

**MODELLAZIONE IDRODINAMICA DELL'EVENTO
ALLUVIONALE DEL 16 SETTEMBRE 2006 SUL BACINO
DELL'ASPIO E VERIFICA DELLE IPOTESI PROGETTUALI
VOLTE ALLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO PER GLI
AFFLUENTI RIGO E SCARICALASINO**

**PROGETTO DIST – REGIONE MARCHE
N. 129 , POS. 1/R
27/01/2009**

GIORGIO ROTH, ANGELA CELESTE TARAMASSO

COLLABORATORI: MASSIMILIANO DEGIORGIS, SILVIA GORNI

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUZIONE | 3 |
| 1.1 PREMESSA | 3 |
| 1.2 STRUTTURA DEL DOCUMENTO | 3 |
| 2 ANALISI IDRAULICA DEL BACINO | 5 |
| 2.1 STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO | 5 |
| 2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE | 6 |
| 3 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO PER LO STATO ATTUALE | 8 |
| 3.1 CONDIZIONI AL CONTORNO | 9 |
| 3.2 DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE | 11 |
| 4 METODOLOGIA DI DEFINIZIONE DELLE AREE INONDABILI | 12 |
| 5 MAPPE DI INONDABILITA' | 12 |
| 5.1 EVENTO SETTEMBRE 2006 – CALIBRAZIONE | 12 |
| 5.2 EVENTO CON T=50 ANNI | 13 |
| 5.3 EVENTO CON T=200 ANNI | 13 |
| 6 SCHEMATIZZAZIONI DEL MODELLO PER LO STATO DI PROGETTO | 15 |
| 6.1 EVENTO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI | 16 |
| 6.2 EVENTO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI | 20 |
| 7 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO CON CASSE DI ESPANSIONE | 24 |
| 7.1 STIMA DEL CONTRIBUTO ALLA RIDUZIONE DELLE PORTATE DI PIENA TRAMITE CASSE D'ESPANSIONE | 24 |
| 7.1.1 ANALISI SUL RIGO | 29 |
| 7.1.2 ANALISI SULLO SCARICALASINO | 34 |
| 7.2 RISULTATI PER CASSE D'ESPANSIONE DI VOLUME FISSATO | 39 |
| 7.3 CONDIZIONI AL CONTORNO | 47 |
| 7.4 PROFILI IDRAULICI | 47 |
| 7.5 MAPPE DI INONDABILITA' | 51 |
| 8 CONCLUSIONI | 52 |
| 9 SVILUPPI FUTURI | 53 |

INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Il presente rapporto, che costituisce il prodotto finale previsto nel contratto stipulato, nel gennaio 2009, dalla Regione Marche con il Geo Risk Management Lab del Dipartimento di Informatica Sistemistica e Telematica, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Genova, analizza il rischio di inondazione a cui sono soggette le aree urbanizzate perifluviali del Bacino dell'Aspio nel tratto interessato dalle confluenze, in sponda destra, dello Scaricalasino e del Rigo e fornisce una prima analisi del comportamento di casse d'espansione localizzate lungo questi affluenti. Le sezioni idrauliche del fiume Aspio e dei suoi affluenti risultano infatti frequentemente insufficienti a contenere una piena di una certa rilevanza, in particolare quando si considerasse l'effetto di sbarramento temporaneo che il trasporto verso valle di materiale può comportare in prossimità delle numerose strutture di attraversamento presenti lungo l'asta, oggi idraulicamente insufficienti.

La modellazione idrologica della sollecitazione di piena, utilizzata quale dato di input, è stata effettuata dal Committente ed è riportata nell' Allegato 1 – Idrologia degli affluenti dell'Aspio, documento prodotto e ricevuto nel dicembre 2008.

La modellazione idraulica riprende parzialmente il network realizzato in una precedente convenzione con l'Università di Genova, che ha interessato una parte di bacino più ampia, e lo aggiorna con l'inserimento di alcune opere di attraversamento, per le quali il Committente ha effettuato rilievi di dettaglio. L'attività svolta dal Committente in campo per il rilievo di opere ed il controllo del DTM disponibile ha inoltre avuto come obiettivo la validazione dei dati topografici utilizzati sia per la modellazione idraulica in alveo sia per la modellazione delle aree inondabili. Il Rilievo del DTM con metodologia laser-scan è successivo alla realizzazione degli interventi effettuati a seguito dell'evento del 16 settembre 2006.

1.2 STRUTTURA DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha per oggetto sia l'analisi idraulica di una parte del bacino del fiume Aspio, interessata dagli affluenti Scaricalasino e Rigo in sponda destra sia l'analisi idrologica del comportamento di casse d'espansione lungo questi due affluenti.

La prima parte del documento contiene la validazione del network modificato, ottenuta attraverso la stima della sua risposta alla sollecitazione idrologica dall'evento di pioggia del settembre 2006, evento per il quale si hanno informazioni di dettaglio sugli effetti al suolo registrati nel territorio in esame. Per questa prima parte la modellazione idraulica è effettuata utilizzando i rilievi attualmente disponibili ed inserendo alcuni link laterali per collegare nel modo più realistico possibile l'alveo al territorio e modellare accuratamente i fenomeni di esondazione. Con riferimento a tale network sono prodotte le analisi idrodinamiche in alveo e la mappatura delle aree inondabili per eventi con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni per gli affluenti laterali con condizioni del fiume Aspio assunte pari a quelle di piene rive.

Le simulazioni sono state effettuate mediante la realizzazione di un modello numerico con il codice di calcolo Mike 11, modulo HD, del Danish Hydraulic Institute Water and Environment; le relative aree inondate sono ottenute ipotizzando uno schema idraulico semplificato.

La seconda parte del documento contiene la modellazione con un network rivisto attraverso la descrizione di interventi sugli alvei e modifiche progettuali per alcune opere di attraversamento, come descritto in dettaglio nel documento pervenuto in data 12 dicembre 2008, redatto dal Gruppo di Lavoro della Regione Marche.

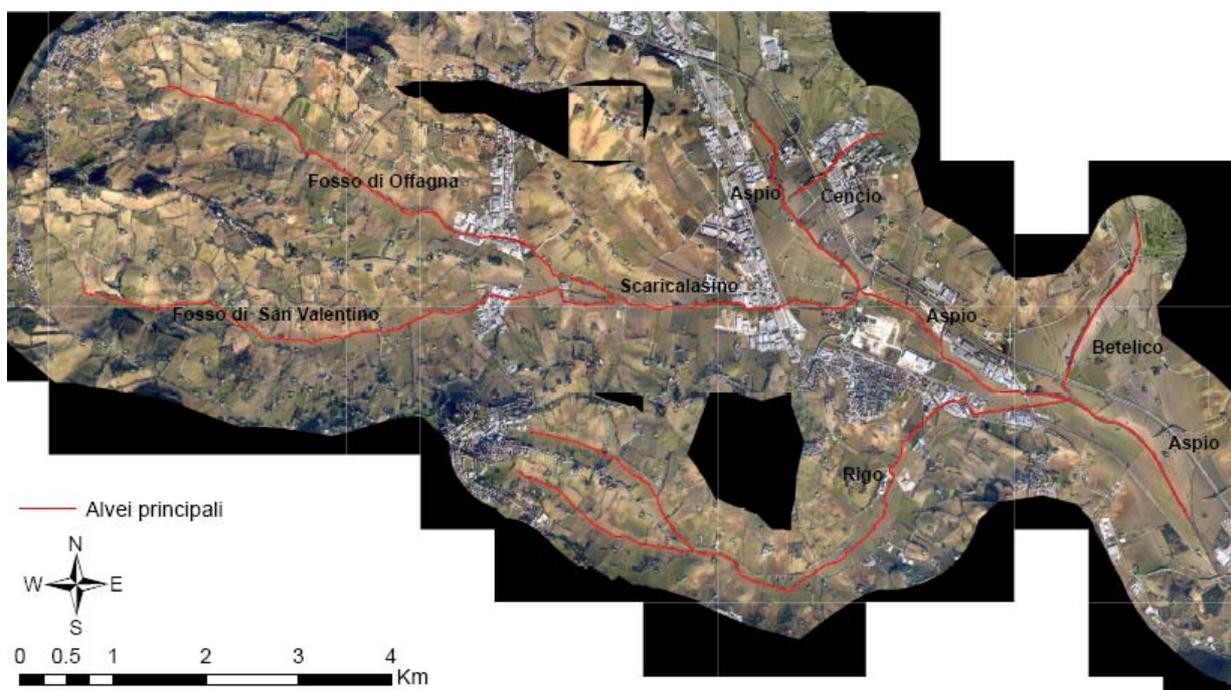


Figura 1 – Inquadramento territoriale del bacino del fiume Aspio .

Per il network di progetto è stata condotta un'analisi idrodinamica in alveo per evidenziare il ruolo di laminazione della piena ottenuto inserendo eventuali aree di espansione con funzionamento descritto da modelli concettuali. L'analisi presentata è principalmente di tipo idrologico, valutando con il modello idrodinamico gli idrogrammi a monte delle aree di

laminazione ed inserendo a valle di queste gli idrogrammi modificati con l'effetto di laminazione del picco di piena ottenuto ipotizzando casse dal funzionamento concettualizzato attraverso semplici modelli idrologici, senza in questa fase di attività introdurre alcuna descrizione puntuale sul dimensionamento di dettaglio delle casse d'espansione e delle tempistiche e modalità di attivazione e di svuotamento.

Si allega al presente documento, come specificato nel Contratto:

- Allegato A – stato attuale – tabelle riassuntive dei parametri idraulici relativi ad ogni sezione dell'alveo delle tratte analizzate per gli eventi considerati (T=50 anni, T=200 anni ed evento settembre 2006) e i profili longitudinali di profondità al colmo di piena;
- Allegato B – stato attuale e di progetto – idrogrammi in input in formato tabellare;
- Allegato C – stato attuale e di progetto – valori di scabrezza utilizzati nella modellazione;
- Allegato D – stato attuale – files raster delle aree inondate per gli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni e per l'evento di calibrazione settembre 2006.
- Allegato E – stato attuale – shape files del reticolo idrografico utilizzato nella modellazione proposta, e validato per l'evento del settembre 2006 dal Committente
- Allegato F – stato di progetto – tabelle riassuntive dei parametri idraulici relativi ad ogni sezione dell'alveo delle tratte analizzate per gli eventi considerati (T=50 anni, T=200 anni) e i profili longitudinali di profondità al colmo di piena;
- Allegato G – stato di progetto con l'inserimento di aree di espansione - files raster delle aree inondate per l'evento con tempo di ritorno 200 anni.

2 ANALISI IDRAULICA DEL BACINO

2.1 STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO

Il sistema idrografico dell'area del bacino del fiume Aspio presa in esame è stato rappresentato nel suo complesso mediante un modello numerico di tipo monodimensionale, introducendo un approccio quasi-bidimensionale per la modellazione delle aree inondabili.

La modellazione idrologica del bacino del fiume Aspio è stata effettuata dal Committente utilizzando i dati di pioggia attualmente disponibili ed il modello MIKE-DRIFt; i risultati sono stati consegnati con un documento prodotto dal Gruppo di Lavoro della Regione Marche in data 19 dicembre 2008 (Allegato 1 della presente relazione).

2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE

Le verifiche idrauliche sono eseguite utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 (modulo idrodinamico HD) del Danish Hydraulic Institute Water & Environment. Mediante questo codice di calcolo è messo a punto per l'asta fluviale in oggetto un modello idrodinamico quasi-bidimensionale, in modo da ottenere un maggior dettaglio in corrispondenza di ampie aree soggette ad esondazione, di rilevati e infrastrutture interferenti con la corrente e di zone con particolare morfologia. La tipologia "quasi-2D" fa riferimento ad un tipo di modello numerico che, pur basandosi sulle formulazioni monodimensionali di De St.Venant per la rappresentazione del moto vario in canali a pelo libero, può essere applicato su una rete idraulica a maglie aperte o chiuse ed è in grado di descrivere in modo adeguato fenomeni idraulici che interessano tratti fluviali nei quali il transito della piena può riguardare in modo determinante lo scambio di deflusso tra l'alveo attivo e le zone perifluviali, con prevalenti funzioni di laminazione rispetto all'alveo.

La schematizzazione monodimensionale considerata consente di rappresentare il deflusso nell'alveo principale di piena del corso d'acqua in maniera generalmente conservativa, ma non permette la rappresentazione dello scambio di portata tra alveo attivo e zone adiacenti, né l'analisi della distribuzione dei deflussi in una rete ramificata di canali di flusso a pelo libero.

Un modello quasi-bidimensionale consente invece di rappresentare uno schema planimetrico complesso costituito da più rami monodimensionali collegati tra loro ed eventualmente interagenti creando dei volumi in cui il moto è trascurabile ma che svolgono un'importante azione di accumulo e rilascio della portata.

Un modello quasi-bidimensionale ha generalmente le seguenti caratteristiche:

- rappresenta una serie di canali monodimensionali, nei quali valgono le equazioni di De St.Venant di conservazione dell'energia e di conservazione della massa, tra loro interconnessi per mezzo di confluenze e diramazioni atte a creare una rete a maglie, aperte o chiuse;
- su ogni ramo della rete possono essere rappresentate le strutture idrauliche presenti (sfioratori, stramazzi, tombini, ponti) che vengono descritte per mezzo di una forma particolare dell'equazione di conservazione dell'energia che tiene localmente conto delle perdite di carico concentrate dovute al deflusso sulla struttura;
- le condizioni di confluenza e di diramazione vengono imposte idraulicamente mediante l'uguaglianza della quota del livello idrico nelle sezioni di congiungimento tra i due rami, calcolando di conseguenza la ripartizione dei deflussi sulla base delle caratteristiche idrauliche dei tratti confluenti.

Un modello di questo tipo, pur non risolvendo le equazioni bidimensionali del moto, è comunque in grado di rappresentare adeguatamente il comportamento idraulico nella direzione del moto e nelle direzioni trasversali. Per questa ragione tale tipo di modello assume la notazione di “quasi” bidimensionale.

Il codice di calcolo MIKE 11, utilizzato per la costruzione del modello, consente di operare tale tipo di descrizione, passando direttamente dallo schema monodimensionale a quello quasi-2D mediante l'introduzione di rami di deflusso perifluviali e celle di invaso. Il modello idraulico di simulazione è interfacciato in ambiente GIS mediante il modulo DHI MIKE GIS, operante in ambiente ARCVIEW, che consente l'elaborazione di aree di esondazione per i diversi tempi di ritorno considerati e/o per gli scenari di evento simulati sulla base del modello digitale del terreno.

I ponti sono schematizzati con strutture tipo “culvert”, di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce di deflusso al netto delle pile. Il codice di calcolo MIKE 11 permette di calcolare le perdite di carico concentrate dovute al deflusso sotto i ponti tenendo conto delle condizioni idrauliche di monte e di valle, del rapporto di restringimento e dei coefficienti di perdita localizzata, funzione essenzialmente della forma delle pile (Vedi Figura 2). Gli estradossi dei manufatti sono schematizzati mediante “weir” al fine di rappresentare l'eventuale sormonto della struttura. Il “weir” è inserito come stramazzo a larga soglia tramite una relazione livelli-larghezze e la definizione delle perdite di carico localizzate: il codice di calcolo permette di definire le caratteristiche di deflusso sia in condizioni di stramazzo libero sia in condizioni rigurgitate da valle.

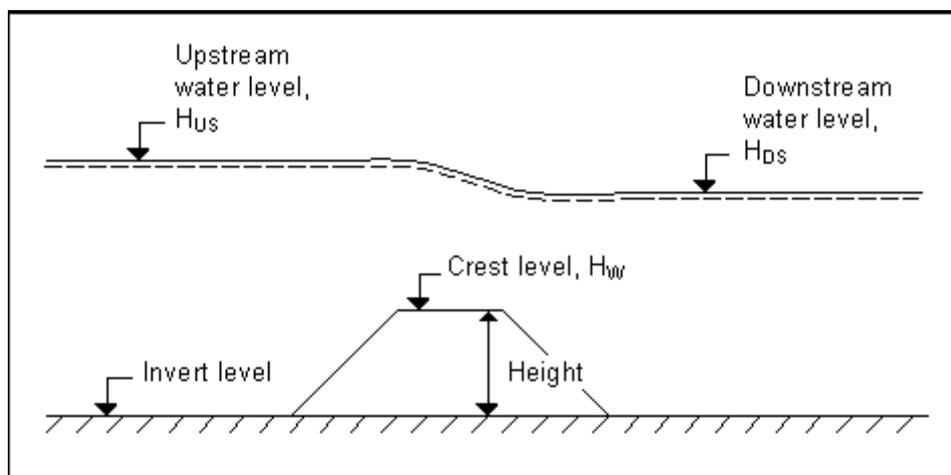


Figura 2 – Schematizzazione della struttura delle traverse in MIKE 11.

3 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO PER LO STATO ATTUALE

Le simulazioni idrauliche effettuate con il modello quasi-bidimensionale sono finalizzate al tracciamento delle aree inondabili ed alla definizione dei tiranti idrici per la geometria dell'alveo nella situazione attuale ed in seguito ad eventi con diverso tempo di ritorno.

Esse si appoggiano sul modello digitale delle elevazioni ottenuto da rilievo aereo con apparecchiatura laser-scan, effettuato a seguito degli interventi eseguiti dopo l'evento 16 settembre 2006 ed eseguito appositamente per questo studio. L'informazione topografica a disposizione presenta una risoluzione di 0.5 metri per l'asta fluviale e per le aree perifluviali potenzialmente interessate del deflusso della corrente. L'estrazione delle sezioni trasversali dell'alveo e dei piani perifluviali necessari alla modellazione idraulica è condotta a partire dall'unione e campionamento a 0.5 metri dei DTM disponibili. L'operazione di estrazione delle sezioni è eseguita mediante il software MIKE 11 GIS che consente di generare in modalità automatica il file di input al modello idrodinamico. La geometria del modello è poi ulteriormente integrata inserendo i rilievi a terra in corrispondenza dei manufatti presenti lungo l'asta fluviale.

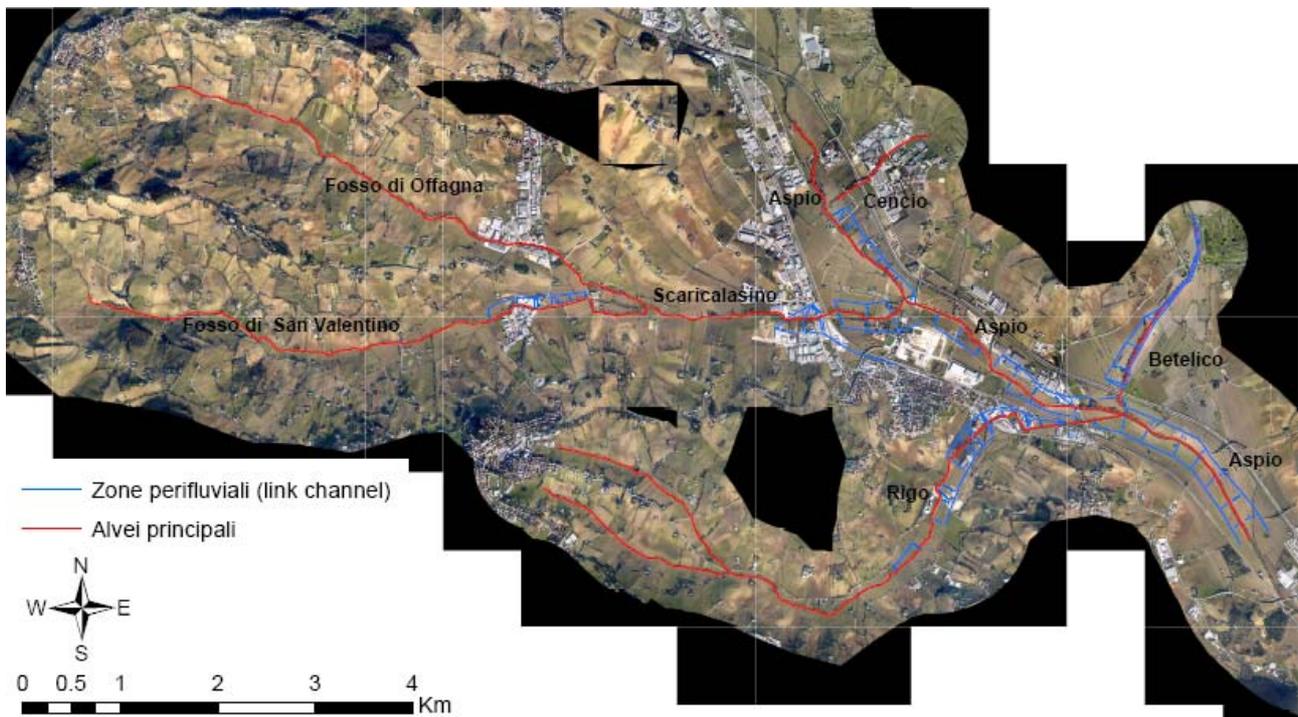


Figura 3 – Schematizzazione del network utilizzato per lo stato attuale (in rosso il reticolo idrografico e in blu i link channel).

Il tratto di fiume Aspigo preso in esame comprende gli affluenti in destra dello Scaricalasino (formato dall'unione dei fossi di Offagna e S.Valentino) e del Rigo.

Per la modellazione allo stato attuale, per il quale si riportano anche le mappe delle aree inondabili, al Fosso S.Valentino ed alla parte terminale dello Scaricalasino è associato un canale perfluviale, in entrambi i casi di lunghezza circa pari a 1 km. Anche gli ultimi 2,5 km circa del Rigo hanno richiesto la modellazione di zone di deflusso laterale (Vedi Figura 3).

3.1 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno imposte per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche con il modello MIKE 11 prevedono una condizione di valle ed una condizione di monte.

Come condizione di monte sono posti gli idrogrammi di piena sintetici con tempi di ritorno di 50 e 200 anni forniti dal Committente e, nel caso della simulazione dell'evento del 16 Settembre 2006, gli idrogrammi simulati a partire dai valori di precipitazione registrati dai pluviometri disponibili (Idrogrammi già utilizzati nella Relazione Prot. n. 472/2008 prodotta dall'Università di Genova per la Regione Marche).

In relazione agli affluenti di destra, Scaricalasino e Rigo, è adottata una soluzione più articolata. Entrambi i corsi d'acqua, infatti, si formano dall'unione di due rii (o fossi); di conseguenza è posta come condizione di monte per i quattro rii l'idrogramma chiuso immediatamente a monte della loro unione (indicati nell'Allegato 1 come idrogrammi nelle sezioni D ed H per lo Scaricalasino e nelle sezioni O e Q per il Rigo). Immediatamente a valle di tale unione, ovvero quando si formano i due corsi d'acqua principali (indicati nell'Allegato B come idrogrammi nella sezione C per lo Scaricalasino e nella sezione N per il Rigo), è posta un'ulteriore condizione di afflusso laterale corrispondente all'idrogramma chiuso alla confluenza con l'Aspio (indicati nell'Allegato 1 come idrogramma nella sezione A per lo Scaricalasino e nella sezione L per il Rigo) depurato del contributo dei rii di monte. Tali idrogrammi sono utilizzati nella modellazione idraulica come contributo distribuito sull'asta. Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi inseriti come input nelle diverse simulazioni effettuate nello stato attuale e nello stato di progetto senza aree di espansione. I valori tabellari sono riportati nell'Allegato B.

Come condizione di valle è posta una scala di deflusso costruita ipotizzando un regime di moto della corrente, ovvero il valore di portata corrispondente a particolari condizioni di deflusso.

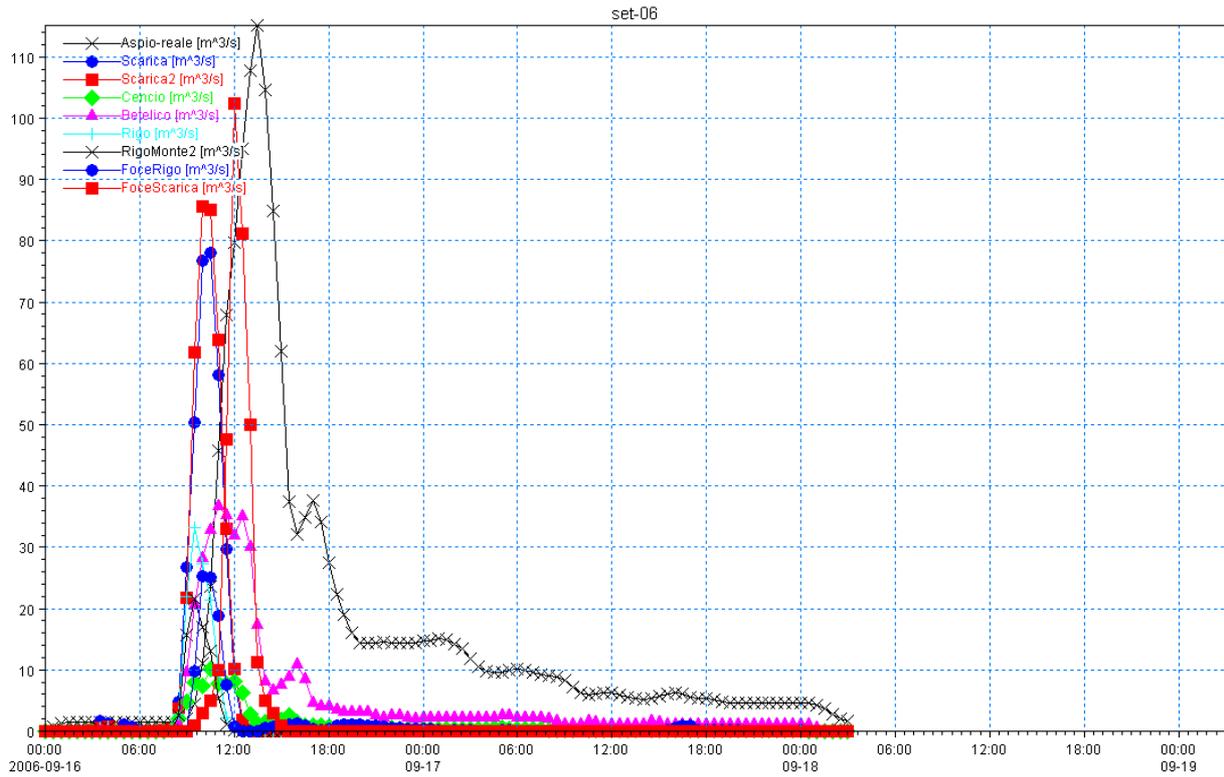


Figura 4 – Idrogrammi di input per la simulazione dell'evento 2006.

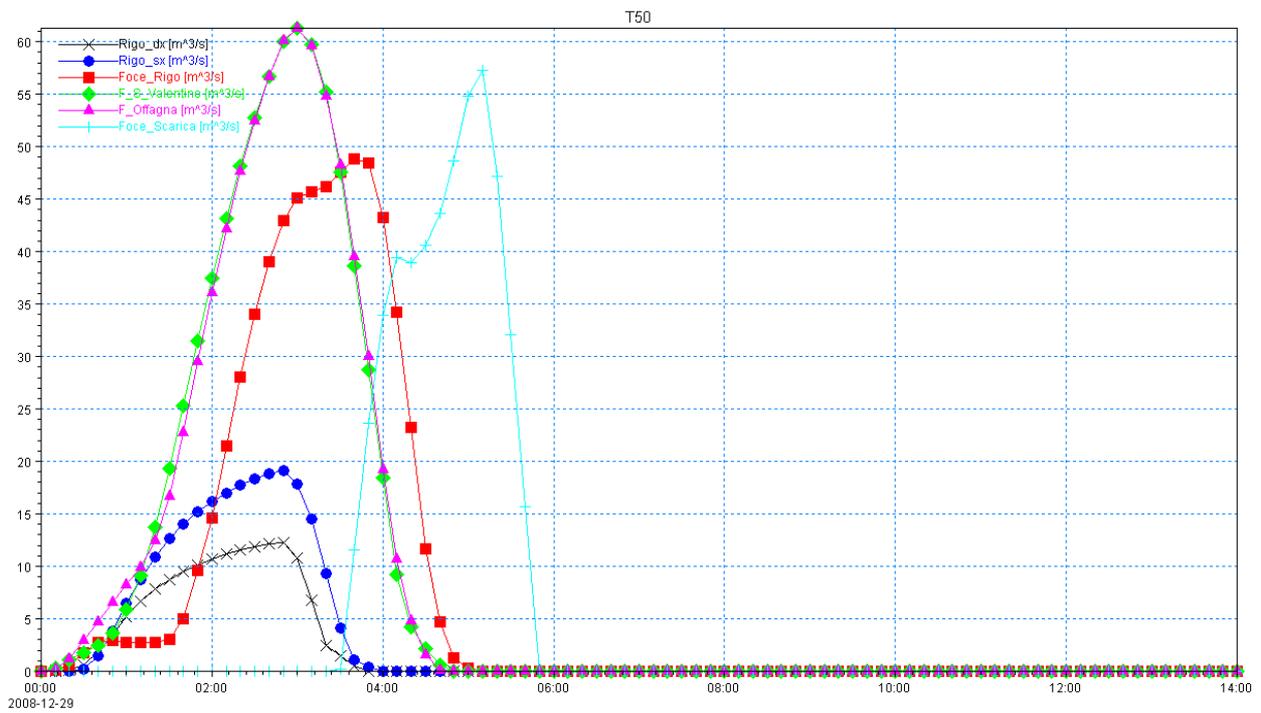


Figura 5 – Idrogrammi di input per la simulazione dell'evento con T=50 anni.

