

COMUNE DI MONTERIGGIONI (SI)

STUDI IDROLOGICI E IDRAULICI DEL TORRENTE STAGGIA E DEL FOSSO DELLA RUOTA IN LOC. BADESSE

d.02 RELAZIONE STUDIO IDRAULICO

Giugno 2015 rev. 0

Il tecnico incaricato

Ing. Claudio Lombardi

Collaboratori

Ing. Alessio Magazzini

Ing. Alberto Nastasi

Studio Tecnico Ing. CLAUDIO LOMBARDI

Strada di Busseto 18, 53100 SIENA (Italy)

T-F: +39 0577 47463

E: claudio.lombardi@sitingegneria.it

E-pec: claudio.lombardi@ingpec.eu

Indice

STUDIO IDRAULICO	1
PREMESSA.....	1
RILIEVI TOPOGRAFICI E DATI LIDAR	2
ANALISI DI COERENZA FRA RILIEVI, CTR E LIDAR	4
IL MODELLO IDRAULICO (APPLICATIVO HEC RAS).....	7
<i>Ipotesi di calcolo</i>	<i>7</i>
<i>Il modello di moto vario</i>	<i>7</i>
<i>Scabrezze</i>	<i>8</i>
<i>Coefficienti di espansione e di contrazione.....</i>	<i>9</i>
<i>Modellazione degli attraversamenti.....</i>	<i>9</i>
<i>Sfioratori laterali e Aree di potenziale esondazione</i>	<i>10</i>
<i>Condizioni al contorno</i>	<i>11</i>
LA GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO DELLA CONFLUENZA DEL T. STAGGIA CON IL FOSSO DELLA RUOTA.....	12
<i>Sezioni idrauliche ed attraversamenti</i>	<i>13</i>
<i>Sfioratori laterali e aree di potenziale esondazione.....</i>	<i>13</i>
<i>Scabrezze, idrogrammi di piena in ingresso e condizioni al contorno</i>	<i>26</i>
<i>Documentazione fotografica</i>	<i>33</i>
<i>Risultati delle verifiche idrauliche – Tr 30, 200 e 500 anni.....</i>	<i>40</i>
AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA INDIVIDUATE A SEGUITO DEGLI STUDI IDRAULICI	44

Studio idraulico

Premessa

Il presente studio idraulico è stato redatto su incarico del Comune di Monteriggioni (SI) a seguito degli approfondimenti richiesti dall'Autorità di bacino del Fiume Arno, al fine di poter superare le incongruenze che non hanno reso possibile l'approvazione delle pericolosità idrauliche a livello di dettaglio ma rimanendo a livelli di sintesi, pur in presenza di studi idraulici del T. Staggia e del Fosso della Ruota approvati¹.

Lo studio idraulico, attraverso la ricostruzione di un modello di deflusso monodimensionale in regime di moto vario quasi 2D (con modellazione di aree a potenziale esondazione extra alveo), sviluppato con l'applicativo HEC RAS dell'US Corps of Engineers, basato sui rilievi topografici delle sezioni e dei manufatti interferenti (ponti e attraversamenti), preventivamente validati ed estesi con la copertura LIDAR (rilievi Ministero Ambiente elaborati in coordinate Gauss Boaga dalla Regione Toscana), consente di individuare i livelli di rischio idraulico associati ai tempi di ritorno di interesse.

Sulla base dei livelli di rischio idraulico individuati sono definite le planimetrie delle aree allagate in funzione dei tempi di ritorno degli eventi di piena (Tr 30, 200 e 500 anni trattandosi di aste di fondo valle), necessari per l'assegnazione delle classi di pericolosità idraulica.

¹ Gli studi disponibili approvati nei tratti in studio risultano:

- Studio di area vasta del bacino del Fiume Elsa a monte di Poggibonsi - Stralcio Torrente Staggia in loc.tà Badesse (Ing. S. Franchin, Ing. G. Massini, Ing. L. Conti, Ing. G. Bavecchi, Novembre 2004);
- Analisi del rischio idraulico del Fosso della Ruota in loc.tà Badesse e individuazione degli interventi di mitigazione (Ing. L. Conti Amm.ne Prov.le di Siena, Agosto 2007);

Rilievi topografici e dati LIDAR

I modelli idraulici, sviluppati con l'applicativo HEC RAS in regime di moto vario, sono stati implementati disponendo dei rilievi topografici disponibili dai rilievi topografici di dettaglio eseguiti a supporto degli studi approvati.

Per le zone in studio risultano disponibili i dati LIDAR (LIghth Detection And Ranging) del Bacino dell'Arno, ottenuti tramite sistemi di misurazione laser a scansione montati su aeromobili, che permettono di ottenere misure topografiche di elevata precisione.

L'attuale copertura LIDAR del bacino dell'Arno è stata realizzata negli anni 2007-2009 ed è derivata dai rilievi effettuati da vari enti territoriali, tra cui Autorità di Bacino dell'Arno, Regione Toscana e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTEM); gran parte di questi dati derivano da un lavoro svolto in compartecipazione tra Autorità di Bacino del fiume Arno e Regione Toscana consistente in una campagna di rilievi svolta nella primavera-estate 2008 che ha interessato i territori delle Province di Firenze, Siena, Prato e Pistoia, per una superficie totale pari a circa 120.000 ha.

Per tali rilievi sono disponibili, le nuvole di punti in formato xyz relative al primo ed ultimo impulso, oltre che i DTM e DSM ottenuti dalla loro elaborazione.

In particolare, tali dati sono georeferenziati sia in coordinate WGS84 proiezione UTM fuso 32N sia in coordinate ROMA40 proiezione Gauss-Boaga fuso W. L'informazione altimetrica è riferita sia al Datum ITALGEO 99 che alla relativa superficie ellissoidica di riferimento.

In funzione della densità di punti originaria sono stati elaborati DTM e DSM con celle di 1m o 2m a seconda dell'area geografica di copertura, come mostrato nella seguente.

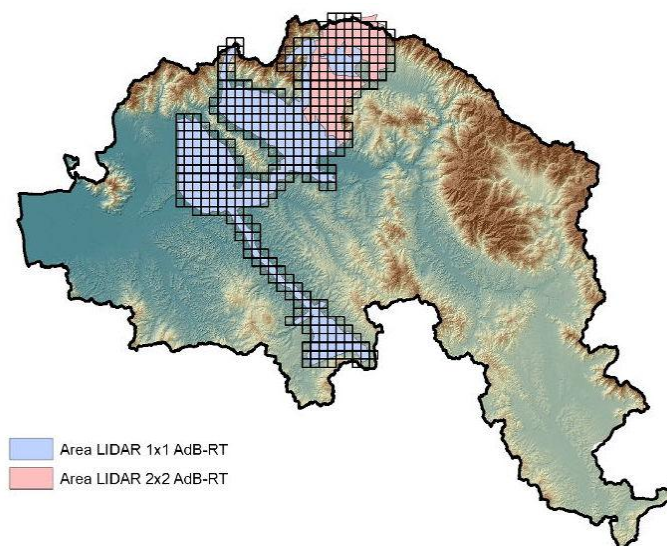


Figura 1 - Copertura Lidar

Tali dati sono stati resi disponibili dal Servizio Geografico della Regione Toscana, a cui si è rivolto il Comune di Monteriggioni con richiesta di fornitura ed utilizzo.

I rilievi sono stati sovrapposti alla CTR disponibile in scala 1:2.000 e 1:10.000 (disponibile in formato numerico 2D e 3D) e ai dati LIDAR disponibili in ambiente GIS, per le necessarie verifiche di coerenza prima di essere implementati nell'applicativo Hec Ras per la creazione della geometria del modello idraulico.

Le sezioni idrauliche rilevate topograficamente sono state estese utilizzando i dati LIDAR, con sovrapposizione della cartografia tecnica regionale in scala 1:2000 e 1:10000 (dove non disponibile quella di maggiore dettaglio).

I rilievi topografici disponibili, validati per coerenza con la base LIDAR, risultano elencati di seguito:

- sezioni idrauliche del T. Staggia, rilievo piano quotato della cassa di espansione di Ottarchi, Geom. Emilio Rondini per conto Amm.ne Prov.le di Siena, Settembre 2003;
- sezioni idrauliche Fosso della Ruota e parte terminale del Fosso Massimina, Geom. Franco Grassini per conto Amm.ne Prov.le Siena, Aprile 2007;
- sezioni idrauliche T. Staggia a monte di Badessine, P. Ed. Simone Panichi per conto del Comune di Monteriggioni, Settembre 2009;

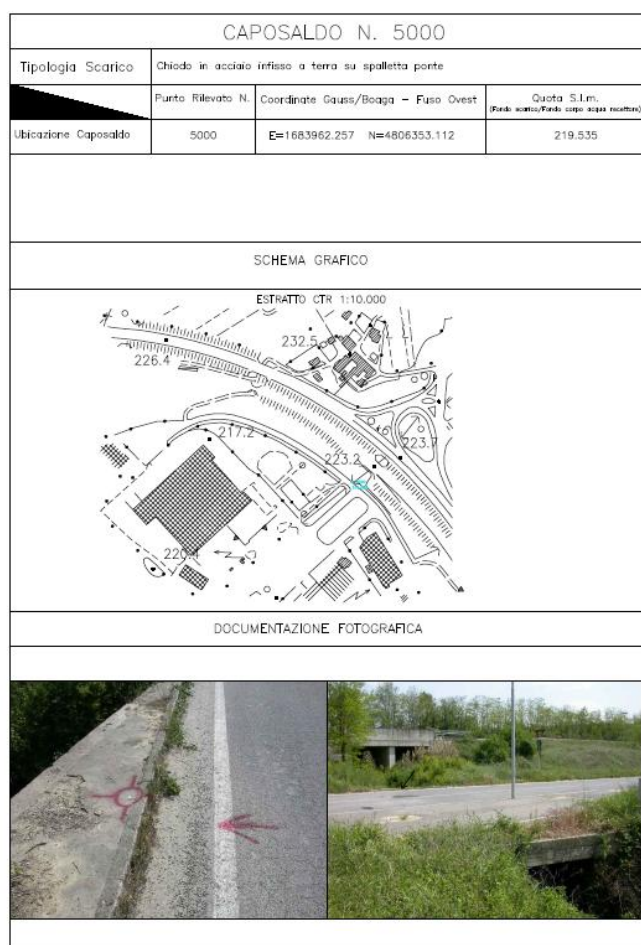
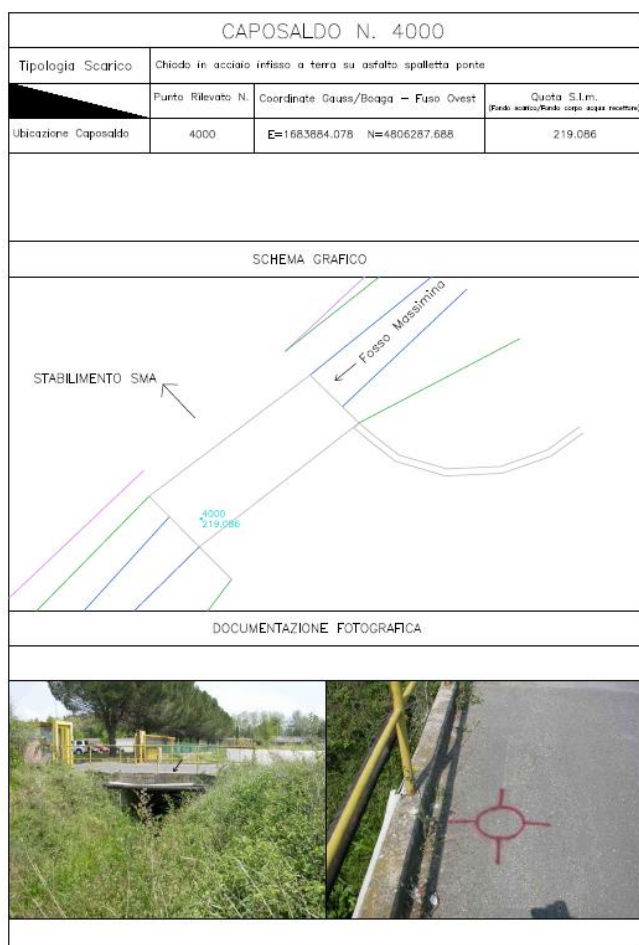
Sono stati esaminati gli elaborati di progetto dei Lavori di sistemazione spondale e realizzazione opere idrauliche sul Fosso della Ruota in loc. Badesse nel Comune di Monteriggioni per mitigazione rischio idraulico - stralcio 2 (progetto n.414), realizzato dal Consorzio di Bonifica Toscana Centrale nel marzo 2009.

Sono stati infine eseguiti dal Geom. Silvio Baldo su incarico del Comune di Monteriggioni nel Giugno 2015 alcuni rilievi integrativi di integrazione e dettaglio a supporto dei dati disponibili, restituiti in coordinate Gauss Boaga e in quota assoluta (m slm) compensata su capisaldi IGM, descritti di seguito.

Analisi di coerenza fra rilievi, CTR e Lidar

Per i rilievi del Fosso del Ruota e della parte terminale del Fosso del Massimina, eseguiti dal Geom. Franco Grassini per conto dell'Amm.ne Prov.le di Siena, sulla base del confronto delle quote dei capisaldi con il lidar e il rilievo del Geom. Silvio Baldo, è stato possibile verificare che la quota assoluta del rilievo presenta un abbassamento pari a circa -1.30 m rispetto quella effettiva compensata su capisaldi IGM.

Si riportano le verifiche con strumentazione GPS appoggiata a capisaldi IGM eseguita dal Geom. Baldo eseguite sui capisaldi già rilevati.



La quota del caposaldo 4000 verificata su capisaldi IGM dal Geom. Baldo risulta pari a 217.780 m slm, contro i 219.086 m slm del rilievo del Geom. Grassini, mentre la quota del caposaldo 5000 risultante risulta pari a 218.240 m slm contro i 219.536 m slm; le differenze di quota assoluta risultano rispettivamente pari a m - 1.306 e a m - 1.296, pertanto è stata assunta la correzione di -1.30 m sulle quote assolute di suddetto rilievo.

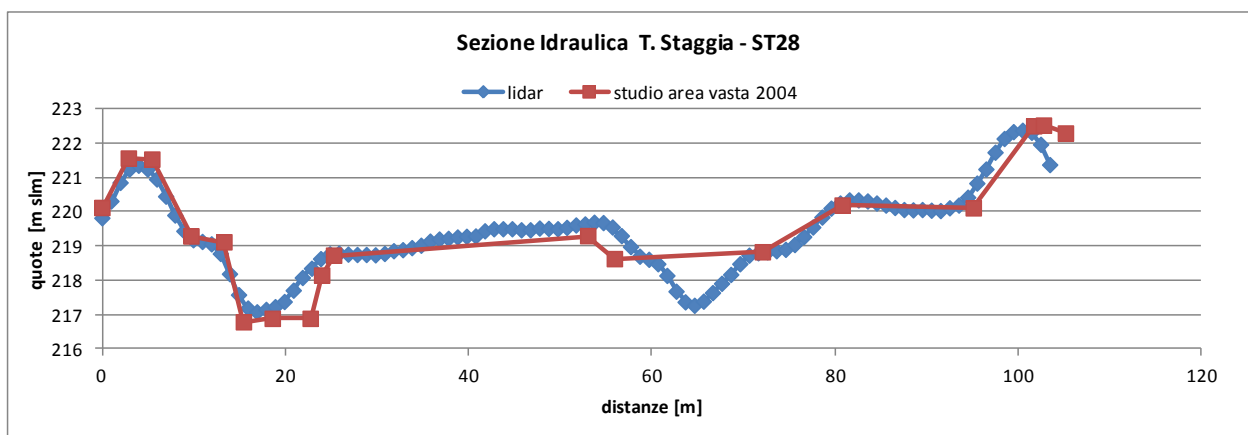
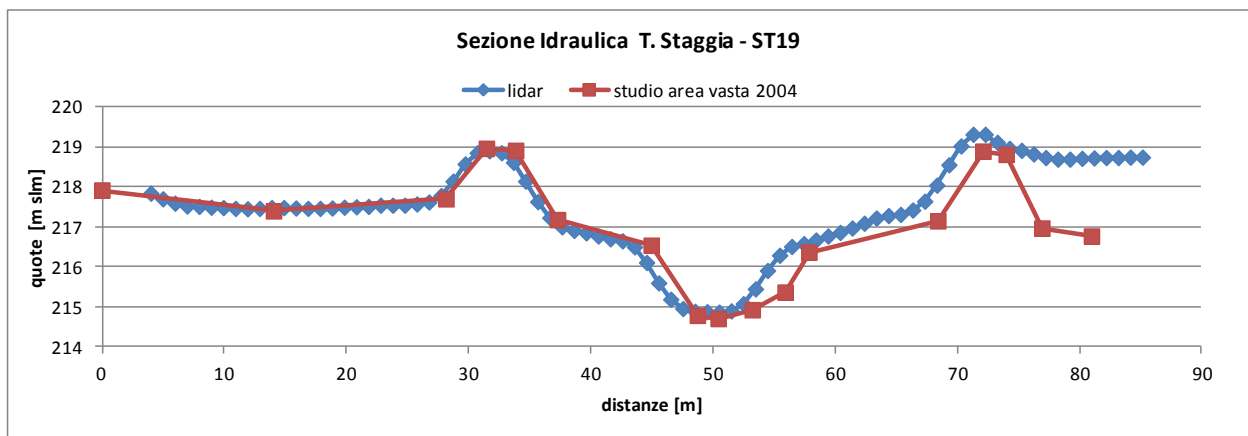
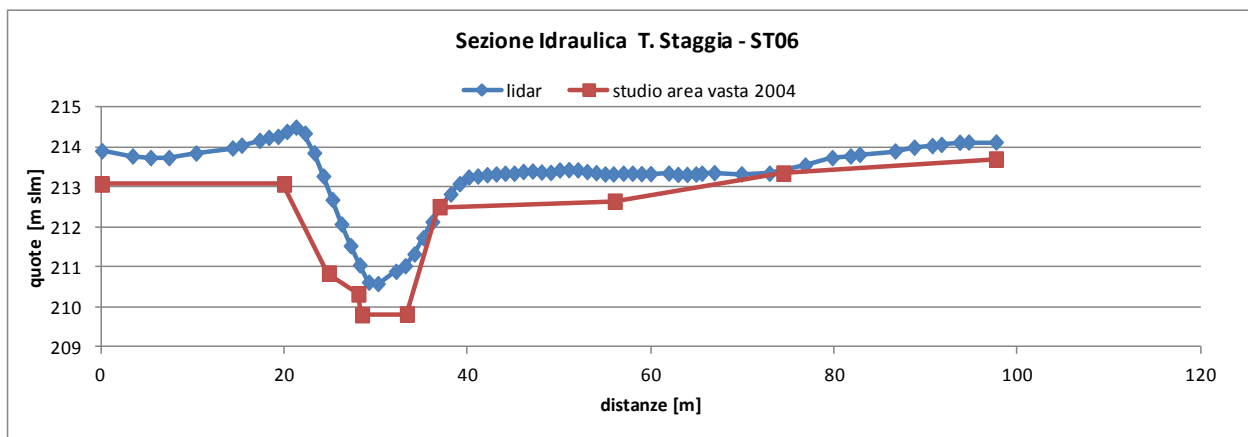
Il rilievo compiuto dal Geometra Silvio Baldo realizzato per integrare e valutare la coerenza dei dati esistenti sulla zona oggetto di studio comprende:

- il ringrosso arginale in destra idraulica del Fosso della Ruota a monte della confluenza col T. Staggia, realizzato dal Consorzio di Bonifica Toscana Centrale;

- la cassa di espansione del T. Staggia in loc. Ottarchi e l'attraversamento stradale sulla strada di Basciano collocato immediatamente a valle;
- la passerella pedonale del T. Staggia a monte dell'attraversamento stradale su Via della Resistenza;
- il rilevato arginale in destra idraulica del T. Staggia ed una sezione idraulica a valle dell'attraversamento su Via della Resistenza (ST35.5);

Dove non era disponibile nessun rilievo o piano quotato è stato utilizzato il LIDAR.

