

Committente:



Titolo:

RIPERIMETRAZIONE PREVENTIVA DELLE FASCE DI INONDABILITÀ DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE BISAGNO DA PONTE SERRA ALLA FOCE

Livello di Progetto:

Oggetto:

RELAZIONE IDRAULICA

Codice Progetto:

P057-19

Firme:

Nome File:

P057-19-I-RE-IDR-002-A

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	Prima emissione	MI EM	31/01/20	PM/DM	4/02/20

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	4
2.1	RIO FEREGGIANO	4
2.2	TORRENTE BISAGNO	5
3	PIANO DI BACINO DEL TORRENTE BISAGNO	8
3.1	PORTATE DI PIENA	8
3.2	FASCE DI INONDABILITA'	8
3.3	PIANO DEGLI INTERVENTI.....	11
4	STATO DELL'ARTE INTERVENTI IN CORSO DI REALIZZAZIONE	13
5	IDROGRAMMI DI PIENA	15
6	MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO	25
6.1	BASE TOPOGRAFICA E SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO.....	25
6.2	METODOLOGIA DI CALCOLO	26
6.3	PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	27
6.4	COERENZA CON IL MODELLO DEL PIANO DI BACINO	30
6.5	CONFIGURAZIONI DI VERIFICA.....	30
6.6	RISULTATI.....	30
7	ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL MODELLO	32
7.1	IDROGRAMMI DI PIENA	32
7.2	SCABREZZA DEL FONDO ALVEO.....	32
7.3	SCABREZZA AREE ESTERNE	34
7.4	RISULTATI.....	35
8	RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE INONDABILI	36

1 PREMESSA

La presente relazione contiene lo studio idraulico finalizzato alla ripermimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità del tratto terminale del torrente Bisagno da ponte Serra alla foce, a seguito degli interventi di adeguamento idraulico-strutturale della copertura terminale del torrente Bisagno e della realizzazione dello scolmatore del rio Fereggiano (entrambi attualmente in fase di completamento).

Lo studio ha riguardato le seguenti attività:

- raccolta e analisi della documentazione disponibile relativa a cartografia, rilievi topografici, studi idraulici, progetti, ecc. relativa all'area in esame;
- sistematizzazione e omogeneizzazione delle verifiche idrauliche disponibili sul torrente Bisagno da ponte Serra allo sbocco a mare e sul rio Fereggiano dall'imbocco del canale scolmatore (inizio Via Ginestrato) allo sbocco nel torrente Bisagno;
- determinazione degli idrogrammi di piena per diversi tempi di ritorno secondo la metodologia riportata nella DGR 357/08 relativi al torrente Bisagno alla confluenza con il rio Fereggiano e allo sbocco a mare, e al rio Fereggiano alla confluenza con il torrente Bisagno, nell'ipotesi di presenza dello scolmatore del rio Fereggiano;
- acquisizione della base topografica costituita dal LIDAR del Ministero dell'Ambiente a maglia 1x1 metri per la porzione di territorio interessata dallo studio;
- integrazione e controllo dei punti della maglia del DTM in base alla cartografia e ai rilievi topografici di dettaglio disponibili;
- ricostruzione dei fenomeni di allagamento in caso di portata di piena 50-ennale e 200-ennale con l'utilizzo di un modello bi-dimensionale per la determinazione dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento;
- analisi di sensitività del modello e dei parametri di calcolo adottati;
- mappatura dei tiranti idraulici e delle velocità di scorrimento in caso di portata di piena 50-ennale e 200-ennale;
- proposta di mappatura delle fasce di inondabilità in accordo con i criteri indicati dalla DGR 91/20131.

¹ DGR 91 del 1/02/2013 - *Criteri ed indirizzi per l'individuazione di aree a minor pericolosità relativa nella fascia B dei piani di bacino regionali.*

2 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio è costituita dalle aree urbane adiacenti al rio Fereggiano nel tratto compreso fra l'imbocco del canale scolmatore (Salita Ginestrato) e lo sbocco nel torrente Bisagno e dalle aree urbane adiacenti al torrente Bisagno nel tratto compreso tra ponte Serra e lo sbocco a mare, come indicato nella figura seguente.



Figura 1

2.1 RIO FEREGGIANO

Il rio Fereggiano è un affluente di sponda sinistra del torrente Bisagno in cui confluisce all'altezza di Ponte Serra, con un bacino sotteso di circa 5 km².

Il corso d'acqua risulta fortemente antropizzato, con numerose strutture che interferiscono con il regolare deflusso della corrente, bruschi restringimenti, abitazioni in fregio all'alveo, ponti e tombinature.

Il tratto d'alveo del torrente Bisagno interessato dal presente studio si estende per circa 1800 m a monte della confluenza ed è suddivisibile come segue:

- tratto a cielo aperto compreso tra l'opera di presa del canale scolmatore (inizio Via Ginestrato) e l'imbocco della copertura Via Pinetti-Largo Merlo;
- copertura di Via Pinetti-Largo Merlo;
- Tratto a cielo aperto compreso fra lo sbocco della tombinatura di Largo Merlo e l'imbocco della copertura terminale;
- copertura terminale.

Il tratto a cielo aperto a valle dell'opera di presa del canale scolmatore ha una lunghezza complessiva di circa 180 m, con sezioni di larghezza media pari a 10 m circa e pendenza pari al 2.2% circa.

La copertura Via Pinetti-Largo Merlo è a sua volta suddivisibile in due tratti:

- il tratto di monte di recente costruzione della lunghezza di circa 200 m, con sezioni di forma trapezia con larghezze variabili tra 8.0 m e 9.8 m circa al fondo e tra 8.6 m e 10.6 m circa in sommità, luce libera di deflusso di circa 4.1 m e pendenza media pari al 3.0% circa;
- il tratto al di sotto di Largo Merlo, della lunghezza di circa 200 m costituito da una sezione rettangolare con volta a botte di larghezza variabile tra 6.6 e 10.5 m e altezza massima in sommità variabile tra 3 m e 5 m circa, pendenza media pari al 3.5% circa.

Il tratto a cielo aperto a valle della copertura di Largo Merlo ha una lunghezza di circa 400 m, sezioni di larghezza variabile da 5.5 m a 9.0 m circa e pendenza media pari al 5% circa.

La copertura terminale ha una lunghezza di circa 800 m suddivisa in un primo tratto di forma rettangolare di dimensioni 7x3 m circa e pendenza variabile tra il 2.2% e l'1.1% circa e in un secondo tratto rettangolare con volta a botte di larghezza di circa 6 m e altezza massima in sommità di 3 m circa, con una pendenza dello 0.4% circa.

2.2 TORRENTE BISAGNO

Il tratto d'alveo del torrente Bisagno interessato dal presente studio è suddivisibile come segue:

- tratto a cielo aperto compreso tra ponte Serra e il rilevato ferroviario di Brignole;
- ponte ferroviario di Brignole;
- copertura terminale.

Il primo tratto ha una lunghezza complessiva di circa 820 m con andamento leggermente curvilineo. Le sezioni dell'alveo sono di forma regolare assimilabile alla rettangolare con larghezze al fondo variabili tra 64 e 73 m circa; la pendenza media del tratto è pari allo 0.5% circa.

Entrambe le sponde sono arginate con muri in blocchi di pietra e calcestruzzo e parapetto in muratura piena.

Lungo il tratto sono presenti, da valle verso monte, i seguenti manufatti d'attraversamento: ponte Sant'Agata (in pietra, ad arco, sette campate di cui quattro interamente crollate), ponte Castelfidardo (in c.a., quattro campate), passerella pedonale Firpo (in c.a., tre campate).

In sponda destra, a monte della passerella pedonale Firpo, è presente una mensola in c.a. lunga poco più di 40 m, con uno sbalzo di circa 4 m rispetto alla sommità arginale.

Tranne il rio Fereggiano, che confluisce in sponda sinistra all'estremità di monte del tratto, non sono presenti altri affluenti significativi.

Le aree adiacenti alle sponde sono fortemente urbanizzate; la viabilità principale si sviluppa lungo gli argini del corso d'acqua ed è costituita in sponda destra da Via Canevari e Via Moresco e, in sponda sinistra, da Corso Galliera e Corso Galileo Galilei.

Il ponte ferroviario di Brignole è strettamente interconnesso con la copertura terminale ed è costituito da una struttura ad archi con volte a botte realizzata in muratura di pietra e mattoni, suddivisa in quattro campate di larghezze variabili all'incirca da 15.7 m per le arcate laterali a 15.2 m per quelle centrali.

La luce massima rispetto alla sommità dell'arco è circa 6.2 m, mentre lo sviluppo longitudinale del ponte è circa 120 m.

Da un punto di vista viabilistico esso è attraversato da 4 sottopassi, di cui 2 in sponda destra e due in sponda sinistra.

I sottopassi in sponda destra sono quello pedonale di Borgo Incrociati (con larghezza $B=6$ m e quota della soglia $Z=9.3$ m s.l.m.) e quello carrabile di Via Canevari ($B=17$ m, $Z=8.5$ m s.l.m.).

I sottopassi in sponda sinistra sono quelli carrabili di Via Archimede ($B=16$ m, $Z=8.8$ m s.l.m.) e di Corso Sardegna ($B=33$ m, $Z=8.8$ m s.l.m.).

La copertura terminale del torrente Bisagno, attualmente oggetto dei lavori di adeguamento, è stata realizzata nel periodo 1928-1931, successivamente, in tempi più recenti, negli anni '60, è stato aggiunto il tratto sotto Piazzale Kennedy alla foce.

Dal punto di vista geometrico e strutturale essa la copertura è suddivisibile in tre tronchi distinti:

- il tratto di raccordo fra il ponte ferroviario di Brignole e la sezione corrente, che si sviluppa sotto Piazza Verdi e Piazza delle Americhe;
- il tratto a sezione costante sotto Viale Emanuele Filiberto Duca D'Aosta, Viale Brigata Bisagno e Viale delle Brigate Partigiane;
- il tratto finale sotto Piazzale Kennedy.

La sua lunghezza complessiva in asse è di circa 1300 m, la pendenza del fondo, interamente plateato, è lo 0.35%.

La copertura ha inizio subito a valle del ponte ferroviario con un tratto di raccordo della lunghezza di circa 210 m e larghezza netta variabile da 61 m a 48 m, suddivisa su 4 fornici.

Il tratto a sezione costante sotto Viale Emanuele Filiberto Duca D'Aosta, Viale Brigata Bisagno e Viale delle Brigate Partigiane ha andamento rettilineo, una lunghezza di circa 960 m ed è costituito da quattro fornici di larghezza netta di 12 m ciascuno, suddivisi da tre setti.

Il tronco finale sotto Piazzale Kennedy, ha una lunghezza complessiva di circa 100 m ed è costituito da tre fornici di larghezza netta interna di 19 m i due laterali e 24.5 m quello centrale.

Attualmente sono in corso i lavori di adeguamento idraulico-strutturale della copertura che consistono nell'abbassamento del fondo alveo plateato di circa 2 m con quota di sbocco a mare pari a -1.97 m s.l.m. e quota nella sezione di monte di fine intervento pari a + 0.33 m s.l.m, in modo da aumentare la luce libera sino a oltre 5 m.

Ad oggi è stata realizzata la sistemazione di un tratto compreso tra lo sbocco a mare e l'incrocio con Corso Buenos Aires mentre è in corso di realizzazione il tratto di raccordo sino al ponte ferroviario di Brignole.

Le aree urbane adiacenti al corso d'acqua sono delimitate dai due speroni di Corso Aurelio Saffi a ponente e Via Nizza a levante e sono attraversate da una rete viabile disposta secondo due direttrici principali: Via Brigate Partigiane, Via Finocchiaro Aprile, Via della Libertà, Corso Torino, Via Casaregis da Nord a Sud, Via Tomaso Ivrea, Corso Buenos Aires, Via Pisacane, Via Carlo Barabino, Via Ruspoli, Via Cecchi e Corso Marconi da Est a Ovest.

Viale Brigate Partigiane (realizzata sopra la copertura del corso d'acqua) rimane ad una quota più elevata rispetto alle aree adiacenti ed in particolare quelle in sponda sinistra, con quote minime (intorno a 2 m s.l.m.) in corrispondenza di Via Ruspoli.

4 STATO DELL'ARTE INTERVENTI IN CORSO DI REALIZZAZIONE

Come sopra riportato due fra i principali interventi di mitigazione del rischio idraulico nel tratto vallivo del bacino del torrente Bisagno, l'adeguamento della copertura terminale da Brignole alla foce e il canale scolmatore del rio Fereggiano, sono già stati avviati e risultano in stato di avanzata realizzazione e prossimi al loro completamento.

Di seguito si riporta una sintesi dello stato dell'arte di tali interventi.

Copertura del torrente Bisagno

In attuazione del Protocollo di Intesa⁵, sottoscritto nel 1998, da Regione Liguria, Provincia di Genova e Comune di Genova, gli Uffici comunali, a seguito di indizione di gara pubblica europea per l'affidamento dell'incarico di progettazione, si sono dotati del progetto preliminare dell'intervento, approvato in intesa Stato-Regione nel 2003.

L'intervento risulta suddiviso in due lotti:

- 1° lotto:
dalla Foce fino alla Questura
- 2° lotto suddiviso in 3 stralci:
1° stralcio dall'attraversamento di Via Diaz fino all'altezza del distributore
2° stralcio da Via Diaz a Via Santa Zita
3° stralcio da Via Santa Zita fino alla ferrovia

Con OPCM n. 3344/2004 lo Stato ha finanziato i lavori per il primo lotto e il primo stralcio del secondo lotto, individuando nel Provveditore alle Opere Pubbliche il soggetto attuatore di queste opere.

I lavori del primo lotto e del primo stralcio del secondo lotto sono stati appaltati e avviati a fine 2004 e sono stati regolarmente conclusi e collaudati nel 2010.

Con accordo di programma tra Ministero dell'Ambiente e Regione Liguria a settembre 2010 è stato finanziato il secondo stralcio del secondo lotto dei lavori. Il bando di gara del secondo stralcio è stato pubblicato il 28/10/2011 e l'aggiudicazione definitiva dei lavori è stata fatta il 28/03/2012 a seguito della quale sono stati depositati quattro ricorsi al TAR (due al TAR Lazio e due al TAR Liguria). Il 17/07/2014 il Tar Lazio ha respinto tutti i ricorsi presentati.

Il 2/03/2015 è stato consegnato al Commissario il progetto esecutivo da parte dell'appaltatore e il 16/03/2015 è avvenuta l'apertura parziale del cantiere per l'avvio ai lavori. Ad aprile 2015 sono partiti tutti i lavori, tuttora in corso di realizzazione. La fine lavori è prevista per dicembre 2020.

⁵ Il protocollo prevede a carico dell'Ente regionale la ricerca di finanziamento e il coordinamento generale, a carico dell'Ente provinciale la realizzazione dello scolmatore del torrente Bisagno e del rio Fereggiano e a carico dell'Amministrazione civica l'adeguamento idraulico della copertura del tratto terminale del torrente Bisagno.

Scolmatore rio Fereggiano

Lo scolmatore del rio Fereggiano è stato inserito e finanziato come primo lotto dello scolmatore del torrente Bisagno.

Il 24/05/2013 la Regione Liguria, la Provincia di Genova e il Comune di Genova hanno rinnovato la sottoscrizione di un protocollo d'intesa, affidando al comune la progettazione e l'attuazione dell'opera.

Nel frattempo il progetto è passato al vaglio del Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici ed è stato approvato dalla Giunta comunale (delibera n. 51/2014).

In data 12/03/2014 il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, la Regione Liguria e il Comune di Genova hanno sottoscritto la Convenzione e in data 11/08/2014 è stata avviata la procedura di gara per l'affidamento e l'esecuzione dei lavori.

I lavori sono stati aggiudicati alla PAC S.p.A. e la consegna parziale del cantiere, per favorire la fase preparatoria di avvio dei lavori, prevista per giugno 2015, è stata anticipata al 7/04/2015.

Il 30/04/2015 PAC ha consegnato il progetto esecutivo, la cui procedura di verifica si è conclusa positivamente il 19/06/2015.

Il progetto esecutivo è stato approvato in data 30/06/2015 (Determina Dirigenziale N. 2015-155.0.0.-59) e il 2/07/2015, a seguito di consegna definitiva del cantiere, sono stati ufficialmente avviati i lavori.

I lavori sono ad oggi prossimi al loro completamento: in particolare è stata realizzata l'opera di presa e la galleria scolmatrice, mentre resta ancora da rifinire l'opera di sbocco a mare.

Il termine previsto per il completamento dell'opera è previsto nell'aprile 2020.

5 IDROGRAMMI DI PIENA

La determinazione degli idrogrammi di piena del torrente Bisagno e del rio Fereggiano è stata effettuata secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteria di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

In particolare si è utilizzato il *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzato alla valutazione degli idrogrammi di riferimento condizionati dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, se non diversamente specificato, pari a quella del Piano di Bacino. La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 3.

Ai fini della modellazione bidimensionale sono stati determinati gli idrogrammi di piena per gli eventi con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni nei seguenti nodi:

- nodo B2: Bisagno in corrispondenza di ponte Serra
- nodo B1: Bisagno alla foce
- nodo B3: aree scolanti del torrente Bisagno tra ponte Serra e la foce
- nodo F2: Fereggiano all'opera di presa del canale scolmatore
- nodo F1: Fereggiano allo sbocco nel Bisagno
- nodo F3: aree scolanti Fereggiano tra presa scolmatore e sbocco nel Bisagno

Il calcolo degli idrogrammi è stato effettuato secondo i seguenti passi:

- individuazione dello idrogramma di riferimento;
- calcolo dell'idrogramma del Bisagno alla foce in condizioni "indisturbate" (assenza dello scolmatore), nodo B1^(*);
- calcolo dell'idrogramma del Bisagno a valle di ponte Serra in condizioni "indisturbate" (assenza dello scolmatore), nodo B2v^(*);
- calcolo del contributo delle aree scolanti del Bisagno comprese tra ponte Serra e la foce come differenza tra B1^(*) e B2v^(*), nodo B3;
- calcolo dell'idrogramma del Bisagno a monte di ponte Serra, nodo B2m;
- calcolo degli idrogrammi del Fereggiano a monte dell'opera di presa dello scolmatore, nodo F2m, e delle portate rilasciate a valle, nodo F2v;
- calcolo dell'idrogramma della porzione di bacino del Fereggiano compresa tra l'opera di presa dello scolmatore e lo sbocco nel Bisagno, nodo F3;
- calcolo dell'idrogramma di piena del rio Fereggiano allo sbocco nel Bisagno come somma di F2v e F3, nodo F1;
- calcolo dell'idrogramma di piena del Bisagno valle di ponte Serra come somma di B2m e F1, nodo B2v;
- calcolo dell'idrogramma del torrente Bisagno alla foce come somma di B2v e B3, nodo B1.

Tale procedimento è stato iterato per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni e per le due configurazioni relative all'evento di precipitazione che genera la massima piena sul torrente Bisagno e a quello che genera la massima piena sul rio Fereggiano.

Per quanto riguarda il rilascio della portata a valle dell'opera di presa dello scolmatore si è assunta l'ipotesi, desunta dal progetto, di una portata progressiva con massimo a 3 m³/s per l'evento 200-ennale.

