



REGIONE TOSCANA

AUTORITÀ DI BACINO INTERREGIONALE DEL FIUME MAGRA



REGIONE LIGURIA

PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DELL'ABITATO DI PONTREMOLI IN PROVINCIA DI MASSA CARRARA



ELABORATO:

RT

DESCRIZIONE:

RELAZIONE TECNICA IDROLOGICA-IDRAULICA

DATA:

02/2013



Idroprogetti s.r.l.
(MANDATARIA)

Società di Ingegneria
via Masaccio 60 - 50132 Firenze
Tel. 055/573274 - Fax.055/5534914
E.mail: idroprogetti@gmail.com

Dott. Geol. Gianni Focardi (MANDANTE)
Via A. da Settimello n°118 -50041 Calenzano (FI)
Tel./Fax. 055/8826700 Cell: 348/6703422
e-mail: info@studiogeologicofocardi@191.it
C.F. FCRGNN67E03D612U - P.IVA 05395830481

Ing. Alessandro Romei (MANDANTE)
Viale B. Segni, 11 - 50132 Firenze
Tel. 055/245668 - Fax 055 245668
e-mail: ale.romei@libero.it
C.F. RMOLSN80L07D612B P.IVA 05924310484

Ing. Lombardi Claudia (MANDANTE)
Via Padre Prospero Lotti 205/30 -51100 Pistoia
Tel.055/8309098 Fax 055/4641472
e-mail:k.lombardi@libero.it
C.F. LMBCLD78P48G713D - P.IVA 01538690478

Dott. For. Lapo Bacci (MANDANTE)
Via del Girone n°24/b -50061 Compiobbi (FI)
Tel./Fax. 055/8389023 Cell: 3315730686
e-mail: lapobacci@hotmail.com
P. I. 05602160482 C.F. BCCLPA78H25D612Y

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI PER LA MESSA IN
SICUREZZA IDRAULICA DELL'ABITATO DI PONTREMOLI IN
PROVINCIA DI MASSA CARRARA**

RELAZIONE TECNICA IDROLOGICA-IDRAULICA

INDICE

1. PREMESSA	3
2. ACQUISIZIONE DATI E QUADRO CONOSCITIVO	3
2.1. Il sistema idraulico del comune di Pontremoli.....	3
2.2. La perimetrazione P.A.I. attuale.....	4
2.3. Altri studi svolti in precedenza.....	6
3. STUDIO IDROLOGICO	7
3.1. Premessa.....	7
3.2. Scenari considerati.....	7
3.3. Metodo di calcolo degli idrogrammi di input del modello.....	8
3.4. La condizione al contorno di valle.....	11
3.5. Confronto con gli idrogrammi ricavati da AlTo.....	11
4. STUDIO IDRAULICO	13
4.1. Modellazione idraulica attraverso il software Hec-ras 4.0.....	13
4.1.1. Il modello di moto vario utilizzato nelle simulazioni.....	13
4.1.2. Equazioni di base per la modellazione in moto vario.....	13
4.1.3. Condizioni al contorno del modello in moto vario.....	15
4.1.4. Condizioni iniziali del modello in moto vario.....	16
4.1.5. Criteri di suddivisione della sezione.....	16
4.1.6. Valutazione delle perdite di carico per attrito.....	17

4.1.7.	<i>Storage areas (aree di laminazione)</i>	17
4.1.8.	<i>Lateral weir (sfioratore laterale)</i>	17
4.1.9.	<i>Storage areas connection</i>	18
4.2.	Il modello geometrico.....	18
4.3.	Analisi dei risultati allo stato attuale.....	21
4.3.1.	<i>Criticità del fiume Magra da monte verso valle</i>	22
4.3.2.	<i>Criticità del torrente Verde da monte verso valle</i>	23
4.3.3.	<i>Criticità del torrente Gordana da monte verso valle</i>	23
4.3.4.	<i>Criticità del canale dell'Ardoglia da monte verso valle</i>	24
4.4.	Confronto dei risultati del modello con i dati relativi all'evento del 25 Ottobre 2011	25
4.4.1.	<i>Analisi idrologica dell'evento del 25 ottobre 2011</i>	25
4.4.2.	<i>Confronto con i risultati del modello</i>	28
4.5.	Stato di progetto.....	29
4.5.1.	<i>Interventi di progetto sul fiume Magra</i>	29
4.5.2.	<i>Interventi di progetto sul torrente Verde</i>	37
4.5.3.	<i>Interventi di progetto sul torrente Gordana</i>	38
4.5.4.	<i>Interventi di progetto sul canale dell'Ardoglia</i>	39
4.5.5.	<i>Interventi di manutenzione previsti</i>	44
5.	VALUTAZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DEL FONDO ALVEO DEL FIUME MAGRA	46
6.	CONCLUSIONI	50

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica costituisce la sintesi delle verifiche idrologiche-idrauliche eseguite al fine di verificare allo stato attuale il reticolo oggetto di studio e di progettare in via preliminare gli interventi per la messa in sicurezza idraulica dell'abitato di Pontremoli in provincia di Massa Carrara.

A partire dalle portate di piena fornite dall'Autorità di Bacino del F.Magra per i vari tempi di ritorno sono state eseguite le verifiche idrauliche in moto vario su modello geometrico unico, implementato sulla base di una campagna di rilievi planoaltimetrici delle sezioni fluviali eseguita nella primavera ed estate del 2012. Sulla base delle verifiche effettuate sono state quindi individuate le principali criticità allo stato attuale, perimetrare le aree allagabili per $Tr=30$, 100, 200 e 500 anni e progettati, in via preliminare, gli interventi finalizzati a garantire la messa in sicurezza idraulica dell'abitato di Pontremoli per $Tr=200$ anni.

2. ACQUISIZIONE DATI E QUADRO CONOSCITIVO

2.1. Il sistema idraulico del comune di Pontremoli

Il sistema idraulico del comune di Pontremoli è caratterizzato dalla presenza del fiume Magra che scorre in direzione Nord-Sud; lungo il tratto di studio nel Magra confluiscono da destra idraulica i seguenti corsi d'acqua:

- torrente Verde: immediatamente a valle del centro storico di Pontremoli
- canale dell'Ardoglia: a valle del ponte di via Alcide de Gasperi
- torrente Gordana: a monte del ponte dell'Annunziata

Inoltre il canale dell'Ardoglia immediatamente a monte della confluenza nel Magra riceve il contributo da destra idraulica del fosso della Borghesa.



Figura 1

Il sistema idrografico di interesse con localizzato il centro di abitato di Pontremoli

2.2. La perimetrazione P.A.I. attuale

Nelle seguenti immagini si riportano a livello informativo gli estratti della carta di pericolosità idraulica a livello di dettaglio (scala 1:10'000) del Piano di Assetto Idrogeologico dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra.



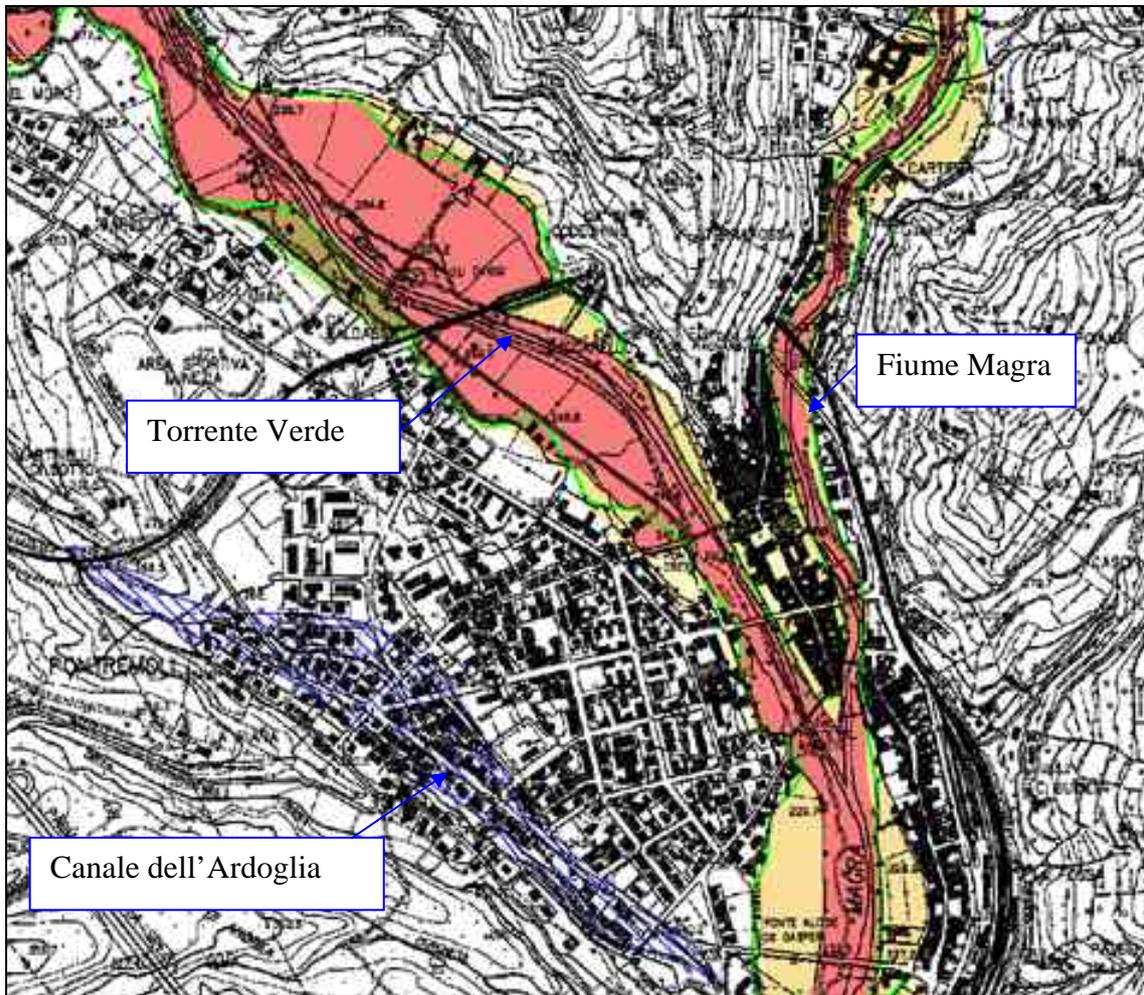


Figura 2

PAI – Estratto Tav.4 (elemento 08) Piano di Assetto Idrogeologico – zona Nord

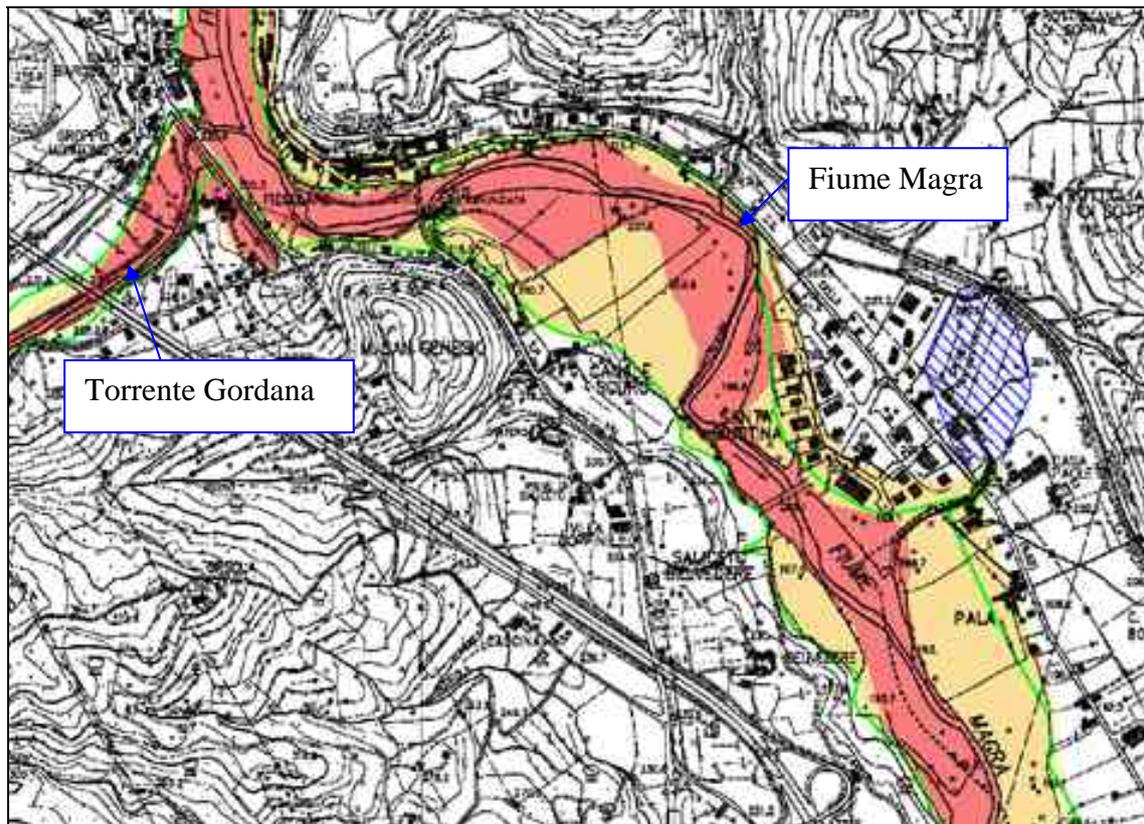


Figura 3

PAI – Estratto Tav.4 (elemento 08) Piano di Assetto Idrogeologico – zona sud

2.3. Altri studi svolti in precedenza

L'Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra ha messo a disposizione del raggruppamento gli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua oggetto di studio ricavati in studi precedenti e adottati dall'Autorità di Bacino come idrogrammi di riferimento. Gli idrogrammi sono relativi a diverse sezioni di chiusura, ovvero alle sezioni a monte e a valle dei tratti di studio e alle sezioni localizzate immediatamente a monte e a valle delle varie confluenze.

