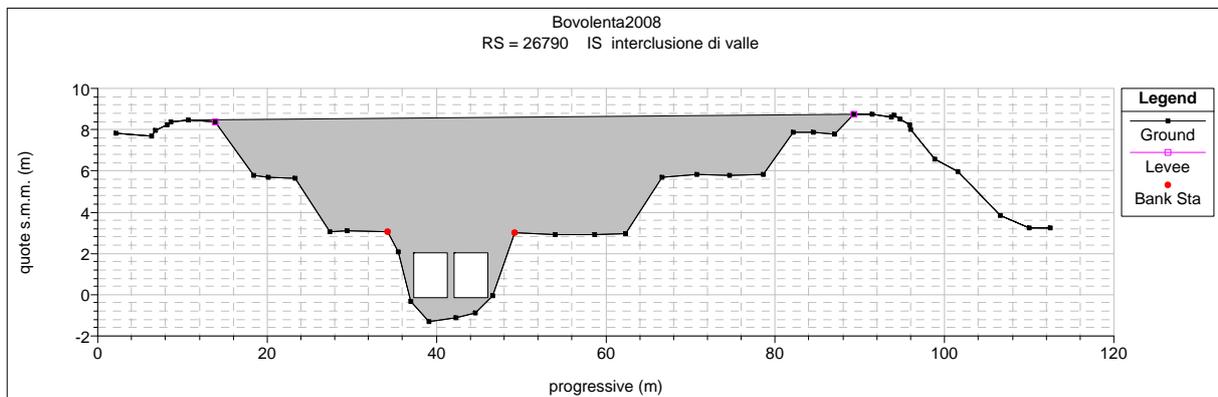


Fig. 10: vista da valle della sezione in corrispondenza al manufatto d'interclusione di valle (Salandin, 2009).

Il deflusso attraverso il manufatto d'interclusione di valle avviene attraverso due luci ciascuna delle dimensioni $2,20 \times 4,00 \text{ m}^2$, con quota del fondo e dell'intradosso rispettivamente pari a $-0,16$ e $2,04 \text{ m s.m.m.}$

4. RICOSTRUZIONE DEI PROFILI LIQUIDI E VERIFICA DELLE SEZIONI IDRAULICHE

4.1 Assunzioni nello sviluppo del calcolo.

Il profilo idraulico relativo al nodo di Bovolenta è stato ricostruito a moto permanente utilizzando il modello unidimensionale HEC-RAS dell'U.S. Corps of Engineering versione 4.1. E' appena il caso di ricordare che la condizione a moto permanente risulta conservativa nei confronti dei livelli liquidi ottenuti, corrispondendo al permanere dei valori di portata al colmo per un tempo estremamente lungo, situazione che – nel caso in esame – è assolutamente coerente con l'andamento temporale delle piene.

Per descrivere la geometria d'alveo si sono utilizzate le sezioni dedotte dai rilievi topografici discussi nel precedente paragrafo e la cui posizione planimetrica è riportata nelle Figure 6 e 7. Le stesse sezioni sono graficamente rappresentate in Appendice.

La scabrezza d'alveo è stata dedotta utilizzando il metodo di Cowan (Arcement and Schneider, 1989), giungendo a determinare coefficienti di Gauckler – Strickler K_s compresi fra 30 e 35 $m^{1/3}/s$ per l'alveo centrale e fra 25 e 30 $m^{1/3}/s$ per le golene. Tali valori relativamente limitati sono principalmente dovuti all'abbondante vegetazione arborea che in molti punti dalle sponde dei corsi d'acqua si protende verso l'alveo centrale, potendo creare non pochi disturbi alla corrente. Non essendo possibile sviluppare uno specifico processo di taratura del modello per mancanza di livelli misurati certi in corrispondenza di portate note, si è scelto di attenersi ai valori più bassi del coefficiente di Gauckler – Strickler ($K_s = 30 m^{1/3}/s$ per l'alveo centrale e $K_s = 25 m^{1/3}/s$ per le golene). In corrispondenza dell'abitato di Bovolenta tale assunzione comporta un andamento dei profili liquidi mediamente superiore di 20 cm rispetto ai risultati ottenibili con i con i valori più elevati di K_s .

Inoltre, in relazione ai manufatti d'interclusione di monte e di valle, si sono considerate tre diverse ipotesi: aperto a monte e a valle, aperto a monte e chiuso a valle; chiuso a monte e aperto a valle. Tale approccio risulta senz'altro il più cautelativo nei confronti di qualsiasi situazione possa venirsi a verificare, in conseguenza, ad esempio di qualche malf funzionamento al sopravvenire della piena.

E' appena il caso di sottolineare che, per poter simulare il nodo idraulico di Bovolenta, dove le portate si suddividono fra la nuova inalveazione a nord dell'abitato e il vecchio alveo a sud su cui s'innesta il canale Cagnola, e non essendo possibile sviluppare il calcolo con portata nulla in un qualsiasi tratto in esame, la chiusura del manufatto d'interclusione di monte o di valle è stata fatta limitando l'apertura delle paratoie a 5 – 10 centimetri, garantendo quindi il deflusso di circa $0,7 m^3/s$ nel vecchio alveo a sud dell'abitato prima della confluenza con il canale Cagnola.

Quale condizione al contorno a valle nei casi che considerano l'istante di colmo di piena del Roncaietto, si è assunto per il livello liquido la quota 7,16 m s.m.m. in corrispondenza alla sezione BA019813 in tutti i casi esaminati. Tale valore, scelto in accordo con le simulazioni dell'Autorità di Bacino, è di poco inferiore alla quota minima dell'argine nella stessa sezione (7,33 m s.m.m.) e rappresenta pertanto un valore cautelativo nei confronti delle eventuali condizioni di rigurgito in cui potrebbe venirsi a trovare il tratto terminale del Roncaietto, condizioni di rigurgito legate alla concomitanza della piena nel Brenta e di un elevato livello in Adriatico.

4.2 I franchi arginali nelle simulazioni a moto permanente: condizione corrispondente al colmo di piena nel Roncaietto.

Sono qui considerati i livelli liquidi che si vengono a realizzare per le condizioni corrispondenti ad eventi con tempo di ritorno $T_r=30, 100$ e 300 anni nell'istante in cui si verifica il colmo di piena nel Roncaietto (si veda Tabella I). Tale situazione rappresenta infatti la condizione certamente più gravosa in termini di quote liquide per quanto riguarda in diversivo del Roncaietto, principale oggetto del presente studio.

Stante che la condizione al contorno è sempre pari alla quota liquida 7,16 m s.m.m. assunta nella sezione BA019813, la ripartizione delle portate nel nodo idraulico di Bovolenta ottenuta nelle diverse simulazioni è calcolata di caso in caso. Nel nodo immediatamente a monte dell'abitato di Bovolenta, l'intera portata che proviene dal Roncaietto viene suddivisa fra il deviatore e il vecchio alveo in funzione delle perdite di carico che si realizzano nei due diversi rami, stante il fatto che quando essi si ricongiungono a valle il livello dell'energia deve essere di necessità lo stesso. Il risultato della procedura iterativa sviluppata nelle diverse simulazioni è sinteticamente riassunto nel seguito.

CASO 1.A: Tr=30 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=479,9 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=20,1 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=50,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 1.B: Tr=30 anni, manufatti d'interclusione: chiuso a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=30,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 1.C: Tr=30 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, chiuso a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=30,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 2.A: Tr=100 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=480,2 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=19,8 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=69,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 2.B: Tr=100 anni, manufatti d'interclusione: chiuso a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=50,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 2.C: Tr=100 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, chiuso a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=50,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 3.A: Tr=300 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=480,0 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=20,0 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=85,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 3.B: Tr=300 anni, manufatti d'interclusione: chiuso a monte, aperto a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=65,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

CASO 3.C: Tr=300 anni, manufatti d'interclusione: aperto a monte, chiuso a valle

- portata nel diversivo del Roncaiette $Q=499,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette prima della confluenza con il Cagnola $Q=0,7 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata nel Roncaiette dopo la confluenza con il Cagnola $Q=65,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

In Tabella II sono riassunti i risultati delle simulazioni in termini idrometrici per tutte le sezioni del deviatore del Roncaiette e in tutti i casi analizzati.

Tab. II: risultati relativi alle sezioni del deviatore del Roncaiette in termini idrometrici. A: manufatto d'interclusione aperto a monte e a valle; B: manufatto d'interclusione

chiuso a monte, aperto a valle; C: manufatto d'interclusione aperto a monte, chiuso a valle.

sezione n.ro	quote argini (m s.m.)		CASO 1 - Tr=30 anni livello (m s.m.)			Caso 2 - Tr=100 anni livello (m s.m.)			Caso 3 - Tr=300 anni livello (m s.m.)		
	dx	sx	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ba09	9,06	9,34	8,24	8,26	8,26	8,30	8,32	8,32	8,34	8,36	8,36
BA27540	9,03	9,16	8,23	8,24	8,24	8,29	8,30	8,3	8,33	8,35	8,35
Ba08	9,03	8,95	8,20	8,21	8,21	8,26	8,27	8,27	8,31	8,32	8,32
Ba07	8,77	8,88	8,15	8,16	8,16	8,21	8,22	8,22	8,26	8,26	8,26
Ba06bis	8,72	8,98	8,13	8,14	8,14	8,19	8,20	8,20	8,24	8,24	8,24
ponte S.P. 35											
Ba06	8,72	8,98	8,11	8,11	8,11	8,17	8,17	8,17	8,22	8,22	8,22
Ba05	8,56	8,58	8,09	8,09	8,09	8,15	8,15	8,15	8,19	8,19	8,19
Ba04	8,52	8,50	8,05	8,04	8,04	8,11	8,11	8,11	8,16	8,15	8,15
BA26462	8,48	8,50	8,03	8,03	8,03	8,10	8,09	8,09	8,15	8,14	8,14
Ba03	8,67	8,43	8,02	8,02	8,02	8,09	8,08	8,08	8,13	8,13	8,13
BA26052	8,33	8,48	7,95	7,95	7,95	8,00	8,00	8,00	8,04	8,04	8,04
Ba01	8,44	8,38	7,94	7,94	7,94	7,99	7,99	7,99	8,03	8,03	8,03

La situazione con le maggiori quote idrometriche si verifica nei casi 3.B e 3.C, ovvero per il tempo di ritorno più elevato e con i manufatti d'interclusione (di monte o di valle) chiusi, In tale situazione infatti, tutta la portata attraversa il deviatore del Roncaiette.

In Tabella III sono riportati i franchi arginali minimi che ne derivano, sottolineati i valori inferiori ad 1 m e in grassetto quelli negativi (quota liquida superiore all'argine).

Tab. III: risultati relativi alle sezioni del deviatore del Roncaiette in termini idrometrici e valori del franco minimo che viene a realizzarsi nel caso 3.C: Tr=300 anni e manufatto d'interclusione aperto a monte, chiuso a valle.

sezione n.ro	quote argini (m s.m.)		CASO 3.C - Tr=300 anni livello franco		
	dx	sx	livello (m s.m.)	dx (m)	sx (m)
Ba09	9,06	9,34	8,36	<u>0,70</u>	0,98
BA27540	9,03	9,16	8,35	<u>0,68</u>	<u>0,81</u>
Ba08	9,03	8,95	8,32	<u>0,71</u>	<u>0,63</u>
Ba07	8,77	8,88	8,26	<u>0,51</u>	<u>0,62</u>
Ba06bis	8,72	8,98	8,24	<u>0,48</u>	<u>0,74</u>
ponte S.P. 35					
Ba06	8,72	8,98	8,22	<u>0,50</u>	<u>0,76</u>
Ba05	8,56	8,58	8,19	<u>0,37</u>	<u>0,39</u>
Ba04	8,52	8,50	8,15	<u>0,37</u>	<u>0,35</u>
BA26462	8,48	8,50	8,14	<u>0,34</u>	<u>0,36</u>
Ba03	8,67	8,43	8,13	<u>0,54</u>	<u>0,30</u>
BA26052	8,33	8,48	8,04	<u>0,40</u>	<u>0,39</u>
Ba01	8,44	8,38	8,03	<u>0,43</u>	<u>0,29</u>

Come risulta evidente, il franco è mediamente pari a 0,50 m sull'intero tratto: valori più elevati sono riscontrabili nel tratto a monte del ponte sulla S.P. 35, quelli minori a valle, dove si riduce a soli 0,30 m nella sezione Ba03. In nessuna sezione è garantito il franco di 1 m.

5. VERIFICHE DEI PROCESSI FILTRANTI NELL'ARGINATURA DEL DEVIATORE DEL BACCHIGLIONE

5.1 Ipotesi alla base del calcolo e sviluppo delle verifiche

Nella ‘Relazione Geotecnica e di Calcolo’ allegata al Progetto sono riassunti i dati deducibili dalle indagini geognostiche e di laboratorio disponibili lungo il canale deviatore del Bacchiglione, la cui ubicazione è mostrata in Figura 11.

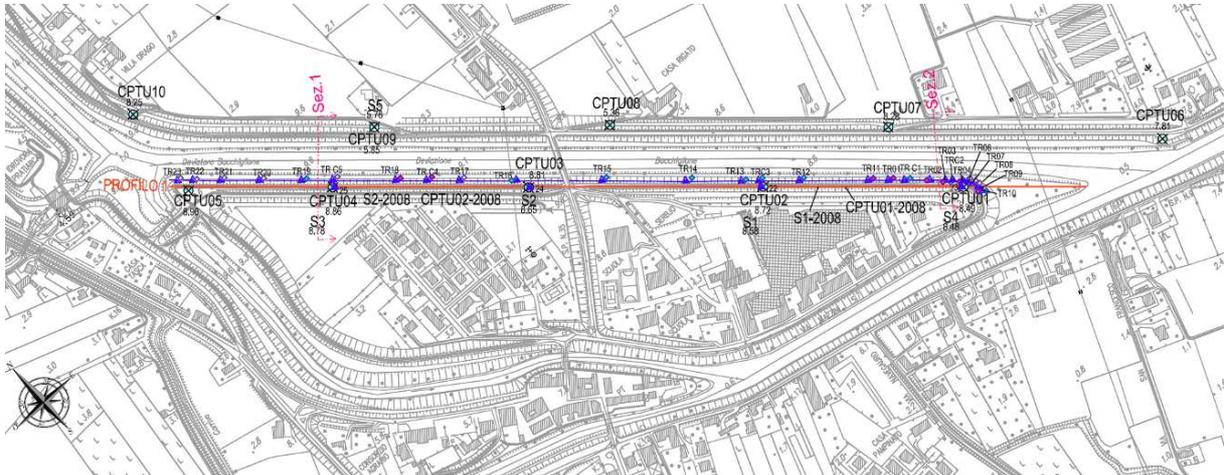


Fig. 11: ubicazione delle indagini disponibili lungo il deviatore del Bacchiglione.

Le differenze in termini di massimi livelli idrometrici fra la sezione 1 e la sezione 2 di Figura 11, corrispondenti alle sezioni Ba07 e Ba03 di Tabella II e III, sono contenute in 10 - 15 cm. Dal punto di vista dei processi filtranti la sezione Ba03 risulta però quella più sollecitata, per essere il livello idrico – assunto coincidente con la quota del terreno a lato campagna, pari a 3,90 m s.m.m. – mediamente più elevato di circa 60 – 70 cm della corrispondente quota nella sezione Ba07. Fatto, questo, confermato dal monitoraggio dei rilievi piezometrici [Relazione Conclusiva sul Monitoraggio, 2014].

Per tale motivo è parso opportuno sviluppare nel dettaglio l’analisi del processo filtrante in corrispondenza della sezione B03, per essere la verifica di tale sezione la più gravosa fra le due in esame.

In Figura 12 è riportata la geometria della sezione Ba03 e dei terreni di fondazione nello stato di fatto, mentre lo stato di progetto è descritto in Figura 13.

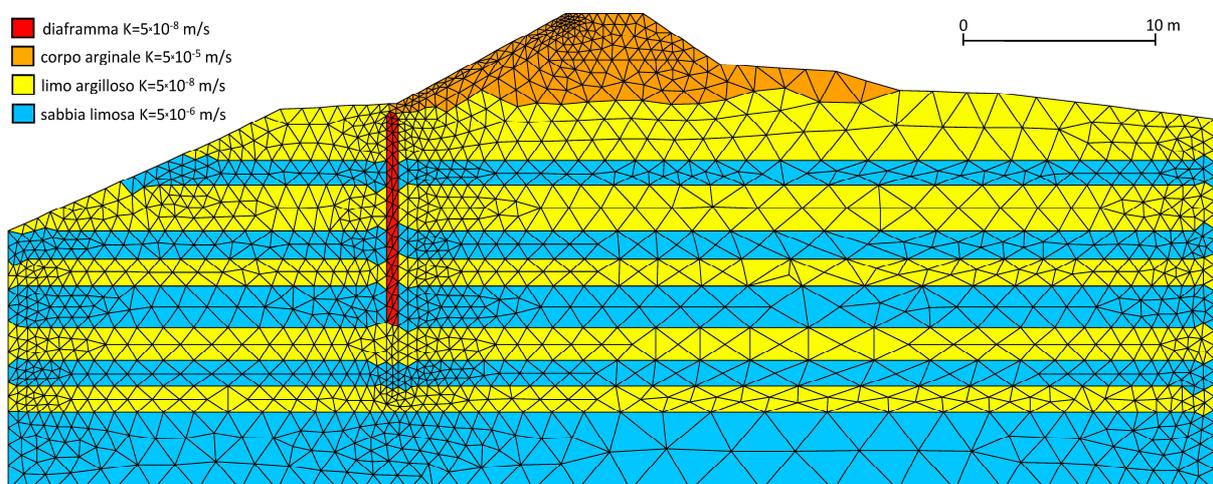


Fig. 12: schematizzazione agli elementi finiti del corpo arginale in destra del deviatore del Bacchiglione: stato di fatto.

Mentre nello stato di fatto la difesa idraulica è affidata alla presenza del solo diaframma esistente, che, a partire da 4,30-4,40 m s.m. s'infinge di circa 12 m nella banca di monte, nello stato di progetto il nuovo diaframma s'infinge fino alla quota -11,30 m s.m.m. Tale diaframma prosegue con continuità fino alla superficie della banca dove si collega con il pacchetto impermeabilizzante realizzato sul paramento di monte dell'arginatura.