I parametri delle curve di probabilità pluviometrica e quelli caratteristici dei singoli bacini sottesi sono stati definiti in base ai valori riportati nella DGR 357/08 e negli Allegati Tecnici del Piano di Bacino del torrente Bisagno, oltre che negli elaborati di progetto dello scolmatore del rio Fereggiano.

Per quanto riguarda le curve di probabilità pluviometrica sono state assunte per il Bisagno quelle risultanti dalla media ponderata (con il metodo dei topoi) sull'intera area del bacino delle stazioni di Genova Università, Ponte Carrega, Sant'Eusebio, Prato, Viganego e Scoffera, i cui parametri sono riportati nell'Appendice II della DGR sopra menzionata.

La curva risultante presenta un valore della pioggia indice $a_i = 43.99$ mm/h per la sezione terminale (93 km²) e un valore del dell'esponente di scala $n = 0.38$.

Per il rio Fereggiano è stata assunta la curva della stazione pluviometrica di Sant'Eusebio, i cui parametri sono riportati nell'Appendice II della DGR sopra menzionata; la curva risultante presenta un valore della pioggia indice $a_i = 36.7$ mm/h e un valore del dell'esponente di scala $n = 0.398$.

Gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti attraverso l'uso di un modello seriale (vedi Appendice 2) di trasformazione afflussi-deflussi costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento, e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali. Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

La determinazione dei parametri caratteristici del bacino quali superficie, tempo di corrivazione e valore di CN è stata effettuata sulla base dei contenuti del Piano di Bacino e della stessa DGR 357/2008 (vedi tabella).

Nodo/tratto	A [km ²]	CN	t _c [ore]
B1(*)	93	86	3.74
B2v(*)	89.1	86	3.56
B2m	84	86	3.56
F1	5.1	86	1.01
F2m	3.3	85	0.76
F3	1.8	88	0.61

(*) considerato in assenza di scolmatore del Fereggiano

Tabella II

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di $a^{(*)}$, di n e del tempo di pioggia t_p assunti per i due casi di evento di piena sul torrente Bisagno e di evento di piena sul rio Fereggiano, con i corrispondenti valori della portata massima nei diversi nodi individuati.

	T [anni]	$a^{(*)}$ [mm/h]	n	t_p [min]	Sezione	Qmax [m ³ /s]
Caso A Piena Bisagno	50	105	0.38	250	F2m	21
					F1	23
					B2m	737
					B2v	744
					B1	762
	200	160	0.38	230	F2m	34
					F1	36
					B2m	1207
					B2v	1217
					B1	1243
	500	213	0.38	220	F2m	47
					F1	50
					B2m	1666
					B2v	1679
					B1	1711

Tabella III

	T [anni]	$a^{(*)}$ [mm/h]	n	t_p [min]	Sezione	Qmax [m ³ /s]
Caso B Piena Fereggiano	50	96	0.398	70	F2m	56
					F1	39
					B2m	443
					B2v	445
					B1	451
	200	140	0.398	60	F2m	91
					F1	61
					B2m	688
					B2v	689
					B1	695
	500	180	0.398	55	F2m	125
					F1	82
					B2m	908
					B2v	910
					B1	915

Tabella IV

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena risultanti.

