



*Universit  degli Studi di Firenze*  
Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale



### **ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA**

TRA COMMISSARIO DELEGATO E DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSIT  DEGLI STUDI DI FIRENZE PER "ATTIVIT  DI STUDIO DEL F. MAGRA, DEGLI AFFLUENTI PRINCIPALI E DEI BACINI MINORI A SEGUITO DELL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 25/10/2011 E DEFINIZIONE DELLE AZIONI E DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA"

Studio dei bacini minori del F. Magra a seguito dell'evento alluvionale del 25/10/2011 e definizione delle azioni e degli interventi di messa in sicurezza.

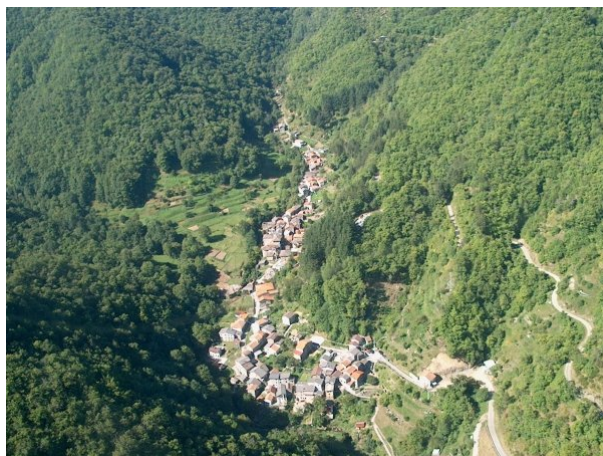
## **Relazione Tecnica Finale**

### **PARTE TERZA - Il bacino del Torrente Mangiola**

*Redatta ai sensi dell'art. 3 c. 2*

**Responsabile:** Prof. Ing. Enio Paris

**Gruppo di Lavoro:** Laura Boschi, Pina De Cicco, Lapo Consumi, Simona Francalanci, Lorenzo Minatti, Davide Ramelli, Luca Solari



*Firenze, 30 Novembre 2012*

# INDICE

<b>1. IL QUADRO CONOSCITIVO .....</b>	<b>3</b>
1.1. I rilievi topografici e le tracce di piena.....	3
1.2. I rilievi sedimentologici.....	6
1.3. Le portate di piena .....	9
1.4. Censimento dei dissesti in alveo.....	12
1.4.1. Abitato di Mulazzo .....	12
1.4.2. Torrente Mangiola .....	21
1.5. Ricostruzione dello stato ante-evento.....	26
1.5.1. Abitato di Mulazzo .....	26
1.5.2. Torrente Mangiola.....	32
<b>2. RICOSTRUZIONE FENOMENOLOGICA DELL'EVENTO DEL 25 OTTOBRE 2011 .....</b>	<b>36</b>
2.1. Abitato di Mulazzo .....	36
2.1.1. Stima della portata relativa all'evento sul Fosso del Frantoio e sul Fosso della Madonna .....	36
2.1.2. Ricostruzione dell'andamento dei deflussi.....	42
2.1.3. Fenomeni localizzati di erosione e deposito.....	44
2.2. Torrente Mangiola .....	45
<b>3. PROPOSTE ED ANALISI DI INTERVENTI STRUTTURALI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DA DINAMICA D'ALVEO .....</b>	<b>56</b>
3.1. Abitato di Mulazzo .....	56
3.1.1. Analisi del Progetto dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia, Arezzo .....	56
3.1.2. Valutazioni sui risultati ottenuti .....	63
3.2. Torrente Mangiola .....	63
<b>4. CONCLUSIONI .....</b>	<b>72</b>
<b>ELENCO DELLE TAVOLE.....</b>	<b>74</b>

## 1. IL QUADRO CONOSCITIVO

### 1.1. I rilievi topografici e le tracce di piena

I rilievi topografici delle sezioni nei tratti fluviali oggetto di studio all'interno del bacino del Torrente Mangiola sono stati svolti da ditte esterne incaricate dalla Regione Toscana – Ufficio Difesa del Suolo.

Nella Tabella 1.1 si riportano i dati significativi dei tratti rilevati.

*Tabella 1.1 - Rilievi topografici all'interno del bacino del Mangiola.*

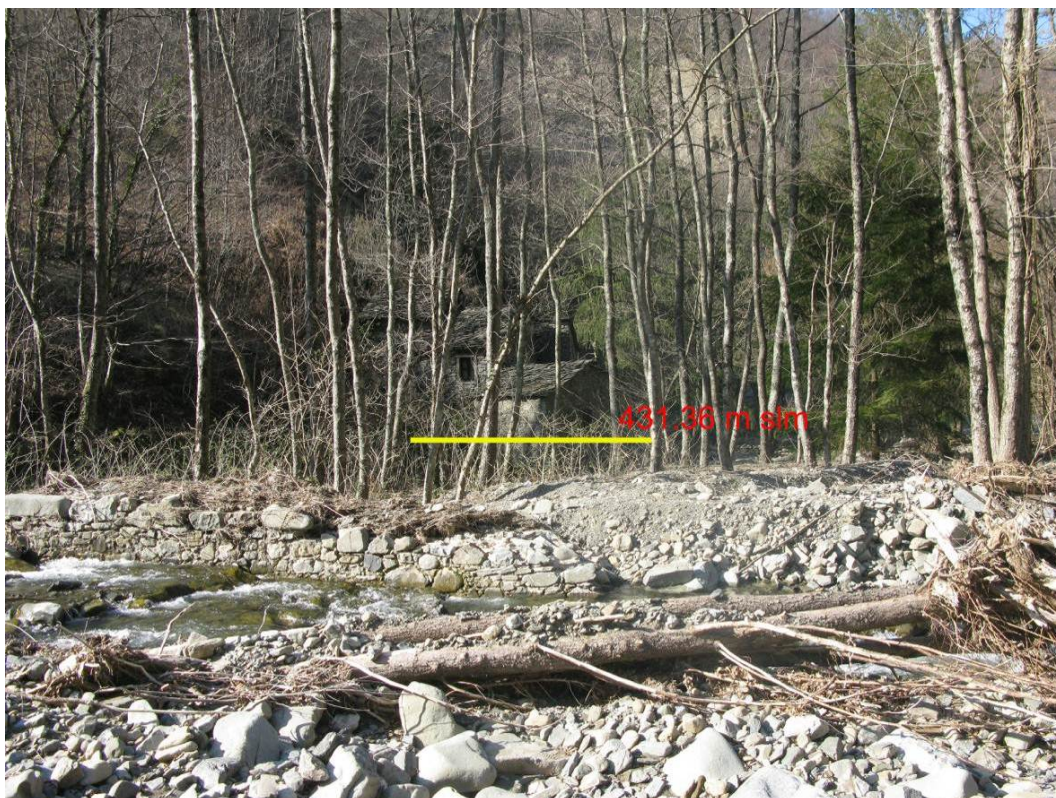
<b>TORRENTE</b>	<b>DESCRIZIONE TRATTO</b>	<b>TIPO DI RILIEVO</b>	<b>LUNGHEZZA TRATTO [m]</b>	<b>DISTANZA MEDIA TRA LE SEZIONI [m]</b>	<b>N° SEZIONI RILEVATE</b>
Mangiola	<b>Da:</b> confluenza con il fiume Magra <b>A:</b> fino all'abitato di Montereggio	sezione	9400	130	77

I sopralluoghi effettuati nel bacino del torrente Mangiola hanno permesso di rilevare le tracce lasciate dalla piena del 25 ottobre 2012. Si riporta di seguito l'elenco delle tracce di piena rilevate, localizzate nelle planimetrie da MNG 1.1 a MNG 1.4. Nelle Figure seguenti sono riportate le foto delle tracce di piena rilevate. L'ubicazione delle riprese fotografiche è anch'essa riportata nelle planimetrie di cui sopra.