Al diaframma esistente, come a quello in progetto è assegnata la conducibilità idraulica $K=5 \times 10^{-8}$ m/s.

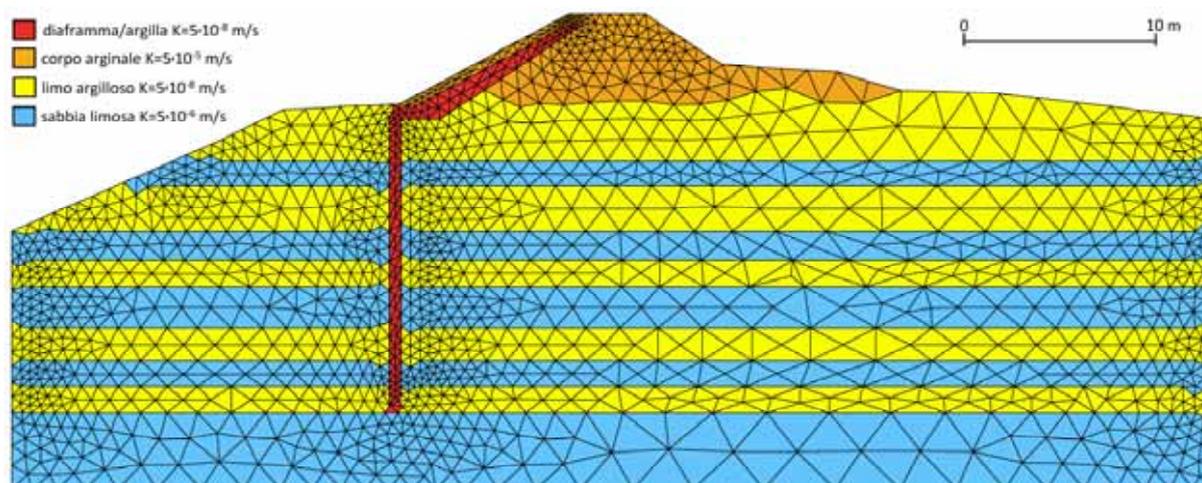


Fig. 13: schematizzazione agli elementi finiti del corpo arginale in destra del deviatore del Bacchiglione: stato di progetto.

La conducibilità idraulica del corpo arginale e dei terreni di fondazione, così come dedotta dalla già citata 'Relazione Geotecnica e di Calcolo', è riportata nelle stesse Figure 12 e 13. Tale distribuzione di conducibilità idraulica è indicata nei risultati del calcolo che seguono come 'caso A'.

Per tener conto di una eventuale non perfetta continuità spaziale degli strati di limo argilloso, i calcoli sono stati sviluppati considerando per tali strati anche un valore $K=5 \times 10^{-7}$ m/s, assumendo quindi una conducibilità idraulica di un ordine di grandezza superiore a quella desumibile dalle analisi puntuali sviluppate.

Tale cautelativa distribuzione dei valori della conducibilità idraulica è indicata nei risultati del calcolo che seguono come 'caso B'.

Tab. IV: valori di conducibilità idraulica K (m/s) dei terreni e del diaframma assunta nelle simulazioni.

diaframma / terreno	Caso A K (m/s)	Caso B K (m/s)
diaframma	5×10^{-8}	5×10^{-8}
argilla	5×10^{-8}	5×10^{-8}
corpo arginale	5×10^{-5}	5×10^{-5}
limo argilloso	5×10^{-8}	5×10^{-7}
sabbia limosa	5×10^{-6}	5×10^{-6}

Il calcolo è stato sviluppato con un codice agli elementi finiti [Salandin, 1988] che integra l'equazione di Richards, individuando la distribuzione delle pressioni all'interno dell'ammasso poroso in condizioni sature e non sature.

Le proprietà dei terreni in fase non satura (contenuto volumetrico d'acqua e conducibilità idraulica relativa in funzione della depressione), sono state assimilate a quelle dei terreni a matrice fina indicati come 'tipo 2' in Figura 14.

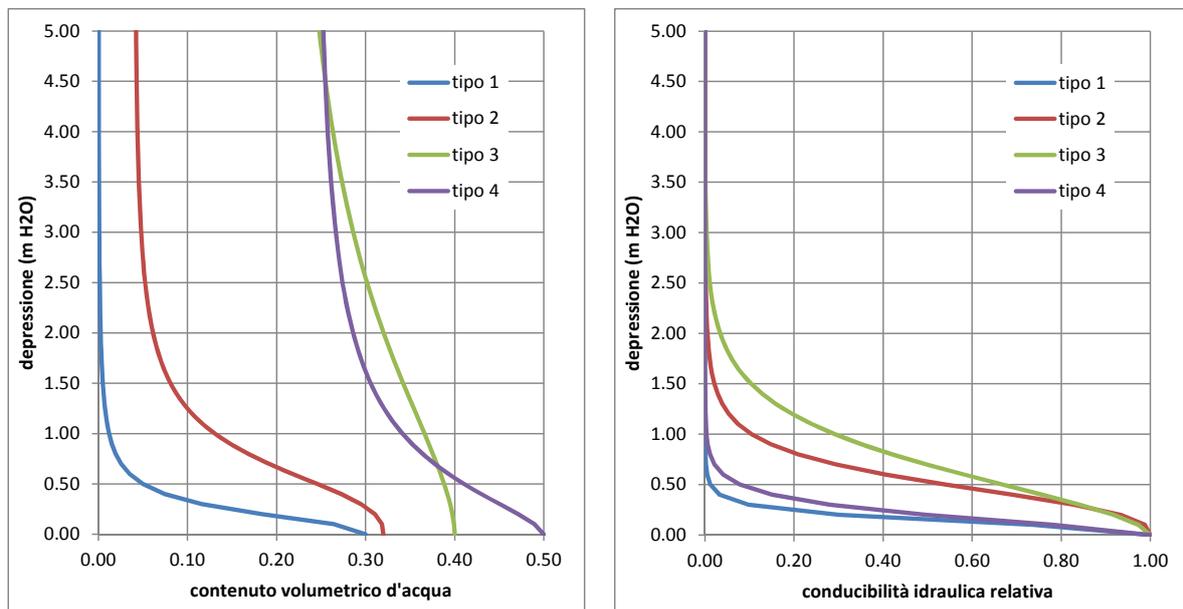


Fig. 14: andamento del contenuto volumetrico d'acqua e della conducibilità idraulica relativa in funzione della depressione in fase non satura per vari tipi di terreni.

L'evoluzione nel tempo della condizione al contorno lato fiume è riportata nelle Figure 15 e 16. Le curve sono coerenti con i livelli corrispondenti alle onde di piena simulate a valle dell'abitato di Bovolenta, e riportate in Figura 5. Per essere limitate le differenze fra i diversi tempi di ritorno considerati, nel calcolo agli elementi finiti si è cautelativamente considerato l'andamento corrispondente al caso $Tr=300$ anni.

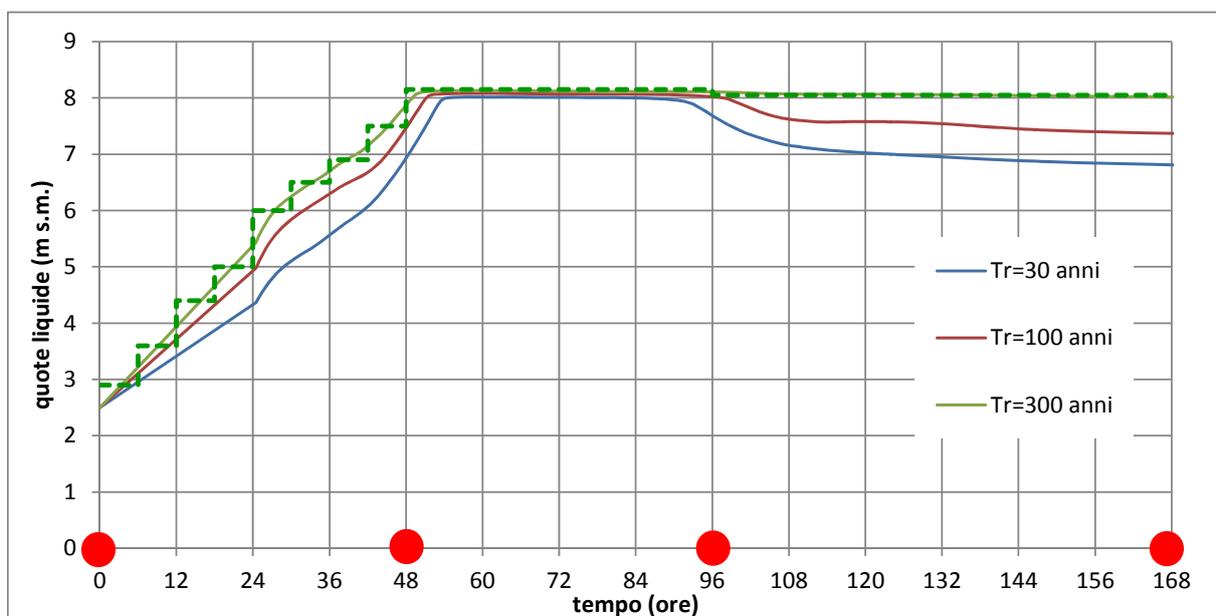


Fig. 15: andamento nel tempo dei livelli liquidi nel deviatore del Bacchiglione in corrispondenza della sezione Ba04 con livello iniziale pari 2,50 m s.m.m. A tratteggio le condizioni al contorno imposte lato fiume.

La Figura 15 illustra a tratteggio l'andamento nel tempo utilizzato per schematizzare la forma dell'onda di piena che, a partire da una condizione a moto permanente a quota 2,50 m s.m.m. raggiunge il valore massimo di 8,15 m s.m. (si veda Tabella II e III).

Più gravosa è l'andamento riportato in Figura 16, dove la condizione iniziale di moto permanente corrisponde al livello di 4,40 m s.m.m., con livello dell'acqua corrispondente alla quota della banca lato fiume. Condizione, questa, che si verifica nel caso la piena si verifichi dopo una lunga condizione di morbida.

Come già detto, la condizione idrometrica lato campagna è sempre 3,90 m s.m.m.

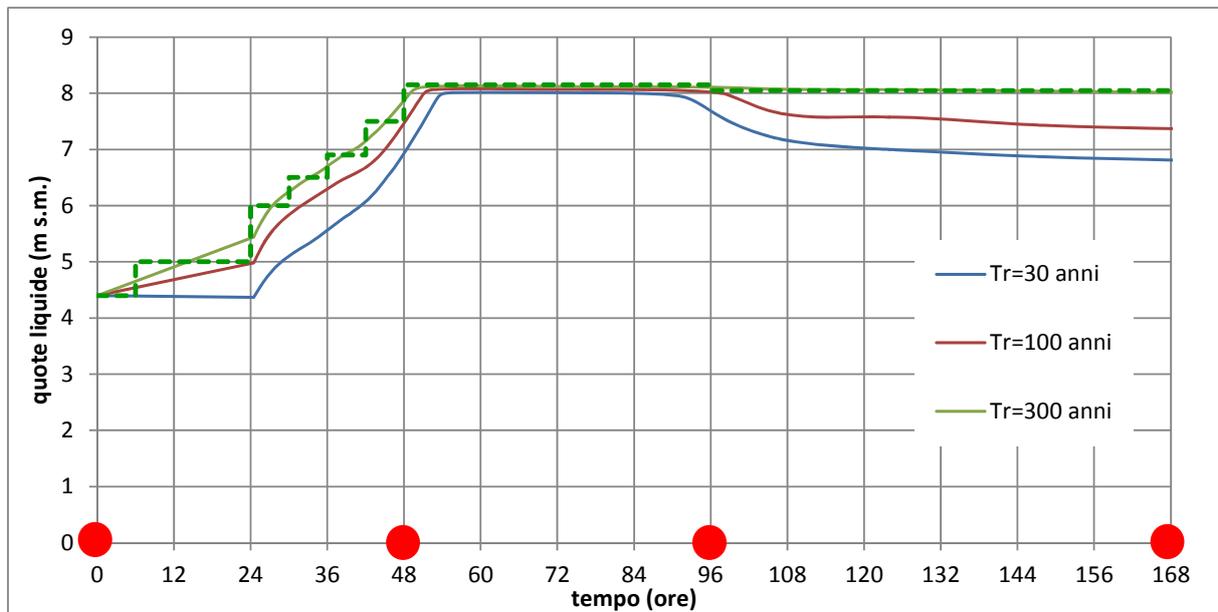


Fig. 16: andamento nel tempo dei livelli liquidi nel deviatore del Bacchiglione in corrispondenza della sezione Ba04 con livello iniziale fiume pari 4,40 m s.m.m. A tratteggio le condizioni al contorno imposte lato fiume.

I risultati del calcolo sono analizzati negli istanti $t=0, 48, 96$ e 168 ore, marcati da evidenti cerchi rossi nelle Figure 15 e 16.

La distribuzione delle pressioni nel corpo arginale nello stato di fatto, conducibilità idraulica caso A, è riportata nelle Figure dalla 17 alla 20.

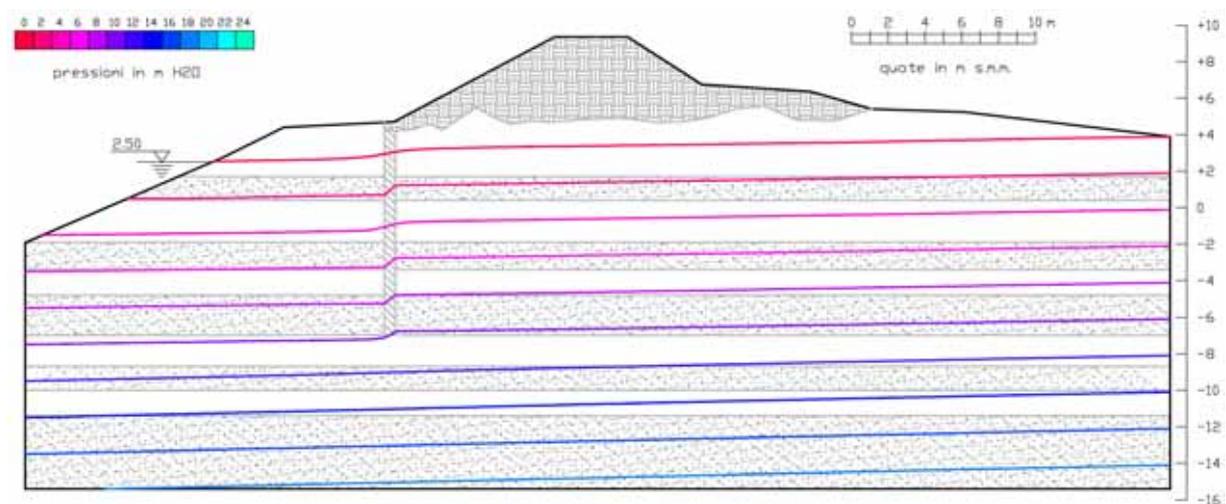


Fig. 17: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

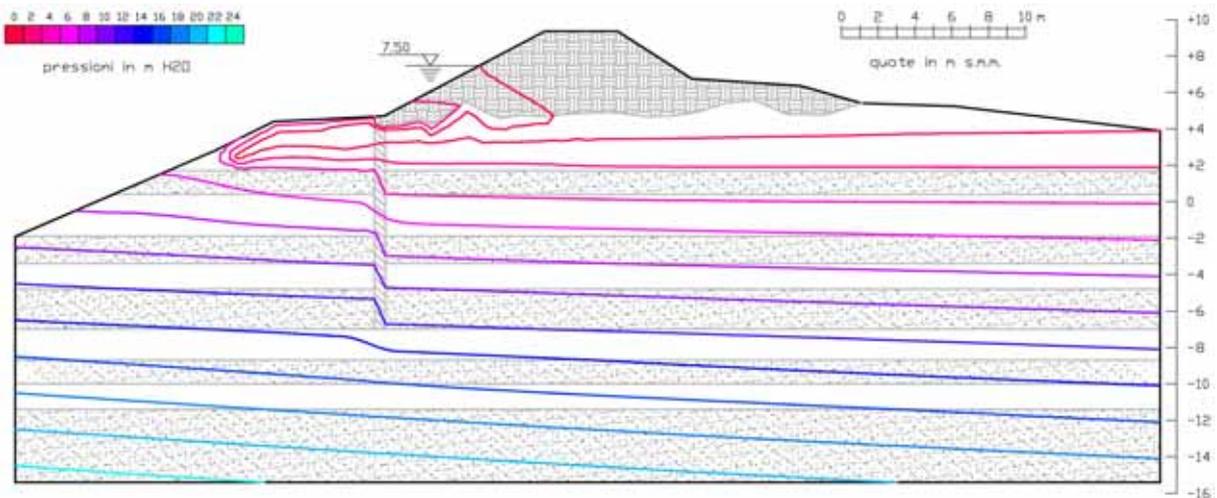


Fig. 18: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

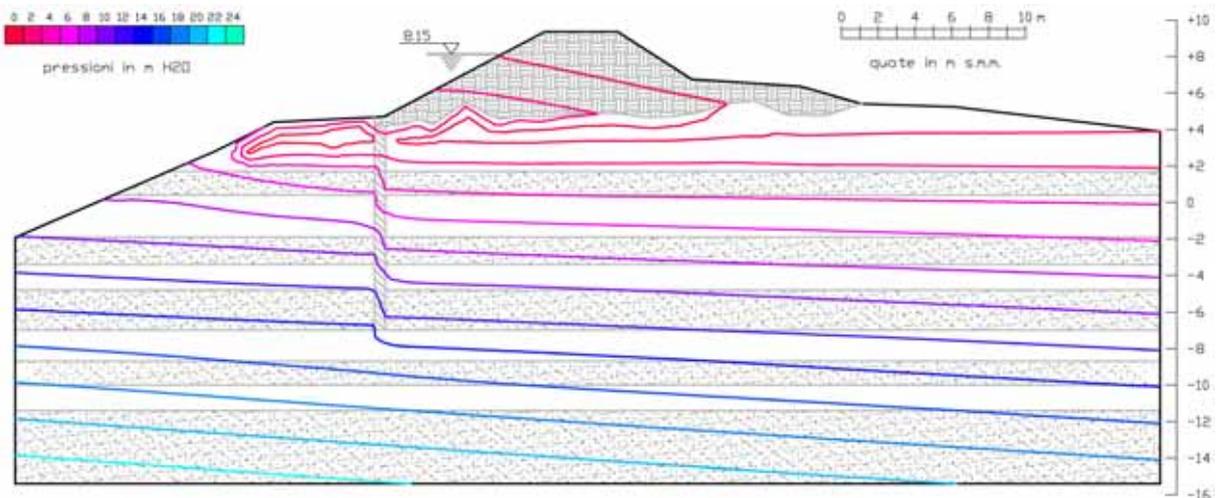


Fig. 19: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

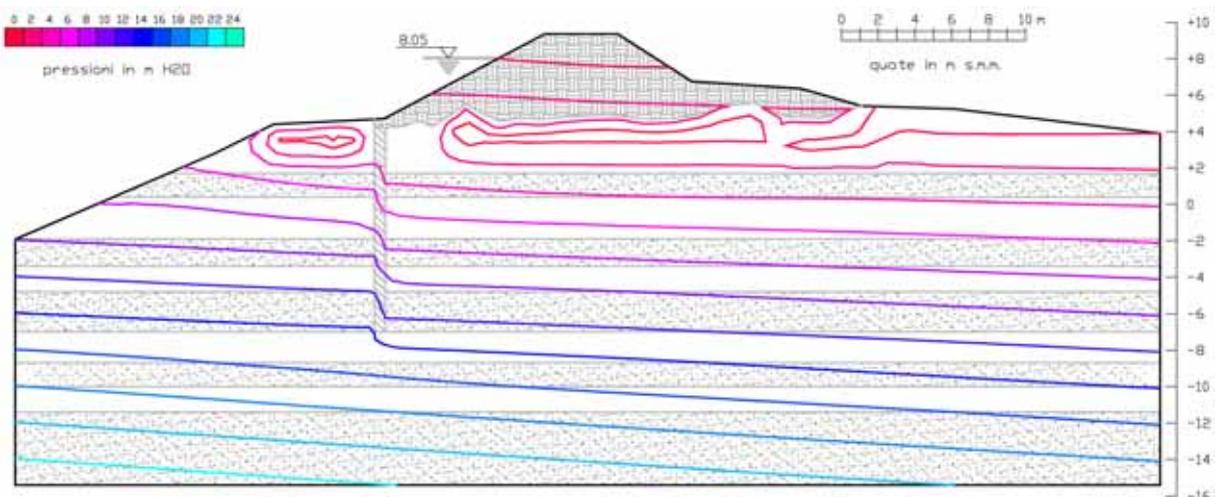


Fig. 20: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

Appare evidente l'avanzamento del fronte liquido attraverso il corpo arginale e i terreni di fondazione.