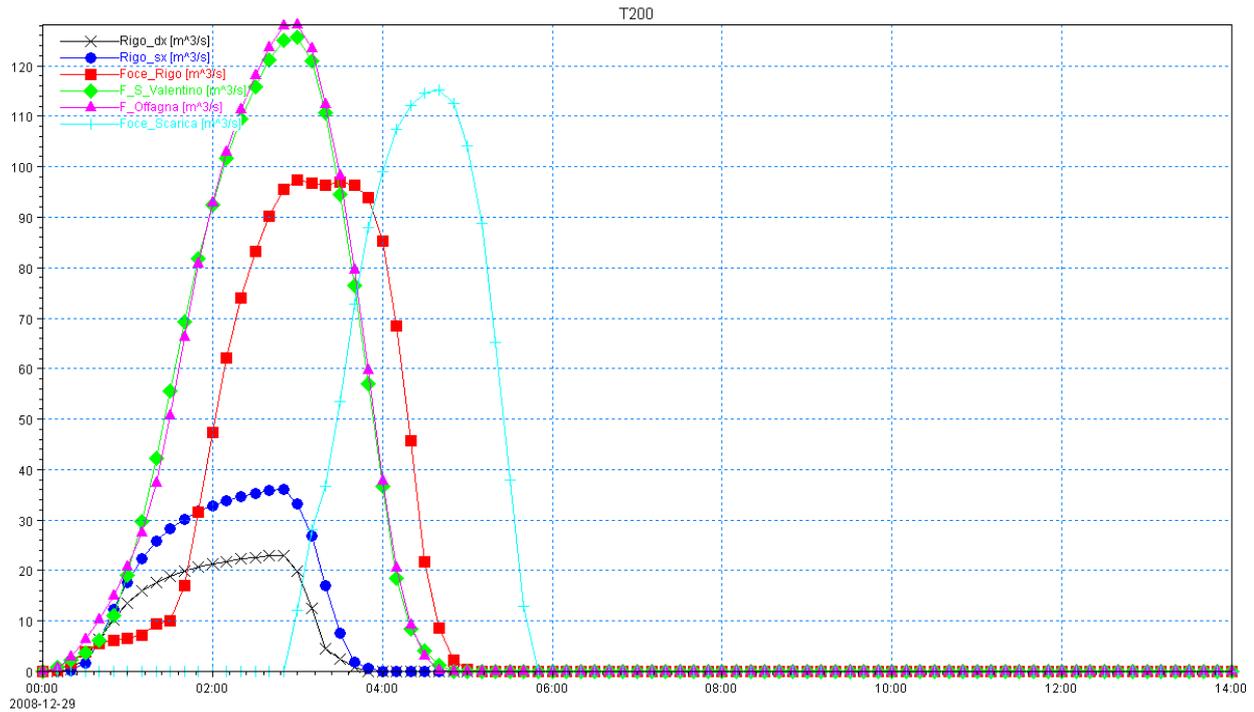


Figura 6 – Idrogrammi di input per la simulazione dell’evento con T=200 anni.

3.2 DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE

Il coefficiente di scabrezza in un alveo naturale è una misura globale della resistenza al moto; i valori introdotti nel modello sono stati definiti facendo riferimento alle caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l’alveo ed alla copertura vegetale delle sponde e delle aree adiacenti interessate al deflusso. A tal fine risultano determinanti le informazioni acquisite in fase di rilievo a terra e la consultazione degli elaborati cartografici e fotografici a disposizione.

Il prodotto originale che si ottiene dal rilievo con laser–scan è infatti una mappa raster con l’indicazione delle quote della copertura del suolo, ovvero il DEM (Digital Elevation Model). Di conseguenza, le quote del DEM corrispondono a quelle del terreno solo in corrispondenza di suolo nudo, ovvero non vegetato; in caso contrario, infatti, il DEM restituisce le quote alla sommità della vegetazione, che nel caso di suolo boscato possono essere superiori di parecchi metri rispetto al terreno. A seguito dell’eliminazione della copertura vegetata si ottiene invece il DTM (Digital Terrain Model), ovvero la mappa raster delle quote reali del terreno: il raster delle differenze tra DEM e DTM fornisce dunque un’informazione piuttosto precisa del tipo di copertura vegetale della zona in esame, che può essere utilizzata per la definizione delle scabrezze. Per la scelta dei valori numerici da assegnare al coefficiente di scabrezza di Strickler $[m^{1/3}/s]$ per l’alveo inciso e per l’area perfluviale è fatto riferimento ai dati di letteratura tecnica.

Per maggiore dettaglio, si rimanda agli elaborati della modellazione e in generale all'Allegato C della presente relazione.

4 METODOLOGIA DI DEFINIZIONE DELLE AREE INONDABILI

Le aree di esondazione per lo scenario d'evento del settembre 2006 e per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni sono delimitate in base ai livelli idrici massimi calcolati in tutte le sezioni del modello. Il procedimento seguito consiste, in una prima fase, nell'applicazione del modulo MIKE GIS ai risultati del modello idrodinamico, con il quale è operata la sovrapposizione automatica delle superfici idriche al DTM.

Tale elaborazione fornisce risultati attendibili in ragione del DTM disponibile che, essendo a maglia 0.5x0.5 m, presenta un grado di dettaglio sufficiente per tener conto, nella delimitazione delle aree inondabili, della continuità delle arginature e delle discontinuità naturali e infrastrutturali presenti nelle aree perifluviali.

Sono inoltre eseguite due procedure di verifica manuale sulle mappe elaborate. Una prima procedura è relativa alla verifica della corrispondenza del limite di esondazione in planimetria e nelle sezioni rilevate relativamente ai livelli idrici di riferimento: in questo caso è verificato che il limite della zona soggetta ad allagamento sia ad una quota pari o superiore al livello del pelo libero calcolato dal modello. La seconda verifica è relativa alla coincidenza dei limiti di esondazione con le discontinuità antropiche (rilevati stradali ecc.) e geomorfologiche (rami riattivabili, orli di terrazzo, ecc.) esistenti nelle aree perifluviali.

5 MAPPE DI INONDABILITA'

Per lo stato attuale dei tratti d'asta esaminati sono prodotte le mappe di inondazione a seguito all'evento del settembre 2006. I risultati ottenuti in termini di estensione e di valore dei tiranti consentono inoltre la calibrazione del modello proposto.

5.1 EVENTO SETTEMBRE 2006 – CALIBRAZIONE

L'aderenza dell'area effettivamente interessata dal fenomeno di esondazione del 16–17 Settembre 2006 (come da file vettoriale fornito dal Committente e riportata in rosso nella Figura 7) a quella simulata con il modello illustrato nella presente relazione risulta buona non solo in termini di estensione ma anche fra valori di tiranti idrici modellati e rilevati sul territorio. Tale

risultato è solo utilizzabile per scopi di “calibrazione – validazione” del network modellistico proposto, non avendo, nel presente studio, analizzato la rete idrografica nel suo insieme.

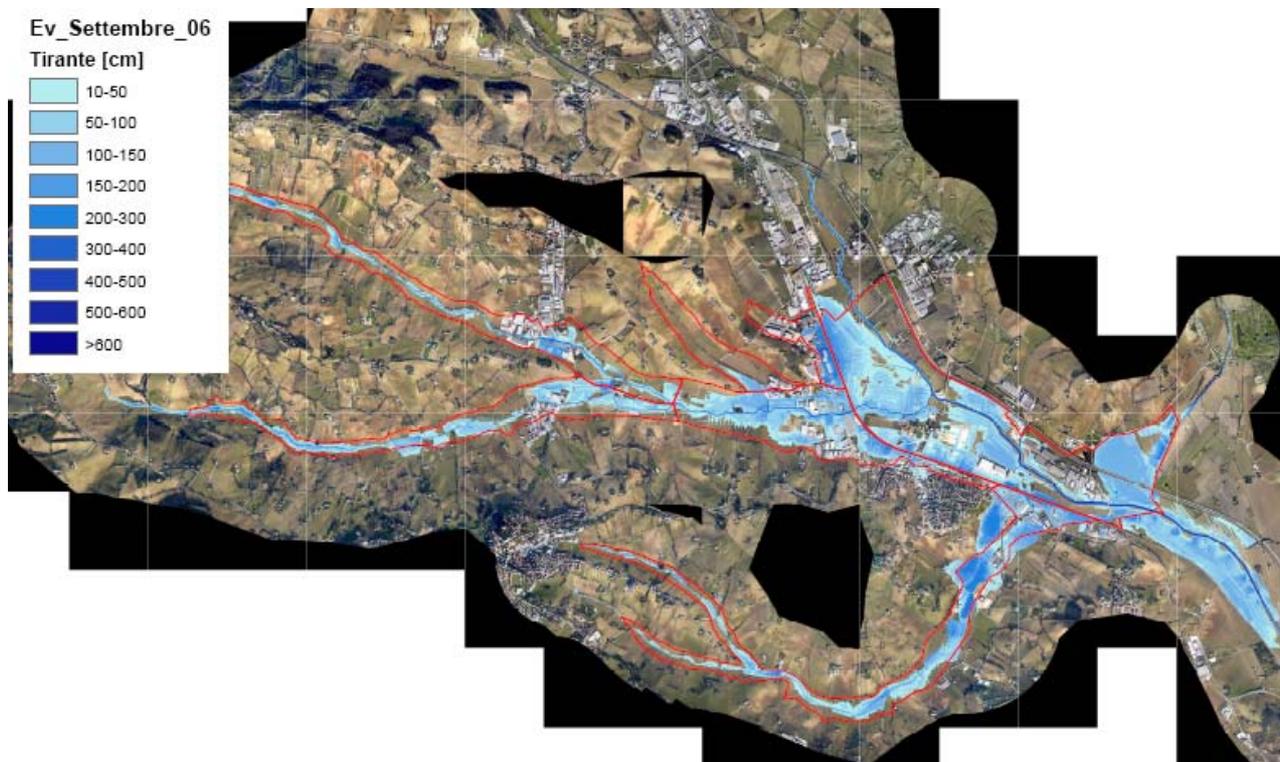


Figura 7 – Mappa d’inondazione relativa all’evento del 16–17 Settembre 2006.

5.2 EVENTO CON T=50 ANNI

L’evento associato a T=50 anni presenta esondazioni diffuse su entrambe le sponde lungo lo Scaricalasino e il Rigo, interessando diverse aree con edifici ed infrastrutture.

5.3 EVENTO CON T=200 ANNI

La mappa di esondazione relativa all’evento duecentennale presenta estensione analoga o simile a quella per l’evento cinquantennale, ma con tiranti superiori, in particolare nel tratto compreso tra la confluenza dei due corsi d’acqua che originano lo Scaricalasino e l’attraversamento della Via Adriatica (affiancata dalla linea ferroviaria), nella sponda destra del Rigo tra l’attraversamento di Via della Stazione e quello della linea ferroviaria.

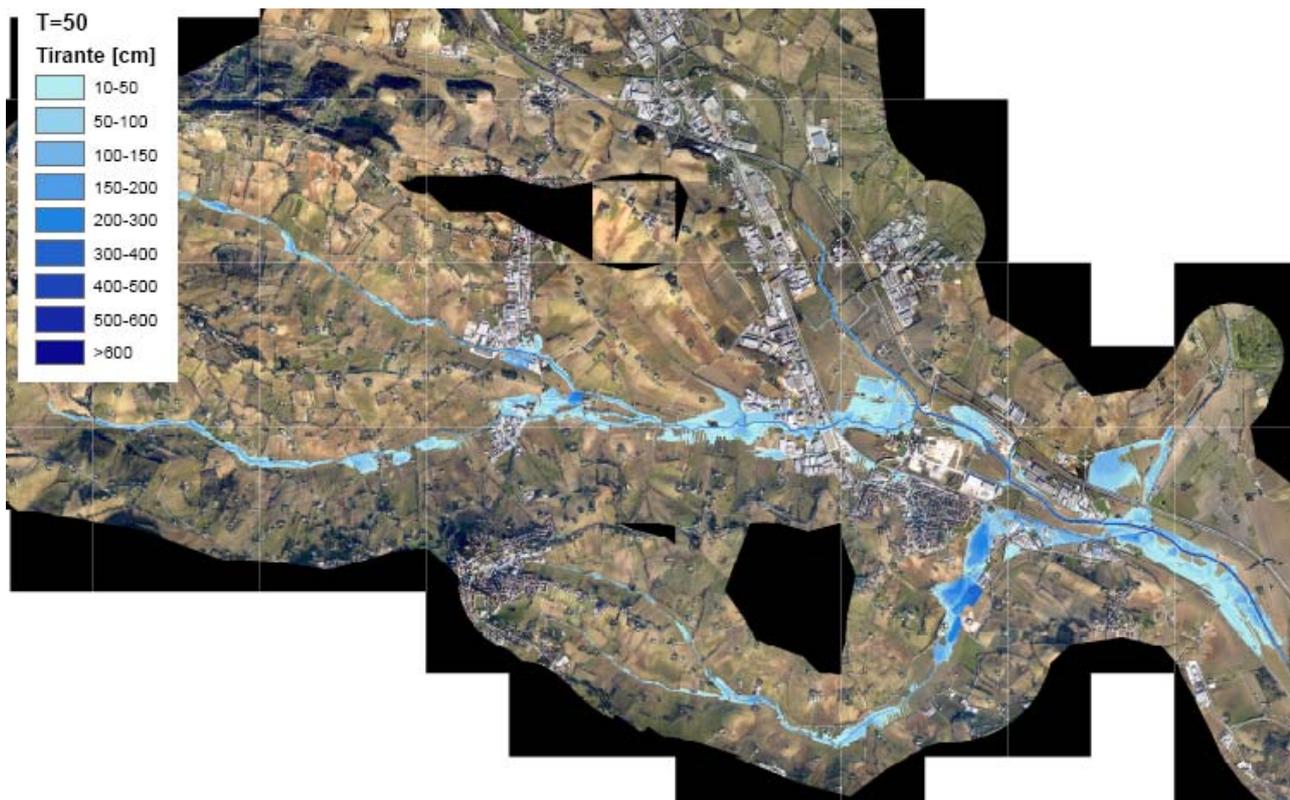


Figura 8 – Mappa d’inondabilità relativa all’evento associato a T=50 anni.

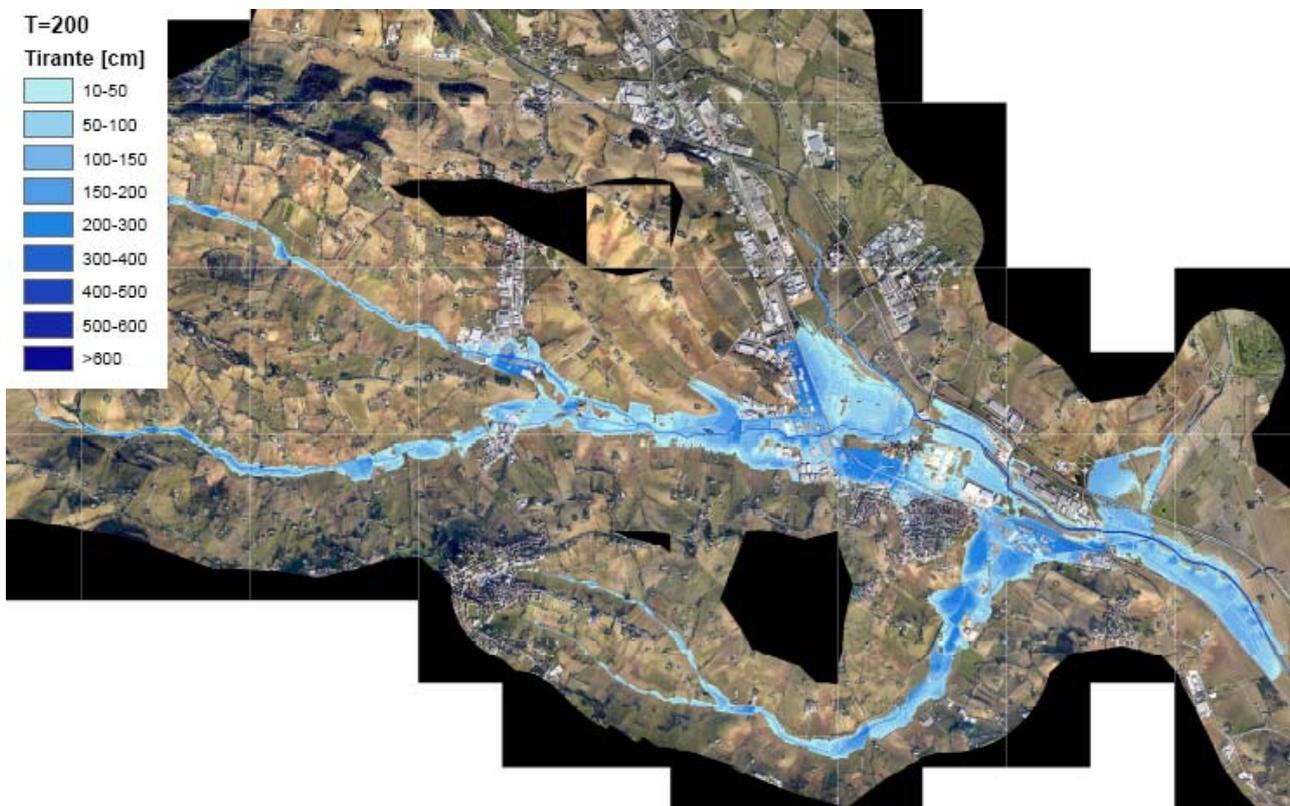


Figura 9 – Mappa d’inondabilità relativa all’evento associato a T=200 anni.

6 SCHEMATIZZAZIONI DEL MODELLO PER LO STATO DI PROGETTO

Il modello sviluppato è successivamente implementato per una analisi idrodinamica introducendo gli interventi previsti dal Gruppo di Lavoro della Regione Marche. Si riportano in Tabella 1 le principali variazioni eseguite nel network in merito a modifiche di opere d'attraversamento delle diverse aste esaminate. Inoltre, nella parte terminale del Rigo è inserita la modifica d'alveo schematizzata in Figura 10 (in rosso rispetto allo stato attuale in blu). Le caratteristiche delle nuove sezioni inserite sono riportate in Tabella 2 come fornite dal Committente. Per questa configurazione sono modellati i profili per eventi con tempo di ritorno 50 anni e 200 anni utilizzando i dati idrologici di input come per la modellazione nello stato attuale.

Tabella 1 – Principali variazioni degli attraversamenti nella configurazione di progetto esaminata.

| Asta | Progressiva di monte | Progressiva di valle | Id sezione di monte | Id sezione di valle | Intervento |
|---------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| Scaricalasino | 7706.05 | 7729.1 | 16_hec | 15_hec | Inserimento attraversamento |
| Scaricalasino | 6942.79 | 6963.89 | 23_7_hec | 23_hec | Eliminato attraversamento |
| Scaricalasino | 6050.6 | 6070.6 | p_31m | p_31v | Eliminato attraversamento |
| Scaricalasino | 6014.56 | 6027.81 | 33_hec | 32_hec | Inserimento attraversamento |
| San Valentino | 5984.0 | 5998.44 | 6_hec | 5_hec | Eliminato attraversamento |
| San Valentino | 5245.7 | 5275.7 | p_29m | p_29v | Modifica geometria attraversamento |
| Offagna | 8480.94 | 8491.58 | 5_hec | 4_hec | Eliminato attraversamento |

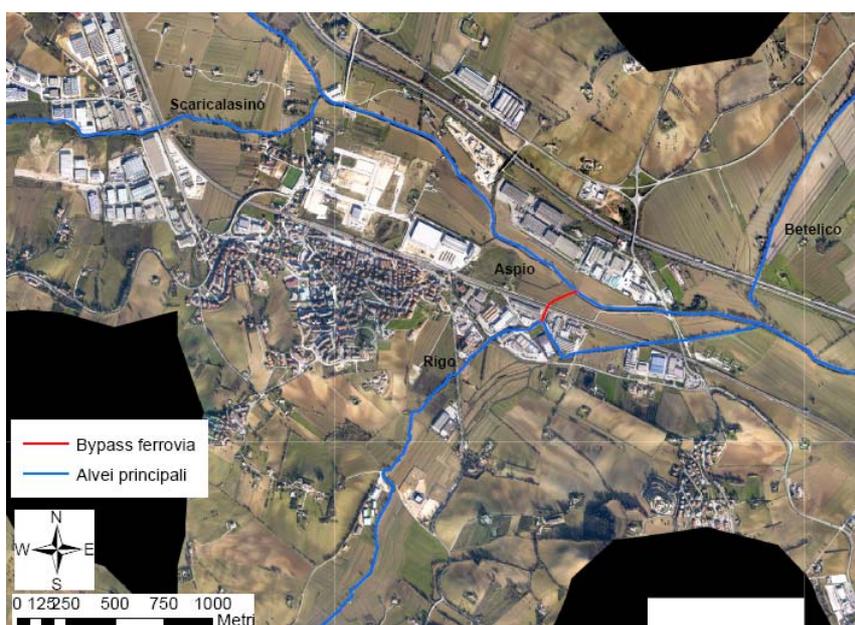


Figura 10 – Modifica network parte terminale del Rigo.

Tabella 2 – Caratteristiche nuove sezioni by-pass del Rigo.

| Progressiva | Id sezione | Modifiche |
|--------------------|-------------------|--|
| 6481.90 | 15_hec | Inizio bypass |
| 6820.2 | 14.94_hec | Sezione a monte attraversamento ferrovia |
| 6837.2 | 14.92_hec | Sezione a valle attraversamento ferrovia |
| 7006.011 | 14.90_hec | Fine bypass (confluenza con l'Aspio) |

6.1 EVENTO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI

Si presentano nel seguito i risultati per i tratti d'asta modificati relativi al profilo idraulico per l'evento con tempo di ritorno pari a 50 anni per lo Scaricalasino e per il Rigo sotto l'ipotesi di deflusso a piene rive per il tratto di fiume Aspio preso in esame. Le figure riportano le quote delle sommità arginali in sponda sinistra in rosso ed in sponda destra in verde.

Per il Fosso San Valentino per l'evento con tempo di ritorno 50 anni si riporta l'andamento del profilo per lo stato attuale in Figura 11 e per lo stato di progetto modellato in Figura 12.

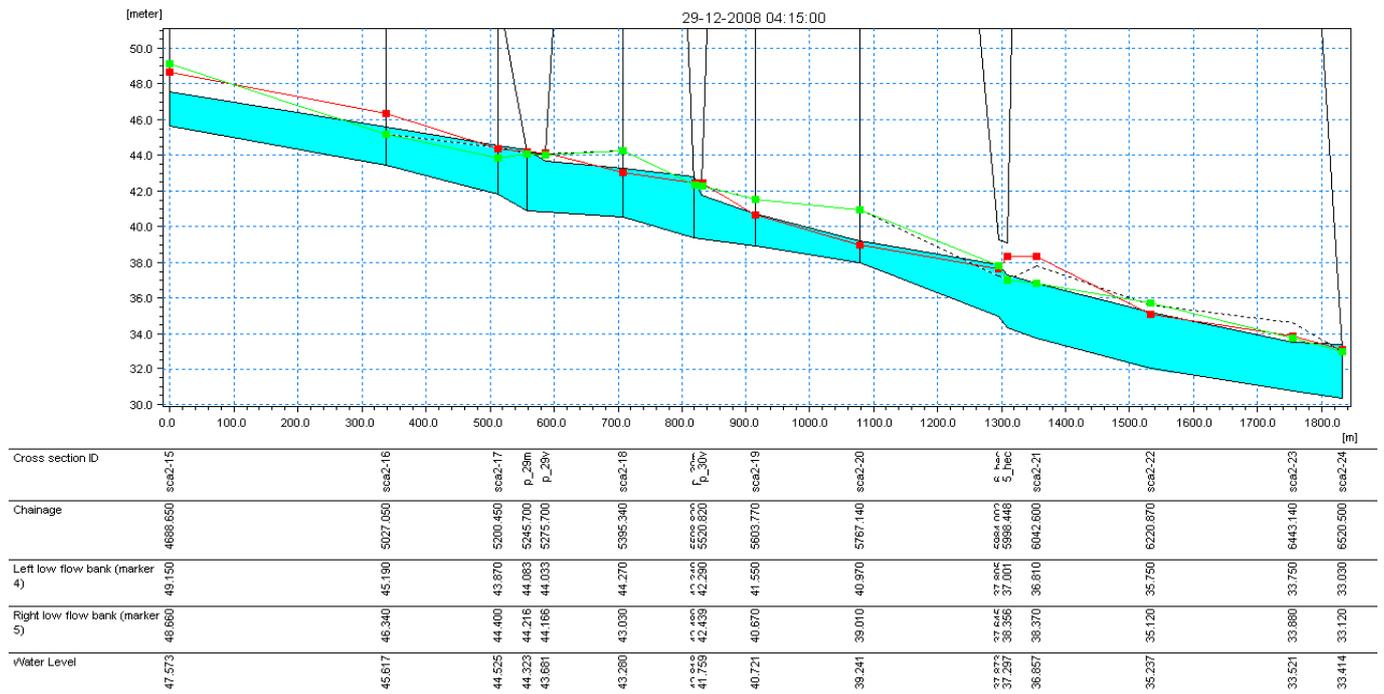


Figura 11 – Fosso San Valentino stato attuale.

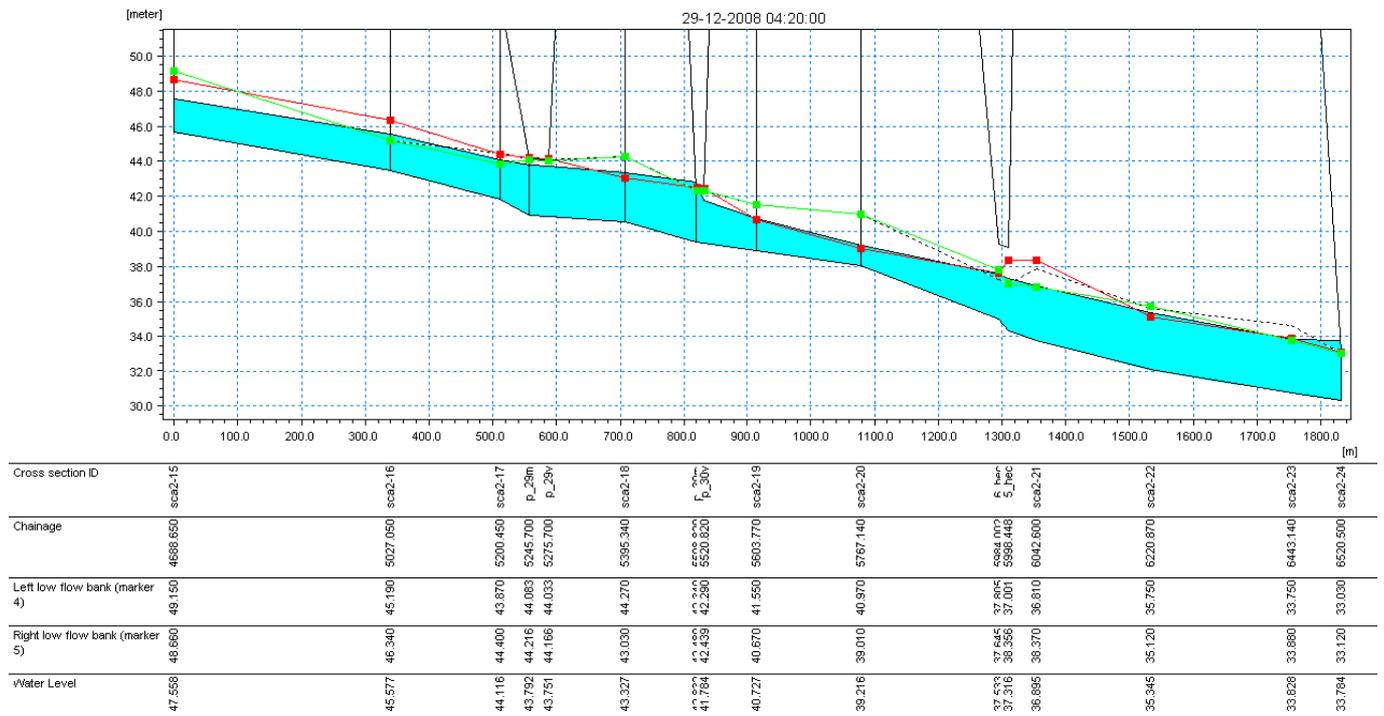


Figura 12 – Fosso San Valentino stato di progetto.

Per lo Scaricalasino per l'evento con tempo di ritorno 50 anni si riporta l'andamento del profilo per lo stato attuale in Figura 13 e per lo stato di progetto modellato in Figura 14.