Inoltre l'Autorità di Bacino ha fornito il rilievo delle sezioni fluviali effettuato 10 anni fa dal quale è possibile effettuare una stima delle evoluzioni morfologiche dell'alveo mediante un confronto con le sezioni rilevate nell'ambito del presente studio.

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. Premessa

Per caratterizzare del punto di vista idrologico il reticolo oggetto di studio, al fine di valutare le capacità di deflusso attuali e le eventuali volumetrie di esondazione per i diversi scenari oggetto di verifica, è stato fatto riferimento agli idrogrammi di piena forniti dall'Autorità di Bacino del F. Magra per ciascun corso d'acqua.

Gli idrogrammi a disposizione sono relativi a diverse sezioni di chiusura disposte sui vari corsi d'acqua e pertanto è stato possibile ricavare i vari contributi distribuiti lungo il reticolo. Nella seguente tabella si riporta la corrispondenza tra la numerazione delle sezioni di chiusura sul fiume Magra fornite dall'Autorità di Bacino e quella del presente studio:

Numerazione sez. AdB	m166	m149	m148	m142	m141	m129
Numerazione sez. presente studio	Ma_080	Ma_042	Ma_041	Ma_029	Ma_027	Ma_001

Tabella 1 – Corrispondenza numerazione sezioni di chiusura sul f. Magra

Come ulteriore controllo le superfici dei vari bacini idrografici sono state calcolate sulla cartografia in scala 1:10000 (cfr. *Tav. 2-Bacini idrografici* consegnata insieme al materiale relativo al rilievo) e risultano corrispondenti a quanto fornito.

3.2. Scenari considerati

Lo studio è stato redatto con i seguenti tempi di ritorno:

- Evento con tempo di ritorno di 500 anni
- Evento con tempo di ritorno di 200 anni
- Evento con tempo di ritorno di 100 anni
- Evento con tempo di ritorno di 30 anni

Inoltre per considerare i diversi eventi critici sui singoli corsi d'acqua sono stati analizzati nei quattro tempi di ritorno suddetti i seguenti scenari:

- A - Evento critico sul fiume Magra
- B - Evento critico sul torrente Verde
- C - Evento critico sul torrente Gordana

Relativamente al Canale dell'Ardoglia, date le sue ridotte dimensioni rispetto agli altri corsi d'acqua, è stato inserito nei tre scenari suddetti sempre l'idrogramma di piena fornito dall'Autorità di Bacino.

Nel paragrafo seguente si descrive la metodologia adottata nel calcolo degli idrogrammi di input del modello di verifica nei diversi scenari.

3.3. Metodo di calcolo degli idrogrammi di input del modello

Come descritto nel paragrafo relativo allo studio idraulico, le verifiche sono state effettuate su un modello unico che comprende tutti e quattro i corsi d'acqua oggetto di studio simulandone le confluenze tenendo conto pertanto dei vari contributi che si vanno a sommare all'idrogramma di piena del torrente Magra.

Di conseguenza sono stati ricostruiti i vari idrogrammi di input nei diversi scenari imponendo come condizione vincolante che la portata complessiva alla sezione di valle del modello fosse sempre corrispondente all'idrogramma fornito dall'Autorità di Bacino per la sezione Ma_001 (ovvero la *m129* secondo la numerazione AdB).

In particolare nello scenario A, ovvero nel caso di evento critico sul fiume Magra, è stato fatto riferimento agli idrogrammi di piena del Magra (cfr. immagine seguente), forniti dall'autorità di Bacino alle varie sezioni di chiusura riportate nella precedente tabella, e gli idrogrammi di input del torrente Verde e del torrente Gordana sono stati ricavati per differenza tra gli idrogrammi nel Magra immediatamente a valle e a monte di ciascuna confluenza.

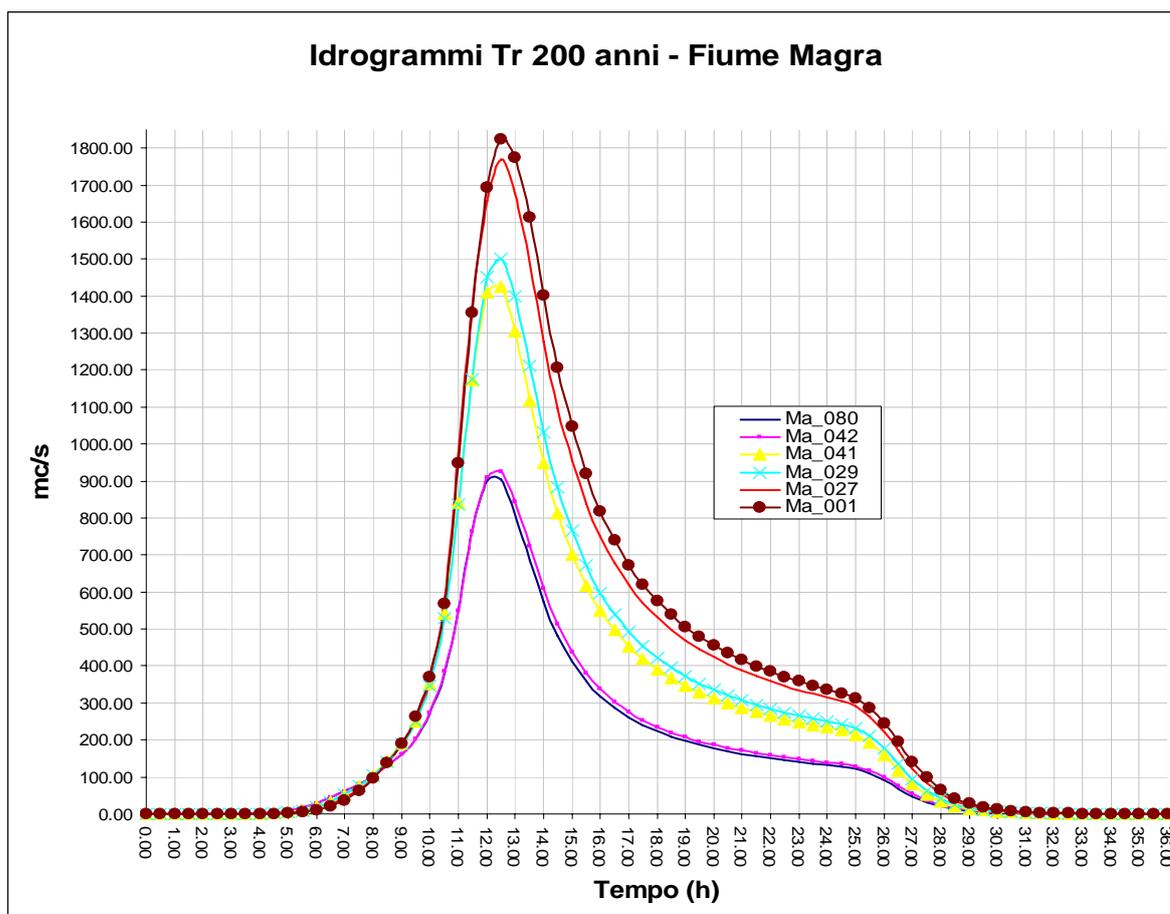


Figura 4 – Idrogrammi di piena sul fiume Magra per Tr=200 anni nelle varie sezioni di chiusura

Nello scenario B sono stati inseriti gli idrogrammi di piena nel torrente Verde forniti dall'Autorità di Bacino del F.Magra e mantenendo sempre come condizione di valle l'idrogramma complessivo alla sezione Ma_001 sono stati ricavati per differenza i contributi del Magra e del torrente Gordana. Sebbene tale condizione di valle sia cautelativa, questa non incide in maniera significativa sul modello idraulico.

Analogamente nello scenario C sono stati inseriti gli idrogrammi di piena nel torrente Gordana forniti dall'Autorità di Bacino e mantenendo sempre come condizione di valle l'idrogramma complessivo alla sezione Ma_001 sono stati ricavati per differenza i contributi del Magra e del torrente Verde.

Nell'immagine seguente si riportano gli idrogrammi di piena duecentennale sui due corsi d'acqua negli scenari B e C.

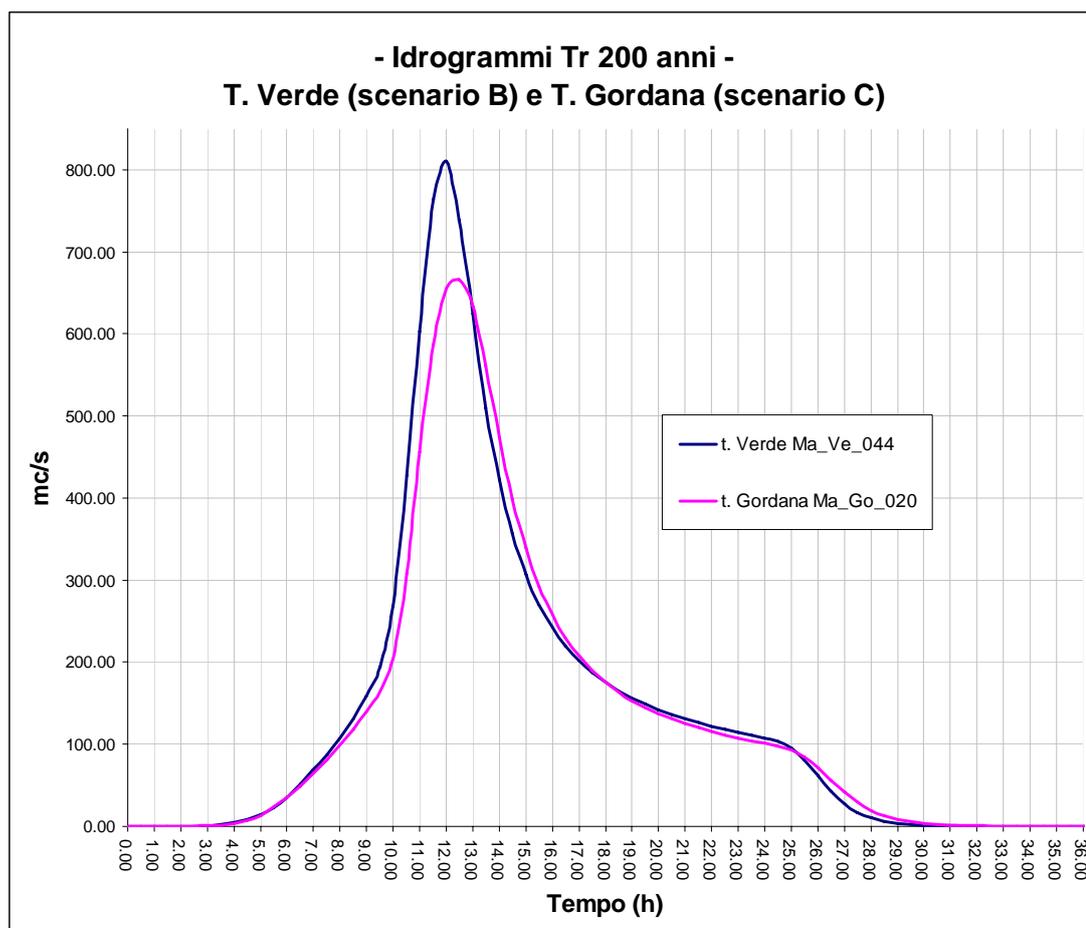


Figura 5 – Idrogrammi di piena sul t. Verde e t. Gordana negli scenari B e C

Relativamente al canale dell'Ardoglia in tutti e 3 gli scenari sono stati utilizzati come idrogrammi di input nei vari tempi di ritorno gli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino alla sezione denominata "arm" (*Ardoglia monte*), corrispondente alla sezione MA_AR_50 del modello idraulico. Inoltre lungo l'asta del canale sono stati inseriti sia il contributo distribuito del bacino che il contributo del fosso della Borghesa, in modo che l'idrogramma complessivo alla sezione di valle del canale dell'Ardoglia fosse sempre corrispondente all'idrogramma fornito dall'Autorità di Bacino alla sezione denominata "arv" (*Ardoglia Valle*) corrispondente alla sezione MA_AR_001 (cfr. immagine seguente).