Fino all'istante $t=96$ ore il paramento di valle non risulta interessato dalla linea di filtrazione ($p=0$ m_{H2O}), ma il permanere di un elevato livello in fiume porta la banca lato campagna ad essere completamente imbibita all'istante $t=168$ ore, con l'evidente possibilità di innescare di rilevanti fenomeni di sifonamento al piede della stessa banca.

Il considerare al posto dell'onda di piena caratterizzata da $T_r=300$ anni quelle con tempi di ritorno inferiori, non migliorerebbe di molto la situazione perché, a fronte di un abbassamento dopo le 96 ore di 0,5 o 1 m circa del livello liquido a fiume, il permanere di tale livello di poco ridotto fino alle 168 ore, vedrebbe un abbassamento dello stesso ordine di grandezza delle pressioni piezometriche nella banca. Con una riduzione che non garantirebbe affatto la sicurezza al sifonamento della stessa.

Di poco dissimile è la situazione che si osserva nelle Figure da 21 a 24 per conducibilità idraulica distribuita come nel caso B, se si esclude il più limitato permanere delle sacche di insaturazione all'interno dei terreni di fondazione che scompaiono completamente dopo $t=48$ ore.

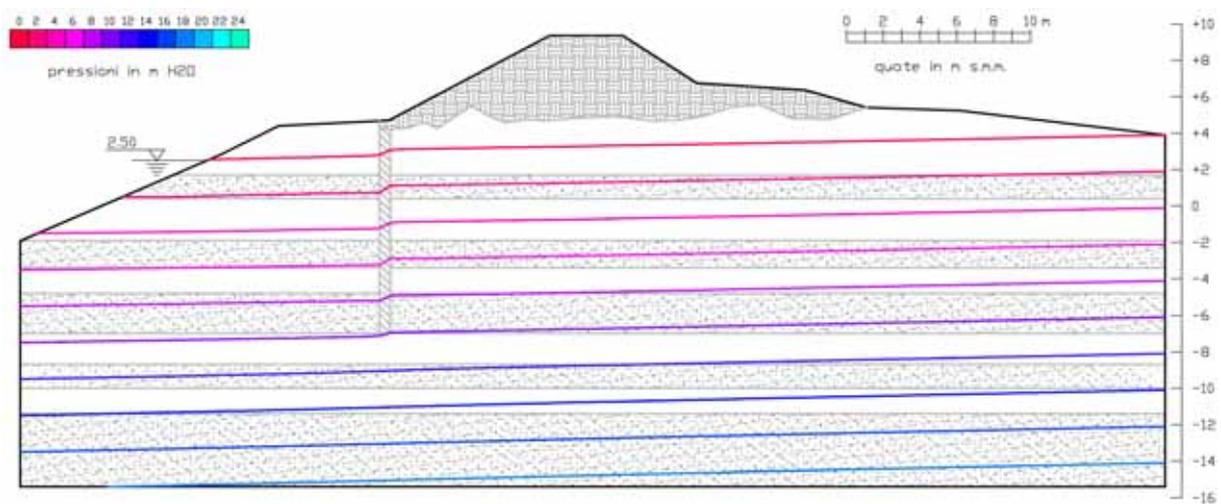


Fig. 21: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

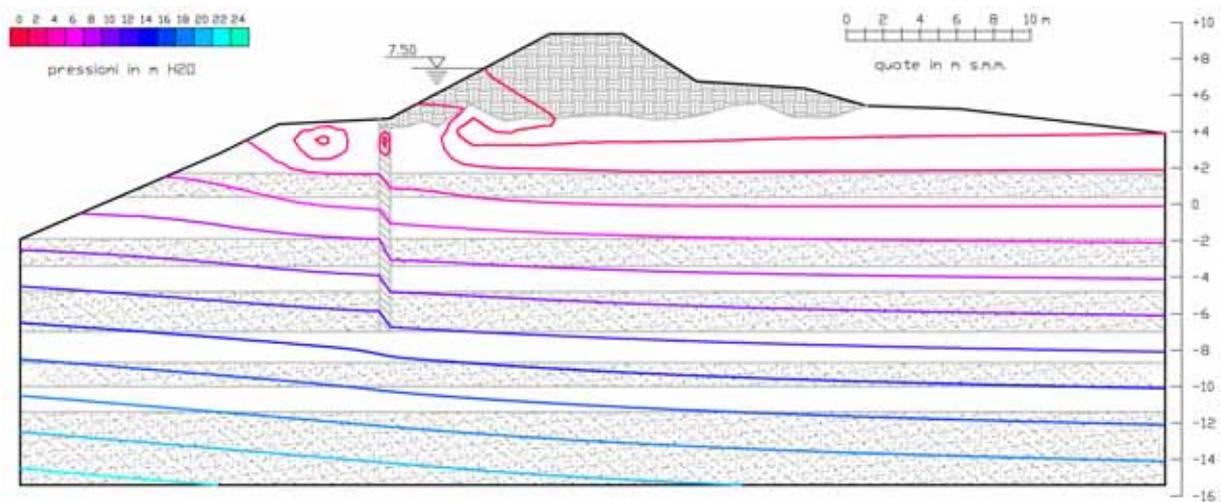


Fig. 22: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

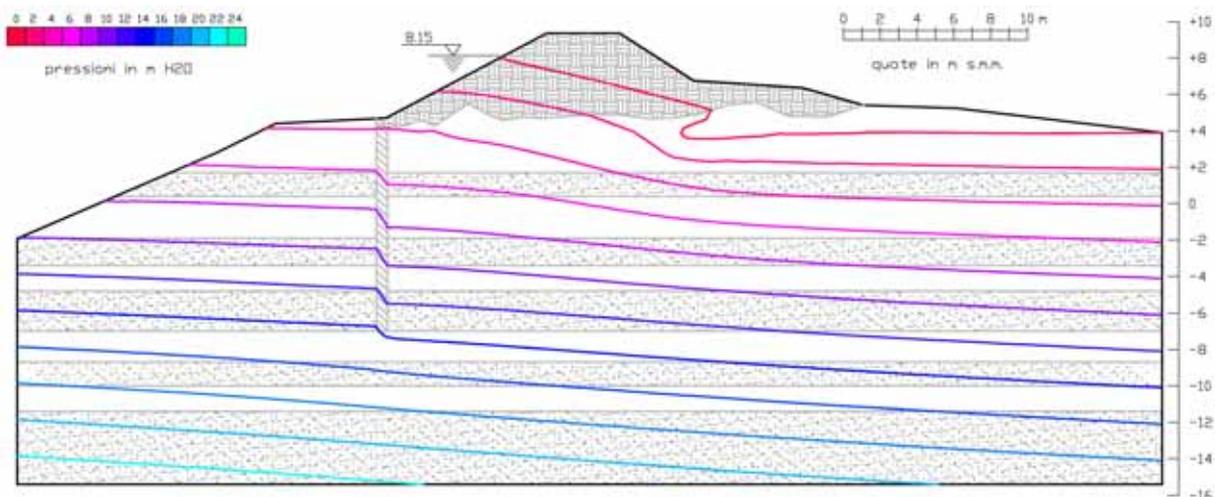


Fig. 23: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

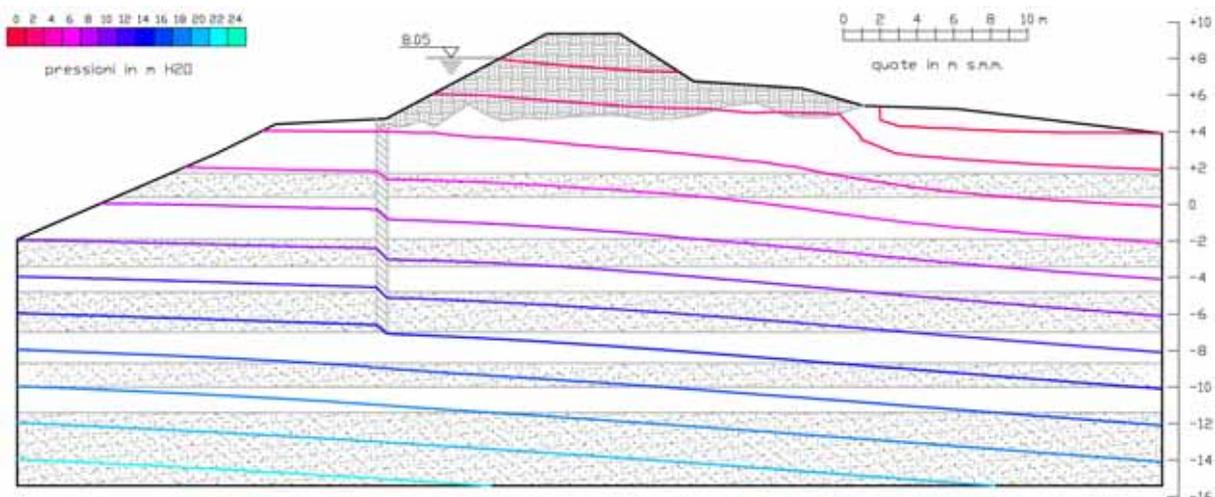


Fig. 24: stato di fatto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

La Figura 24 mostra sostanzialmente le stesse problematiche rilevate nella Figura 20, con la differenza che la maggior conducibilità idraulica assunta per tener conto di una eventuale mancanza di continuità spaziale degli strati di limo sabbioso accelera il processo dell'imbibizione dell'argine a campagna e l'innescò dei fenomeni di sifonamento.

I maggiori problemi sono connessi alla mancanza di uno schermo impermeabile sul paramento di monte dell'argine che possa unirsi con continuità al diaframma.

Con la realizzazione del nuovo diaframma e del pacchetto impermeabile in progetto così come schematizzato nella Figura 13, la situazione risulta però essere completamente diversa.

I risultati per il caso A della distribuzione di conducibilità idraulica e livello iniziale fiume pari a 2,50 m s.m.m. è illustrato nelle Figure dalla 25 alla 28.

La linea di filtrazione a valle del diaframma si mantiene sempre al di sotto della condizione di valle, anche per $t=168$ ore, restando esclusa l'eventualità del sifonamento a valle. Ovviamente forti gradienti interessano il nuovo diaframma e il pacchetto di impermeabilizzazione, il cui collegamento deve essere assicurato con una realizzazione a regola d'arte in fase di esecuzione.

L'allungamento del diaframma fino a 15 m, assicura inoltre che un maggior numero di strati a bassa conducibilità idraulica sia intercettato, limitando le problematiche connesse ad una eventuale discontinuità degli stessi.