*Tabella 1.2 - Tracce di piena sul bacino del torrente Mangiola*

Torrente	Id.	Sez. rilievo	Quota [m s.l.m.]	Descrizione
Mangiola	T1	56	431.36	Traccia rilevata sulla parete di un vecchio mulino in sinistra idraulica
Mangiola	T2	52A	426.01 - 427.01	Traccia rilevata sulla sommità dell'impianto di derivazione
Mangiola	T3	15	217.67	Traccia rilevata a monte del ponte sulla viabilità verso l'abitato di Mulazzo
Fosso del Frantoio	T4	6 (Rilievo Genio Civile)	343.80	Traccia rilevata in corrispondenza della vecchia opera di presa in destra idraulica





*Figura 1.1 - Indicazione della traccia di piena T1, rilevata sul torrente Mangiola in prossimità dell'abitato di Montereaggio (Sezione 56): il livello ha sommerso il fabbricato, che aveva presumibilmente la funzione di mulino, per circa 1.50 m.*

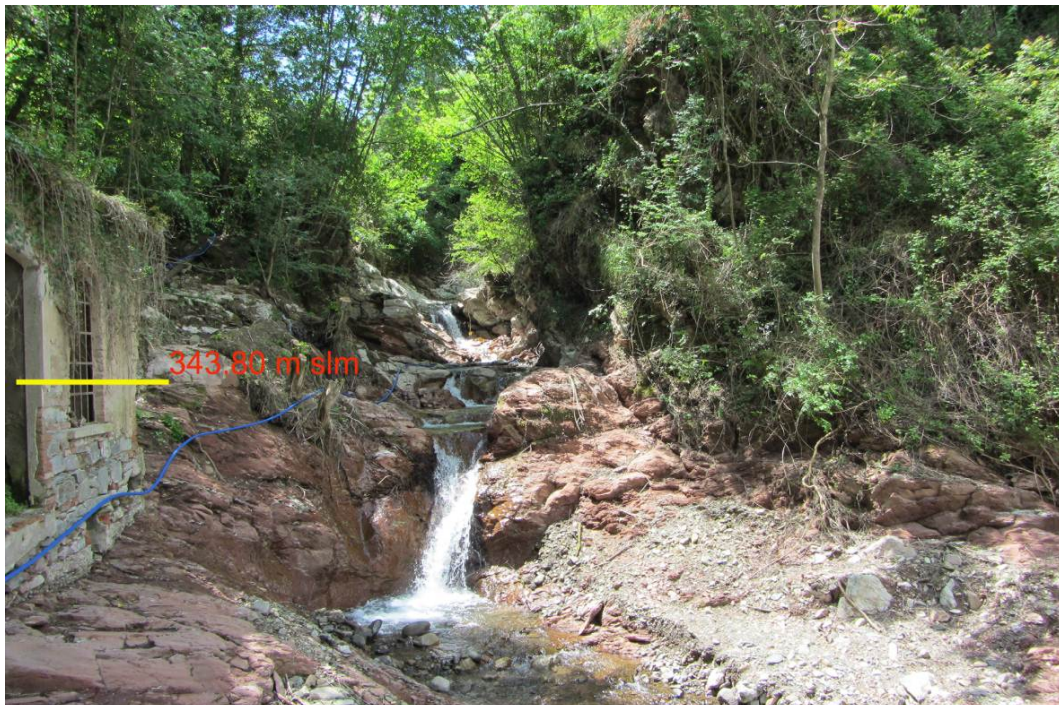


*Figura 1.2 - Indicazione della traccia di piena T2, rilevata sul torrente Mangiola a valle dell'abitato di Montereaggio (Sezione 52A): il livello ha sommerso il volume in sommità all'opera di derivazione per un'altezza stimata variabile tra pochi centimetri ed 1 metro.*





*Figura 1.3- Indicazione della traccia di piena T3, rilevata sul torrente Mangiola in corrispondenza del ponte sulla viabilità per l'abitato di Mulazzo (Sezione 15): il livello ha sommerso l'area golenale in sinistra idraulica per circa 50 cm.*



*Figura 1.4- Indicazione della traccia di piena T4, rilevata sul Fosso del Frantoio, poco a monte di Piazza XXV Settembre, Mulazzo: il livello ha sommerso il fabbricato, che aveva presumibilmente la funzione di opera di presa, per circa 1.80 m.*

## 1.2. I rilievi sedimentologici

Nel bacino del torrente Mangiola sono stati effettuati cinque rilievi sedimentologici (campionamenti superficiali) al fine di determinare le dimensioni caratteristiche dei sedimenti, le quali risultano fondamentali per la stima delle scabrezze in alveo e per l'utilizzo di modelli numerici a fondo mobile. I rilievi sono stati effettuati con il metodo del campionamento statistico "pebble counts" brevemente descritto nella PARTE PRIMA della Relazione Tecnica Finale.

È possibile reperire l'ubicazione planimetrica di ogni singolo rilievo nelle tavole MNG 1.1 – MNG 1.4.

Nella tabella 1.3 si riporta una breve descrizione dei rilievi sedimentologici effettuati, mentre nella tabella 1.4 si riportano i percentili caratteristici e le percentuali di sabbia e ghiaia presenti nei campioni.

*Tabella 1.3 - Rilievi sedimentologici nel bacino del Torrente Mangiola*

Nome	Torrente	Descrizione
MNG_01S	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Mangiola, in località Arpiola, a valle del ponte stradale. È stato campionato un deposito di sedimenti ghiaiosi.
MNG_02S	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato sul Torrente Mangiola, in località Mulazzo, a monte del ponte crollato, e a monte del guado che è stato recentemente costruito. Sono stati campionati sedimenti principalmente ghiaiosi di depositi emersi.
MNG_03S	Mangiola	Il rilievo è stato effettuato nel tratto di monte del Mangiola, in località Montereccio, in prossimità del tratto in cui è franata la strada in curva in destra idraulica, sia sui depositi a monte che sui depositi a valle dell'opera di presa ENEL.
MAD_01S	Fosso della Madonna	Il rilievo è stato effettuato sul Fosso della Madonna, in località Mulazzo, nel tratto a monte del paese e a monte della zona in cui è stata costruita una protezione di sponda in massi.
FRA_01S	Fosso del Frantoio	Il rilievo è stato effettuato sul Fosso del Frantoio, in località Mulazzo: una parte del campionamento è stata effettuata a monte del vecchio ponte ad arco, ora sostituito da un guado, e in parte nel tratto a valle, immediatamente sotto la piazza che costituiva un parcheggio.