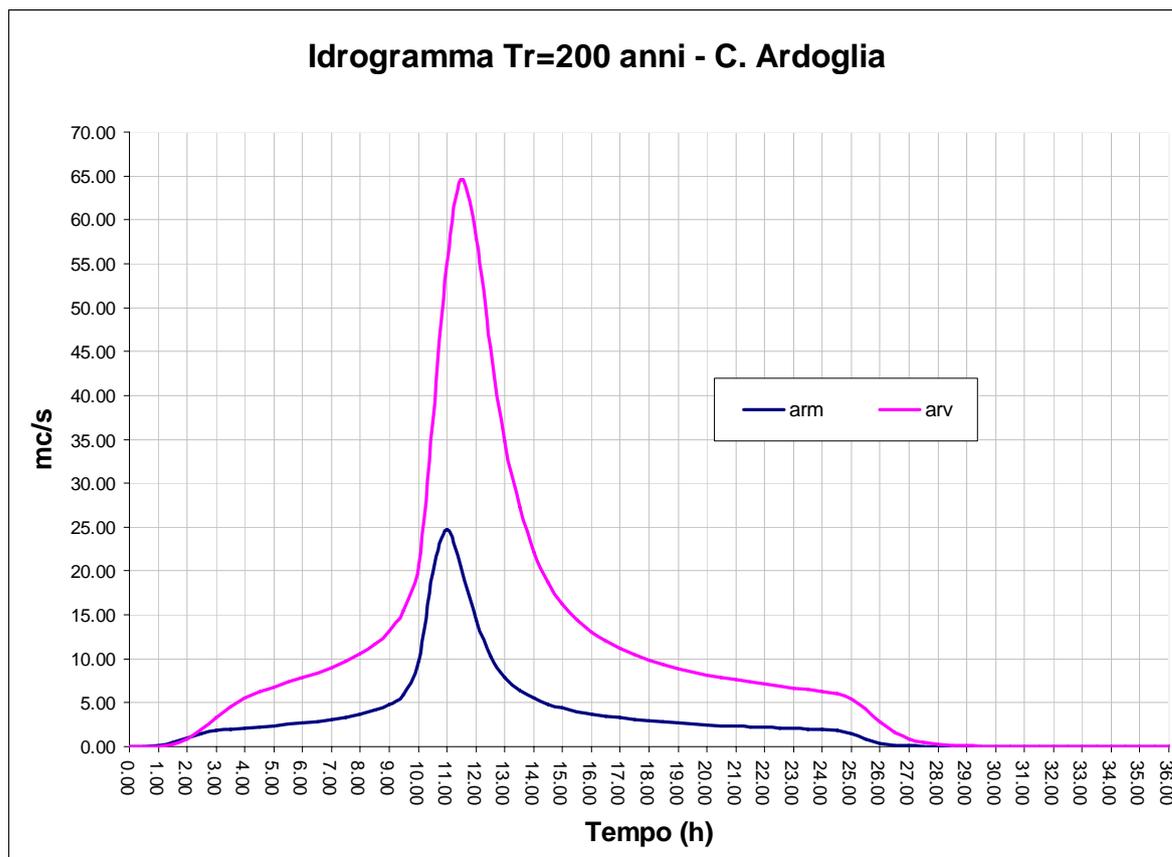


Figura 6 – Idrogrammi di piena sul canale dell’Ardoglia alla sezione di monte (“arm”) e immediatamente prima della confluenza nel Magra (“arv”).

3.4. La condizione al contorno di valle

Come condizione al contorno di valle del modello (alla sez. Ma_001) è stata assunta la pendenza di moto uniforme ricavabile dall’andamento del profilo del fiume Magra nella sua parte terminale e pari a circa 1%.

3.5. Confronto con gli idrogrammi ricavati da AlTo

Come ulteriore analisi idrologica sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per i vari corsi d’acqua oggetto di studio mediante l’ausilio del software AlTo2000¹. Come si

¹ La Regionalizzazione delle portate di piena (PIN, 1997) ha prodotto uno strumento che permette la determinazione delle portate al colmo e del corrispondente tempo di ritorno, per una sezione generica del reticolo idrografico naturale toscano. La

evince dalla seguente tabella i valori forniti dal software AlTo risultano molto inferiori rispetto ai picchi forniti dall'Autorità di Bacino, ad esclusione del canale dell'Ardoglia per i quali i picchi sono paragonabili.

CONFRONTO PICCHI IDROGRAMMI CALCOLATI CON ALTO E FORNITI DA ADB					
Asta fluviale	Fonte dell'idrogramma	Tempo di ritorno			
		Tr500 anni	Tr200 anni	Tr100 anni	Tr30 anni
Magra Monte - Ma_080	AlTo	593.1	491.3	425.0	328.5
	AdB	1134.2	903.2	756.2	546.1
Magra Valle - Ma_001	AlTo	1387.9	1152.1	998.5	774.5
	AdB	2289.8	1823.3	1526.5	1102.5
Verde - Ma_Ve_044	AlTo	569.7	467.3	401.0	305.2
	AdB	1037.2	825.9	691.5	499.4
Gordana - Ma_Go_020	AlTo	374.3	314.8	275.7	218.0
	AdB	837.1	666.6	558.1	358.7
Ardoglia - Ma_Ar_050	AlTo	23.6	19.7	17.1	13.3
	AdB	30.1	24.7	21.5	16.1

Tabella 2 – Confronto picchi di piena calcolati con AlTo e forniti dall'Autorità di Bacino

Come si conferma nel paragrafo relativo al confronto dei risultati del modello con i dati relativi all'evento del 25 Ottobre 2011, la differenza riscontrata sulle portate è dovuta alla discordanza esistente tra i parametri caratteristici dei modelli idrologici sulla base dei quali viene effettuata la correlazione tra evento pluviometrico e tempo di ritorno. In accordo con l'Autorità di Bacino, nelle verifiche del presente studio sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena forniti da loro in quanto risultano cautelativi.

stima è condotta attraverso una modellazione afflussi-deflussi basata sull'idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico (GIUH). La modellazione si basa sull'analisi statistica delle caratteristiche pluviometriche locali e sulla stima dell'intercettazione iniziale e delle perdite per infiltrazione. Infine, determinando la durata di pioggia che massimizza, per un assegnato tempo di ritorno, la portata al colmo, sono individuabili gli idrogrammi di piena per ogni sezione di verifica.

4. STUDIO IDRAULICO

4.1. Modellazione idraulica attraverso il software Hec-ras 4.0

4.1.1. Il modello di moto vario utilizzato nelle simulazioni

La modellazione idraulica è stata effettuata in moto vario attraverso il software Hec-Ras (River Analysis System) versione 4.0 sviluppata dall' U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Le verifiche sono state effettuate su un modello unico che comprende tutti e quattro i corsi d'acqua oggetto di studio.

Di seguito si riportano alcune delle caratteristiche di base del modello in moto vario.

Il sistema di equazioni implementato in Hec-ras per le simulazioni in moto vario è capace di ricostruire i profili idraulici attraverso una rete di canali aperti.

Le equazioni del solutore in moto vario sono state adattate dal modello UNET del Dr. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 and HEC, 1997). I calcoli idraulici per sezioni, ponti, culvert e altre strutture idrauliche che sono stati sviluppati nel modulo in moto permanente sono stati incorporati nel modulo in moto vario. Inoltre, la componente in moto vario ha la capacità di modellare aree/casse di espansione e le connessioni idrauliche tra alveo e casse e tra cassa e cassa.

Vengono di seguito descritte brevemente le principali caratteristiche del programma di calcolo automatico impiegato per la determinazione del profilo della corrente a pelo libero.

4.1.2. Equazioni di base per la modellazione in moto vario

Le leggi fisiche che governano il flusso in un corso d'acqua sono:

- 1. il principio di conservazione della massa (Legge di continuità);*
- 2. il principio di conservazione del momento.*

Queste leggi sono espresse matematicamente nella forma di equazioni alle differenze finite.

Il modello risolve il problema dell'individuazione del livello del pelo libero della corrente in un' assegnata sezione, nelle seguenti ipotesi:

- il flusso è monodimensionale;
- le pendenze del fondo sono inferiori al 10 %.

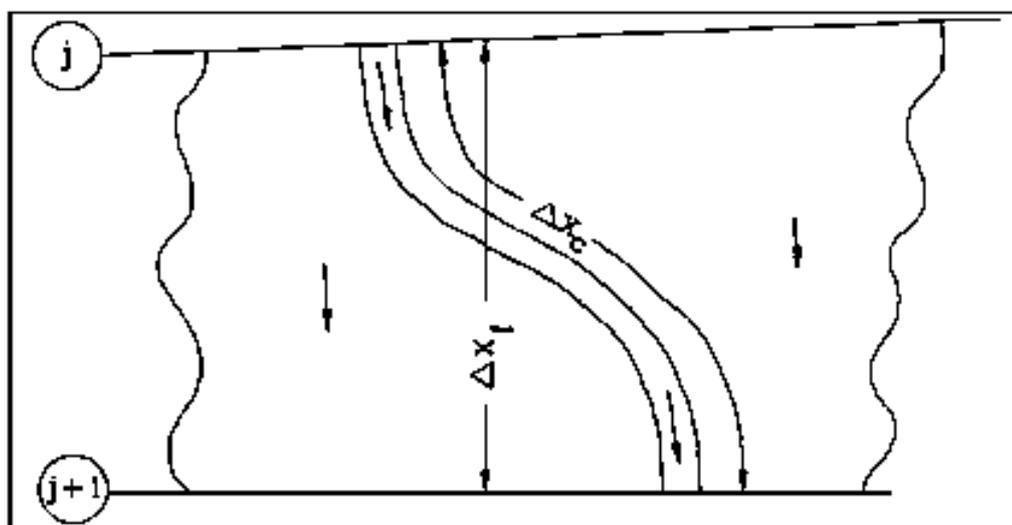


Figura 7 – Portata nel canale e nelle aree golenali

Nella figura precedente sono rappresentate le caratteristiche bidimensionali dell'interazione tra il canale e il flusso all'interno delle aree golenali. Quando il livello nel canale si alza l'acqua si sposta lateralmente via dal canale, inondando le aree allagabili e riempiendo eventuali casse di espansione. Quando l'altezza d'acqua aumenta, le aree golenali iniziano a convogliare l'acqua verso valle generalmente seguendo un percorso più corto rispetto a quello del canale principale, soprattutto in caso di corsi d'acqua naturali. Quando infine decresce il livello nel fiume, l'acqua rientra nel canale principale e si ha in esso un aumento di portata. Poiché la direzione principale del flusso è orientata lungo il canale, questo flusso bidimensionale può spesso essere accuratamente approssimato con una rappresentazione monodimensionale.

Le aree di esondazione possono essere ben modellate con casse di espansione che scambiano portata con il canale. Il flusso nelle aree golenali può essere approssimato sia con l'inserimento di casse d'espansione sia ricorrendo a sezioni estese.

Il problema del rapporto tra alveo e aree allagabili si può risolvere in differenti modi a seconda del tipo di corso d'acqua studiato, in relazione alle sue dimensioni, alla presenza di arginature e alla presenza di aree confinate (ad esempio da argini e infrastrutture) che possono essere modellate con casse di espansione.

4.1.3. Condizioni al contorno del modello in moto vario

Per ogni tratto fluviale si considerano N nodi di calcolo, che generano $N-1$ tratti di calcolo. Per questi tratti si possono scrivere $2N-2$ equazioni alle differenze finite. Poiché ci sono $2N$ incognite, sono necessarie 2 ulteriori equazioni. Queste equazioni sono fornite dalle condizioni al contorno per ogni tratto fluviale, che nel caso di corrente sub-critica (lenta) sono necessarie a monte e a valle del tratto, mentre per corrente supercritica (veloce) sono richieste solo a monte del tratto.

Condizioni al contorno di monte: a monte del tratto fluviale la condizione al contorno è costituita dagli idrogrammi di piena ricavati come descritto in precedenza.

Condizioni al contorno di valle: a valle del tratto fluviale possono essere specificate 4 tipi di condizioni al contorno:

- *un idrogramma dei livelli di piena* (usato quando il fiume sfocia in un mare governato dalle fluttuazioni di marea o in un lago o serbatoio del quale è nota l'altezza d'acqua nel tempo);
- *un idrogramma delle portate di piena* (utile se si è in possesso di dati registrati di un evento di piena e si vuole calibrare il modello);
- *la curva di deflusso per una certa sezione* (utile per descrivere cascate naturali o sfioratori delle dighe, da utilizzare con cautela e possibilmente molto a valle rispetto all'area di studio in modo che i livelli del pelo libero nell'area di studio non ne vengano troppo influenzati);
- *l'altezza di moto uniforme proveniente dall'equazione di Manning* (poiché negli alvei naturali non sussistono le condizioni di moto uniforme è necessario spostare a valle dell'area di studio la condizione al contorno in modo da non avere influenze di questo dato sui livelli nelle sezioni di interesse).

4.1.4. Condizioni iniziali del modello in moto vario

Oltre alle condizioni al contorno, devono essere inserite come input delle condizioni iniziali, cioè quelle presenti all'inizio della simulazione: si è ipotizzato che le aree di laminazione fossero vuota all'inizio della simulazione, inserendo quindi come livello d'acqua nelle varie storage areas il livello minimo medio attuale.

4.1.5. Criteri di suddivisione della sezione

La sezione idraulica del corso d'acqua viene rappresentata geometricamente per punti. All'interno di essa si distinguono in generale tre zone (Figura 8) che, adottando la terminologia inglese, indichiamo con:

main channel = M.CHA. (canale principale)

left overbank = LO (golena sinistra)

right overbank = RO (golena destra)

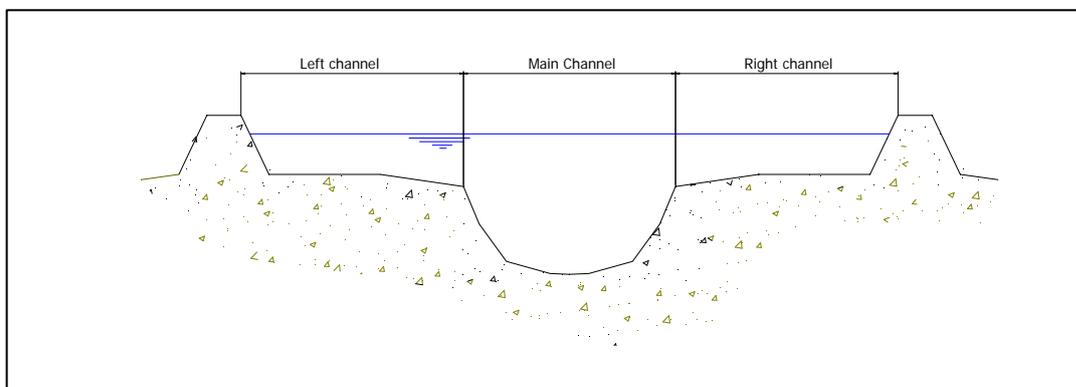


Figura 8 – Schema fondamentale di suddivisione in sottosezioni

In ciascun ambito (ma è possibile in generale assegnare differenti scabrezze ad ogni segmento della sezione) vengono definite le scabrezze del fondo, che poi vengono composte al fine di generare una scabrezza equivalente valida per l'intera sezione.