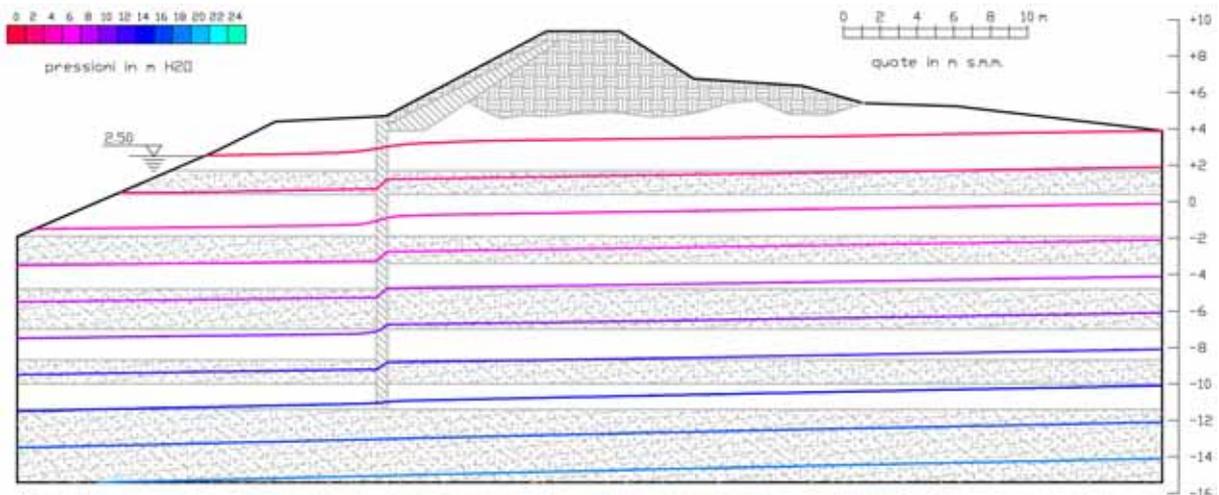


Fig. 25: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

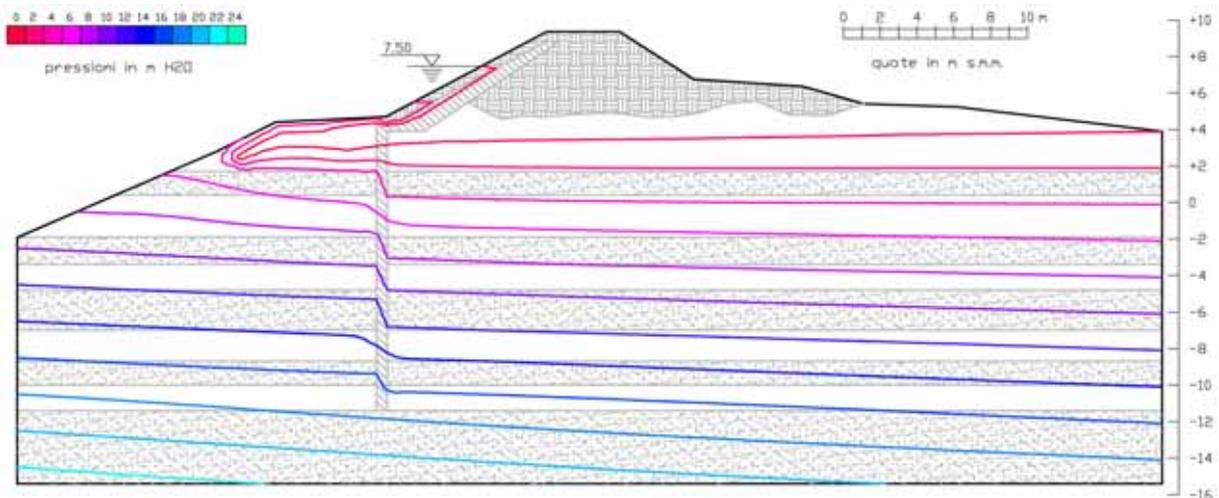


Fig. 26: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

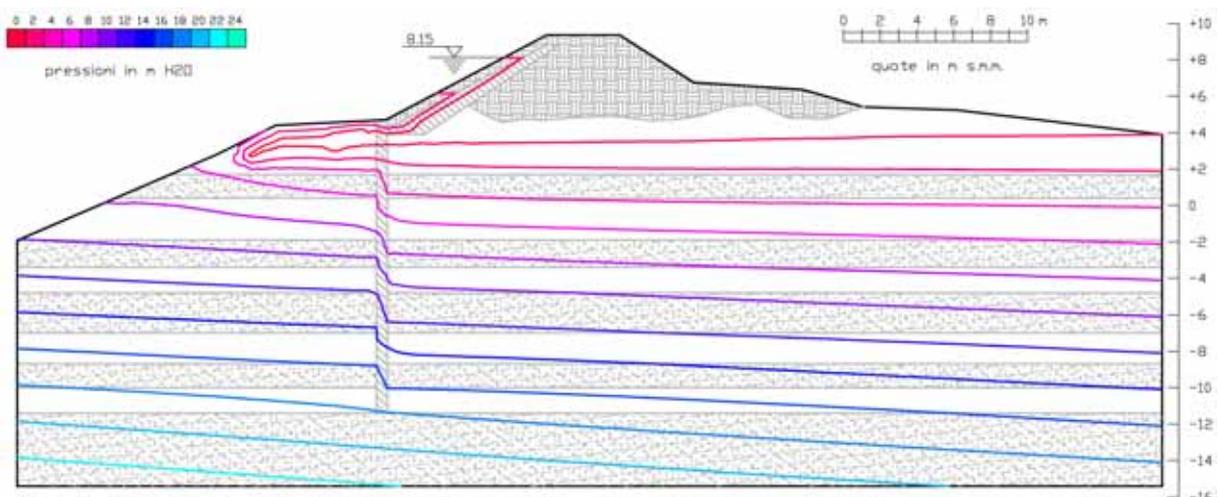


Fig. 27: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

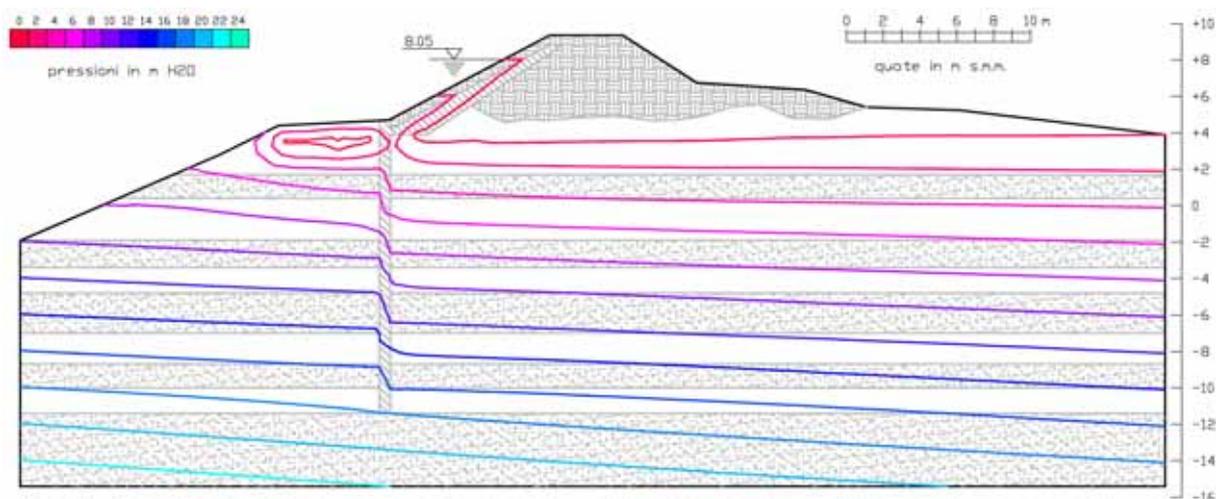


Fig. 28: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

Nonostante ciò anche nello stato di progetto il calcolo è stato sviluppato nell'ipotesi del caso B di conducibilità idraulica, riportando i risultati nelle Figure dalla 29 alla 32.

Anche in questo caso l'andamento delle pressioni all'istante $t=168$ ore non desta preoccupazioni nei confronti di eventuali fenomeni di sifonamento a valle.

E' da sottolineare però come per tutta la durata dell'evento il collegamento della testa del diaframma e del paramento impermeabile del corpo arginale sia soggetto, più che nel precedente caso, a forti gradienti di pressione. Si notino al riguardo gli andamenti delle isobare $p=0$ e $p=2$ m_{H_2O} in Figura 30 e delle isobare $p=2$ e $p=4$ m_{H_2O} nelle Figure 31 e 32.

Le stato di progetto con distribuzioni di conducibilità idraulica secondo i casi A e B, è stato verificato anche per l'andamento della piena descritto a tratteggio in Figura 16, a partire quindi da una condizione idrometrica di moto permanente a fiume pari a 4,40 m s.m.m.

I risultati descritti nelle Figure da 33 a 40 mostrano una ottima risposta della soluzione progettuale anche ad un evento estremamente gravoso quale quello considerato.

Infatti benché sia rilevabile un innalzamento della falda a valle del paramento impermeabile di monte, questo si realizza solo per i maggiori tempi di permanenza della piena ($t=96-168$ ore) e in modo in qualche modo significativo solo con distribuzione di conducibilità idraulica in accordo al caso B (Figura 40).

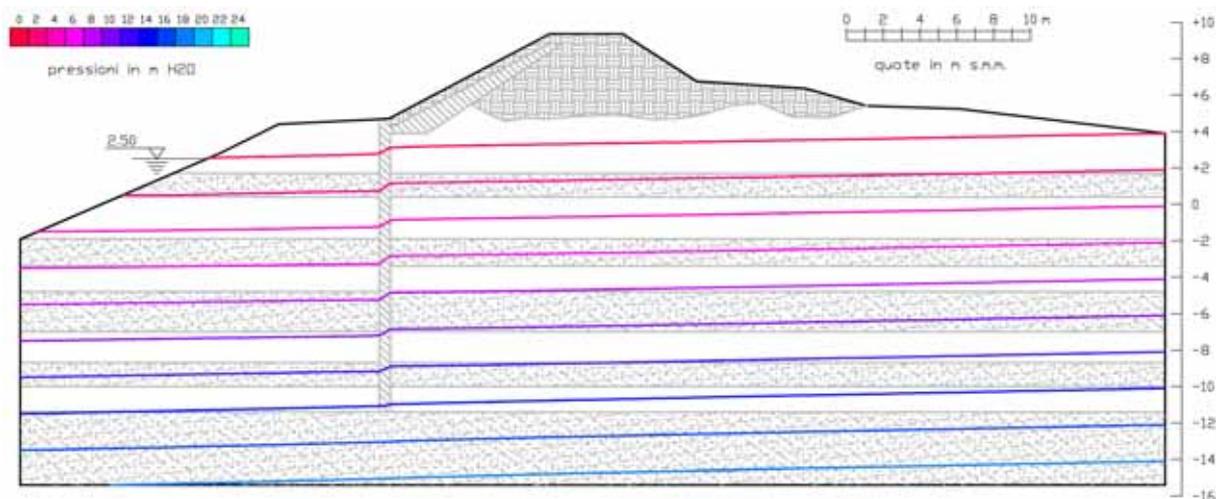


Fig. 29: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

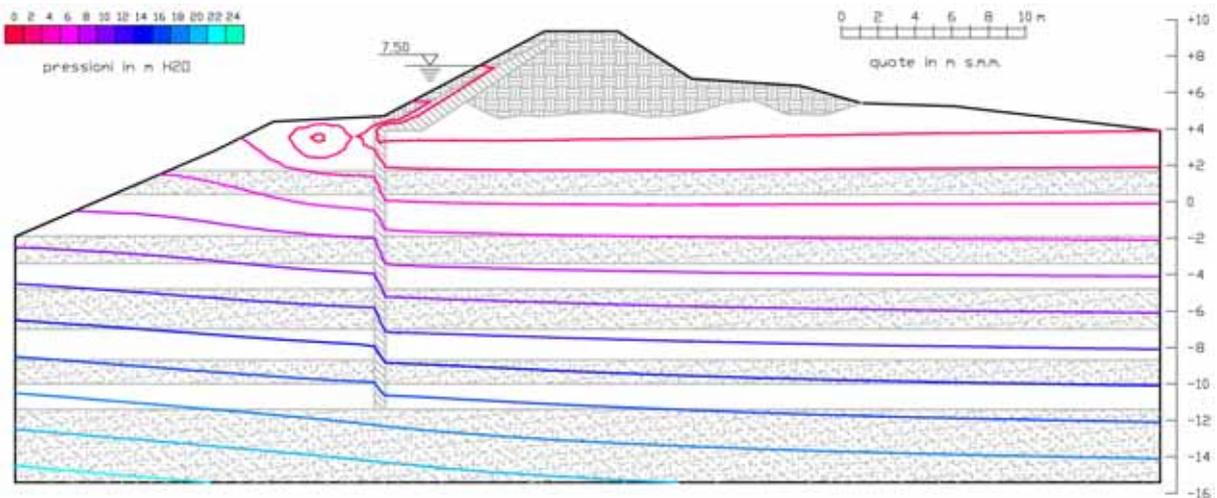


Fig. 30: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

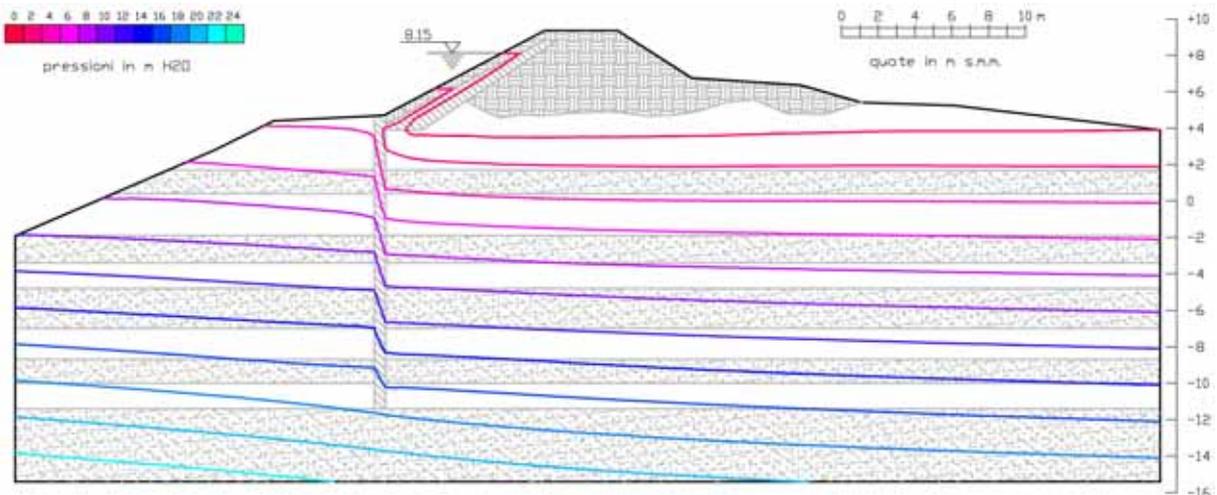


Fig. 31: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 2,50 m s.m.m.

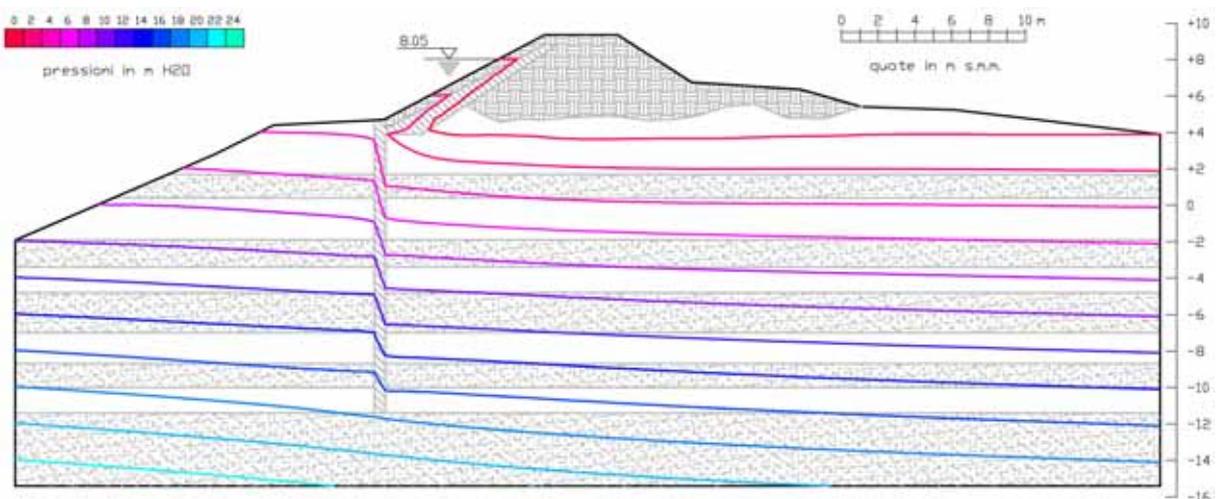


Fig. 32: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica come nel caso B.

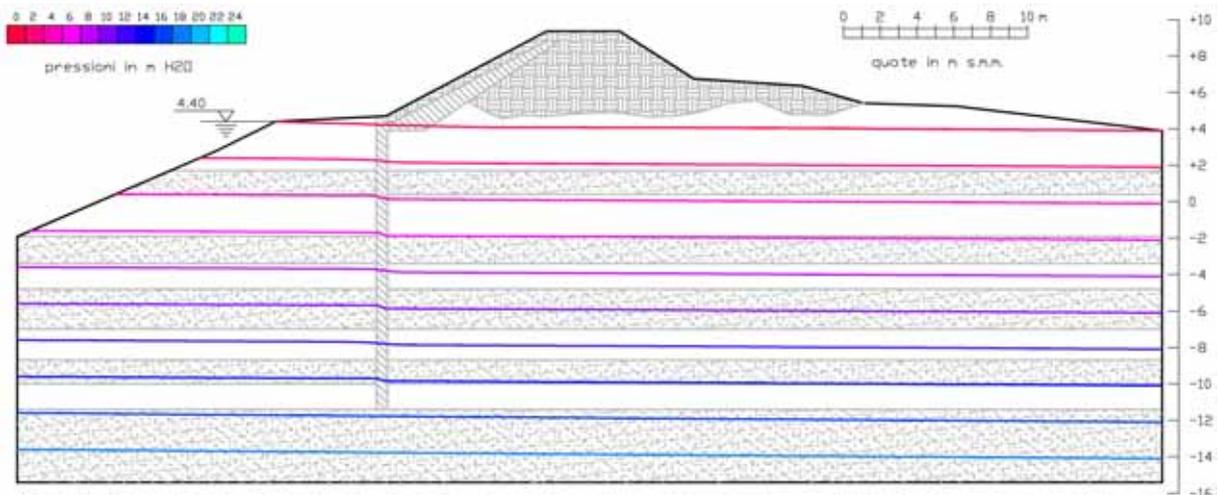


Fig. 33: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

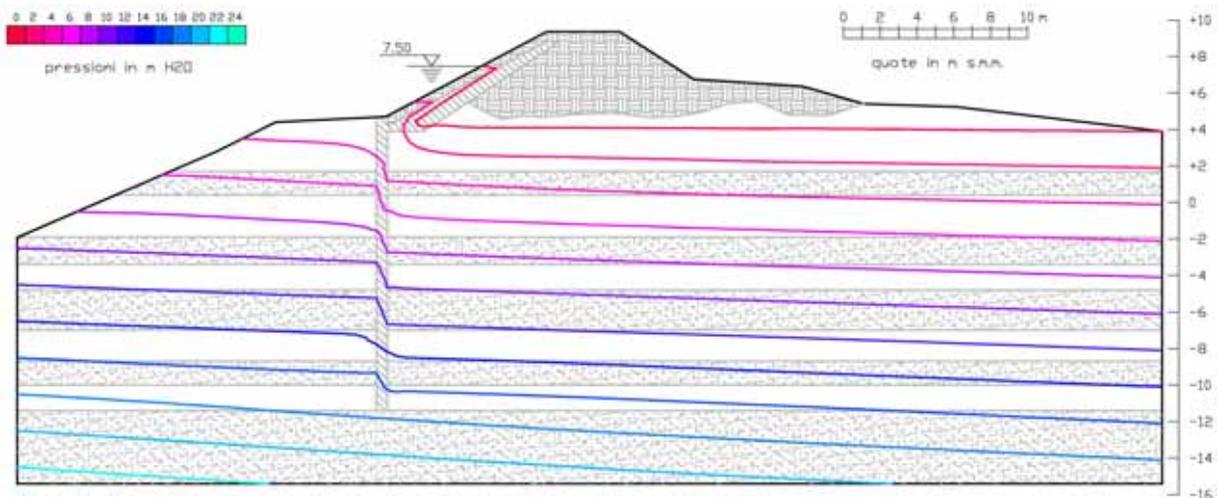


Fig. 34: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

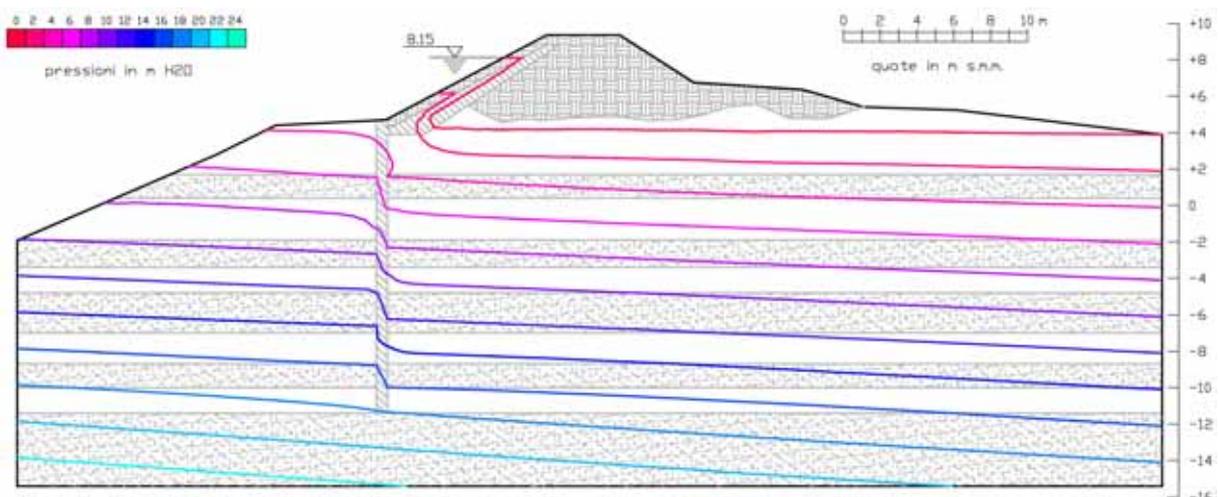


Fig. 35: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

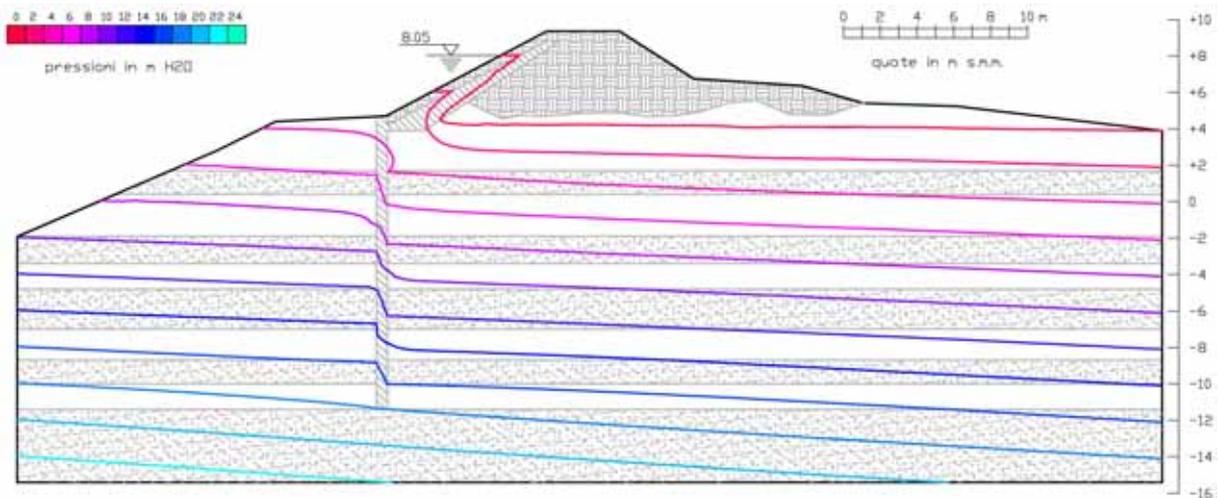


Fig. 36: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso A. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