A titolo di confronto si riportano infatti alcune delle sezioni idrauliche del T. Staggia, fra le sezioni ST3 ed ST37, ricavate dal Lidar con le corrispondenti sezioni utilizzate nello "Studio Area Vasta 2004" di cui non è stato possibile reperire il rilievo topografico



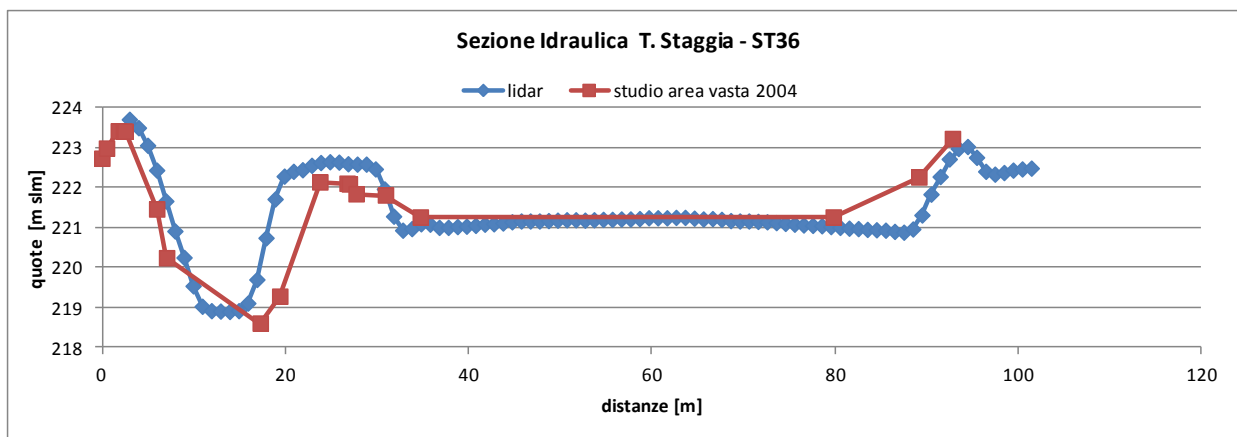


Figura 2 - confronto sezione 0.2 con il LIDAR

Il confronto, esteso anche alle altre sezioni, evidenzia discrepanze, con differenze anche superiore al metro, che risultano più accentuate nel tratto a valle verso i Fossi Campofiori e Maggio, dove risultano peraltro presenti variazioni della golena destra dovute alle recenti urbanizzazioni realizzate, mentre si riducono avvicinandosi alla confluenza con il Fosso Massimina e nel tratto fino all'attraversamento stradale su via della Resistenza.

In considerazione delle verifiche di congruenza effettuate, sulla base della disponibilità della copertura LIDAR, le sezioni del T. Staggia introdotte nel modello idraulico in questo tratto sono state estratte interamente dal LIDAR, che è risultato pienamente congruente con i rilievi topografici dell'area in studio restituiti dal Geom. Silvio Baldo.

Dal confronto del Lidar con il rilievo del P. Ed. Simone Panichi nel tratto del T. Staggia compreso fra le sezioni ST38 e ST55, è stato possibile riscontrare come quest'ultimo sia stato restituito con un valore di quota assoluta superiore mediamente di 35 cm, quindi per coerenza con il rilievo LIDAR le sezioni idrauliche rilevate su questo tratto sono state abbassate di tale valore.

Nel tratto di monte del T. Staggia comprensivo dello sbarramento di laminazione di Ottarchi è stato utilizzato il rilievo del Geom. Emilio Rondini congruente con il LIDAR e con i nuovi punti battuti restituiti dal Geom. Silvio Baldo (vedi bocca tarata con sfioratore superiore e coronamento, canale fugatore fino al ponticello stradale sulla SP di Basciano).

La CTR risulta non aggiornata all'edificato esistente, in particolare nella zona a monte della confluenza fra il Fosso della Ruota ed il Torrente Staggia; queste aree sono state ricostruite utilizzando le ORTOFOTO 2013 in scala 1:2000 e il rilievo LIDAR.

Nell'elaborato TAV 03 - *Planimetria di individuazione delle aree allagabili per TR 30, 200 e 500 anni*, sono state riportate le quote ricavate dal Rilievo Lidar ad integrazione e/o correzione delle quote riportate sulla CTR esistente.

Il modello idraulico (applicativo HEC RAS)

Il modello idraulico dei corsi d'acqua in studio è stato implementato in regime di moto vario 1D, utilizzando l'applicativo HEC RAS versione 4.1.0 sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers, secondo l'approccio metodologico ampiamente condiviso e diffuso nell'ambito degli studi idraulici.

La modellazione consente di simulare i processi di propagazione e laminazione dell'onda di piena in alveo e nelle aree adiacenti potenzialmente allagabili, attraverso l'introduzione di Aree a Potenziale Esondazione (APE)², ciascuna caratterizzata da una propria legge di invaso in funzione della morfologia del territorio, connesse al corso d'acqua attraverso sfioratori laterali (corrispondenti ai cigli di sponda o alle sommità arginali qualora tracimabili) o luci a battente (vedi tombini), in modo da individuare quando viene superata la capacità di contenimento dell'alveo fluviale il battente sulle aree suddette e il trasferimento dei volumi di esondazione.

L'approssimazione degli effetti legati alla non stazionarietà e bidimensionalità connessa al fenomeno di trasferimento e propagazione volumi di acqua esondati nelle APE, superabile mediante l'implementazione di modelli bidimensionali a pieno titolo, può essere ridotta attraverso l'introduzione di un modello idraulico maggiormente discretizzato, individuando le APE di dimensioni più contenute in ragione delle caratteristiche e della complessità del territorio circostante (vedi presenza di discontinuità, irregolarità e sviluppo dell'antropizzazione), in modo da ritenere la modellazione quasi bidimensionale pienamente accettabile per l'individuazione dei livelli di rischio idraulico.

Il modello implementato, comprende il T. Staggia (da monte della cassa di laminazione di Ottarchi fino al tratto a valle della confluenza del Fosso Maggio) ed il Fosso della Ruota (esteso rispetto allo studio dell'Ing. Conti di circa 120 metri a monte). Gli scenari idrologici analizzati, secondo la trattazione esposta nello studio idrologico, riguardano eventi di pioggia di durata critica pari a 2, 3, 4 e 5 ore, in grado di massimizzare gli eventi di ambedue i corsi d'acqua e l'effetto di laminazione sulla cassa di Ottarchi.

Ipotesi di calcolo

Le principali ipotesi idrauliche di calcolo risultano:

- moto monodimensionale
- argini integri anche se tracimati
- dinamica sedimentologica trascurabile (fondo fisso ed acqua chiara)
- effetti secondari trascurabili

Il modello di moto vario

Nel caso di moto vario le equazioni di continuità e di moto (o dell'energia), scritte nella forma indefinita per una corrente gradualmente variata monodimensionale, sono le seguenti:

² Storage Area secondo la dicitura dell'applicativo HEC-RAS

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

dove:

- A è l'area della sezione liquida [m²]
- Q è la portata [m³/s]
- q(x) è la portata laterale [m²/s], positiva se entrante
- H è il carico totale della corrente [m]
- g è l'accelerazione di gravità [m/s²]
- U è la velocità media della corrente [m/s]
- J è la perdita di carico effettivo per unità di lunghezza [m/m]
- x è l'ascissa lungo l'alveo [m]
- t è il tempo [s]

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{\chi^2 R} \quad \text{equazione di Chezy}$$

con:

$$\chi = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \text{coefficiente di resistenza secondo l'espressione di Manning}$$

indicando con R il raggio idraulico della sezione.

Scabrezze

La scabrezza, ossia il parametro di resistenza che determina le perdite per attrito durante il moto della corrente, è introdotta nel modello utilizzando il parametro di Manning (n , in m^{1/3}/s)³.

A maggiori scabrezze corrispondono maggiori perdite per attrito e quindi minori velocità e maggiori profondità di moto. Sono state consultate varie pubblicazioni in materia (vedi "Open-Channel Flow, M.H. Chaudhry 1993), oltre ai valori riportati nell'"Hydraulic Reference Manual di HEC RAS, Chapter 3 – Energy loss Coefficients – Manning's n ".

³ Il coefficiente di Manning corrisponde all'inverso del coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler (vedi anche Sistemazione dei Corsi d'acqua, L.Da Deppo, C.Datei e P.Salandin, Ed.ni Cortina 1997).

Coefficienti di espansione e di contrazione

I coefficienti utilizzati corrispondono ai valori riportati nell'Hydraulic Reference Manual di HEC – RAS, Chapter 3 – Energy loss Coefficients – Contraction and Expansion Coefficients, pari a:

- Contrazioni 0,1 (con 0,3 in corrispondenza di *Bridge*)
- Espansioni 0,3 (con 0,5 in corrispondenza di *Bridge*)

Modellazione degli attraversamenti

Le perdite di carico in prossimità degli attraversamenti sono costituite da due componenti:

- perdite di carico immediatamente a valle (monte) della struttura, per effetto di un allargamento (restringimento);
- perdite di carico per effetto della struttura stessa, comprendente sia le perdite per attrito che quelle dovute alle pile.

Il deflusso nell'attraversamento può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo con sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Il comportamento della corrente in corrispondenza degli attraversamenti è stato valutato utilizzando la modellazione prevista dal programma HEC RAS, che consente di applicare più metodi (metodo dell'energia e metodo della quantità di moto) e di considerare il risultato che produce i maggiori livelli idraulici. Per le portate maggiori, che producono l'innesco del funzionamento in pressione, è stato utilizzato il metodo basato sulla quantità di moto (*Momentum Balance Method*), poiché consente di simulare l'entrata in pressione del manufatto in modo più adeguato (quota pelo libero della corrente superiore all'altezza dell'impalcato).

Le sezioni che caratterizzano un ponte nel programma HEC-RAS sono 4, due a monte e a valle, come riportato nello schema seguente, ed individuano i limiti della perturbazione indotta del ponte per effetto della riduzione della sezione di deflusso.

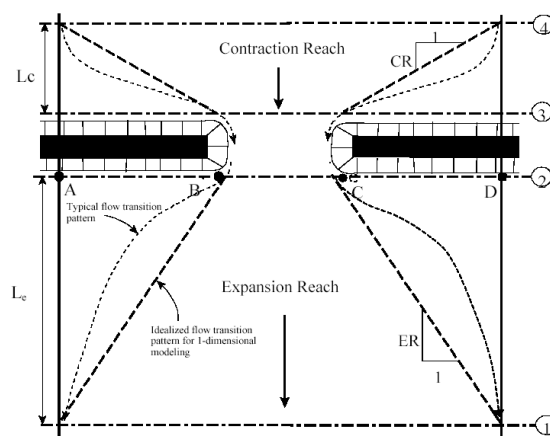


Figura 3 - Schema della modellazione idraulica di un ponte

Nelle sezioni a monte e a valle degli attraversamenti, sono state inserite aree di moto ineffettivo (*ineffective flow area*), per simulare correttamente il restringimento della sezione e le conseguenti perdite di energia della corrente (contrazione ed espansione).

Sfioratori laterali e Aree di potenziale esondazione

Nel caso di esondazione dall'alveo principale, i cigli arginali o di sponda possono essere assimilati a sfioratori laterali (*Lateral Structures*) connessi a aree di potenziale esondazione (*Storage Areas*) per la modellazione extra alveo.

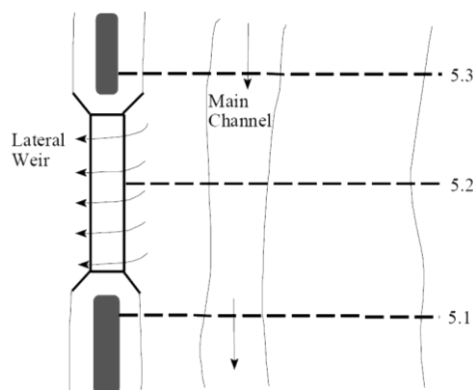


Figura 4 - schema di un sfioratore laterale

L'equazione generale della connessioni tra alveo e aree di potenziale esondazione mediante sfioratore laterale (stramazzo laterale in parete grossa) è derivata dall'equazione classica di stramazzo libero, in funzione delle pendenze della superficie libera e della soglia della stramazzo e delle altezze idriche iniziali:

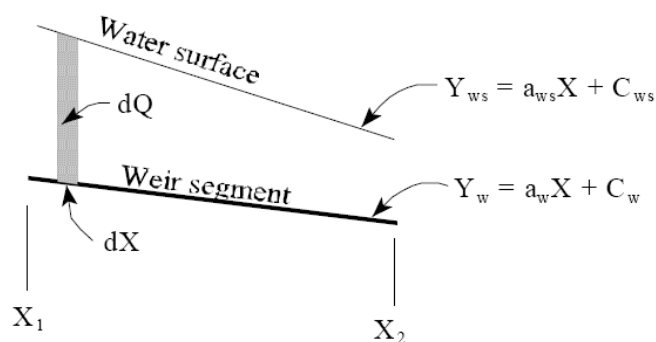


Figura 5 - discretizzazione longitudinale dell'equazione di stramazzo

Le aree di potenziale esondazione costituiscono componenti modellistiche di accumulo e/o propagazione di un modello idraulico quasi 2-D, con possibilità di interconnessione sia a monte che a valle con altre aree di potenziale esondazione (*s.a. connections*) o altri sfioratori (*lateral structures*), in modo da simulare il moto extra alveo per la mappatura delle aree allagabili. Le funzioni di invaso delle aree di potenziale esondazione (curve volumi – quota assoluta), individuate in modo da risultare confinate lateralmente e valle (sulla base ad esempio dei principali

elementi fisici di ostacolo trasversale alla corrente, quali strade ecc.), sono state estrapolate dal modello digitale del terreno (DTM).

La connessione tra area e area è stata inserita di tipo a stramazzo (*weir connection*), sulla base dei principali elementi di contenimento fisico e di delimitazione individuati (quali strade ecc.), estrapolando i profili di connessione della relativa soglia sfiorante sulla base del modello digitale del terreno elaborato.

Condizioni al contorno

L'applicativo Hec Ras permette di inserire vari tipi di condizioni al contorno per effettuare la simulazione idraulica.

Nel caso di moto vario:

- *Flow Hydrograph*. Viene inserito manualmente l'idrogramma di piena nella sezione di monte del sistema idraulico (*FH*);
- *Lateral Inflow Hydrograph*. Viene inserita in una sezione interna del modello un contributo laterale di portata (*LIH*), per simulare l'immissione sull'asta principale dei corsi d'acqua minori;
- *Normal Depth*. Il programma calcola la profondità di moto uniforme in funzione della pendenza della linea dell'energia totale che viene inserita (*p*).

La geometria del modello idraulico della confluenza del T. Staggia con il Fosso della Ruota.

Il modello idraulico implementato, costituito dal Torrente Staggia e dal Fosso della Ruota con rispettiva confluenza, rappresentato nella figura seguente, è riportato in dettaglio nell'elaborato grafico TAV.02, dove sono indicate su sfondo CTR le sezioni idrauliche, gli attraversamenti (*Bridge o Culvert*), gli sfioratori laterali (*Lateral Structures*), le aree di potenziale esondazione (*Storage Areas*) con le connessioni idrauliche (*s.a. connections*).

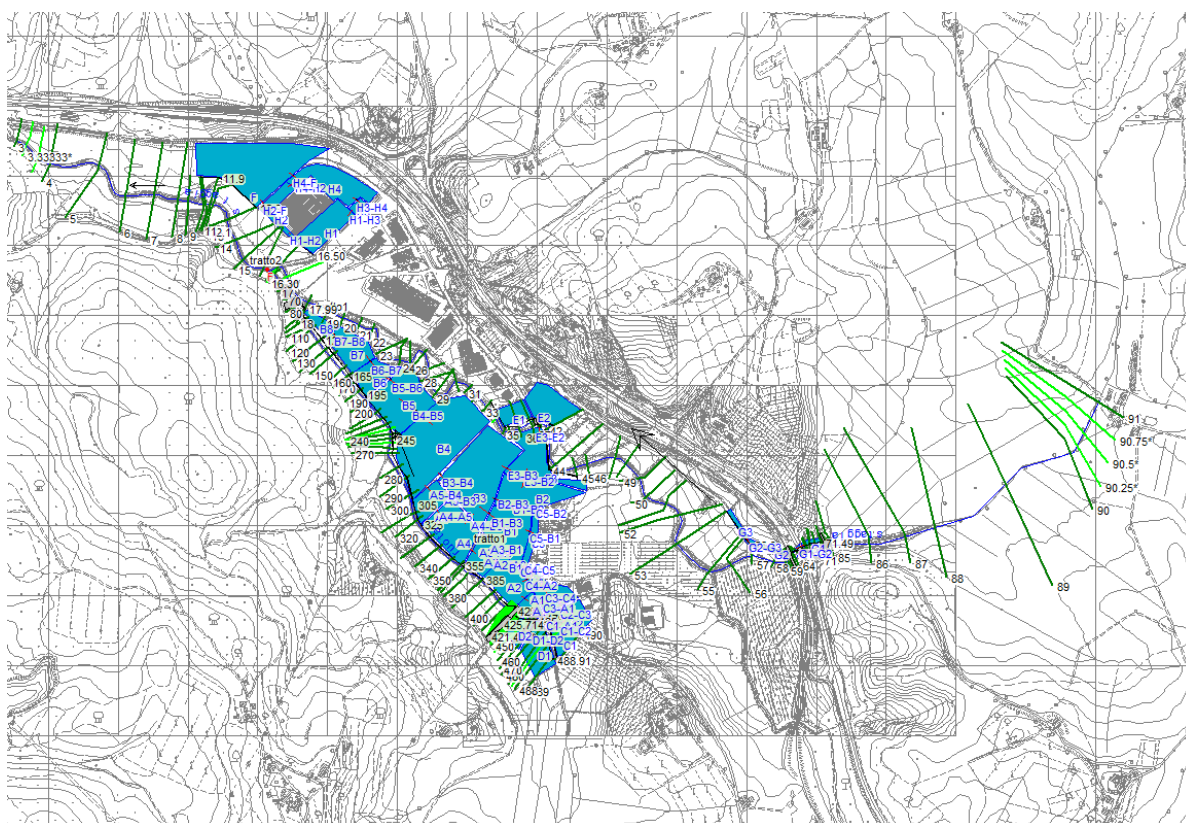


Figura 6 - geometria del modello idraulico della confluenza fra il T. Staggia e il fosso della Ruota.