Per ciascuna sottosezione si determina la capacità di deflusso in moto uniforme:

$$K = \frac{ar^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- K [m³/s] = capacità di deflusso nell'ambito;
 n [s/m^{1/3}] = scabrezza di Manning;
 r [m] = raggio idraulico dell'ambito;
 a [m²] = area della sezione bagnata dell'ambito.

Il valore del coefficiente di Manning è stato assunto pari a 0.035 relativamente all'alveo inciso e pari a 0.04 per le aree golenali. Nei casi particolari di tratti artificiali, come ad esempio nel tratto parallelo a via Groppomontone del canale dell'Ardoglia, è stato assunto pari a 0.025.

4.1.6. Valutazione delle perdite di carico per attrito

Le perdite di carico per attrito sono calcolate attraverso la formula $L\bar{S}_f$ dove, \bar{S}_f è la pendenza d'attrito media, pesata, del tratto, secondo la seguente formula:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

dove K_1 , K_2 rappresentano le capacità di deflusso totali delle sezioni estreme.

4.1.7. Storage areas (aree di laminazione)

L'opzione storage areas permette di inserire nella geometria un'area di laminazione, che tipicamente è un volume dove si accumula l'acqua deviata dal corso d'acqua principale. Le storage areas possono essere connesse a un corso d'acqua attraverso un lateral weir, oppure a un'altra storage areas tramite l'elemento storage areas connection.

Per descrivere l'area di laminazione è necessario inserire l'area e l'altezza minima in caso di invasi prismatici, oppure la curva dei volumi, che fornisce ad ogni assegnato livello d'acqua nell'area di laminazione il relativo volume di invaso.

4.1.8. Lateral weir (sfioratore laterale)

L'opzione lateral weir permette di inserire nella geometria la connessione tra l'alveo e l'area/cassa di laminazione. E' possibile inserire diverse tipologie di sfioratori laterali, sia a soglia fissa, che a soglia mobile.

4.1.9. *Storage areas connection*

L'opzione storage area connections permette di inserire nella geometria la connessione tra due aree di laminazione, in modo da simulare ad esempio il sormonto di un rilevato con l'interessamento di aree da esso divise.

4.2. Il modello geometrico

Sulla base dei rilievi delle sezioni fluviali e dei sopralluoghi effettuati è stato realizzato un modello geometrico unico che comprenda il fiume Magra, i tre affluenti, le aree golenali e le aree allagabili.

Il tratto di studio del fiume Magra è compreso tra l'ospedale nuovo (sez. Ma_080) e la località Scorcetoli (sez. Ma_001), per una lunghezza complessiva di circa 5 km di asta fluviale.

Relativamente agli affluenti, il torrente Verde è stato modellato a partire dalla località La Polveriera, il torrente Gordana dalla località Molino Grattola e il canale dell'Ardoglia a partire dall'attraversamento della linea ferroviaria Parma – La Spezia; per una lunghezza rispettivamente di circa 1.9 km, 0.8 km e 2.1 km.

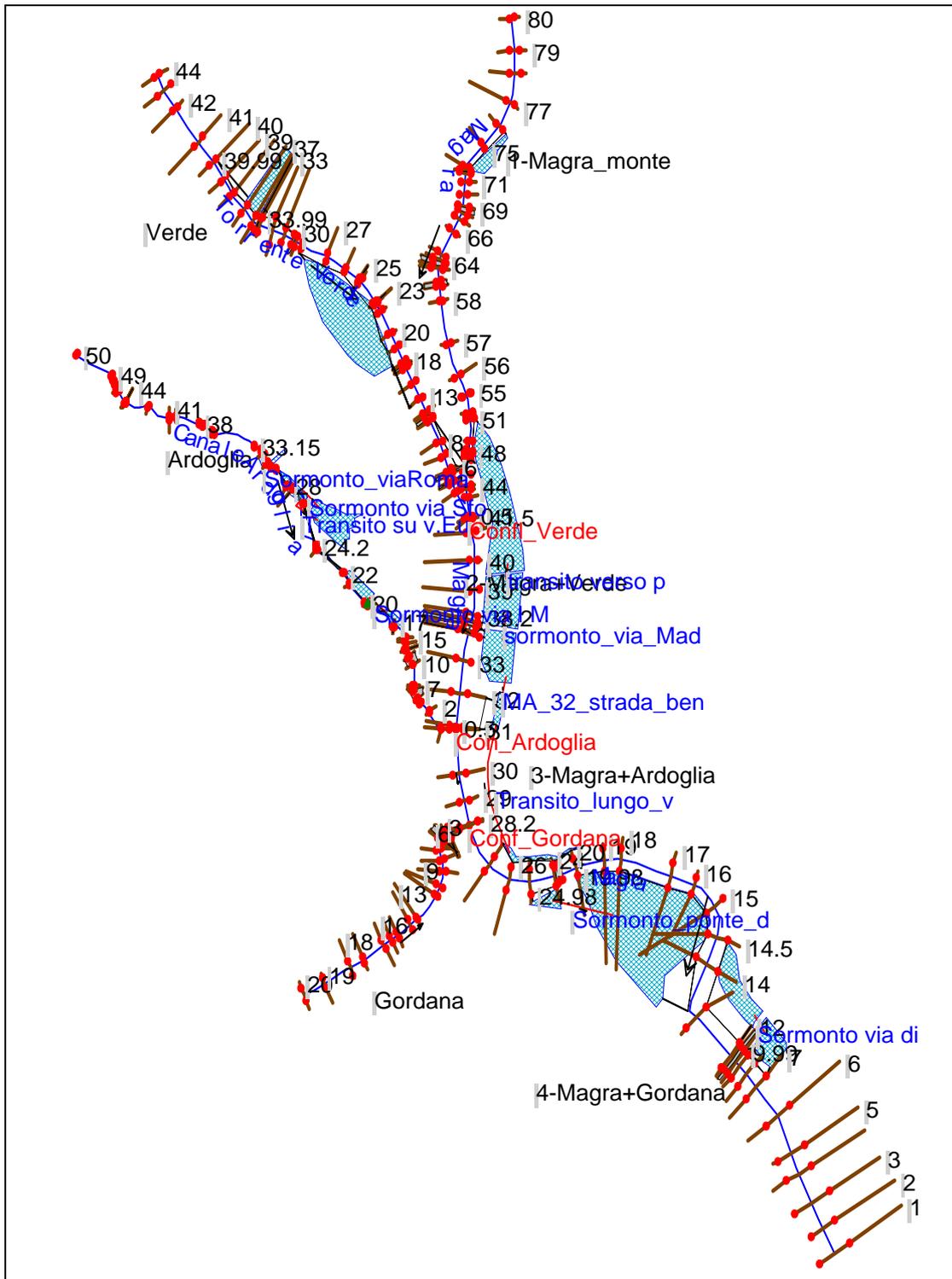


Figura 9 – Estratto dello schema geometrico del modello idraulico (Hec-Ras 4.0)

Nell'immagine seguente si riporta un estratto 3D della geometria del modello di verifica nell'area prossima al centro storico di Pontremoli.



Figura 10 – Estratto 3D del modello idraulico (Hec-Ras 4.0) – dettaglio zona t.Verde e f.Magra fino al ponte Alcide De Gasperi

Il modello realizzato ha le seguenti caratteristiche:

- 1) dal punto di vista idrologico, geometrico e idraulico è un modello unico: eventuali modifiche di natura geometrica, idrologica e idraulica, eseguite anche solo localmente, determina delle variazioni di natura idraulica in tutto il modello;

- 2) il modello è in moto vario monodimensionale sui tronchi fluviali studiati e bidimensionale delle aree golenali o di fondovalle: le portate in uscita e in ingresso dal corso d'acqua, modellate attraverso sfiori laterali (argini, cigli di sponda) fanno sì che la portata in alveo tenga conto di eventuali aree golenali e tracimazioni;
- 3) Le verifiche effettuate sui manufatti e sulle aree di laminazione risentono dell'impostazione del modello e pertanto la verifica degli stessi non è effettuata in senso "idrologico", ma in senso "idraulico".
- 4) Le potenziali esondazioni sono state simulate mediante l'ausilio di sezioni estese oppure inserendo alcune aree di esondazione come "storage areas." : complessivamente sono state inserite nel modello 20 celle d'esondazione (storage areas) che possono essere tra loro collegate attraverso " *storage area connections* ".

4.3. Analisi dei risultati allo stato attuale

Complessivamente il reticolo idraulico studiato non comporta rischi idraulici molto elevati per il centro abitato soprattutto se paragonato alle portate in gioco: si ricorda che alla sezione conclusiva del modello è prevista una portata per un evento duecentennale di circa 1800 mc/s.

In particolare relativamente all'evento trentennale, ad esclusione del canale dell'Ardoglia che presenta invece notevoli criticità, non si evidenziano particolari rischi per gli edifici e i manufatti esistenti.

Inoltre i volumi di esondazione tendono in generale a dar luogo a fenomeni di transito allagando quindi le aree con battenti modesti per poi rientrare in alveo più a valle.

I risultati della verifica allo stato attuale sono riportati per esteso negli allegati idraulici e mostrano il livello della piena per $Tr=500$, 200, 100 e 30 anni, ottenuto dalla simulazione in moto vario.

Nei paragrafi successivi, per ciascun corso d'acqua, sono state descritte le criticità locali e le aree allagabili per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni; per una rappresentazione grafica delle aree allagabili nei quattro tempi di ritorno si rimanda alle planimetrie allegate.

4.3.1. Criticità del fiume Magra da monte verso valle

- sez. Ma_076: si verifica l'esondazione in sinistra idraulica attraverso il passaggio nel muro di contenimento scavato dal Magra durante l'evento dell'ottobre 2011 e all'epoca del rilievo non ancora ripristinato;
- sez. Ma_073 (ponte dell'ospedale vecchio): si verifica il rigurgito del ponte con conseguente rischio per la struttura del manufatto stesso; si ricorda che durante l'evento di ottobre 2011 le spallette del ponte furono sormontate e in parte danneggiate dalla piena;
- tratto sez. Ma_049-Ma_046: si verifica il rigurgito del ponte Cesare Battisti con conseguente sormonto di una ridotta quantità di portata (pari a circa 25 mc/s) del muro in sinistra idraulica davanti al teatro di Pontremoli. I volumi d'acqua in esubero (quasi 100'000 mc) vanno ad allagare il centro abitato in prossimità della sponda sinistra, scorrendo prevalentemente lungo via Mazzini per poi rientrare in parte in alveo in prossimità del ponte di via Alcide de Gasperi e in parte proseguire verso valle lungo via Campolonghi;
- tratto sez. Ma_045-Ma_044: si verifica il sormonto del muro in destra idraulica con conseguente allagamento del giardino presente immediatamente a monte della confluenza con il F.Verde;
- tratto sez. Ma_041-Ma_032: si verifica l'interessamento dell'ampia area golenale presente in destra idraulica;
- tratto sez. Ma_038-Ma_035: immediatamente a monte e a valle del ponte di via Alcide de Gasperi si verifica il sormonto del muro in sinistra idraulica, l'acqua esondata si va ad unire ai volumi tracimati in prossimità del teatro;
- tratto sez. Ma_025-Ma_023: si verifica il rigurgito del ponte dell'Annunziata con conseguente esondazione di circa 220 mc/s, di cui circa 150 mc/s in destra idraulica con sormonto della viabilità e transito nell'ampia area presente in destra idraulica nel tratto Ma_020-Ma_014, i restanti 70 mc/s esondano in sinistra idraulica sulla strada statale della Cisa;
- tratto sez. Ma_019-Ma_017: si verifica il sormonto del muro esistente in destra idraulica, i volumi esondati vanno ad sommarsi ai volumi tracimati oltre la

viabilità in corrispondenza del ponte dell'Annunziata per poi rientrare in alveo nel tratto tra la sez. Ma_014 e Ma_013;

- sez. Ma_014: in prossimità della sezione Ma_014 si verifica il sormonto in sinistra idraulica con interessamento dell'area artigianale - industriale esistente e transito verso valle;
- sez. Ma_009: in prossimità della sezione Ma_009 si verifica il sormonto in sinistra idraulica con interessamento dell'area artigianale esistente.

4.3.2. Criticità del torrente Verde da monte verso valle

- Tratto sez. Ma_Ve_037-sez. Ma_Ve_035: si verifica il rigurgito del ponte con conseguente esondazione della campagna esistente in sinistra idraulica e sormonto del tratto di strada a sinistra del ponte;
- tratto sez. Ma_Ve_026-sez. Ma_Ve_023: si verifica esondazione in destra idraulica di oltre 1 milione di mc che transitano lungo la campagna esistente per poi rientrare in alveo oltrepassando il muro esistente nel tratto sez. Ma_Ve_021-Ma_Ve_018 : i volumi in esubero vanno ad interessare il parcheggio esistente a ridosso di viale Fiorini e l'edificio prossimo al parcheggio stesso;
- tratto sez. Ma_Ve_006-sez. Ma_Ve_002: si verifica esondazione in sinistra idraulica con allagamento del giardino esistente immediatamente a monte della confluenza nel Magra.

4.3.3. Criticità del torrente Gordana da monte verso valle

- tratto sez. Ma_Go_008-sez. Ma_Go_007: si verifica esondazione in destra idraulica con allagamento dell'area prossima agli edifici esistenti.