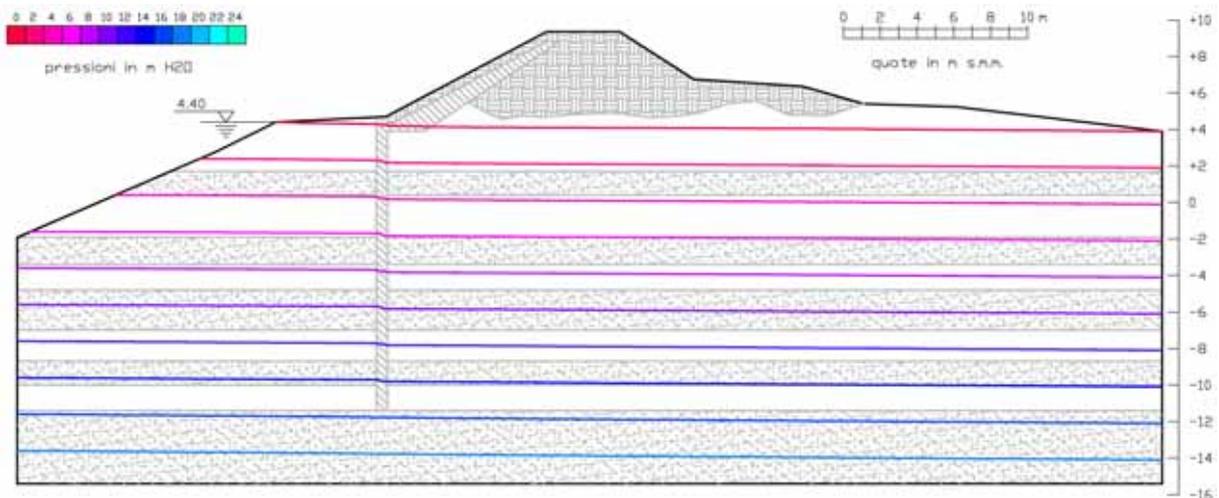


Fig. 37: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=0$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

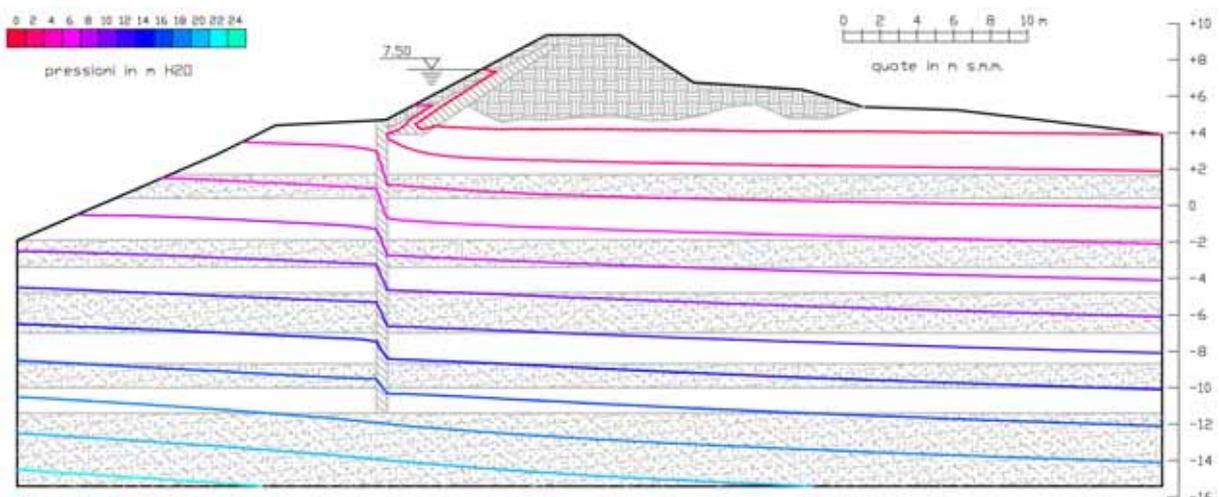


Fig. 38: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=48$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

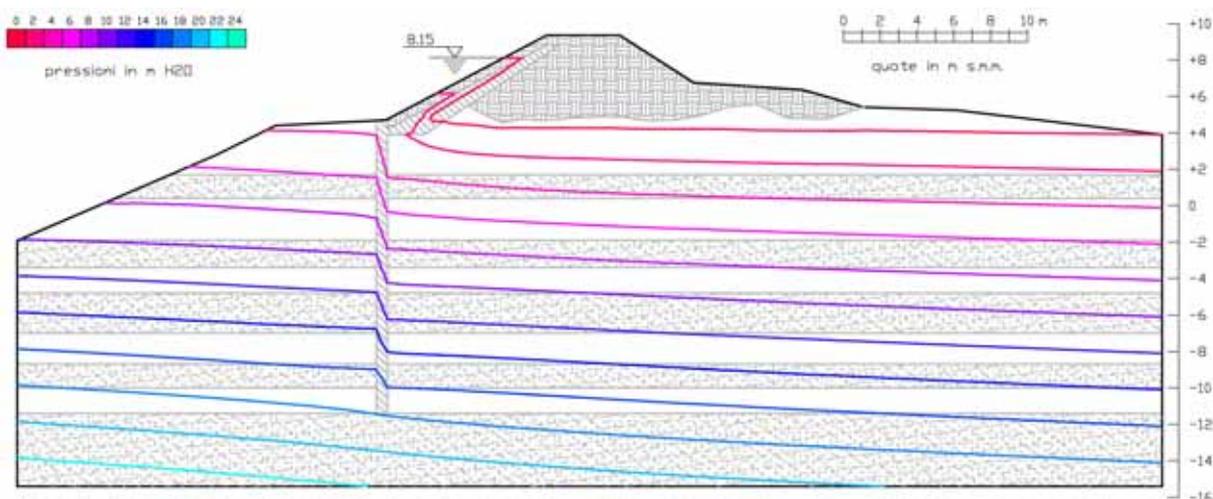


Fig. 39: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=96$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

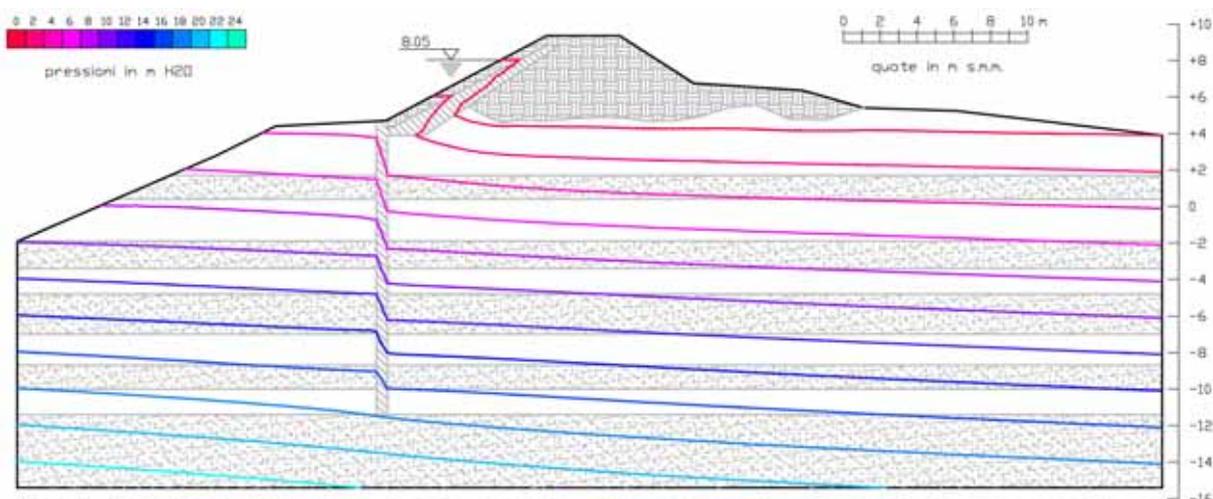


Fig. 40: stato di progetto: andamento delle pressioni nel corpo arginale all'istante $t=168$ ore. Valori della conducibilità idraulica caso B. Livello iniziale fiume 4,40 m s.m.m.

Anche in queste ultime due situazioni analizzate, la distribuzione delle pressioni è tale che risulta escluso il rischio di sifonamento a valle.

6. CONCLUSIONI

Sono state analizzate le condizioni idrometriche che si vengono a realizzare nel canale scolmatore del fiume Bacchiglione in corrispondenza all'abitato di Bovolenta.

I valori massimi dei livelli idrometrici dedotti sulla base delle onde di piena fornite dall'Autorità di Bacino risultano compresi fra 8,32 e 8,13 m s.m.m. nel tratto in esame.

I franchi arginali ridotti rendono necessario un rialzo per portare la sommità arginale a quota 9,35 e 9,25 m s.m.m. rispettivamente nel tratto a monte e a valle del ponte sulla S.P. 35.

Riconosciuta come maggiormente critica il processo filtrante che interessa le arginature nel tratto a valle del ponte sulla S.P. 35, è stata sviluppata una ampia serie di analisi a moto vario sulla sezione Ba03 nello stato attuale e in quello di progetto.

Nello stato di fatto la difesa idraulica dell'argine è affidata alla presenza del solo diaframma attualmente esistente, che a partire da 4,30-4,40 m s.m. s'infigge di circa 12 m nella banca di monte, mentre nello stato di progetto il nuovo diaframma si approfondisce fino

alla quota -11,30 m s.m.m. Tale diaframma prosegue con continuità fino alla superficie della banca dove si collega con il pacchetto impermeabilizzante realizzato sul paramento di monte dell'arginatura. Nello stato di fatto, la configurazione geometrica della sezione arginale è assunta per semplicità eguale a quella di progetto.

L'andamento dell'evoluzione temporale dei livelli liquidi a lato fiume è stata fissata in accordo con i dati forniti dall'Autorità di Bacino e mostra il perdurare di elevati livelli idrici fino a 5 giorni. La condizione assunta per la verifica corrisponde al tempo di ritorno $Tr=300$ anni, per essere quest'ultima solo di poco più gravosa delle situazioni che corrispondono a $Tr=100$ e 30 anni.

Mentre nello stato attuale è evidente il rischio di instaurarsi di importanti fenomeni di sifonamento in corrispondenza della banca a lato campagna, la soluzione progettuale adottata garantisce la tenuta idraulica dell'argine in tutte le condizioni esaminate su modello.

E' comunque da sottolineare come nello stato di progetto siano presenti rilevanti gradienti idraulici in corrispondenza alla giunzione fra la testa del nuovo diaframma e il pacchetto di impermeabilizzazione del corpo arginale. E' quindi da rimarcare come la realizzazione di tale collegamento debba essere fatta a regola d'arte in fase esecutiva.

Le analisi del processo filtrante qui sviluppate non hanno tenuto conto dell'eventuale processo di infiltrazione nel corpo arginale e nella banca delle precipitazioni. La geometria della corona arginale e della sommità della banca dovranno quindi essere realizzate come d'uso con adeguata pendenza (qualche punto percentuale) al fine di favorire il ruscellamento a fiume e a campagna delle precipitazioni che insistono sull'argine stesso.

prof. ing. Paolo Salandin

Ordinario di Costruzioni idrauliche

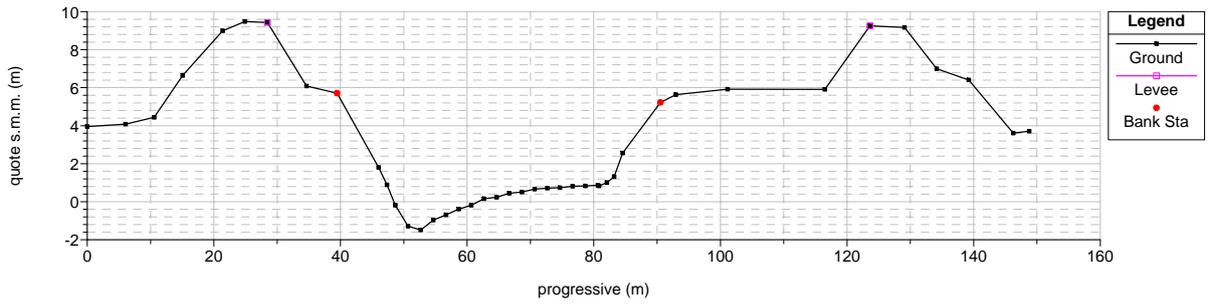
BIBLIOGRAFIA

- Arcement G.J. and Schneider V.R. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS WSP-2339.
- Da Deppo L., C. Datei e P. Salandin (2013). Sistemazioni dei corsi d'acqua. VIII Edizione, Edizioni Libreria Progetto, Padova, pp. 844, ISBN 978-88-96477-46-5.
- D'Alpaos L. (2006). I rischi di inondazione nella provincia di Padova. In: Padova e il suo territorio, anno XX, n. 119(2), pp. 6-12.
- Gomiero S. (2002). La sicurezza idraulica di Bovolenta. Tesi per il conseguimento della Laurea in Ingegneria Civile, Dipartimento IMAGE, Università di Padova.
- Salandin P., Primi risultati di un metodo d'integrazione mista in un modello di filtrazione agli elementi finiti, atti del XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, 461-477, Maggioli Editore, 1988.
- Salandin P. (2009). Analisi delle condizioni di sicurezza idraulica dell'abitato di Bovolenta (PD) compreso fra l'alveo originale del fiume Bacchiglione e la nuova inalveazione dello stesso, Relazione Tecnica redatta per il Comune di Bovolenta (PD).