Tabella 1.4 - Dati sintetici dei rilievi sedimentologici sul bacino del torrente Mangiola

Codice campione	Tratto	D16 [mm]	D50 [mm]	D84 [mm]	%ghiaia	%sabbia	Dev.Standard [φ]
MNG_01S	Mangiola	8.5	40.9	97.3	87.8	12.2	2.58
MNG_02S	Mangiola	9.7	95.2	269.0	88.9	11.1	2.91
MNG_03S	F.Mangiola	21.3	68.2	212.9	94.3	5.7	2.37
MAD_01S	Fosso della Madonna	12.2	117.4	514.2	96.0	4.0	2.63
FRA_01S	Fosso del Frantoio	20.0	66.5	330.8	97.7	2.3	2.08

Di seguito si riportano le curve granulometriche, relative ai rilievi di cui sopra.

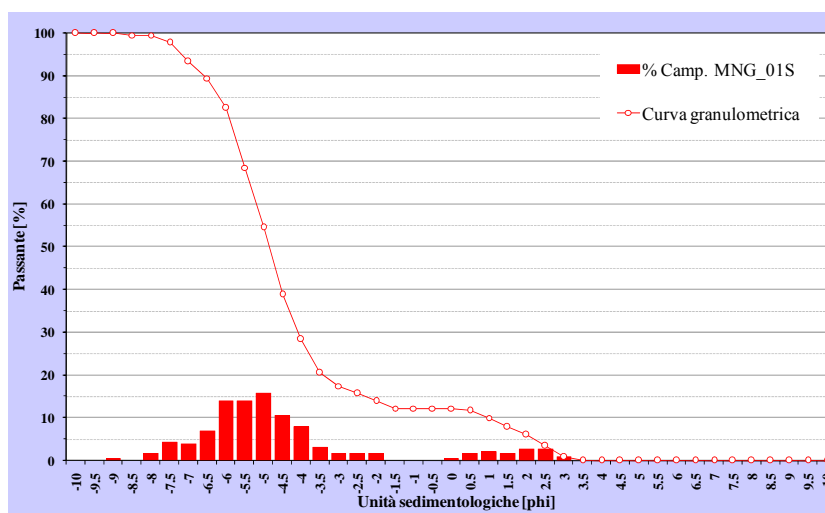


Figura 1.5 – Curva granulometrica relativa al rilievo MNG\_01S

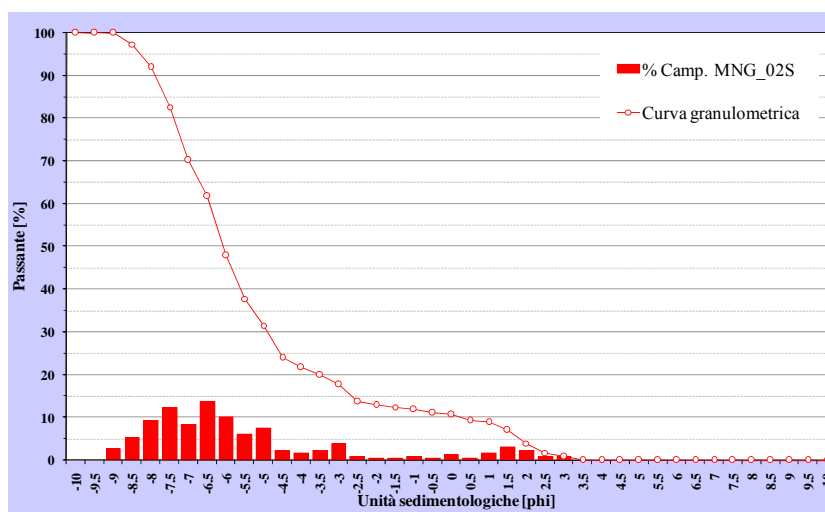


Figura 1.6 - Curva granulometrica relativa al rilievo MNG\_02S

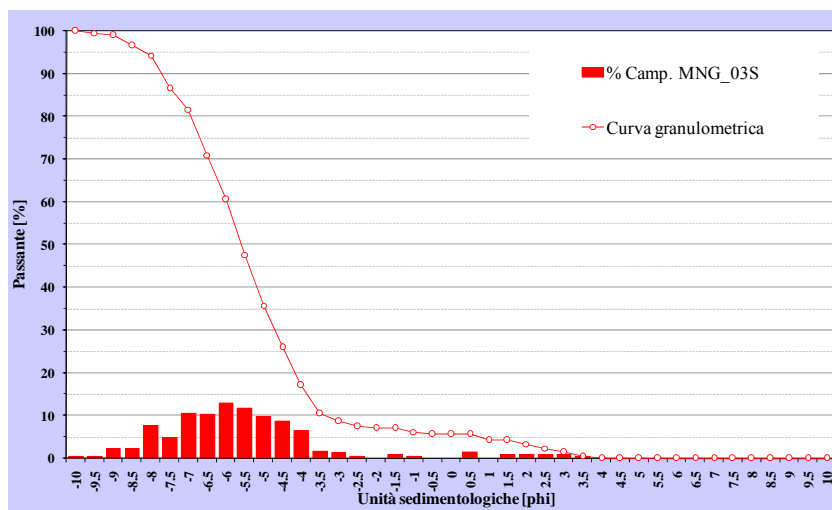


Figura 1.7 - Curva granulometrica relativa al rilievo MNG\_03S

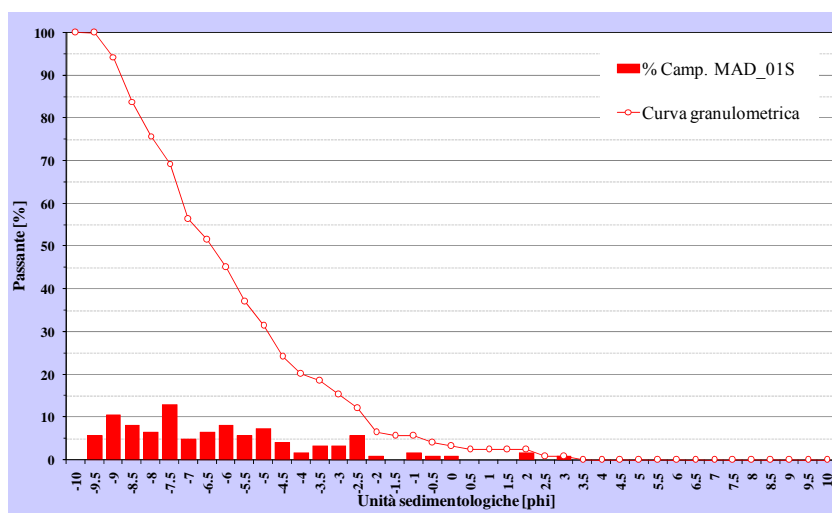


Figura 1.8 - Curva granulometrica relativa al rilievo MAD\_01S

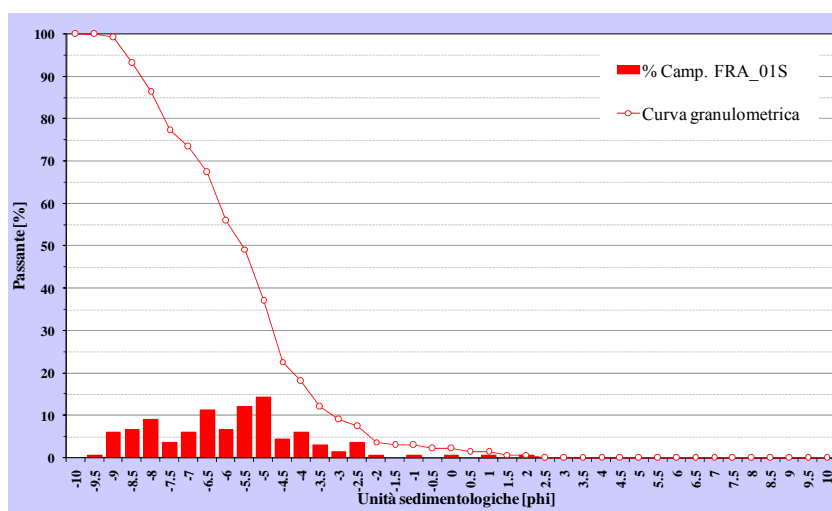


Figura 1.9 - Curva granulometrica relativa al rilievo FRA\_01S



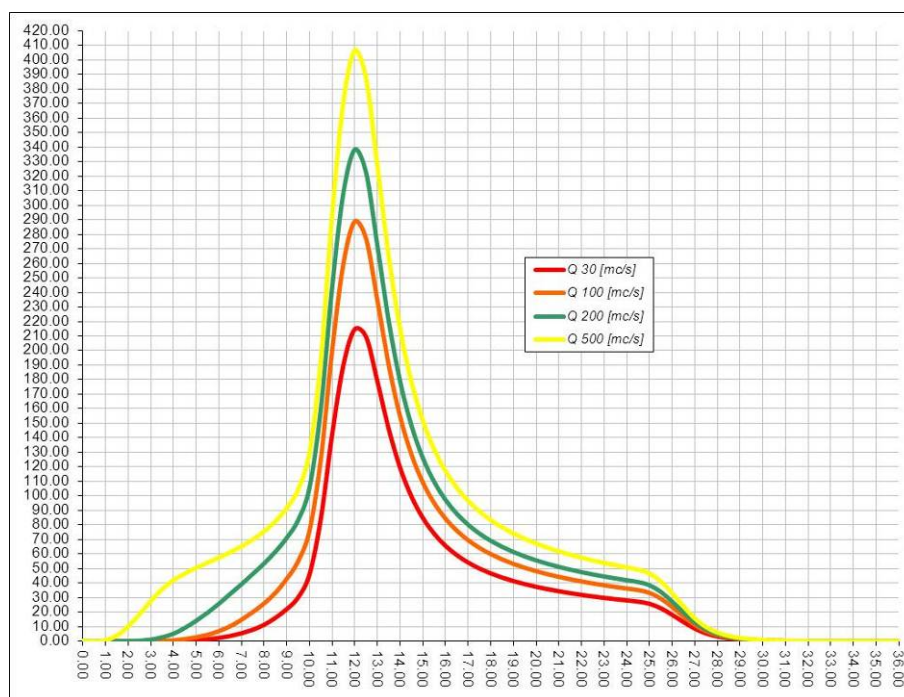