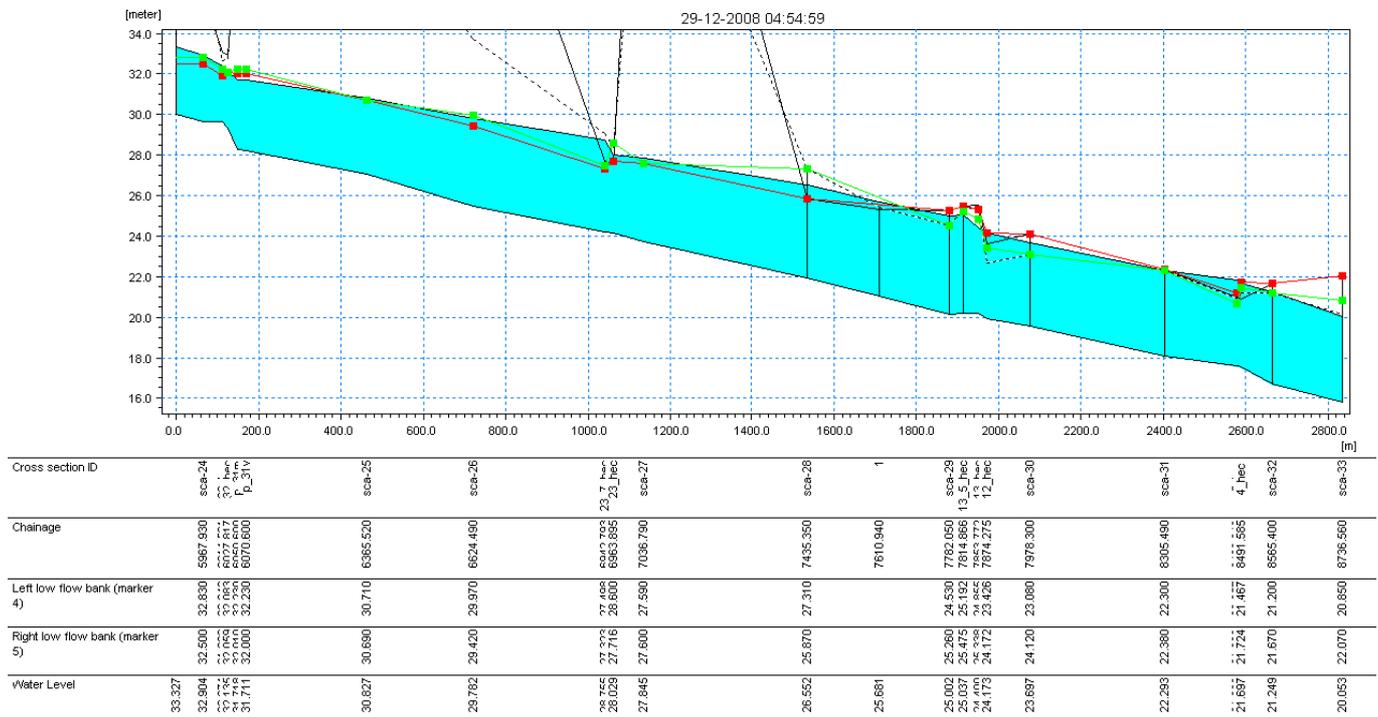


Figura 13 – Scaricalasino stato attuale.

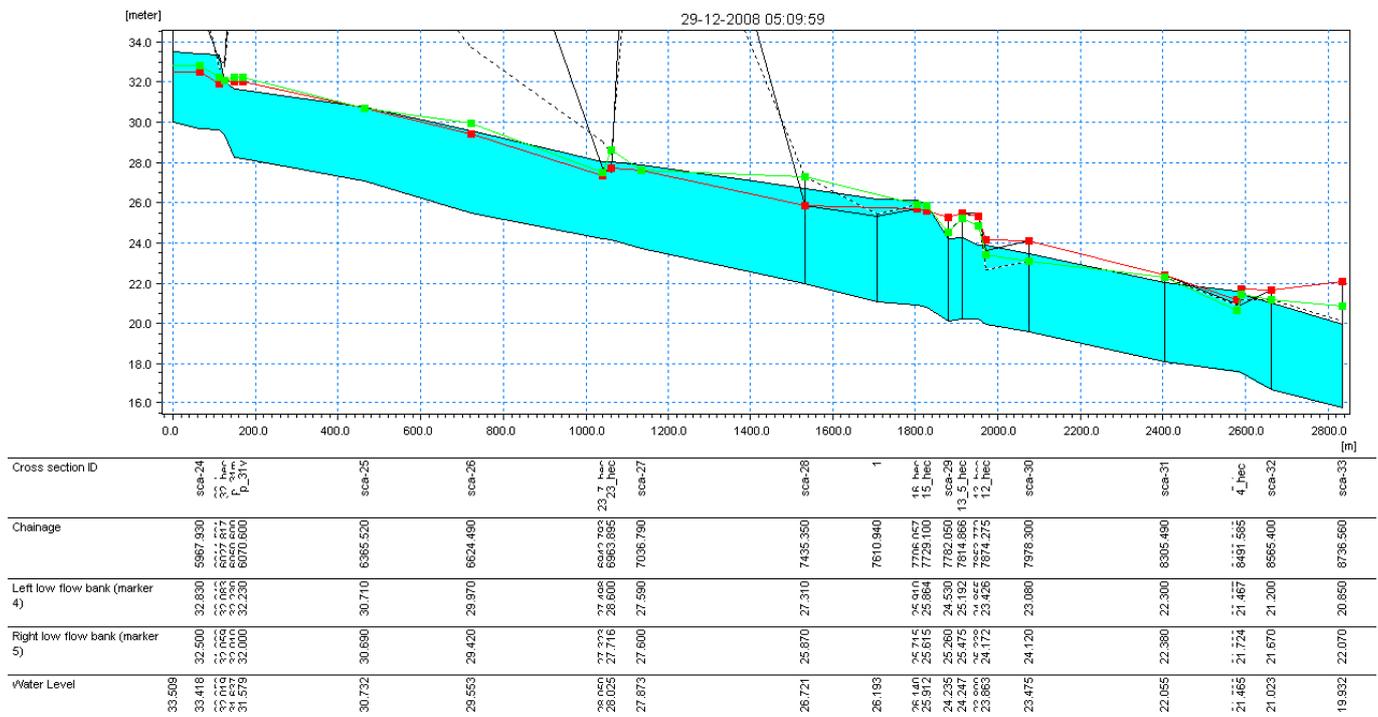


Figura 14 – Scaricalasino stato di progetto.

L'andamento del profilo per lo stato attuale del Rigo è riportato in Figura 15 per l'evento con tempo di ritorno 50 anni e in Figura 16 per lo stato di progetto modellato. Per questo tratto, avendo modificato l'andamento dell'asta, il confronto può essere effettuato solo in termini qualitativi sulla scelta del percorso e della sezione adottati.

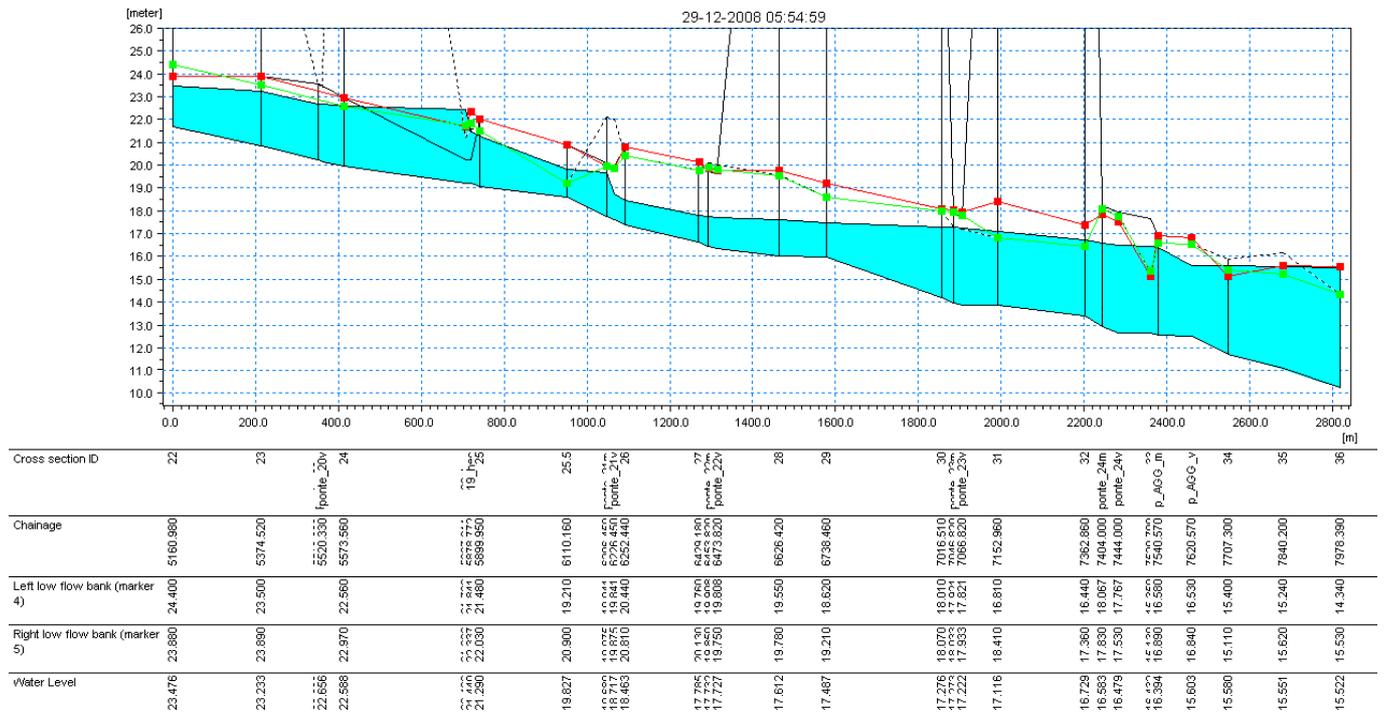


Figura 15 – Rigo stato attuale.

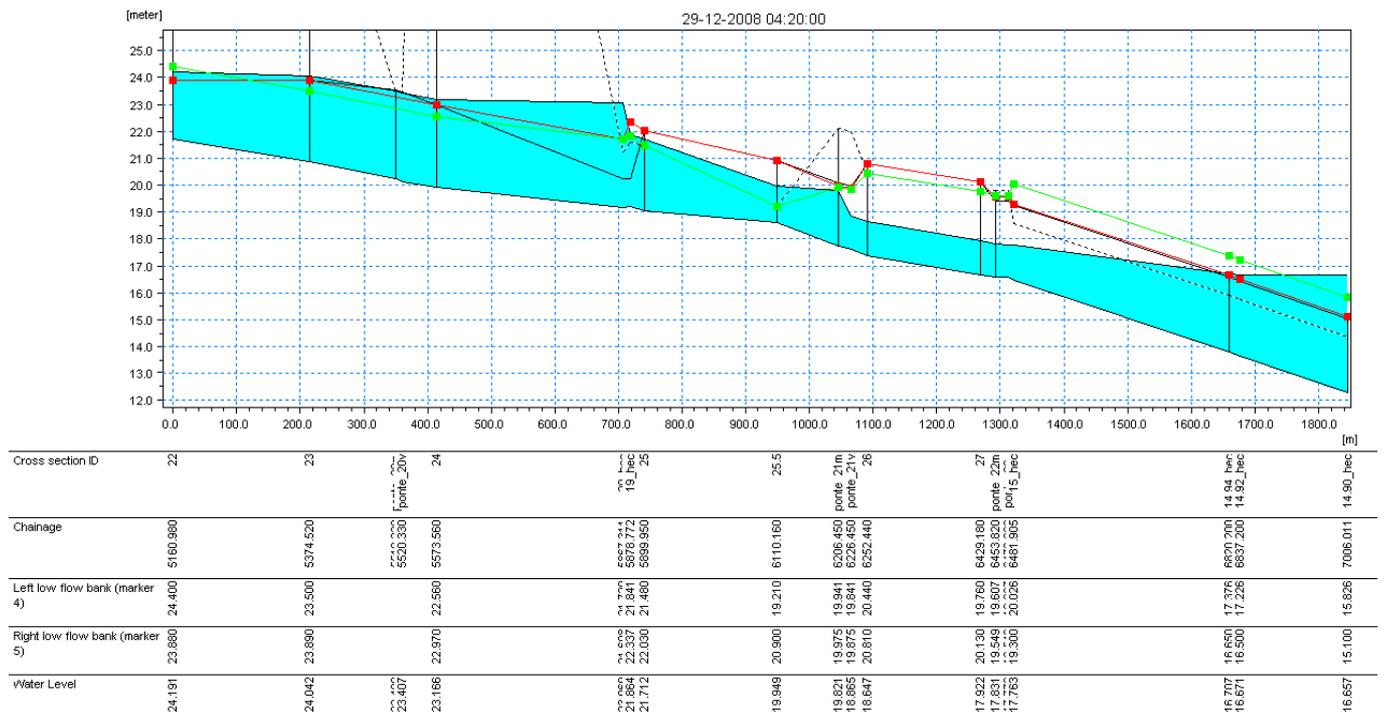


Figura 16 – Rigo stato di progetto.

Come si può osservare, il tirante idrico presenta anche nella condizione di progetto situazioni significative di sormonto degli argini. Le figure riportate per confronto mettono inoltre in evidenza come alcune nuove opere debbano essere ulteriormente riviste per evitare che la loro realizzazione non dia luogo a fenomeni di inondazione maggiori degli attuali (esempio sezione 33_hec). Il bypass sul Rigo non è verificato per la portata cinquantennale.

6.2 EVENTO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

Si riportano i risultati per i tratti d'asta modificati relativi al profilo idraulico per l'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni per lo Scaricalasino e per il Rigo e per la condizione di deflusso a piene rive per il tratto di fiume Aspigo preso in esame. Le figure riportano le quote delle sommità arginali in sponda sinistra in rosso ed in sponda destra in verde.

Per il Fosso San Valentino per l'evento con tempo di ritorno 200 anni si riporta l'andamento del profilo per lo stato attuale in Figura 17 e per lo stato di progetto modellato in Figura 18.

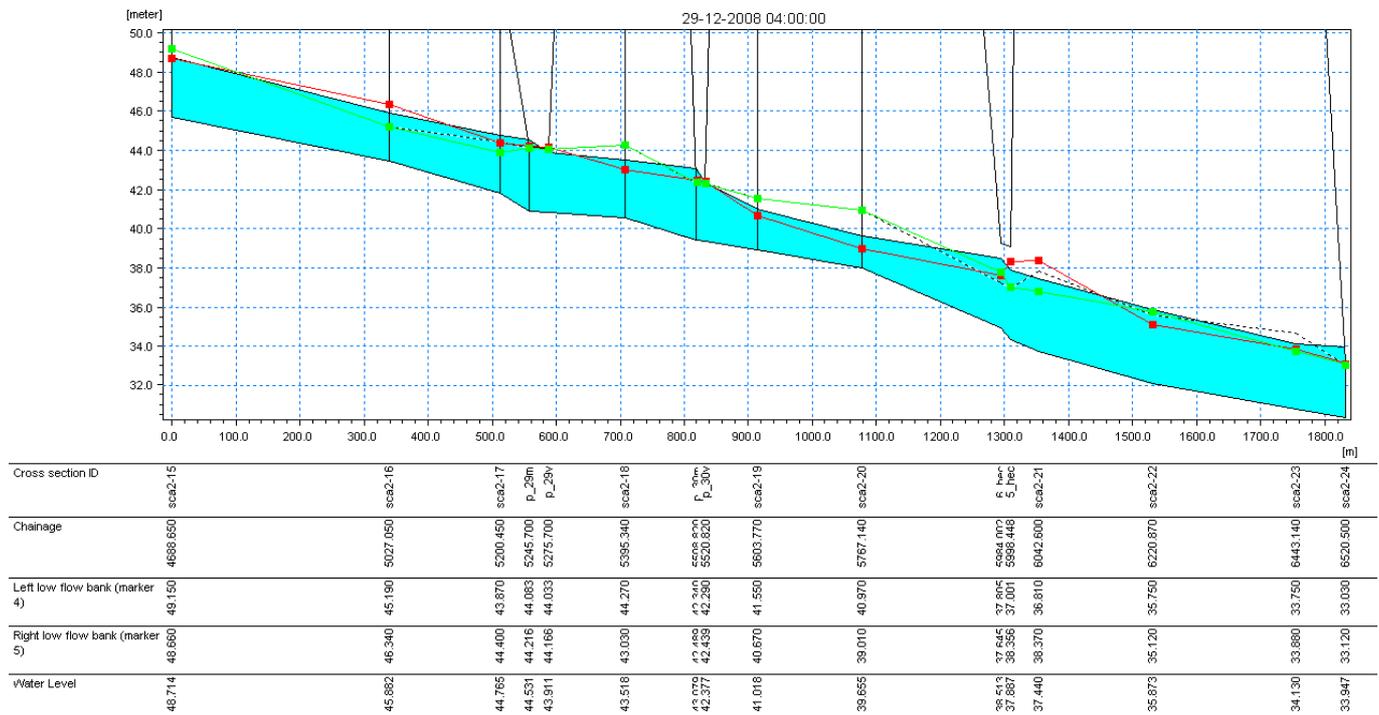


Figura 17 – Fosso San Valentino stato attuale T=200 anni.

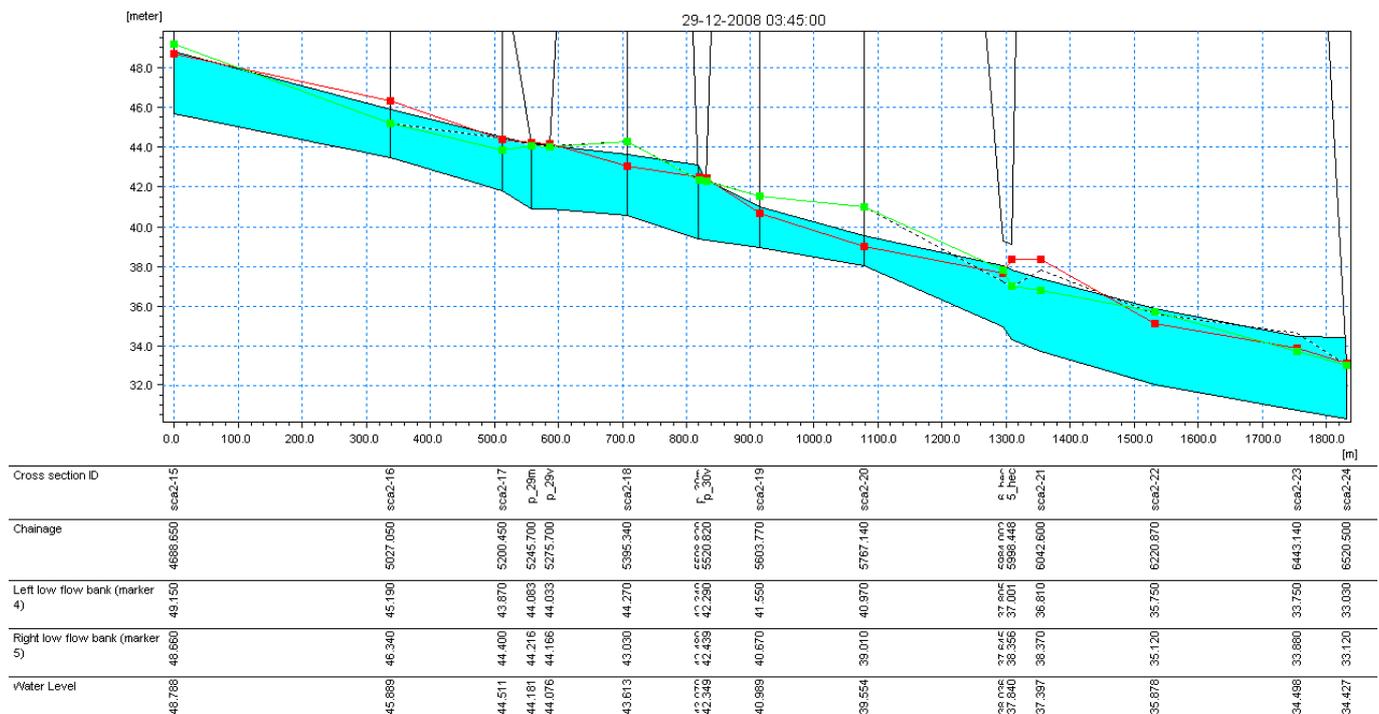


Figura 18 – Fosso San Valentino stato di progetto T=200 anni.

Per lo Scaricalasino per l'evento con tempo di ritorno 200 anni si riporta l'andamento del profilo per lo stato attuale in Figura 19 e per lo stato di progetto modellato in Figura 20.

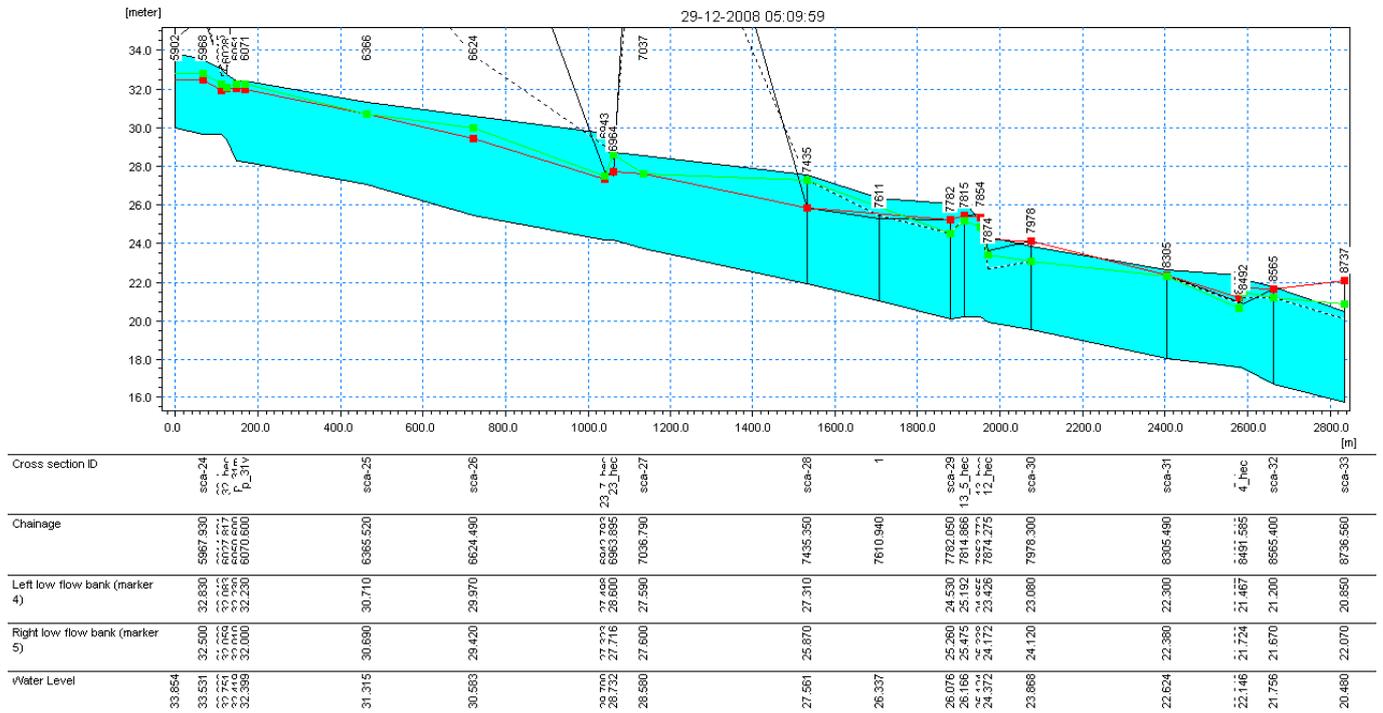


Figura 19 – Scaricalasino stato attuale T=200 anni.

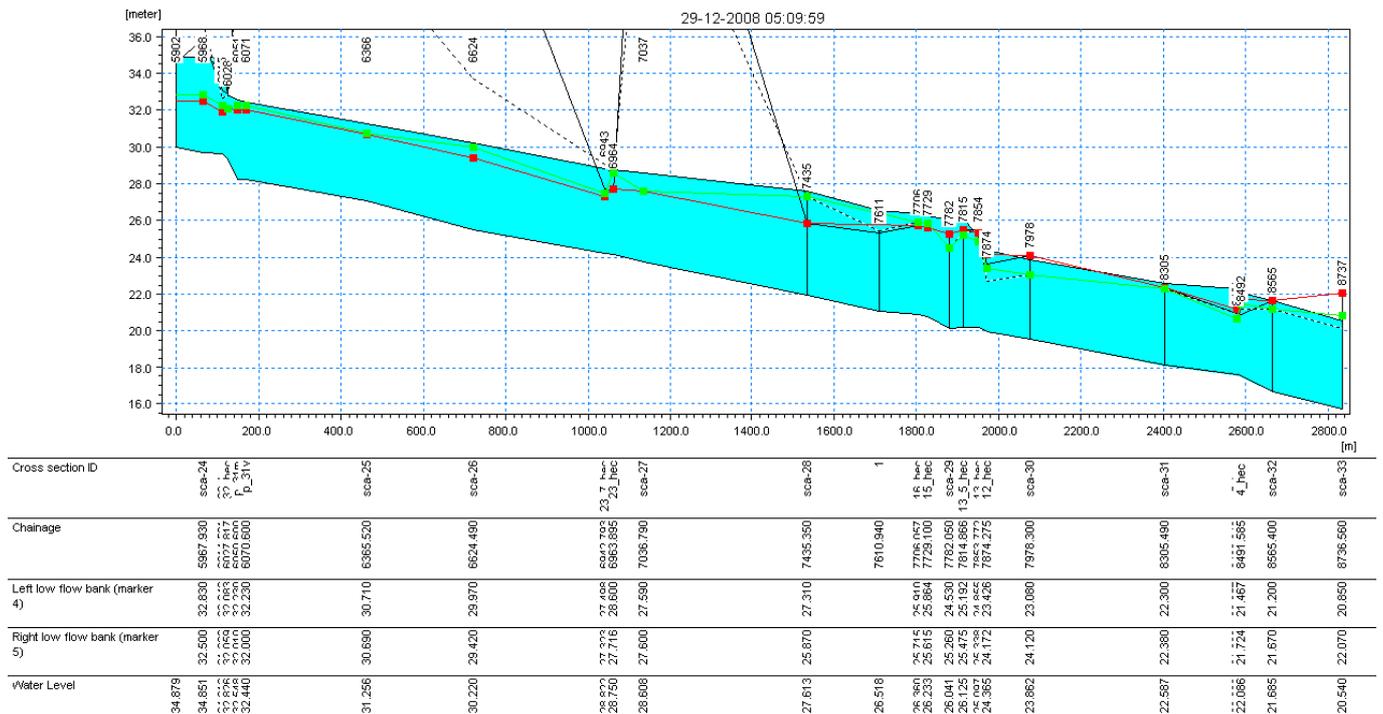


Figura 20 – Scaricalasino stato di progetto T=200 anni.

I Profili in Figura 21 e Figura 22 mettono in evidenza come per la portata con tempo di ritorno 200 anni l'asta modellata presenta ampi tratti idraulicamente insufficienti. Analogamente, il bypass sul Rigo non è verificato per la portata duecentennale.

7 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO CON CASSE DI ESPANSIONE

Per modellare l'effetto dovuto alla presenza di casse di espansione è stato realizzato un network privo di link laterali, simulando quindi in modo monodimensionale il deflusso nell'alveo attivo. Gli input idrologici utilizzati sono eguali a quelli precedentemente descritti e relativi agli eventi con tempo di ritorno 50 e 200 anni per lo Scaricalasino e per il Rigo, ipotizzando una condizione di piene rive per l'Aspio.

Una prima modellazione è stata effettuata senza inserire alcuna cassa di espansione, producendo il profilo idraulico che mette in evidenza la criticità di deflusso per diversi tratti, il profilo idraulico presentato non può essere confrontato con i risultati precedentemente proposti contenendo i network utilizzati per lo stato attuale e di progetto link di collegamento con il territorio. Al modello idrodinamico è stato quindi associato un algoritmo originale per effettuare un'analisi idrologica che conduca ad una prima stima dell'effetto di laminazione del picco di piena di un idrogramma inserendo in una sezione di geometria nota – e caratteristica di un tratto d'alveo – una possibile area di laminazione ed ottenendo un nuovo idrogramma in uscita dalla cassa, che tenga conto dell'effetto di tale opera.

Successivamente, è stata effettuata una modellazione orientativa che tiene conto dell'effetto di laminazione delle casse di espansione. Gli idrogrammi in uscita dalle casse sono stati implementati nella schematizzazione del modello già realizzato per lo stato di progetto. Il profilo idraulico e le mappe di inondabilità sono state valutate per le porzioni di alveo a monte e a valle delle casse. Non è stato possibile simulare il comportamento all'interno delle casse in quanto non è ancora stato prodotto un disegno plano-altimetrico di riferimento e scelta la tipologia di funzionamento.

7.1 STIMA DEL CONTRIBUTO ALLA RIDUZIONE DELLE PORTATE DI PIENA TRAMITE CASSE D'ESPANSIONE

La progressiva riduzione del rischio d'inondazione nelle aree in esame può essere ottenuta agendo con interventi di tipo strutturale e di tipo non strutturale. Fra i primi devono essere classificati quegli interventi che, prevedendo opere sul territorio, aumentano la capacità degli alvei a condurre portate di piena senza dar luogo ad esondazioni – arginature e ridisegno degli

alvei – oppure riduzione dei valori dei picchi di piena per essere contenuti in alveo senza dar luogo ad esondazioni – laminazione delle piene tramite invasi o casse d’espansione e diversori. Gli interventi non strutturali agiscono principalmente tramite azioni di Protezione Civile oppure attraverso la riduzione dell’esposto vulnerabile, per esempio indirizzando lo sviluppo territoriale, o ancora intervenendo sul danno economico, che può essere annullato tramite il ricorso a coperture assicurative. Una situazione ottimale prevede normalmente il ricorso a più componenti, sia di tipo strutturale sia di tipo non strutturale.