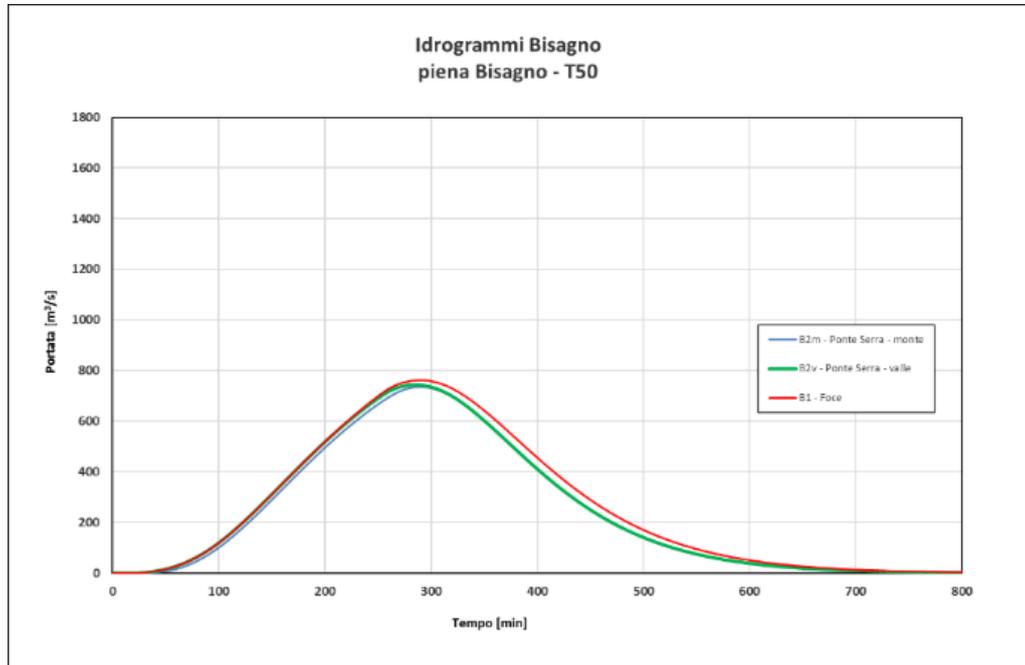


Figura 6

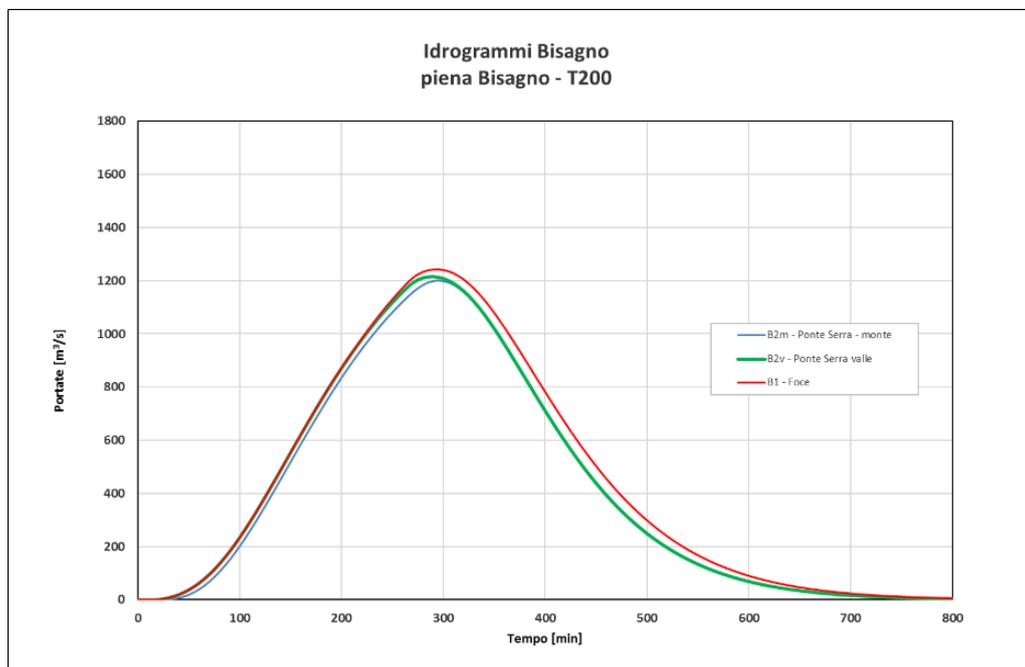


Figura 7

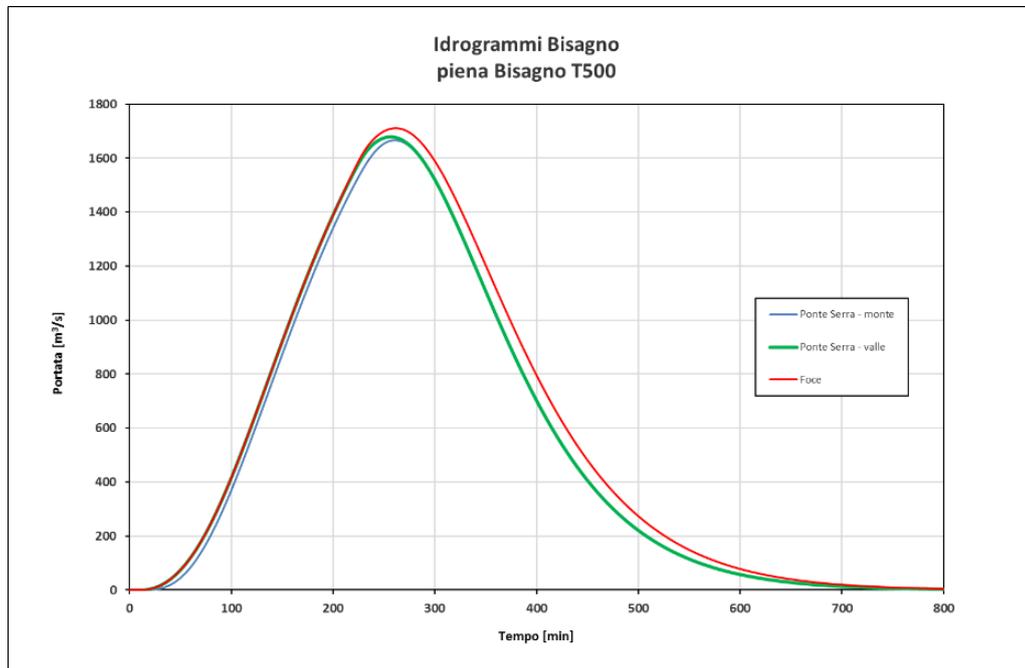


Figura 8

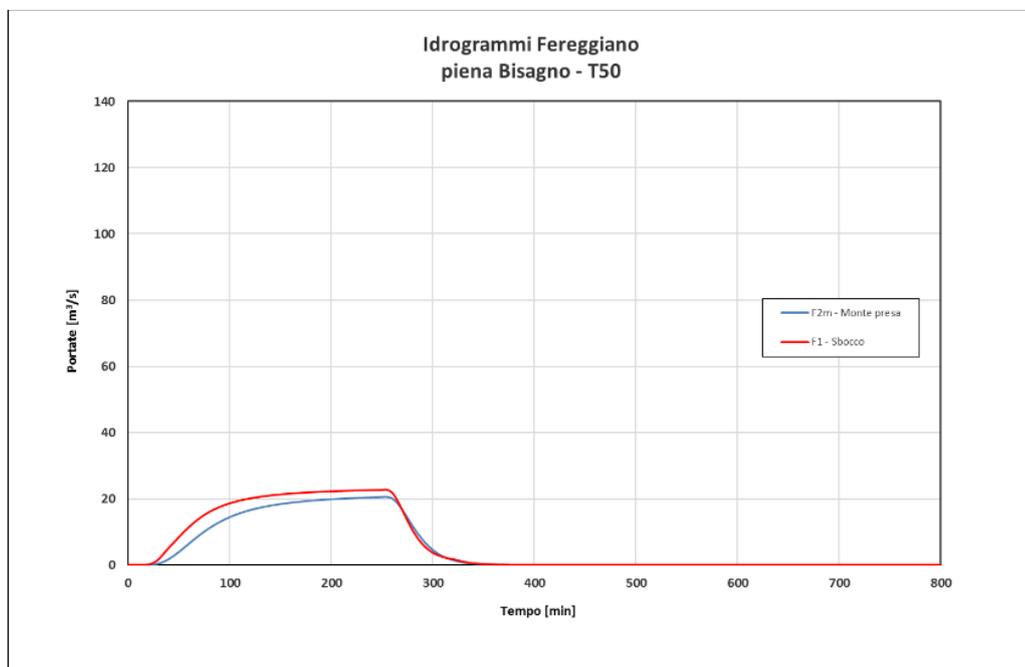


Figura 9

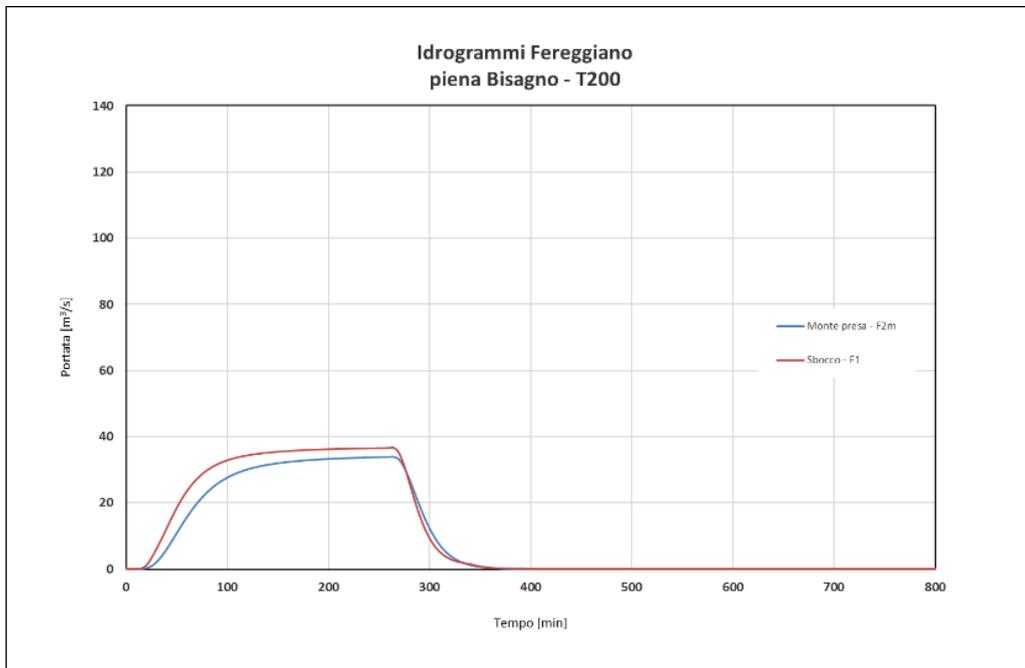


Figura 10

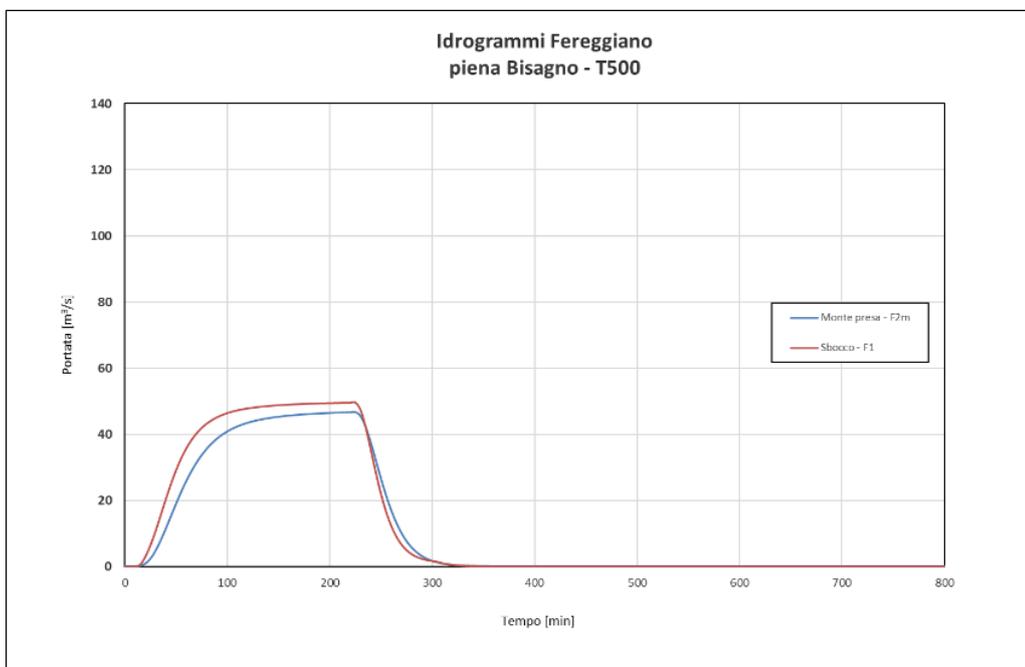


Figura 11

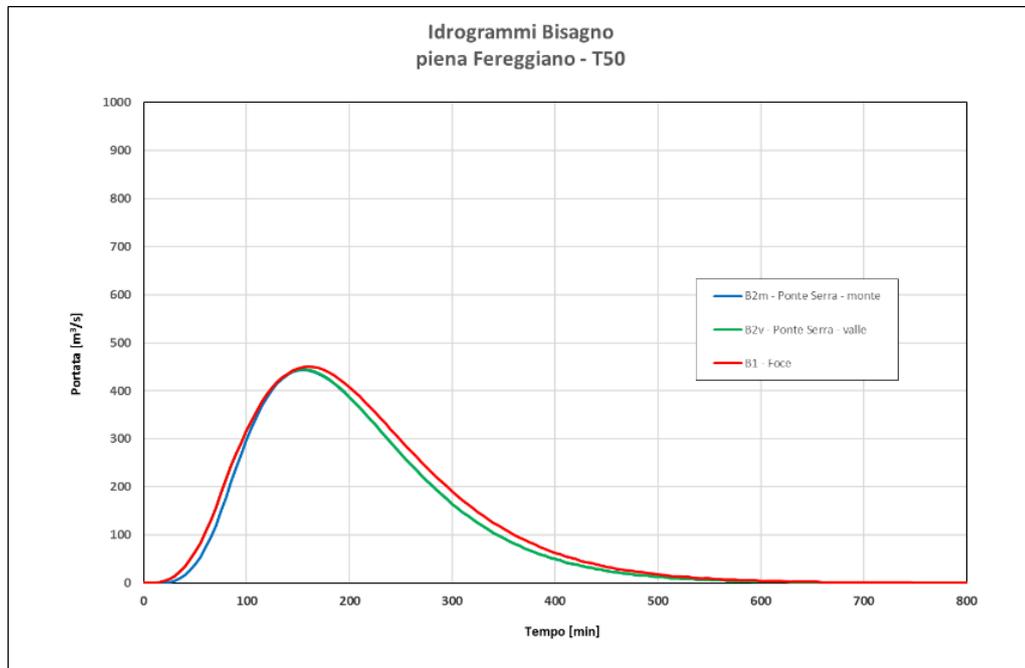


Figura 12

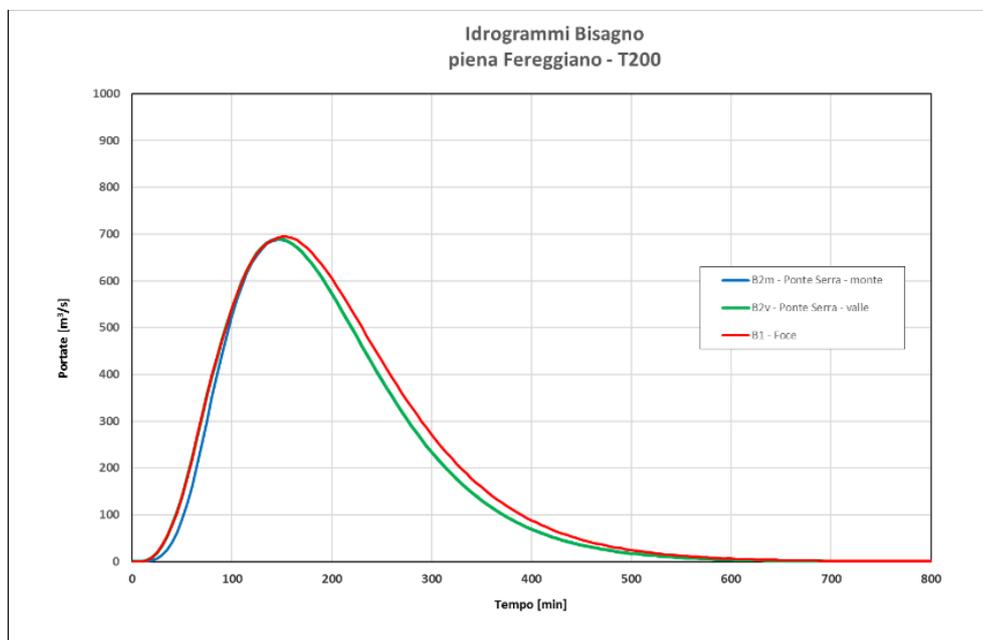


Figura 13

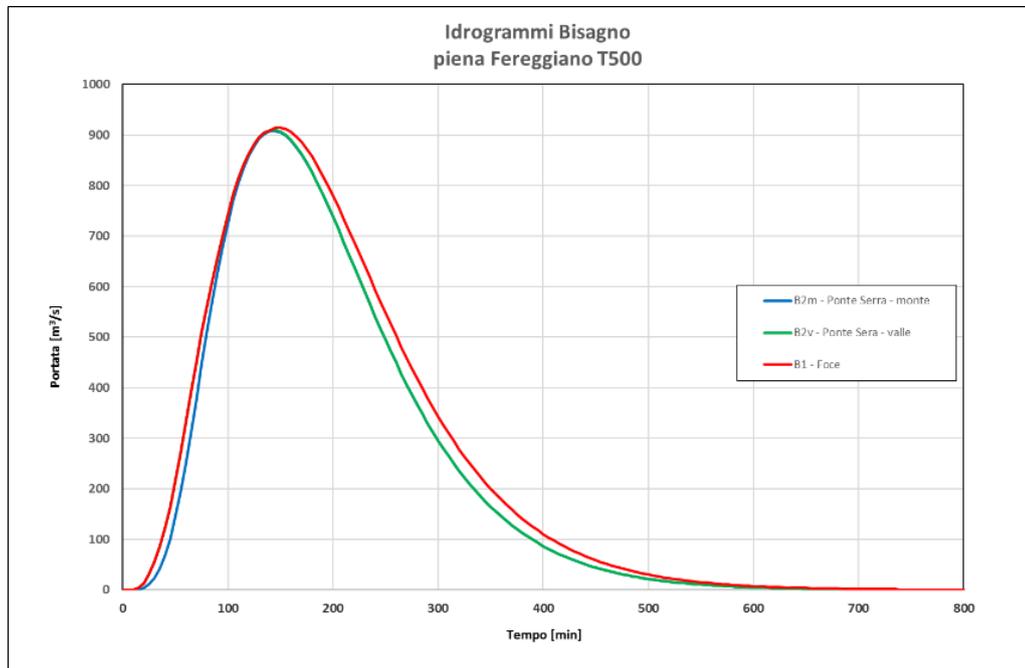


Figura 14

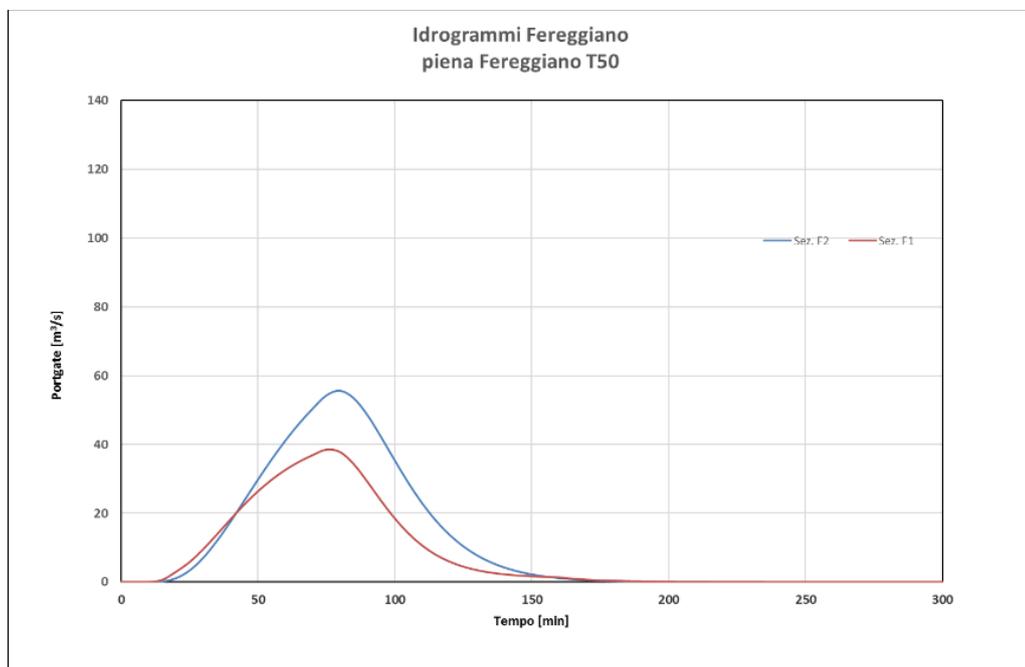


Figura 15

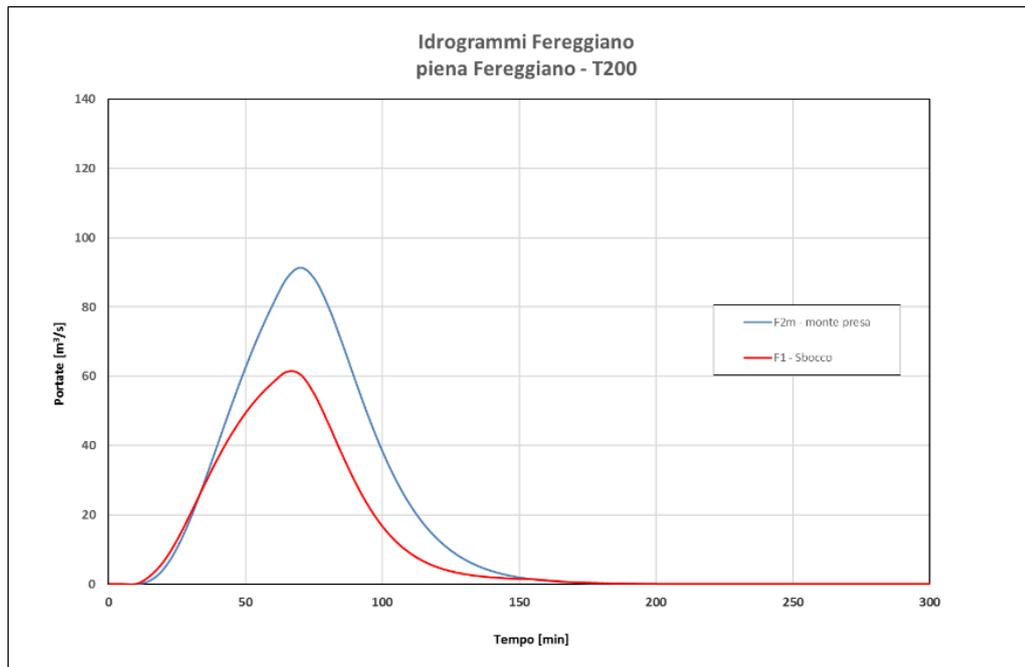


Figura 16

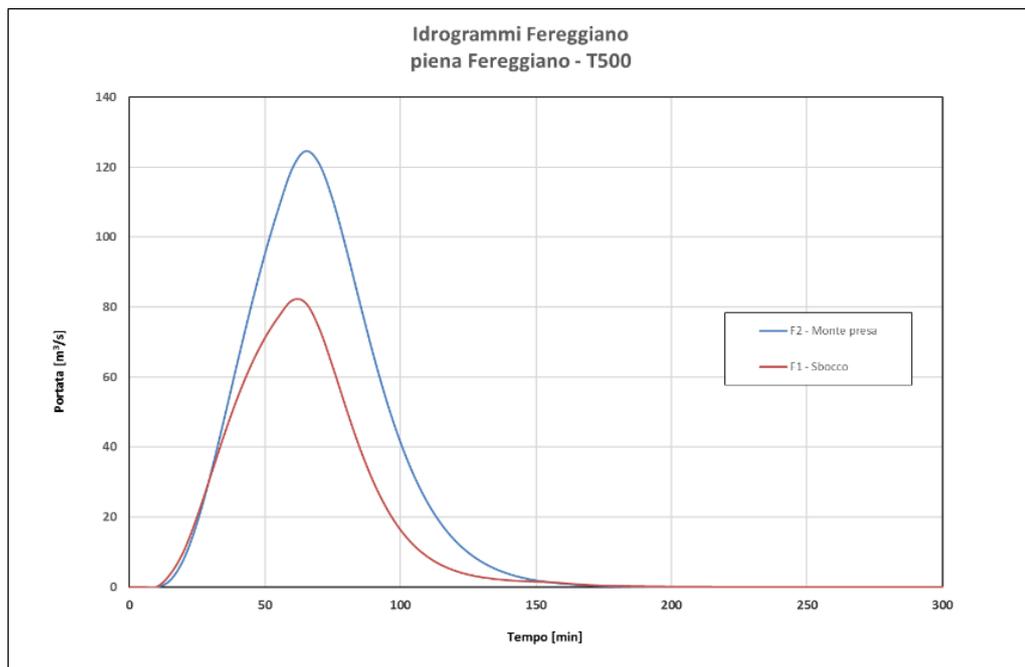


Figura 17

Data la complessità del fenomeno risulta evidente che se da una parte tali idrogrammi possono non rappresentare l'effettivo andamento delle portate durante l'evento, dall'altra ne costituiscono tuttavia una sintesi sufficientemente attendibile per gli scopi del presente studio.

I parametri e gli idrogrammi sopra riportati si riferiscono tutti alla condizione cosiddetta Q_{max} ossia a quella che produce il valore massimo della portata di picco

A completamento dell'analisi idrologica si riportano sotto i parametri e il grafico dell'idrogramma per la condizione V_{max} , ossia quello che produce il massimo valore del volume di esondazione per una portata di soglia prefissata.

Il calcolo è stato effettuato per la sola condizione di tempo di ritorno 200 anni sul torrente Bisagno nel tratto compreso tra ponte Serra e la foce (nodo B1) in condizioni indisturbate (assenza dello scolmatore del Fereggiano), assumendo un valore della portata di soglia di $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Negli altri tratti non si verifica infatti esondazione, mentre per il tratto terminale, dato il valore della portata di soglia (maggiore della Q_{50}) risulta evidente che per l'evento 50-ennale non è calcolabile l'idrogramma nella condizione V_{max} .

Nella tabella seguente sono riportati i parametri risultanti tra le due condizioni (Q_{max} e V_{max}) mentre nella figura seguente è riportato il confronto tra i due idrogrammi risultanti.

		$a^{(*)}$ [mm/h]	n	t_p [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_s [m ³ /s]	$V > Q_s$ [m ³]
T=200	Q_{max}	160	0.38	230	1300	1000	1.664.624
	V_{max}			270	1295		1.738.370

Tabella V

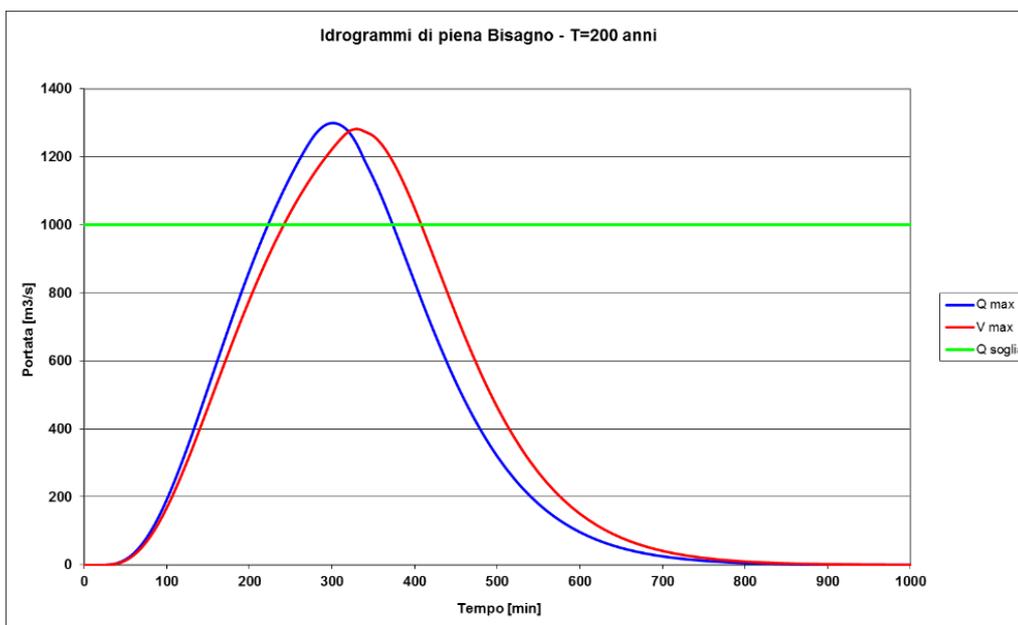


Figura 18

6 MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO

6.1 BASE TOPOGRAFICA E SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO

La modellazione idraulica dell'area urbana indagata è stata fatta a partire da una base topografica adeguata alla tipologia di studio e alla scala di dettaglio del modello.

In particolare per la definizione del dominio di calcolo sono state utilizzate le seguenti basi topografiche opportunamente integrate ed omogeneizzate tra loro:

- DTM fornito dal Ministero dell'Ambiente, prodotto con tecnologia Laser Scanner in volo (LIDAR), caratterizzato da una maglia quadrata 1x1 m;
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1:5000, vettoriale tridimensionale (formato DWG);
- Carta Tecnica con rilievo 1:1000 del Comune di Genova;
- elaborati di progetto dei lavori di adeguamento della copertura terminale del torrente Bisagno e quelli relativi allo scolmatore del Fereggiano, messi a disposizione dal Comune di Genova.

Il dominio di studio è stato schematizzato utilizzando i dati presenti nelle diverse basi topografiche disponibili suddividendo la zona di calcolo 2D (aree adiacenti al corso d'acqua) da quella 1D (alveo torrente Bisagno e rio Fereggiano).

Dominio 2D

La base topografica di partenza importata nel software è costituita dal LIDAR del Ministero dell'Ambiente.

Poiché il LIDAR tiene conto solamente della superficie geodetica del territorio, sono stati importati dalla Carta Tecnica Regionale tutti gli edifici presenti nell'area indagata a cui è stata assegnata la condizione di "poligoni vuoti" non attraversabili dal flusso della corrente.

E' stata fatta un'analisi della precisione e della completezza dei dati topografici del LIDAR al fine di verificarne l'adeguatezza per l'utilizzo nella modellazione.

L'analisi ha evidenziato che il LIDAR è affetto da alcune imprecisioni in quanto la risoluzione del modello non sempre riesce a rappresentare le forti discontinuità presenti nella topografia dell'area urbana indagata generando, in alcune zone, un rilievo geodetico del terreno che non rappresenta la realtà topografica dei luoghi.

Nel caso specifico si sono riscontrate alcune anomalie in termini di quote del terreno in corrispondenza dei sottopassi di Borgo Incrociati, Via Canevari, Via Archimede e Corso Sardegna.

La risoluzione delle imprecisioni è stata effettuata integrando la base cartografica del LIDAR con i rilievi e le altre cartografie tecniche disponibili.

A completamento del lavoro di integrazione sono state aggiunte una serie di condizioni interne, quali arginature, muri perimetrali di edifici, per rappresentare in modo più dettagliato e preciso la realtà urbana indagata.

Infine è stato individuato e creato il dominio 2D di allagamento sulla base delle dinamiche di esondazione dell'area e delle mappature risultanti dal Piano di Bacino.

Il dominio 2D individuato ha un'estensione di circa 540 ha.

Dominio 1D

Il dominio 1D riguarda l'alveo del torrente Bisagno e del rio Fereggiano per una lunghezza rispettivamente di circa 2.4 e 1.8 km.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte, in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti, ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti.

Il tratto è stato schematizzato, da valle verso monte, come segue:

- torrente Bisagno tratto terminale tombinato compreso tra la foce e la ferrovia: da sez. 0 a sez. 0.98 (lunghezza 1400 m circa);
- torrente Bisagno tratto a cielo aperto compreso tra la ferrovia e monte ponte Serra: da sez. 0.98 a sez. 26 (lunghezza 1000 m circa);
- rio Fereggiano tratto terminale tombinato compreso tra la confluenza e Via Fereggiano: da sez. 100 a sez. 1400 (lunghezza 700 m circa);
- rio Fereggiano tratto a cielo aperto compreso tra Via Fereggiano e Largo Merlo: da sez. 1400 a sez. 5900 (lunghezza 400 m circa);
- rio Fereggiano tratto tombinato compreso tra Largo Merlo e Via Pinetti: da sez. 5900 a sez. 9900 (lunghezza 400 m circa);
- rio Fereggiano tratto a cielo aperto compreso tra Via Pinetti e imbocco scolmatore: da sez. 9900 a sez. 11900 (lunghezza 180 m circa).

Nella figura 19 è riportato un estratto della schematizzazione del dominio di calcolo 1D-2D generato dal software di calcolo.

6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Lo studio relativo all'allagamento delle aree adiacenti al torrente Bisagno e al rio Fereggiano è stato effettuato implementando un modello idraulico bidimensionale con il software *Infoworks ICM*⁶.

⁶ *Infoworks ICM HR Wallingford Innovyze.*

Il software consente il calcolo in moto vario monodimensionale e bidimensionale di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane utilizzando la metodologia dei volumi finiti.

Tra i principali risultati fornisce per ciascun dominio di calcolo (maglia di discretizzazione) i massimi tiranti idrici e la massima velocità di scorrimento.

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 2 allegata alla presente relazione.

6.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Modello 2D

Il dominio di calcolo è stato discretizzato generando una *mesh* triangolare a differente superficie, allo scopo di seguire più fedelmente possibile la geometria dei luoghi.



Figura 19: Maglia di calcolo

I parametri principali relativi alla magliatura assunti nella modellazione sono i seguenti:

- dimensione massima dell'area dei triangoli generati pari a 50 m²;
- dimensione minima dell'area dei triangoli generati pari a 5 m²;
- magliatura variabile in funzione dell'andamento del terreno in modo che la variazione di quota tra i tre vertici non superi il valore di 0.20 m;
- coefficiente di scabrezza (coefficiente di Manning) di tutto il dominio pari a 0.025. Tale scelta è dovuta al fatto che l'area indagata è costituita da un'area urbana caratterizzata da viabilità e marciapiedi.

Il numero totale di triangoli generati dal software è pari a 129887, ognuno dei quali presenta un valore di quota univoco determinato sulla base della triangolazione dei punti del modello.