### 1.3. Le portate di piena

Si riportano in sintesi i valori di portata al colmo, per i diversi tempi di ritorno, degli idrogrammi calcolati con il modello Piene dell'Autorità di Bacino del fiume Magra per il bacino del torrente Mangiola. L'ubicazione delle sezioni idrologiche per il calcolo degli idrogrammi di piena è riportata nelle planimetrie da MNG 1.1 a MNG 1.4.

*Tabella 1.5 - Portate al colmo nelle diverse sezioni idrologiche nel bacino del torrente Mangiola*

Codice Sezione Idrologica	Torrente	Area [km <sup>2</sup> ]	Q <sub>30</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>200</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>500</sub> [m <sup>3</sup> /s]
MNG_01H	Mangiola	26.4	214.8	288.9	338.4	406.6
MNG_02H	Mangiola	23.1	201.1	266.4	309.5	371.6
MNG_03H	Mangiola	14.0	145.8	190.1	219.6	263.5
FRA_01H	Fosso del Frantoio	1.9	22.0	28.0	32.2	38.6
MAD_01H	Fosso della Madonna	0.6	8.9	11.8	13.7	16.4

Nelle stesse sezioni idrologiche, le Figure 1.10-1.14 riportano gli idrogrammi delle portate per i vari tempi di ritorno.



*Figura 1.10 – Idrogrammi alla sezione idrologica MNG\_01H per vari tempi di ritorno. I tempi in ascissa sono espressi in ore. Le portate in ordinata sono espresse in mc/s.*

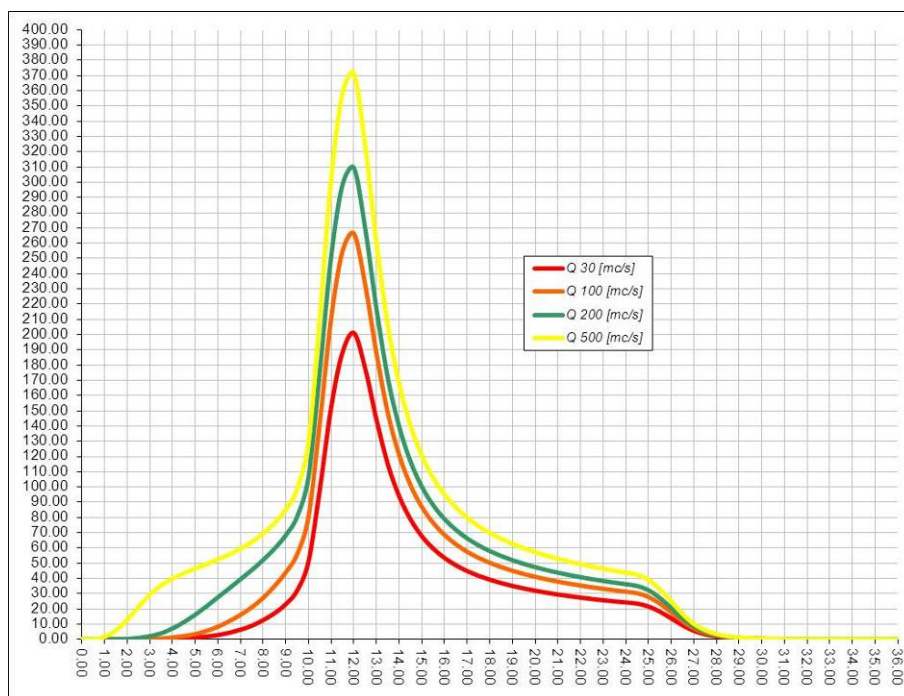


Figura 1.11 - Idrogrammi alla sezione idrologica MNG\_02H per vari tempi di ritorno. I tempi in ascissa sono espressi in ore. Le portate in ordinata sono espresse in mc/s.