Nell’ambito del presente incarico sono analizzati alcuni aspetti legati agli interventi strutturali, con particolare attenzione per quanto riguarda la possibile realizzazione, lungo il corso d’acqua del Rigo e dello Scaricalasino, di casse d’espansione. Sono infatti state individuate a cura del Gruppo di Lavoro della Regione Marche diverse posizioni nelle quali sembra possibile proporre la realizzazione di casse destinate ad immagazzinare temporaneamente i volumi di piena, successivamente restituiti al corso d’acqua con tempistiche opportune (sono stati forniti dati di area e altezza media delle possibili casse di espansione). Tali opere, che non modificano il volume complessivo dell’onda di piena, sono in grado di ridurre i valori di portata massima transitante in alveo modificando la durata della piena, che risulta maggiore rispetto alla condizione precedente la loro realizzazione. Nella presente relazione si farà riferimento alle casse d’espansione individuate dal Gruppo di Lavoro della Regione Marche; le loro caratteristiche salienti sono riportate in Tabella 3. La Figura 23 fornisce la localizzazione spaziale delle casse previste. In entrambi i casi sono previste due strutture in parallelo sugli affluenti montani e più strutture in serie – tre sul Rigo e due sullo Scaricalasino – nella porzione di valle, prima della confluenza nell’Aspio.

Tabella 3 – Area disponibile per casse d’espansione sul Rigo e sullo Scaricalasino.

| Corso d’acqua | Cassa | Area disponibile [ha] | Corso d’acqua | Cassa | Area disponibile [ha] |
|---------------|-------|-----------------------|----------------------|-------|-----------------------|
| Rigo | A | 19,44 | Scaricalasino | 1 | 41,30 |
| | B | 11,33 | | 2 | 38,68 |
| | C | 34,42 | | 3 | 48,12 |
| | D | 18,50 | | 4 | 15,00 |
| | E | 16,35 | | | |
| | TOT | 100,04 | | TOT | 143,10 |

Occorre evidenziare come i volumi che tali ipotesi progettuali individuano – pari a $4,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per lo Scaricalasino e $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per il Rigo date le aree disponibili e nell’ipotesi di un tirante di 3 metri costante per tutta la porzione di territorio – sono importanti se confrontati con quelli che caratterizzano l’onda di piena alla quale viene associato il tempo di ritorno di duecento anni,

pari a $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per lo Scaricalasino e $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per il Rigo. Questa prima sommaria analisi mostra come il volume immagazzinabile ipotizzando la presenza, nelle casse d'espansione, di un tirante idrico pari a tre metri sia ben superiore a quello della piena bi-centenaria. E' quindi, almeno da questa prima sommaria analisi che prescinde dalla localizzazione spaziale delle strutture di contenimento e dalla dinamica del fenomeno, possibile annullare l'effetto dell'onda di piena bi-centenaria.

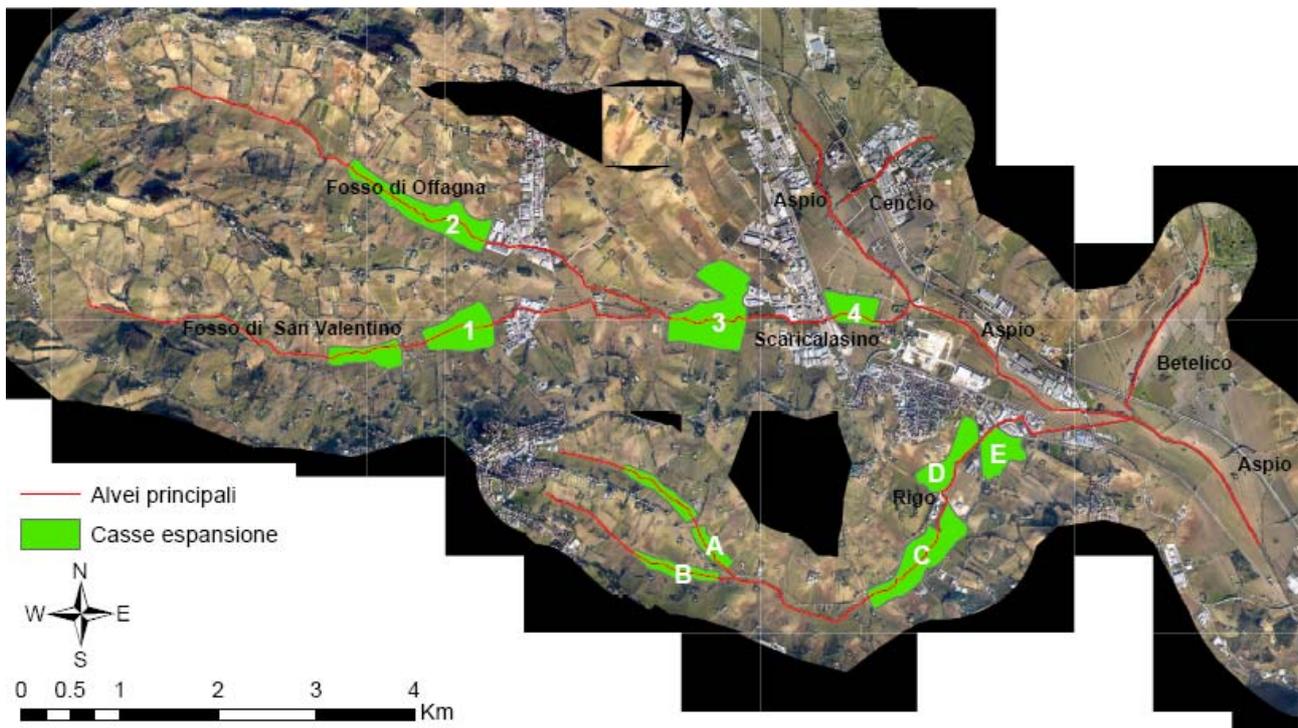


Figura 23 – Localizzazione delle casse d'espansione proposte.

Ponendo in conto la localizzazione spaziale delle aree disponibili e delle onde di piena – con i relativi volumi – si nota che le casse d'espansione 1 e 2 dello Scaricalasino e A, B e C del Rigo potrebbero singolarmente assorbire completamente i volumi dell'onda di piena avente tempo di ritorno 200 anni e relativa alle sezioni in cui tali strutture sono localizzate. Per quanto riguarda la cassa C, questo potrebbe avvenire anche in assenza delle due casse di monte (A e B).

Le rimanenti casse, se chiamate ad assorbire i volumi ad esse relativi senza apporto di capacità d'invaso a monte, risultano invece chiaramente insufficienti.

Introducendo l'intera serie di casse, ponendo quindi in conto i volumi d'invaso disponibili a monte, si nota come tutte le casse – con le dimensioni riportate in Tabella 3 – sono sufficienti ad immagazzinare i volumi idrici transitanti con $T=200$ anni, con la sola eccezione della cassa 4 dello Scaricalasino che, in questa condizione, presenterebbe un tirante idrico, Y , superiore a 3

m. Può essere a questo punto interessante stimare la dimensione areale minima delle casse d'espansione sotto l'ipotesi di $T=200$ anni, $Y=3$ m e casse tutte in funzione senza restituzione all'alveo. I risultati sono riportati in Tabella 4. Le dimensioni ottenute, pur confermando la fattibilità della sistemazione, non sono certamente da adottare per la sua progettazione in quanto, non tenendo in conto della dinamica della piena – in particolare per quanto riguarda la necessaria restituzione in alveo in tempi brevi dei volumi immagazzinati nelle casse – se da un lato sovrastimano il volume necessario, dall'altro sottostimano gli apporti da monte. Il risultato è quindi di incerta definizione.

Tabella 4 – Dimensione delle casse d'espansione nell'ipotesi di laminazione completa e restituzione nulla in alveo. $T=200$ anni, $Y=3$ m.

| Corso d'acqua | Cassa | Volume piena [$\cdot 10^6$ m ³] | Area minima [ha] |
|---------------|-------|---|---------------------|
| Scaricalasino | 1 | 0,98 | 32,83 |
| | 2 | 1,00 | 33,35 |
| | 3 | 2,19 | 6,69 |
| | 4 | 2,70 | 16,91 |
| Rigo | A | 0,28 | 9,44 |
| | B | 0,18 | 6,01 |
| | C | 0,95 | 16,14 |
| | D | 1,12 | 5,69 |
| | E | 1,18 | 2,03 |

L'analisi del contributo delle casse d'espansione è quindi condotta procedendo, per ciascuno dei corsi d'acqua, da monte verso valle individuando le modifiche all'onda di piena di volta in volta introdotte da casse d'espansione di area netta sufficiente alla laminazione delle onde di piena caratterizzate da $T=200$ anni con tirante idrico nelle zone d'invaso pari a 3 metri, ma limitata superiormente dalle dimensioni indicate in Tabella 3. La scelta di operare con $T=200$ anni è dovuta essenzialmente a due cause concomitanti: una è di origine normativa, essendo il tempo di ritorno 200 anni assunto quale misura ritenuta accettabile del rischio residuo, l'altra deriva dall'analisi fin qui presentata, che porta a ritenere fattibile la laminazione con riferimento a $T=200$ anni. Data la natura collinare dell'area in esame, l'ipotesi progettuale è quella di alimentare ogni cassa dalla sezione d'alveo di monte rispetto ad essa e di suddividere la cassa in più elementi fra loro collegati a cascata tramite sfioratori e luci di fondo, il più a valle dei quali è provvisto di un'opera di restituzione al corso d'acqua dei volumi temporaneamente sottratti. Nel caso in cui l'area indicata in Tabella 3 sia effettivamente esuberante per la laminazione dell'onda di piena con tirante 3 m, la variabile progettuale considerata è appunto l'area minima netta da opere necessaria per giungere alla laminazione. Occorre qui segnalare come il valore

individuato sia in parte funzione del dimensionamento dell'opera di restituzione e come si possa ipotizzare una riduzione di tirante idrico – e quindi di altezza degli argini – in corrispondenza ad un aumento dell'area della cassa o della portata restituita in alveo. Un aumento del tirante idrico deriva invece da un corrispondente aumento delle portate restituite a monte.

Molte risultano essere le variabili progettuali idraulicamente di rilievo, anche nel caso di cassa d'espansione singola. Fra queste possono essere ricordate:

- area della cassa al netto delle opere di contenimento ed accessorie;
- massimo tirante idrico nella cassa;
- quota e larghezza della briglia d'alveo destinata a “sostenere” il livello idrico di monte;
- quota e lunghezza dello sfioratore che alimenta la cassa;
- dimensioni delle opere di restituzione e loro gestione;
- caratteristiche di conduttanza dell'alveo a valle dell'opera.

Nel caso di casse d'espansione multiple, in parallelo o in serie sul medesimo corso d'acqua, il comportamento di ogni struttura non può essere analizzato isolatamente da quello delle altre strutture, siano esse poste a monte oppure a valle. La dimensionalità del problema cresce quindi rapidamente con il numero di casse, rendendo difficile l'individuazione empirica di una condizione di ottimo, anche solo relativo. I fini della presente relazione sono però limitati ad un'indagine preliminare destinata a supportare l'ipotesi progettuale che vede le casse d'espansione come possibile, anche se forse non unico, elemento di sistemazione delle criticità idrauliche dei corsi d'acqua in esame. In questa ottica si è cercato di impostare l'analisi del sistema sotto un certo numero di ipotesi semplificatrici, che consentissero comunque di far luce sulla dinamica del sistema nel suo complesso:

- il tirante idrico massimo ammissibile nella cassa è stato assunto pari a 3 metri;
- il comportamento di briglia, sfioratore e opere di restituzione è descritto tramite semplici modelli idrologici concettuali e non tramite modelli idraulici;
- non è ipotizzata alcuna gestione delle opere di restituzione, che sono descritte come sistema spontaneo;
- non è analizzata la conduttanza degli alvei a valle delle opere, anche se si è provveduto a mantenere valori residui di portata al picco modesti, tali da non far temere particolari problemi;
- non è analizzata né la geomorfologia né la struttura pedologica e geologica del territorio nelle zone potenzialmente interessate dalle casse d'espansione;
- non è condotta alcuna analisi costi/benefici degli interventi.

7.1.1 ANALISI SUL RIGO

Lungo il Rigo sono proposte cinque casse d'espansione. Due di queste, le più a monte, agiscono in parallelo, le altre in serie. Entrambe le casse d'espansione di monte sono caratterizzate da volumi potenzialmente superiori a quello delle rispettive onde di piena. Si è quindi proceduto alla definizione dell'area netta, S, necessaria a contenere la piena T=200 con tirante idrico pari a 3 metri. I risultati ottenuti dalla simulazione di comportamento per queste due casse sono riassunti in Tabella 5, in Figura 24 e in Figura 25.

Le portate uscenti dalle casse d'espansione A e B, insieme ai contributi drenati lungo il percorso fino alla cassa d'espansione localizzata in C, costituiscono l'ingresso a questa terza cassa d'espansione e, in serie, alle casse localizzate in D ed in E. I risultati ottenuti dalla simulazione del comportamento di queste casse d'espansione sono riassunti in Tabella 6 e nelle Figure da Figura 26 a Figura 28. Le dimensioni estremamente ridotte della cassa d'espansione prevista in E segnalano come potenzialmente si possa rinunciare alla sua realizzazione.

Tabella 5 – Rigo: simulazioni casse d'espansione di monte, T=200 anni, Y=3 m.

| Cassa d'espansione | A | B |
|---|-------|-------|
| Superficie max. [ha] | 19,44 | 11,33 |
| Portata picco entrante [m3/s] | 36 | 23 |
| Superficie netta ^(*) [ha] | ~ 8 | ~ 5 |
| Portata picco uscente ^(*) [m3/s] | ~ 10 | ~ 10 |

(*) Valori indicativi, che potranno essere confermati solo in seguito ad ulteriori studi.

Tabella 6 – Rigo: simulazione cassa d'espansione in C, D ed E, T=200 anni, Y=3 m.

| Cassa d'espansione | C | D | E |
|---|-------|-------|-------|
| Superficie max. [ha] | 34,42 | 18,50 | 16,35 |
| Portata picco entrante ^(**) [m3/s] | 51,49 | 25,90 | 17,50 |
| Superficie netta ^(*) [ha] | ~ 16 | ~ 7 | ~ 1 |
| Portata picco uscente ^(*) [m3/s] | ~ 16 | ~ 16 | ~ 16 |

(*) Valori indicativi, che potranno essere confermati solo in seguito ad ulteriori studi.

(**) Valori derivanti dalla laminazione effettuata nelle casse a monte

In Figura 29 sono riportati gli idrogrammi di piena per T=200 anni per le sezioni dove è prevista la realizzazione delle casse d'espansione in assenza di queste ultime.

Le Figura 30 e Figura 31 riportano, rispettivamente, gli idrogrammi in ingresso ed in uscita dalle casse d'espansione.

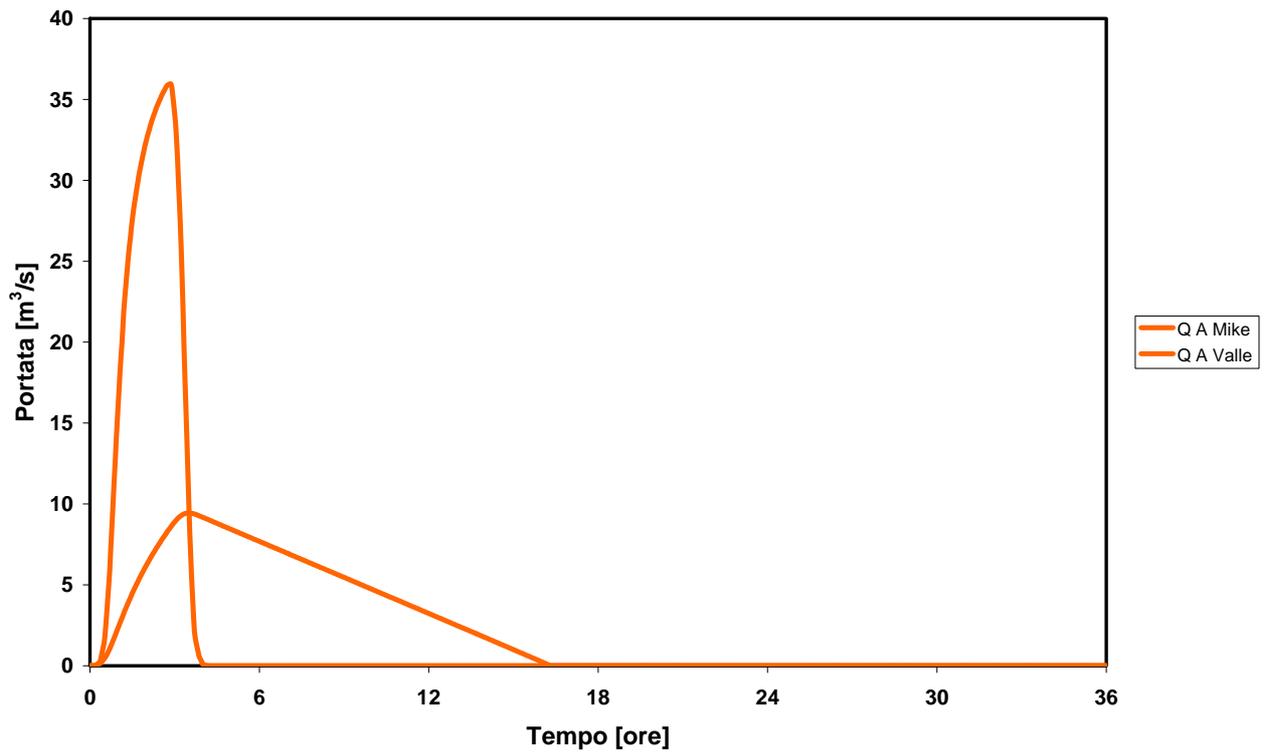


Figura 24 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione A; T=200 anni, S~10 ha, Y=3 m.

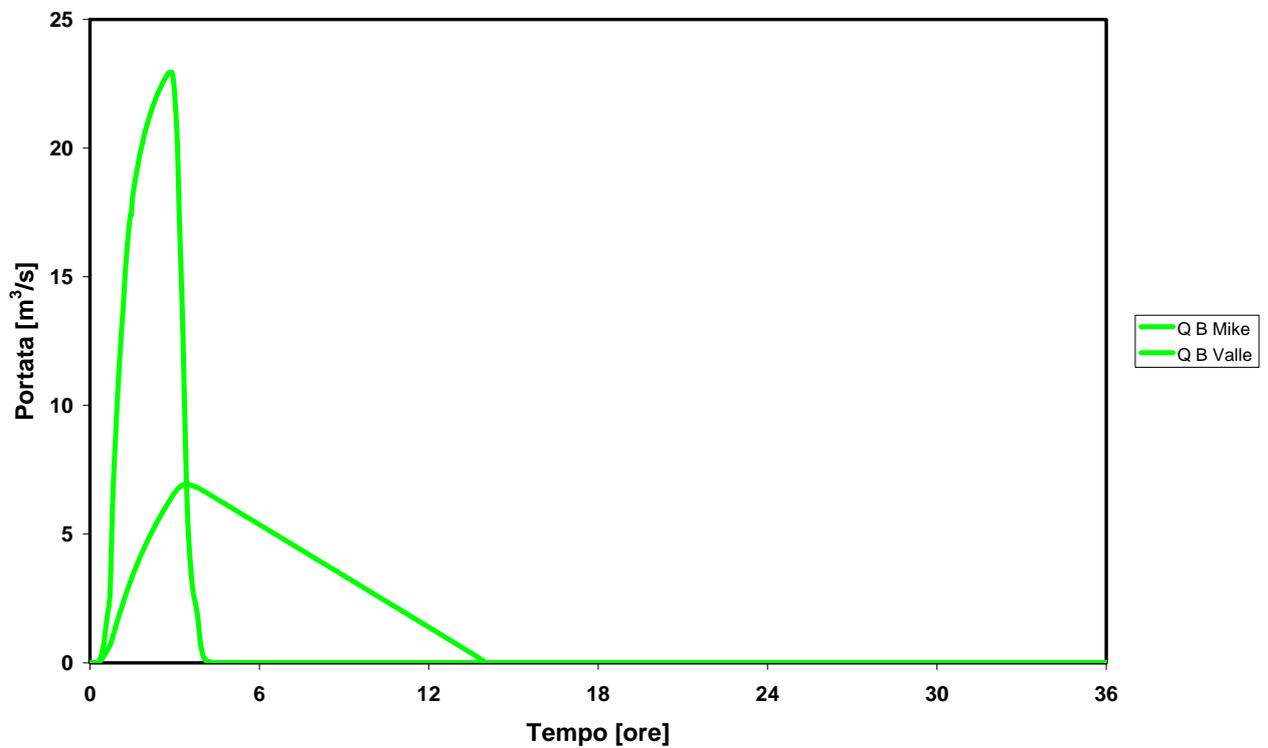


Figura 25 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione B; T=200 anni, S~5 ha, Y=3 m.

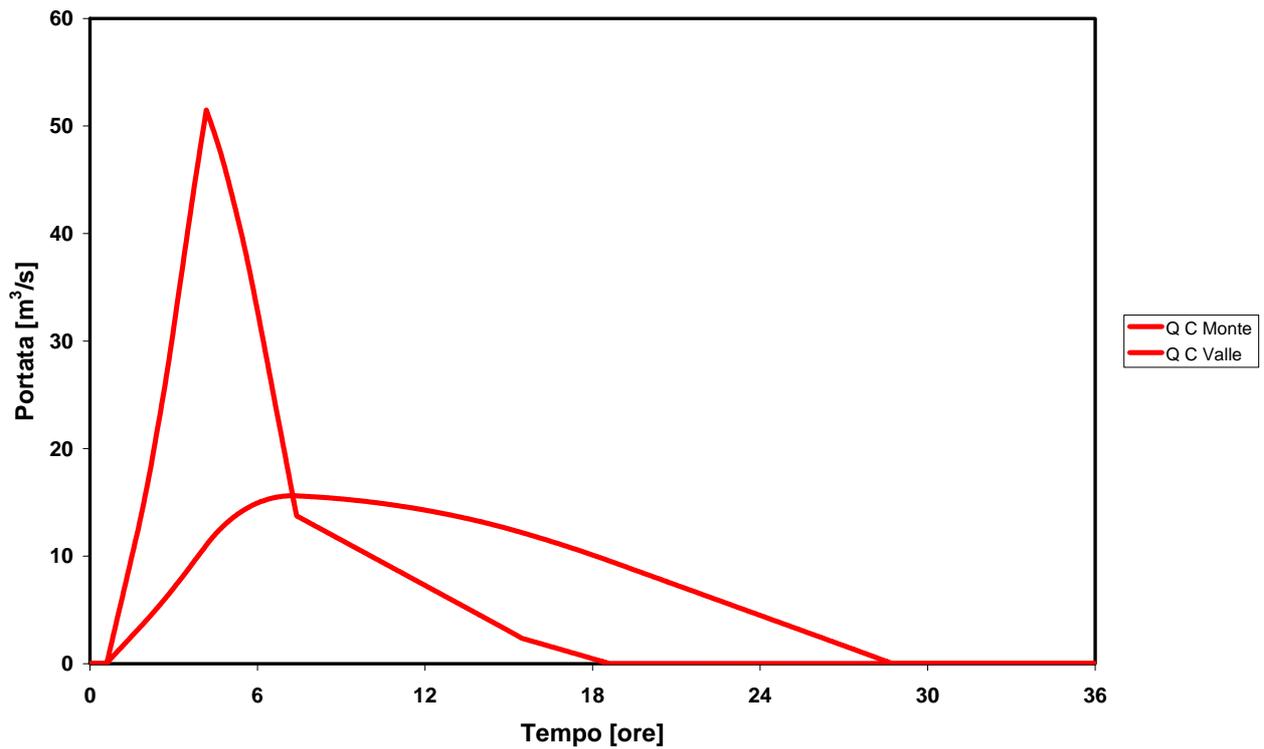


Figura 26 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione C; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m.

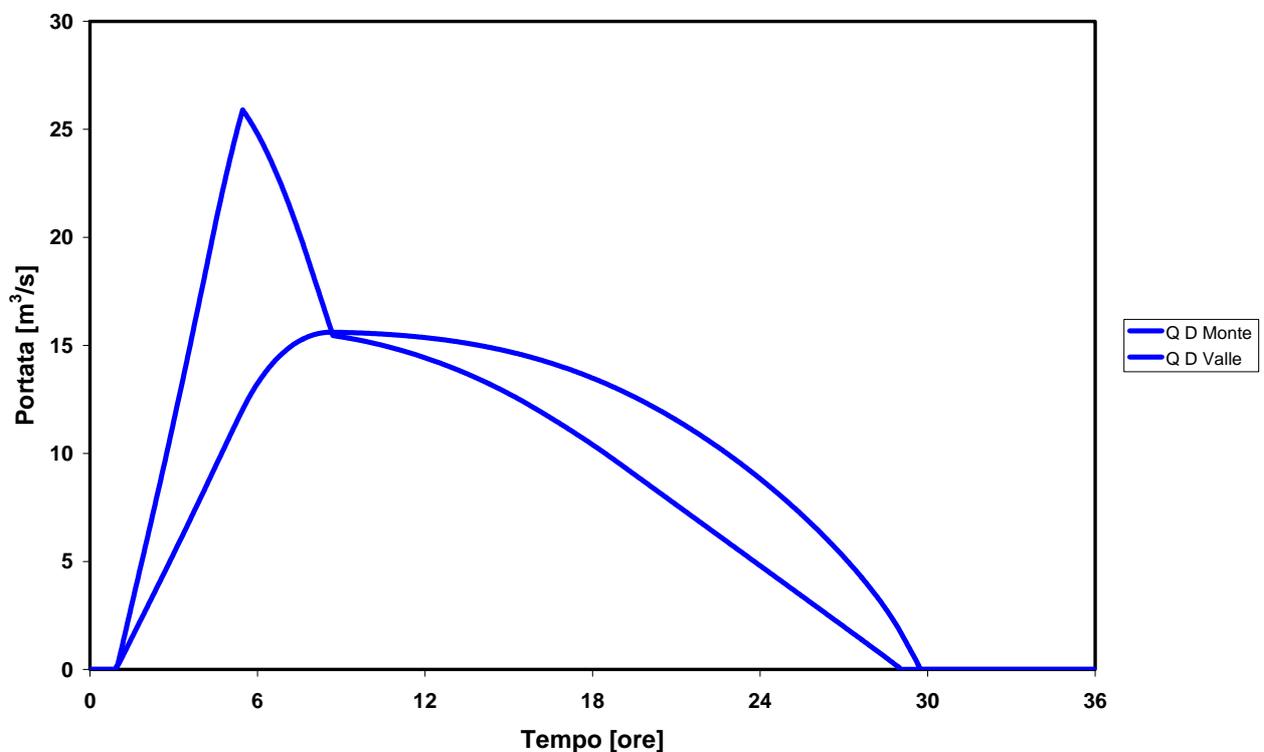


Figura 27 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione D; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m.

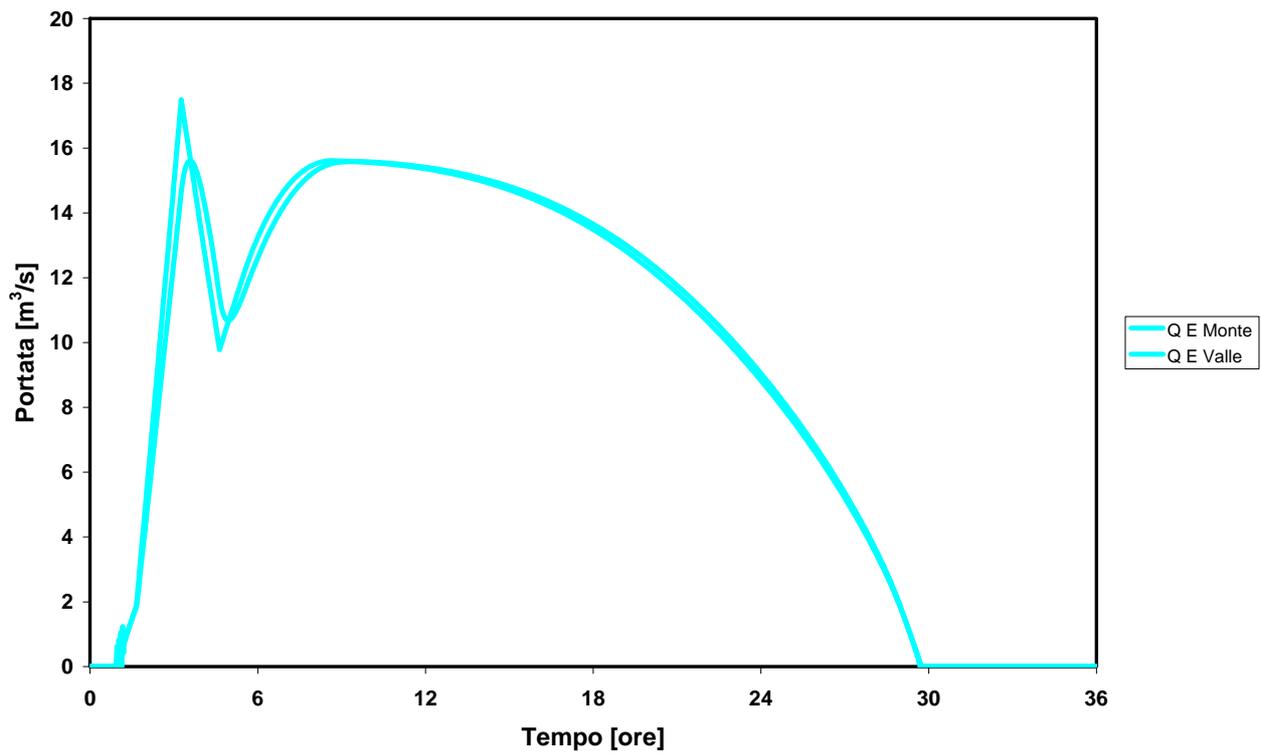


Figura 28 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione E; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m.