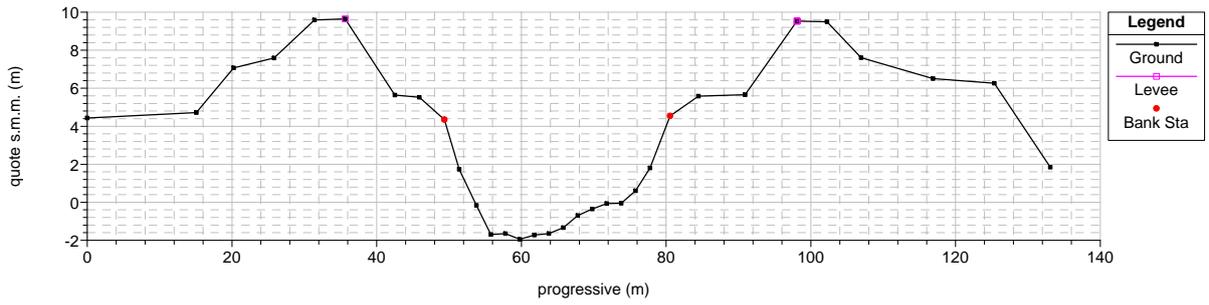
APPENDICE

Geometria delle sezioni utilizzate nel calcolo dei profili idraulici

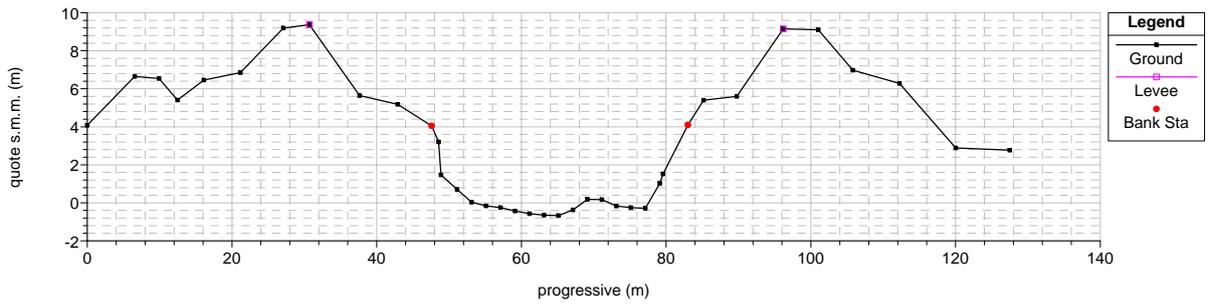
Bovolenta2008
RS = 29911 BA029911



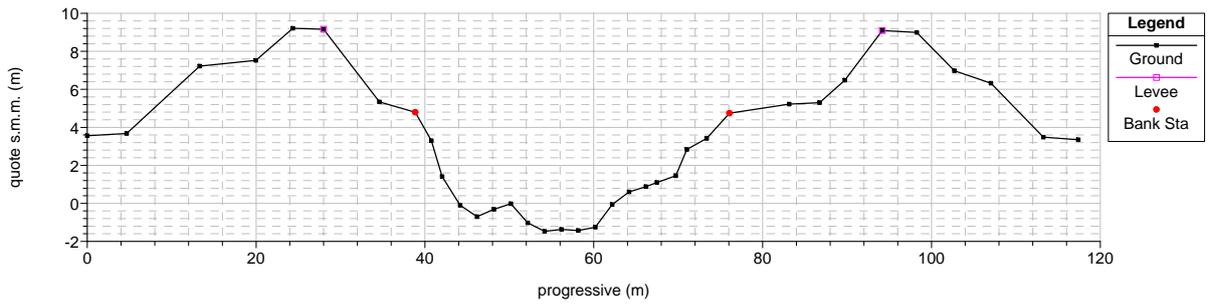
Bovolenta2008
RS = 29439 BA029439



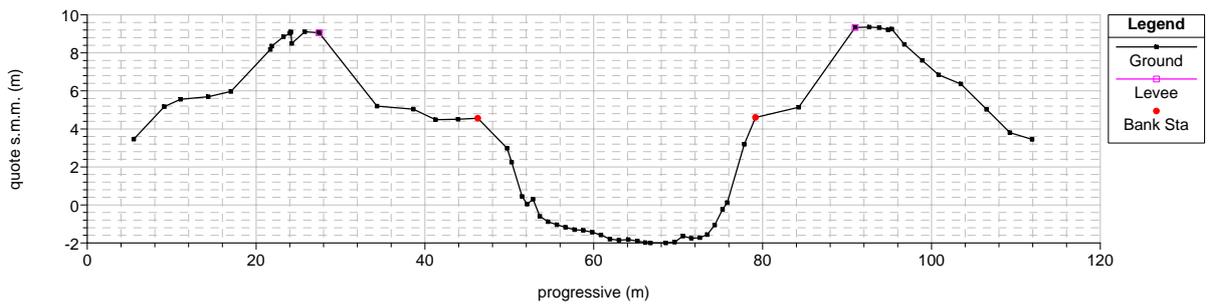
Bovolenta2008
RS = 28793 BA028793



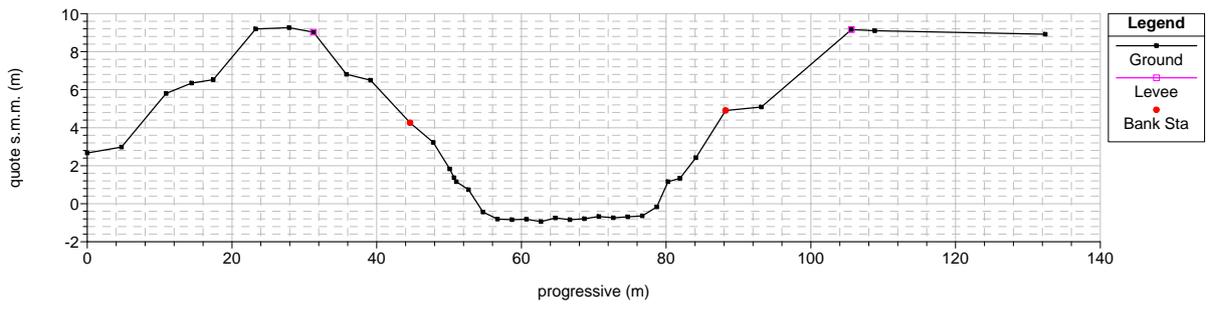
Bovolenta2008
RS = 28081 BA28081



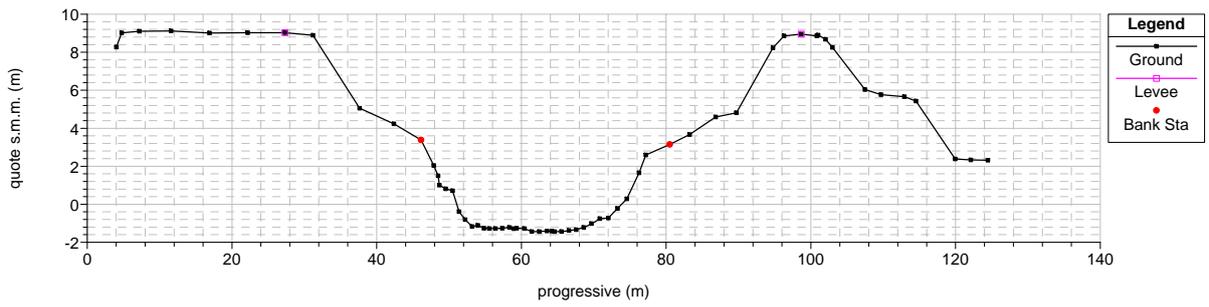
Bovolenta2008
RS = 28000 MO_BA09



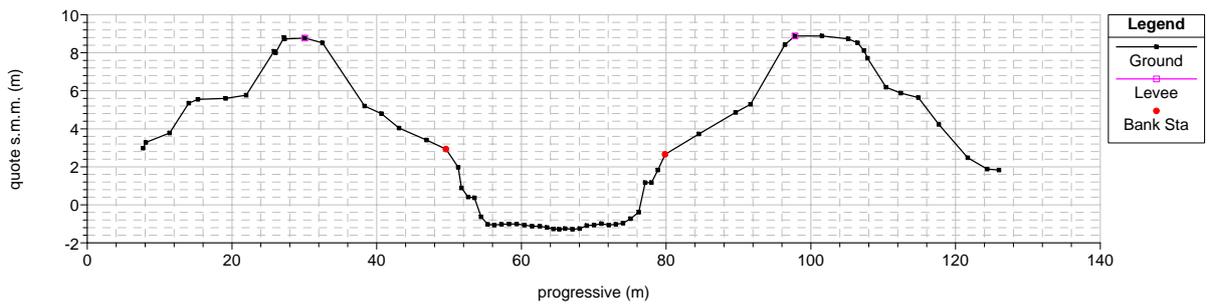
Bovolenta2008
RS = 27540 BA027540



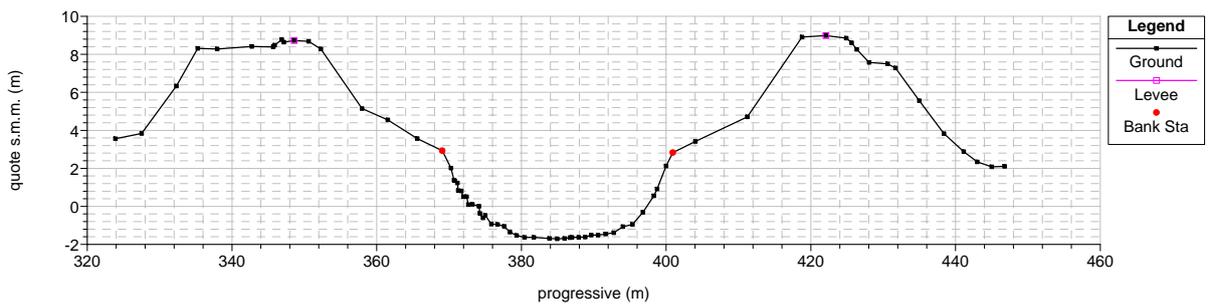
Bovolenta2008
RS = 26900 MO_BA08



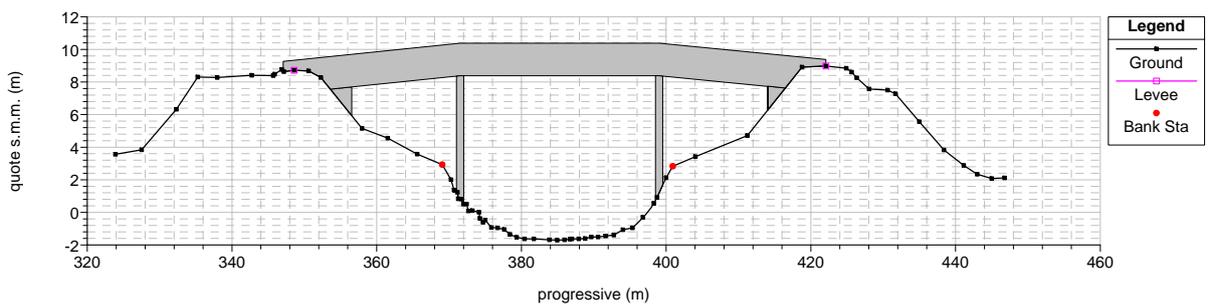
Bovolenta2008
RS = 26800 MO_BA07



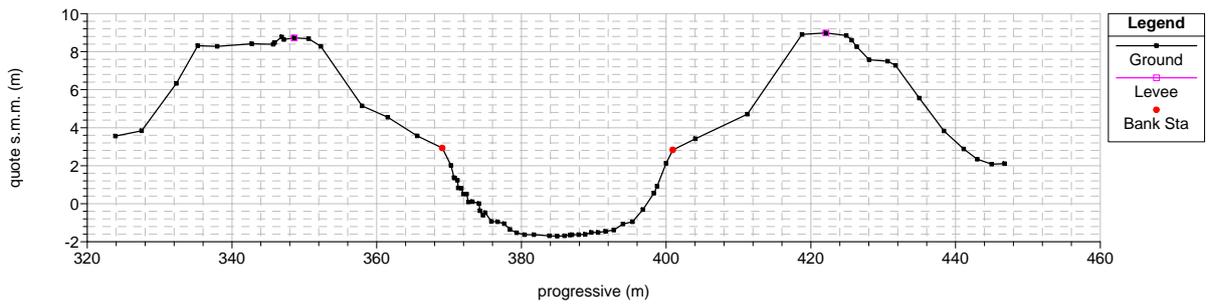
Bovolenta2008
RS = 26750 MO_BA06 ricopiata x ponte



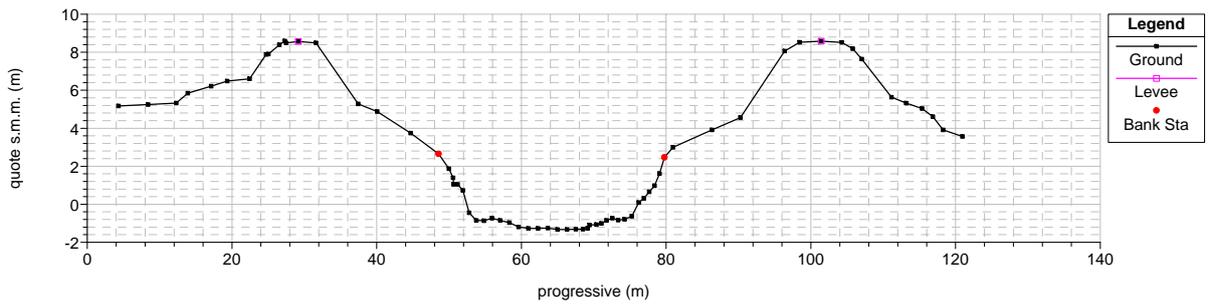
Bovolenta2008
RS = 26725 BR ponte sul deviatore