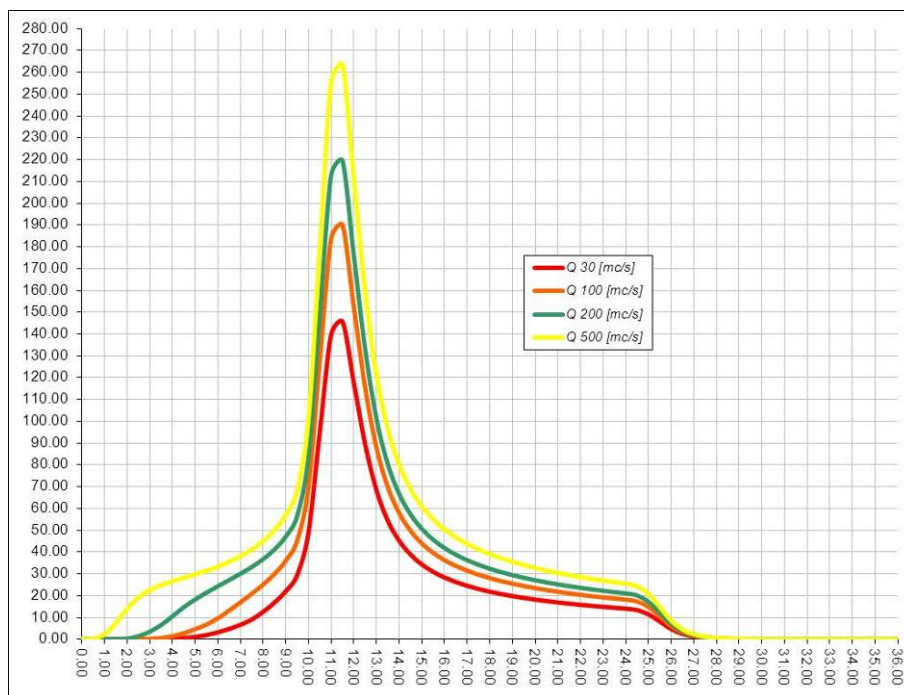


Figura 1.12 - Idrogrammi alla sezione idrologica MNG\_03H per vari tempi di ritorno. I tempi in ascissa sono espressi in ore. Le portate in ordinata sono espresse in mc/s.

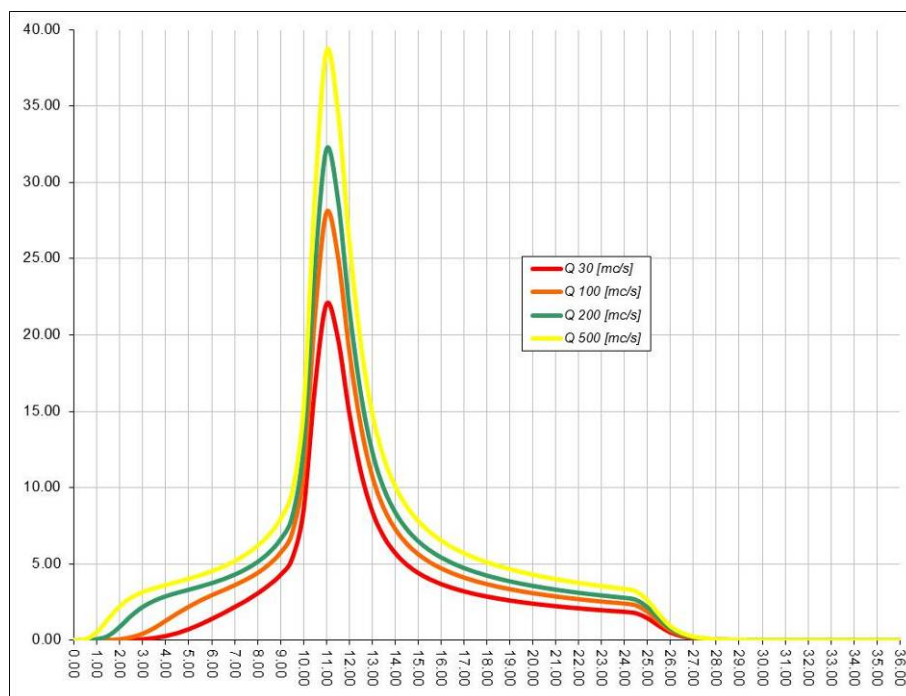


Figura 1.13 - Idrogrammi alla sezione idrologica FRA\_01H per vari tempi di ritorno. I tempi in ascissa sono espressi in ore. Le portate in ordinata sono espresse in mc/s.

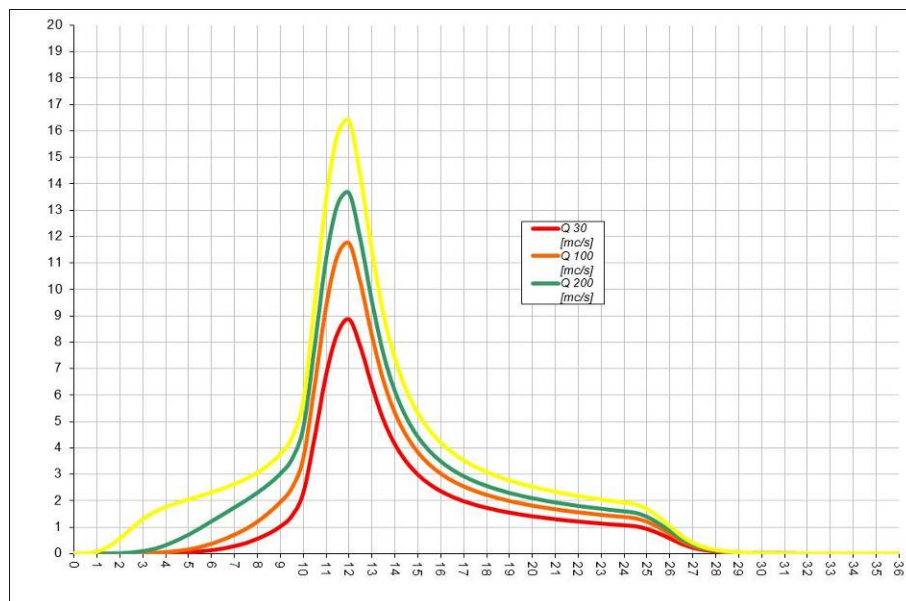


Figura 1.14 - Idrogrammi alla sezione idrologica MAD\_01H per vari tempi di ritorno. I tempi in ascissa sono espressi in ore. Le portate in ordinata sono espresse in mc/s.