Sezioni idrauliche ed attraversamenti

Complessivamente sono state modellate n. 83 sezioni idrauliche per il Torrente Staggia e n. 56 sezioni idrauliche per il Fosso della Ruota.

Sono stati inoltre simulati n.5 attraversamenti per Torrente Staggia (n.1 per lo sbarramento della cassa di laminazione di Ottarchi, n.1 per l'attraversamento della Strada Comunale di Basciano, n.1 per l'attraversamento ferroviario sulla linea Siena-Empoli, n.1 per la passerella pedonale nei pressi di via della Resistenza e n.1 per l'attraversamento stradale immediatamente a valle; n.3 attraversamenti per il Fosso della Ruota (n.1 per l'attraversamento della strada del Poggiolo, n.1 per l'attraversamento sulla Strada Provinciale n.19 delle Badesse ed n.1 per l'attraversamento a monte della confluenza con Il T. Staggia).

Sfioratori laterali e aree di potenziale esondazione

Nella simulazione idraulica sono state inserite n. 25 *Lateral Structures*, in corrispondenza degli argini collocati sulle sommità delle sezioni; quando il tirante idrico supera la quota degli sfioratori laterali, una parte della portata esonda trasferendosi alla area di potenziale esondazione connessa, in modo da rappresentare la propagazione dei volumi esondati extra alveo, con deflusso da monte verso valle. Ugualmente quando il livello all'interno dell'area supera il tirante idrico dell'alveo, una parte della portata viene reimpressa in alveo.

Si elencano di seguito le *Lateral Structures* inserite nel modello idraulico.

Tabella 1 – *Lateral Structures* del modello idraulico

River	Lateral Structure	Sponda	Storage Area connessa
T. Staggia	71.49	destra	G1
T. Staggia	65.9	destra	G2
T. Staggia	60.9	destra	G2
T. Staggia	56.9	destra	G3
T. Staggia	44.5	sinistra	E3
T. Staggia	41.9	destra	F2
T. Staggia	37.5	destra	E1
T. Staggia	34.85	destra	E1
T. Staggia	17.99	sinistra	B8
T. Staggia	16.50	destra	H1
T. Staggia	12.9	destra	F
T. Staggia	11.9	destra	F
Fosso della Ruota	488.91	sinistra	D1
Fosso della Ruota	488.9	destra	C1
Fosso della Ruota	479	destra	A1
Fosso della Ruota	465	sinistra	D2
Fosso della Ruota	429	destra	A2

River	Lateral Structure	Sponda	Storage Area connessa
Fosso della Ruota	428.4	destra	D2
Fosso della Ruota	385	destra	A3
Fosso della Ruota	355	destra	A4
Fosso della Ruota	325	destra	A5
Fosso della Ruota	305	destra	B4
Fosso della Ruota	245	destra	B5
Fosso della Ruota	195	destra	B6
Fosso della Ruota	165	destra	B7
Fosso della Ruota	125	destra	B8

Sono state inserite nel modello idraulico n. 27 aree di potenziale esondazione (*storage areas*), individuate con relative connessioni nell'elaborato grafico Tav 03:

Si riportano di seguito le funzioni di invaso delle aree di potenziale esondazione e i profili di connessione a stramazzo (*weir connection*):