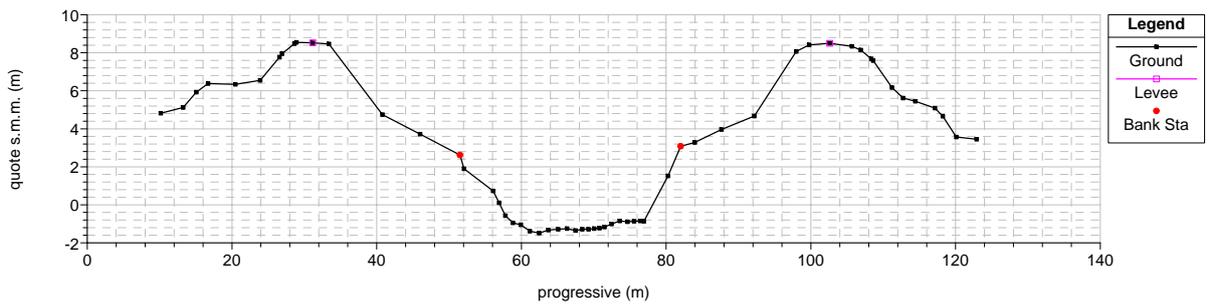
Bovolenta2008
RS = 26700 MO_BA06



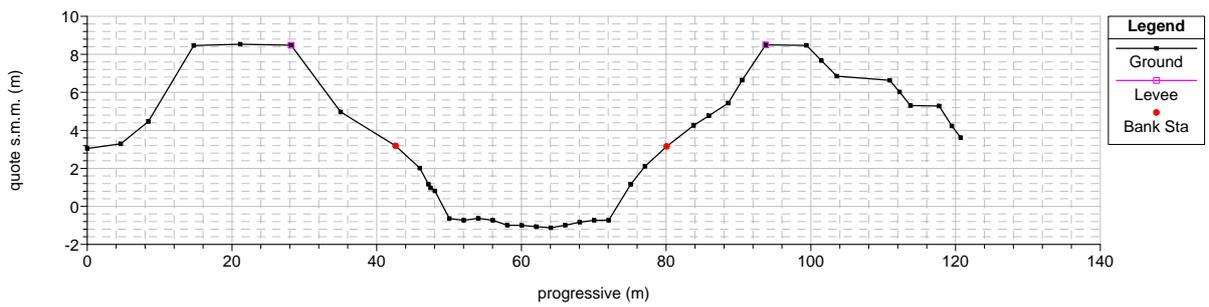
Bovolenta2008
RS = 26600 MO_BA05



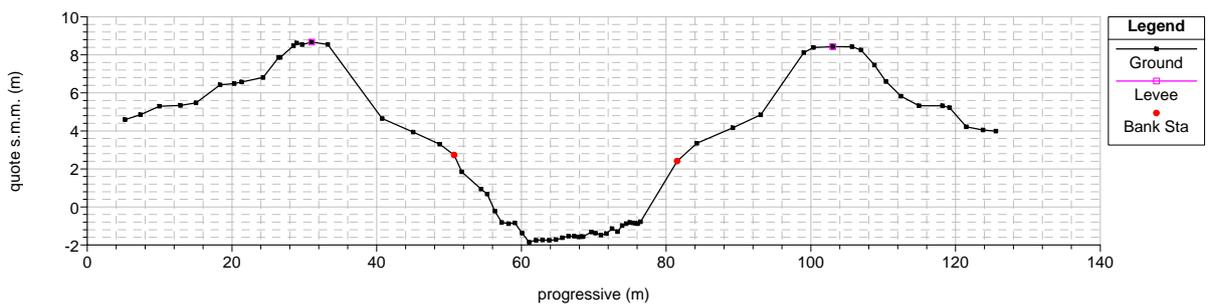
Bovolenta2008
RS = 26500 MO_BA04



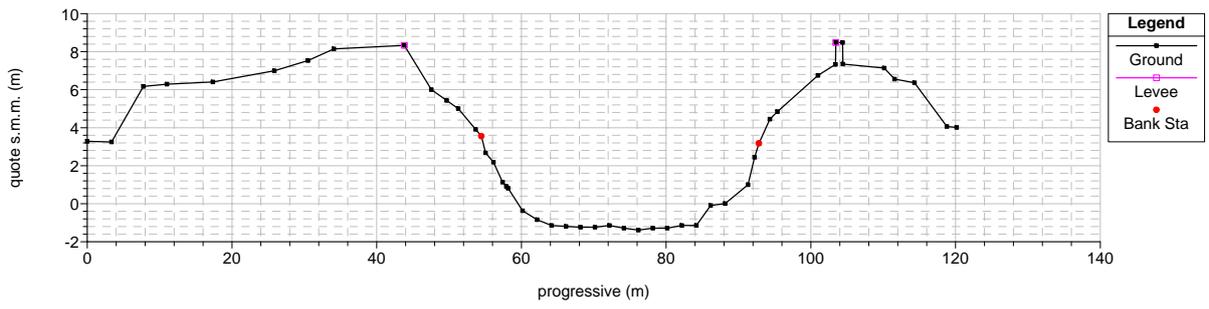
Bovolenta2008
RS = 26462 BA026462



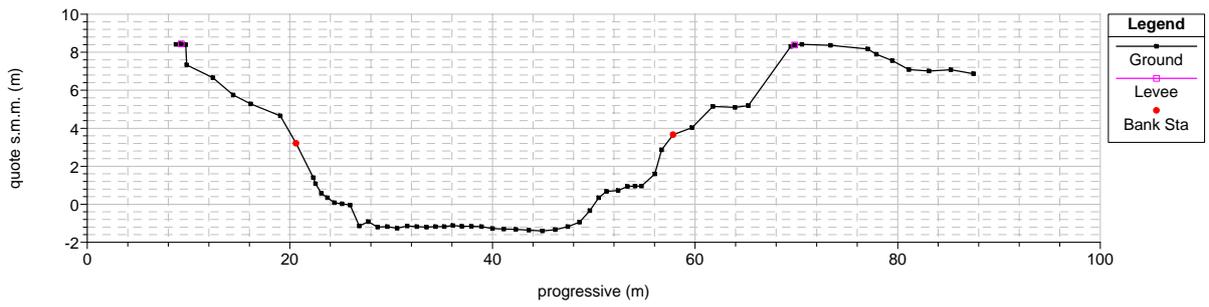
Bovolenta2008
RS = 26100 MO_BA03



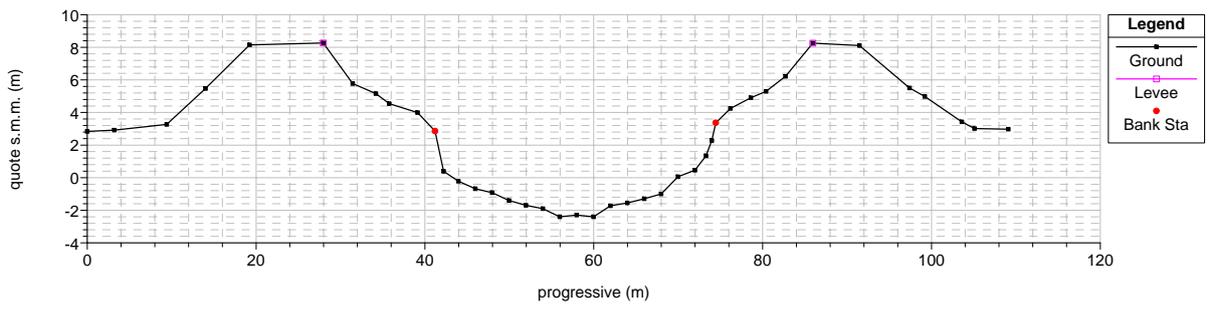
Bovolenta2008
RS = 26052 BA026052



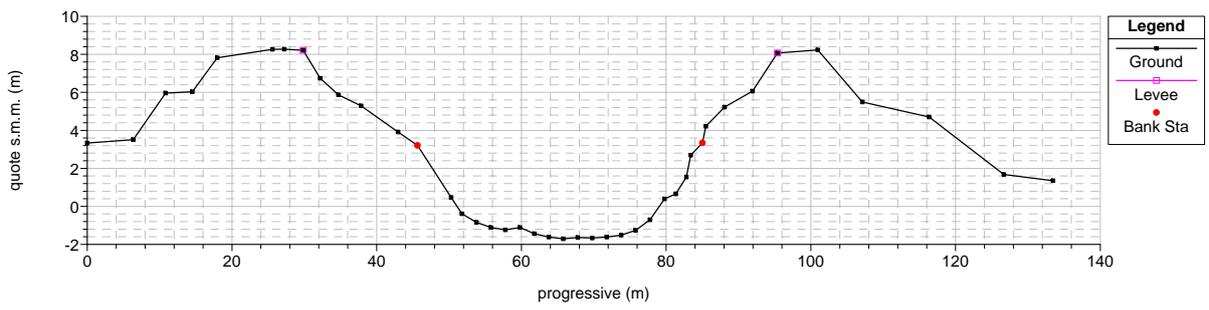
Bovolenta2008
RS = 26000 MO_BA01



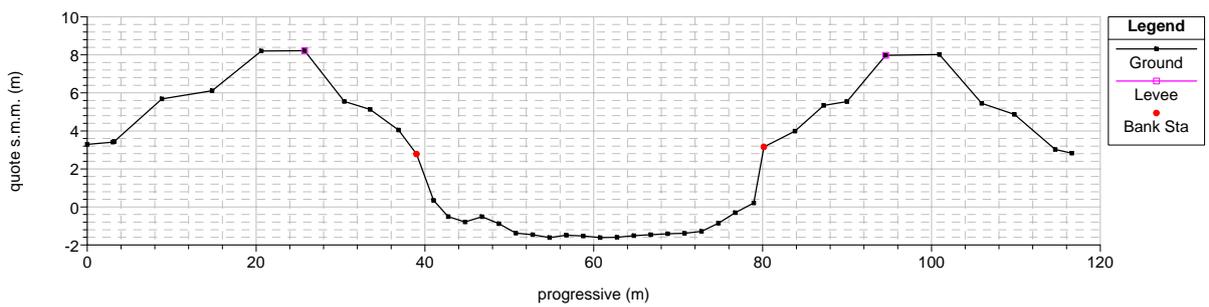
Bovolenta2008
RS = 25385 BA025385



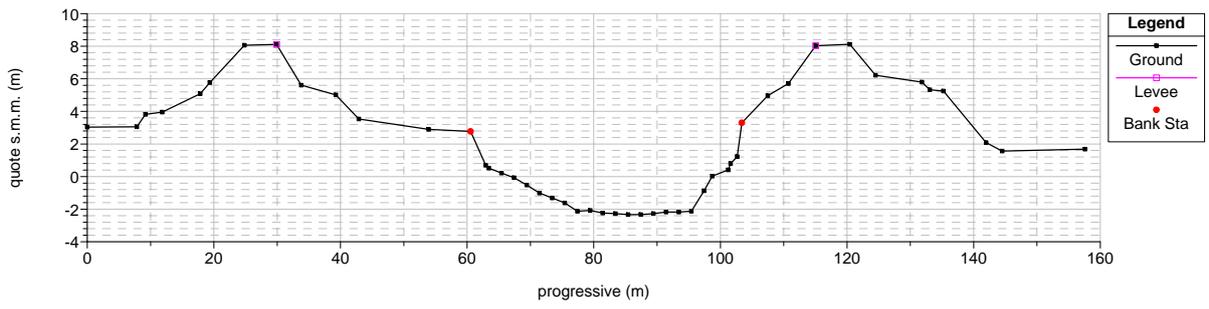
Bovolenta2008
RS = 24844 BA024844



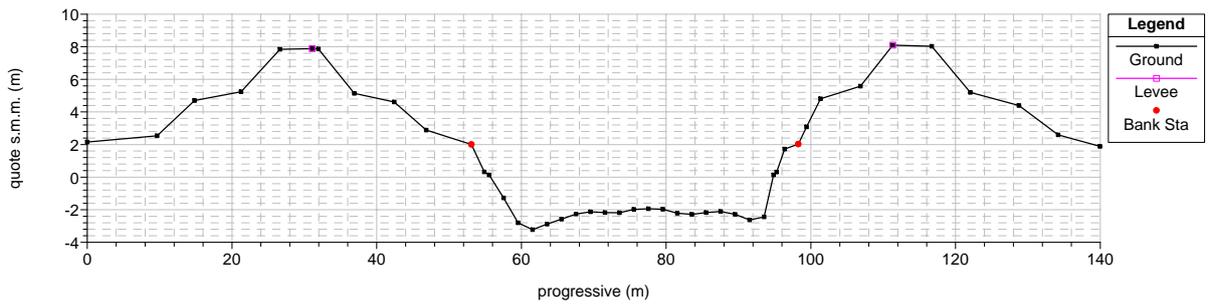
Bovolenta2008
RS = 24010 BA024010



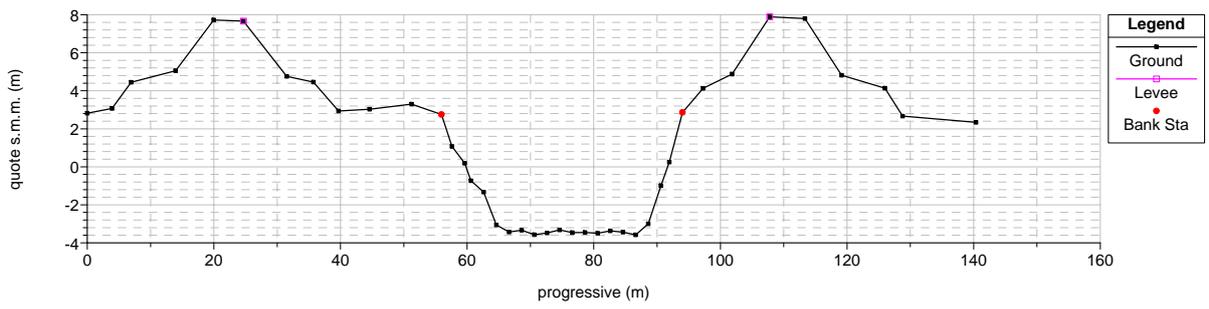
Bovolenta2008
RS = 23124 BA023124



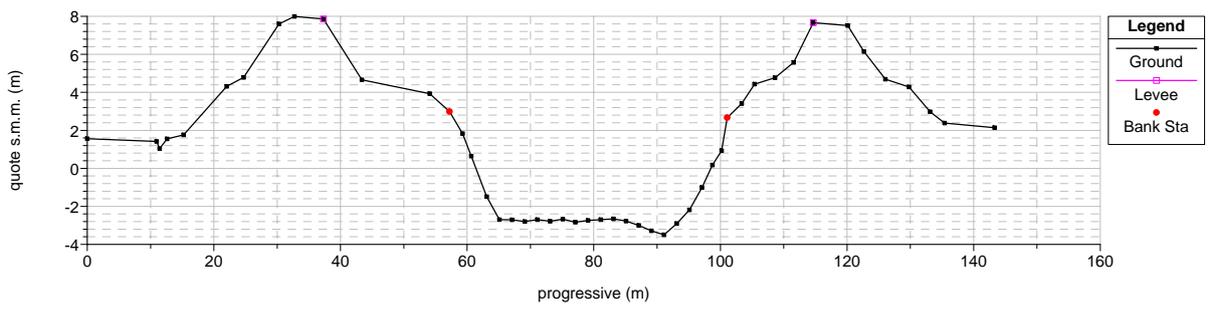
Bovolenta2008
RS = 22503 BA022503



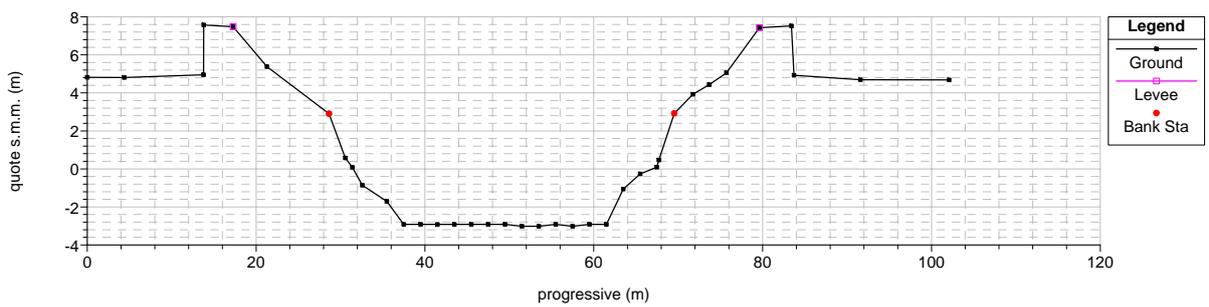
Bovolenta2008
RS = 21635 BA021635



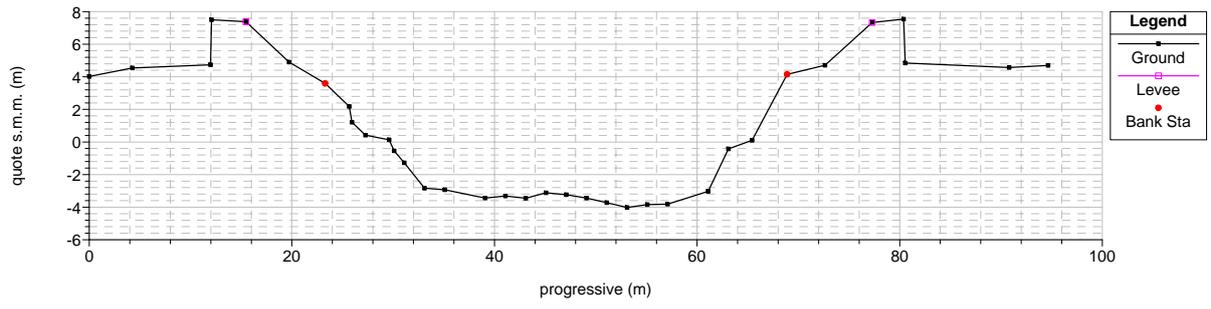
Bovolenta2008
RS = 20866 BA020866



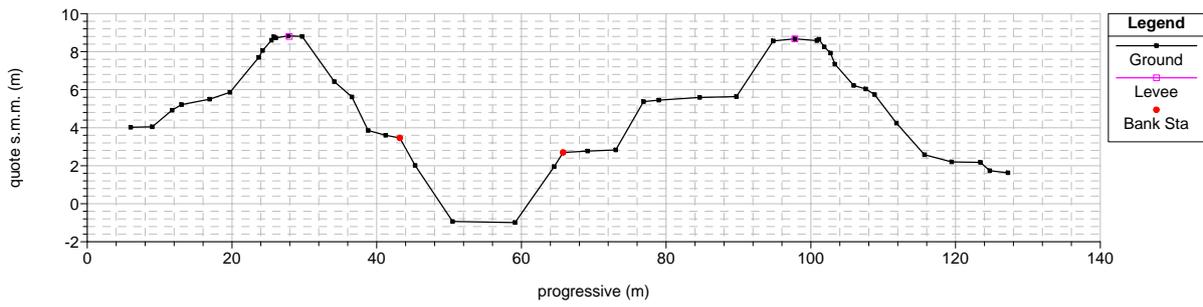
Bovolenta2008
RS = 19865 BA019865



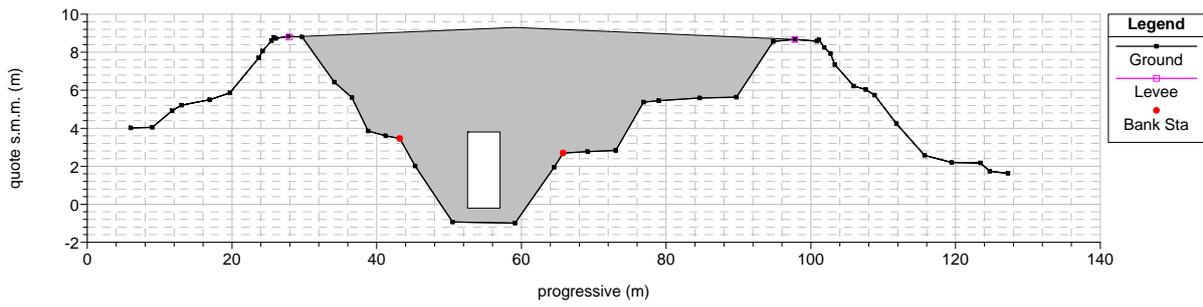
Bovolenta2008
RS = 19813 BA019813



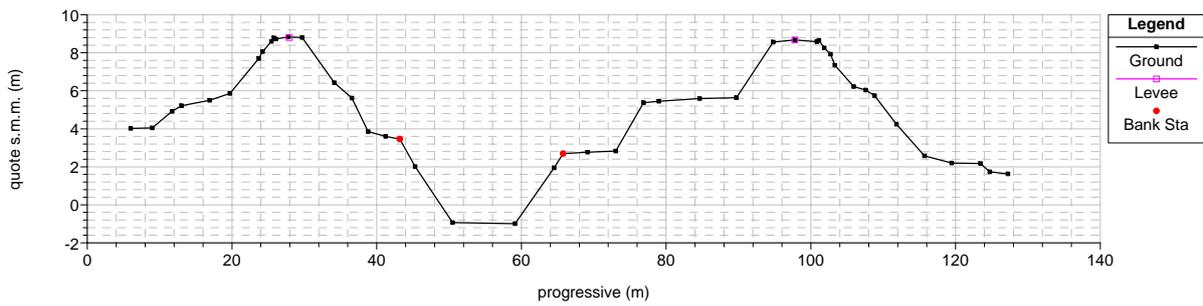
Bovolenta2008
RS = 26920 MO_BV03 - bis



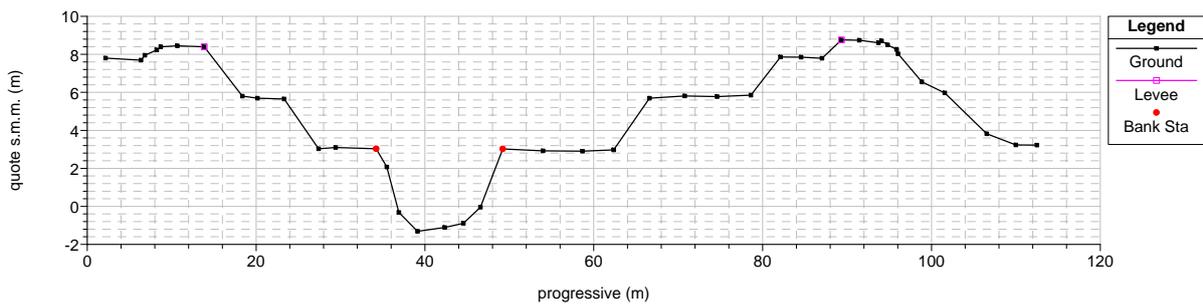
Bovolenta2008
RS = 26910 IS interclusione di monte



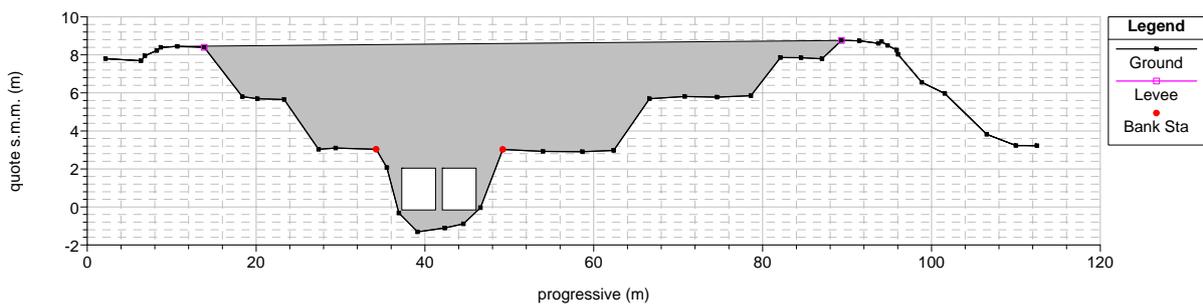
Bovolenta2008
RS = 26900 MO_BV03



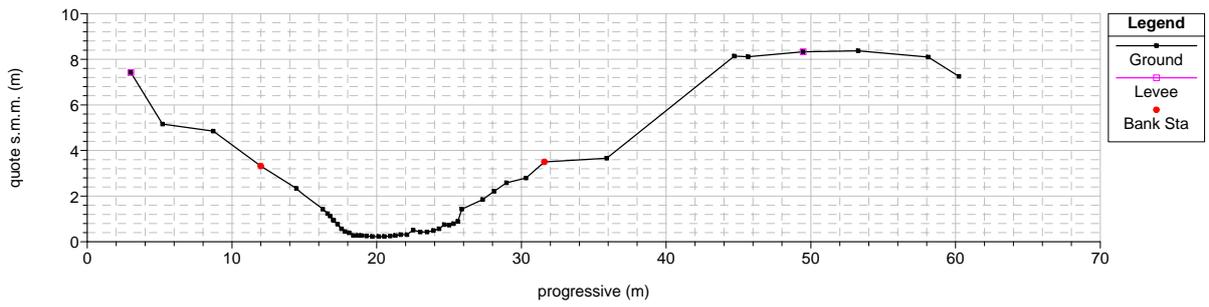
Bovolenta2008
RS = 26800 MO_BV02



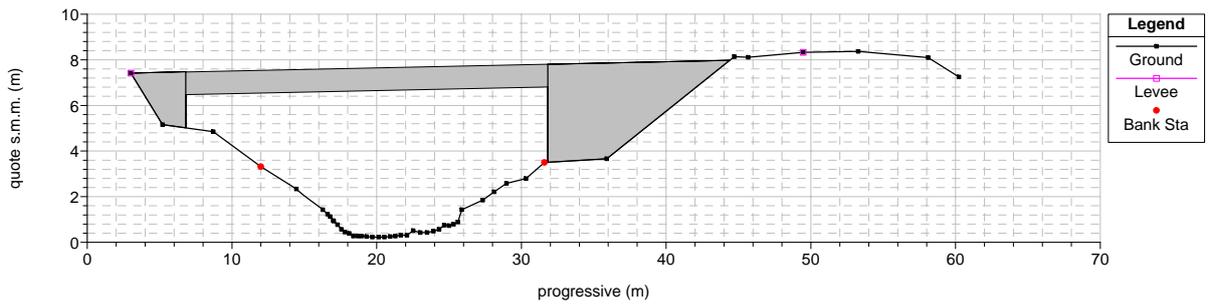
Bovolenta2008
RS = 26790 IS interclusione di valle