## 1.4. Censimento dei dissesti in alveo

### 1.4.1. Abitato di Mulazzo

L'evento meteorico del 25 ottobre 2011 ha provocato numerosi dissesti nel centro abitato di Mulazzo, causati principalmente da esondazioni, erosioni e sovralluvionamenti del reticolo idrografico che attraversa l'abitato. La maggior parte di questi fenomeni si è concentrata sul Fosso del Frantoio e sul Fosso della Madonna.

Una delle cause principali di tali dissesti, oltre all'eccezionalità delle portate transitate, è l'elevato numero di tombamenti e di sottoattraversamenti con luce insufficiente al regolare deflusso della portate di piena dell'evento ed al materiale solido ad esse connesso.

Nella Tabella 1.6 sono riassunti i principali dissesti rilevati, la cui ubicazione è indicata nelle Tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4 in planimetria.

*Tabella 1.6 - Tabella riassuntiva dei dissesti censiti sul Fosso del Frantoio e sul Fosso della Madonna*

Codice Id.	Torrente	Localizzazione	Descrizione
A	F. del Frantoio	Piazza XXV settembre	Crollo del ponte sulla Strada Provinciale 32
B	F. del Frantoio	Piazza XXV settembre	Deposito di materiale d'alveo
C	F. del Frantoio	Piazza XXV settembre	Erosione e cedimento a valle della piazza
D	F. del Frantoio	Via Pirro Orlandini	Erosione di versante e cedimento piazza
E1-E2-E3	F. della Madonna	Tratto a monte della Confluenza con il T.Mangiola	Erosione in alveo e Erosione in alveo e sovralluvionamento del piano terra di un abitazione
F	F. della Madonna	Tratto a monte della S.P. 32 e dell'abitazione di cui al punto E	Erosione
G	F. della Madonna	Via Roma (in corrispondenza della SP 32)	Deposito materiale d'alveo
H	F. della Madonna	Tratto di monte	Erosione di sponda
I	F. della Madonna	Tratto di monte	Deposito di materiale d'alveo e erosione di



Codice Id.	Torrente	Localizzazione	Descrizione
			sponda
L	F. di S. Rocco	Tratto a valle della chiesa di S. Rocco	Rottura di un sottoattraversamento
M	F. di S. Rocco	Tratto a valle della chiesa di S. Rocco	Erosione e inondazione di abitazioni poste in sinistra idraulica
N	F. di S. Rocco	Tratto a monte della confluenza con il F. della Madonna	Erosione e inondazione di abitazioni poste in sinistra idraulica

### **Fosso del Frantoio**

I dissesti maggiori si sono registrati nel tratto in corrispondenza della piazza XXV settembre.

Si è verificato il crollo del ponte della Strada Provinciale 32 che collega gli abitati di Mulazzo e Montereccio, provocando di fatto l'interruzione della stessa (Figura 1.15).

Il materiale detritico proveniente dalle frane verificatesi sui versanti della parte alta del bacino del Fosso del Frantoio, unito a quello d'alveo trasportato dalla corrente, in gran parte si è depositato in corrispondenza di Piazza XXV settembre (Figura 1.16).

Nei giorni successivi all'evento si è verificata una frana in destra idraulica che ha provocato un cedimento nella piazza XXV Settembre e della viabilità diretta verso il centro storico dell'abitato (Figura 1.17 e Figura 1.18).



*Figura 1.15 – (A) Crollo del ponte sulla SP 32.*



*Figura 1.16 – (B) Deposito di materiale d'alveo in Piazza XXV settembre*



*Figura 1.17 – (C) Erosione e cedimento a valle di Piazza XXV settembre*





*Figura 1.18 – (D) Erosione di versante e cedimento in Via Pirro Orlandini*

### **Fosso della Madonna**

Risalendo il Fosso della Madonna dalla confluenza con il Torrente Mangiola verso monte, si riscontra una forte erosione d'alveo (Figura 1.19), mentre l'abitazione che vi sorge nel mezzo è stata inondata da acqua e sedimenti (Figura 1.20).

La parziale occlusione dell'arco dell'abitazione (che era presumibilmente un antico mulino) ha accentuato il fenomeno di rigurgito della corrente a monte (Figura 1.21) con il probabile conseguente innesco di un risalto idraulico a carattere fortemente erosivo.



*Figura 1.19 – (E1) Erosione d'alveo*



*Figura 1.20 – (E2) Abitazione edificata in alveo. Il piano terra è stato sovralluvionato durante l'evento.*



*Figura 1.21 – (E3) Forte erosione a monte dell'abitazione edificata in alveo*

Nel tratto che va dall'abitazione di cui sopra verso monte si sono verificati notevoli dissesti a carattere prevalentemente erosivo (Figura 1.22), causati dalla presenza di numerosi tombamenti (scatolari o elementi in CLS a sezione circolare) le cui dimensioni, in molti casi inferiori al metro, sono risultate insufficienti al deflusso della portata di piena. La loro occlusione ad opera di acqua e sedimenti ne ha causato la rottura e la conseguente esondazione.





*Figura 1.22- (F) Erosione in alveo e particolare di un sottoattraversamento della SP 32.*

Nel tratto di monte del Fosso della Madonna i dissesti principali sono costituiti da erosioni di sponda (Figura 1.24) e depositi in alveo dei notevoli quantitativi di materiale trasportato dalla corrente (Figura 1.25).



*Figura 1.23 - (G) Deposito di materiale detritico*



*Figura 1.24 – (H) Erosione di sponda nella parte alta del Fosso della Madonna*





*Figura 1.25- (I) Erosione di sponda e deposito materiale in alveo nella parte alta del Fosso della Madonna*

### **Fosso di San Rocco**

Ulteriori dissesti si sono registrati in corrispondenza del Fosso di San Rocco, affluente in sinistra idraulica del Fosso della Madonna, il quale era anch'esso tombato quasi interamente lungo tutto il suo percorso attraverso l'abitato di Mulazzo. È proprio in corrispondenza dei sottoattraversamenti che si sono verificati i dissesti maggiori.

Nel tratto che va dalla chiesa di San Rocco (Mulazzo) alla confluenza con il Fosso della Madonna, si è verificata la rottura di alcuni sottoattraversamenti (Figura 1.26) con conseguente esondazione di acqua che, sommata al flusso del Fosso del Frantoio proveniente da monte e riversatosi nelle strade (si veda il capitolo 2.1), ha causato l'erosione del terreno con inondazione delle abitazioni poste in sinistra idraulica (Figura 1.27 e Figura 1.28).