Al dominio di calcolo sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di output:* in corrispondenza dell'estremità Sud della maglia di calcolo (lato mare, in corrispondenza della spiaggia) si è assunta come condizione la profondità critica (“*Critical Depth*”).
- *Condizioni generali della maglia:* nei restanti tratti del dominio di calcolo non interessati dalle condizioni di Input e di Output si è assunta, a favore di sicurezza, la condizione al contorno di “*Vertical Wall*” che corrisponde all'inserimento di una barriera verticale impermeabile infinitamente alta che non lascia uscire l'acqua dal dominio di calcolo qualora in simulazione si verificasse presenza d'acqua al suo perimetro.

Modello 1D

I profili di rigurgito dei due corsi d'acqua sono stati integrati per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle imponendo al dominio di calcolo 1D le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di input:* sono costituite dagli idrogrammi di piena calcolati con la metodologia riportata nei paragrafi precedenti.
- *Condizioni di output:* in corrispondenza della sezione di valle (uscita a mare) è stata fissata la quota di 1 m s.l.m. per ogni portata dell'idrogramma per tenere conto degli effetti di innalzamento del livello del medio mare durante un evento meteorologico significativo.

In coerenza con i valori di riferimento indicati nelle Norme di Attuazione del Piano di Bacino la verifica è stata effettuata con i seguenti valori dei coefficienti di scabrezza di Manning:

Torrente Bisagno

- n=0.03 per il tratto a cielo aperto a monte del rilevato ferroviario, corrispondente a corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo;
- n=0.0265 per il tratto sotto il ponte ferroviario e per il primo tratto di tombinatura di raccordo fino al tratto rettilineo corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato;

$n=0.024^7$ per il tratto tombinato centrale, corrispondente a corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in buono stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.);

$n=0.022^8$ per la copertura terminale, corrispondente a corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque.

Rio Fereggiano

$n=0.033$ per il tratto a cielo aperto corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimentazione al fondo;

$n=0.0265$ per le due tombinature corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato.

Ai fini della simulazione idraulica, sono stati adottati i seguenti parametri:

- Passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo (*Timestep*) pari a 1 s.
- *Durata della simulazione* pari a 1500 minuti corrispondente a circa 6 volte la durata degli idrogrammi in input.

⁷ Data l'influenza della presenza dei setti sul totale della sezione bagnata, il valore di scabrezza relativo alla copertura terminale del torrente Bisagno è stato ricavato dall'applicazione della metodologia di Horton e Einstein riportata da Marchi, (E. Marchi - A. Rubatta, *Meccanica dei fluidi*, UTET, 1981) secondo cui la scabrezza equivalente k_s di Strickler (distribuita uniformemente sul perimetro) di un tratto costituito da elementi a scabrezza differente è calcolabile mediante la formulazione seguente:

$$k_s = \left(\frac{B}{\sum_1^N \frac{B_i}{k_{si}^{\frac{3}{2}}}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Nel caso in esame, il valore $n=0.024$ per il tratto rettilineo centrale della copertura è stato ricavato assumendo per le pareti il valore $k_s=45$ (corrispondente ad un valore $n=0.022$ di Manning) e per il fondo il valore $k_s=40$ (corrispondente ad un valore $n=0.025$ di Manning) e un perimetro bagnato costituito da 8 tratti verticali di 5 m ciascuno e il fondo di larghezza complessiva 48 m.

⁸ Il valore $n=0.022$ per il tratto terminale è stato ricavato assumendo per le pareti il valore $k_s=45$ e per il fondo il valore $k_s=44$ (corrispondente ad un valore $n=0.0227$ di Manning) e un perimetro bagnato costituito da 6 tratti verticali di 5 m ciascuno e il fondo di larghezza complessiva 62.5 m.

6.4 COERENZA CON IL MODELLO DEL PIANO DI BACINO

Il modello di calcolo adottato nel presente studio è coerente con quello utilizzato per la mappatura delle aree inondabili e per la determinazione dei tiranti e delle velocità di scorrimento riportati nel vigente Piano di Bacino del torrente Bisagno.

In particolare nella modellazione sono stati utilizzati idrogrammi di piena per assegnato tempo di ritorno coerenti con quelli del Piano di Bacino e sono stati adottati analoghi parametri e condizioni al contorno quali:

- LIDAR del Ministero dell'ambiente come base topografica;
- ipotesi di assenza di tutti i parapetti su entrambe le sponde assumendo come sommità arginale la quota del piano viabile;
- occlusione di ponte Castelfidardo in caso di evento 50-ennale. L'occlusione ha riguardato la prima campata in sinistra per il 20%.

6.5 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

Le verifiche e le modellazioni idrauliche sono state effettuate nella configurazione che prevede l'adeguamento della copertura del torrente Bisagno e la presenza dello scolmatore del rio Fereggiano.

Rispetto all'analisi idraulica contenuta nel Piano di Bacino, che ha condotto alla mappatura delle aree inondabili attualmente in vigore, tale configurazione comporta una maggiore capacità di smaltimento della copertura terminale e una portata in arrivo da monte depurata dalla quantità derivata dallo scolmatore del rio Fereggiano, sottratta alla piena del torrente Bisagno.

Le verifiche sono state effettuate per la portata 200-ennale nelle due ipotesi di evento di piena sul torrente Bisagno e di evento di piena sul rio Fereggiano.

6.6 RISULTATI

La portata 200-ennale, con piena sul torrente Bisagno, esonda su entrambe le sponde prevalentemente nel tratto compreso tra il ponte ferroviario e ponte Castelfidardo.

Le portate esondate si propagano verso valle attraverso i tre sottopassi carrabili di Via Canevari in sponda destra e di Via Archimede e Corso Sardegna in sponda sinistra, andando a saturare progressivamente le aree più depresse di valle.

Il volume complessivo esondato è pari a circa 80800 m³, l'estensione delle aree inondabili è limitata verso valle da Piazza della Vittoria in sponda destra e da Via Antonio Cecchi in sponda sinistra, con tiranti prevalentemente compresi tra 0.0 m e 0.3 m, con valori più elevati che raggiungono 2.5 m nelle aree più depresse comprese tra Via Granello e Via Cesarea in sponda destra e 2 m circa tra Via Tomaso Ivrea e Corso Buenos Aires in sponda sinistra.

I volumi esondati rimangono quindi confinati a monte di Piazza della Vittoria senza raggiungere le aree a valle.

La portata 200-ennale, con piena sul torrente Fereggiano, non provoca esondazioni ne sul torrente Fereggiano ne sul torrente Bisagno.

Negli Allegati 1a, 1b, sono riportati graficamente l'andamento dei valori massimi dei tiranti e delle velocità per evento di piena 200-ennale sul torrente Bisagno.

Vedi carte di piano

7 ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL MODELLO

Il modello adottato è stato implementato con le seguenti ipotesi di calcolo:

- esondazione concentrata interamente nel tratto compreso tra ponte ferroviario e ponte Serra, nell'ipotesi che tutta la portata di piena riesca a raggiungere il tratto terminale senza esondazioni;
- idrogrammi relativi alla condizione cosiddetta Q_{max} ;
- coefficienti di scabrezza n di Manning in alveo come riportato al paragrafo precedente;
- coefficiente di scabrezza n di Manning per le aree esterne pari a 0.025.

Al fine di valutare la robustezza del modello adottato e dei risultati ottenuti, è stata effettuata un'analisi di sensitività rivolta alla scelta più opportuna dei valori dei parametri di calcolo.

L'analisi è stata effettuata per la sola portata 200-ennale nella condizione di piena sul torrente Bisagno.

La prima condizione risulta di per se stesa cautelativa ai fini della inondabilità delle aree a valle e dunque non vengono analizzate configurazioni alternative.

E' stata invece analizzata l'influenza dei seguenti parametri e/o scenari:

- adozione di idrogrammi di piena relativi alla condizione V_{max} (massimo volume esondabile con soglia prefissata) rispetto a quelli della condizione Q_{max} ;
- variazione dei coefficienti di scabrezza in alveo;
- variazione del coefficiente di scabrezza delle aree esterne soggette ad allagamento.

7.1 IDROGRAMMI DI PIENA

Il confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alle due configurazioni Q_{max} e V_{max} riportato al capitolo 5, mostra come essi risultino del tutto simili come forma, con portata di picco leggermente inferiore per la configurazione V_{max} e volumi sottesi tra la portata di soglia e la portata di picco del tutto simili.

I risultati delle simulazioni con tali parametri hanno mostrato come le aree inonadabili per tali configurazioni risultino pressocché identiche senza apprezzabili variazioni.

Le simulazioni che seguono sono quindi state effettuate per la sola configurazione Q_{max} .

7.2 SCABREZZA DEL FONDO ALVEO

In coerenza con le verifiche riportate nel Piano di Bacino e con i valori di riferimento indicati nelle Norme di Attuazione la condizione naturale del Bisagno è quella caratterizzata dai valori di scabrezza di Manning adottati per le verifiche in moto permanente descritte ai paragrafi precedenti e precisamente:

Condizione 1 (base)

Torrente Bisagno

- n=0.03 per il tratto a cielo aperto a monte del rilevato ferroviario
- n=0.0265 per il tratto sotto il ponte ferroviario e di raccordo con la tombinatura rettilinea
- n=0.024 per il tratto tombinato centrale
- n=0.022 per la copertura terminale

Rio Fereggiano

- n=0.033 per il tratto a cielo aperto
- n=0.0265 per le due tombinature

Al fine di analizzare la possibile variazione dello stato dell'alveo con maggiori o minori irregolarità del fondo e delle sponde dovute a più o meno interventi di manutenzione o condizioni di deposito o erosione localizzata non facilmente prevedibili, sono stati messi a confronto i risultati della modellazione con diversi valori di scabrezza in alveo, a parità di scabrezza delle aree esterne, e in particolare:

Condizione 2 (condizione peggiore, alveo più scabro)

Torrente Bisagno

- n=0.033 per il tratto a cielo aperto a monte del rilevato ferroviario (k=30 di Strickler)
- n=0.0280 per il tratto sotto il ponte ferroviario (k=35 di Strickler)
- n=0.026 per il tratto tombinato centrale (k=38 di Strickler)
- n=0.0228 per la copertura terminale (k=44 di Strickler)

Rio Fereggiano

- n=0.04 per il tratto a cielo aperto
- n=0.028 per le due tombinature

Condizione 3 (condizione migliore, alveo meno scabro)

Torrente Bisagno

- n=0.028 per il tratto a cielo aperto a monte del rilevato ferroviario (k=35 di Strickler)
- n=0.0250 per il tratto sotto il ponte ferroviario (k=40 di Strickler)
- n=0.023 per il tratto tombinato centrale (k=43 di Strickler)
- n=0.021 per la copertura terminale (k=47 di Strickler)

Rio Fereggiano

- n=0.03 per il tratto a cielo aperto
- n=0.025 per le due tombinature

Tali valori tengono conto dei limiti inferiori e superiori delle diverse “fasce” di applicabilità dei coefficienti riportate nelle norme di attuazione del Piano di Bacino.

I calcoli sono stati effettuati per l'evento 200-ennale nella condizione Q_{max} (risultata la più cautelativa).

I risultati sono riportati graficamente negli Allegati 2a, 2b (condizione 2), 3a, 3b (condizione 3).

Essi mostrano una marcata sensibilità alla variazione dei coefficienti di scabrezza.

La condizione peggiore per le aree inondabili è rappresentata dalla condizione 2, che induce livelli di piena in alveo maggiori da 0.2 m a 1.0 m circa rispetto alla condizione 3 e quindi un maggiore volume di esondazione, con effetto di una maggiore estensione delle aree inondabili e relativi tiranti.

La condizione 3 annulla praticamente i volumi esondati, rimanendo la portata 200-ennale quasi interamente contenuta in alveo.

Il volume complessivo esondato risulta pari a circa 80800 m³ nella condizione 1 (condizione base), scende a circa 5850 m³ nella condizione 3 e si incrementa sino a circa 304900 m³ nella condizione 2.

7.3 SCABREZZA AREE ESTERNE

Allo stesso modo è stata valutata l'influenza della scabrezza delle aree esterne ripetendo il calcolo (a parità di scabrezza in alveo) per valori della scabrezza n di Manning rispettivamente pari a 0.02 (minimo), 0.025 (base) e 0.03 (massimo), quindi con una variabilità compresa tra lo 0 e il 50%.

Anche in questo caso il calcolo è stato effettuato per l'evento 200-ennale nella condizione Q_{max} (risultata la più cautelativa) e scabrezza in alveo relativa alla condizione 2.

I risultati mostrano che gli effetti sulle aree inondabili sia in termini di estensione che di tiranti e velocità non cambia in maniera significativa tra una configurazione e l'altra.

Ciò è spiegabile in parte col fatto che l'allagamento delle aree, e in particolare a valle del rilevato ferroviario, avviene per progressivo riempimento delle aree più depresse senza alcuna possibilità di deflusso all'esterno, al di fuori della rete di smaltimento delle acque meteoriche.

Nella tabella seguente sono riportate la superfici progressive allagate all'aumentare dei tiranti per le diverse classi di scabrezza adottate e la differenza percentuale rispetto alla configurazione base ($n=0.025$).

Tiranti [m]	A (n=0.020) [m ²]	Differenza percentuale	A (n=0.025) [m ²]	Differenza percentuale	A (n=0.030) [m ²]	Differenza percentuale
< 0.3	232218	-2.34%	226917	0.00%	224849	0.91%
< 0.5	328759	-1.49%	323936	0.00%	321638	0.71%
< 0.7	384921	-0.12%	384471	0.00%	385066	-0.15%
< 1.0	437682	0.10%	438133	0.00%	440349	-0.51%
< 2.0	525085	0.43%	527373	0.00%	531067	-0.70%

Tabella VI: differenze estensione aree inondabili-tiranti al variare del coefficiente n

I risultati confermano il minor peso della scabrezza delle aree esterne sui risultati della modellazione.

7.4 RISULTATI

Sulla base delle verifiche e delle analisi di sensitività del modello bidimensionale di allagamento riportate ai paragrafi precedenti è stata effettuata la simulazione per i vari tempi di ritorno (50, 200 e 500 anni) con evento di piena sul Bisagno e sul Fereggiano, considerando la condizione più cautelativa tra quelle esaminate, che conduce a una maggiore estensione delle aree inondabili e dei relativi tiranti.

Tale condizione è quella che prevede l'adozione dei seguenti parametri:

- idrogramma relativo alla condizione Q_{max} ;
- parametri di scabrezza n di Manning in alveo relativi alla Condizione 2
- parametro di scabrezza n di Manning per le aree esterne pari a 0.025.

I risultati della simulazione confermano le dinamiche di esondazione descritte nei paragrafi precedenti.

La portata 50-ennale, con piena sul torrente Bisagno e sul rio Fereggiano, risulta ampiamente contenuta entro gli argini, con franchi adeguati anche all'interno delle coperture e pertanto non causa esondazioni lungo i tratti esaminati.

La portata 200-ennale con evento di piena sul rio Fereggiano risulta contenuta entro gli argini senza provocare esondazione.

La portata 200-ennale, con piena sul torrente Bisagno, esonda su entrambe le sponde prevalentemente nel tratto compreso tra il ponte ferroviario e passerella Firpo.

Le portate esondate si propagano verso valle attraverso i tre sottopassi carrabili di Via Canevari in sponda destra e di Via Archimede, Corso Sardegna e Via Giacometti fino a Piazza Martinez in sponda sinistra, andando a saturare progressivamente le aree più depresse di valle.

Il volume complessivo esondato è pari a circa 304900 m³, l'estensione delle aree inondabili è limitata verso valle da Piazza della Vittoria in sponda destra e da Piazzale Kennedy in sponda sinistra, con tiranti prevalentemente compresi tra 0.0 m e 0.3 m, con valori più elevati che raggiungono 2.5 m nelle aree più depresse comprese tra Via Granello e Via Cesarea in sponda destra e tra Corso Carlo Barabino e via Antonio Cecchi in sponda sinistra.

La portata 500-ennale con piena sul rio Fereggiano provoca esondazioni nel tratto di tombinatura terminale andando ad allagare le aree comprese tra Via Fereggiano, Via Monticelli e la confluenza con il torrente Bisagno.

La portata 500-ennale con evento di piena sul torrente Bisagno si propaga come la portata 200-ennale con tiranti maggiori mediamente di circa 1 m.

Negli Allegati 4a e 4b sono riportate le mappature dei tiranti e delle velocità massime per l'evento di piena 200-ennale sul torrente Bisagno e negli Allegati 4c e 4d per l'evento di piena sul rio Fereggiano.

Vedi carte di piano

Negli Allegati 5a e 5b sono riportate le mappature dei tiranti e delle velocità massime per l'evento di piena 500-ennale sul torrente Bisagno e negli Allegati 5c e 5d per l'evento di piena sul rio Fereggiano.

Per la portata 50-ennale non sono state riportate le mappature, in quanto non provoca esondazione.

8 RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE INONDABILI

Sulla base delle verifiche e delle analisi riportate ai paragrafi precedenti, è stata redatta una nuova mappatura delle aree inondabili per il tratto terminale del torrente Bisagno compreso fra ponte Serra e la foce, e per il tratto di rio Fereggiano compreso fra l'opera di presa del canale scolmatore e lo sbocco nel torrente Bisagno, secondo i criteri della DGR 91/13.