4.3.4. Criticità del canale dell'Ardoglia da monte verso valle

- tratto sez. Ma_Ar_028-sez. Ma_Ar_025: si verifica esondazione in destra e sinistra idraulica con allagamento dell'area prossima al corso d'acqua e transito verso valle di una lama d'acqua (pari a circa 4 mc/s) che scorre lungo via Europa. L'esondazione è causata principalmente dall'insufficienza del tratto tombato esistente e in secondo luogo dalla presenza di un restringimento della sezione di deflusso in prossimità della sez. Ma_Ar_028 e dall'effetto della briglia presente in corrispondenza della sez. Ma_Ar_027;
- tratto sez. Ma_Ar_022-sez. Ma_Ar_019: si verifica il rigurgito del ponte di via I Maggio con conseguente allagamento degli edifici esistenti in sinistra idraulica immediatamente a monte dell'attraversamento stesso e il sormonto della viabilità. In corrispondenza della sez. Ma_Ar_021 si verifica il sormonto anche di una passerella pedonale esistente;
- tratto sez. Ma_Ar_011-sez. Ma_Ar_005: a causa del sottodimensionamento dell'attraversamento esistente di via Groppomontone si verifica il sormonto della viabilità anche per eventi con tempo di ritorno trentennale. I volumi in esubero transitano lungo via Groppomontone verso sud allagando alcuni edifici per poi rientrare in alveo a valle della sez. Ma_Ar_003 (come risulta evidente dall'immagine accanto).



Figura 11 – Edificio prossimo alla sez. Ma_Ar_004 - foto scattata durante l'evento di piena del 25 ottobre

4.4. Confronto dei risultati del modello con i dati relativi all'evento del 25 Ottobre 2011

Al fine di tarare il modello di verifica costruito e avvalorarne la correttezza è stato svolto un raffronto tra i risultati derivanti dalle simulazioni e i dati riscontrati durante l'evento di piena del 25 ottobre 2011 e riportati nel *Report meteo-idrologico del giorno 25 ottobre 2011 – Focus sul bacino toscano del fiume Magra* redatto dal Centro Funzionale della Regione Toscana il 4 novembre 2011.

In primo luogo è stata eseguita un analisi dei dati idrologici al fine di inquadrare l'evento pluviometrico del 25 ottobre dal punto di vista del tempo di ritorno; in secondo luogo è stato effettuato un confronto sui battenti risultanti dalla modellazione e quelli registrati durante l'evento.

4.4.1. Analisi idrologica dell'evento del 25 ottobre 2011

Durante l'evento del 25 ottobre 2011 sono stati registrati nell'alto bacino del Magra precipitazioni che nell'arco delle 24 ore hanno superato ovunque i 200 mm ed in particolare proprio in prossimità di Pontremoli valori addirittura superiori a 350 mm.

Nell'immagine seguente, estratta dal suddetto report del Centro Funzionale, è rappresentata la distribuzione delle piogge cumulate sulle 48 ore tra le ore 18 del giorno 24 ottobre e le ore 18 del 26 ottobre 2011.

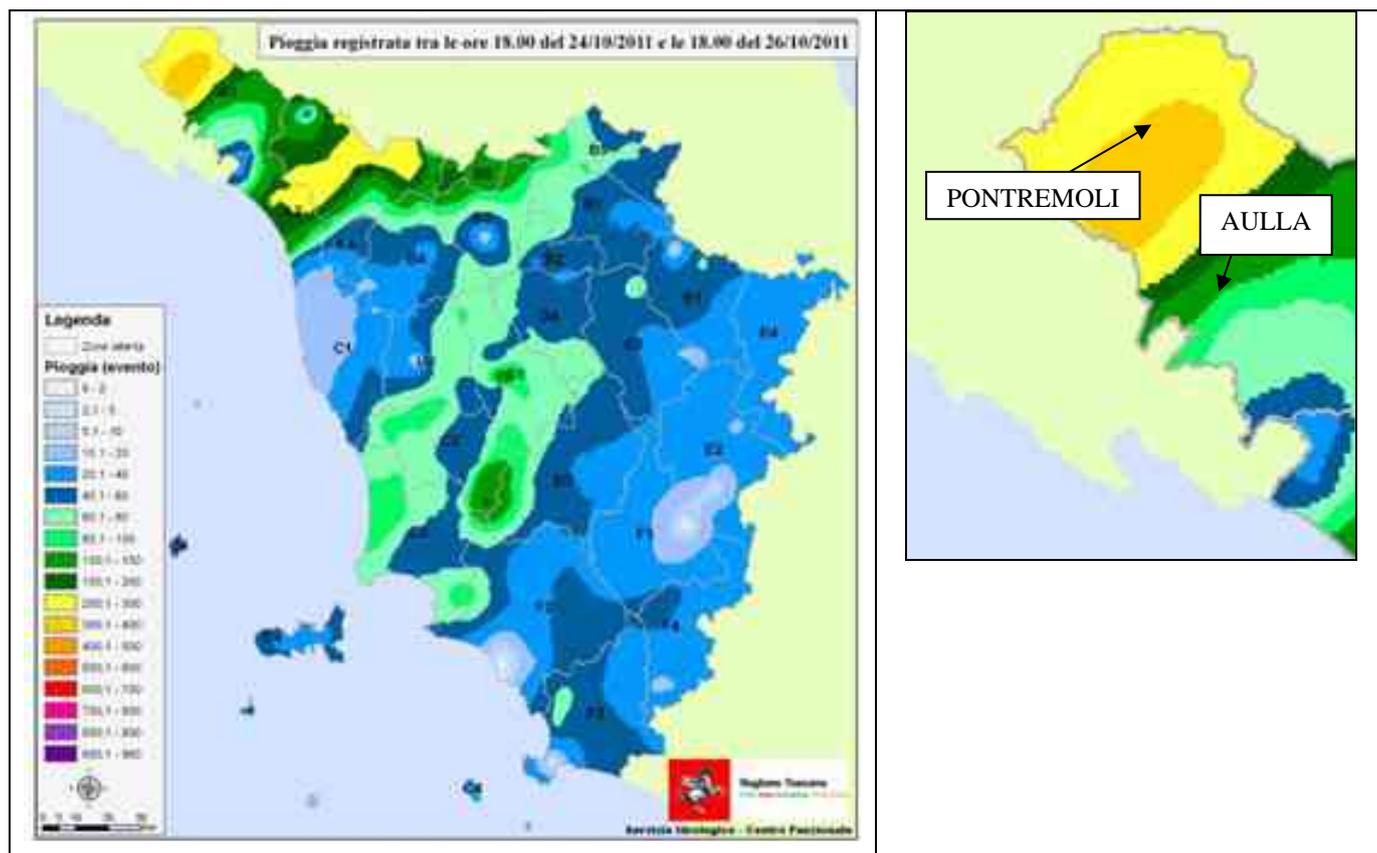


Figura 12 – Mappa della distribuzione delle piogge cumulate in 48 ore e dettaglio dell'area di interesse

Dall'immagine sopra si vede come nella parte alta del bacino del f. Magra e del t. Verde le precipitazioni sono risultate comprese tra 200 e 300 mm mentre nella parte bassa del bacino, ovvero all'altezza di Pontremoli sono state registrate precipitazioni comprese tra 300 e 400 mm.

Nella tabella seguente si riportano i valori misurati in 4 stazioni di misura in 24 ore:

Nome	Provincia	Bacino	mm registrati in data 25/10/11
TOS09001083 – Santa Giustina	MS	Magra	374.4
TOS11000101 – Pontremoli	MS	Magra	365.8
TOS09001080 – Pontremoli depuratore	MS	Magra	311.4
TOS09001053 – Passo della Cisa	MS	Magra	207.0

Tabella 3 – Piogge giornaliere registrate dalle stazioni di misura presenti nel comune di Pontremoli

Come riportato nella seguente tabella estratta dal report suddetto, l'evento del 25 ottobre su una durata di 12 ore ha superato ampiamente il tempo di ritorno di 500 anni relativamente alle stazioni di misura di Pontremoli, mentre si attesta intorno ai 40 anni per quanto riguarda il pluviometro del passo della Cisa; quindi sul bacino complessivo del Magra a monte di Pontremoli l'evento del 25 ottobre 2011 si può inquadrare su un tempo di ritorno intorno alla prossimi alla cinquecentennale .

Stazione	Altezza di pioggia (mm)	Tempo di ritorno (anni)	...
...
...
...
...
...
...

Tabella 4 – Correlazione altezza di pioggia-tempo di ritorno con evidenziate le stazioni di interesse

I parametri della curva di possibilità pluviometrica utilizzati nella correlazione tra precipitazioni e tempo di ritorno della tabella sopra riportata corrispondono a quelli del software ALTo. Di conseguenza è possibile ricavare mediante il software ALTo la portata teorica associata ad un evento cinquecentennale che risulta pari a circa 1400 mc/s (cfr. Tabella 2).

Al fine di controllare la correttezza del modello, nel paragrafo seguente si pone a confronto il battente associato alla suddetta portata nel modello di verifica con il battente registrato dall'idrometro di Santa Giustina durante l'evento del 25 ottobre.

4.4.2. Confronto con i risultati del modello

Al fine di verificare la coerenza dell'analisi modellistica con l'evento registrato è stato fatto un confronto tra il battente risultante dal modello nel caso di portata in arrivo pari a circa 1400 mc/s (cfr. paragrafo precedente) con quanto misurato dall'idrometro di Santa Giustina.

Dal modello di verifica il battente in corrispondenza della stazione di misura associato alla suddetta portata risulta pari a 203.46 m s.l.m.; secondo quanto riportato nel report del Centro Funzionale il battente massimo registrato durante l'evento del 25 ottobre dall'idrometro di Santa Giustina è pari 5.39 m che corrisponde, essendo lo zero idrometrico a quota 198.00 m s.l.m., ad una quota assoluta di 203.39 m s.l.m.

Il confronto effettuato in corrispondenza della stazione di misura di Santa Giustina avvalorava quindi la correttezza del modello di verifica.

A differenza di quanto risulta dall'analisi condotta mediante Alto, secondo gli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino la portata di 1400 mc/s risulta associata ad evento con tempo di ritorno pari a circa 100 anni. Come indicato in precedenza la differenza rispetto al tempo di ritorno ricavato con i parametri di ALTO deriva dal fatto che i due modelli idrologici e i relativi parametri della curva di possibilità pluviometrica risultano discordanti.

4.5. Stato di progetto

Sulla base di quanto risulta dalle verifiche dello stato attuale si prevedono una serie di interventi di progetto sui vari corsi d'acqua del reticolo tesi a garantire la messa in sicurezza idraulica dell'abitato di Pontremoli per un evento con tempo di ritorno duecentennale.

Gli interventi descritti sono stati dimensionati in modo da garantire il deflusso della piena con tempo di ritorno duecentennale con un franco di sicurezza di almeno 50 cm rispetto ai nuovi manufatti.

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione degli interventi previsti e delle conseguenti criticità eliminate: per la loro localizzazione planimetrica ed i particolari costruttivi si rimanda alle tavole allegate alla presente relazione.

4.5.1. Interventi di progetto sul fiume Magra

Realizzazione briglia selettiva sul fiume Magra

L'intervento consiste nella realizzazione di una briglia a pettine, schematizzata nell'immagine seguente, localizzata in corrispondenza della sezione Ma_079. I pali per intercettazione del materiale flottante avranno una larghezza di 80 cm e una luce tra palo e palo di 2 m, in modo da non interferire sul trasporto di materiale di piccola e media pezzatura, ma trattenere solo materiale flottante di grosse dimensioni (tronchi d'albero e rami di grosse dimensioni).

La quota della sommità dei pali è tale da essere superiore al massimo battente previsto per l'evento duecentennale (pari a quasi 250.00 m s.l.m.), comporta quindi un'altezza dei pali di 4 m rispetto alla quota fondo alveo. I pali verranno infissi nel terreno ad una profondità tale da avere 2/3 del palo sotto terra e 1/3 fuori: la lunghezza complessiva del palo sarà quindi di 12 metri. La parte esterna del palo verrà rivestita in "acciaio COR-TEN". La principale peculiarità dell'acciaio COR-TEN è quella di autoprotettersi dalla corrosione elettrochimica, mediante la formazione di una patina superficiale compatta passivante, costituita dagli ossidi dei suoi elementi di lega, tale da impedire il progressivo estendersi della corrosione.

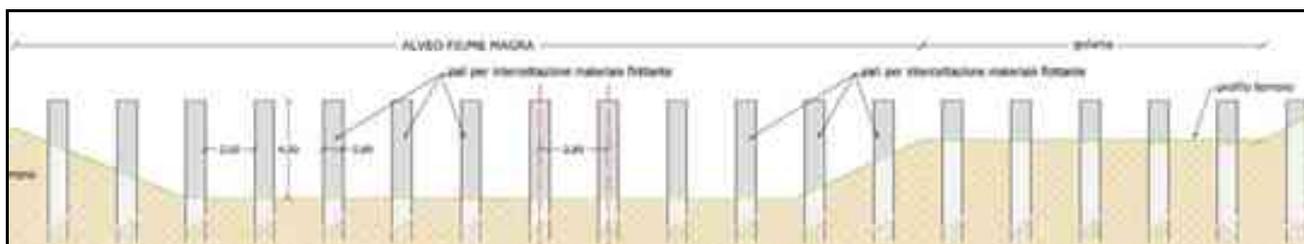


Figura 13 –Particolare della briglia estratto dalla tavola allegata

L'assenza di un cordolo di collegamento tra i vari pali permette di non influire sulle naturali variazioni morfologiche del fondo alveo.

La briglia permette di trattenere il materiale flottante in modo da ridurre il rischio di intasamento per i manufatti a valle. Nell'immagine seguente si può notare come durante l'evento del 25 ottobre 2011 si fossero depositati molti tronchi, alcuni anche di notevoli dimensioni, in prossimità delle pile del ponte del vecchio ospedale (sez. Ma_073), con conseguente riduzione della luce utile al deflusso del ponte stesso.