*Figura 1.26 – (L) Rottura di un sottoattraversamento del Fosso di San Rocco*



*Figura 1.27 – (M) Fosso di San Rocco: erosione ed inondazione di abitazioni in sinistra idraulica a valle della chiesa di San Rocco*





*Figura 1.28 – (N) Fosso di San Rocco: erosione ed inondazione di abitazioni in sinistra idraulica a valle della confluenza con il Fosso della Madonna*

### **1.4.2. Torrente Mangiola**

Durante l'evento del 25 ottobre 2011 si sono verificati lungo l'asta del torrente Mangiola molti fenomeni di erosione spondale e di allargamento dell'alveo a causa della straordinaria portata transitata che, conseguentemente alla fuoriuscita dall'alveo originario, ha causato l'asportazione di un elevatissimo quantitativo di vegetazione e materiale solido dalle aree adiacenti. L'erosione spondale in molti punti è culminata con il verificarsi di frane più o meno diffuse, le quali hanno in alcuni casi causato interruzioni alle viabilità di collegamento.

Tra i manufatti interessati dai dissesti, si riscontra il cedimento e la conseguente asportazione di parte del ponte sulla viabilità di collegamento per l'abitato di Mulazzo dovuta ad una rilevante erosione della sponda destra.

La tabella seguente evidenzia i principali dissesti riscontrati lungo il torrente Mangiola, a partire dall'abitato di Montereaggio fino alla confluenza con il fiume Magra. L'ubicazione planimetrica delle riprese fotografiche è riportata nelle tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4.

<i><b>Codice Id.</b></i>	<i><b>Torrente</b></i>	<i><b>Localizzazione</b></i>	<i><b>Descrizione</b></i>
O	T. Mangiola	In sinistra idraulica tra le sezioni n. 72 e 71	Cedimento di sponda con pericoloso avvicinamento al bordo della Strada Provinciale n. 69.
P	T. Mangiola	Località Montereccio in prossimità delle sezioni n. 58 e 56	Crollo in destra idraulica per erosione di sponda, con conseguente interruzione della Strada Provinciale n. 32.
Q	T. Mangiola	Località Montereccio tra le sezioni n. 54 e 53	Frana di versante in sinistra idraulica per erosione di sponda
R	T. Mangiola	Tra le sezioni n. 26 e 25	Erosione di sponda in prossimità di edifici
S	T. Mangiola	Località Mulazzo tra in corrispondenza della sezione n. 15	Crollo di ponte stradale
T	T. Mangiola	Località Mulazzo tra in corrispondenza della sezione n. 15	Erosione di sponda

Con riferimento alle tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4, e risalendo il corso d'acqua da valle, si evidenzia nella sezione n. 71 una curvatura del corso del torrente, probabilmente responsabile dell'erosione della sponda in sinistra idraulica (Figura 1.29), con un conseguente dissesto del terreno che si è fermato a pochi metri del ciglio stradale.



*Figura 1.29 – (O) Erosione in curva presso la sezione n. 71 con pericoloso avanzamento verso la SP 69*

Successivamente, oltre il ponte localizzato nella sezione n. 64, l'allargamento dell'alveo ha continuato a manifestarsi giungendo ad estendersi fino a 120 metri circa in corrispondenza della sezione n. 60. In destra idraulica, presso la sezione n. 58, l'alveo si è allargato minacciando un'abitazione ed erodendo la sponda fino alla Strada Provinciale n. 32, la stessa che più avanti, in prossimità della sezione n. 56, è in parte franata, interrompendo il collegamento diretto tra gli abitati di Mulazzo e Montereale (Figura 1.30).



*Figura 1.30 – (P) Crollo della SP n. 32 per erosione spondale in destra idraulica in prossimità della sezione n.56*



Tra le sezioni 53 e 54, la sponda in sinistra idraulica è completamente franata ed i detriti provenienti dal versante hanno occupato l'alveo ostacolando il deflusso (Figura 1.31).



*Figura 1.31 – (Q) Frana di versante in sinistra idraulica tra le sezioni n. 53 e 54.*

Più a valle, tra le sezioni n.25 e 26, il flusso si è progressivamente spostato in sinistra idraulica, erodendo la sponda e fermandosi a pochi metri di distanza da alcuni fabbricati (Figura 1.32)



*Figura 1.32 – (R) – Erosione in sinistra idraulica tra le sezioni n.25 e n.26*

Durante l'evento, il ponte sulla viabilità di collegamento per Mulazzo (sezione n.15) non ha retto a causa del collasso della spalla destra dovuto all'erosione di sponda causando un arretramento di circa 40 metri (Figura 1.33).





*Figura 1.33 – (S) Resti del ponte sulla viabilità di collegamento per Mulazzo*



*Figura 1.34 – (T) Erosione in destra idraulica in corrispondenza dell'appoggio del ponte sulla viabilità di collegamento per Mulazzo*

## 1.5. Ricostruzione dello stato ante-evento

### 1.5.1. Abitato di Mulazzo

La ricostruzione dello stato ante-evento per l'abitato di Mulazzo è stata fatta considerando l'evoluzione urbanistica del paese a partire dagli anni '50. L'analisi è risultata particolarmente utile per ricostruire l'andamento dei flussi idrici verificatosi durante l'evento del 25 ottobre 2011.

La foto aerea più datata che è stato possibile reperire, relativamente all'abitato di Mulazzo, risale al 1954 ed è riportata in Figura 1.35.