La mappatura proposta fa riferimento ai seguenti parametri:

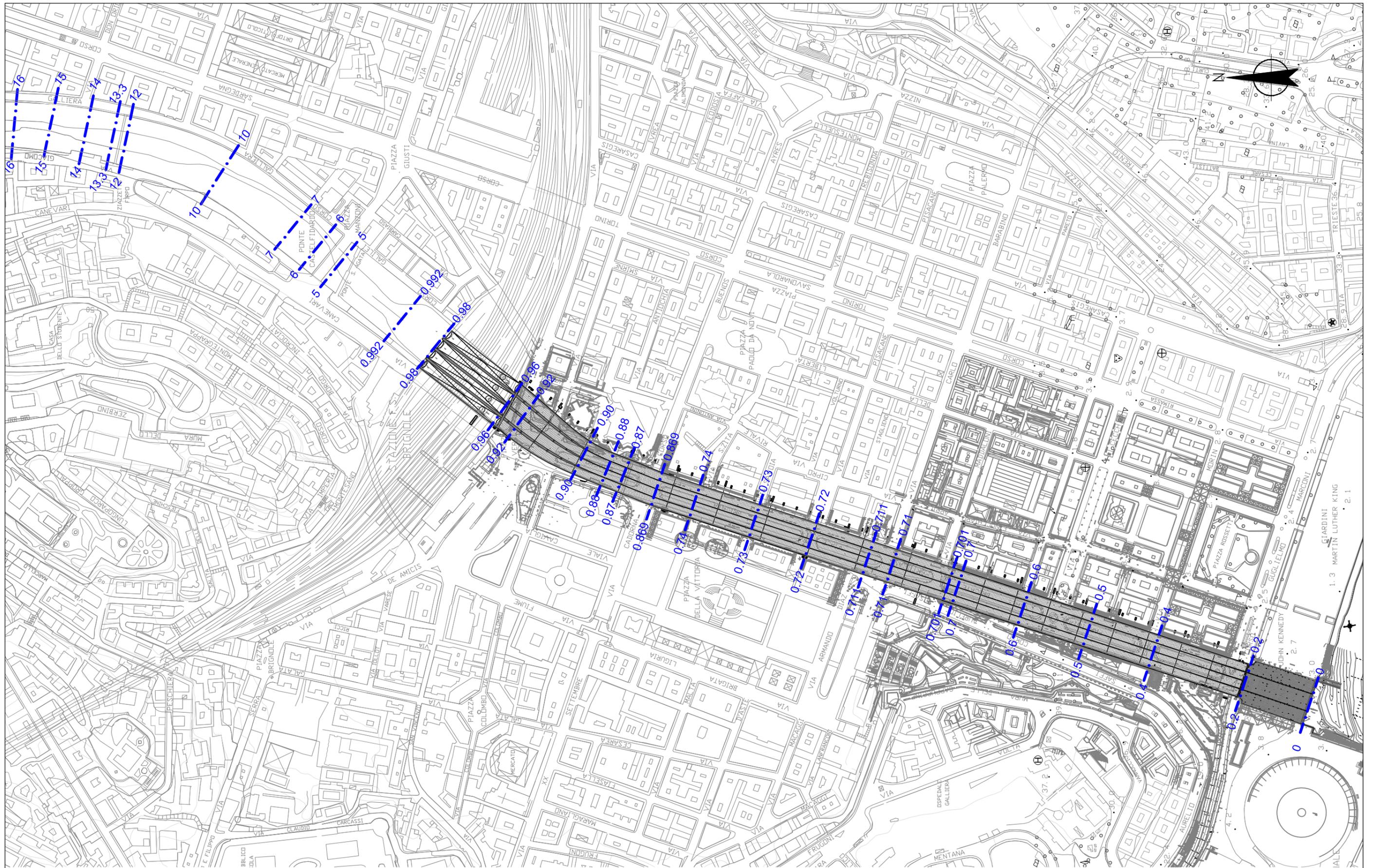
- idrogrammi di piena relativi alla condizione Q_{max}
- parametri di scabrezza n di Manning in alveo relativi alla Condizione 2 "peggiore"
- parametro di scabrezza n di Manning per le aree esterne pari a 0.025.
- assenza dei parapetti su entrambe le sponde assumendo come sommità arginale la quota del piano viabile
- inviluppo delle simulazioni con evento di piena sul torrente Bisagno e con evento di piena sul rio Fereggiano
- avvenuto completamento delle opere di adeguamento della copertura terminale e dello scolmatore del rio Fereggiano

Nell'Allegato 6 è riportato l'inquadramento generale dell'intera mappatura mentre negli Allegati 6a, 6b, 6c e 6d sono riportati i vari stralci della mappatura in scala 1:5000.

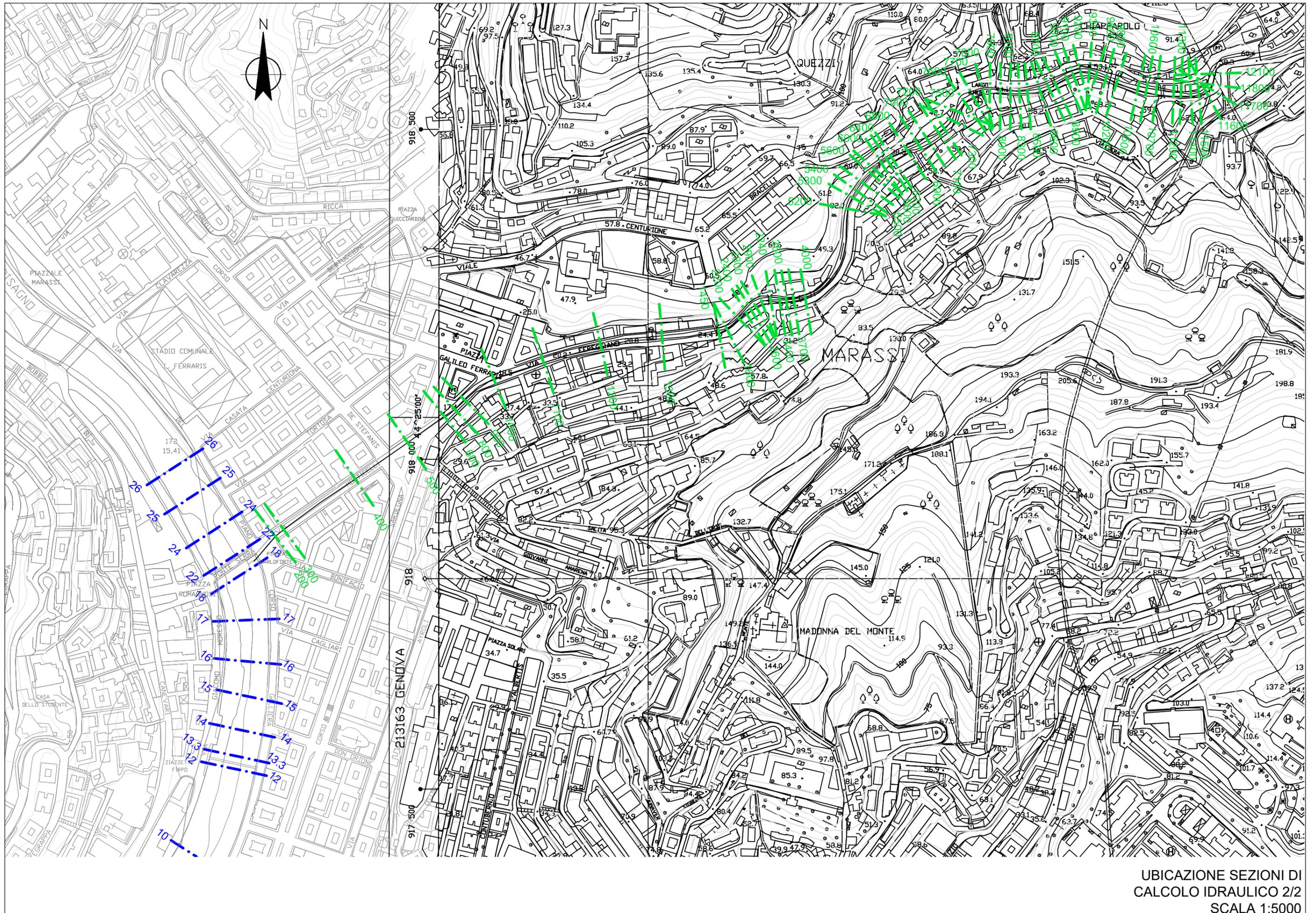
Vedi carte di piano

ALLEGATO A

GRANDEZZE IDRAULICHE IN ALVEO



UBICAZIONE SEZIONI DI
CALCOLO IDRAULICO 1/2
SCALA 1:5000



UBICAZIONE SEZIONI DI
CALCOLO IDRAULICO 2/2
SCALA 1:5000

BISAGNO

T=50 anni

scabrezza alveo 0.033-0.028-0.026-0.0228, aree esterne 0.025

<i>Chainage (m)</i>	<i>Section key</i>	<i>Bed level (m AD)</i>	<i>Section depth (m)</i>	<i>Section flow (m3/s)</i>	<i>Section Froude number</i>	<i>Section velocity (m/s)</i>	<i>Section total head (m AD)</i>
0	26.0	9.31	3.98	736.7	0.47	2.88	13.7
55	25.0	9.37	3.75	736.7	0.53	3.15	13.6
114	24.00	9.4	3.54	736.7	0.58	3.32	13.5
154	23.00	9.11	3.75	736.7	0.56	3.18	13.4
164	22.00	9.11	3.72	736.6	0.57	3.21	13.4
186	19.50	9.63	2.20	746.5	2.06	5.42	13.3
188	19.00	9.63	2.17	746.5	5.48	7.00	13.3
191	18.00	8.53	3.31	746.5	0.73	3.82	12.6
201	17.50	8.53	3.26	746.5	0.99	3.91	12.6
231	17.40	8.13	3.50	746.5	0.75	4.02	12.4
249	17.20	8.13	3.38	746.5	0.80	4.18	12.4
259	17.00	8.13	3.31	746.5	0.83	4.29	12.4
323	16.00	7.64	3.48	746.5	0.79	4.13	12.0
375	15.00	7.73	3.09	746.4	8.59	5.96	11.7
412	14.50	7.56	3.16	746.4	0.69	3.67	11.4
427	14.00	7.56	3.08	746.4	0.71	3.77	11.4
456	13.50	7.56	2.91	746.4	0.92	4.01	11.3
468	13.30	7.33	3.12	746.4	0.72	3.78	11.2
477	13.00	7.33	3.07	746.4	0.74	3.86	11.2
488	12.00	7.3	3.05	746.4	0.75	3.87	11.1
536	11.00	6.98	3.14	746.4	0.76	3.88	10.9
627	10.00	6.27	3.42	746.3	0.76	3.83	10.4
627	10.00	6.27	3.42	765.1	0.77	3.92	10.5
679	9.00	6.12	3.29	765.1	0.80	4.03	10.2
721	8.00	5.88	3.26	765.1	0.87	4.28	10.1
759	7.00	5.88	2.99	765.1	0.92	4.43	9.9
805	6.00	5.74	2.77	765.1	1.78	4.64	9.6
815	5.30	5.11	3.40	765.1	0.77	3.94	9.3
845	5.05	5.11	3.13	765.1	0.94	4.37	9.2
854	5.04	5.11	3.06	765.1	1.07	4.50	9.2
855	5.00	5.11	3.05	765.1	1.23	5.19	9.5
857	4.99	5.11	3.02	765.1	1.32	5.26	9.5
858	4.90	5.11	3.02	765.1	1.16	4.55	9.2
913	0.993	4.97	2.91	765.1	2.47	3.62	8.6
966	0.992	4.71	3.02	765.0	15.60	5.24	8.3
1013	0.991	4.48	3.14	765.0	0.62	3.30	8.2
1026	0.990	4.4	3.21	765.0	0.59	3.18	8.1
1029	0.98	4.4	3.19	765.0	0.59	3.20	8.1
1155	fs valle	4.4	2.74	765.0	0.97	4.75	7.9
1185	0.92	3.97	3.13	765.0	0.86	4.08	7.4
1231	0.91	3.37	3.70	765.0	0.71	3.94	7.0
1286	0.90	2.52	3.98	765.0	0.65	4.02	6.8
1326	0.88	1.97	3.92	765.0	0.68	4.11	6.6
1466	0.74	1.85	3.90	764.9	0.66	4.05	6.1
2319	0.20	1.35	2.97	764.8	0.98	5.32	2.8
2420	Bisagno_DS	-1.61	2.97	764.8	0.77	4.13	1.9

FEREGGIANO

T=50 anni

scabrezza alveo 0.04-0.028, aree esterne 0.025

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m ³ /s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	12100	50.35	0.98	38.5	2.15	5.52	52.9
0	12000	50.3	1.00	38.5	1.77	5.07	52.6
4	11900	50.1	1.00	38.5	1.80	5.10	52.4
17	11800	49.2	1.25	38.5	1.27	3.72	51.2
24	11700	49	1.33	38.5	1.45	2.90	50.8
34	11600	48.55	1.61	38.5	1.02	3.31	50.7
47	11500	48.35	1.57	38.5	1.04	3.48	50.5
58	11400	47.95	1.76	38.5	0.91	3.12	50.2
74	11300	47.74	1.71	38.5	1.02	3.41	50.0
85	11200	47.55	1.66	38.5	1.41	3.87	50.0
98	11100	47.4	1.52	38.5	1.03	3.81	49.7
100	11000	47.34	1.54	38.5	0.82	3.01	49.3
103	10800	47.34	1.51	38.5	0.86	3.13	49.4
111	10700	47.28	1.45	38.5	0.95	3.30	49.3
127	10600	47.1	1.37	38.5	0.99	3.31	49.0
140	10500	46.83	1.33	38.5	1.36	4.45	49.2
141	10400	46.85	1.29	38.5	1.32	4.35	49.1
159	10300	46.4	1.22	38.5	1.19	3.58	48.3
174	10200	46.06	1.21	38.5	1.16	3.40	47.9
345	81	38.65	1.25	38.4	0.87	3.07	40.4
574	64	31.9	1.25	38.4	1.25	4.38	34.1
599	5800	30.38	1.50	38.4	0.95	3.57	32.5
606	5700	30.26	1.43	38.4	1.47	4.79	32.9
607	5600	30.26	1.40	38.4	1.44	4.74	32.8
626	5500	29.82	0.98	38.4	2.13	4.66	31.9
641	5400	28.59	1.80	38.4	0.76	2.85	30.8
653	5300	28.49	1.75	38.4	1.07	4.00	31.1
672	5200	28.15	1.54	38.4	1.54	5.29	31.1
673	5100	28.15	1.48	38.4	1.71	5.62	31.2
696	4400	26.72	2.07	38.4	0.87	3.63	29.5
738	4300	25.88	2.02	38.4	1.38	4.81	29.1
774	4200	25.18	1.94	38.4	0.76	3.05	27.6
828	4000	24.7	1.74	38.4	0.85	3.34	27.0
843	3900	24.64	1.70	38.4	0.71	2.73	26.7
848	3800	24.64	1.63	38.4	0.77	2.89	26.7
856	3700	24.64	1.46	38.4	0.92	3.24	26.6
857	3600	24.64	1.44	38.4	0.95	3.32	26.6
868	3500	24.53	1.36	38.4	1.00	3.31	26.4
879	3400	24.38	1.33	38.4	2.36	3.31	26.3
887	3300	24.26	1.36	38.4	0.70	2.39	25.9
891	3200	24.26	1.31	38.4	0.75	2.50	25.9
895	3100	24.26	1.05	38.4	1.34	3.71	26.0
896	3000	24.26	1.01	38.4	1.43	3.89	26.0
906	2900	23.62	1.30	38.4	1.39	3.75	25.6
918	2800	23.21	1.38	38.4	1.66	3.50	25.2
924	2700	23.2	1.31	38.4	0.78	2.56	24.8
927	2600	23.19	1.26	38.4	1.54	3.84	25.2
933	2500	23.2	1.07	38.4	1.15	3.71	25.0
936	2400	23	1.17	38.4	1.26	4.02	25.0
944	2300	22.75	1.06	38.4	1.93	5.94	25.6
950	2200	22.5	0.78	38.4	2.09	5.79	25.0
955	2100	21.65	1.08	38.4	3.68	7.49	25.6
961	2000	20.82	1.14	38.4	1.79	4.12	22.8
963	1900	20.34	1.56	38.4	1.00	3.59	22.6
970	1800	20.46	1.30	38.4	2.34	3.66	22.4
974	1700	20.23	1.45	38.4	0.95	3.46	22.3
978	1600	20.16	1.42	38.4	1.40	4.82	22.8
985	1500	20.02	1.36	38.4	0.99	3.45	22.0
990	1450	20.2	1.04	38.4	32.43	22.86	46.9
990	1420	19.5	1.73	38.4	0.96	3.45	21.8
992	1410	19.5	1.69	38.4	1.00	3.56	21.8
1428	7	12.3	1.81	38.3	0.72	14.58	3.0
1592	4	10.35	2.43	38.3	0.46	13.07	2.4
1789	Sbocco Bisagno	10	1.94	38.3	0.64	12.37	2.9
1823	serra valle	10.3	1.63	38.3	1.00	12.75	4.0

BISAGNO

T=200 anni

scabrezza alveo 0.033-0.028-0.026-0.0228, aree esterne 0.025

<i>Chainage (m)</i>	<i>Section key</i>	<i>Bed level (m AD)</i>	<i>Section depth (m)</i>	<i>Section flow (m3/s)</i>	<i>Section Froude number</i>	<i>Section velocity (m/s)</i>	<i>Section total head (m AD)</i>
0	26.0	9.31	5.16	1201.2	0.51	3.59	15.1
55	25.0	9.37	4.91	1201.2	0.57	3.88	15.0
114	24.00	9.4	4.70	1201.1	0.61	4.00	14.9
154	23.00	9.11	4.93	1201.1	0.58	3.81	14.8
164	22.00	9.11	4.90	1201.1	0.59	3.84	14.8
186	19.50	9.63	3.20	1220.0	2.06	5.91	14.6
188	19.00	9.63	3.18	1220.0	5.48	7.00	14.6
191	18.00	8.53	4.36	1220.0	0.75	4.55	13.9
201	17.50	8.53	4.30	1220.0	1.00	4.62	13.9
231	17.40	8.13	4.51	1219.9	0.79	4.88	13.9
249	17.20	8.13	4.40	1219.9	0.83	5.02	13.8
259	17.00	8.13	4.33	1219.9	0.85	5.11	13.8
323	16.00	7.64	4.52	1219.9	0.82	4.89	13.4
375	15.00	7.73	4.17	1218.6	8.65	6.00	13.1
412	14.50	7.56	4.29	1214.5	0.72	4.33	12.8
427	14.00	7.56	4.22	1213.5	0.74	4.40	12.8
456	13.50	7.56	4.07	1213.9	0.92	4.60	12.7
468	13.30	7.33	4.30	1213.1	0.75	4.40	12.6
477	13.00	7.33	4.24	1213.1	0.77	4.48	12.6
488	12.00	7.3	4.23	1213.3	0.78	4.46	12.5
536	11.00	6.98	4.39	1214.5	0.79	4.41	12.3
627	10.00	6.27	4.86	1214.0	0.78	4.32	12.0
627	10.00	6.27	4.86	1241.0	0.78	4.35	12.0
679	9.00	6.12	4.86	1239.7	0.81	4.41	11.8
721	8.00	5.88	4.97	1237.2	0.88	4.60	11.7
759	7.00	5.88	4.88	1237.6	0.92	4.68	11.6
805	6.00	5.74	4.92	1237.5	1.78	4.82	11.4
815	5.30	5.11	5.63	1237.5	0.77	4.15	11.4
845	5.05	5.11	5.36	1237.5	0.94	4.55	11.2
854	5.04	5.11	5.33	1237.5	1.07	4.66	11.1
855	5.00	5.11	5.17	1237.5	1.23	5.36	11.3
857	4.99	5.11	5.15	1237.5	1.33	5.41	11.3
858	4.90	5.11	5.32	1237.5	1.16	4.69	11.1
913	0.993	4.97	5.51	1237.4	2.43	3.76	11.0
966	0.992	4.71	5.77	1229.3	15.59	5.24	10.9
1013	0.991	4.48	6.02	1193.7	0.62	3.41	10.9
1026	0.990	4.4	6.13	1179.4	0.59	3.29	10.9
1029	0.98	4.4	6.13	1179.1	0.60	3.30	10.9
1155	fs valle	4.4	5.82	1179.1	0.97	4.88	10.7
1185	0.92	3.97	6.01	1179.1	0.86	5.02	10.7
1231	0.91	3.37	6.50	1179.1	0.72	4.33	10.0
1286	0.90	2.52	6.66	1179.1	0.65	4.33	9.6
1326	0.88	1.97	6.51	1179.1	0.68	4.39	9.3
1466	0.74	1.85	6.24	1179.1	0.66	4.34	8.5
2319	0.20	1.35	3.95	1179.0	0.99	6.16	4.3
2420	Bisagno_DS	-1.61	3.35	1179.0	0.98	5.64	3.0