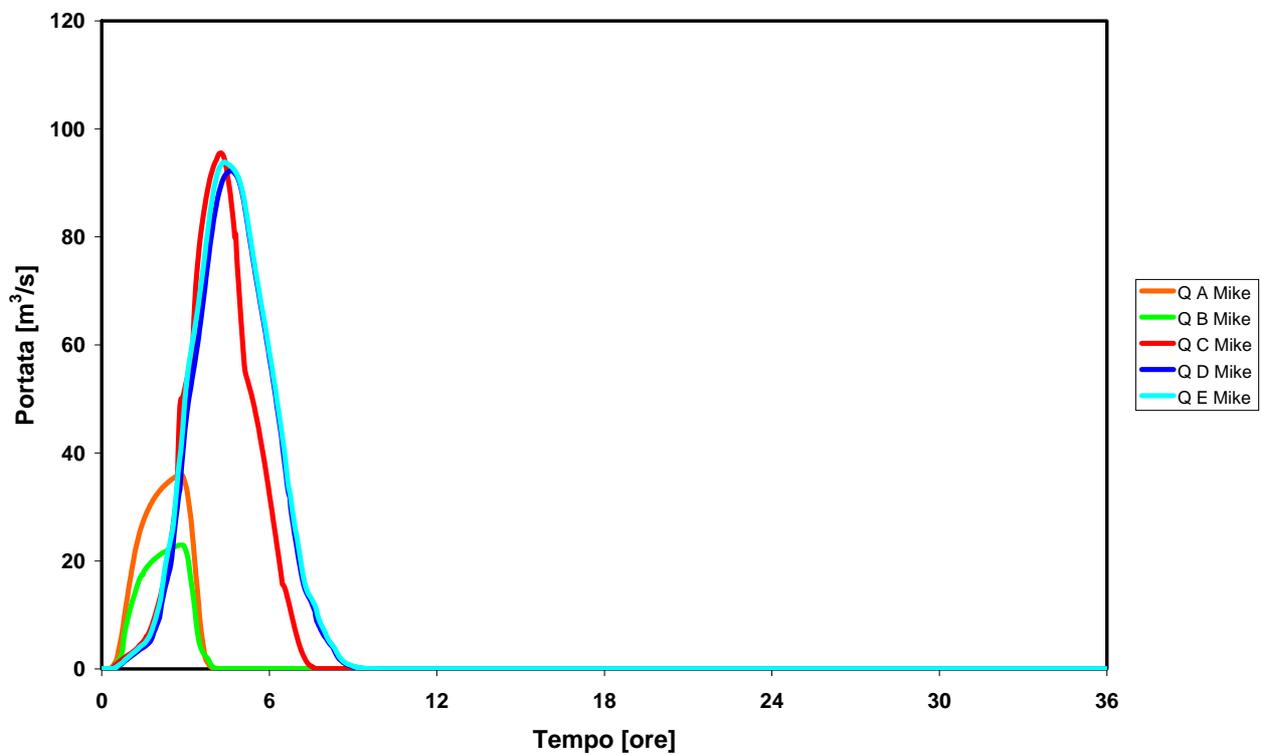


Figura 29 – Rigo: idrogrammi “naturali” nelle sezioni interessate dalle casse; T=200 anni.

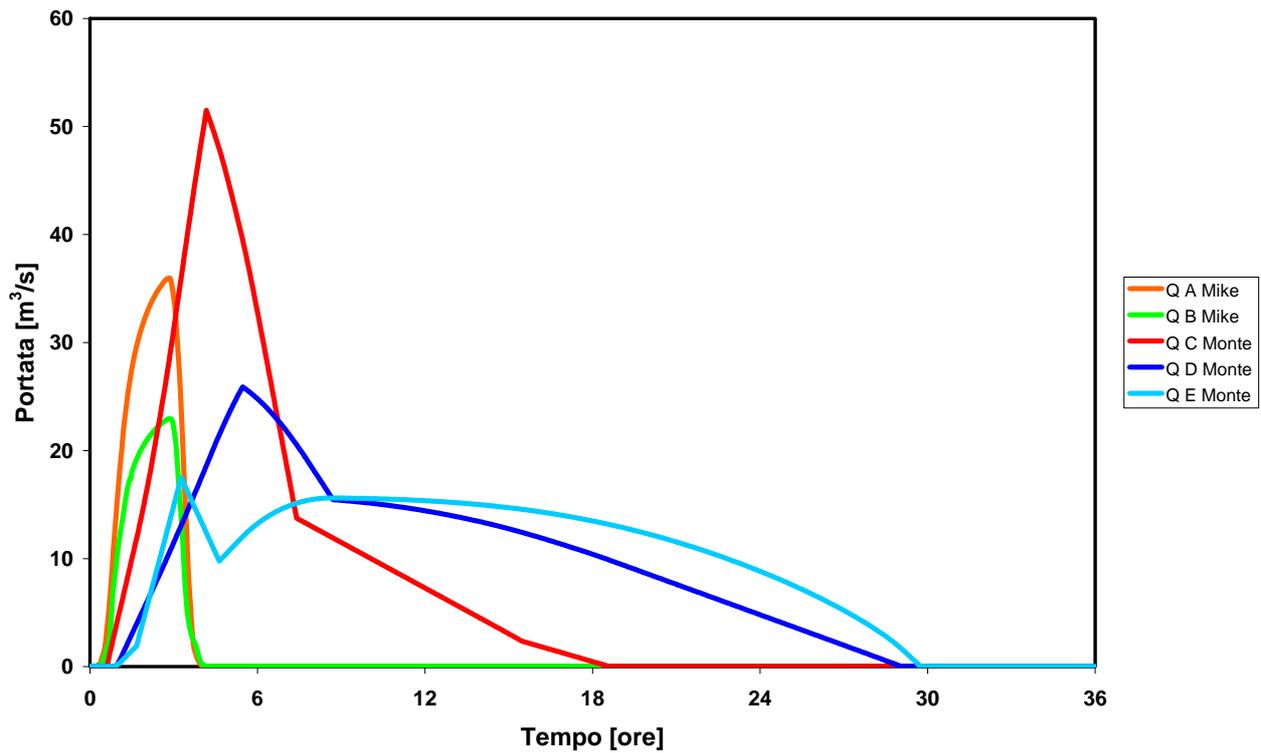


Figura 30 – Rigo: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni.

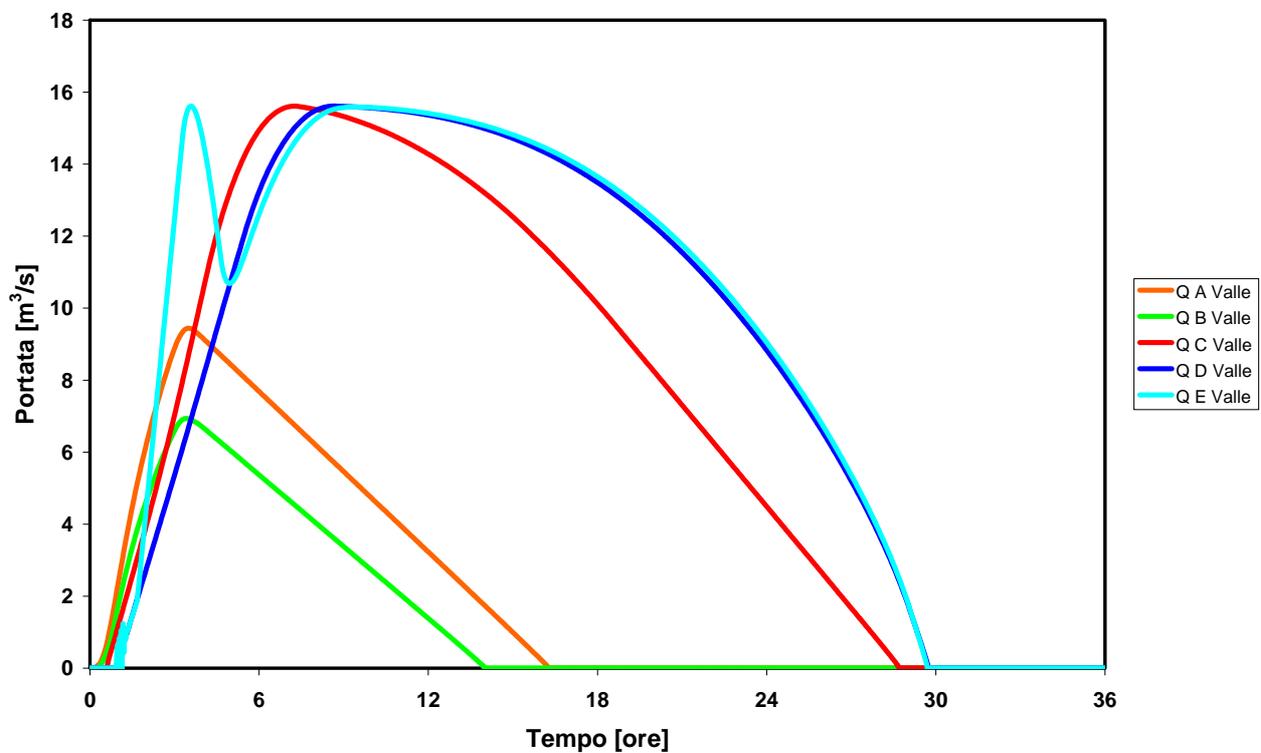


Figura 31 – Rigo: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni.

7.1.2 ANALISI SULLO SCARICALASINO

Lungo lo Scaricalasino sono proposte quattro casse d'espansione. Due di queste, le più a monte, agiscono in parallelo, le altre in serie. Entrambe le casse d'espansione di monte sono caratterizzate da volumi potenzialmente superiori a quello delle rispettive onde di piena. Si è quindi proceduto alla definizione dell'area netta, S, necessaria a contenere la piena T=200 con tirante idrico pari a 3 metri. I risultati ottenuti dalla simulazione di comportamento per queste casse sono riassunti in Tabella 7 e nelle Figura 32 e Figura 33.

Le portate uscenti dalle casse d'espansione 1 e 2, insieme ai contributi drenati lungo il percorso fino alla cassa d'espansione localizzata in 3, costituiscono l'ingresso a questa terza cassa d'espansione e, in serie, alla cassa localizzata in 4. I risultati ottenuti dalla simulazione del comportamento di queste casse d'espansione sono riassunti in Tabella 8 e nelle Figura 34 e Figura 35.

Tabella 7 – Scaricalasino: simulazioni casse d'espansione di monte, T=200 anni, Y=3 m.

| Cassa d'espansione | 1 | 2 |
|---|--------|-------|
| Superficie max. [ha] | 41,30 | 38,68 |
| Portata picco entrante [m3/s] | 124,68 | 95,10 |
| Superficie netta ^(*) [ha] | ~30 | ~30 |
| Portata picco uscente ^(*) [m3/s] | ~20 | ~20 |

(*) Valori indicativi, che potranno essere confermati solo in seguito ad ulteriori studi.

Tabella 8 – Scaricalasino: simulazione cassa d'espansione in 3 e 4, T=200 anni, Y=3 m.

| Cassa d'espansione | 3 | 4 |
|---|-------|-------|
| Superficie max. [ha] | 48,12 | 15,00 |
| Portata picco entrante ^(**) [m3/s] | 54,35 | 60,15 |
| Superficie netta ^(*) [ha] | ~20 | ~10 |
| Portata picco uscente ^(*) [m3/s] | ~30 | ~40 |

(*) Valori indicativi, che potranno essere confermati solo in seguito ad ulteriori studi.

(**) Valori derivanti dalla laminazione effettuata nelle casse a monte

In Figura 36 sono riportati gli idrogrammi di piena per T=200 anni per le sezioni dove è prevista la realizzazione delle casse d'espansione in assenza di queste ultime. Le Figura 37 e Figura 38 riportano, rispettivamente, gli idrogrammi in ingresso ed in uscita dalle casse d'espansione.

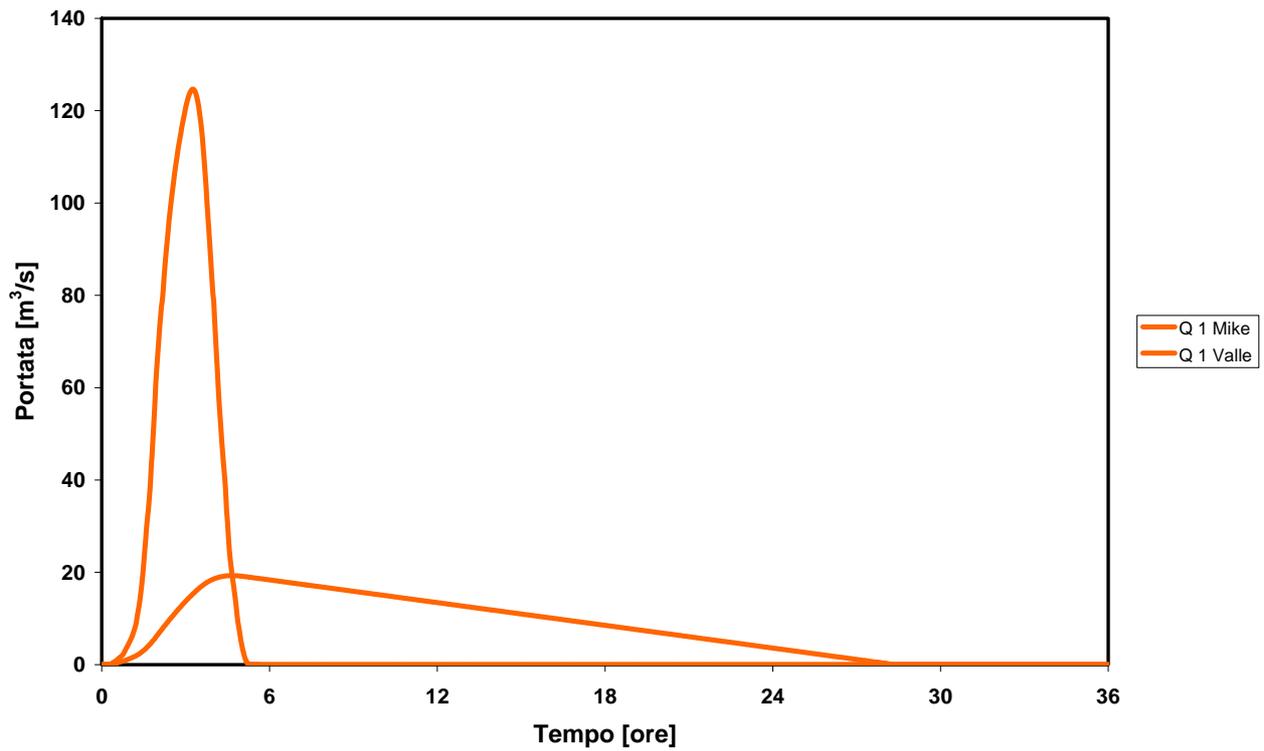


Figura 32 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 1; T=200 anni, S~30 ha, Y=3 m.

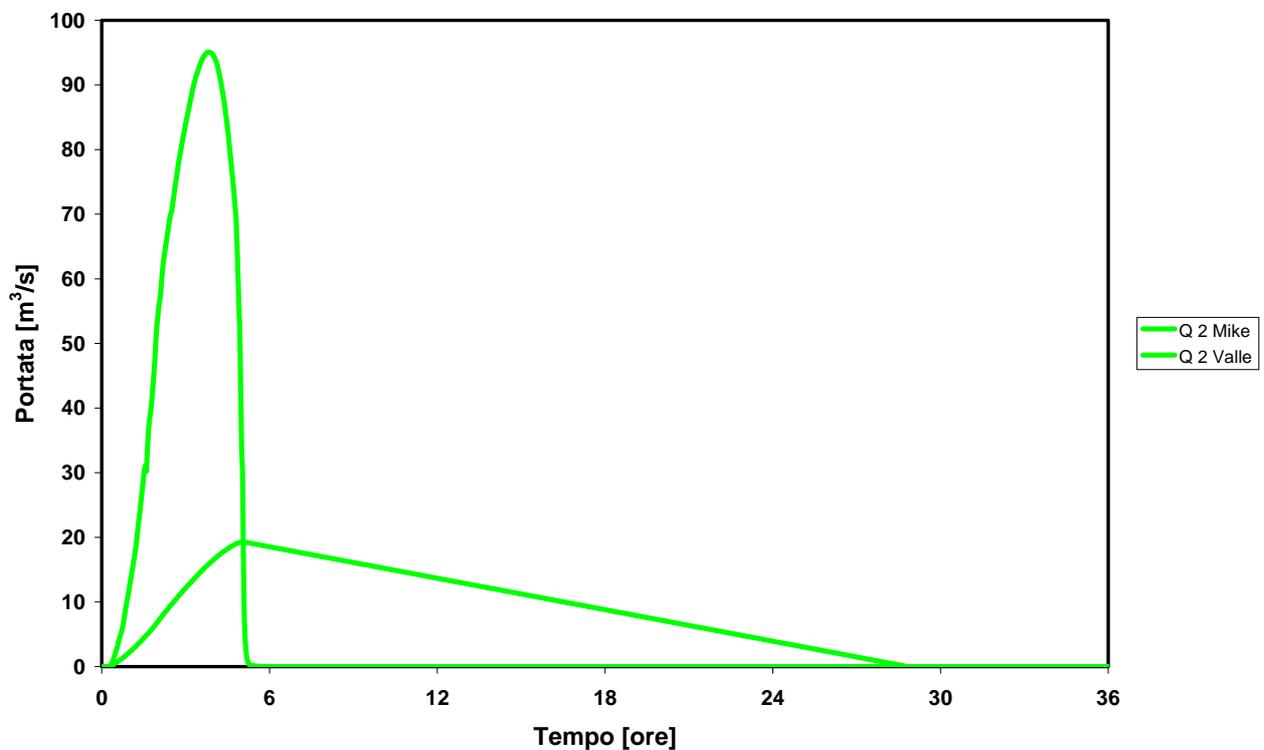


Figura 33 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 2; T=200 anni, S~30 ha, Y=3 m.

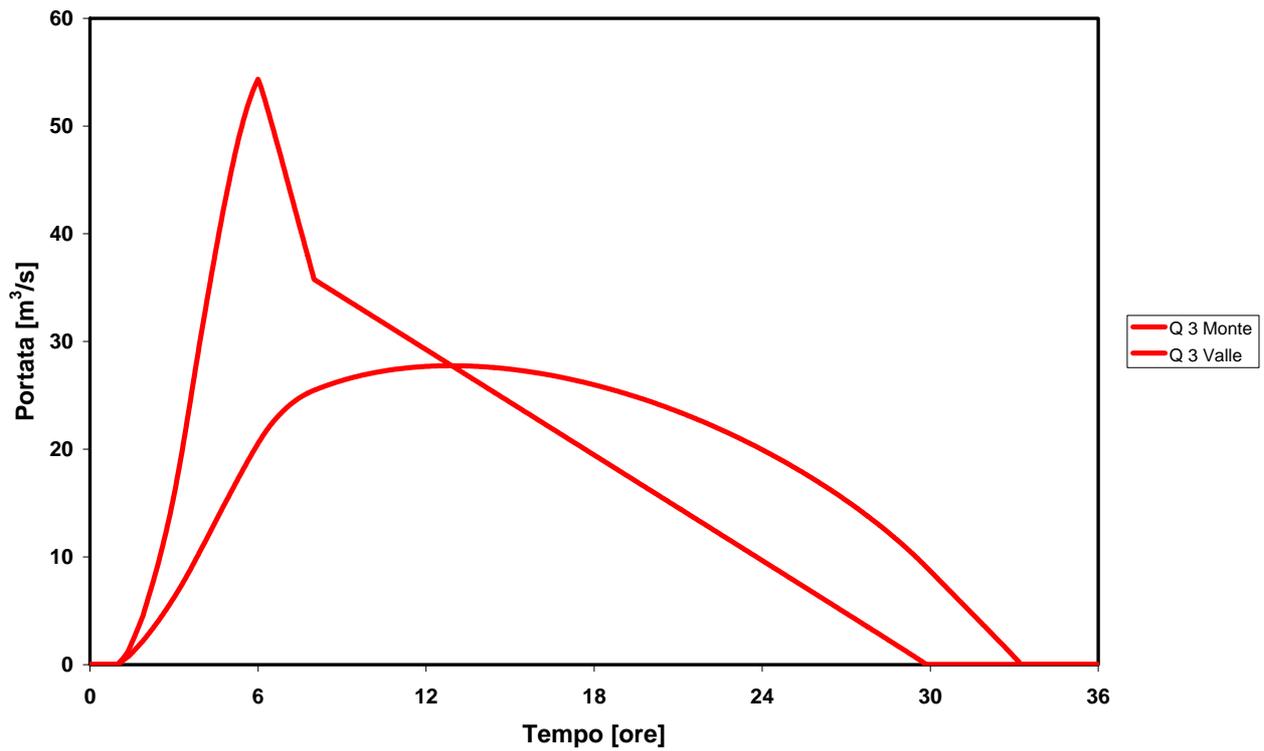


Figura 34 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 3; T=200 anni, S~20 ha, Y=3 m.

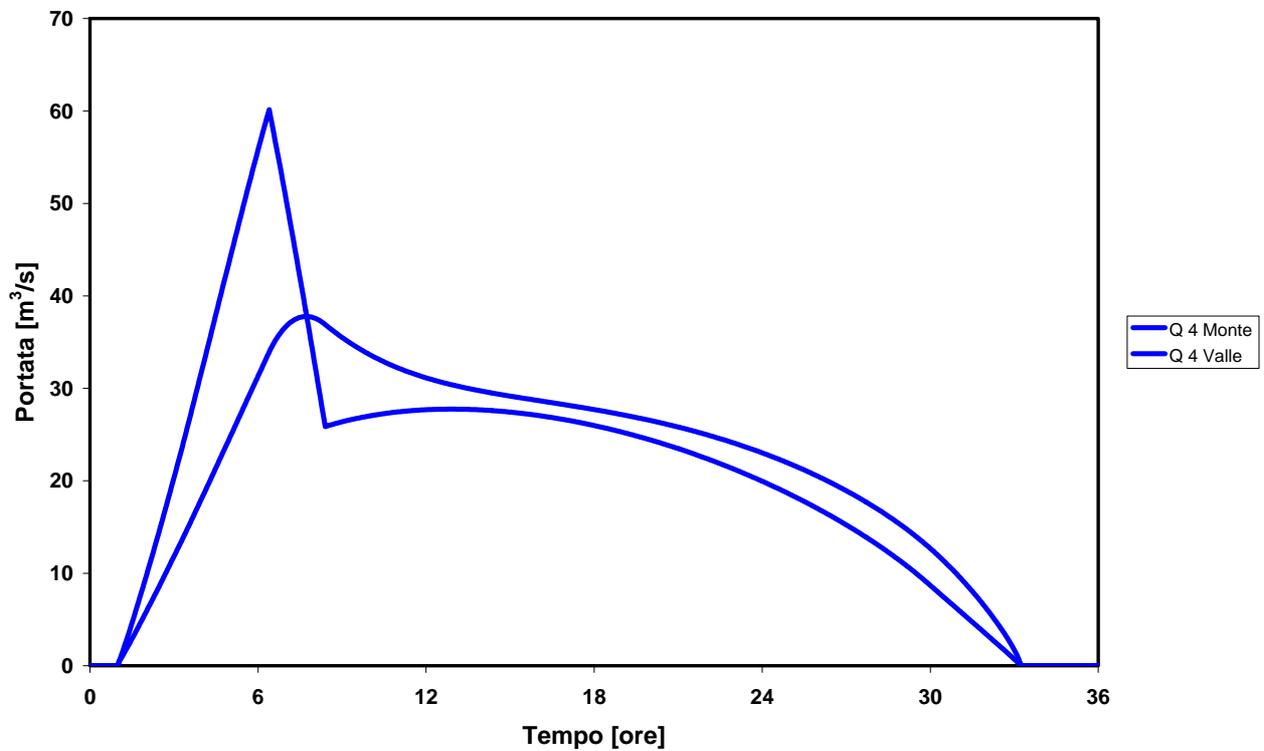


Figura 35 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 4; T=200 anni, S~10 ha, Y=3 m.

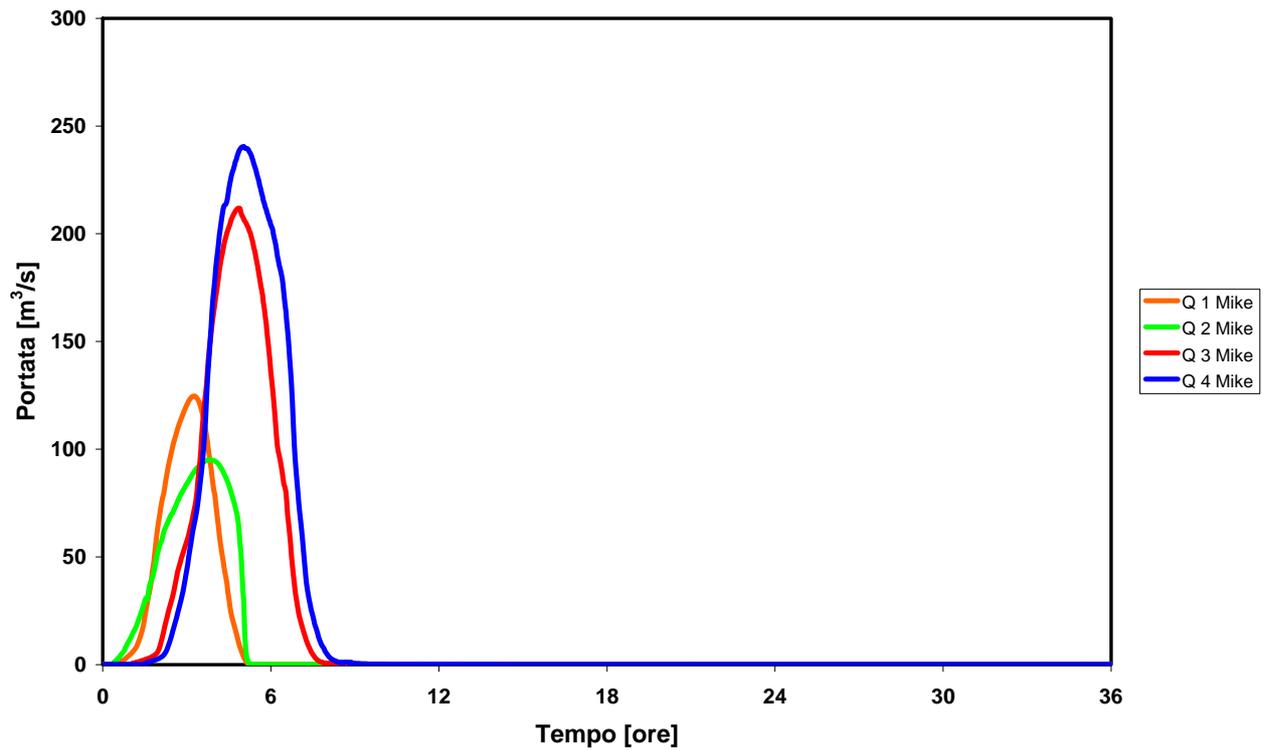


Figura 36 – Scaricalasino: idrogrammi “naturali” nelle sezioni delle casce; T=200 anni.