**Figura 14 –Lato di monte del ponte in prossimità del vecchio ospedale sez. Ma_073
in seguito all'evento del 25 ottobre 2011**

Ripristino muro di contenimento in sinistra idraulica in corrispondenza della sezione Ma_076

L'intervento consiste nel ripristino del muro di contenimento esistente in sinistra idraulica in prossimità della sezione Ma_076 dove durante l'evento del 25 ottobre 2011 la piena aprì un varco, ben visibile nelle seguenti immagini e non ancora ripristinato all'epoca del rilievo effettuato.



Figura 15 – varco nel muro in sinistra idraulica aperto dalla piena del 25 ottobre 2011

Il ripristino del muro di contenimento è necessario al fine di evitare le esondazioni in sinistra idraulica con conseguente transito dei volumi in esubero verso la vecchia cartiera.

Adeguamento sezioni idrauliche ponte Cesare Battisti

L'intervento consiste nell'abbassamento della briglia esistente in corrispondenza della sez.Ma_044 e il conseguente raccordo del profilo del fondo con incremento della luce idraulica disponibile al ponte Cesare Battisti. Come si evince dall'immagine seguente, la risagomatura avverrà solo nella parte centrale dell'alveo in modo da mantenere una distanza di almeno 5 metri dai muri di sponda laterali esistenti per non rischiare di comprometterne la stabilità.

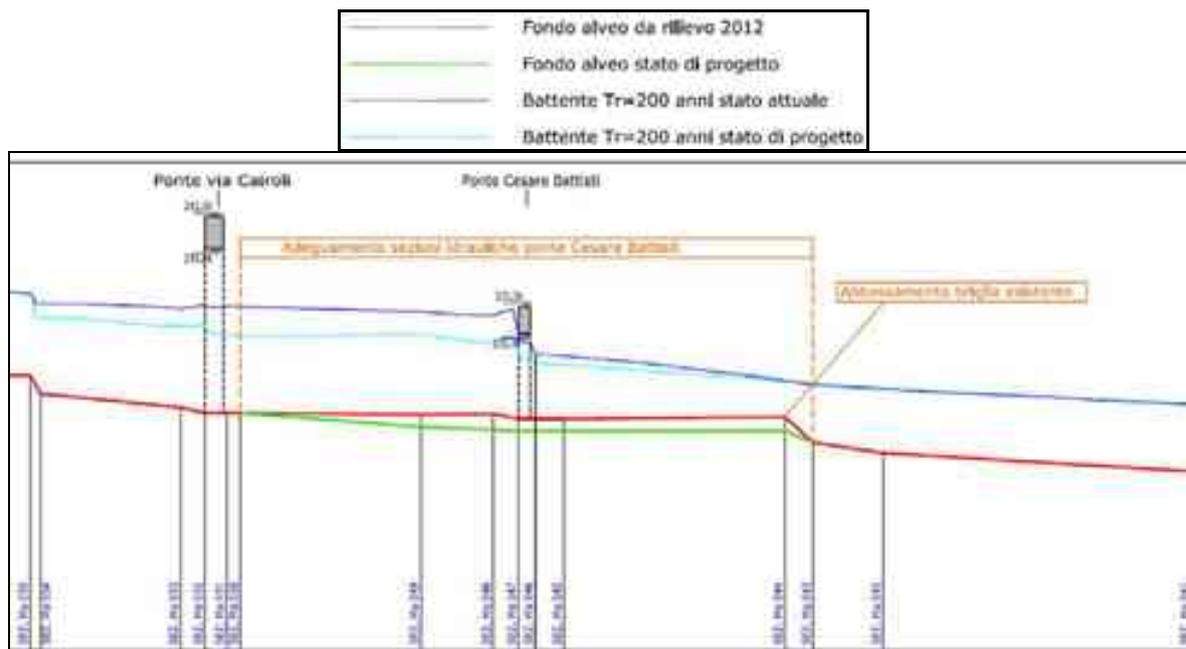


Figura 17 –Confronto tra i profili allo stato attuale e di progetto estratto dalla tavola allegata

Rialzamento muro in sinistra idraulica in prossimità del ponte Alcide de Gasperi

L'intervento consiste nel rialzamento dei muri esistenti in sinistra idraulica sia a monte che a valle del ponte Alcide de Gasperi al fine di evitare le esondazioni in prossimità del ponte stesso.

Si prevede di rialzare di circa 1 metro il muro a monte del ponte e di circa 60 cm il muro a valle.

Nelle immagini della pagina seguente sono visualizzati i muri esistenti .



**Figura 18 –Muri allo stato attuale, rispettivamente a monte e a valle del ponte
Alcide de Gasperi**

Soluzione criticità ponte dell'Annunziata

Al fine di risolvere la criticità riscontrata allo stato attuale in corrispondenza del ponte dell'Annunziata si prevedono due possibili soluzioni:

Soluzione 1 - L'intervento consiste nella risagomatura delle sezioni idrauliche in prossimità del ponte in particolare in sinistra idraulica e nella realizzazione di un bypass in destra idraulica sotto la viabilità locale esistente .

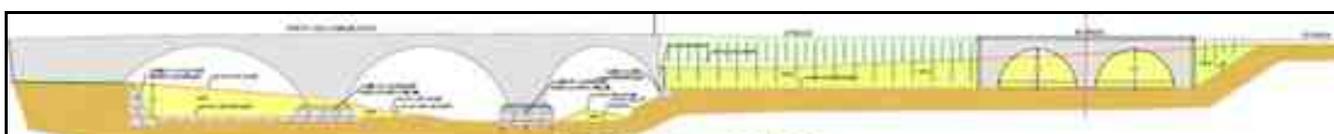


Figura 19 –Particolare dell'intervento Hp1 estratto dalla tavola allegata

Il bypass entrerà in funzione solo per eventi di piena consistenti (per portate superiori a circa 500 mc/s), poiché la soglia di sfioro che deriva parte della portata verso il bypass è circa 4 metri più in alto della quota di fondo alveo.

Soluzione 2 - L'intervento consiste nella demolizione del ponte esistente e realizzazione di un nuovo ponte a due campate, con contestuale risagomatura delle sezioni idrauliche in prossimità del ponte in particolare in sinistra idraulica (cfr. immagine seguente).

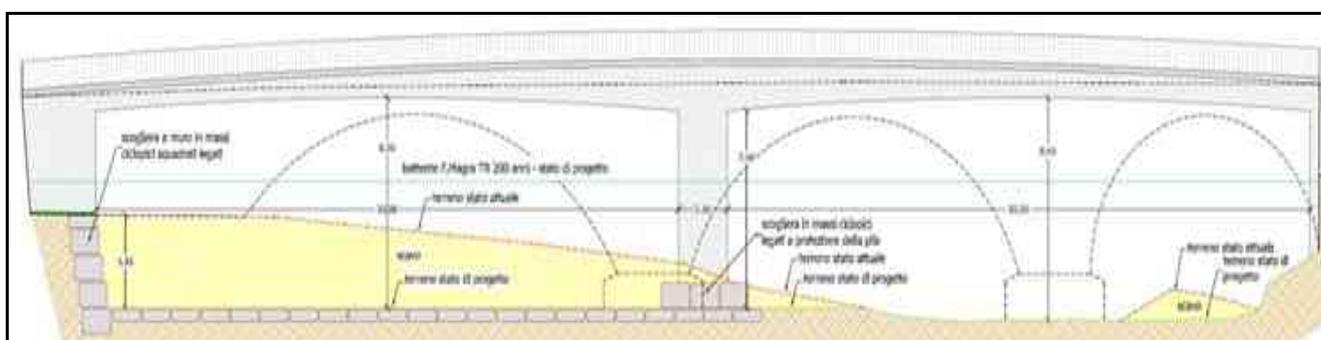


Figura 20 –Particolare dell'intervento Hp2 estratto dalla tavola allegata

Entrambe le soluzioni permettono di eliminare le esondazioni riscontrate allo stato attuale sia in sinistra che in destra idraulica a monte del ponte, a causa del rigurgito del ponte stesso con conseguente interessamento della viabilità e degli edifici circostanti. Come riportato nella planimetria di progetto zona sud, l'ipotesi 2 permette anche di ridurre l'area allagabile in destra idraulica a valle del ponte.

Rialzamento argine in sinistra idraulica in prossimità della sez. Ma 014; rialzamento del muro in corrispondenza delle sez. Ma 009 – Ma 008

Il primo intervento consiste nel rialzamento di circa 1.50 m dell'argine sinistro per un tratto di circa 200 m in prossimità della sez. Ma_014, tale da garantire un franco di sicurezza di almeno 50 cm rispetto all'evento duecentennale.

Il secondo intervento consiste nel rialzamento di massimo 1 m del muro immediatamente a valle del ponte per un tratto di circa 100 m.

I due interventi, localizzati nell'immagine seguente, garantiscono la messa in sicurezza idraulica dell'area industriale esistenti in sinistra idraulica.



Figura 21 –Interventi rialzamento argine (in rosso) e muro (in verde)

4.5.2. Interventi di progetto sul torrente Verde

Realizzazione briglia selettiva sul torrente Verde

L'intervento consiste nella realizzazione di una briglia a pettine, schematizzata nell'immagine seguente, localizzata circa 20 m a monte della sezione Ma_Ve_041.

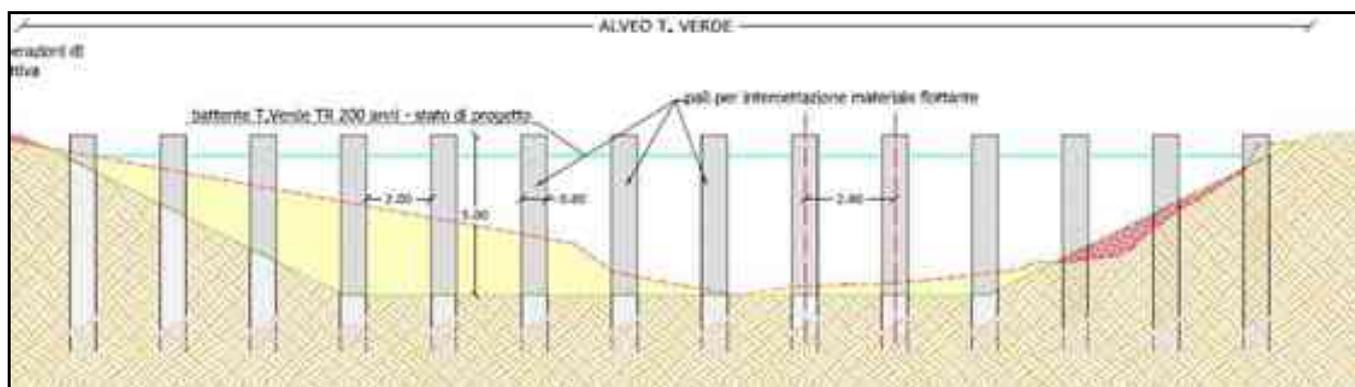


Figura 22 –Particolare della briglia estratto dalla tavola allegata

Lo scopo e il funzionamento sono analoghi a quelli esplicitati per la briglia selettiva sul F.Magra.

Realizzazione argine in destra idraulica tratto sez. Ma Ve 027-Ma Ve 023

L'intervento consiste nella demolizione del muro esistente e nella realizzazione di un argine in terra di altezza massima di 3 m, per una lunghezza complessiva di circa 250 m.

Il nuovo rilevato arginale permette di eliminare le esondazioni in destra idraulica nel tratto compreso tra il ponte ferroviario e il ponte della Cresa.

4.5.3. *Interventi di progetto sul torrente Gordana*

Realizzazione briglia selettiva sul torrente Gordana

L'intervento consiste nella realizzazione di una briglia a pettine, schematizzata nell'immagine seguente, localizzata in prossimità della sezione Ma_Go_019.

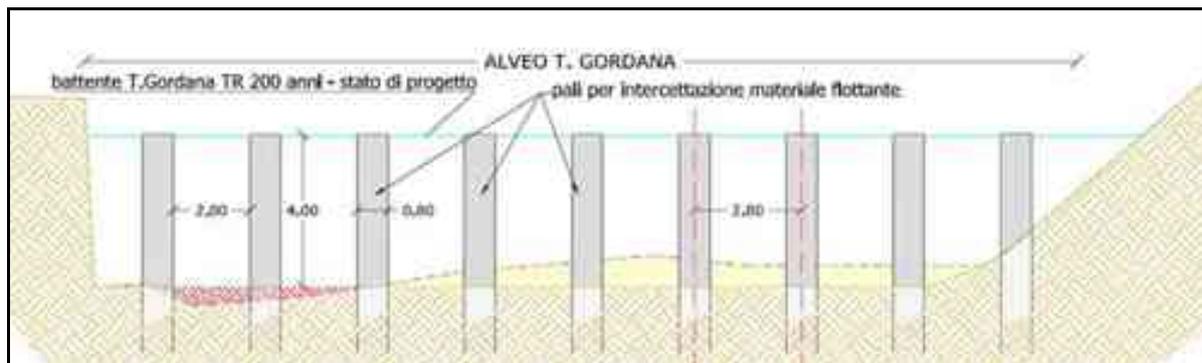


Figura 23 –Particolare della briglia estratto dalla tavola allegata

Lo scopo e il funzionamento sono analoghi a quelli esplicitati per la briglia selettiva sul F.Magra e sul F.Verde.

4.5.4. Interventi di progetto sul canale dell'Ardoglia

Demolizione briglia esistente e risagomatura sezioni tratto sez. Ma Ar 028- Ma Ar 027; demolizione tratto tombato esistente e realizzazione nuovo tratto tombato di idonee dimensioni.

Il primo intervento consiste nella demolizione della briglia esistente in corrispondenza della sez. Ma_Ar_027 e realizzazione di uno scivolo in scogliera e nella risagomatura delle sezioni a monte.