FEREGGIANO

T=200 anni

scabrezza alveo 0.04-0.028, aree esterne 0.025

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m ³ /s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	12100	50.35	1.28	61.2	2.15	6.62	53.9
0.5	12000	50.3	1.30	61.2	1.78	6.03	53.5
4	11900	50.1	1.31	61.2	1.80	5.85	53.2
17	11800	49.2	1.68	61.2	1.27	4.25	51.8
24	11700	49	1.76	61.2	1.45	3.40	51.3
34	11600	48.55	2.01	61.2	0.98	4.13	51.4
47	11500	48.35	1.96	61.2	1.06	4.08	51.2
58	11400	47.95	2.16	61.2	0.94	3.73	50.8
74	11300	47.74	2.10	61.2	1.04	4.02	50.7
85	11200	47.55	2.07	61.1	1.41	4.58	50.7
98	11100	47.4	1.91	61.1	1.13	4.74	50.5
100	11000	47.34	1.93	61.1	0.90	3.75	50.0
103	10800	47.34	1.89	61.1	0.95	3.88	50.0
111	10700	47.28	1.82	61.1	1.03	4.02	49.9
127	10600	47.1	1.73	61.1	1.05	4.02	49.7
140	10500	46.83	1.67	61.1	1.44	5.40	50.0
141	10400	46.85	1.62	61.1	1.41	5.32	49.9
159	10300	46.4	1.52	61.1	1.24	4.29	48.9
174	10200	46.06	1.50	61.1	1.20	4.04	48.4
345	81	38.65	1.61	61.1	0.96	3.80	41.0
574	64	31.9	1.61	61.1	1.37	5.42	35.0
599	5800	30.38	1.91	61.1	1.04	4.42	33.3
606	5700	30.26	1.81	61.1	1.50	5.63	33.7
607	5600	30.26	1.78	61.1	1.48	5.60	33.6
626	5500	29.82	1.39	61.1	2.13	5.16	32.6
641	5400	28.59	2.28	61.1	0.79	3.40	31.5
653	5300	28.49	2.21	61.1	1.11	4.79	31.9
672	5200	28.15	2.00	61.1	1.54	6.07	32.0
673	5100	28.15	1.95	61.1	1.72	6.33	32.1
696	4400	26.72	2.63	61.1	0.92	4.40	30.3
738	4300	25.88	2.53	61.1	1.39	5.23	29.8
774	4200	25.18	2.48	61.5	0.80	3.67	28.3
828	4000	24.7	2.19	61.1	0.93	4.13	27.8
843	3900	24.64	2.09	61.1	0.80	3.44	27.3
848	3800	24.64	2.01	61.1	0.86	3.62	27.3
856	3700	24.64	1.83	61.1	1.00	3.98	27.3
857	3600	24.64	1.81	61.1	1.03	4.06	27.3
868	3500	24.53	1.72	61.1	1.05	3.99	27.1
879	3400	24.38	1.68	61.1	2.36	3.94	26.9
887	3300	24.26	1.70	61.1	0.76	2.94	26.4
891	3200	24.26	1.65	61.1	0.81	3.05	26.4
895	3100	24.26	1.32	61.1	1.37	4.35	26.5
896	3000	24.26	1.29	61.1	1.44	4.50	26.6
906	2900	23.62	1.61	61.1	1.40	4.36	26.2
918	2800	23.21	1.72	61.1	1.67	3.98	25.7
924	2700	23.2	1.63	61.1	0.84	3.14	25.3
927	2600	23.19	1.59	61.1	1.54	4.16	25.7
933	2500	23.2	1.42	61.1	1.19	4.44	25.6
936	2400	23	1.52	61.1	1.31	4.80	25.7
944	2300	22.75	1.37	61.1	2.05	7.10	26.7
950	2200	22.5	1.04	61.1	2.16	6.90	26.0
955	2100	21.65	1.32	61.1	3.68	8.51	26.7
961	2000	20.82	1.60	61.1	1.79	4.65	23.5
963	1900	20.34	2.03	61.1	1.01	4.20	23.3
970	1800	20.46	1.77	61.1	2.34	4.27	23.2
974	1700	20.23	1.91	61.1	0.97	4.10	23.0
978	1600	20.16	1.87	61.1	1.40	5.54	23.6
985	1500	20.02	1.82	61.1	1.00	3.97	22.6
990	1450	20.2	1.52	61.1	32.43	22.86	46.9
990	1420	19.5	2.22	61.1	0.97	3.96	22.5
992	1410	19.5	2.18	61.1	1.00	4.05	22.5
1428	7	12.3	60.83	0.7	3.29	15.52	2.7
1592	4	10.35	60.75	0.5	2.95	14.23	3.4
1789	Sbocco Bisagno	10	60.74	0.7	3.66	13.22	2.5

BISAGNO

T=500 anni

scabrezza alveo 0.033-0.028-0.026-0.0228, aree esterne 0.025

<i>Chainage (m)</i>	<i>Section key</i>	<i>Bed level (m AD)</i>	<i>Section depth (m)</i>	<i>Section flow (m3/s)</i>	<i>Section Froude number</i>	<i>Section velocity (m/s)</i>	<i>Section total head (m AD)</i>
0	26.0	9.31	5.93	1665.5	0.57	4.32	16.2
55	25.0	9.37	5.62	1665.5	0.64	4.68	16.1
114	24.00	9.4	5.37	1665.5	0.68	4.82	16.0
154	23.00	9.11	5.58	1665.5	0.65	4.61	15.8
164	22.00	9.11	5.54	1665.5	0.66	4.65	15.8
186	19.50	9.63	3.98	1683.6	2.06	6.45	15.7
188	19.00	9.63	3.96	1683.6	5.48	7.01	15.7
191	18.00	8.53	5.14	1683.6	0.77	5.20	15.1
201	17.50	8.53	5.08	1683.6	1.01	5.27	15.0
231	17.40	8.13	5.27	1683.5	0.83	5.64	15.0
249	17.20	8.13	5.15	1683.5	0.86	5.78	15.0
259	17.00	8.13	5.08	1683.6	0.88	5.87	15.0
323	16.00	7.64	5.24	1683.6	0.85	5.67	14.5
375	15.00	7.73	4.88	1670.0	8.65	6.01	14.2
412	14.50	7.56	4.99	1654.2	0.74	5.00	13.8
427	14.00	7.56	4.93	1644.1	0.75	5.04	13.8
456	13.50	7.56	4.81	1628.5	0.92	5.12	13.7
468	13.30	7.33	5.05	1618.2	0.75	4.89	13.6
477	13.00	7.33	4.96	1618.2	0.77	4.98	13.6
488	12.00	7.3	4.97	1614.7	0.78	4.90	13.5
536	11.00	6.98	5.19	1593.7	0.79	4.67	13.3
627	10.00	6.27	5.74	1567.5	0.78	4.40	12.9
627	10.00	6.27	5.74	1599.4	0.78	4.40	13.0
679	9.00	6.12	5.80	1583.1	0.81	4.46	12.8
721	8.00	5.88	5.97	1567.8	0.88	4.64	12.7
759	7.00	5.88	5.94	1553.9	0.93	4.72	12.6
805	6.00	5.74	6.05	1524.1	1.78	4.85	12.5
815	5.30	5.11	6.78	1515.8	0.77	4.18	12.5
845	5.05	5.11	6.43	1516.1	0.94	4.58	12.2
854	5.04	5.11	6.41	1513.6	1.07	4.69	12.2
855	5.00	5.11	6.23	1513.8	1.23	5.39	12.3
857	4.99	5.11	6.21	1515.7	1.33	5.45	12.3
858	4.90	5.11	6.39	1515.9	1.16	4.72	12.2
913	0.993	4.97	6.61	1509.6	2.42	3.79	12.1
966	0.992	4.71	6.92	1454.9	15.60	5.24	12.0
1013	0.991	4.48	7.27	1328.3	0.62	3.43	12.1
1026	0.990	4.4	7.40	1277.6	0.59	3.31	12.1
1029	0.98	4.4	7.40	1275.1	0.60	3.32	12.1
1155	fs valle	3.97	7.01	1275.1	0.97	4.90	11.9
1185	0.92	3.37	7.13	1275.1	0.86	5.42	12.0
1231	0.91	2.52	7.56	1275.1	0.72	4.68	11.2
1286	0.90	1.97	7.66	1275.1	0.66	4.68	10.7
1326	0.88	1.85	7.47	1275.1	0.68	4.62	10.4
1466	0.74	1.35	7.07	1275.1	0.67	4.54	9.5
2319	0.20	-1.61	4.16	1275.1	0.99	6.33	4.6
2420	Bisagno_DS	-1.97	3.53	1275.1	0.99	5.79	3.3

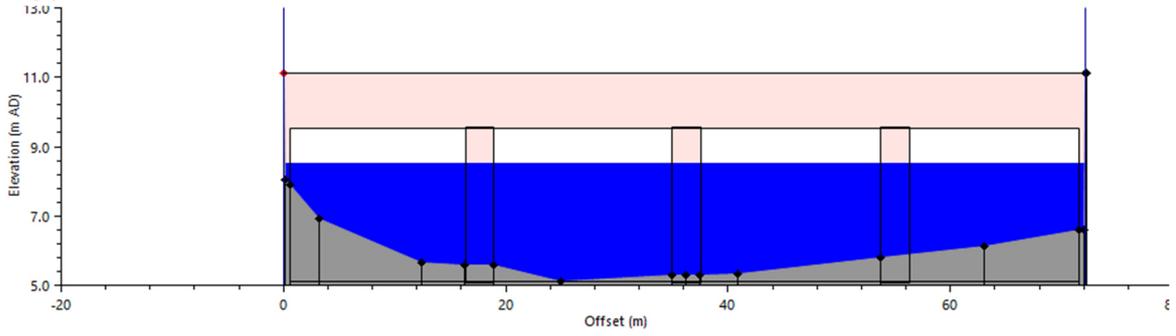
FEREGGIANO

T=500 anni

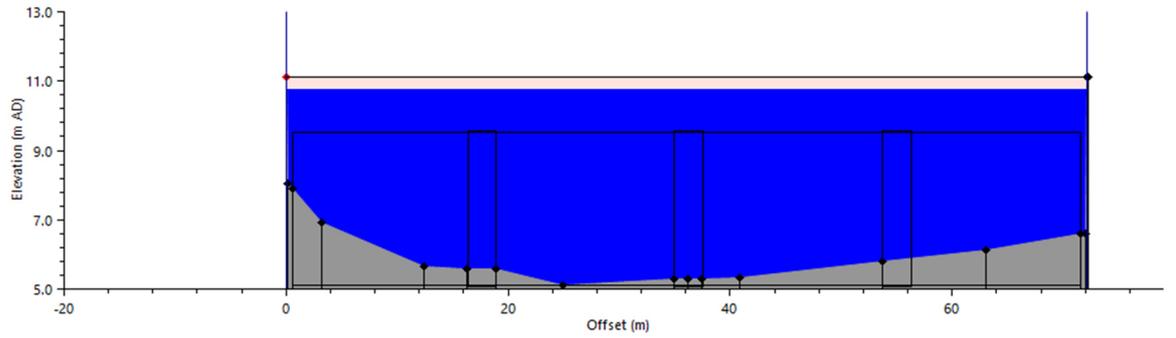
scabrezza alveo 0.04-0.028, aree esterne 0.025

Chainage (m)	Section key	Bed level (m AD)	Section depth (m)	Section flow (m3/s)	Section Froude number	Section velocity (m/s)	Section total head (m AD)
0	12100	50.35	1.56	81.9	2.15	7.20	54.6
0	12000	50.3	1.58	81.9	1.78	6.52	54.0
4	11900	50.1	1.60	81.9	1.80	6.20	53.7
17	11800	49.2	2.00	81.9	1.28	4.69	52.3
24	11700	49	2.08	81.9	1.45	3.81	51.8
34	11600	48.55	2.34	81.9	1.06	4.65	52.0
47	11500	48.35	2.28	81.9	1.07	4.52	51.7
58	11400	47.95	2.48	81.9	0.96	4.15	51.3
74	11300	47.74	2.43	81.8	1.04	4.45	51.2
85	11200	47.55	2.40	81.7	1.42	5.07	51.3
98	11100	47.4	2.23	81.8	1.19	5.39	51.1
100	11000	47.34	2.24	81.8	0.95	4.26	50.5
103	10800	47.34	2.20	81.8	0.99	4.39	50.5
111	10700	47.28	2.12	81.8	1.09	4.48	50.4
127	10600	47.1	2.00	81.8	1.09	4.54	50.2
140	10500	46.83	1.92	81.7	1.51	6.13	50.7
141	10400	46.85	1.88	81.8	1.49	6.06	50.6
159	10300	46.4	1.75	81.8	1.28	4.84	49.3
174	10200	46.06	1.73	81.8	1.23	4.52	48.8
345	81	38.65	1.90	81.8	1.00	4.31	41.5
574	64	31.9	1.90	81.8	1.43	6.16	35.7
599	5800	30.38	2.25	81.8	1.09	5.00	33.9
606	5700	30.26	2.12	81.8	1.50	6.17	34.3
607	5600	30.26	2.10	81.8	1.49	6.15	34.3
626	5500	29.82	1.74	81.8	2.13	5.48	33.1
641	5400	28.59	2.66	81.8	0.80	3.78	32.0
653	5300	28.49	2.60	81.8	1.13	5.33	32.5
672	5200	28.15	2.39	81.8	1.55	6.58	32.7
673	5100	28.15	2.34	81.8	1.72	6.81	32.9
696	4400	26.72	3.05	81.8	0.96	4.99	31.0
738	4300	25.88	2.93	82.2	1.40	5.46	30.3
774	4200	25.18	2.93	84.5	0.83	4.16	29.0
828	4000	24.7	2.58	81.9	0.96	4.64	28.4
843	3900	24.64	2.46	81.8	0.82	3.84	27.9
848	3800	24.64	2.38	81.8	0.87	4.01	27.8
856	3700	24.64	2.13	81.8	1.04	4.51	27.8
857	3600	24.64	2.11	81.8	1.07	4.60	27.8
868	3500	24.53	2.00	81.8	1.09	4.48	27.6
879	3400	24.38	1.96	81.8	2.36	4.40	27.3
887	3300	24.26	1.98	81.5	0.79	3.32	26.8
891	3200	24.26	1.92	81.8	0.84	3.45	26.8
895	3100	24.26	1.56	81.8	1.37	4.72	27.0
896	3000	24.26	1.53	81.8	1.44	4.84	27.0
906	2900	23.62	1.89	81.8	1.40	4.71	26.6
918	2800	23.21	1.98	81.8	1.67	4.20	26.1
924	2700	23.2	1.89	81.8	0.88	3.57	25.7
927	2600	23.19	1.85	81.8	1.54	4.47	26.1
933	2500	23.2	1.68	81.8	1.24	5.02	26.2
936	2400	23	1.77	81.8	1.35	5.41	26.3
944	2300	22.75	1.61	81.8	2.13	7.95	27.6
950	2200	22.5	1.26	81.8	2.17	7.62	26.7
955	2100	21.65	1.60	81.8	3.68	8.58	27.0
961	2000	20.82	2.00	81.8	1.79	4.99	24.1
963	1900	20.34	2.43	81.8	1.01	4.60	23.8
970	1800	20.46	2.16	81.8	2.34	4.66	23.7
974	1700	20.23	2.30	81.8	0.98	4.52	23.6
978	1600	20.16	2.26	81.8	1.40	5.97	24.2
985	1500	20.02	2.21	82.0	1.00	4.29	23.2
990	1450	20.2	1.92	83.4	32.45	22.87	46.9
990	1420	19.5	2.61	83.4	0.97	4.40	23.1
992	1410	19.5	2.58	84.0	1.00	4.51	23.1
1428	7	12.3	4.73	83.1	0.68	3.19	17.4
1592	4	10.35	4.84	83.1	0.37	3.79	15.9
1789	Sbocco Bisagno	10	3.05	83.1	0.67	4.35	14.0

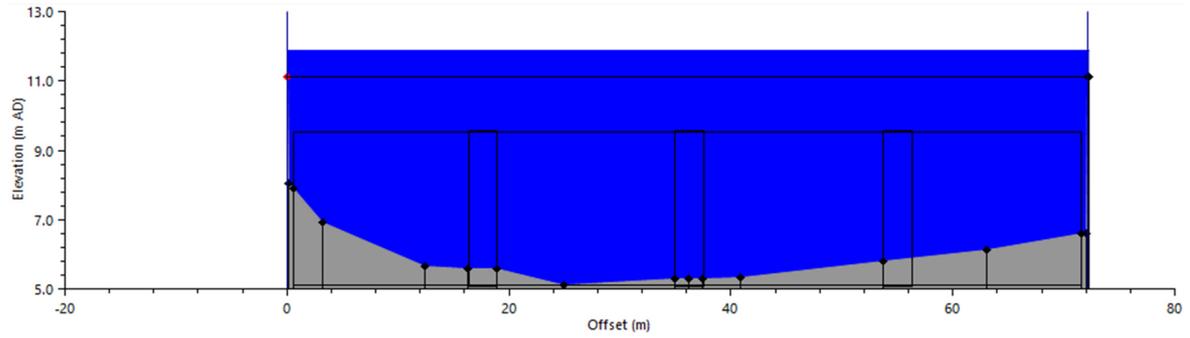
T50



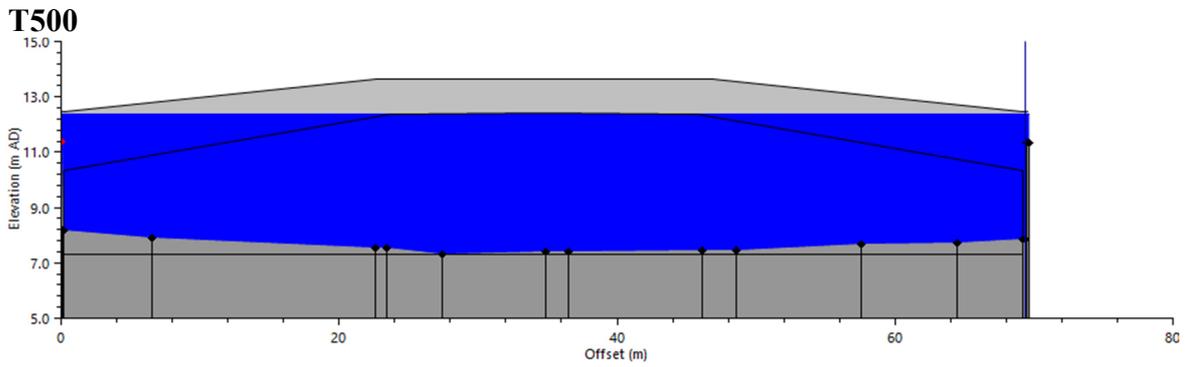
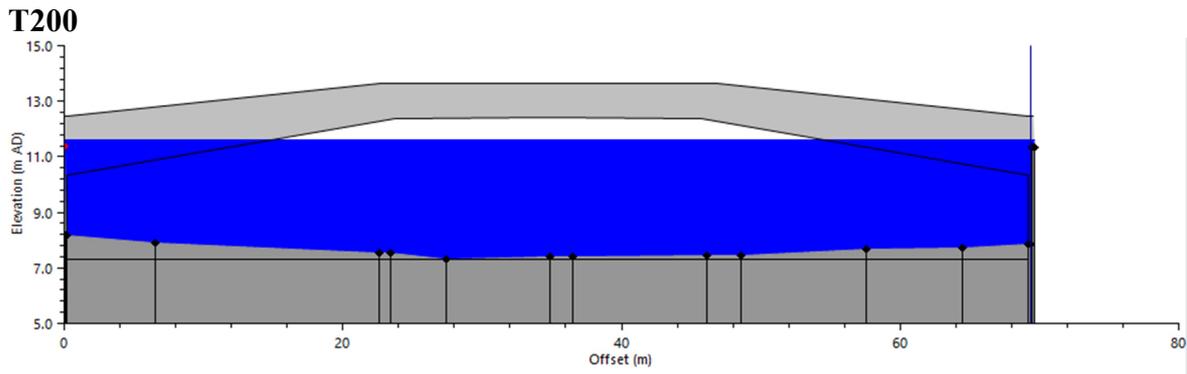
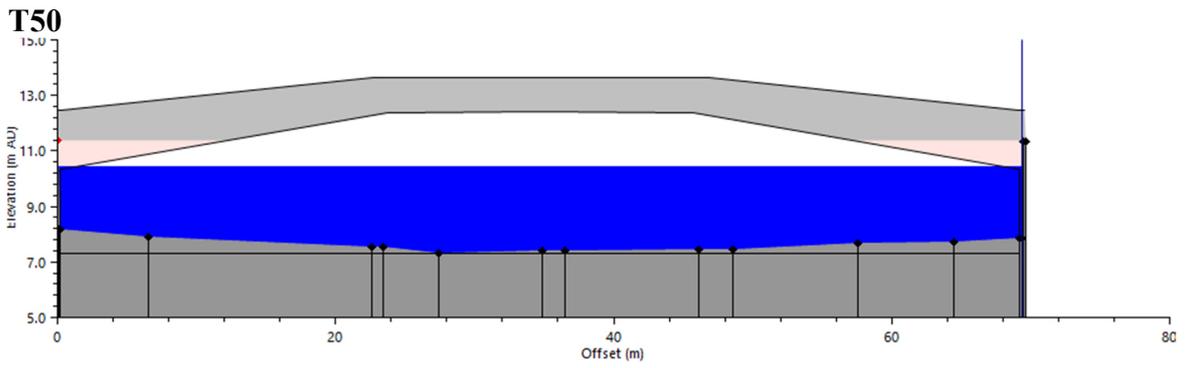
T200