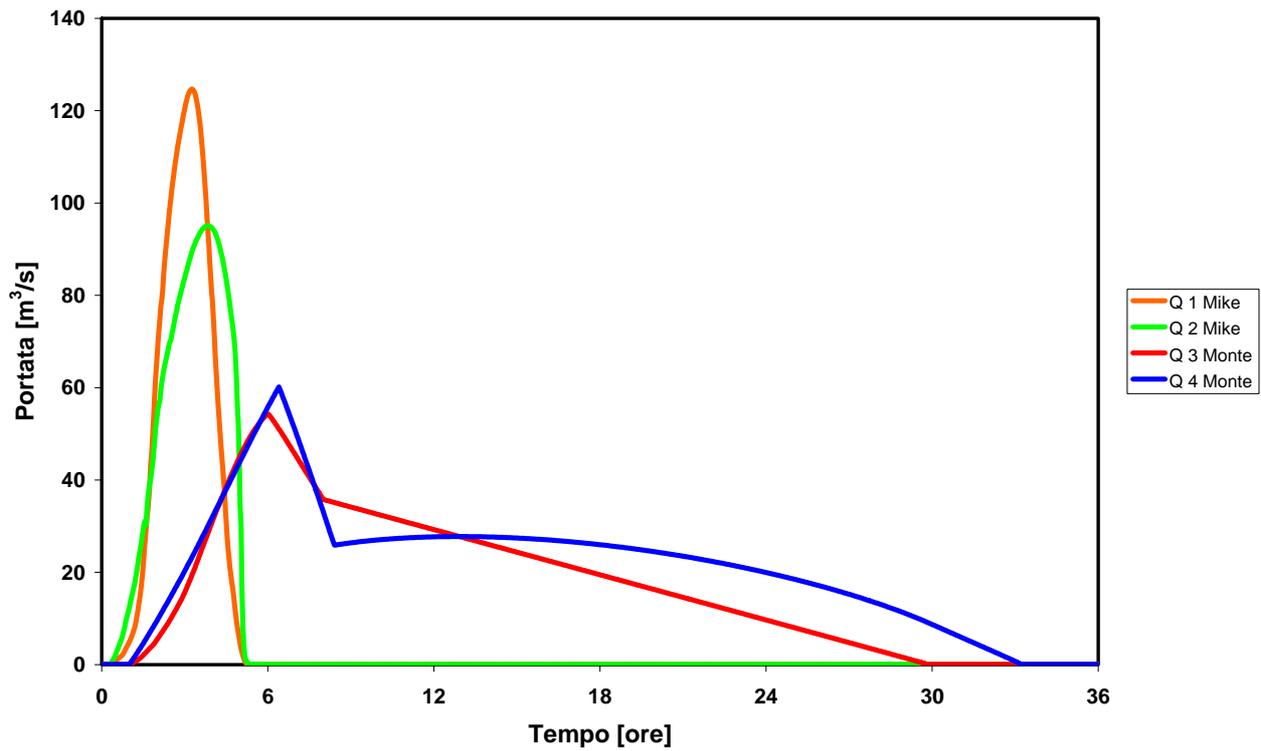


Figura 37 – Scaricalasino: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni.

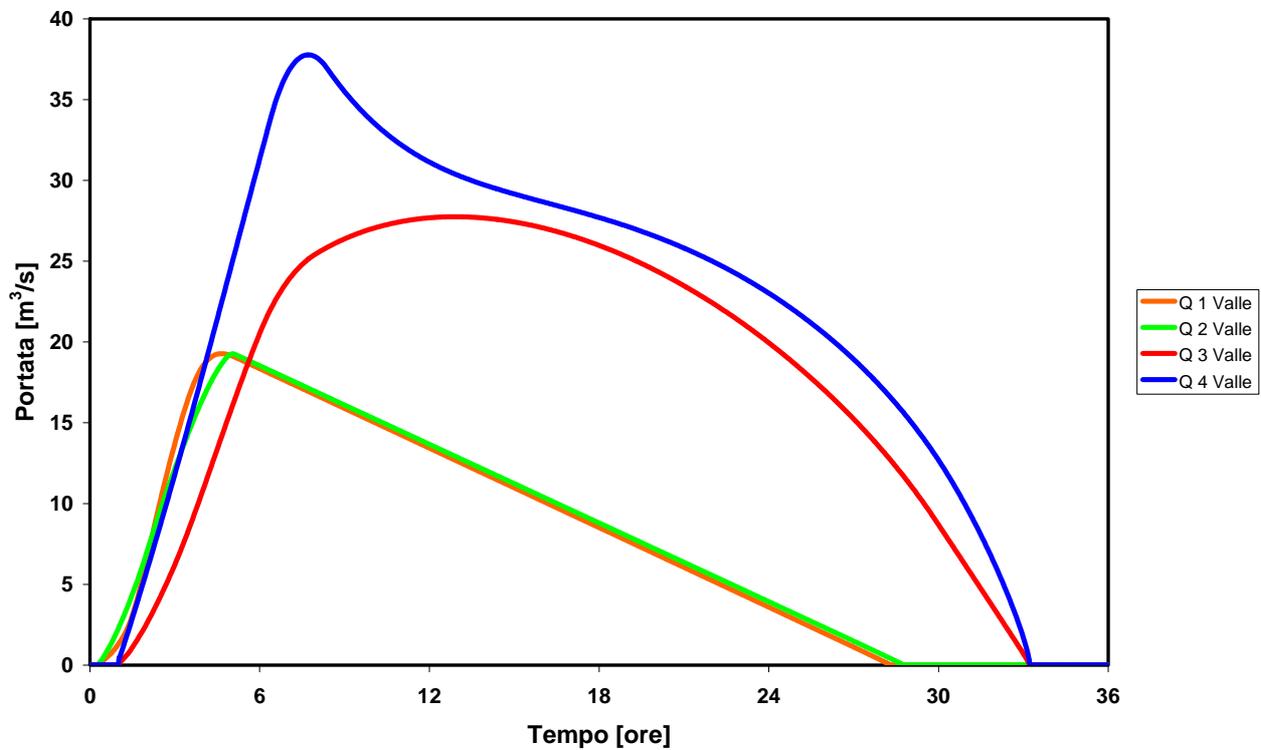


Figura 38 – Scaricalasino: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni.

7.2 RISULTATI PER CASSE D'ESPANSIONE DI VOLUME FISSATO

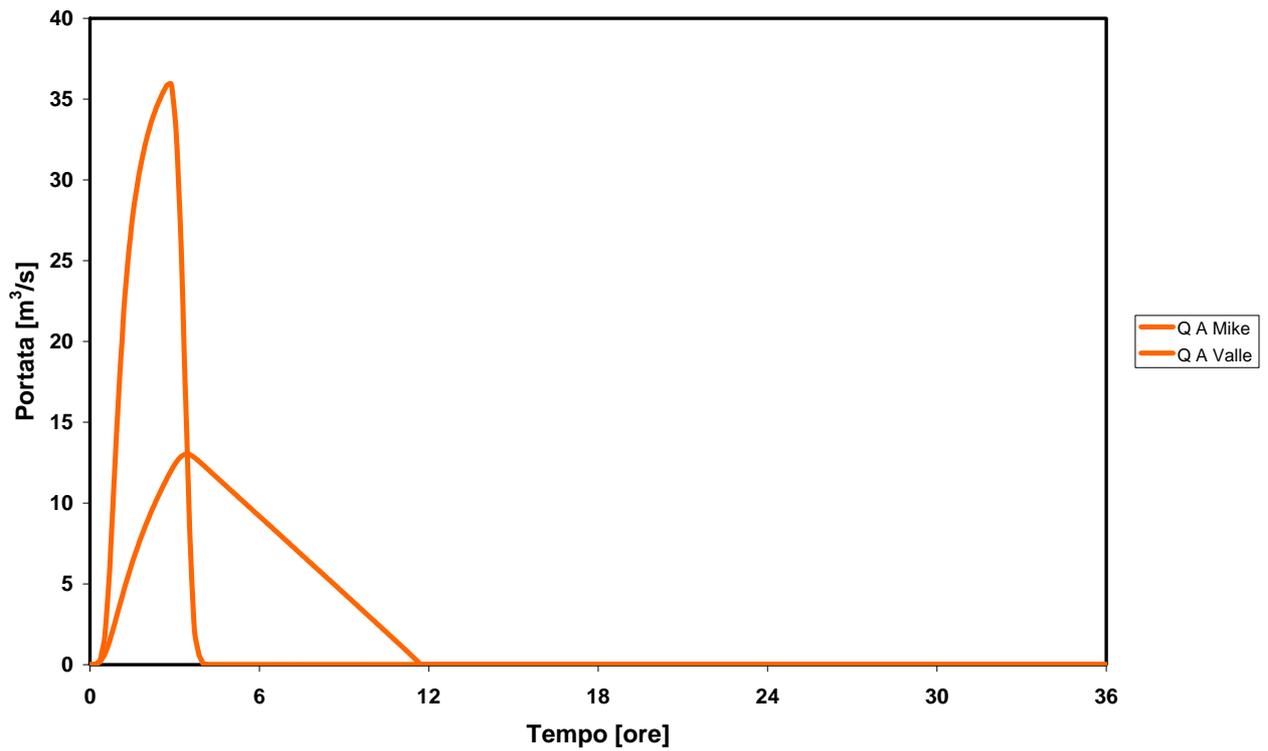
I risultati fin qui presentati presuppongono una profondità nelle casse d'espansione costante e pari a 3 metri. La loro realizzazione richiede quindi operazioni di scavo e movimentazione terra, potendo evidentemente essere utilizzati, almeno in parte in conseguenza delle caratteristiche richieste, i volumi scavati quale materiale per la costruzione delle opere di contenimento che delimitano le casse stesse. In questa ipotesi si potrebbe idealmente tendere ad una sostanziale parità fra volumi di scavo e di riporto.

Un diverso punto di vista è quello che procede ipotizzando di non alterare le quote del terreno: ne risultano casse d'espansione caratterizzate da profondità variabile. Nel caso in cui il valore $Y=3$ m sia mantenuto quale massimo del tirante idrico nelle casse, con ogni evidenza il corrispondente valore medio risulterà sensibilmente inferiore ai tre metri, così come risulterà sensibilmente inferiore il volume della cassa a parità di superficie occupata. Sono state quindi condotte simulazioni di funzionamento sotto queste ipotesi. I risultati sono riassunti in Tabella 9 e da Figura 39 a Figura 43 per il Rigo e da Figura 46 a Figura 49 per lo Scaricalasino. Le Figura 44 e Figura 45 per il Rigo e Figura 50 e Figura 51 per lo Scaricalasino riportano gli idrogrammi in ingresso ed in uscita dalle casse d'espansione. In questo caso, che inserisce limiti alla superficie delle casse d'espansione ed al tirante idrico, il volume delle casse non è più sufficiente ad assorbire l'onda di piena, si è quindi proceduto a tarare la restituzione dalle casse in alveo in modo da soddisfare le richieste in termini di superficie e tirante. Ne conseguono valori di portata in alveo superiori a quelli precedentemente ottenuti.

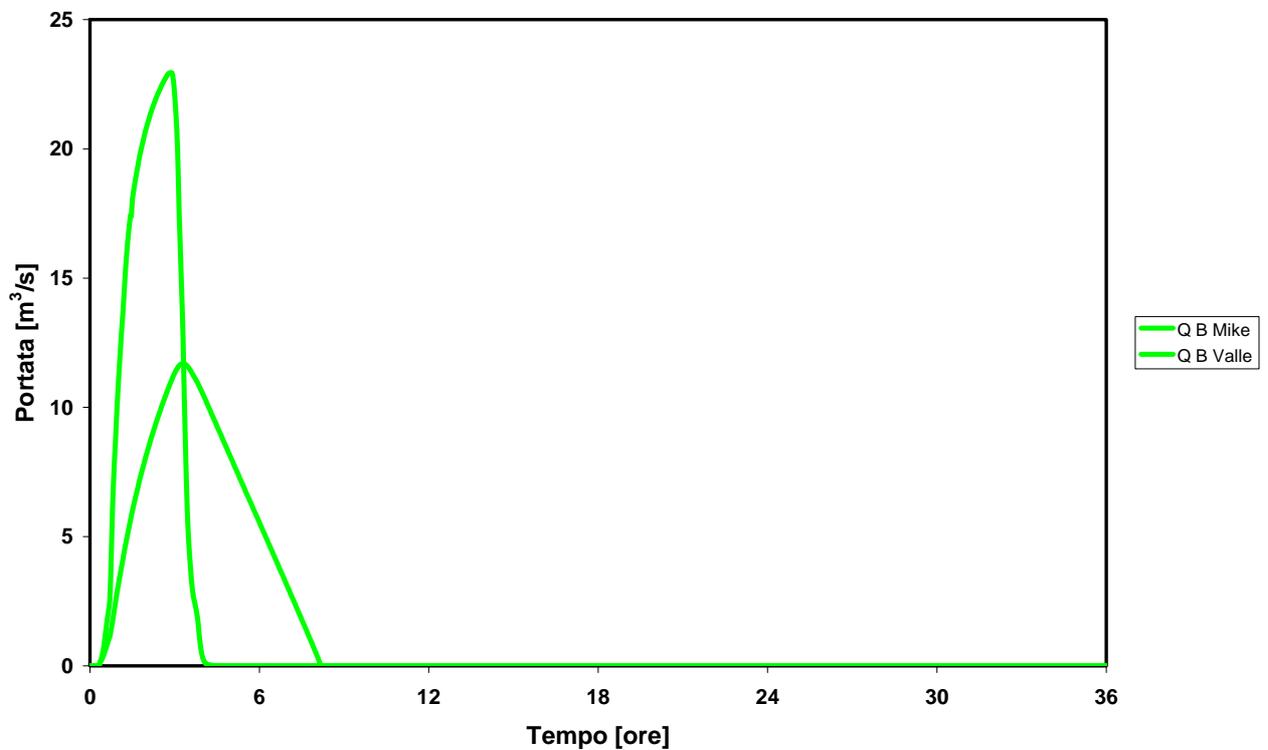
Tabella 9 – Risultati per le simulazioni con casse d'espansione, T=200 anni.

| Corso d'acqua | RIGO | | | | | SCARICALASINO | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| Cassa d'espansione | A | B | C | D | E | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Superficie [ha] | 19,44 | 11,33 | 34,42 | 18,50 | 16,35 | 41,30 | 38,68 | 48,12 | 15,00 |
| Tirante medio [m] | 0,99 | 0,88 | 1,28 | 1,08 | 1,39 | 1,59 | 1,87 | 1,14 | 1,87 |
| Portata picco entrante ^(*) [m ³ /s] | 35,97 | 22,95 | 58,31 | 34,04 | 24,79 | 124,68 | 95,10 | 86,16 | 84,99 |
| Portata picco uscente ^(*) [m ³ /s] | 13,03 | 11,70 | 24,46 | 24,79 | 20,89 | 39,89 | 30,35 | 53,02 | 66,81 |

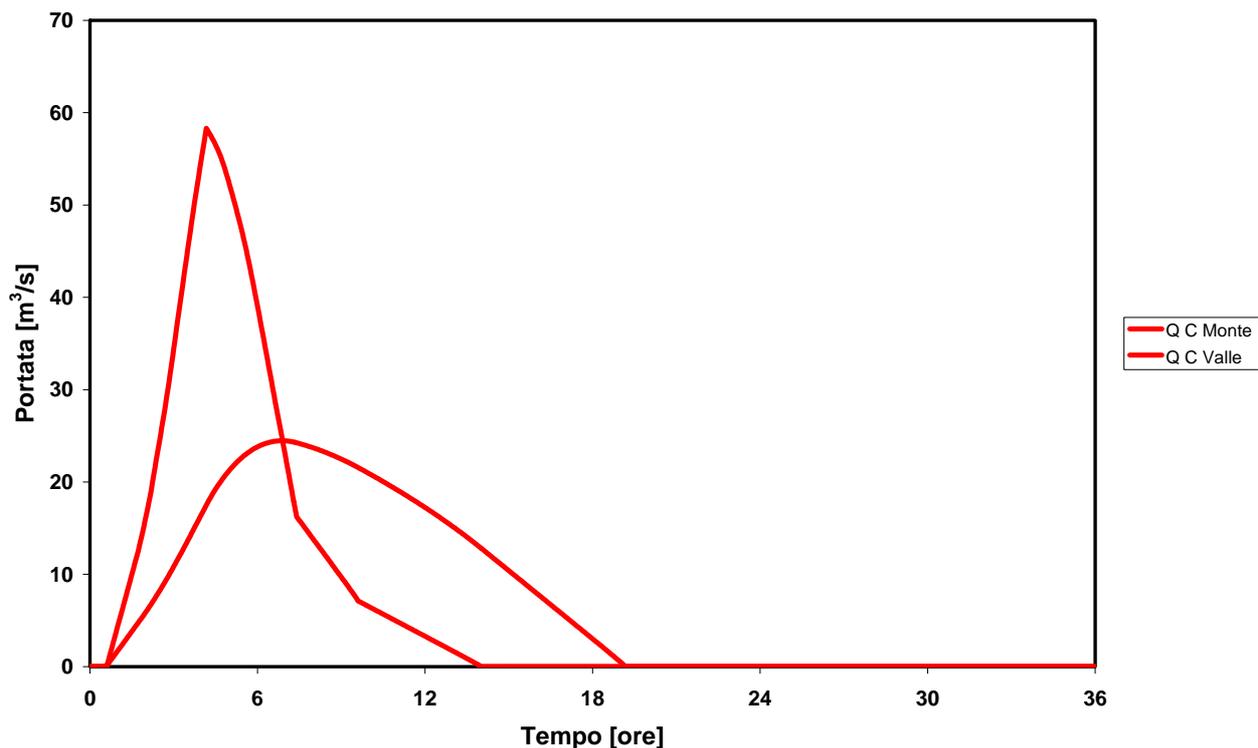
(*) Valori indicativi, da confermare in seguito ad ulteriori studi; per le casse C, D, E, 3 e 4 i valori derivano dalla laminazione effettuata nelle casse a monte.



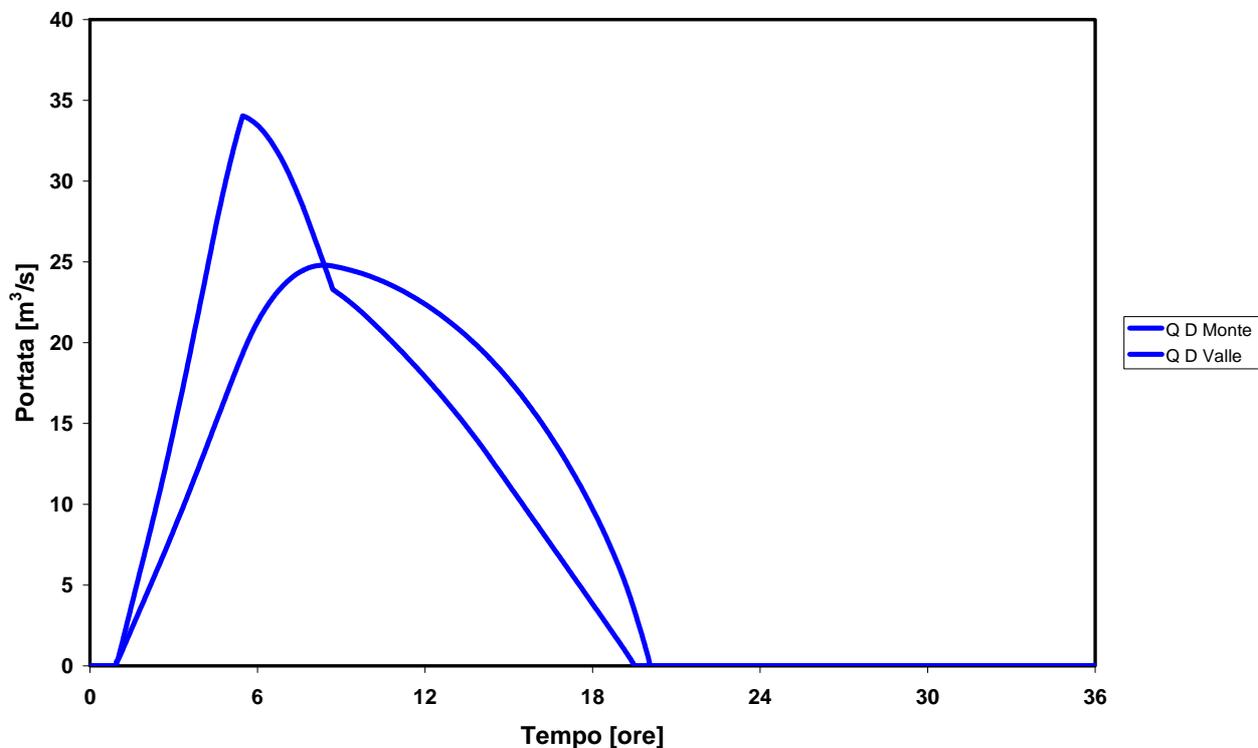
**Figura 39 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione A;
T=200 anni, S=19,44 ha, Y=0,99 m.**



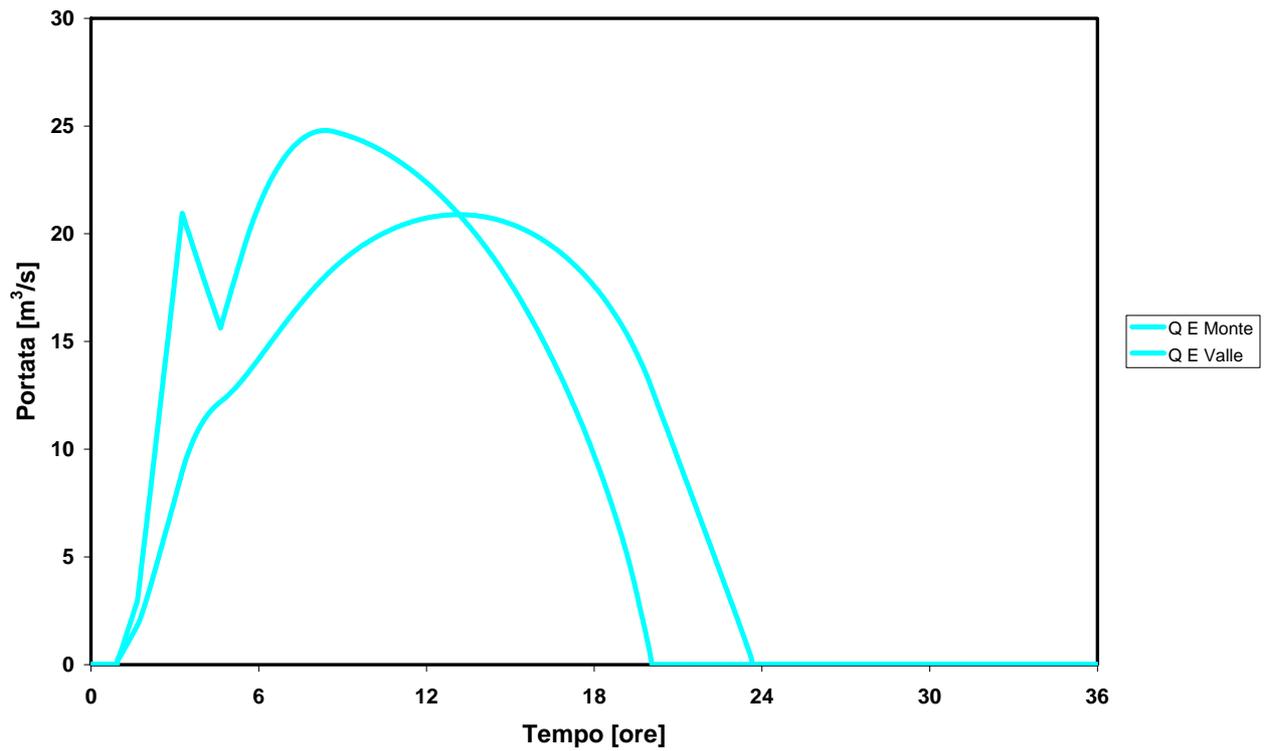
**Figura 40 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione B;
T=200 anni, S=11,33 ha, Y=0,88 m.**



**Figura 41 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione C;
T=200 anni, S=34,42 ha, Y=1,28 m.**



**Figura 42 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione D;
T=200 anni, S=18,50 ha, Y=1,08 m.**



**Figura 43 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione E;
T=200 anni, S=16,35 ha, Y=1,39 m.**

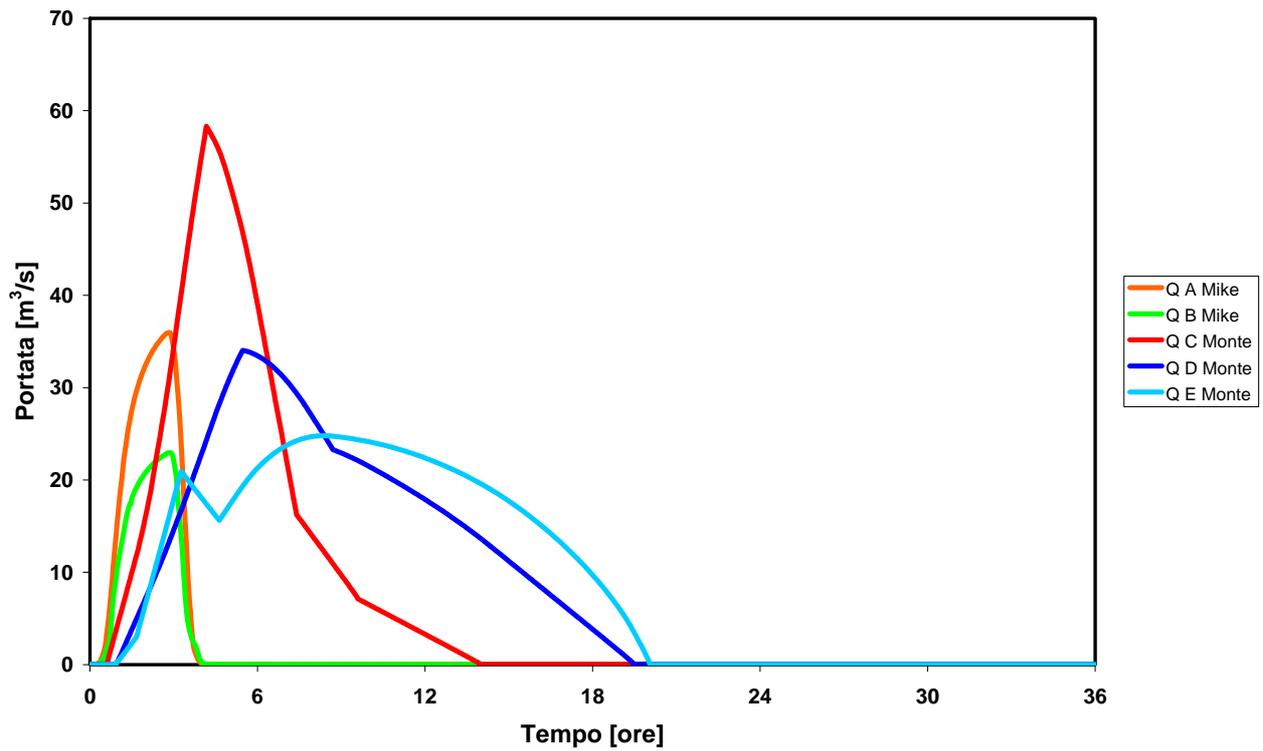


Figura 44 – Rigo: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni.