Il secondo intervento consiste nella sostituzione del tratto tombato esistente tra la sez. Ma_Ar_025 e la sez. Ma_Ar_024 con uno scatolare di 4.00 x 2.50 m, come evidenziato nella seguente immagine.

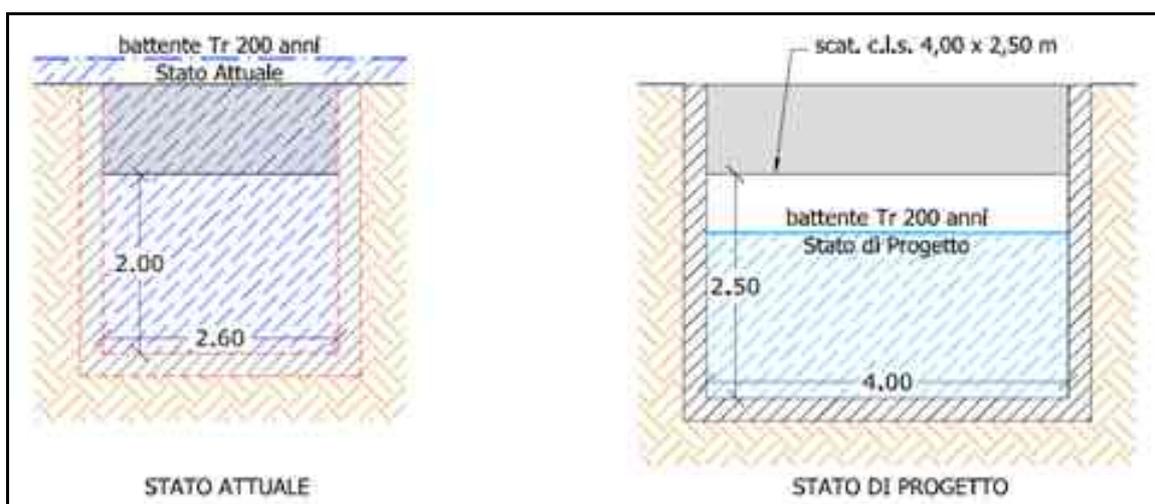


Figura 24 –Particolare della sezione di monte del tratto tombato estratto dalla tavola allegata

Contestualmente si prevede una leggera riprofilatura del tratto immediatamente a valle del tombamento.

Gli interventi descritti permettono di eliminare le esondazioni in prossimità della briglia esistente e del tratto tombato, evitando così il sormonto della viabilità con transito lungo via Europa riscontrato allo stato attuale. Nell'immagine seguente si riporta il

confronto dei profili allo stato attuale e di progetto in seguito agli interventi previsti da cui si può notare il notevole abbassamento del battente massimoduecentennale.

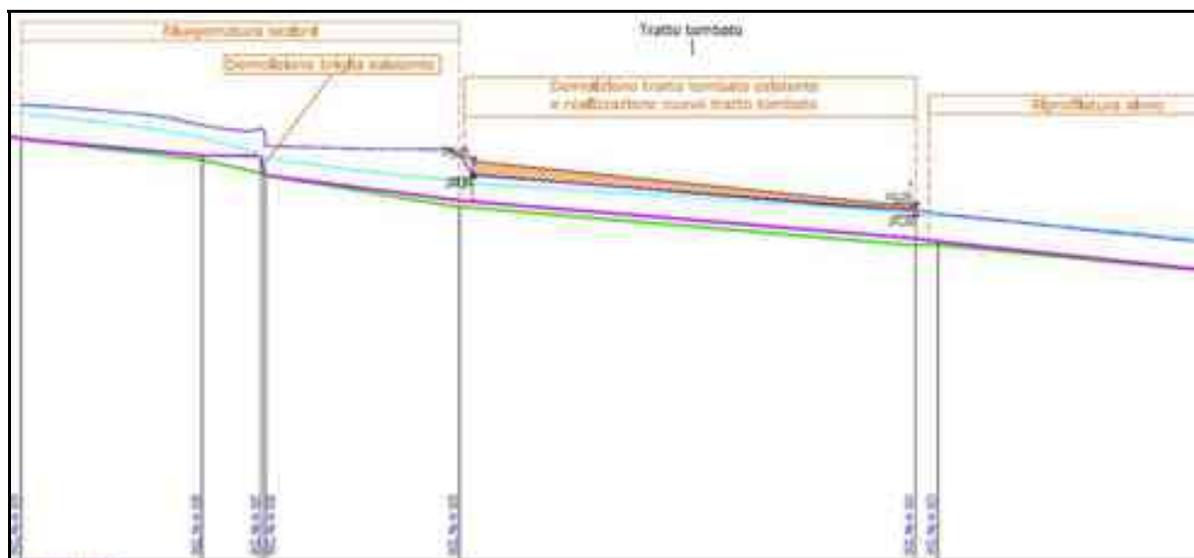


Figura 25 –confronto dei profili duecentennali allo stato attuale (in blu) e di progetto (in celeste) - estratto dalla tavola allegata

Realizzazione nuovo muro di protezione e rifacimento passerella esistente in prossimità della sez. Ma Ar 021; demolizione attraversamento esistente e realizzazione nuovo attraversamento di via I Maggio

Il primo intervento consiste nella realizzazione di un nuovo muro di protezione di altezza massima di 1 m e nella demolizione della passerella esistente e ricostruzione della stessa circa 1 m più alta.

Il secondo intervento consiste nella demolizione dell'attraversamento esistente, costituito da due scatolari affiancati, e realizzazione di un nuovo attraversamento mediante la messa in opera di uno scatolare 4.50 x 3.00 m, come evidenziato nella seguente immagine.

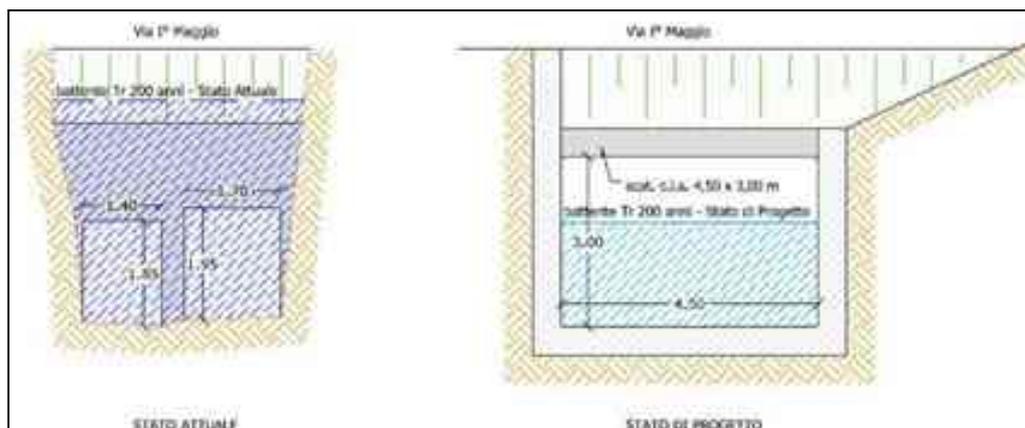


Figura 26 –Particolare della sezione di monte del ponte estratto dalla tavola allegata

Gli interventi descritti permettono di eliminare le esondazioni in prossimità della passerella esistente in prossimità della sez. Ma_Ar_021 e dell'attraversamento di via I Maggio, evitando così il sormonto della viabilità riscontrato allo stato attuale. Nell'immagine seguente si riporta il confronto dei profili allo stato attuale e di progetto in seguito agli interventi previsti da cui si può notare il notevole abbassamento del battente massimo duecentennale.

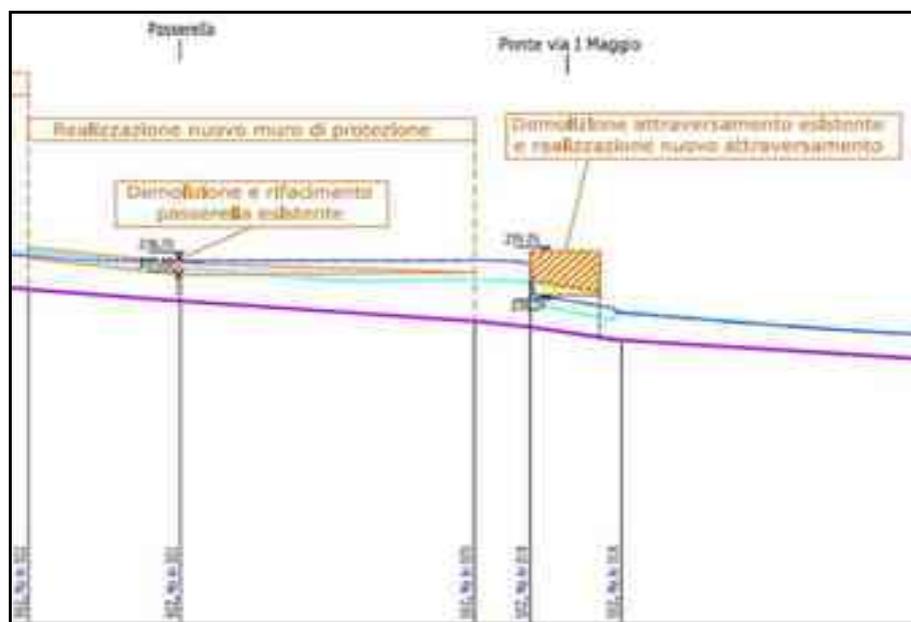


Figura 27 –confronto dei profili duecentennali allo stato attuale (in blu) e di progetto (in celeste) - estratto dalla tavola allegata

Soluzione criticità zona via Groppomontone

Al fine di risolvere la criticità riscontrata allo stato attuale in corrispondenza di via Groppomontone si prevedono due possibili soluzioni:

Soluzione 1 – In questa ipotesi progettuale si prevedono i seguenti interventi:

- demolizione dell'attraversamento esistente di via Groppomontone (sez. Ma_Ar_011), costituito da un finsider di diametro 1.5 m ampiamente insufficiente al deflusso anche della piena trentennale, e realizzazione di un nuovo attraversamento con uno scatolare 4.50 x 3.20 m ;

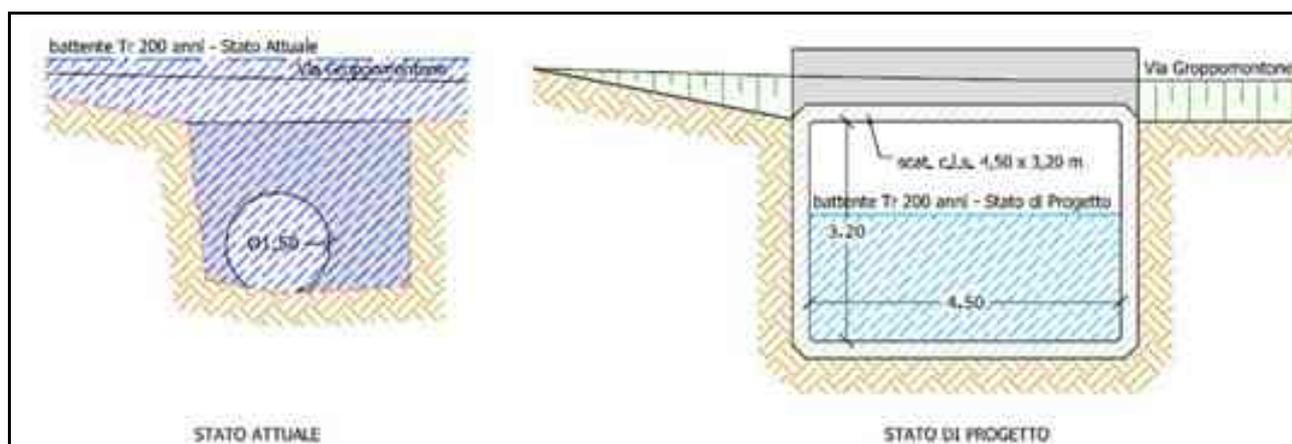


Figura 28 –Particolare della sezione di monte del ponte estratto dalla tavola allegata

- risagomatura del tratto compreso tra la sez. Ma_Ar_010 e la sez. Ma_Ar_006;

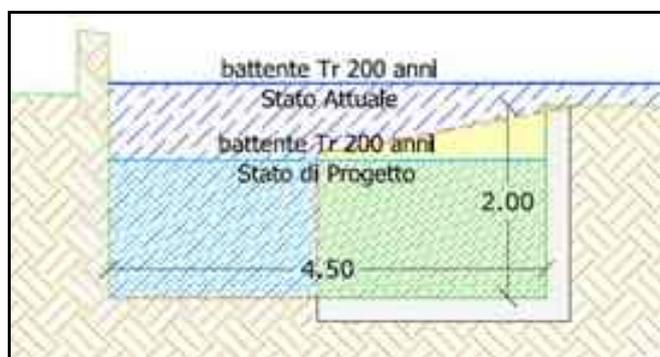


Figura 29 –Sezione tipo intervento di risagomatura estratto dalla tavola allegata

- realizzazione di bypass sotto via Groppomontone con uno scatolare 4.50 x 2.60.