T500

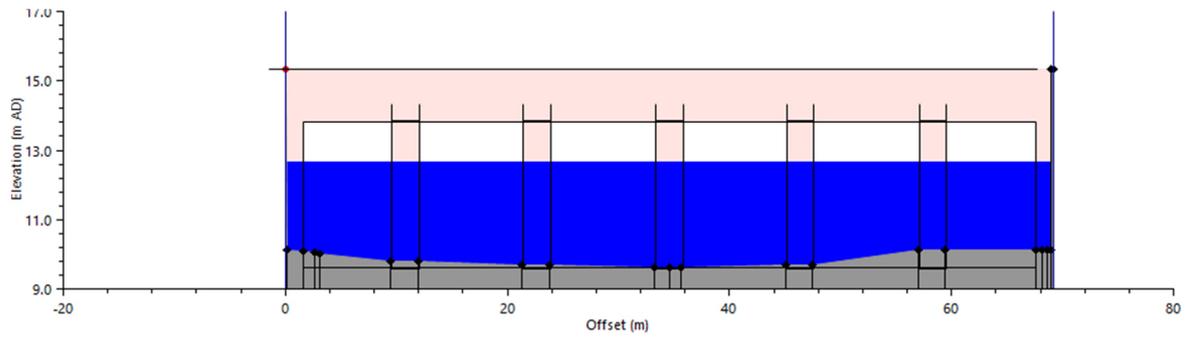


Ponte Castelfidardo

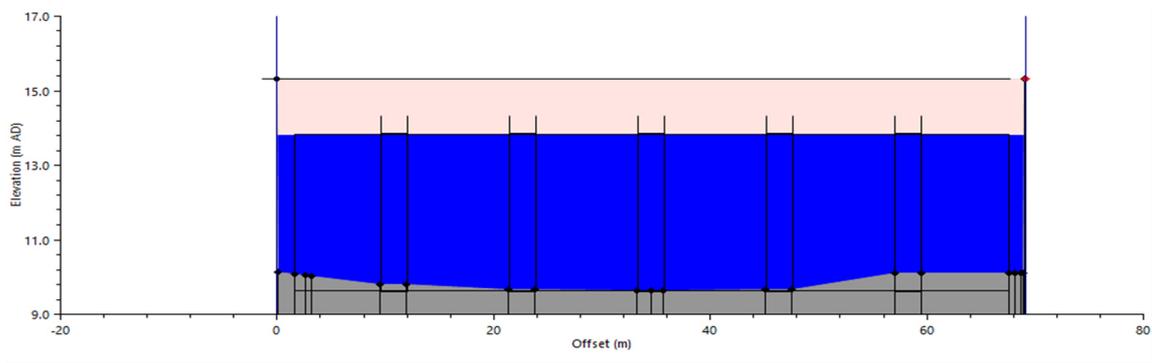


Passerella Firpo

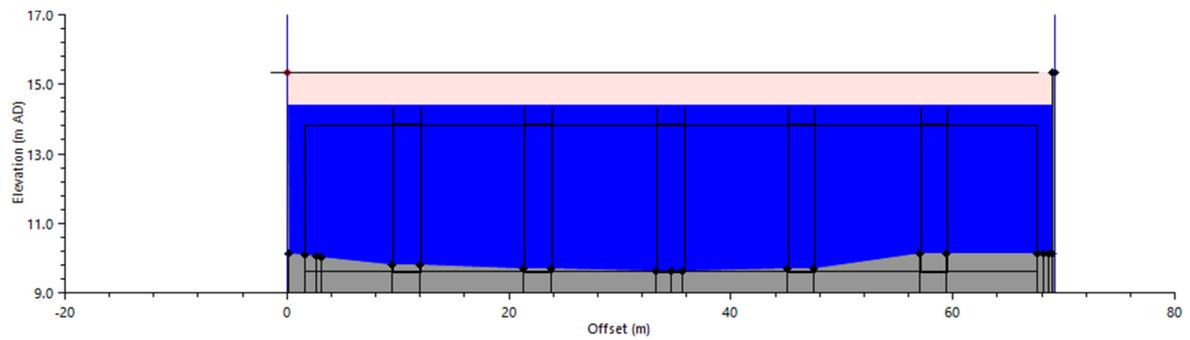
T50



T200

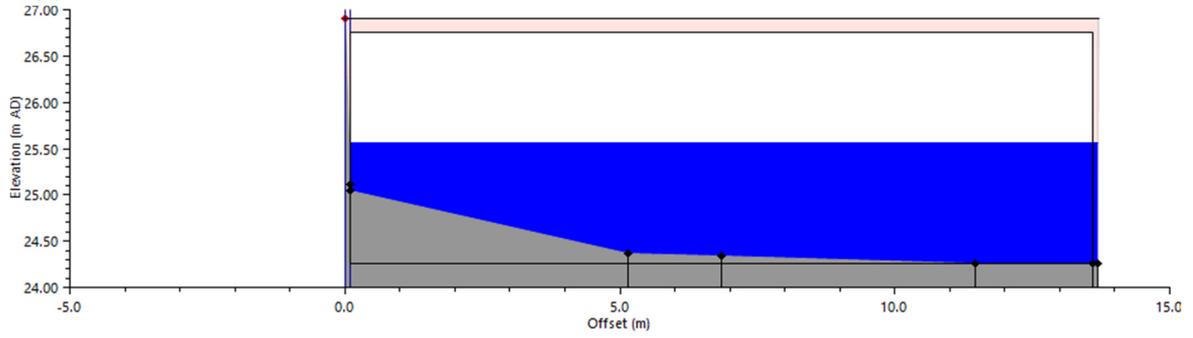


T500

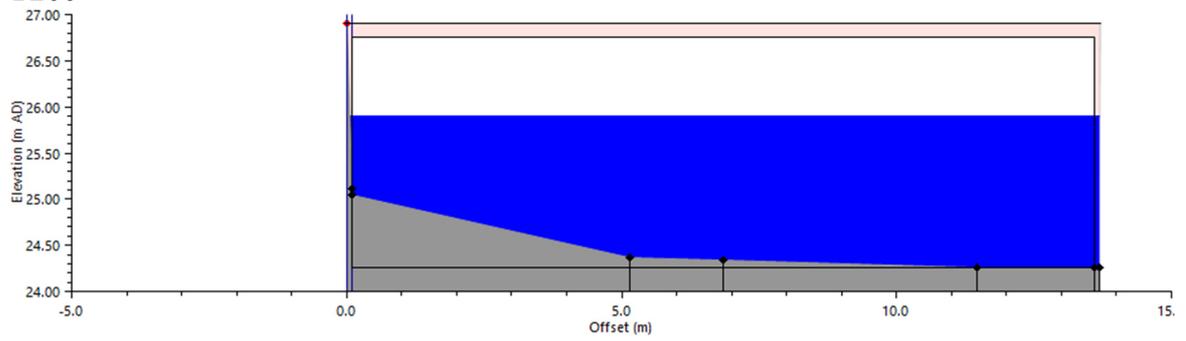


Ponte Serra

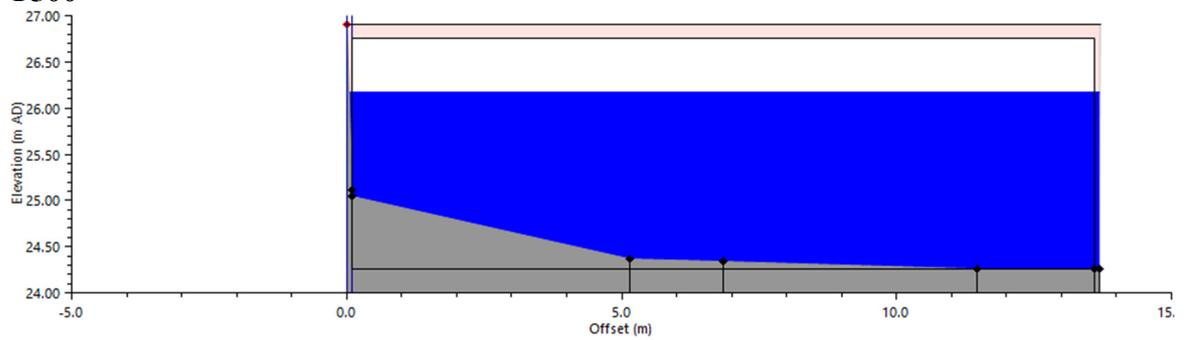
T50



T200

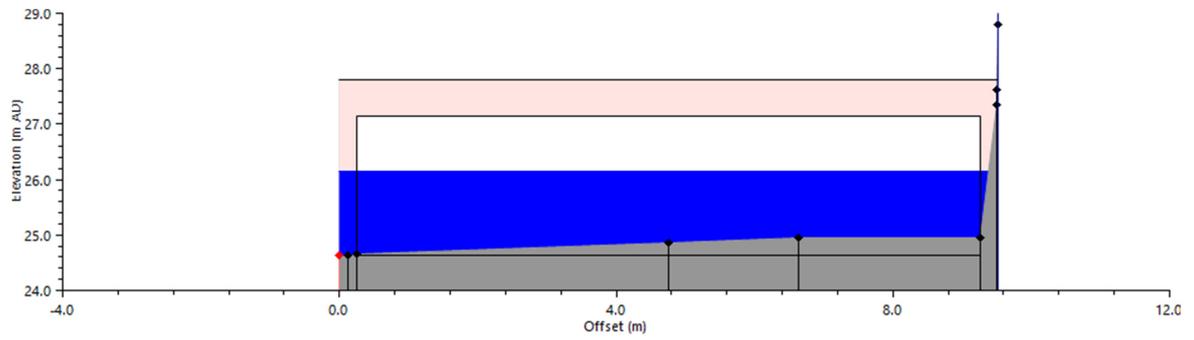


T500

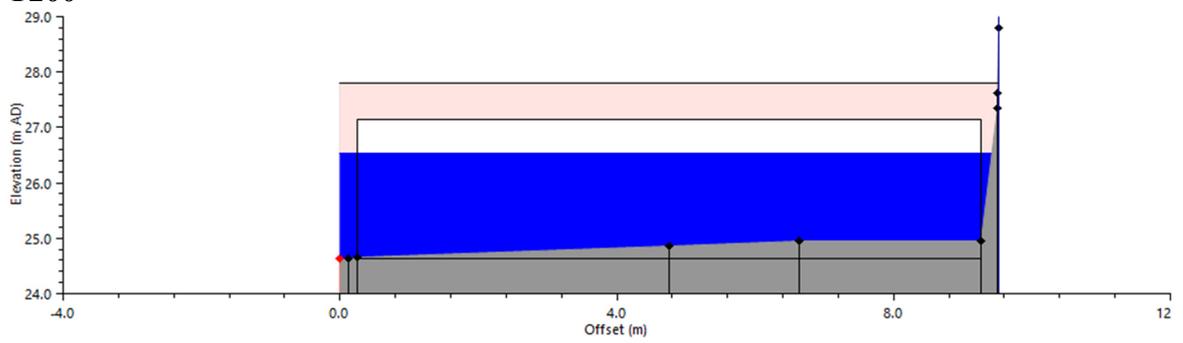


Ponte via Fereggiano Civ.28

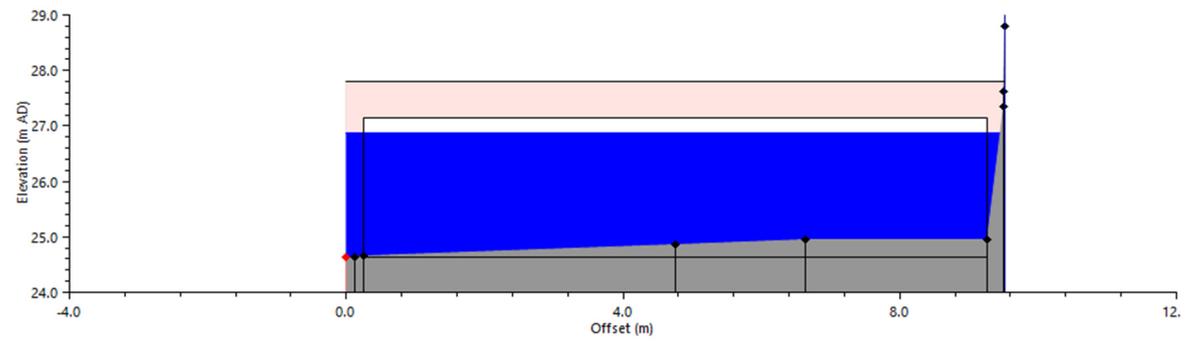
T50



T200



T500



Ponte via Fereggiano Civ.30

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO INFOWORKS ICM

A1. GENERALITA'

Il codice di calcolo InfoWorks ICM di HR Wallingford - Innovyze nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane.

Il modulo InfoWorks ICM costituisce un sistema di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

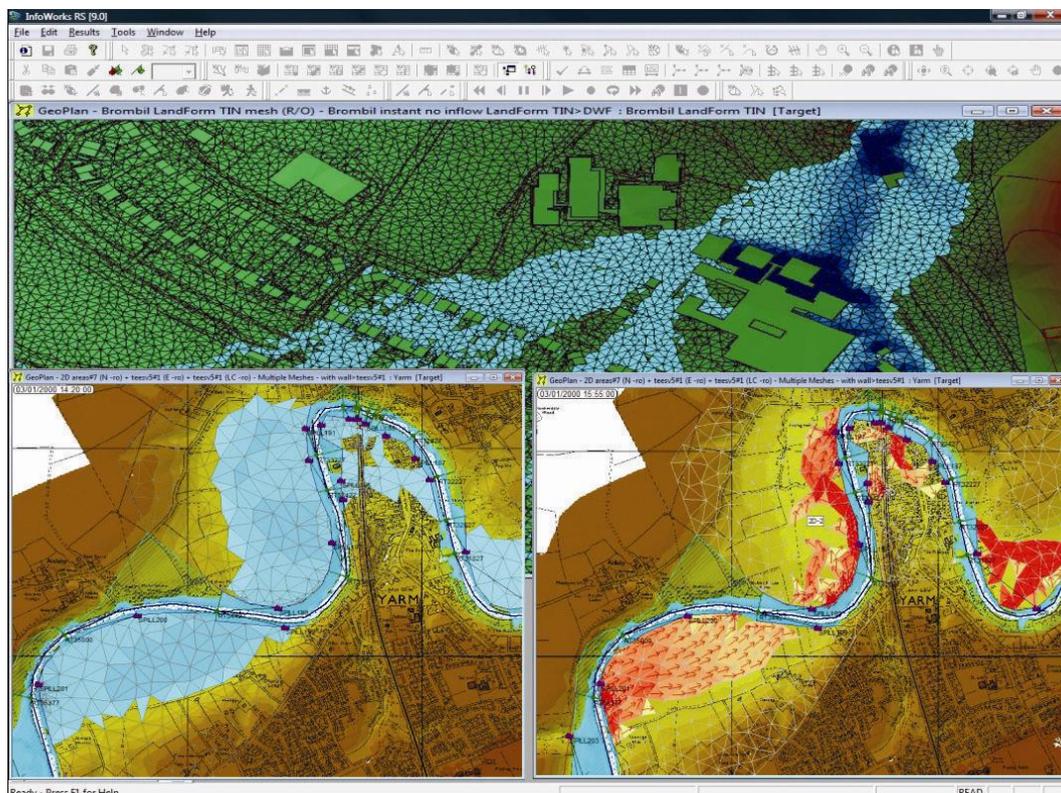
Il software consente di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali dei corsi d'acqua anche quando sono presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un'unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

E' ovviamente anche possibile modellare le aste fluviali con tradizionali rappresentazioni 1D.

Per quanto riguarda invece la rappresentazione di reti di drenaggio urbano la tecnica oramai consolidata è quella di rappresentare il reticolo interrato con elementi 1D e l'eventuale esondazione con domini 2D.