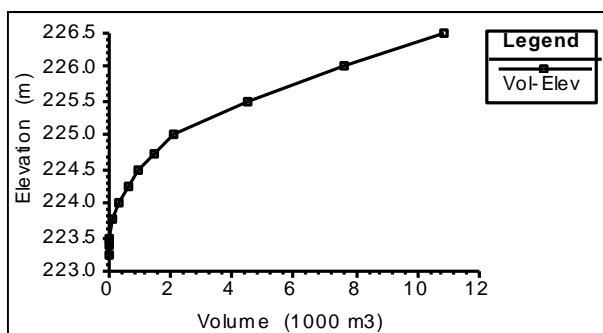


Figura 7 – funzione di invaso della area a potenziale esondazione A1

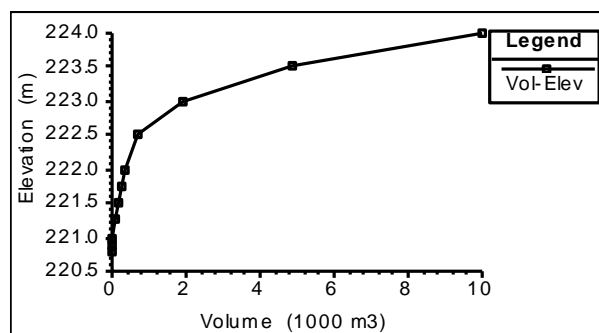


Figura 8 – funzione di invaso della area a potenziale esondazione A2

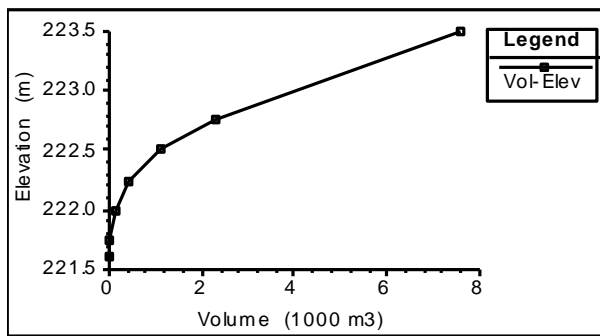


Figura 9 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione A3

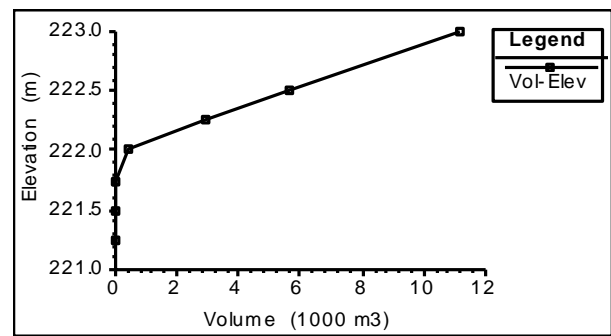


Figura 10 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione A4

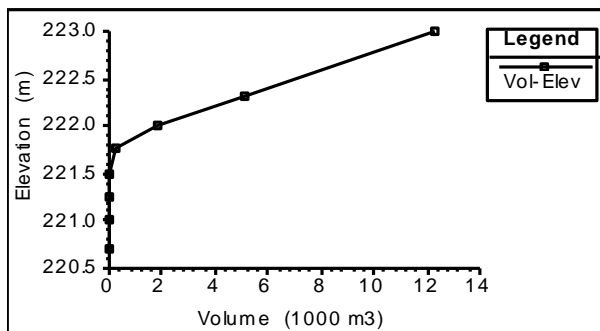


Figura 11 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione A5

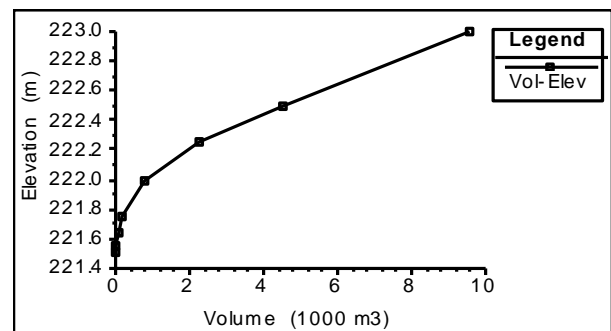


Figura 12 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B1

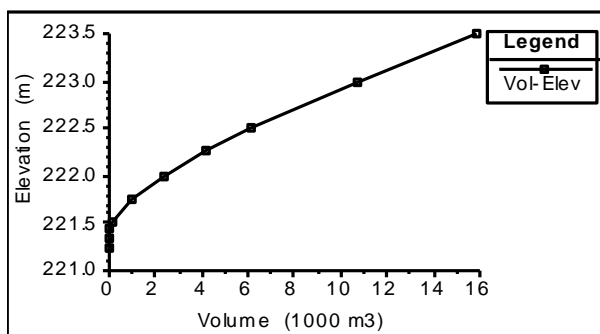


Figura 13 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B2

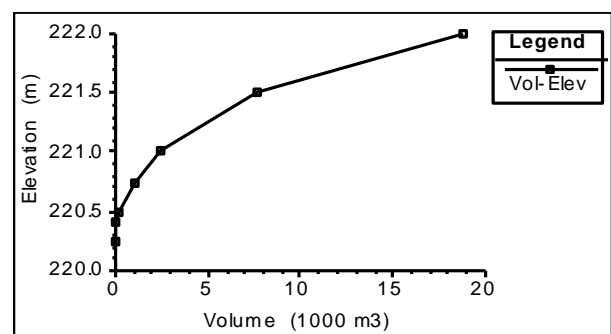


Figura 14 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B3

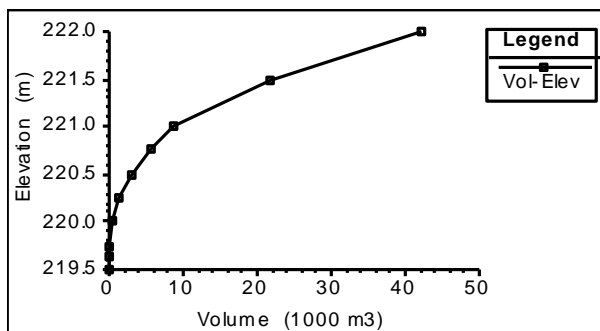


Figura 15 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B4

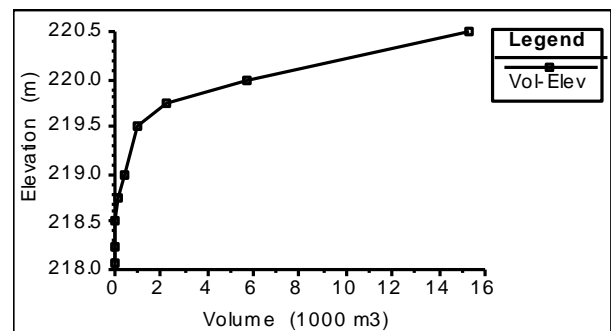


Figura 16 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B5

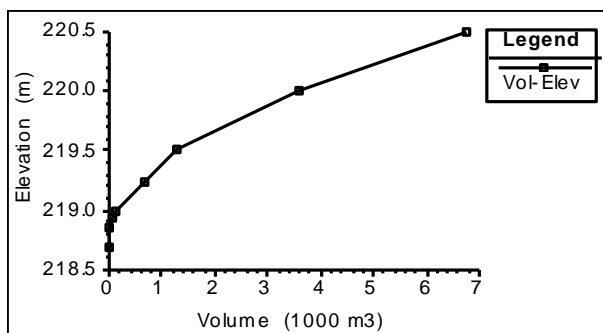


Figura 17 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B6

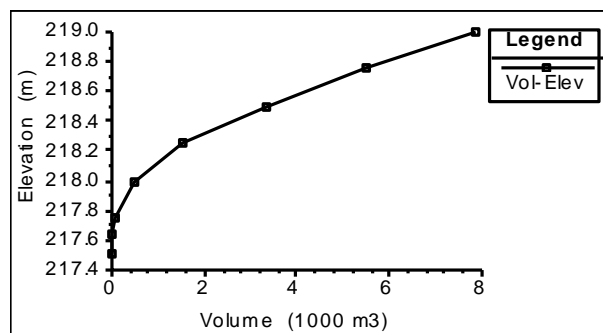


Figura 18 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B7

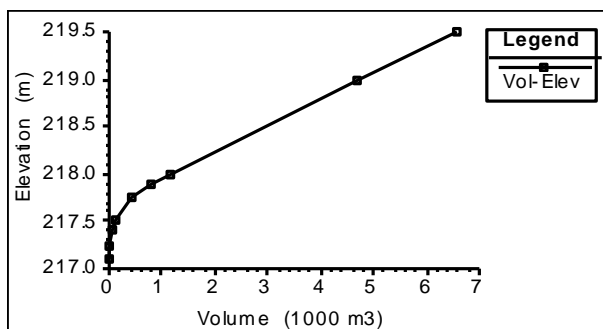


Figura 19 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione B8

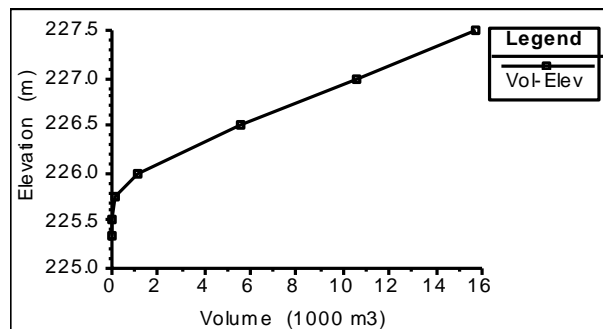


Figura 20 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione C1

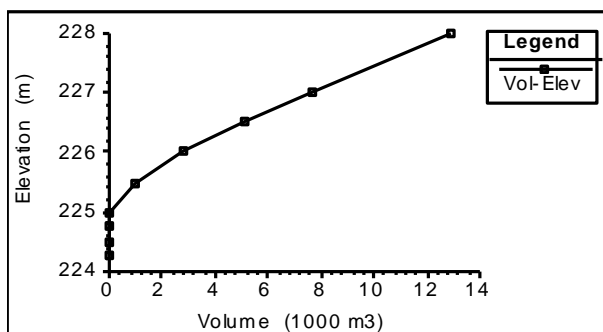


Figura 21 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione C2

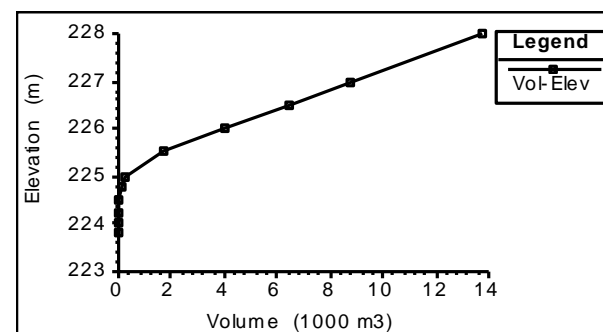


Figura 22 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione C3

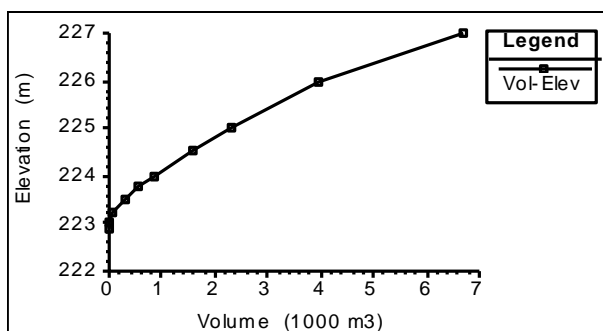


Figura 23 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione C4

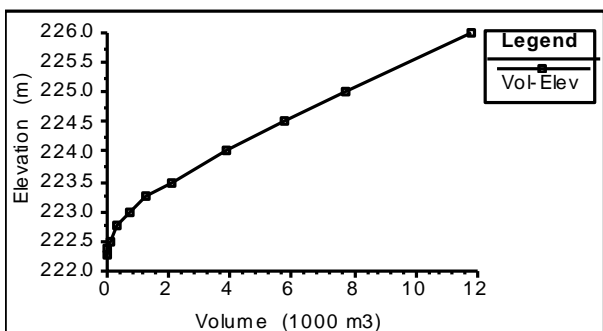


Figura 24 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione C5

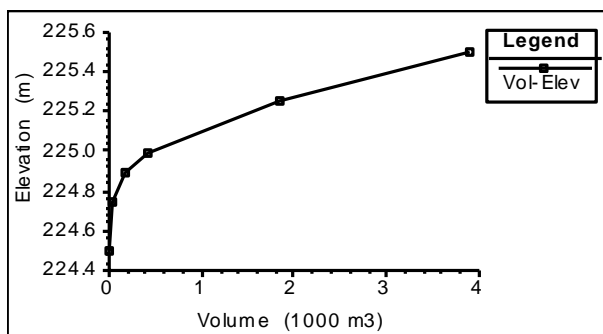


Figura 25 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione D1

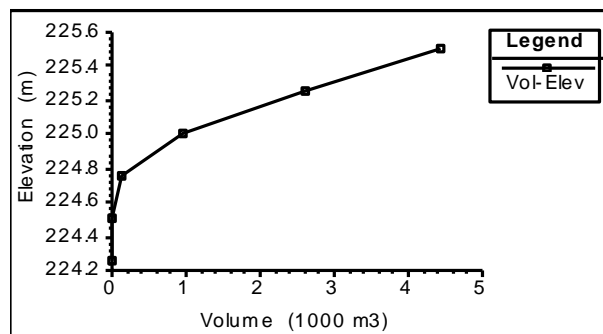


Figura 26 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione D2

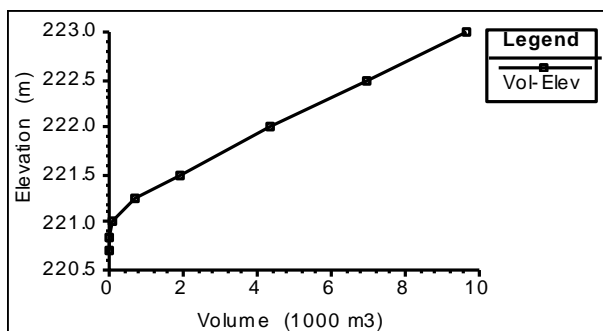


Figura 27 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione E1

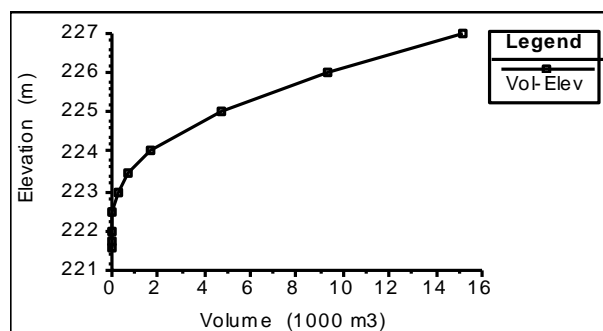


Figura 28 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione E2

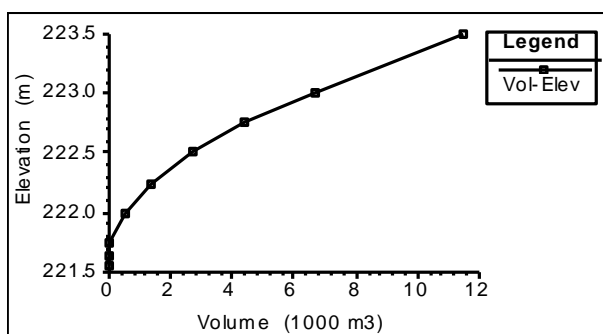


Figura 29 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione E3

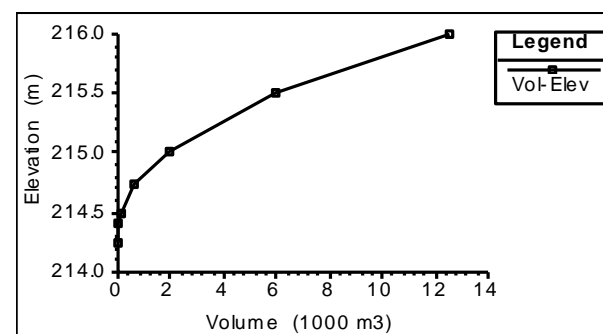


Figura 30 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione F

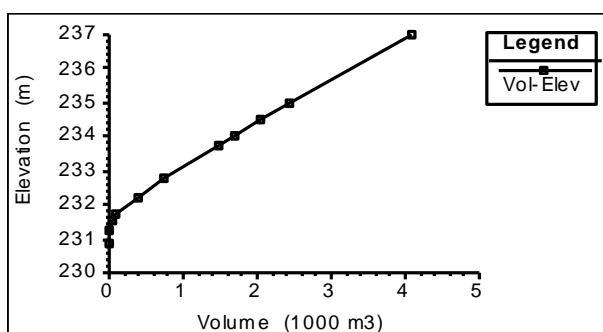


Figura 31 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione G1

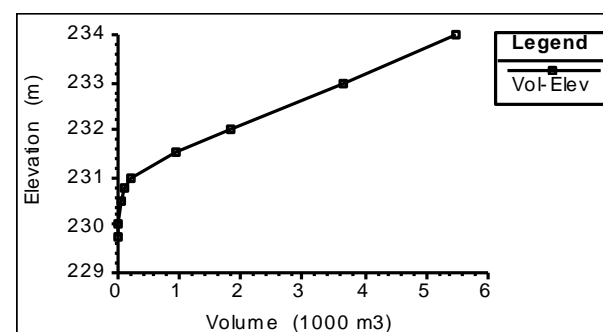


Figura 32 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione G2

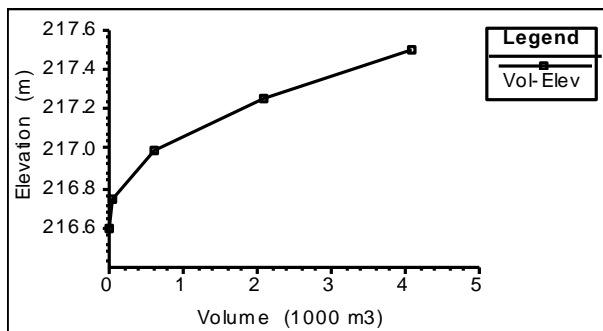


Figura 33 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione H1

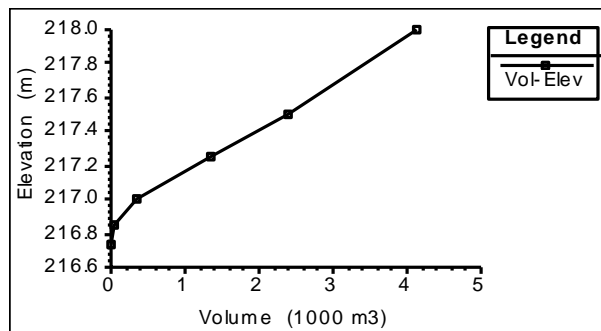


Figura 34 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione H2

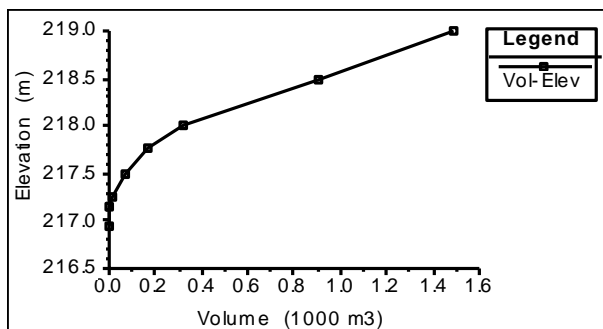


Figura 35 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione H3