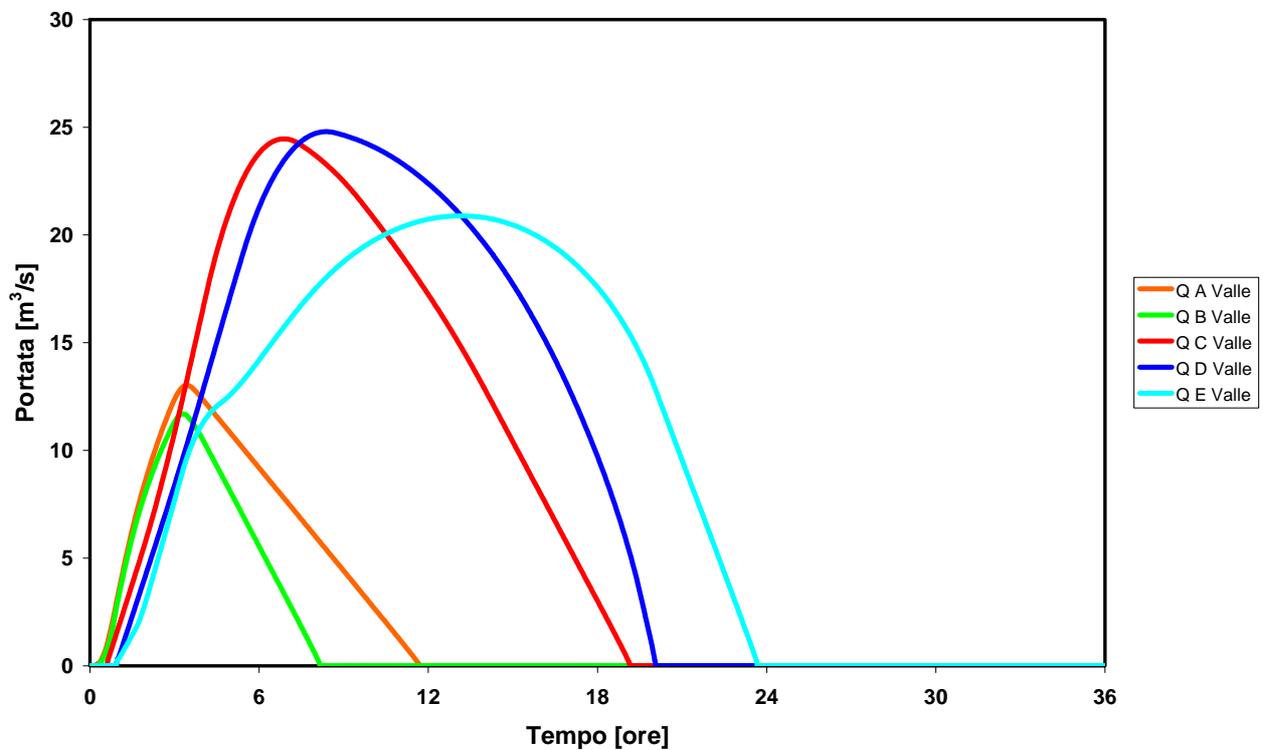
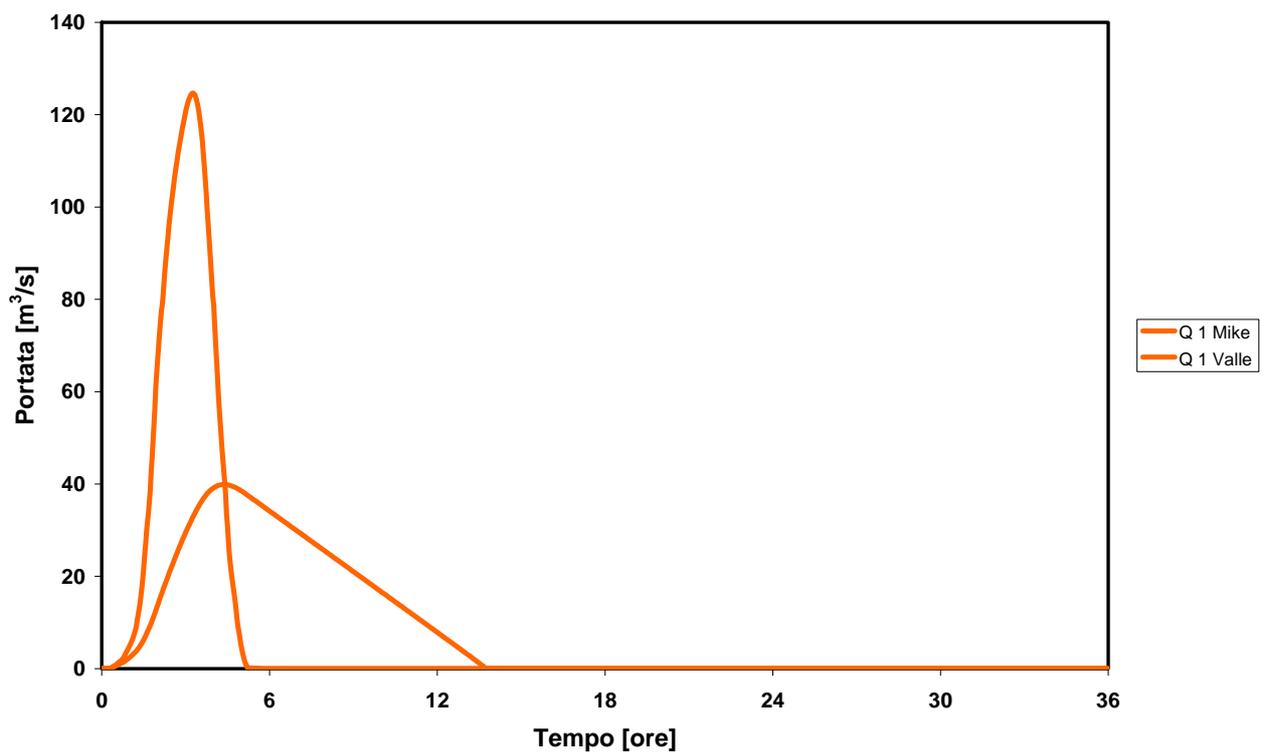
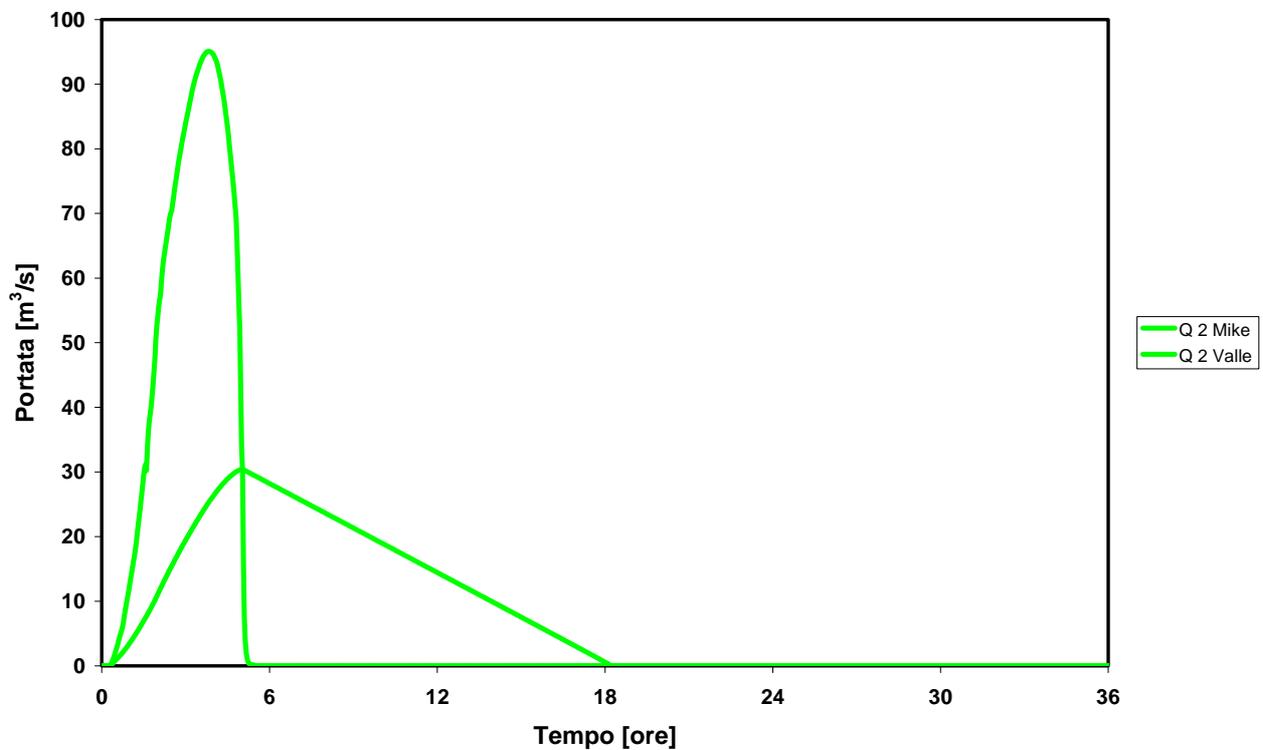


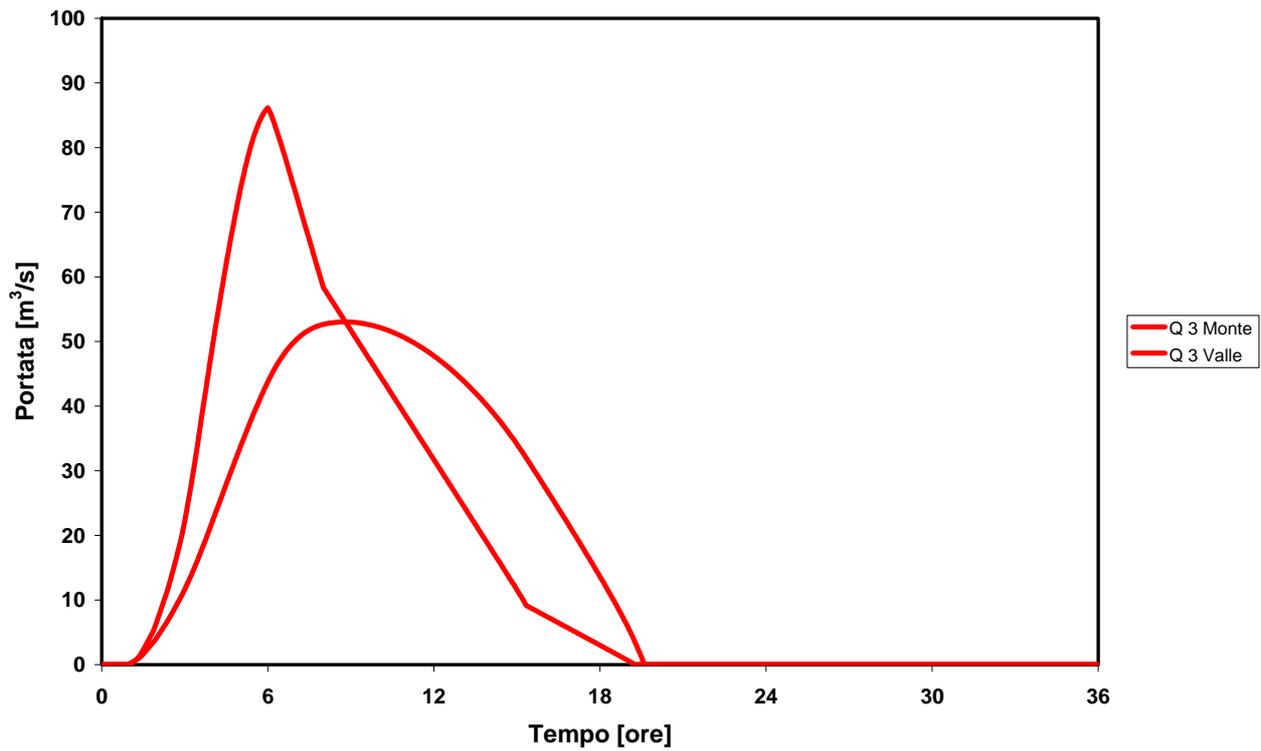
Figura 45 – Rigo: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni.



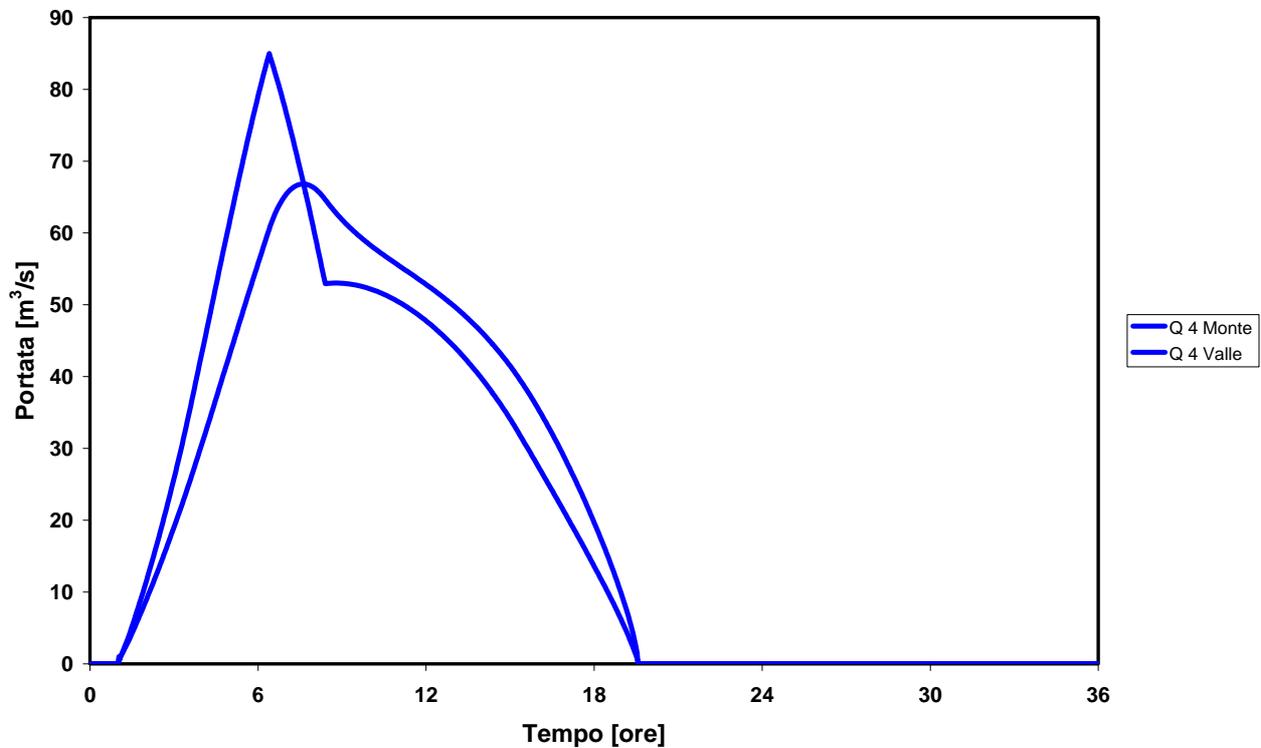
**Figura 46 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 1;
T=200 anni, S=41,30 ha, Y=1,59 m.**



**Figura 47 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 2;
T=200 anni, S=38,68 ha, Y=1,87 m.**



**Figura 48 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 3;
T=200 anni, S=48,12 ha, Y=1,14 m.**



**Figura 49 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 4;
T=200 anni, S=15,00 ha, Y=1,87 m.**

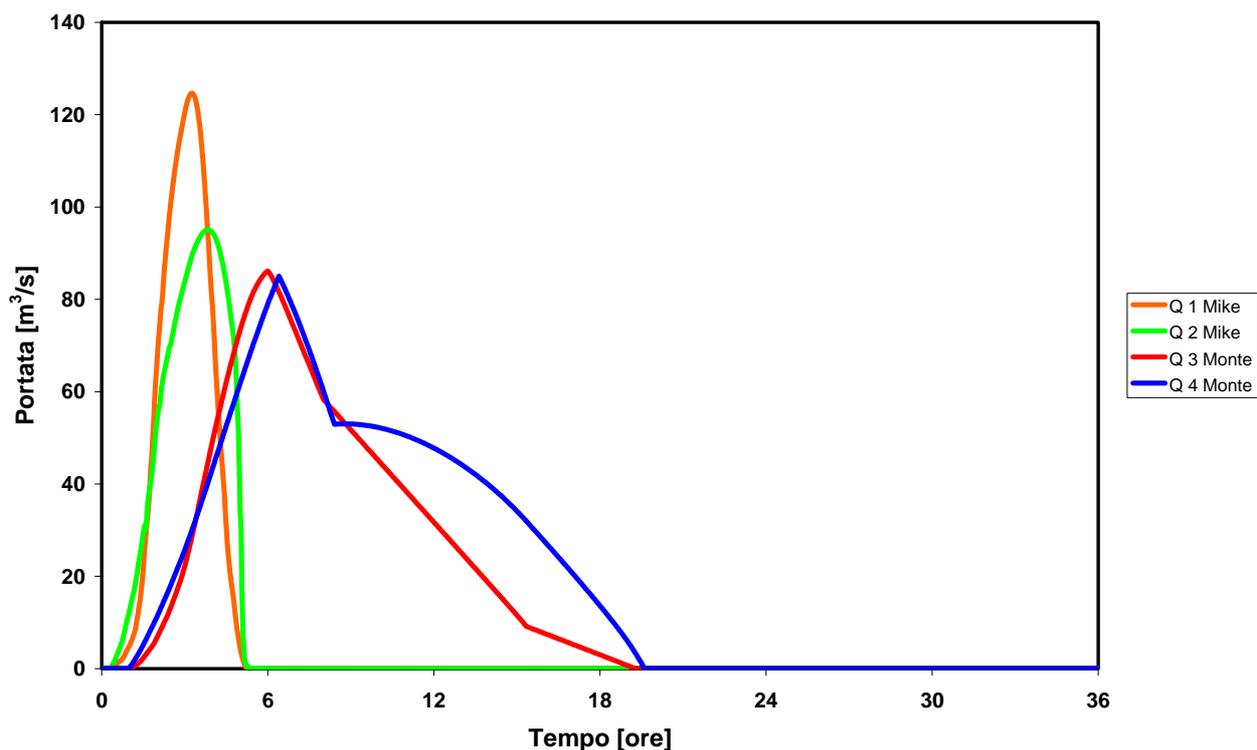


Figura 50 – Scaricalasino: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni.

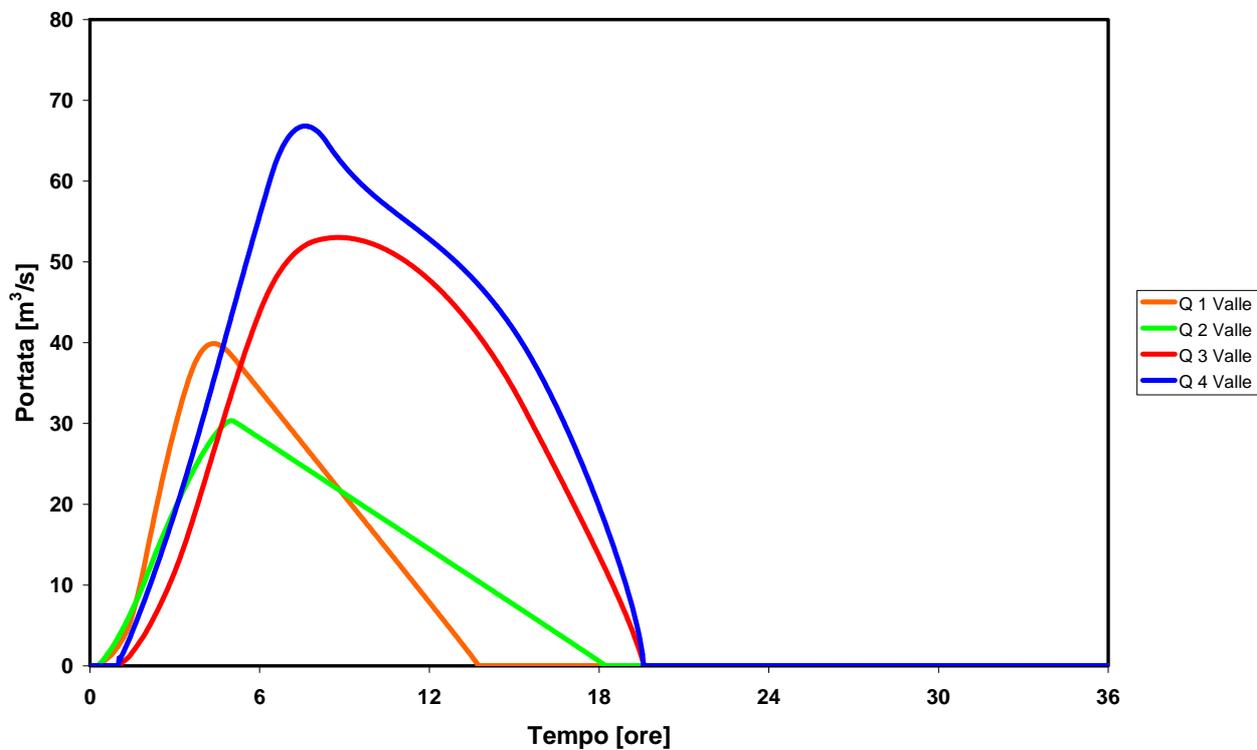


Figura 51 – Scaricalasino: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni.

7.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno imposte per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche con il modello MIKE 11 prevedono una condizione di valle ed una condizione di monte.

Per simulare la presenza delle casse di espansione il modello è stato frammentato per consentire l'inserimento di più condizioni al contorno. Come condizione di monte sono stati utilizzati i risultati del paragrafo precedente ipotizzando un volume fissato all'interno delle aree di espansione; gli idrogrammi di piena con tempi di ritorno di 200 anni uscenti dalle casse di espansione sono stati progressivamente inseriti effettuando differenti simulazioni. Sono stati condotti 5 runs differenti del modello come segue:

1° Run - - Scaricalasino – Idrogrammi di uscita dalle casse 1 e 2

2° Run - - Scaricalasino – Idrogramma di uscita dalla cassa 3

3° Run - - Scaricalasino – Idrogramma di uscita dalla cassa 4

4° Run - - Rigo – Idrogrammi di uscita dalle casse A e B

5° Run - - Rigo – Porzione a valle dalla cassa E

Per simulare il contributo di versante nelle porzioni a valle delle casse di espansione sono state inserite delle condizioni distribuite lungo l'asta.

Come condizione di valle è posta una scala di deflusso costruita ipotizzando un regime di moto della corrente, ovvero il valore di portata corrispondente a particolari condizioni di deflusso.

Per il Rigo il tratto compreso tra la cassa C e la cassa E e' stato interpretato, in questa fase del progetto, come un'area fortemente influenzata dalla presenza delle casse di espansione, in conseguenza il fenomeno di inondazione non può essere modellato se non dopo l'inserimento del progetto di dettaglio di queste opere in termini sia di opera civile sia di funzionamento idraulico, in particolare per quanto riguarda il rifacimento della sponda.

7.4 PROFILI IDRAULICI

Si riportano i risultati per i tratti d'asta a monte e a valle delle casse di espansione e relativi al profilo idraulico per l'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni per lo Scaricalasino e per il Rigo. Le figure riportano le quote delle sommità arginali in sponda sinistra in rosso ed in sponda destra in verde.

Per il Rigo per l'evento con tempo di ritorno 200 anni si riporta l'andamento del profilo nel tratto a valle delle casse A e B in Figura 52 e a valle della cassa E in Figura 53.

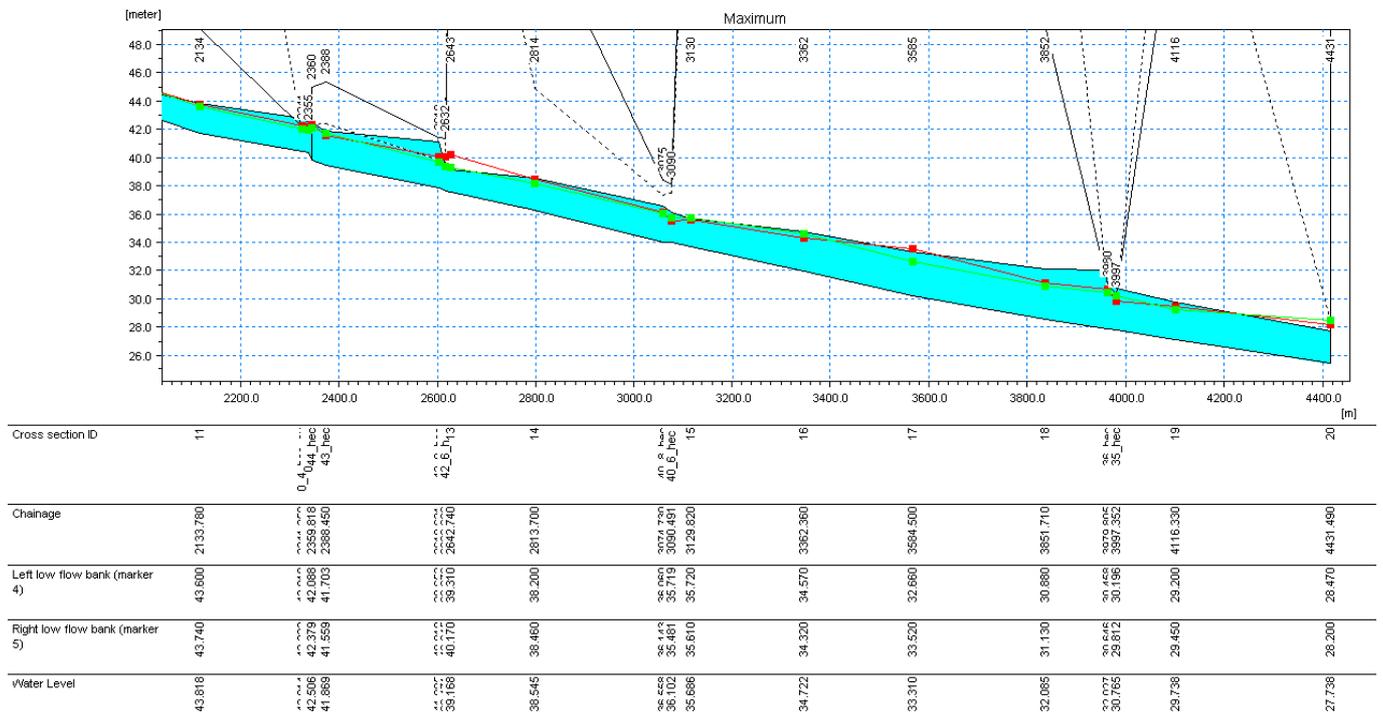


Figura 52 Rigo – Tratto a valle delle casse A e B e a monte della cassa C (T=200 anni).

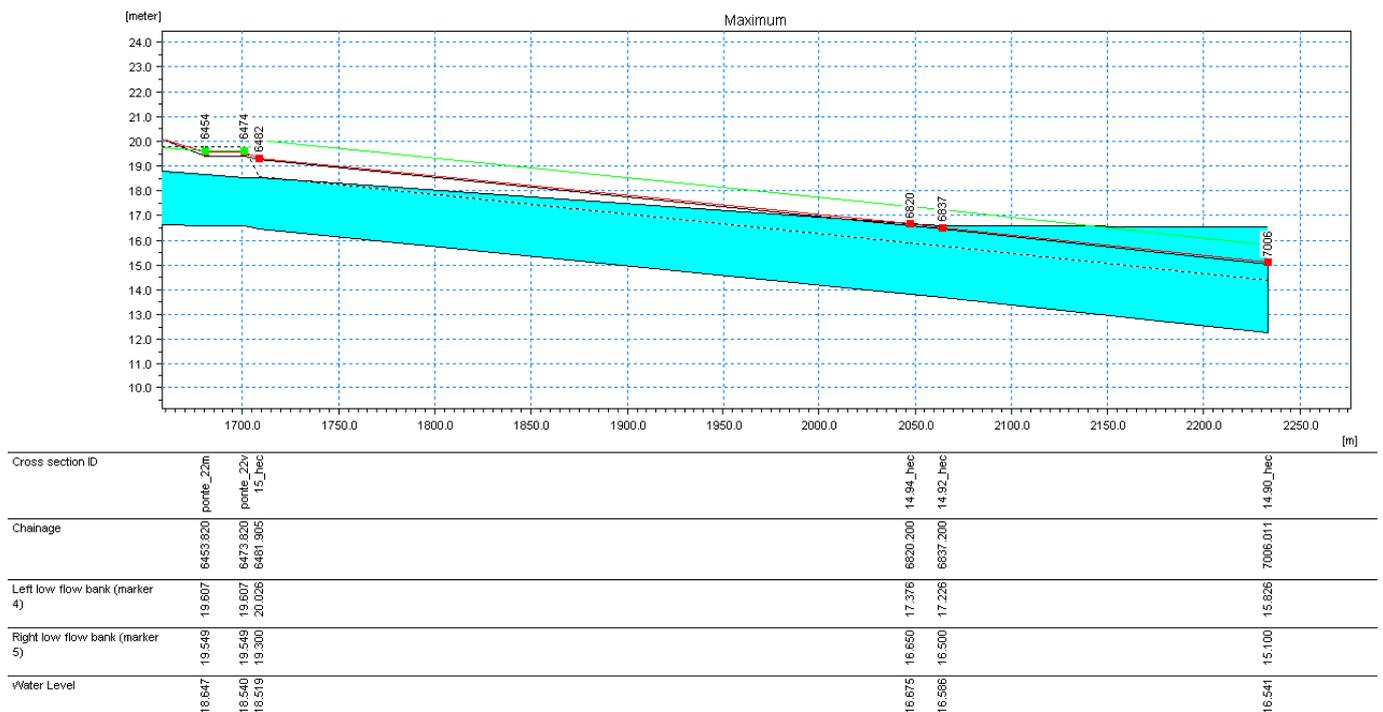


Figura 53 Rigo – Tratto a valle della casse E (T=200 anni).

Per il Fosso San Valentino per l'evento con tempo di ritorno 200 anni si riporta l'andamento del profilo del tratto a valle delle cassa 1 fino alla confluenza in Figura 54 e per il Fosso di Offagna a valle della cassa 2 fino alla sezione di ingresso della successiva cassa 3 in Figura 55 .