A2. APPROCCIO NUMERICO PER LA COMPONENTE 1D

A2.1. Equazioni di governo

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

Le equazioni sono le seguenti:

Continuità (conservazione della massa):

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

Moto (conservazione della quantità di moto):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

q eventuale portata in ingresso (lateral inflow)

$A[m^2]$ area della sezione liquida

$Q[m^3/s]$ portata

$x[m]$ ascissa lungo l'asse del singolo tratto

$t[s]$ tempo

$g[m/s^2]$ costante gravitazionale

$H[m]$ carico piezometrico dato da $z+h$

$z[m]$ quota di scorrimento

$h[m]$ livello idrico

$S_f [m/m]$ pendenza motrice definita come: $S_f = \frac{Q \cdot |Q|}{K^2}$

dove K è un termine denominato "conveyance" definito, in accordo con l'equazione di Manning:

$$K^2 = \frac{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}}{n^2} \quad \text{e} \quad R = \frac{A}{P}$$

dove:

$R[m]$ raggio idraulico

$P[m]$ perimetro bagnato

n coefficiente di scabrezza di Manning

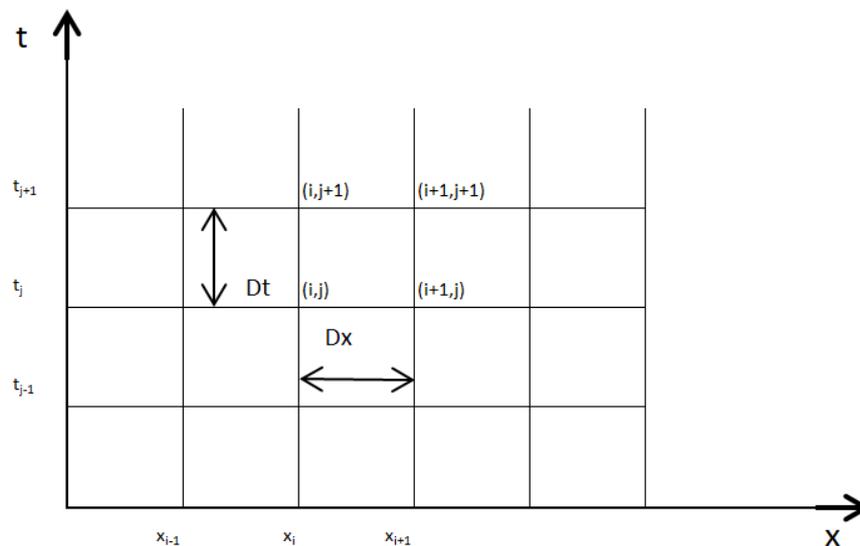
Per la definizione della conveyance il programma consente l'utilizzo di diverse formulazioni oltre a quella di Manning, quali ad esempio Colebrook-White e Strickler. Ai fini della loro integrazione queste equazioni vengono opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann e il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

InfoWorks simula anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) mediante la tecnica dello *slot* per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. In tal modo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandata, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello *slot*).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

A2.3 Discretizzazione delle equazioni di governo

Ai fini della discretizzazione delle equazioni di de Saint Venant, InfoWorks utilizza lo schema implicito di Preissmann riportato nella figura seguente:



Il valore della funzione f o delle sue derivate continue nel tempo e nello spazio può essere discretizzato come segue:

$$f(x, t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1} \right) + (1 - \vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j + f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{Dx} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1} \right) + (1 - \vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^j - f_i^j \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot Dt} \cdot \left[\left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j \right) + \left(f_i^{j+1} - f_i^j \right) \right]$$

Dove:

ϑ è un coefficiente che varia da 0.5 a 1

f_i^j è il valore della funzione f valutata al punto (x_i, t_j)

In base a tali assunti entrambe le equazioni di De Saint Venant possono essere trasformate nella forma lineare:

$$a \cdot Q_i^{j+1} + b \cdot H_i^{j+1} + c \cdot Q_{i+1}^{j+1} + d \cdot H_{i+1}^{j+1} = e$$

I valori a , b , c , d ed e sono calcolati per ciascuna iterazione e ciascun nodo del canale aperto e dipendono dalle variabili calcolate all'iterazione precedente. La matrice dei coefficienti che comprende gran parte dei valori di a, b, c, d , ed e viene invertita per risolvere il set di differenti equazioni simultanee per Q ed H alle iterazioni successive.

A2.2 Condizioni al contorno

Condizioni esterne

Le condizioni al contorno sono costituite da una relazione portata-tempo, livello-tempo o livello-portata (scala di deflusso). Al fine di una corretta risoluzione delle equazioni (stabilità di calcolo) risultano più significative le seguenti condizioni:

- idrogramma delle portate a monte e curva dei livelli a valle
- idrogramma delle portate a monte e scala di deflusso a valle

Condizioni interne

Nello schema monodimensionale di un corso d'acqua i singoli tratti sono separati da condizioni interne che possono essere sezioni di controllo, serbatoi, perdite concentrate o nodi (biforcazioni o confluenze).

Tali condizioni impongono la determinazione di una relazione tra livelli e portate.

Sezioni di controllo

Una gran varietà di strutture può essere usata come sezione di controllo in canali aperti, ciascuna delle quali impone una differente relazione tra portata e livello. Per il moto a pelo libero la forma generale dell'equazione risulta:

$$Q = a \cdot h^b$$

dove:

h è la profondità dell'acqua

a è un coefficiente dipendente dal tipo di sezione di controllo (structure)

b è un coefficiente generalmente maggiore o uguale a 1.5 per gli stramazzi e maggiore o uguale a 0.5 per efflusso sotto luci a battente

InfoWorks è in grado di modellare una serie di tipologie di stramazzo usando equazioni empiriche o semiempiriche ricavate dalla letteratura. Tali strutture possono essere simulate nelle condizioni di assenza di portata (es. paratoia chiusa), oppure con flusso libero o rigurgitato.

La paratoia mobile può essere simulata per diverse condizioni di flusso come quelle di stramazzo, quando è totalmente chiusa e sormontabile dall'acqua, o di luce di fondo con efflusso libero o rigurgitato quando è parzialmente aperta, o per la combinazione di entrambe le condizioni. Il programma consente di regolare automaticamente l'apertura di una paratoia durante la simulazione nei modi seguenti:

- secondo una funzione del tempo prestabilita;
- in funzione dei livelli del pelo libero a monte o a valle.

I tipi di paratoia mobile disponibili in InfoWorks sono quelle verticali o radiali.

Il modello consente inoltre di impostare per le sezioni di controllo una generica scala di deflusso al di fuori delle equazioni standard associate ad una determinata struttura.

Serbatoi

I serbatoi sono definiti come aree più o meno vaste di immagazzinamento ove la superficie dell'acqua risulta orizzontale, senza alcun effetto dinamico.

Il calcolo delle portate entranti e uscenti è legato alla variazione del carico piezometrico come segue (in forma semplificata):

$$\frac{h_{new} - h_{old}}{Dt} = \frac{Q_{net}}{A}$$

Con h_{new} e h_{old} livelli negli istanti successivo e precedente, Dt passo temporale, Q_{net} differenza tra portata entrante e portata uscente e A area del serbatoio.

Il modulo serbatoio unito alla modalità di deflusso laterale consentono la schematizzazione e la risoluzione di sistemi naturali complessi con funzionamento a pelo libero.

Perdite localizzate

Le perdite di carico concentrate causate da una repentina variazione delle condizioni geometriche quali ad esempio un brusco restringimento o allargamento delle sezioni di deflusso sono schematizzate mediante l'applicazione dell'equazione di Bernoulli che lega le perdite al carico cinetico di monte:

$$DH = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove k è un coefficiente empirico funzione del tipo di variazione.

I ponti sono simulati usando il metodo dell'US Bureau of Public Road (US BPR Bridge) oppure l'Arch Bridge Method sviluppato da HR Wallingford.

Nodi (biforcazioni e confluenze)

In InfoWorks i nodi (junctions) vengono risolti imponendo l'uguaglianza dei carichi e la conservazione della massa (equilibrio tra portate entranti e uscenti) applicando la legge di Kirchoff alle portate.

A3. APPROCCIO NUMERICO DELLA COMPONENTE 2D

Le principali caratteristiche della componente 2D sono:

- formulazione del volume limitato (finite volume)
- risoluzione numerica basata sullo schema di Godunov e sulla soluzione di Riemann (Shockcapturing scheme)
- uso di una maglia non strutturata (unstructured mesh)

A3.1 Equazioni di governo

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D} \cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D} \cdot v_{1D}$$

Dove:

h *altezza dell'acqua*

u e v *velocità nelle direzioni x e y*

$S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ *pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y*

$S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ *gli attriti nelle direzioni x e y*

q_{1D} *portata per unità di area*

u_{1D} e v_{1D} *componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y*

Tale formulazione dell'equazione è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia ed impostando la velocità a zero se la profondità ricade sotto tale valore di soglia.

Tale criterio evita la generazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate e/o asciutte.

Il valore di default per la profondità di soglia è 1mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

La descrizione di un flusso localizzato in ambito urbano è ottenuta senza modificare il modello matematico che è sempre basato sulla risoluzione dell'equazioni in acqua bassa (SWE).

A3.2 Produzione della maglia 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Ogni maglia, di forma triangolare, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale.

Una volta creato il dominio 2D di calcolo, è possibile assegnare i seguenti parametri relativi alla maglia:

- *Area (m^2)*: l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria.
- *Massima Area Triangolo (Maximum Triangle Area)*: questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura (diminuendo questo valore si infittisce la magliatura).
- *Area minima elementi (Minimum Element Area)*: durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo).
- *Magliatura dipendente dal terreno*: consente di creare una magliatura nella quale, all'interno di ogni triangolo, la variazione di quota tra i tre vertici non superi un valore definito dall'utente. Utilizzando questa opzione è possibile infittire la magliatura in zone nelle quali si hanno notevoli pendenze del terreno ed allargarla in zone pianeggianti.
- *Massima variazione altezza (m)*: Consente all'utente di specificare la massima variazione di quota consentita tra i vertici dei triangoli che verranno generati nel processo di magliatura.
- *Angolo Minimo (Minimum Angle)*: durante il processo di magliatura evita la creazione di triangoli di forma molto irregolare e cunei troppo stretti.
- *Scabrezza Manning (Roughness)*: la scabrezza è attribuita a tutti triangoli che vengono creati durante il processo di magliatura. Il programma consente di modificare localmente tale valore generando delle zone di magliatura a differente scabrezza.

Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri ecc).

L'effetto della presenza di edifici o ostacoli è simulata mediante l'introduzione di pareti impermeabili o porose che richiede una precisa calibrazione della rete in ambiente urbano.

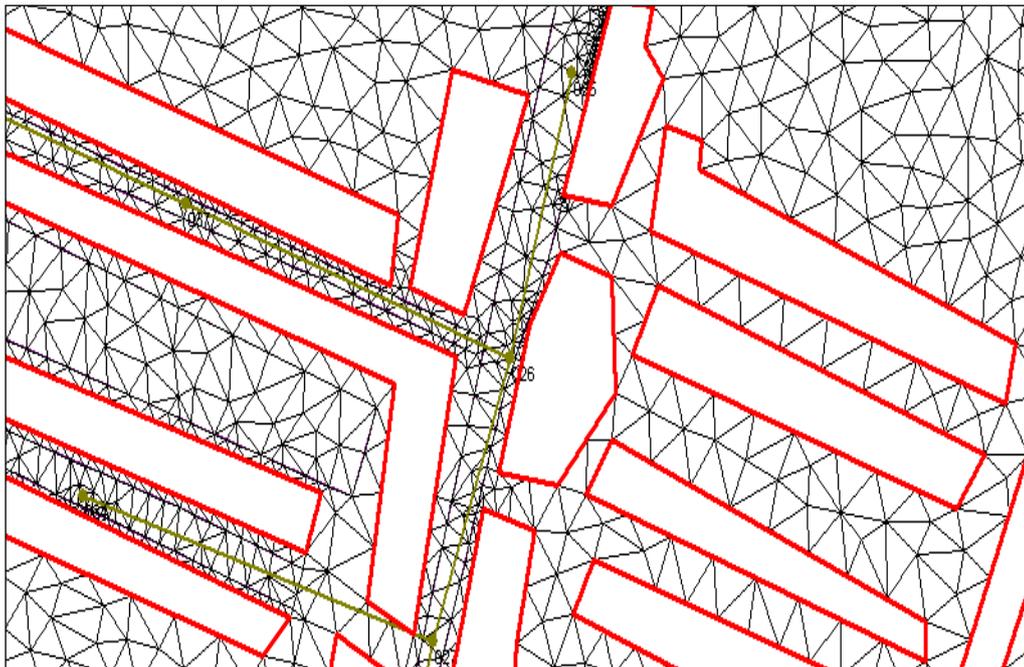


Fig. A2.1 Esempio di maglia non strutturata con edifici in ambito urbano

All'interno del dominio di magliatura, il software permette di considerare eventuali aree a maggiore o minore capacità di invaso dei blocchi introducendo il concetto di porosità degli edifici ossia il fatto che le aree occupate dagli edifici assorbano o meno parte dei volumi esondati durante il processo di allagamento.

A3.3 Condizioni al contorno e parametri di simulazione

Condizioni al contorno della maglia

Le condizioni al contorno sono costituite da input idraulico-idrologico (idrogramma, ietogramma) in ingresso al sistema e da condizioni sul perimetro del dominio di calcolo.

In particolare le condizioni al contorno sul perimetro del dominio di calcolo sono le seguenti:

- *Vertical wall*: indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta dove non è presente flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D. Questa è l'unica opzione che trattiene l'acqua all'interno del poligono 2D qualora in simulazione si determini presenza d'acqua al suo perimetro.
- *Critical condition*: presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;
- *Supercritical condition*: presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica ($Froude > 1$) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile. Questa opzione è utile nelle

aree in cui è noto che il flusso è uscente dal poligono 2D senza alcun effetto di rigurgito all'interno del poligono stesso;

- *Dry*: prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- *Normal condition*: si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme). L'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

Parametri di simulazione della maglia

Il software consente la modifica dei seguenti parametri della simulazione 2D:

- *Timestep*: definisce il passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo.
- *Moltiplicatore del timestep ordinario*: è un moltiplicatore del timestep che consente di definire il timestep di salvataggio dei risultati. E' consigliato non utilizzare timestep di salvataggio molto ridotti al fine di ridurre le dimensioni del file dei risultati.
- *Durata simulazione*: consente all'utente di decidere quanto far durare la simulazione.
- *Depth*: rappresenta la soglia che discrimina una maglia triangolare asciutta da una bagnata. Gli elementi della magliatura con un'altezza d'acqua inferiore a questo valore vengono considerati asciutti e un'altezza pari a zero viene restituita come risultato. Negli elementi con altezza d'acqua inferiore a questa soglia viene considerata solamente la conservazione della massa. Il valore tipico per questo campo è di 0.001 m.
- *Momentum*: rappresenta la soglia utilizzata per determinare se considerare o meno il momento in una maglia triangolare. Il moto dell'acqua non viene calcolato per gli elementi della magliatura in cui l'altezza dell'acqua è al di sotto di questo valore; solo la conservazione della massa viene considerata in questo caso. Valori tipici per questo campo sono 0.001 - 0.01 m, il valore di default è 0.001 m.
- *Velocity*: per le maglie triangolari in cui la velocità calcolata dell'acqua risulta inferiore a questo valore, viene impostata una velocità pari a zero per il calcolo del momento. Il valore tipico per questo campo è 0 m/s.
- *Timestep Stability Control*: garantisce che il timestep interno utilizzato dal motore di calcolo 2D ricada entro il range di stabilità fornito dalla condizione di Courant Friedrichs Lewy (CFL). Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.95.
- *Maximum Velocity*: soglia di velocità che limita le velocità che possono essere raggiunte in una maglia durante una simulazione 2D. Per gli elementi della magliatura in cui la velocità calcolata risulta superiore a questo valore, verrà impostata una velocità pari alla massima qui specificata. Questo aiuta a ridurre eventuali instabilità dovute alle alte velocità corrispondenti ad altezze d'acqua ridotte, il che rappresenta una situazione non realistica. Un valore tipico per questo campo è 10 m/s.
- *Theta*: rappresenta un fattore di peso per il parametro semi-implicito. Attribuisce un peso alle parti esplicite e semi-implicite dello schema numerico. Al crescere di questo valore, aumenta il peso dato alla parte semi-implicita. Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.9
- *Ignore rain falling on dry elements*: ignora la pioggia che cade sugli elementi asciutti della magliatura; si utilizza per rendere più rapida la simulazione quando vengono utilizzati poligoni di pioggia (2D rainfall polygons).
- *Adjust element ground levels adjacent to spills*: modifica automaticamente la quota delle maglie triangolari adiacenti agli spill, dove necessario; si utilizza per evitare le instabilità

che si verificano quando la quota degli spill risulta inferiore alla quota delle maglie su cui gli spill insistono.

A4. INTERAZIONE DELLA COMPONENTE 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello mono e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempio:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D.
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa).
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando di rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

A5. INTERFACCIA DEL SOFTWARE

InfoWorks ICM ha un'interfaccia di ultima generazione in grado di interagire con diversi programmi e fonti disponibili sul mercato.

In tal modo si riescono a importare ed integrare dati provenienti da vari formati per costituire un modello geometrico del sistema da studiare.

In particolare, il software supporta:

- Dati in formato AutoCAD (2D e 3D)
- Dati in formato TIN di ArcView
- Dati in formato shape (SHP) o Geodatabase
- Rilievi topografici con coordinate x,y e z
- Dati in formato tabulare (XLS, ASC, TXT e altri)
- Dati in formato Database (Access, Oracle e altri)
- Dati in formato HEC-RAS

InfoWorks ICM sfrutta un'architettura basata su un Database centralizzato dove vengono salvati tutti i progetti. Il sistema gestisce accessi multipli, anche contestuali.

APPENDICE 2

**CALCOLO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA
SECONDO I CRITERI DELLA DGR 357/2008**

Di seguito si riporta una descrizione delle procedure per la determinazione dell'idrogramma corrispondente all'evento tipico secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

La metodologia di calcolo fa riferimento al *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzata alla valutazione dell'idrogramma di riferimento condizionato dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, come da normativa, pari al valore della portata indice.

Il metodo di valutazione dell'idrogramma di riferimento consiste in sintesi nel ricercare l'idrogramma di piena equivalente che fornisca la portata massima al colmo pari alla portata indice.

Tale problema è risolvibile a partire dalle curve di probabilità pluviometrica dell'area in esame nella forma $h(T)=a(T) \cdot t^n$ nell'ipotesi di invarianza di scala, per cui si assume che l'esponente caratteristico n rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi dell'area in esame.

L'ipotesi implica che la portata T -ennale di progetto $Q(T)$ sia prodotta da una precipitazione $h=a(*) \cdot t^n$ dove n è l'esponente caratteristico del bacino in esame, $a(*)$ rappresenta il valore di a che con il metodo dell'evento critico produce una portata pari a $Q(T)$ e che, in genere, è differente dal valore di $a(T)$ proprio della linea segnalatrice T -ennale.

Nella formulazione del metodo a è esprimibile come $a(T)= w_T a_i$, dove w_T è il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno (T) e a_i è un valore costante caratteristico della stazione pluviometrica considerata corrispondente al valore indice di precipitazione (*pioggia indice*).

Nell'Appendice II della DGR sopra menzionata sono riportati il valore della pioggia indice a_i ed i parametri caratteristici di una serie di stazioni della Regione Liguria per il versante Padano e quello tirrenico, necessari per la determinazione del fattore di crescita w_T .

Assunto un modello afflussi-deflussi di riferimento, il problema si riduce alla ricerca di tutte le possibili coppie di valori a e t che producono una portata al colmo $Q(T)$ e, tra queste, la coppia $\{a(*), t_{CR}\}$ che ha il minimo valore di a .

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli idrogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove $h_n [mm]$ è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, $h_r [mm]$ è il volume specifico affluito, $S [mm]$ è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre $I_a [mm]$ rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di S viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Dove CN è un parametro adimensionale variabile da 1 a 100 che esprime la capacità di ritenzione del bacino in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e all'uso del suolo.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi del grado di umidità del terreno in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato: molto asciutto (I), standard (II) e molto umido (III).

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa (B), moderatamente alta (C) e molto alta (D).

La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece terreni coltivati con e senza trattamento di conservazione, terreni da pascolo in buone o cattive condizioni, praterie, terreni boscosi o forestati con diverse tipologie di sottobosco, spazi aperti con prati rasati o parchi con diverse percentuali di copertura erbosa, aree commerciali, distretti industriali, aree residenziali, strade, parcheggi ecc.

Quale valore di I_a , si è adottata la relazione suggerita dal Soil Conservation Service $I_a = 0.2 \cdot S$.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di n serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}}$$

dove k è la costante caratteristica dei serbatoi e n il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto: $n = 3$ e $K = 0.5 \cdot t_c / (n-1)$, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente $Q(t)$ all'intensità della pioggia netta $p(t)$.