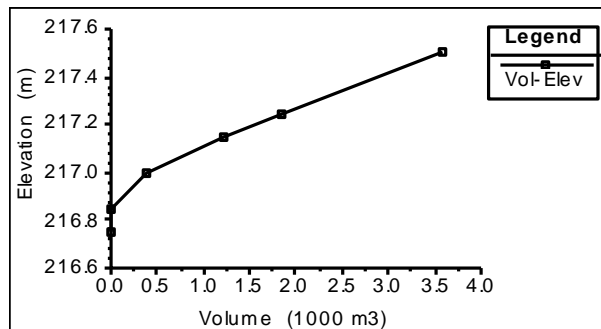


Figura 36 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione H4

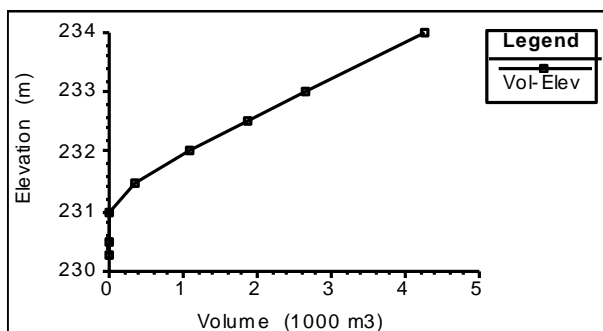


Figura 37 - funzione di invaso della area a potenziale esondazione F

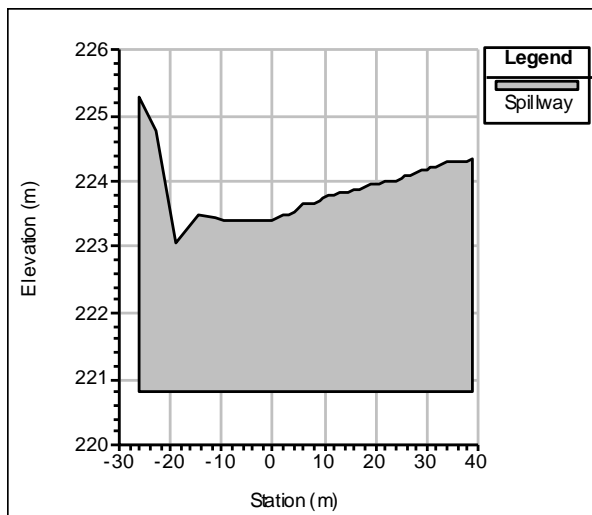


Figura 38 - Profilo di connessione a stramazzo: A1-A2

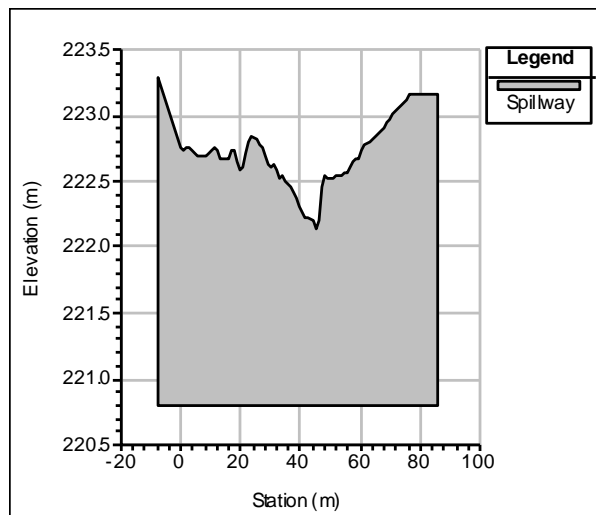


Figura 39 - Profilo di connessione a stramazzo: A2-A3

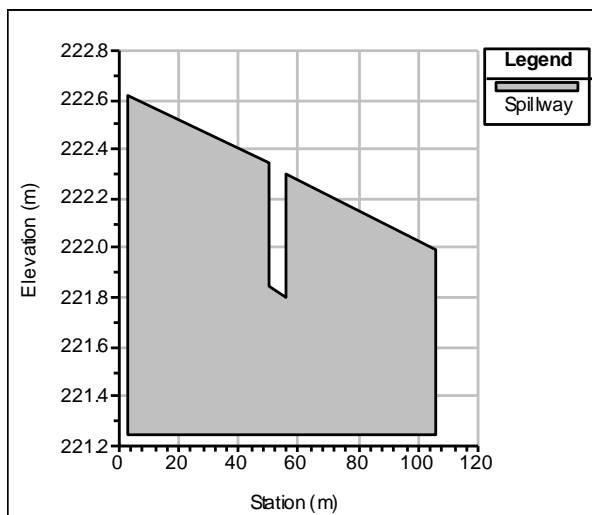


Figura 40 - Profilo di connessione a stramazzo: A3-A4

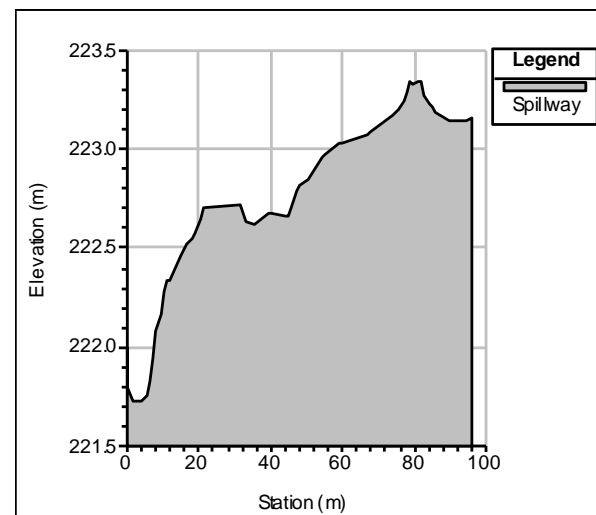


Figura 41 - Profilo di connessione a stramazzo: A3-B1

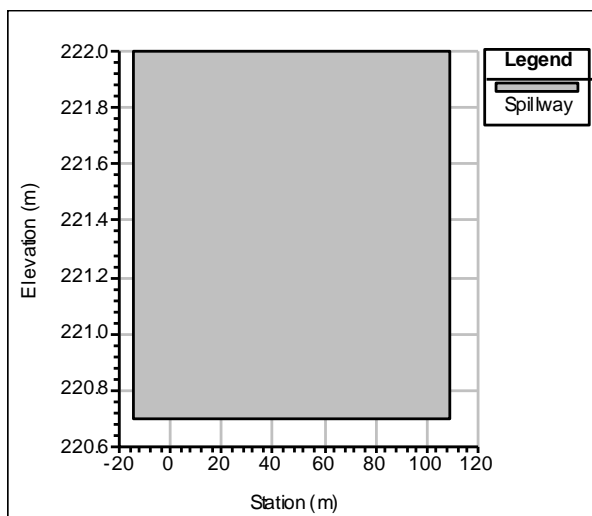


Figura 42 - Profilo di connessione a stramazzo: A4-A5

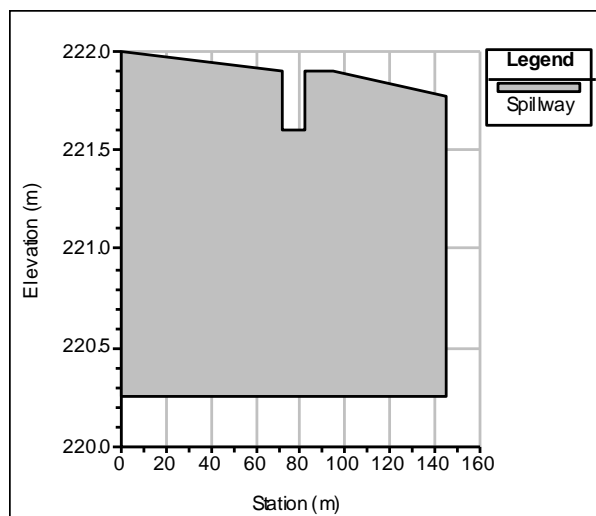


Figura 43- Profilo di connessione a stramazzo: A4-B3

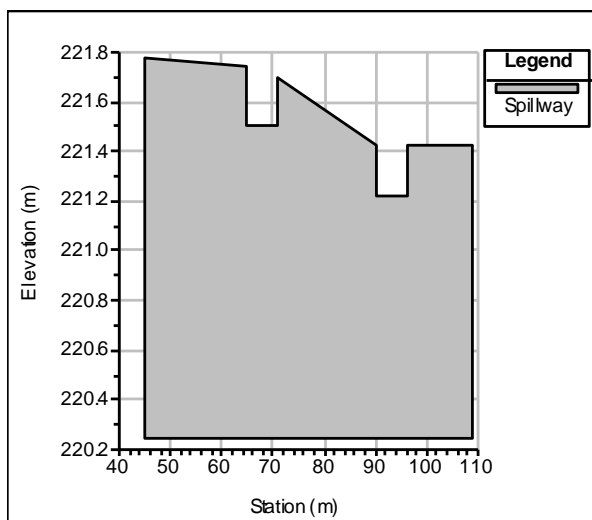


Figura 44 - Profilo di connessione a stramazzo: A5-B3

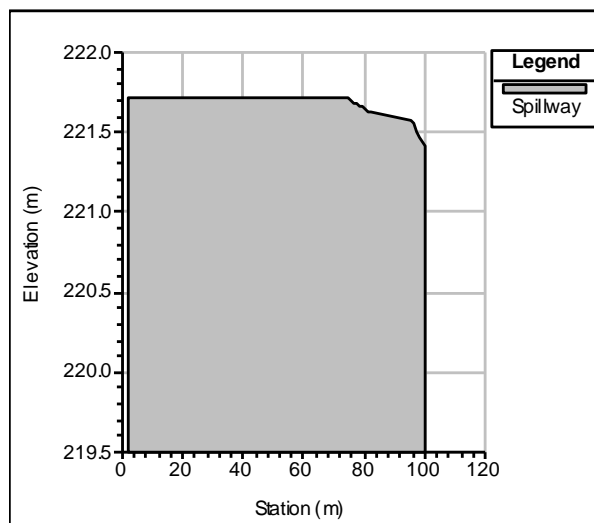


Figura 45 - Profilo di connessione a stramazzo: A5-B4

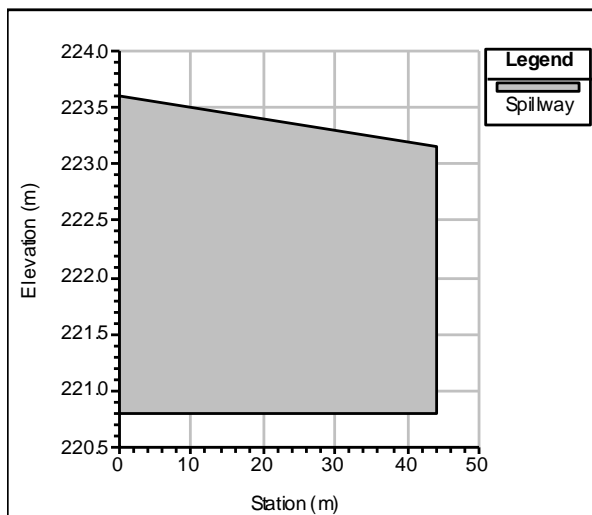


Figura 46 - Profilo di connessione a stramazzo: B1-A2

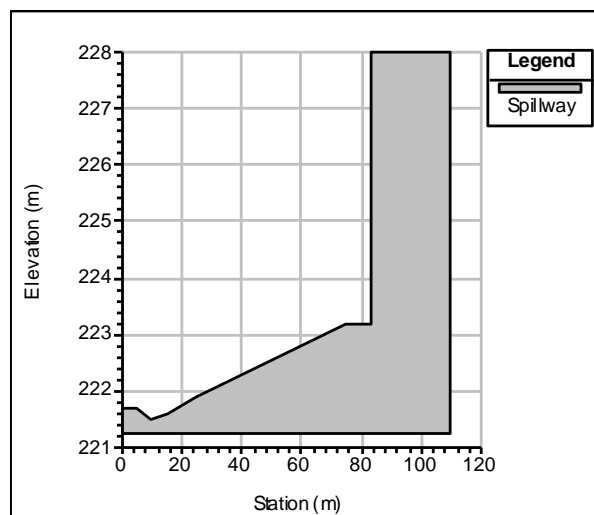


Figura 47 - Profilo di connessione a stramazzo: B1-B2

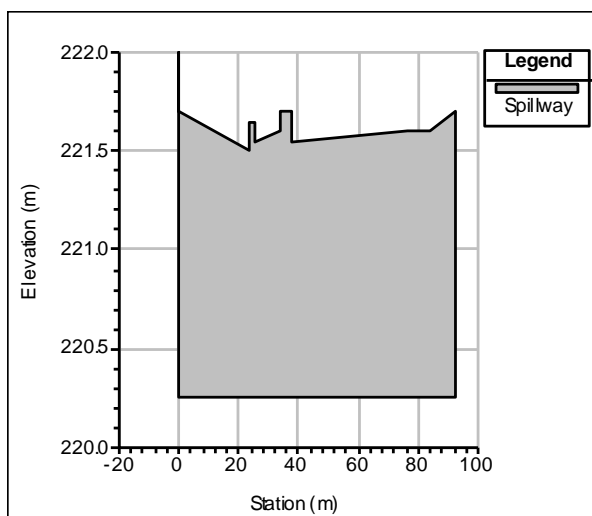


Figura 48 - Profilo di connessione a stramazzo: B1-B3

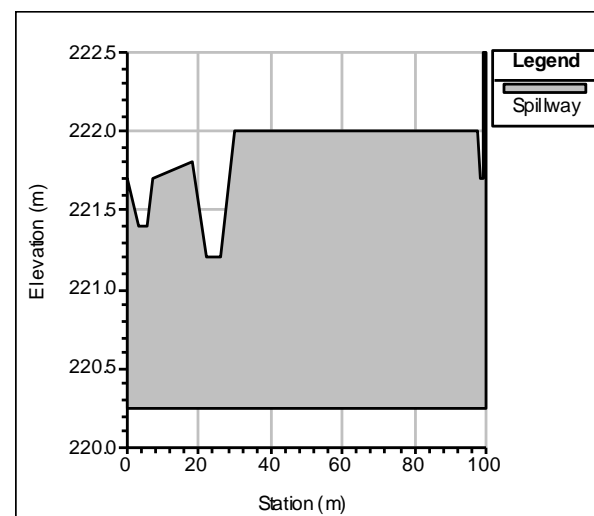


Figura 49 - Profilo di connessione a stramazzo: B2-B3

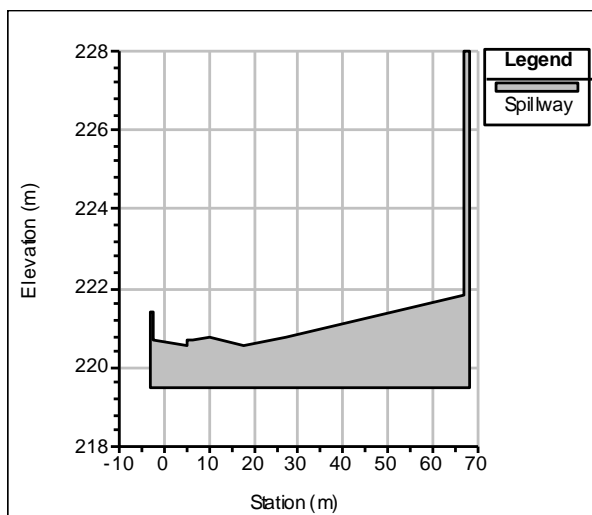


Figura 50 - Profilo di connessione a stramazzo: B3-B4

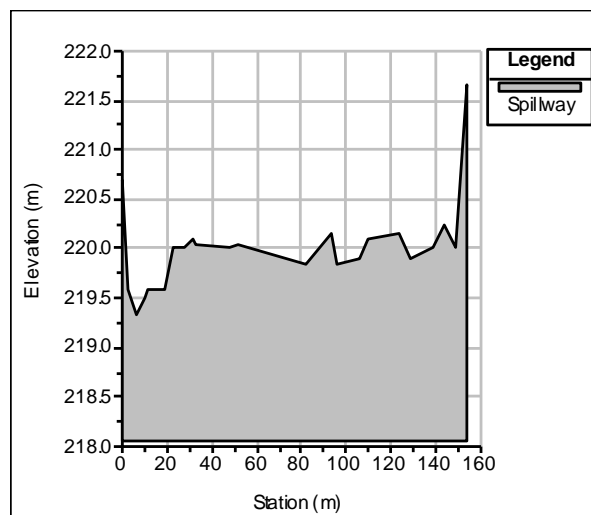


Figura 51 Profilo di connessione a stramazzo: B4-B5

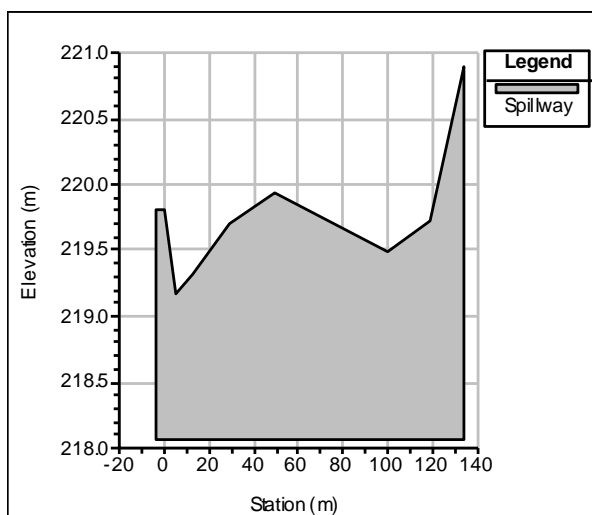


Figura 52 - Profilo di connessione a stramazzo: B5-B6

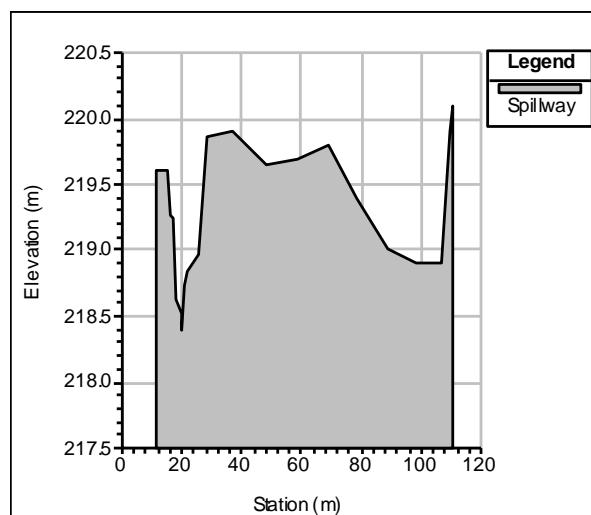


Figura 53 - Profilo di connessione a stramazzo: B6-B7

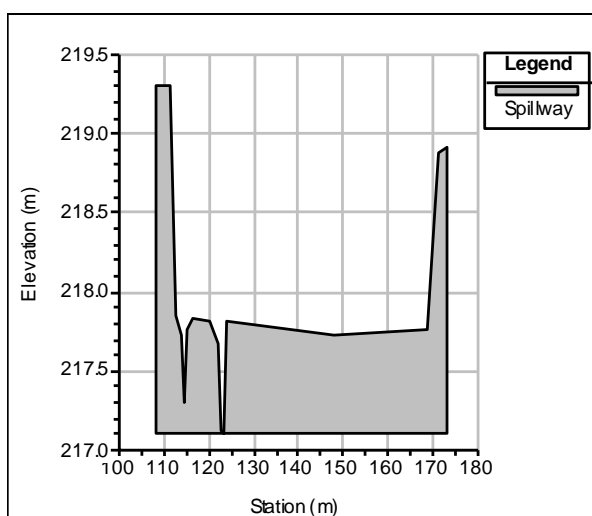


Figura 54 - Profilo di connessione a stramazzo: B7-B8

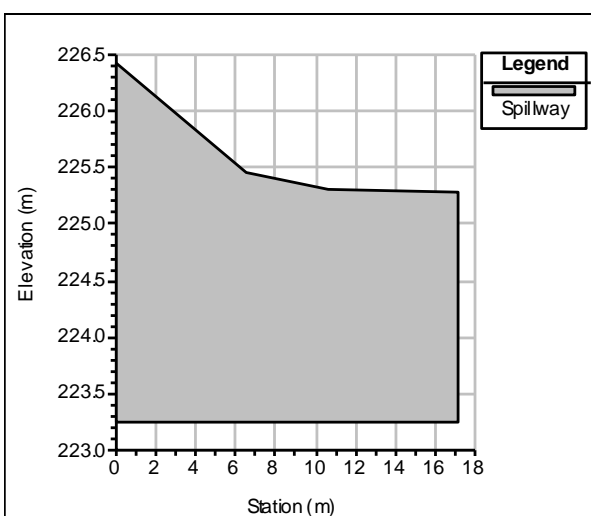


Figura 55 Profilo di connessione a stramazzo: C1-A2

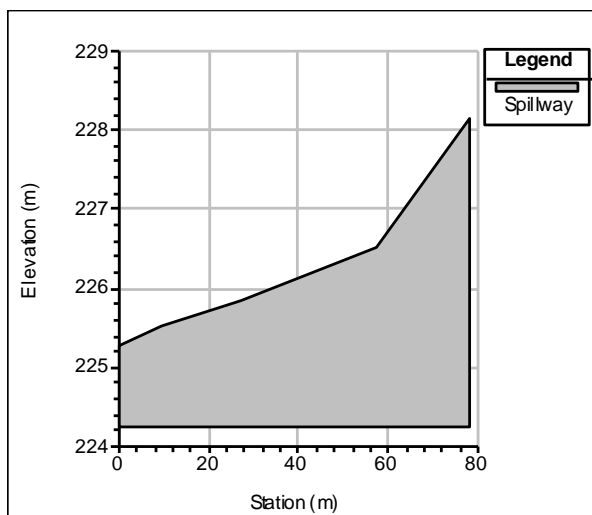


Figura 56 - Profilo di connessione a stramazzo: C1-C2

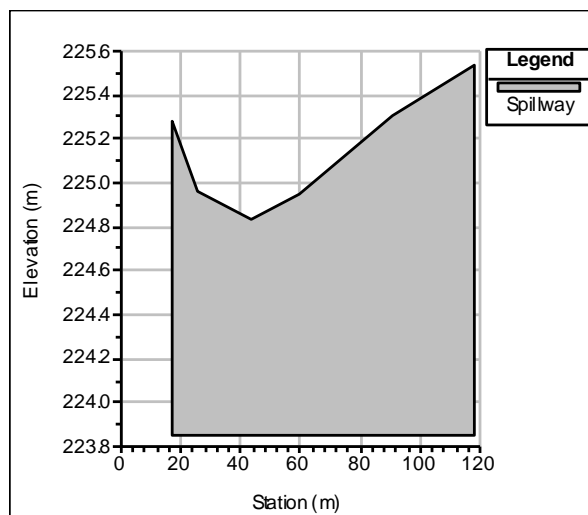


Figura 57 - - Profilo di connessione a stramazzo: C2-C3

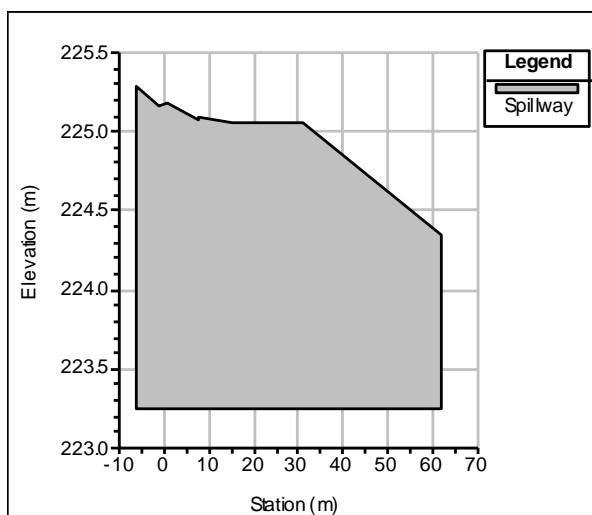


Figura 58- Profilo di connessione a stramazzo: C3-A1

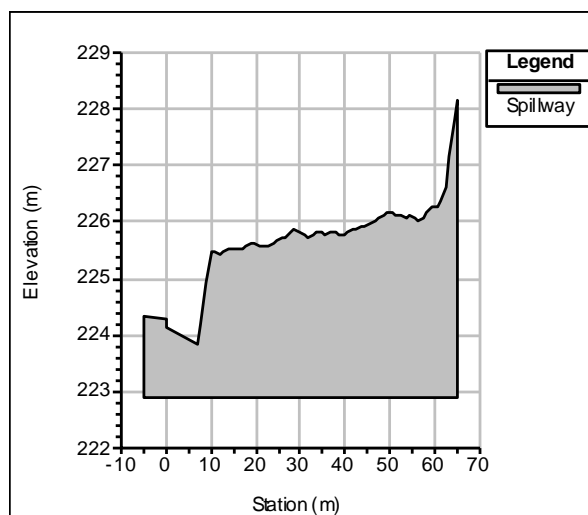


Figura 59- Profilo di connessione a stramazzo: C3-C4

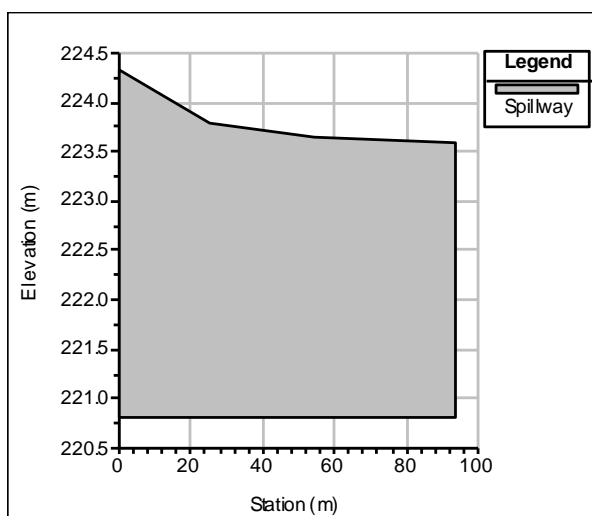


Figura 60 - Profilo di connessione a stramazzo: C4-A2

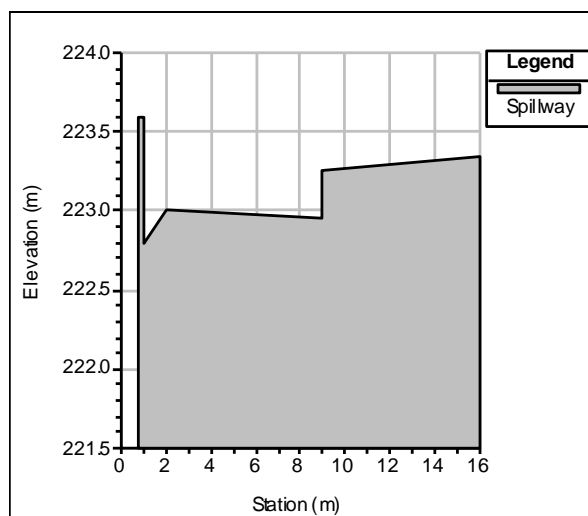


Figura 61 - Profilo di connessione a stramazzo: C4-B1

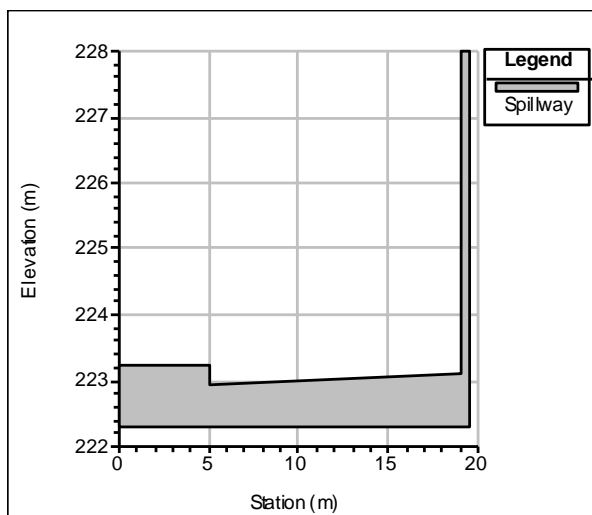


Figura 62 - Profilo di connessione a stramazzo: C4-C5

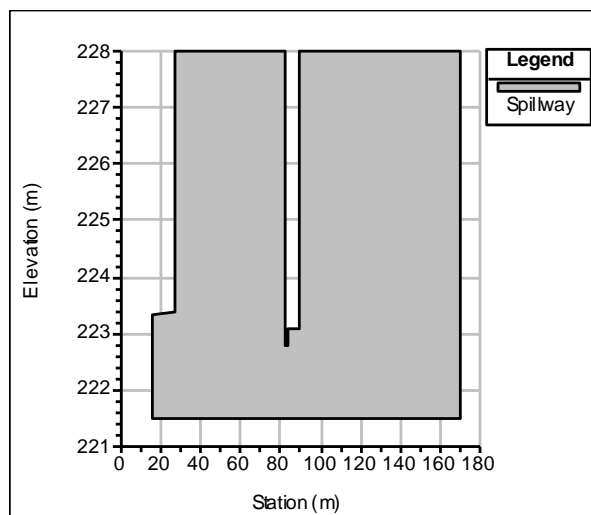


Figura 63 - Profilo di connessione a stramazzo: C5-B1

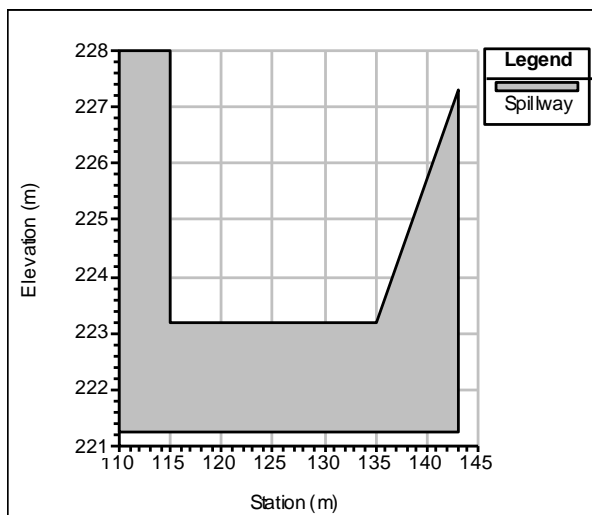


Figura 64 - Profilo di connessione a stramazzo: C5-B2

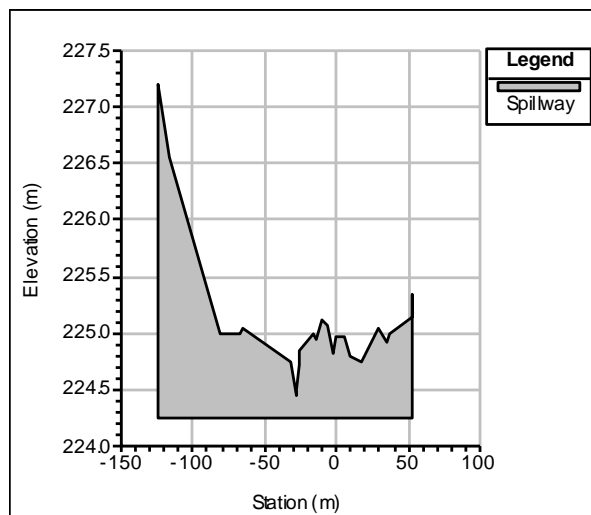


Figura 65 - Profilo di connessione a stramazzo: D1-D2

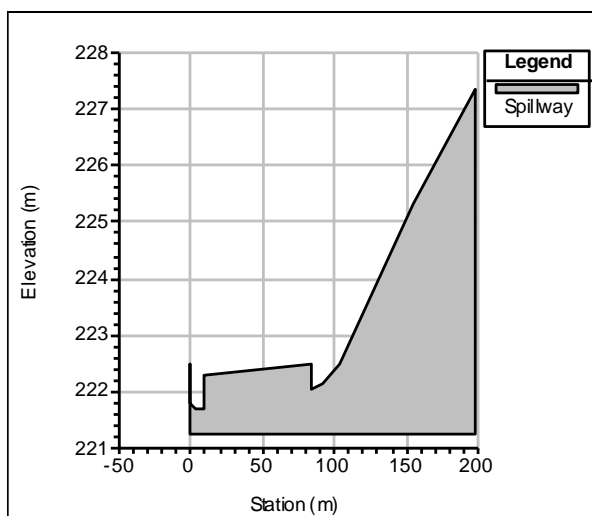


Figura 66 - Profilo di connessione a stramazzo: E3-B2

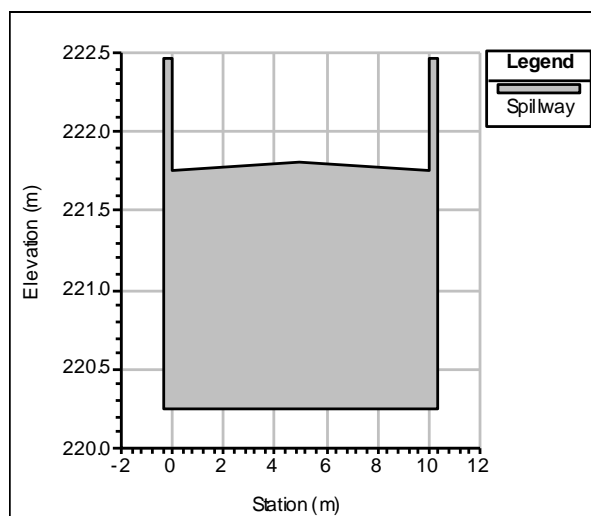


Figura 67 - Profilo di connessione a stramazzo: E3-B3

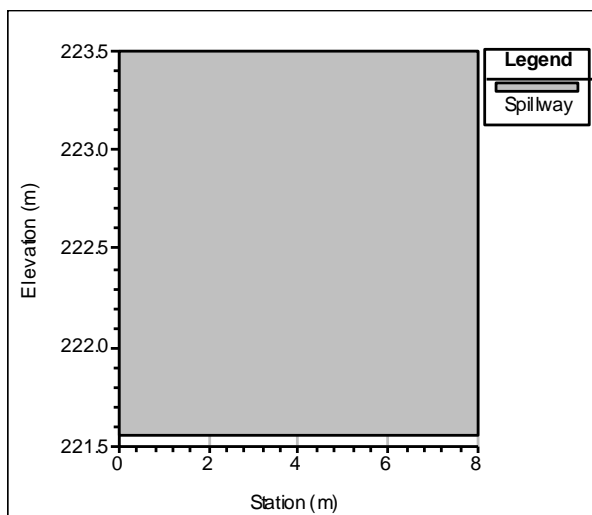
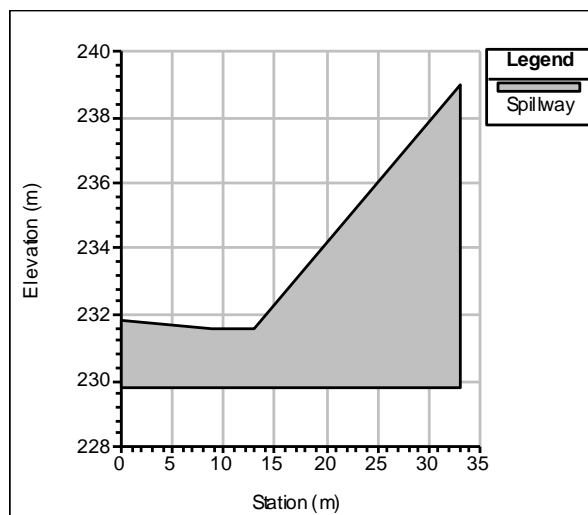