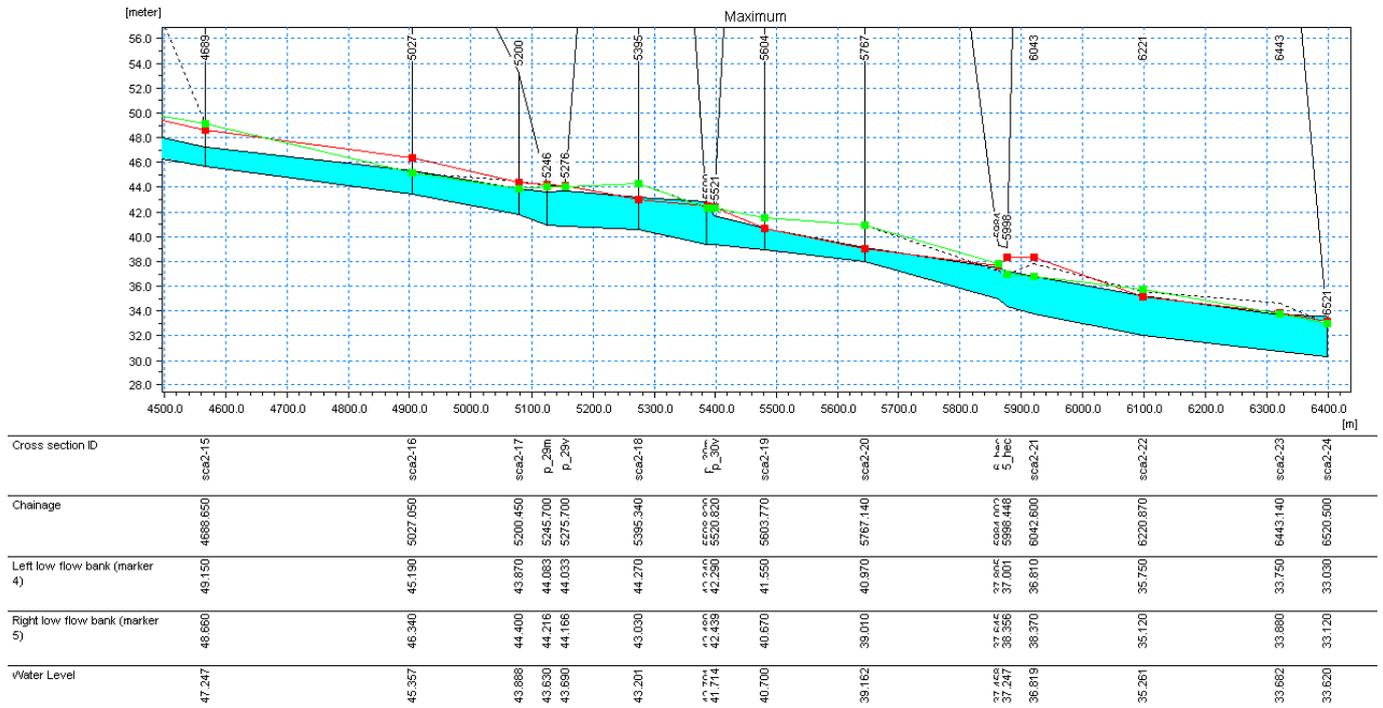


Figura 54 Fosso San Valentino - Tratto a valle della cassa 1 fino alla confluenza (T=200 anni)

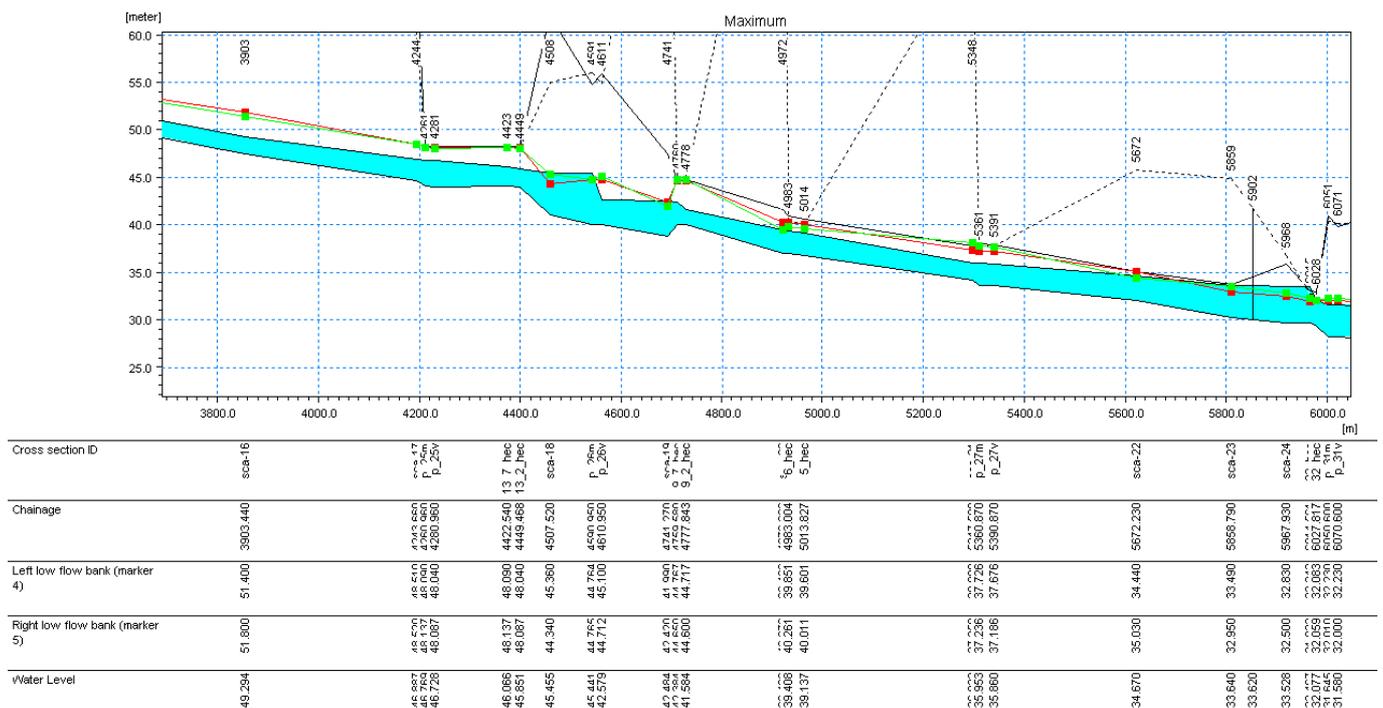


Figura 55 Fosso di Offagna- Tratto a valle della cassa1 e a monte della cassa 3 (T=200 anni).

Per lo Scaricalasino si riporta l'andamento del profilo del tratto a valle della cassa 3 e fino all'ingresso della cassa 4 in Figura 56 e a valle della cassa 4 fino alla confluenza con l'Aspio in Figura 57 , sempre per l'evento con tempo di ritorno 200 anni.

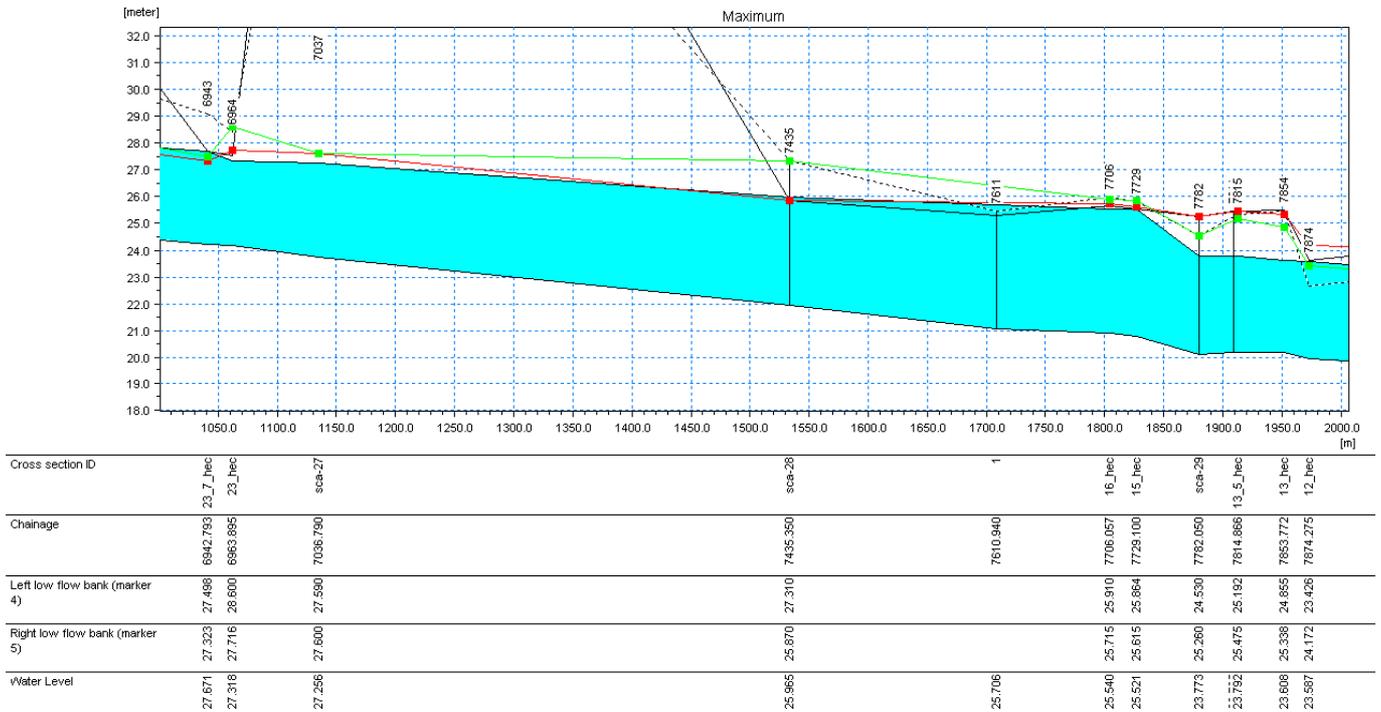


Figura 56 Scaricalasino - Tratto a valle della cassa 3 e a monte della cassa 4 (T=200 anni).

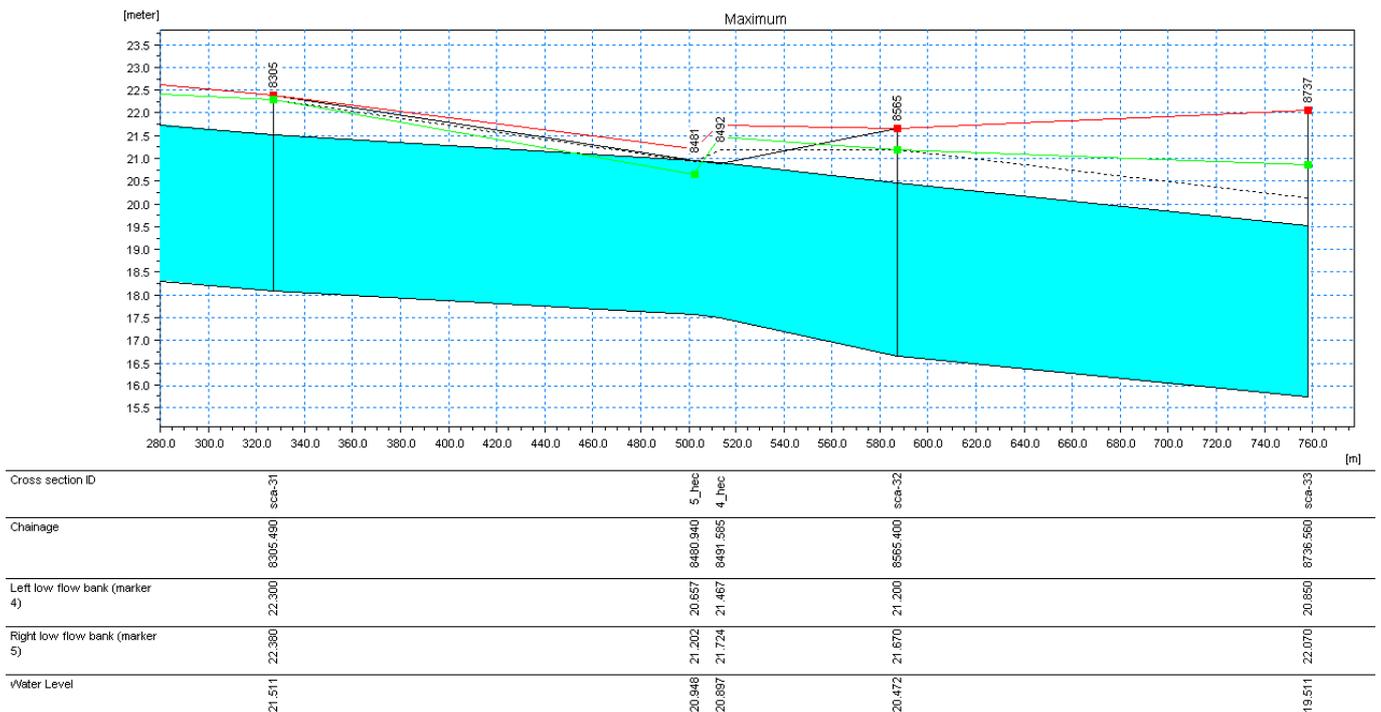


Figura 57 Scaricalasino - Tratto a valle della cassa 4 (T=200 anni).

7.5 MAPPE DI INONDABILITA'

L'evento associato a T=200 anni con l'inserimento delle casse di espansione presenta una notevole riduzione dell'estensione delle aree inondabili in confronto alla simulazione dello stato attuale per T=200 anni descritta nel paragrafo 5.3.

Le aree inondabili in corrispondenza delle casse di espansione non possono essere determinate con i dati oggi disponibili in quanto l'inserimento delle casse presuppone una modifica sostanziale del corso d'acqua; per simulare tali aree è necessario conoscere il disegno plano-altimetrico delle casse e la nuova geometria delle sezioni in corrispondenza ad esse, oltre alla definizione del funzionamento idraulico per la loro attivazione e per la restituzione in alveo. Analogamente, non è possibile per il Rigo fornire le aree inondabili in destra orografica per la cassa D e in sinistra orografica per la cassa E in quanto la presenza di un'area di espansione su un'unica sponda presuppone comunque la modifica delle quote arginali, con evidenti effetti sul fenomeno d'esondazione per la sponda opposta.

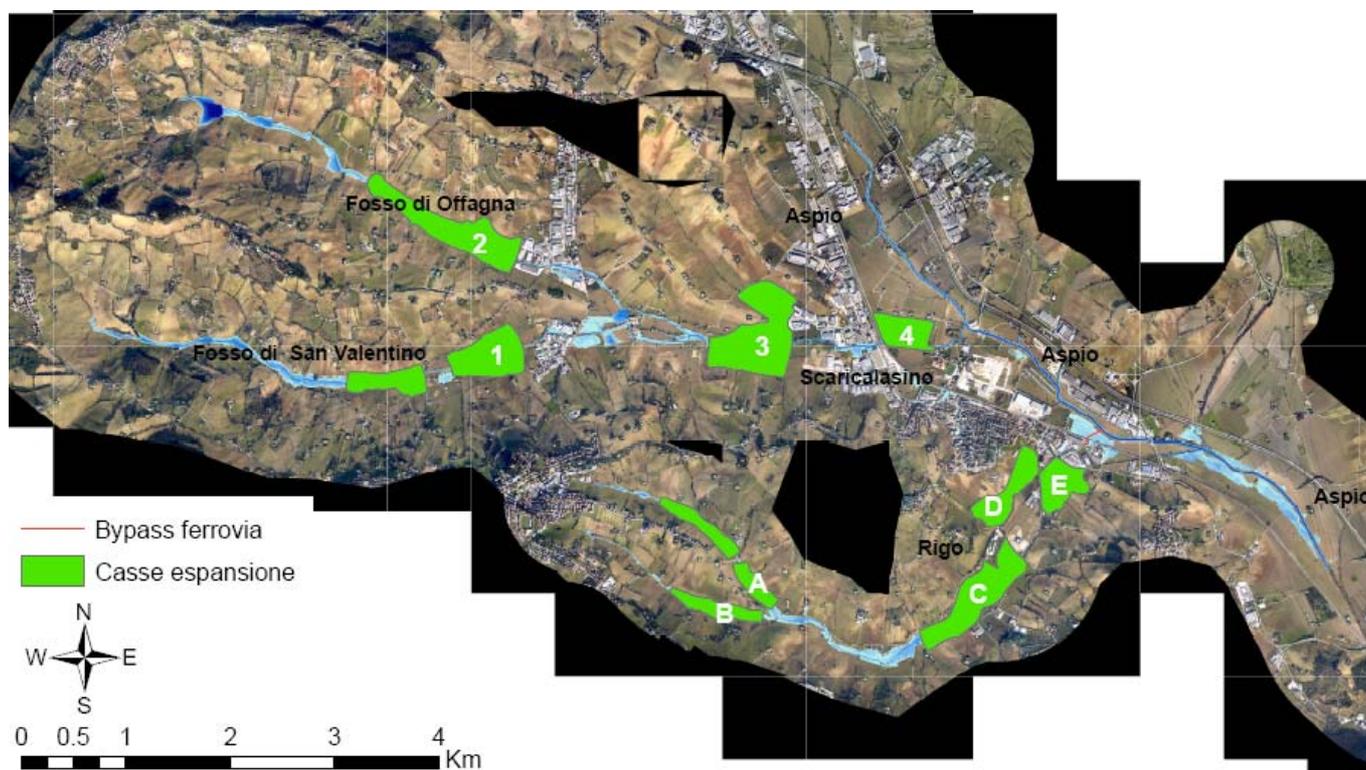


Figura 58 Mappa d'inondabilità relativa all'evento associato a T=200 anni con l'inserimento delle casse di laminazione

8 CONCLUSIONI

La disponibilità di una mappatura, in termini di estensione delle aree inondate e profondità della corrente, degli effetti al suolo conseguenti l'evento del settembre 2006, ha consentito la calibrazione di un modello numerico in grado di simulare il comportamento idrodinamico di una porzione significativa del reticolo idrografico dell'Aspio. L'aderenza dell'area effettivamente interessata dal fenomeno di esondazione a quella simulata con il modello illustrato nella presente relazione risulta buona non solo in termini di estensione ma anche quando si confrontano valori dei tiranti idrici modellati a quelli rilevati sul territorio.

Su questa base, si è proceduto indagando gli effetti del transito di una piena cinquantennale e di una piena duecentennale su due diverse configurazioni dei corsi d'acqua interessati. Una prima configurazione è quella attuale, una seconda corrisponde all'ipotetica realizzazione di alcuni interventi strutturali lungo i tratti analizzati.

L'evento associato alla piena cinquantennale nella configurazione attuale presenta esondazioni diffuse su entrambe le sponde lungo lo Scaricalasino e il Rigo, interessando diverse aree con edifici ed infrastrutture. La mappa di inondazione relativa all'evento duecentennale presenta estensione analoga, ma tiranti idrici superiori, in particolare nel tratto compreso tra la confluenza dei due corsi d'acqua che originano lo Scaricalasino e l'attraversamento della Via Adriatica e lungo la sponda destra del Rigo, tra l'attraversamento di Via della Stazione e quello della linea ferroviaria.

Gli interventi progettati non sono sufficienti a contenere le portate di piena. Il profilo idrico corrispondente alla piena cinquantennale presenta infatti, anche nella condizione di progetto, situazioni significative di sormonto degli argini. L'estensione dei tratti sormontati incrementa considerevolmente in corrispondenza al transito della piena duecentennale. I risultati ottenuti mettono inoltre in evidenza come alcune nuove opere debbano essere ulteriormente riviste per evitare che la loro realizzazione dia luogo a fenomeni di inondazione maggiori degli attuali. Infine, si nota come il bypass sul Rigo non sia verificato per la portata cinquantennale.

La realizzazione, lungo il corso d'acqua del Rigo e dello Scaricalasino, di casse d'espansione nelle posizioni e con le caratteristiche individuate, sembra idonea al fine di ottenere una significativa laminazione dell'onda di piena bi-centenaria. Questo risultato è confermato da analisi condotte:

- complessivamente, tramite semplice confronto fra i volumi dell'onda di piena caratterizzata da $T=200$ anni ed il volume totale delle casse;

- come confronto fra volumi dell’onda di piena e delle casse d’espansione, ottenuti ponendo in conto la localizzazione spaziale ed i volumi d’invaso eventualmente disponibili a monte;
- tramite un modello idrologico in grado di descrivere concettualmente la dinamica delle casse d’espansione e la loro relazione con la rete idrografica naturale, in particolare per quanto è relativo alla diversione temporanea dei deflussi di piena, al progressivo riempimento delle casse ed alla dinamica di restituzione tempestiva dei volumi idrici sottratti.

9 SVILUPPI FUTURI

Alla luce delle conclusioni appena presentate, si suggerisce di procedere nello studio al fine di giungere ad una migliore definizione delle opere – casse d’espansione ed eventuale riprofilatura d’alveo – e delle loro regole di gestione, tale da garantire il corretto uso della risorsa territoriale.

Tale studio dovrebbe, a parere degli scriventi, consistere almeno delle seguenti fasi:

- analisi della sollecitazione idrologica;
- modellazione idraulica dello stato attuale con identificazione delle sezioni critiche;
- modellazione idrologica – tramite Mike DRiFt modificato per porre in conto della presenza delle casse d’espansione – finalizzata al dimensionamento ottimale delle strutture per area, tirante idrico ammesso, portate d’innescio del funzionamento e di restituzione dei volumi derivati;
- modellazione idraulica dello stato futuro per giungere alla definizione delle caratteristiche funzionali delle casse (larghezza e quota della briglia d’alveo, lunghezza e quota dello sfioratore etc) e dell’eventuale riprofilatura d’alveo;
- definizione delle politiche di gestione delle casse d’espansione;
- identificazione del rischio residuo e delle relative politiche di gestione.

Si segnala infine come alcuni degli elementi appena descritti siano già sostanzialmente disponibili, in quanto sviluppati nell’ambito della presente e di precedenti convenzioni, mentre altri possono contribuire a costituire la base essenziale per le relative pratiche autorizzative, per esempio in relazione a quanto previsto dalle vigenti normative in materia di dighe (Legge 28 maggio 2004, n. 139; Legge 21 ottobre 1994, n. 584; Decreto del Presidente della Repubblica 1° novembre 1959, n. 1363) ed in materia di valutazione di impatto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

- Arcement G.J., Schneider V.R., *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains* – U.S. Geological Survey, Paper 2339, 1989.
- Marchi E., Rubatta A., *Meccanica dei fluidi – Principi e applicazioni idrauliche*, UTET, 1981
- Regione Marche, Giunta Regionale. *L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia*. SELCA srl., 1991.
- Bras, R.L., *Hydrology, an Introduction to Hydrology Science*, Addison–Wesley Publishing Company, 1990.
- Kottegoda, N.T., R. Rosso, *Probability and Reliability for civil and environmental Engineers*, Mc Graw – Hill International Edition Civil Engineering Series, 1997.
- Rodriguez – Iturbe, I., M.Marani, R. Rigon, A. Rinaldo, *Self–organized river basin landscape: Fractal and multifractal characteristics*, Water Resour. Res., 30(12), 3531 – 3539, 1994.
- G. Roth, P. La Barbera, M. Greco, *On the description of the basin drainage structure*, J. Hydrol., 187, 119 – 135, 1996.
- Giannoni, F., G. Roth, and R. Rudari, *A Semi – Distributed Rainfall – Runoff Model Based on a Geomorphologic Approach*, Physics and Chemistry of the Earth, 25/7–8, 665–671, 2000.
- Giannoni, F., Roth G., and Rudari, R., *A procedure for drainage network identification from geomorphology and its application to the prediction of the hydrologic response*, Advances in Water Resources, 28, 6, 567–581, 2005.
- Mc Cuen, R.H., *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice–Hall, INC, 1982.
- Rossi F., Fiorentino M., e Versace P.; *Two component extreme value distribution for flood frequency analysis*, Water Resources Research, 20(7), 847–856, 1984.
- Fiorentino V., Gabriele S., Rossi F., e Versace P., *Hierarchical approach for regional flood frequency analysis*, in V. P. Singh (eds), Regional flood frequency analysis, 35–49, D. Reidel, Norwell, Mass, 1987.
- Versace P., Ferrari E., Gabriele S. and Rossi F. (1989) *Valutazione delle piene in Calabria*, IRPI–CNR, Geodata, Cosenza.
- Documenti Regione Marche

Elenco Figure e Tabelle

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Inquadramento territoriale del bacino del fiume Aspio . | 4 |
| Figura 2 – Schematizzazione della struttura delle traverse in MIKE 11. | 7 |
| Figura 3 – Schematizzazione del network utilizzato per lo stato attuale (in rosso il reticolo idrografico e in blu i link channel). | 8 |
| Figura 4 – Idrogrammi di input per la simulazione dell'evento 2006. | 10 |
| Figura 5 – Idrogrammi di input per la simulazione dell'evento con T=50 anni. | 10 |
| Figura 6 – Idrogrammi di input per la simulazione dell'evento con T=200 anni. | 11 |
| Figura 7 – Mappa d'inondazione relativa all'evento del 16–17 Settembre 2006. | 13 |
| Figura 8 – Mappa d'inondabilità relativa all'evento associato a T=50 anni. | 14 |
| Figura 9 – Mappa d'inondabilità relativa all'evento associato a T=200 anni. | 14 |
| Figura 10 – Modifica network parte terminale del Rigo. | 15 |
| Figura 11 – Fosso San Valentino stato attuale. | 17 |
| Figura 12 – Fosso San Valentino stato di progetto. | 17 |
| Figura 13 – Scaricalasino stato attuale. | 18 |
| Figura 14 – Scaricalasino stato di progetto. | 18 |
| Figura 15 – Rigo stato attuale. | 19 |
| Figura 16 – Rigo stato di progetto. | 19 |
| Figura 17 – Fosso San Valentino stato attuale T=200 anni. | 21 |
| Figura 18 – Fosso San Valentino stato di progetto T=200 anni. | 21 |
| Figura 19 – Scaricalasino stato attuale T=200 anni. | 22 |
| Figura 20 – Scaricalasino stato di progetto T=200 anni. | 22 |
| Figura 21 – Rigo stato attuale T=200 anni. | 23 |
| Figura 22 – Rigo stato di progetto T=200 anni. | 23 |
| Figura 23 – Localizzazione delle casse d'espansione proposte. | 26 |
| Figura 24 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione A; T=200 anni, S~10 ha, Y=3 m. | 30 |
| Figura 25 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione B; T=200 anni, S~5 ha, Y=3 m. | 30 |
| Figura 26 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione C; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m. | 31 |
| Figura 27 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione D; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m. | 31 |
| Figura 28 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione E; T=200 anni, S~16 ha, Y=3 m. | 32 |
| Figura 29 – Rigo: idrogrammi "naturali" nelle sezioni interessate dalle casse; T=200 anni. | 32 |
| Figura 30 – Rigo: idrogrammi in ingresso alle casse d'espansione; T=200 anni. | 33 |
| Figura 31 – Rigo: idrogrammi in uscita dalle casse d'espansione; T=200 anni. | 33 |
| Figura 32 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 1; T=200 anni, S~30 ha, Y=3 m. | 35 |
| Figura 33 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 2; T=200 anni, S~30 ha, Y=3 m. | 35 |
| Figura 34 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 3; T=200 anni, S~20 ha, Y=3 m. | 36 |
| Figura 35 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 4; T=200 anni, S~10 ha, Y=3 m. | 36 |
| Figura 36 – Scaricalasino: idrogrammi "naturali" nelle sezioni delle casse; T=200 anni. | 37 |
| Figura 37 – Scaricalasino: idrogrammi in ingresso alle casse d'espansione; T=200 anni. | 38 |
| Figura 38 – Scaricalasino: idrogrammi in uscita dalle casse d'espansione; T=200 anni. | 38 |
| Figura 39 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione A; T=200 anni, S=19,44 ha, Y=0,99 m. | 40 |
| Figura 40 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione B; T=200 anni, S=11,33 ha, Y=0,88 m. | 40 |
| Figura 41 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione C; T=200 anni, S=34,42 ha, Y=1,28 m. | 41 |
| Figura 42 – Rigo: idrogrammi per la cassa d'espansione D; T=200 anni, S=18,50 ha, Y=1,08 m. | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 43 – Rigo: idrogrammi per la cassa d’espansione E; T=200 anni, S=16,35 ha, Y=1,39 m..... | 42 |
| Figura 44 – Rigo: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni. | 43 |
| Figura 45 – Rigo: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni. | 43 |
| Figura 46 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 1; T=200 anni, S=41,30 ha, Y=1,59 m..... | 44 |
| Figura 47 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 2; T=200 anni, S=38,68 ha, Y=1,87 m..... | 44 |
| Figura 48 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 3; T=200 anni, S=48,12 ha, Y=1,14 m..... | 45 |
| Figura 49 – Scaricalasino: idrogrammi per la cassa 4; T=200 anni, S=15,00 ha, Y=1,87 m..... | 45 |
| Figura 50 – Scaricalasino: idrogrammi in ingresso alle casse d’espansione; T=200 anni..... | 46 |
| Figura 51 – Scaricalasino: idrogrammi in uscita dalle casse d’espansione; T=200 anni..... | 46 |
| Figura 52 Rigo – Tratto a valle delle casse A e B e a monte della cassa C (T=200 anni). | 48 |
| Figura 53 Rigo – Tratto a valle della casse E (T=200 anni)..... | 48 |
| Figura 54 Fosso San Valentino - Tratto a valle della cassa 1 fino alla confluenza (T=200 anni) | 49 |
| Figura 55 Fosso di Offagna- Tratto a valle della cassa1 e a monte della cassa 3 (T=200 anni).49 | |
| Figura 56 Scaricalasino - Tratto a valle della cassa 3 e a monte della cassa 4 (T=200 anni). | 50 |
| Figura 57 Scaricalasino - Tratto a valle della cassa 4 (T=200 anni). | 50 |
| Figura 58 Mappa d’inondabilità relativa all’evento associato a T=200 anni con l’inserimento delle casse di laminazione..... | 51 |

| | |
|--|----|
| Tabella 1 – Principali variazioni degli attraversamenti nella configurazione di progetto esaminata..... | 15 |
| Tabella 2 – Caratteristiche nuove sezioni by-pass del Rigo. | 16 |
| Tabella 3 – Area disponibile per casse d’espansione sul Rigo e sullo Scaricalasino..... | 25 |
| Tabella 4 – Dimensione delle casse d’espansione nell’ipotesi di laminazione | 27 |
| Tabella 5 – Rigo: simulazioni casse d’espansione di monte, T=200 anni, Y=3 m..... | 29 |
| Tabella 6 – Rigo: simulazione cassa d’espansione in C, D ed E, T=200 anni, Y=3 m. | 29 |
| Tabella 7 – Scaricalasino: simulazioni casse d’espansione di monte, T=200 anni, Y=3 m. | 34 |
| Tabella 8 – Scaricalasino: simulazione cassa d’espansione in 3 e 4, T=200 anni, Y=3 m..... | 34 |
| Tabella 9 – Risultati per le simulazioni con casse d’espansione, T=200 anni..... | 39 |