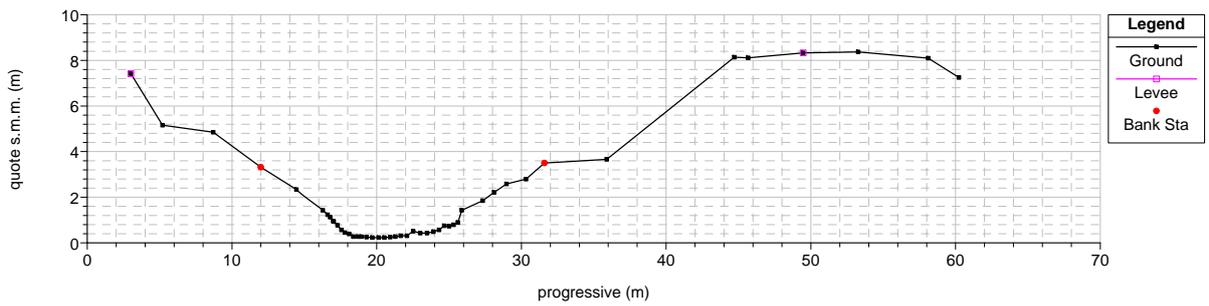
Bovolenta2008
RS = 26780 MO_BV01 - bis



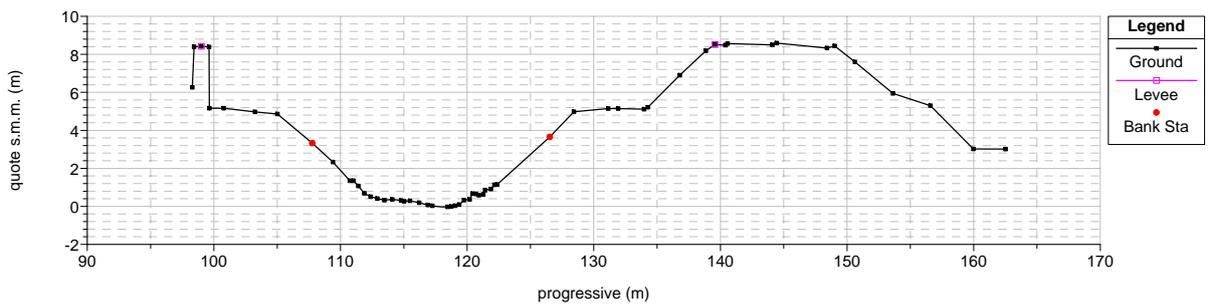
Bovolenta2008
RS = 26765 BR ponte azzurro



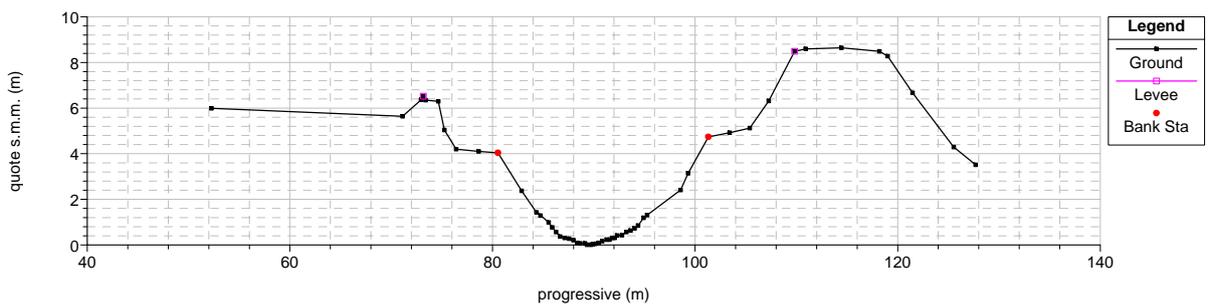
Bovolenta2008
RS = 26750 MO_BV01



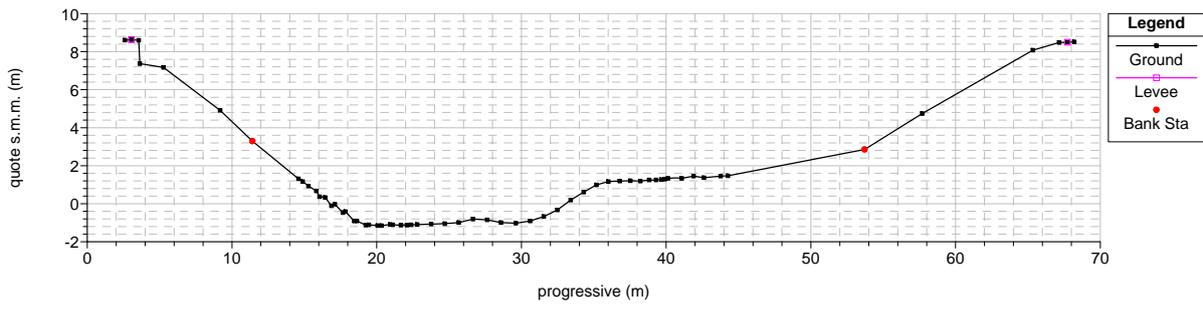
Bovolenta2008
RS = 26700 MO_BA06



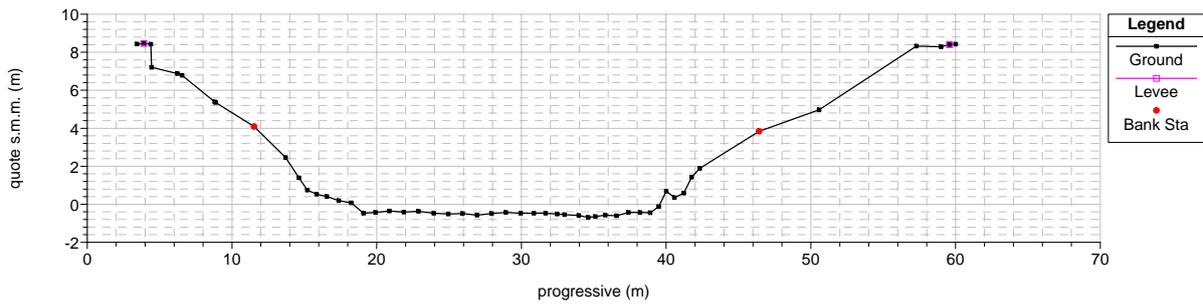
Bovolenta2008
RS = 26600 MO_CA04



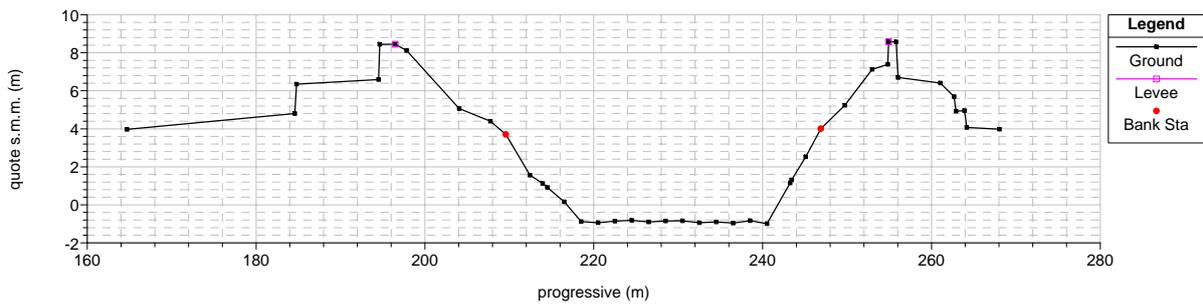
Bovolenta2008
RS = 26600 MO_CA03



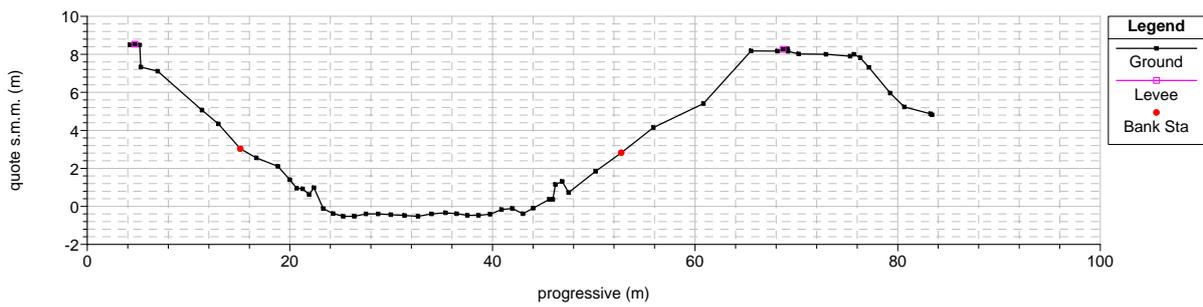
Bovolenta2008
RS = 26500 MO_CA02



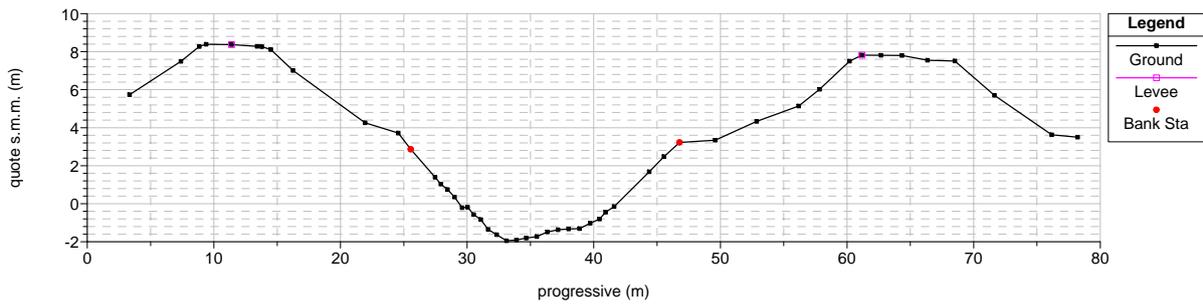
Bovolenta2008
RS = 26462 BA026462



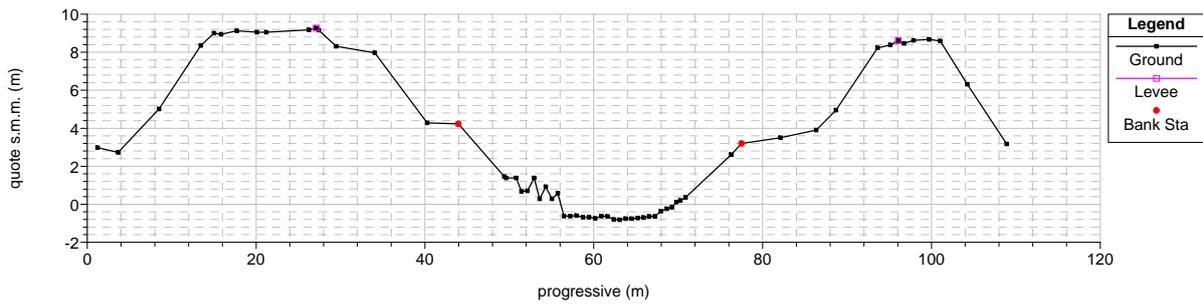
Bovolenta2008
RS = 26100 MO_CA01



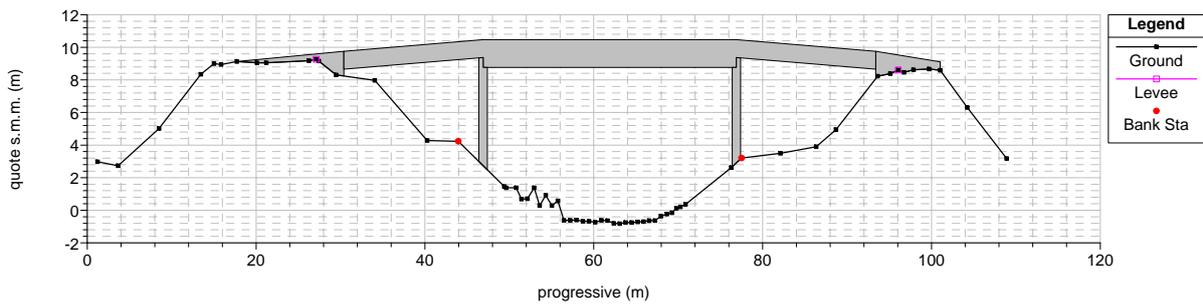
Bovolenta2008
RS = 26900 MO_CA06



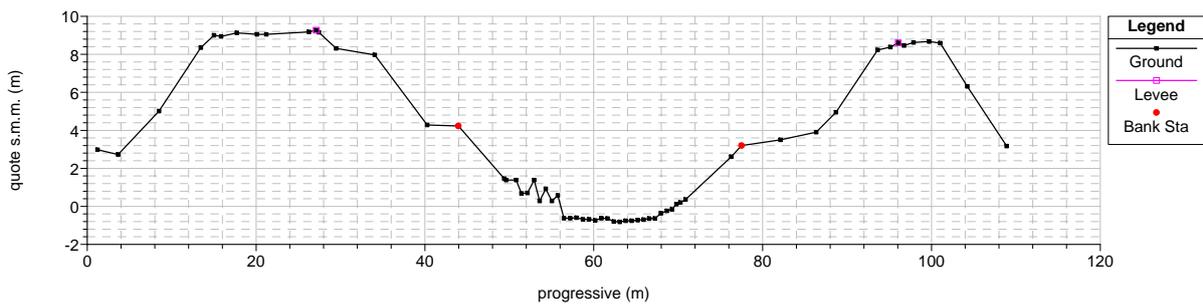
Bovolenta2008
RS = 26850 MO_CA05 - bis



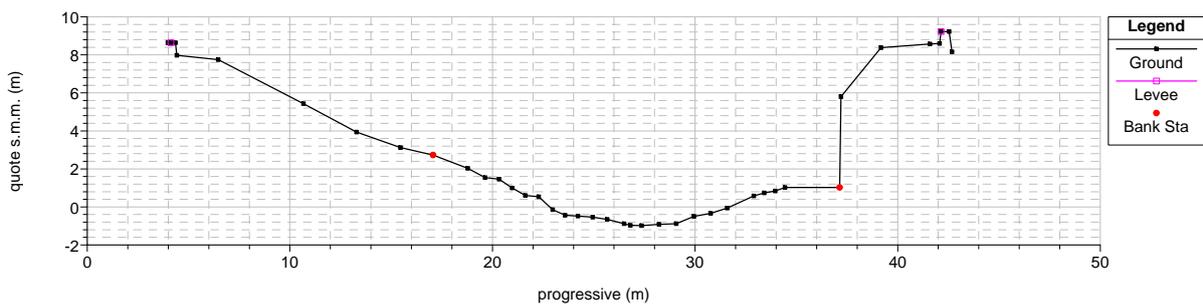
Bovolenta2008
RS = 26825 BR ponte strada provinciale



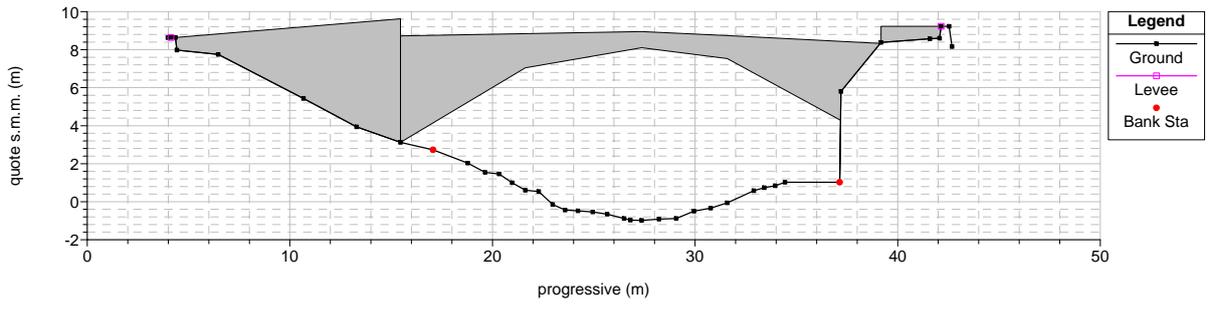
Bovolenta2008
RS = 26800 MO_CA05



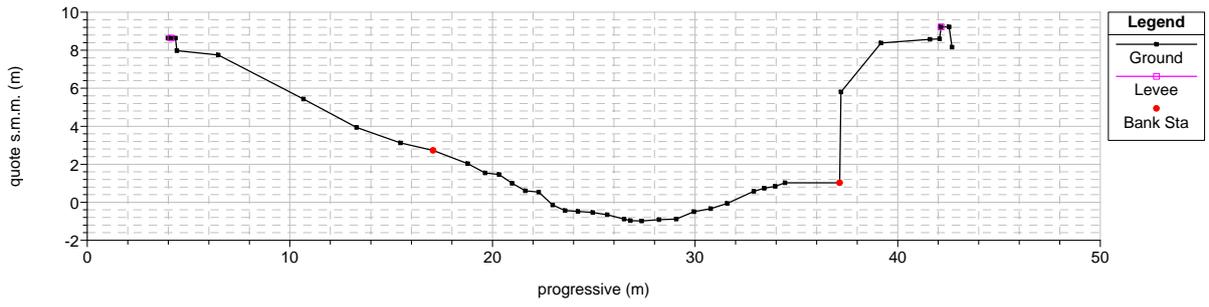
Bovolenta2008
RS = 26750 MO_CA05 - bis



Bovolenta2008
RS = 26725 BR ponte ad arco



Bovolenta2008
RS = 26700 MO_CA05



Bovolenta2008
RS = 26600 MO_CA04