Figura 68 - Profilo di connessione a stramazzo: E3-E2



- Figura 69 - Profilo di connessione a stramazzo: G1-G2

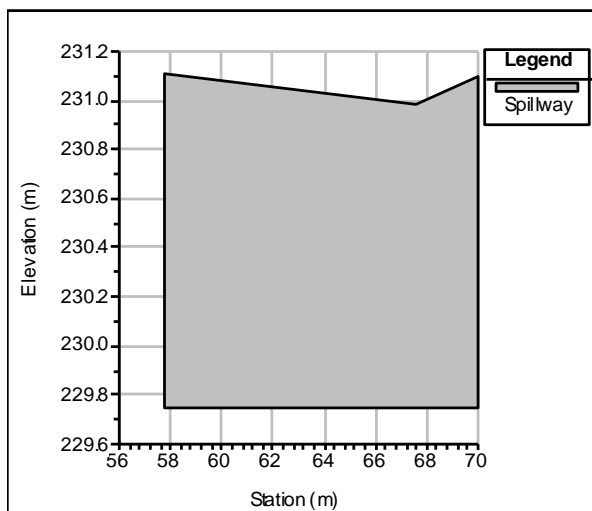


Figura 70 - Profilo di connessione a stramazzo: G2-G3

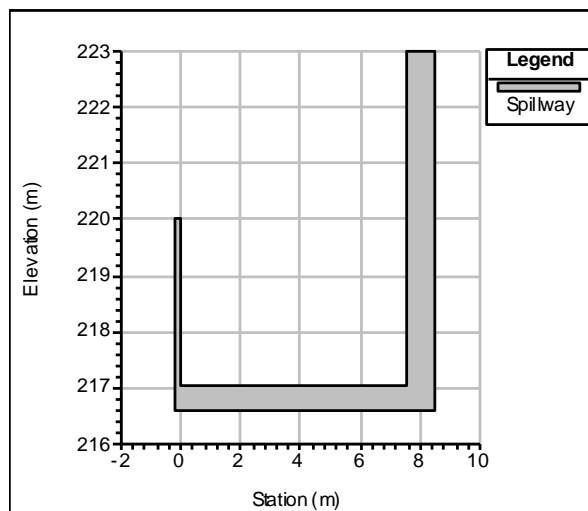


Figura 71 - Profilo di connessione a stramazzo: H1-H2

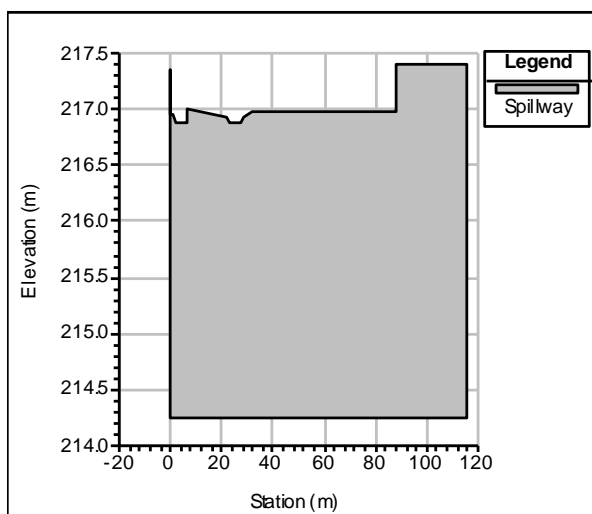


Figura 72 - Profilo di connessione a stramazzo: H2-F

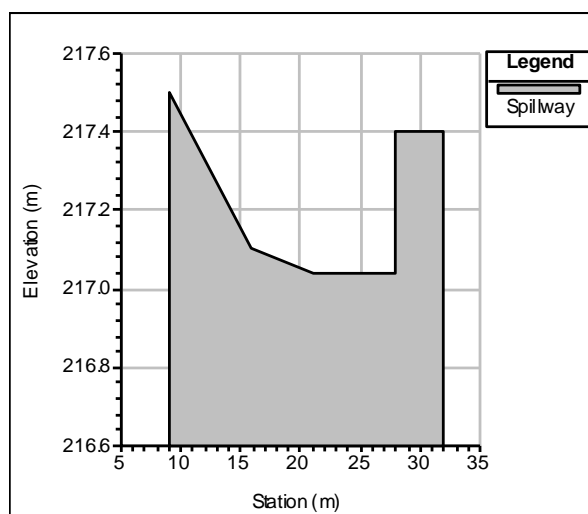


Figura 73 - Profilo di connessione a stramazzo: H1-H3

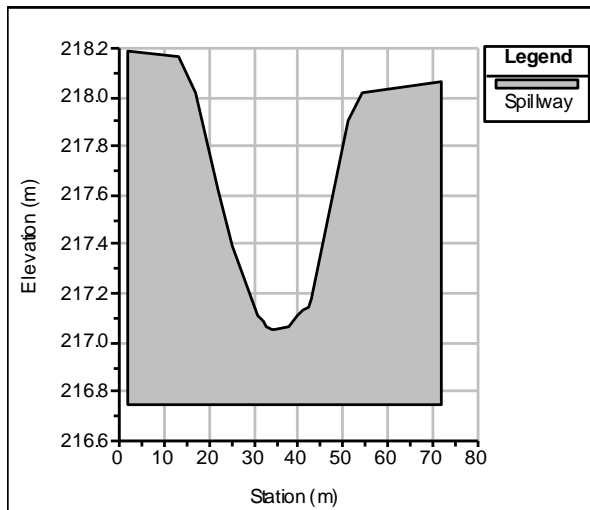


Figura 74 - Profilo di connessione a stramazzo: H3-H4

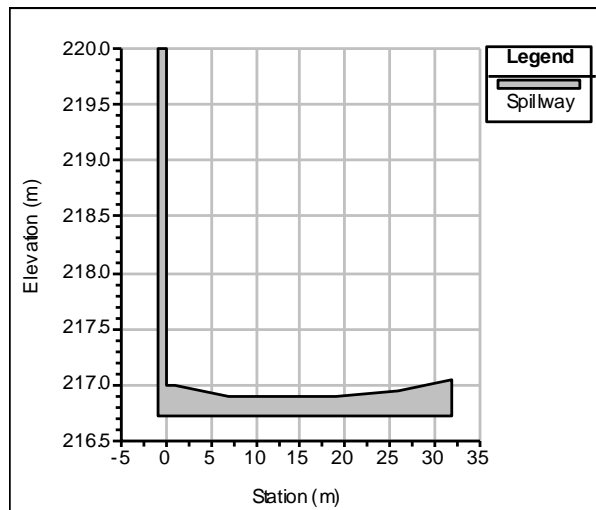


Figura 75 - Profilo di connessione a stramazzo: H4-H2

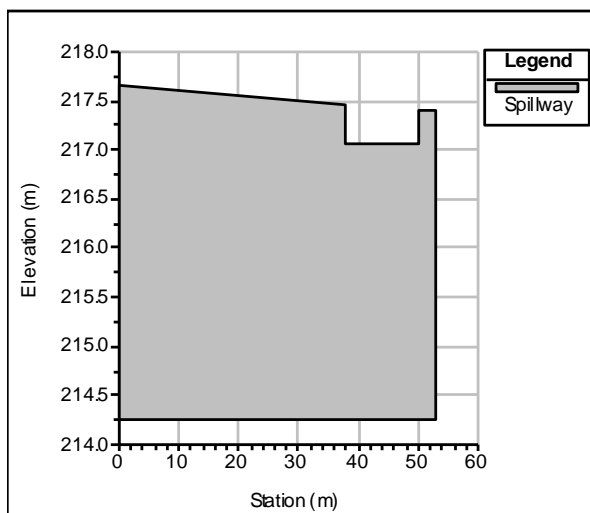


Figura 76 - Profilo di connessione a stramazzo: H4-F

Scabrezze, idrogrammi di piena in ingresso e condizioni al contorno

Nelle modellazioni idrauliche sono stati assunti i seguenti valori di scabrezza (coefficiente di Manning), con riferimento alle pubblicazioni citate nei paragrafi precedenti⁴:

- *alveo principale naturale del Torrente Staggia* 0.040 m^{1/3}
- *aree golenali Torrente Staggia* 0.045 m^{1/3}/s
- *alveo principale naturale del Fosso della Ruota* 0.040 m^{1/3}
- *aree golenali del Fosso della Ruota* 0.030 m^{1/3}/s

Sono stati simulati quattro scenari di verifica in funzione della durata di pioggia (2, 3, 4 e 5 ore) e dei tempi di ritorno di riferimento (30, 200 e 500 anni), secondo la trattazione esposta nello studio idrologico.

Di seguito si riportano le condizioni al contorno utilizzate per il modello in moto vario⁵ (vedi Tav.03):

Tabella 2 – Condizioni al contorno modello idraulico

Corso d'acqua	tratto	Condizione di monte	Condizione interna	Condizione di valle
T Staggia	1	FH = T. Staggia, sez. 91		
T. Staggia	1		LIH= T. Carpella, sez. 56	
T. Staggia	1		LIH= Interb. 4, sez. 50	
T. Staggia	1		LIH= Fosso Massimina, sez. 16.75*	
T. Staggia	2		LIH= Interb. 2, sez. 15	
T. Staggia	2		LIH= Fosso Campofiori e interb. 3, sez. 10	
T. Staggia	2		LIH= Fosso Maggio e Affluenti sx, sez. 6	
Fosso della Ruota	1	FH = 90 % Fosso Ruota, sez. 490 ⁶		
Fosso della Ruota	1		LIH= 10 % Fosso Ruota sez. 280 ⁷	
T. Staggia	2			P=0.6%

Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena introdotti nel modello idraulico in funzione degli scenari di verifica (eventi di durata 2, 3, 4 e 5 ore) per i tempi di ritorno significativi di 30, 200 e 500 anni, per un totale di 12 *plans* complessivi.

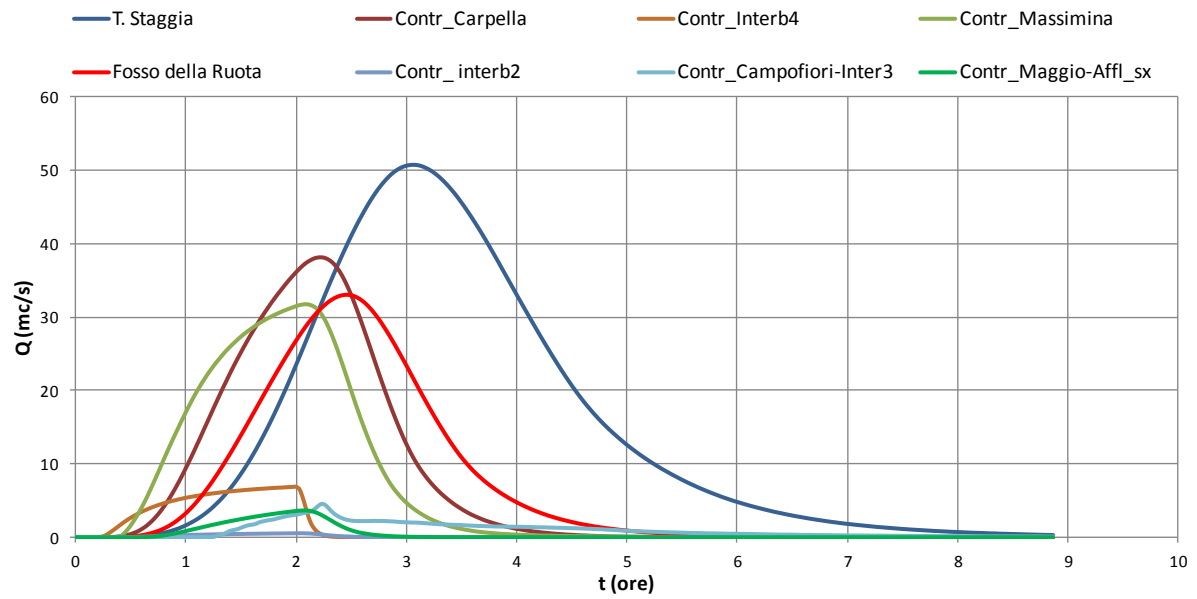
⁴ "Open-Channel Flow, M.H. Chaudhry 1993), oltre ai valori riportati nell' "Hydraulic Reference Manual di HEC RAS, Chapter 3 – Energy loss Coefficients – Manning's n".

⁵ FH - Flow Hydrograph, LIH Lateral Flow Hydrograph.

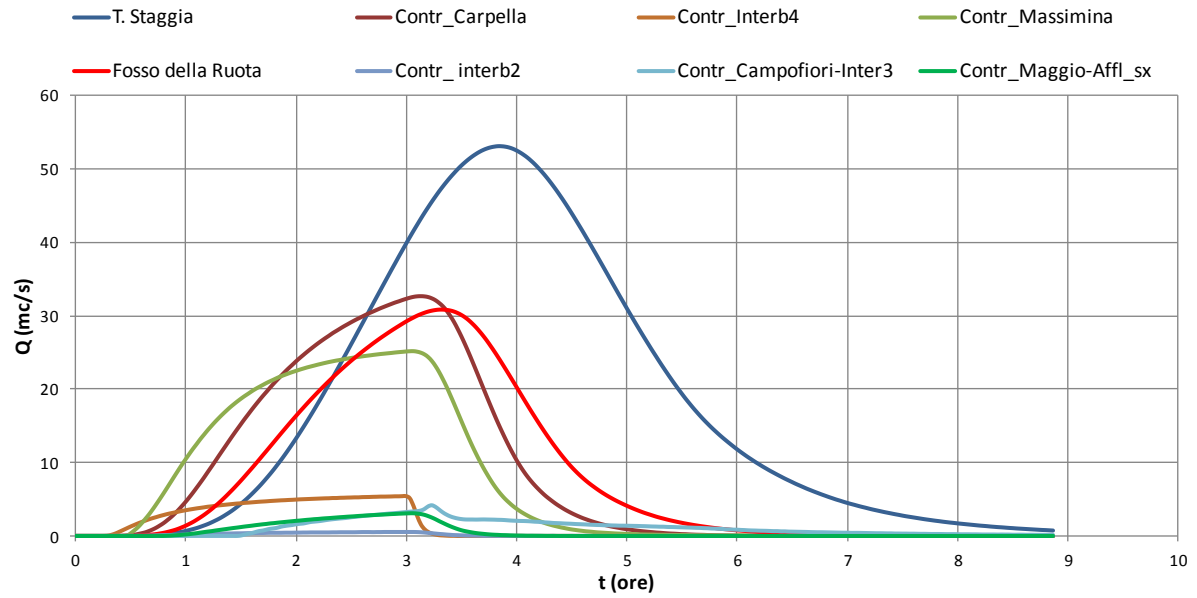
⁶ Inserito il 90 % dell'idrogramma di piena calcolato alla SezC1 dello studio idrologico

⁷ Inserito il 10 % dell'idrogramma di piena calcolato alla SezC1 dello studio idrologico come contributo laterale del tributario in sx idraulica nei pressi di via Aldo Moro

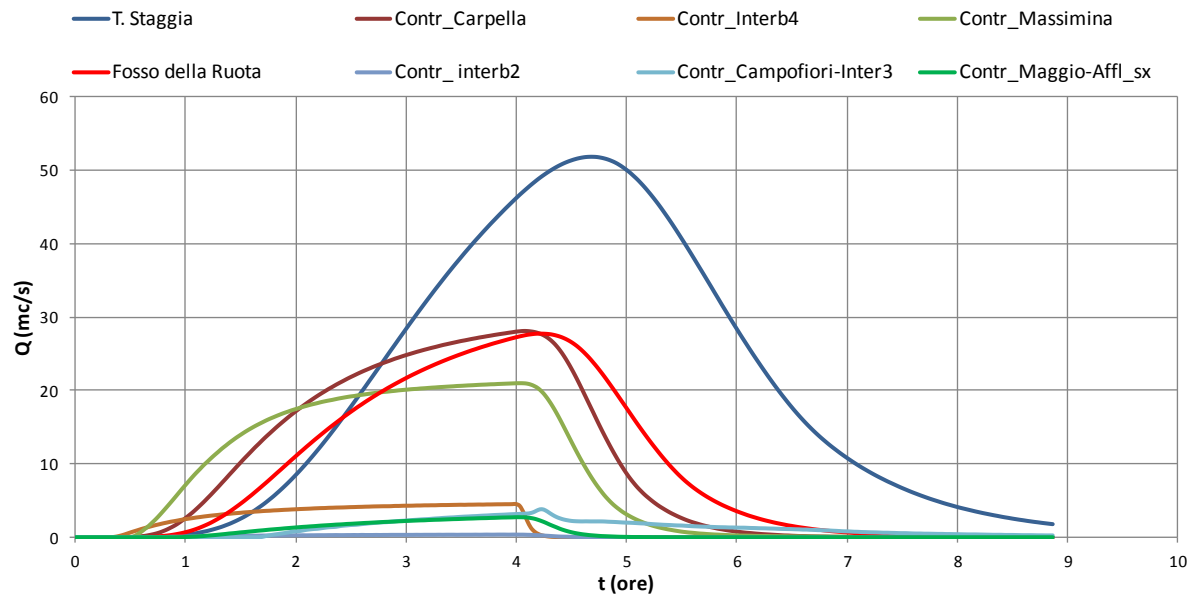
Idrogrammi di piena di progetto Dp=2h, Tr=30 anni



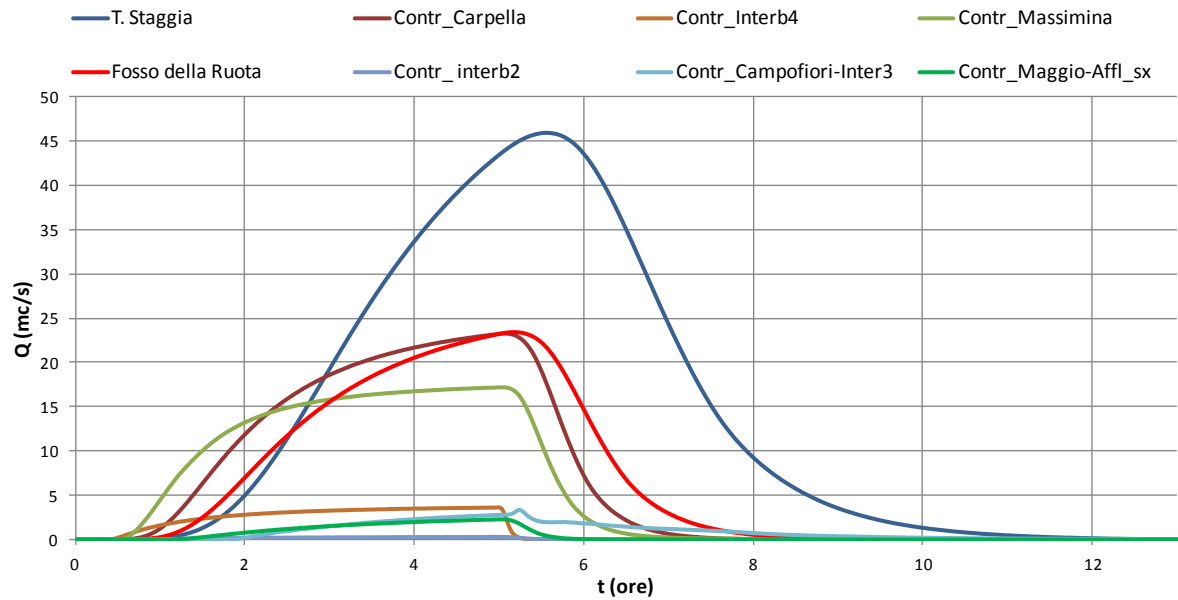
Idrogrammi di piena di progetto Dp=3h, Tr=30 anni