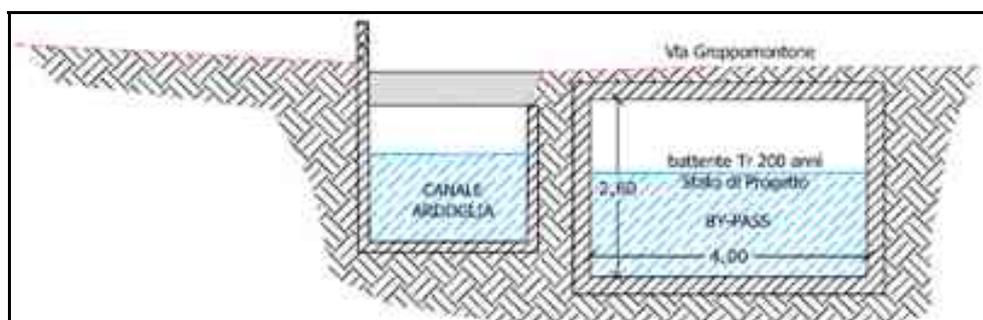


Figura 30 –Sezione tipo bypass sotto via Groppomontone estratto dalla tavola allegata

Soluzione 2 – In questa ipotesi progettuale si prevedono i seguenti interventi:

- realizzazione di un bypass ad ovest di via Groppomontone con una canale a cielo aperto di dimensioni 4.00 x 2.50 m che scorre parallelo alla strada fino a confluire nel fosso della Borghesa.



Figura 31 –Sezione tipo bypass ad ovest di via Groppomontone estratto dalla tavola allegata

- rifacimento dell'attraversamento esistente del fosso della Borghesa sotto via Groppomontone, con la sostituzione dei due finsider esistenti con uno scatolare 4.00 x 3.00 m.

Relativamente alla seconda soluzione progettuale, per un più preciso dimensionamento del nuovo attraversamento di via Groppomontone, risulterebbe

necessaria un'analisi idrologica-idraulica del fosso della Borghesa, che non rientrava tra i corsi d'acqua oggetto del presente studio.

Ponendo a confronto le due soluzioni prospettate si evidenzia che la seconda permette di non modificare niente dell'attuale tracciato del canale dell'Ardoglia e di realizzare un bypass a cielo aperto piuttosto che un tratto tombato, con conseguente minor costo di realizzazione e maggiore facilità di manutenzione.

Entrambe le soluzioni permettono di eliminare le esondazioni sopra via Groppomontone, con conseguente transito lungo l'acqua e allagamento degli edifici limitrofi, riscontrate allo stato attuale.

4.5.5. Interventi di manutenzione previsti

Il complesso di opere idrauliche illustrato nella presente relazione è stato pensato con la finalità di garantire che tutti i processi simulati si realizzino in completo automatismo. È tuttavia opportuno prevedere una serie di piccoli interventi di manutenzione programmata, mentre alcuni interventi di manutenzione straordinaria saranno prevedibili in occasione di eventi di notevole intensità.

Manutenzione ordinaria

ARGINI: si prevedono interventi periodici di manutenzione sulle opere arginali (pulizia dei paramenti dalla vegetazione, eventuali riprese di quote ecc.);

BRIGLIE SELETTIVE, PONTI E BYPASS: i nuovi manufatti nonché i tratti di sponda ad essi prospicienti dovranno essere oggetto di periodica pulizia per l'eliminazione di vegetazione alta, depositi di materiale lapideo in prossimità dei manufatti e più in generale o dei corpi estranei che potrebbero condizionare il deflusso.

Manutenzione straordinaria

Successivamente a eventi di piena che determinino il deposito di molto materiale flottante in prossimità delle opere idrauliche progettate si prevedono piccoli interventi di ripristino. In particolare:

MANUFATTI IDRAULICI: si prevede la pulizia delle sezioni dei manufatti dal materiale flottante eventualmente intercettato durante l'evento. Analogo intervento dovrà essere attuato per le opere di intercettazione appositamente realizzate.

ALVEI, ARGINI E MURI: Non si esclude che, durante l'esercizio delle opere, si rendano necessari interventi di protezione spondale finalizzati al ripristino e al mantenimento del ciglio di sponda.

5. VALUTAZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DEL FONDO ALVEO DEL FIUME MAGRA

Al fine di valutare le tendenze evolutive del fondo alveo del fiume Magra si pongono a confronto i profili della linea di thalweg ricavata dalle sezioni fornite dall'Autorità di Bacino relative ad un rilievo del 2002 con quella ricavata dal rilievo eseguito nel 2012 nell'ambito del presente studio. Nelle immagini seguenti si riportano alcuni dettagli, si rimanda alla tavola 31 per il confronto su tutto il profilo del fiume Magra.

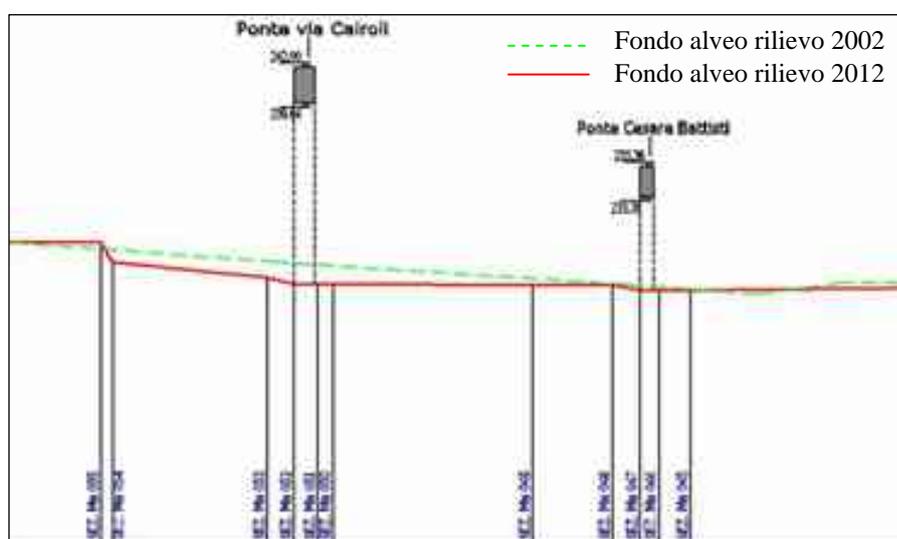


Figura 32 –Confronto fondo alveo fiume Magra in prossimità del centro storico

Dal confronto si ricava che il profilo di fondo alveo risulta pressoché invariato, con una minima tendenza all'incisione nel tratto di valle, confermata anche dall'erosione alla base della pila del ponte di Santa Giustina avvenuta durante l'evento del 25 ottobre 2011 e ben visibile nel estratto seguente.

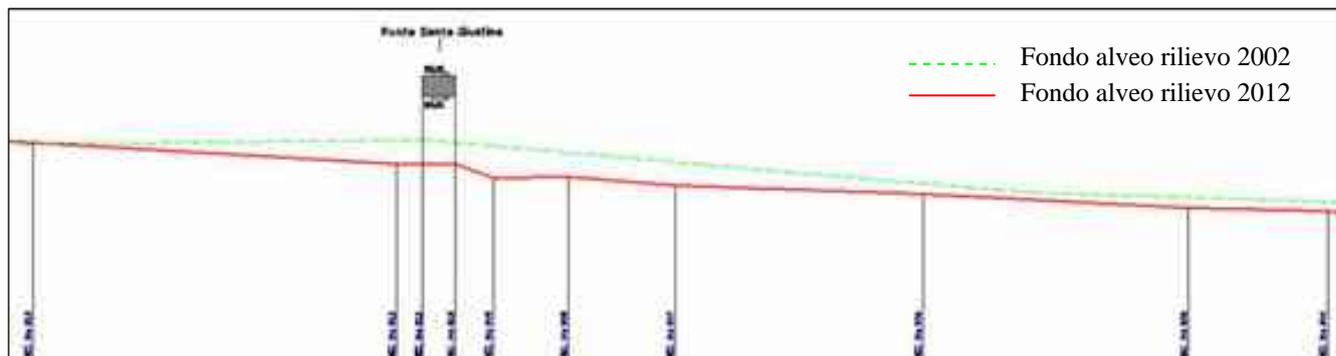


Figura 33 –Confronto fondo alveo fiume Magra in prossimità del ponte di Santa Giustina

È importante segnalare che il rilievo del 2002 presenta alcune discordanze in termini di quote assolute rilevate sui alcuni ponti rispetto al rilievo effettuato nell'ambito del presente lavoro. Oltre a ciò si segnala che nel rilievo del 2002 compaiono alcune imprecisioni relativamente al ponte della S.S. della Cisa vecchia (sezione 157B del rilievo 2002) e al ponte dell'Annunziata (sezione 139B del rilievo 2002) che sono stati riportati erroneamente come ponti ad intradosso orizzontale mentre si tratta di ponti ad archi.

Nel porre a confronto i due profili bisogna inoltre considerare che durante l'evento del 25 ottobre 2011 il fiume ha variato in alcuni tratti il tracciato dell'alveo di magra con conseguenti probabili variazioni della quota del fondo. Dal confronto seguente tra una foto scattata verso monte dal ponte della S.S. della Cisa a gennaio 2011 (sopra) e quella scattata dallo stesso ponte durante la campagna di rilievo (sotto) risulta evidente la variazione del tracciato dell'alveo di magra.



Figura 34 –Tracciato fiume Magra a valle del ponte ferroviario confronto prima e dopo l’evento del 25 ottobre

Infine tra i fenomeni di variazioni planimetriche dell’alveo si rileva anche la notevole erosione della sponda destra immediatamente a valle dell’idrometro di Santa Giustina, evidenziata nell’immagine della pagina seguente.



Figura 35 –Zona di erosione in destra idraulica

6. **CONCLUSIONI**

Lo studio idrologico-idraulico e la progettazione preliminare sono state svolte al fine di verificare l'entità delle esondazioni causate dal fiume Magra e dai suoi affluenti nell'area di Pontremoli e proporre gli interventi necessari alla messa in sicurezza idraulica.

Lo studio e la progettazione preliminare, che hanno preso in considerazione il reticolo formato dal fiume Magra, il torrente Verde, il torrente Gordana e il canale dell'Ardoglia, è stato strutturato attraverso i seguenti steps operativi:

Analisi idrologica

Sulla base degli idrogrammi di piena forniti dall'Autorità di Bacino per i tempi di ritorno 500, 200, 100 e 30 anni sono stati ricavati gli idrogrammi di input del modello di verifica nei tre seguenti scenari, al fine di analizzare il transito della massima piena su ciascun corso d'acqua del reticolo esaminato:

- A - Evento critico sul fiume Magra
- B - Evento critico sul torrente Verde
- C - Evento critico sul torrente Gordana

Nella metodologia di calcolo degli idrogrammi nei tre suddetti scenari è stata imposta come condizione vincolante che la portata complessiva alla sezione di valle del modello fosse sempre corrispondente all'idrogramma fornito dall'Autorità di Bacino per la sezione denominata Ma_001.

Infine è stato effettuato un confronto con i dati di portata calcolati mediante l'ausilio del software ALTo2000, da cui si nota come gli idrogrammi messi a disposizione dall'Autorità di Bacino forniscano portate maggiori e di conseguenza maggiormente cautelative.

Analisi idraulica stato attuale

Gli idrogrammi di piena ottenuti con l'analisi idrologica sono stati inseriti come input di monte del modello di verifica, la cui schematizzazione geometrica è stata basata sui rilievi delle sezioni fluviali dei quattro corsi d'acqua e i sopralluoghi di dettaglio sull'area di intervento eseguiti nella primavera-estate 2012.

È stato così implementato un modello idraulico unico in moto vario allo stato attuale, attraverso il software Hec-ras 4.0., in dodici differenti scenari, ovvero ciascuno dei 3 possibili eventi critici nei 4 tempi di ritorno.

Al fine di tarare e avvalorare le simulazioni effettuate, i risultati del modello sono stati confrontati con i dati registrati durante l'evento del 25 ottobre 2011.

Dall'analisi dello stato attuale si evince che complessivamente il reticolo idraulico studiato non comporta rischi idraulici molto elevati per il centro abitato, infatti relativamente all'evento trentennale, ad esclusione del canale dell'Ardoglia che presenta invece criticità rilevanti, non si evidenziano particolari rischi per gli edifici e i manufatti esistenti.

Per eventi con tempo di ritorno maggiori si evidenziano invece alcune aree di esondazione con interessamento di zone abitate e viabilità riportate nelle planimetrie allegate; comunque i volumi esondati tendono in generale a dar luogo a fenomeni di transito allagando quindi le aree con battenti modesti per poi rientrare in alveo più a valle.

Interventi di progetto

Sulla base di quanto risulta dalle verifiche dello stato attuale è stata progettata una serie di opere di mitigazione sui vari corsi d'acqua del reticolo tesi a garantire la messa in sicurezza idraulica dell'abitato e della viabilità.

Gli interventi previsti sono stati dimensionati in modo da garantire il deflusso della piena con tempo di ritorno duecentennale con un franco di sicurezza di almeno 50 cm rispetto ai nuovi manufatti. Si rimanda alle tavole allegate per la localizzazione degli interventi previsti e i particolari costruttivi.

Gli interventi di progetto garantiscono il contenimento della portata duecentennale senza però comportare aggravio in termini di portata complessiva a valle del reticolo

studiato: i fenomeni di esondazione riscontrati allo stato attuale sono prevalentemente di transito dei volumi in esubero senza formazione di aree di accumulo significative.

Analisi evoluzione morfologica del fiume Magra

Al fine di valutare le tendenze evolutive del fondo alveo del fiume Magra sono stati effettuati sia dei raffronti tra il profilo di fondo alveo ricavato dalle sezioni fornite dall'Autorità di Bacino e quello ricavato dal rilievo eseguito nell'ambito del presente studio, sia dei raffronti sulla base di fotografie e immagini satellitari.

Dall'analisi svolta si nota come il fondo alveo sia rimasto pressoché invariato in termini di quote, soprattutto nel tratto a monte della confluenza con il torrente Verde, mentre si è riscontrato un leggero fenomeno di incisione nel tratto più a valle. In termini di variazioni planimetriche si evidenziano alcune modifiche del tracciato dell'alveo di magra legate all'evento del 2011 e una zona di forte erosione spondale in destra idraulica a valle della stazione idrometrica di Santa Giustina.