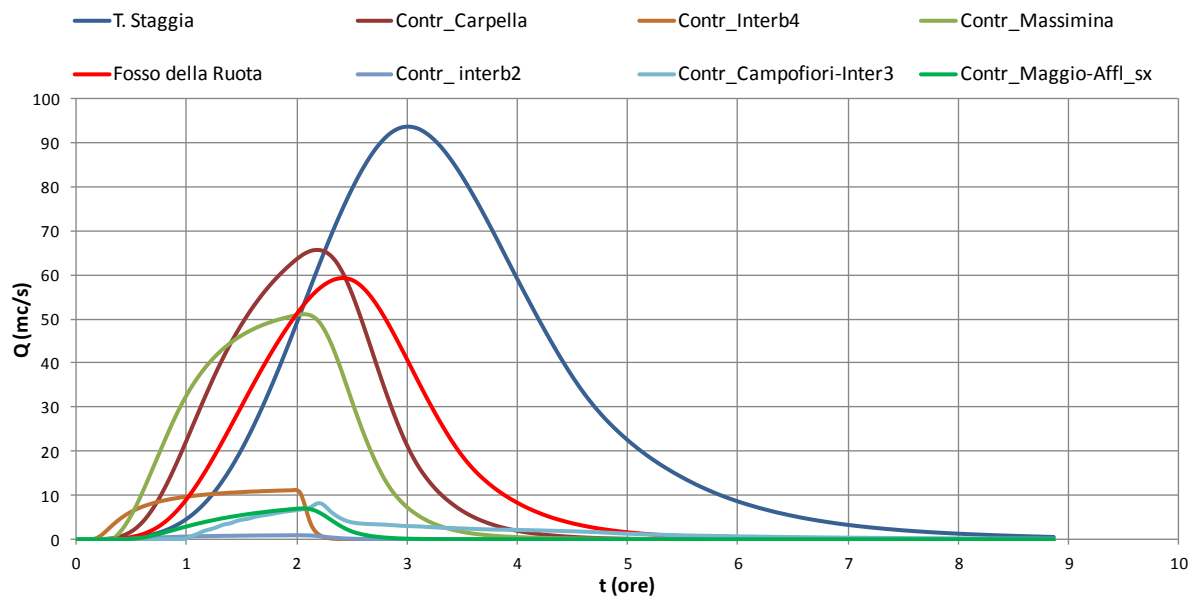
Idrogrammi di piena di progetto Dp=4h, Tr=30 anni



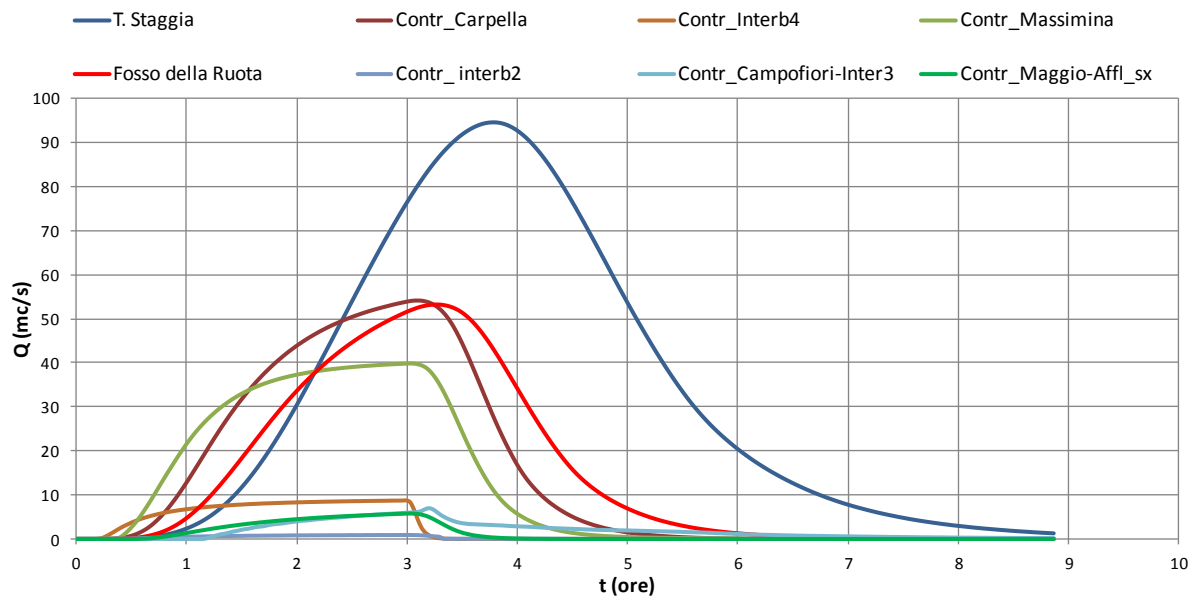
Idrogrammi di piena di progetto Dp=5h, Tr=30 anni



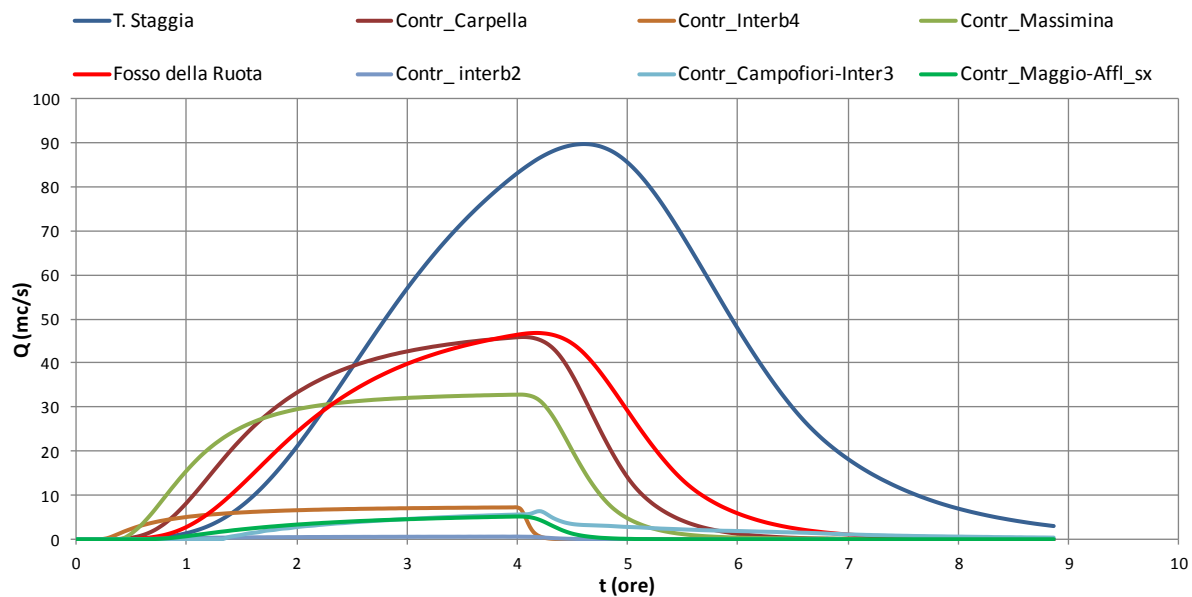
Idrogrammi di piena di progetto Dp=2h, Tr=200 anni



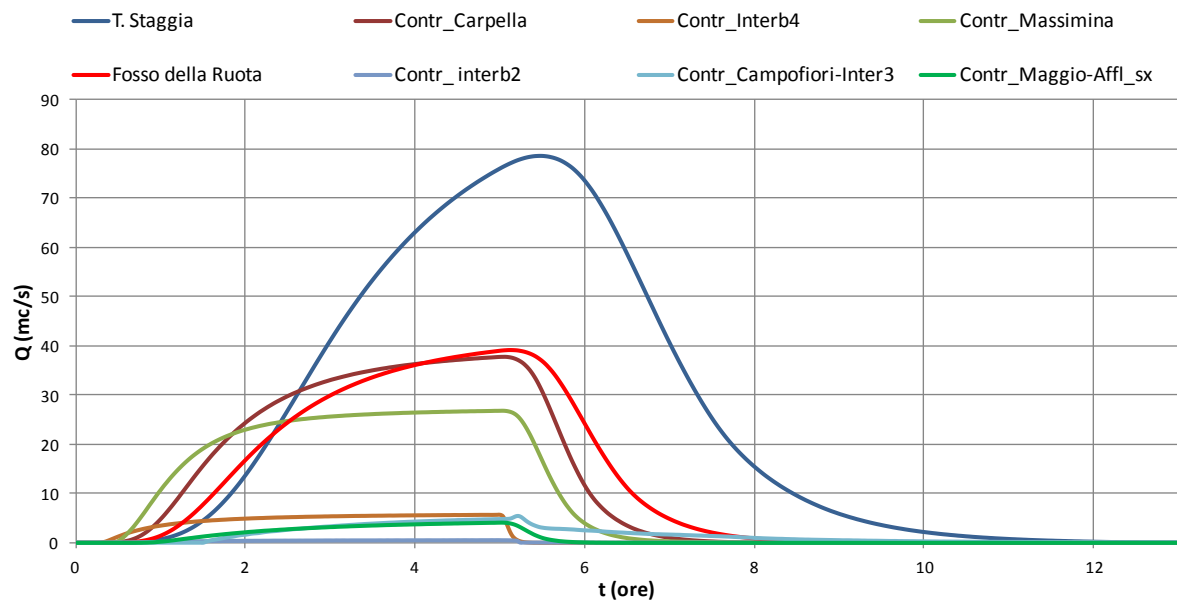
Idrogrammi di piena di progetto Dp=3h, Tr=200 anni



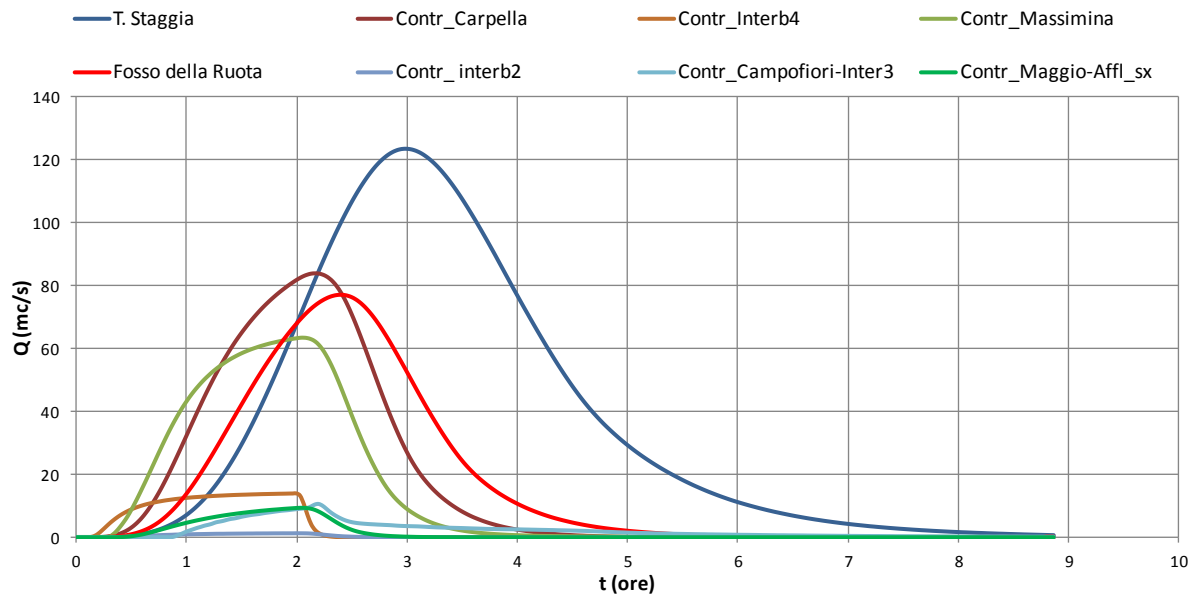
Idrogrammi di piena di progetto Dp=4h, Tr=200 anni



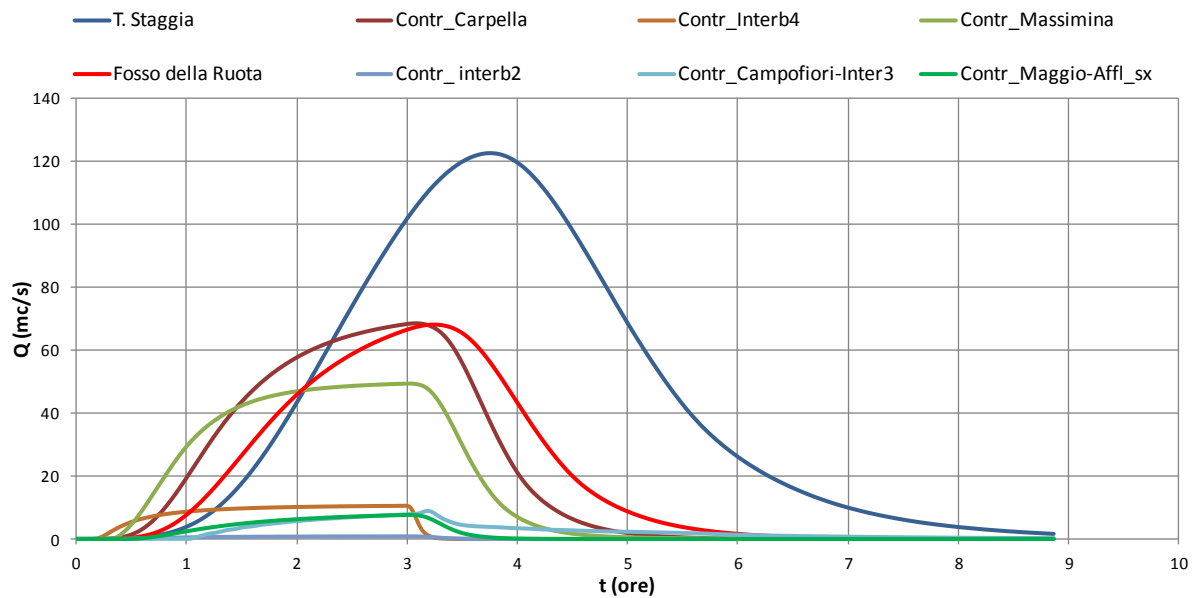
Idrogrammi di piena di progetto Dp=5h, Tr=200 anni



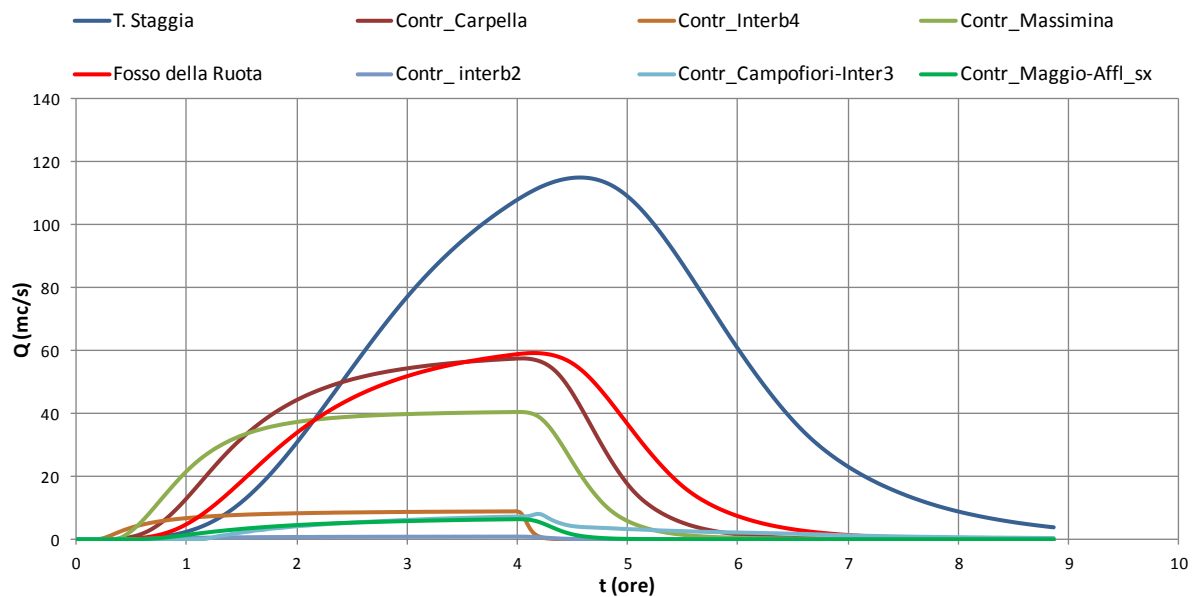
Idrogrammi di piena di progetto Dp=2h, Tr=500 anni



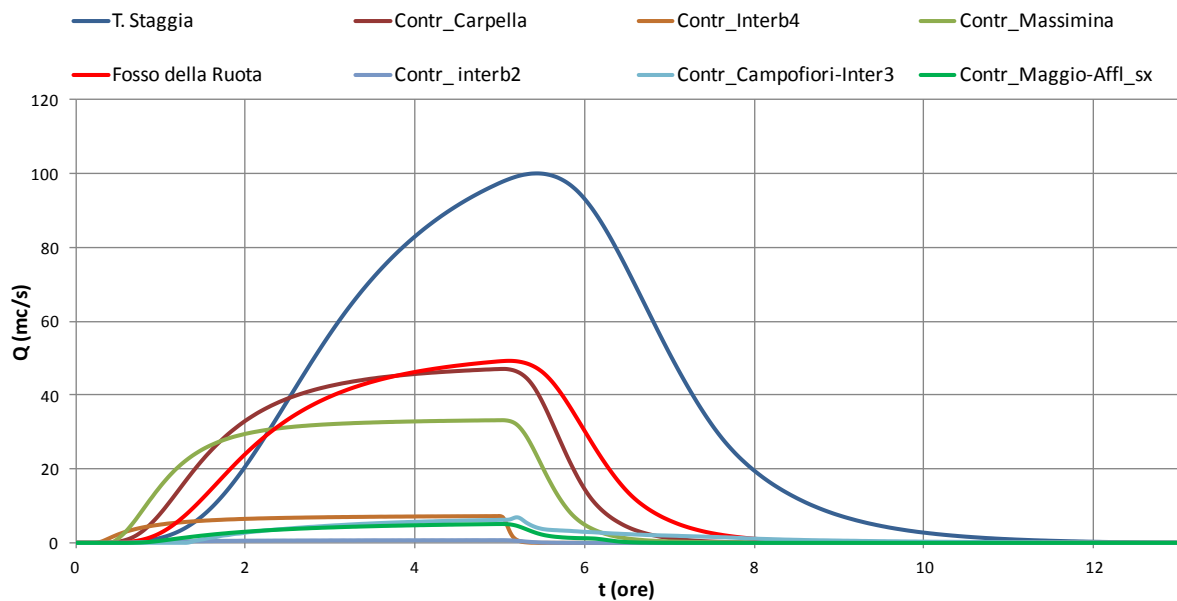
Idrogrammi di piena di progetto Dp=3h, Tr=500 anni



Idrogrammi di piena di progetto Dp=4h, Tr=500 anni



Idrogrammi di piena di progetto Dp=5h, Tr=500 anni



Documentazione fotografica



Foto 1 - immagine da satellite del centro abitato Badesse



Foto 2 - Torrente Staggia - vista da valle della bocca tarata e dello sfioratore superiore della cassa di espansione di Ottarchi



Foto 3 - Torrente Staggia - vista del canale fugatore a valle della cassa di laminazione



Foto 4 - Torrente Staggia - vista del l'imbocco del ponticello sulla Strada di Basciano



Foto 5 - Torrente Staggia - vista da valle dell'attraversamento ferroviario linea Siena-Empoli (Ponte Ottarchi)



Foto 6 - Torrente Staggia - vista dell'arginatura in prossimità dell'impianto sportivo in loc.tà Badessine



Foto 7 - Torrente Staggia - vista del tratto terminale dell'arginatura in prossimità dell'impianto sportivo in loc.tà Badessine



Foto 8 - Torrente Staggia - vista della passerella pedonale a monte dell'attraversamento stradale di Via della Resistenza



Foto 9 - Vista di Via della Resistenza in prossimità dell'attraversamento del Torrente Staggia



Foto 10 - Torrente Staggia - vista da valle dell'attraversamento stradale di Via della Resistenza



Foto 11 Foto 12 - Torrente Staggia - vista dell'arginatura in dx idraulica a valle dell'attraversamento stradale di Via della Resistenza



Foto 13 - Torrente Staggia - vista dell'alveo a monte della confluenza con il Fosso della Ruota



Foto 14 - Fosso Ruota - vista dell'alveo a monte della SC del Prugnolo



Foto 15 - Fosso Ruota - vista in prossimità dell'innesto sulla SP 110 di Badesse della SC del Prunolo



Foto 16 - Fosso Ruota - vista a monte dell'attraversamento stradale della SC del Prugnolo



Foto 17 - Fosso Ruota - vista da valle dell'attraversamento stradale della SC del Prugnolo



Foto 18 - Fosso Ruota - vista guado



Foto 19 - Fosso Ruota - vista nuovo tratto di arginatura realizzato dal Consorzio di Bonifica



Foto 20 - Fosso Ruota - vista da valle dell'attraversamento stradale della SP 119 delle Badesse



Foto 21 - Fosso Ruota - vista a valle dell'attraversamento stradale della SP 119 delle Badesse

Risultati delle verifiche idrauliche - Tr 30, 200 e 500 anni

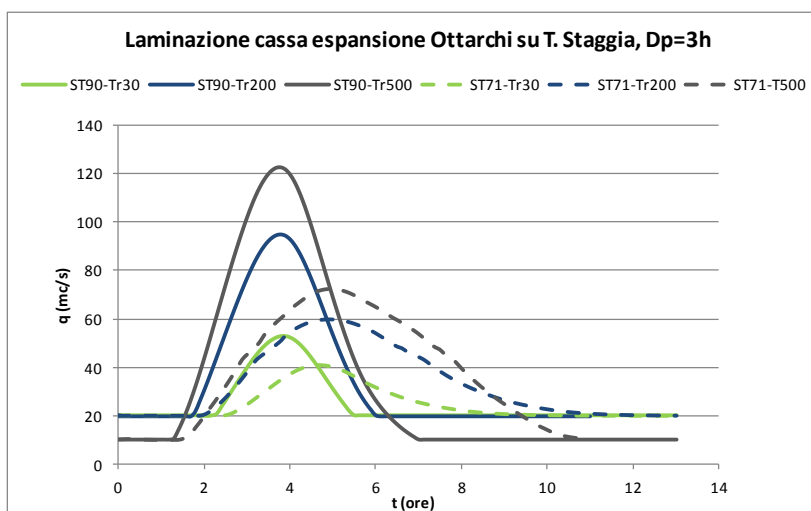
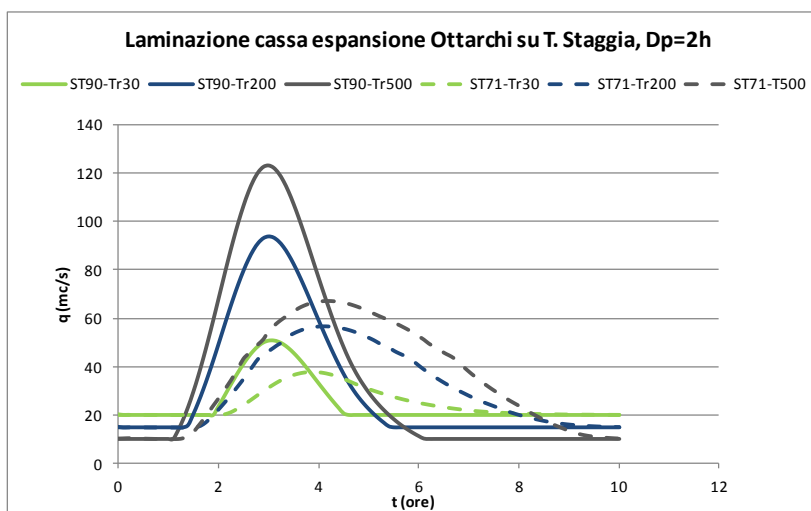
L'elaborato grafico **Tav. 03** riporta l'involuppo delle aree allagate corrispondenti all'involuppo dei livelli massimi per tempi di ritorno 30, 200 e 500 anni, con riferimento agli scenari idrologici di verifica (piogge di durata pari a 2, 3, 4 e 5 ore).

I risultati dei calcoli idraulici sono riportati nel fascicolo allegato **d.03**.

Per la restituzione delle aree allagabili è stato utilizzato il modello digitale del terreno sulla base dei dati LIDAR, provvedendo alla correzione manuale delle singolarità desumibili dai rilievi topografici di dettaglio e da sopralluoghi di verifica in sito.

In riferimento alle simulazioni idrauliche:

- la laminazione delle portate della cassa di espansione esistente ad Ottarchi sul Torrente Staggia è riportata nei grafici e nella tabella riassuntiva seguenti; lo sbarramento non risulta sormontato per eventi con $TR \leq 500$ anni; si attiva lo scarico di superficie per eventi con $TR \geq 200$ anni;



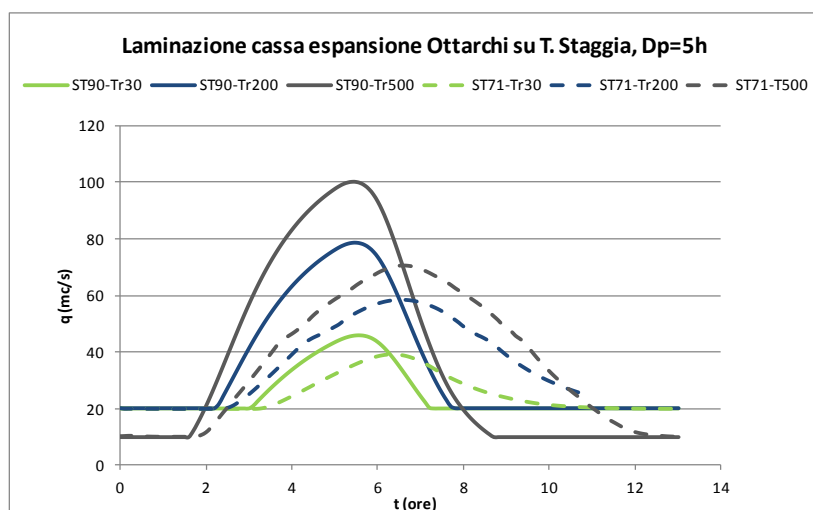
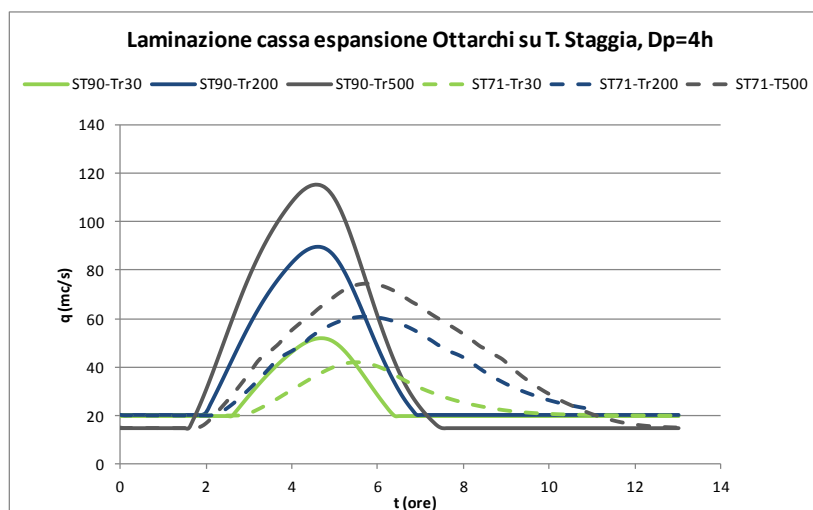


Figura 77 – Laminazione della cassa di Ottarchi sul Torrente Staggia per i 4 scenari di verifica $D_p=2,3,4$ e 5 ore e per i tempi di ritorno 30, 200 e 500 anni, per le sezioni a monte e a valle dello sbarramento

Tabella 3 - Laminazione della cassa di Ottarchi sul Torrente Staggia per i 4 scenari di verifica $D_p=2,3,4$ e 5 ore e per i tempi di ritorno 30, 200 e 500 anni, per le sezioni a monte e a valle dello sbarramento

T. Staggia	Scenario $D_p=2h$			Scenario $D_p=3h$			Scenario $D_p=4h$			Scenario $D_p=5h$		
Tr [anni]	30	200	500	30	200	500	30	200	500	30	200	500
Portata in ingresso [mc/s]	50.6	93.8	123.3	53.1	94.7	122.5	51.7	89.8	115.1	45.9	78.5	100.0
Portata in uscita [mc/s]	37.7	56.6	67.2	40.9	59.9	72.5	41.8	61.0	74.6	39.1	58.5	70.6
Livello Massimo [m s.l.m]	234.32	235.74	236.50	234.50	236.01	236.76	234.55	236.09	236.86	234.40	235.89	236.67
Quota coronamento [m s.l.m]	237.47			237.47			237.47			237.47		
Quota scarico di superficie[m s.l.m]	236.05			236.05			236.05			236.05		

- l'attraversamento della strada di Basciano sul T. Staggia risulta sormontato per eventi di piena con $TR \geq 200$ anni con conseguente allagamento che coinvolge la sede stradale fino alla sezione idraulica ST57 dove il flusso extra alveo rientra nel T. Staggia.
- nella zona dell'impianto sportivo in loc.tà Badessine, sezione idraulica ST45, l'argine in destra del T. Staggia non risulta completamente chiuso nel tratto terminale in prossimità del corso d'acqua, non riuscendo ad

impedire l'allagamento di una porzione compresa fra il rilevato arginale e l'impianto sportivo per eventi di piena con $TR \geq 200$ anni;

- l'alveo del T. Staggia nei pressi della sezione idraulica ST44 non risulta sufficiente per lo smaltimento della portata per eventi con $TR \geq 500$ anni, provocando un'esondazione in sponda sinistra con picco di 4.8 mc/s che coinvolge parte del centro di Badesse convogliando l'acqua nei flussi extra alveo del Fosso della Ruota; per eventi con TR 200 anni nella sezione idraulica ST44 il franco di sicurezza di circa risulta pari a soli 15 cm;
- le verifiche idrauliche del T. Staggia a valle della sezione ST35 hanno evidenziato una maggiore estensione delle aree allagabili rispetto a quelle individuate nello *Studio di Area Vasta 2004*, con interessamento in particolare della strada di lottizzazione realizzata da UNICAL Spa - Seninvest srl con relativi nuovi insediamenti produttivi di recente edificazione; per la mitigazione del rischio idraulico del T. Staggia sono necessari pertanto di interventi di messa in sicurezza idraulica dell'area in destra idraulica a valle della confluenza con il Fosso di Massimina;
- nell'elaborato grafico Tav. 03, sono stati ricostruiti i flussi extra alveo prodotti dalle esondazioni del Fosso della Ruota per Tr200 e 30 anni, mediante la modellazione con APE; di seguito si riportano i grafici dell'applicativo HecRas relativi ai principali deflussi extra alveo, evidenziati con linee di deflusso nell'elaborato grafico Tav. 03.

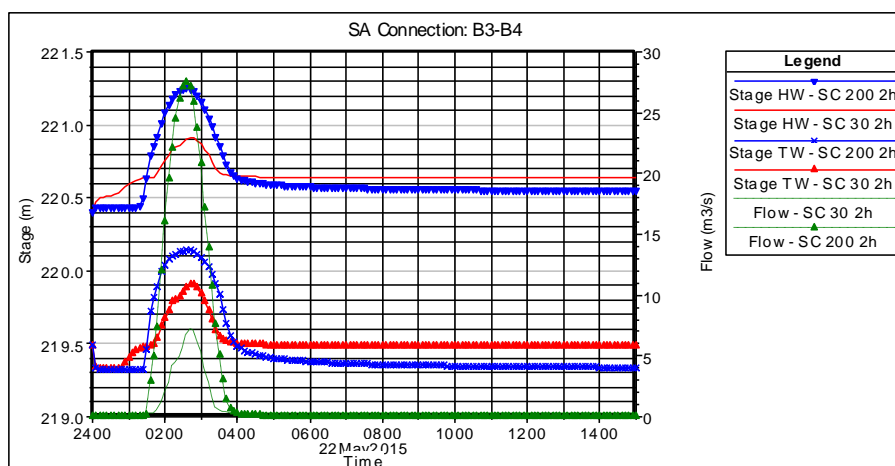


Figura 78 - via Pietro Nenni - flusso principale proveniente dal Fosso della Ruota

Connection B3-B4	Tr [anni]	
	30	200
Portata [mc/s]	7.2	27.5
Velocità [m/s]	0.85	1.20
Battente medio [cm]	24	47

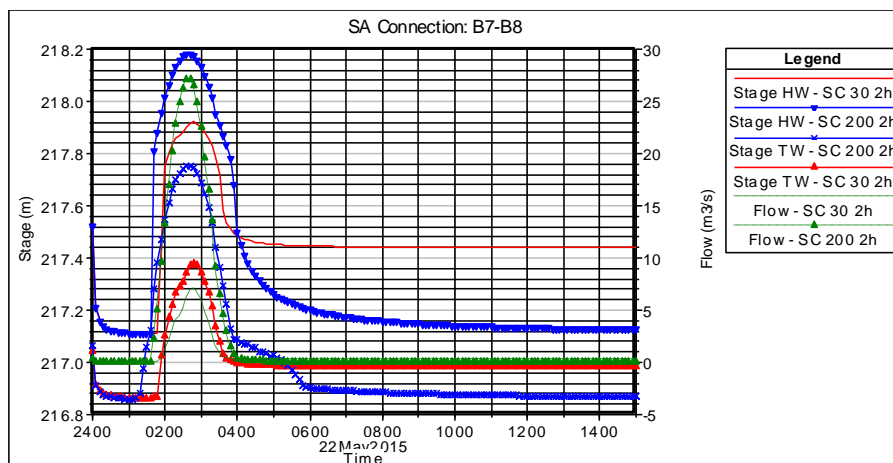


Figura 79 – SP delle Badesse - flusso principale proveniente dal Fosso della Ruota

Connection B7-B8	Tr [anni]	
	30	200
Portata [mc/s]	7.2	27.1
Velocità [m/s]	0.64	1.14
Battente massimo [cm]	20	43

- le verifiche idrauliche del Fosso della Ruota confermano i livelli di rischio idraulico dello studio “Analisi del rischio idraulico del Fosso della Ruota in loc.tà Badesse e individuazione degli interventi di mitigazione (Ing. L. Conti Amm.ne Prov.le di Siena, Agosto 2007) e pertanto l’efficacia degli interventi di mitigazione già previsti. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva⁸ relativa alle n.4 *lateral structure* collocate sulla sponda destra del Fosso della Ruota dove si verificano allo stato attuale fenomeni di esondazione che coinvolgono parte dell’area di Badesse situata fra il T. Staggia e il Fosso della Ruota fino alla loro confluenza.

HEC-RAS Locations: User Defined Profile: Max WS							
River	Reach	River Sta	Profile	Plan	Q US (m3/s)	Q Leaving Total (m3/s)	Perc Q Leaving
ruota	tratto1	488.9	Max WS	SC 30 2h	29.64	4.74	15.98
ruota	tratto1	488.9	Max WS	SC 200 2h	53.35	10.03	18.79
ruota	tratto1	488.9	Max WS	SC 500 2h	68.65	13.14	19.13
ruota	tratto1	479	Max WS	SC 30 2h	15.20	1.72	11.34
ruota	tratto1	479	Max WS	SC 200 2h	23.09	9.49	41.08
ruota	tratto1	479	Max WS	SC 500 2h	28.12	13.94	49.58
ruota	tratto1	385	Max WS	SC 30 2h	22.85	0.00	0.00
ruota	tratto1	385	Max WS	SC 200 2h	33.43	0.36	1.09
ruota	tratto1	385	Max WS	SC 500 2h	41.78	0.77	1.84
ruota	tratto1	355	Max WS	SC 30 2h	22.85	2.64	11.55
ruota	tratto1	355	Max WS	SC 200 2h	33.06	7.83	23.69
ruota	tratto1	355	Max WS	SC 500 2h	41.00	12.46	30.39

Le *lateral structure* RU488.9 e RU479 sono situate a monte dell'attraversamento della strada del Poggiolo, le RU385 e RU355 sono rispettivamente a monte ed a valle del guado situato fra le sezioni idrauliche RU370 e RU360.

⁸ Nella tabella sono riportate la portata in alveo a monte della lateral structure (Q US), la portata che fuoriesce dalla lateral structure (Q Leaving Total) e la percentuale di portata che fuoriesce dalla lateral structure (Perc Q Leaving) per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni

Aree a pericolosità idraulica individuate a seguito degli studi idraulici

Ai sensi del DPGR 53/R le aree a pericolosità idraulica in presenza di studi idrologici e idraulici sono individuate come:

- **Pericolosità idraulica molto elevata (I.4):** aree interessate da allagamenti per eventi con $TR \leq 30$ anni
- **Pericolosità idraulica elevata (I.3):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR \leq 200$ anni
- **Pericolosità idraulica media (I.2):** aree interessate da allagamenti con $200 < Tr \leq 500$ anni