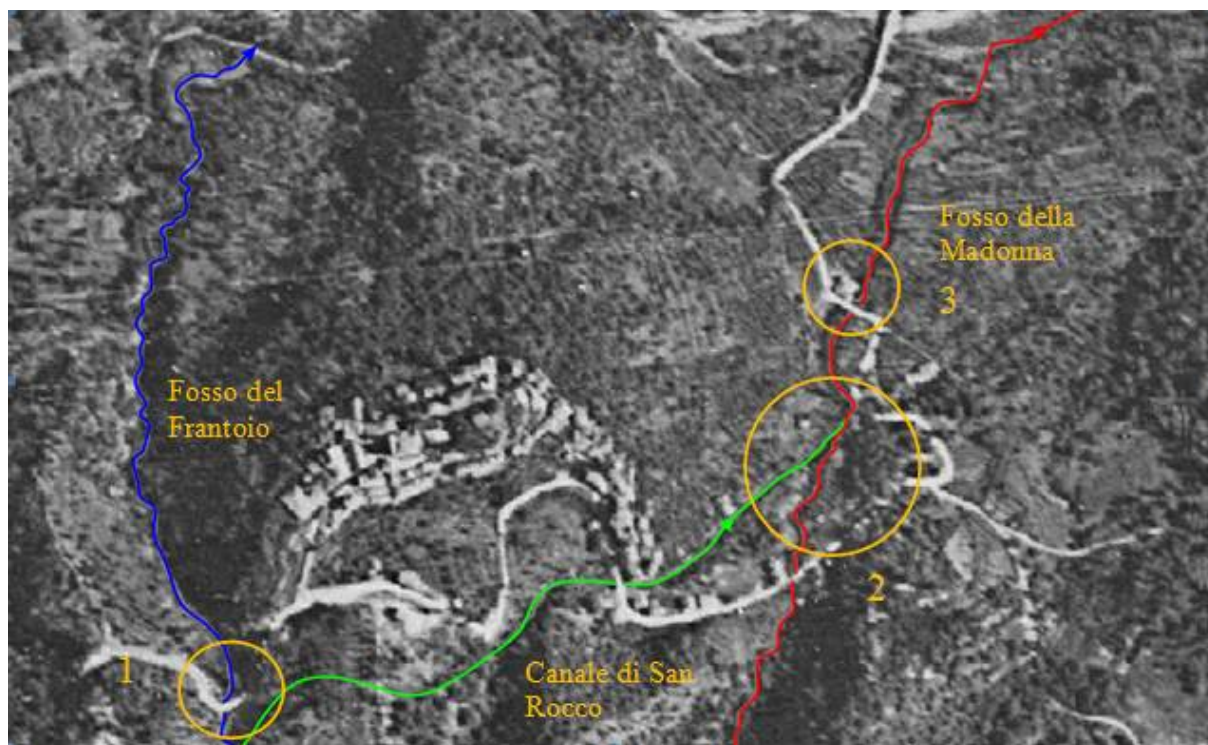


Figura 1.35 – Foto aerea di Mulazzo. Anno 1954.

Nella foto sono ancora evidenti gli alvei a cielo aperto del Fosso del Frantoio, del Canale di San Rocco e del Fosso della Madonna. Le foto aeree successive al 1954 evidenziano sostanziali cambiamenti dell'assetto urbanistico del paese, i quali avviano il graduale tombamento dei corsi d'acqua indicati in Figura 1.35. La foto evidenzia come Piazza XXV settembre (punto 1), successivamente interessata dall'evento del 25 ottobre 2011, non esistesse all'epoca. A monte di essa, in destra idraulica del Fosso del Frantoio, erano presenti una fontanella secolare con una nicchia ed un lavatoio (Figura 1.36), sepolte dai detriti in seguito all'alluvione dell'ottobre 2011 (Figura 1.37).





*Figura 1.36 - Fontanella e lavatoio ubicate a monte di piazza XXV settembre a Mulazzo.*



*Figura 1.37 – Area a monte di piazza XXV settembre a Mulazzo dopo l'evento del 25 ottobre 2011.*

Il fabbricato che si intravede in Figura 1.37 è l'opera di presa che, secondo le testimonianze degli abitanti del luogo, è stata costruita negli anni '40 e che sfruttava la potenza della corrente del Fosso del Frantoio per fornire l'illuminazione a tutto il centro abitato di Mulazzo.

A monte della piazza esisteva unicamente la viabilità di collegamento tra Mulazzo e Parana-Montereaggio, la quale, con ogni probabilità, attraversava il Fosso del Frantoio mediante un ponte ad arco, che è poi riaffiorato dopo l'evento del 25 ottobre 2011 (Figura 1.38).



*Figura 1.38 - Vecchio ponte ad arco esistente sulla S.P. 32 a monte di Piazza XXV settembre a Mulazzo.*

A valle del ponte, il Fosso del Frantoio scorreva a cielo aperto e il suo alveo inciso era costituito da un solco profondo e ben definito.

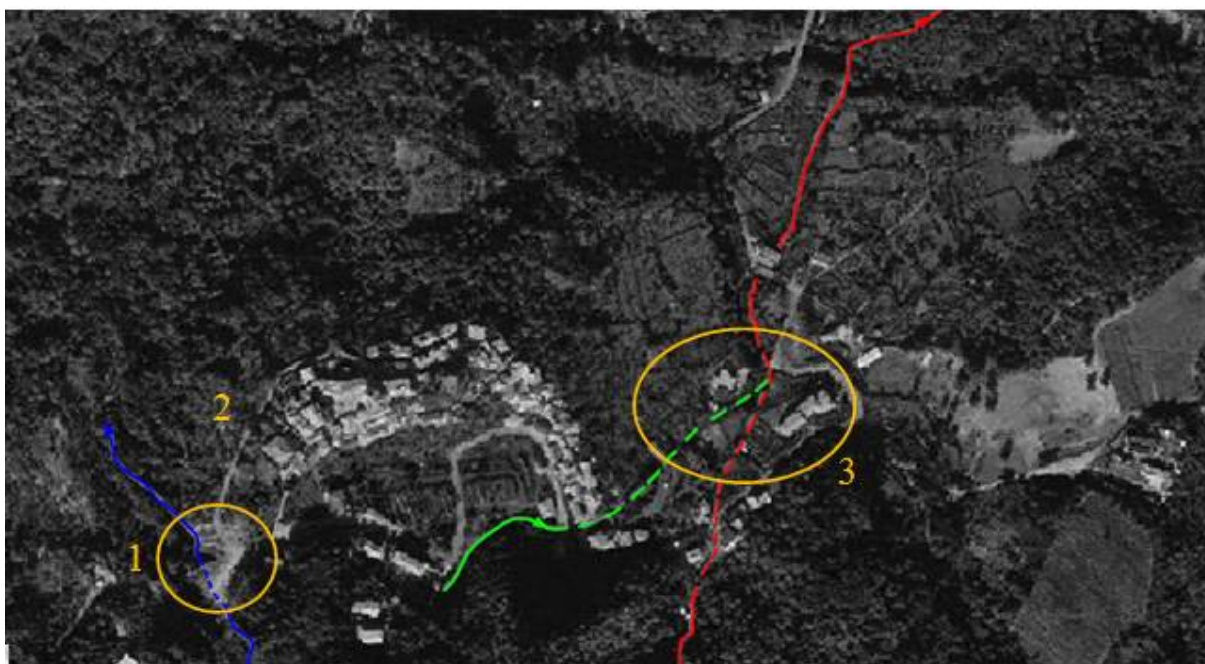
Dalla foto di Figura 1.35 e, soprattutto, dalle testimonianze degli abitanti del posto, è stato possibile ricostruire come il Fosso del Frantoio si biforcasse poco a monte della futura piazza XXV settembre dando origine al Canale di San Rocco, che si ricongiunge poco più a valle con il Fosso della Madonna.

Da una ricostruzione geologica fatta dal Genio Civile Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo nel “Progetto di Sistemazione, consolidamento e ripristino della rete idrografica e della viabilità a seguito degli eventi del 25.10.2011” (cfr. Relazione geologica G2b), emerge come il bacino del Fosso del Frantoio sia delimitato in sinistra idraulica da una dorsale che corre parallelamente all’asta del fosso nel tratto di monte fino ad interrompersi in corrispondenza dell’abitato di Mulazzo: ciò lascerebbe pensare che in tempi molto remoti il Fosso del Frantoio scorresse lungo l’attuale tracciato del Fosso di san Rocco e solo in seguito le sue acque si sarebbero riversate in un affluente del Torrente Mangiola (cfr. Relazione Geologica G2a del suddetto progetto).

Alla confluenza del Canale di San Rocco con il Fosso della Madonna non erano presenti edifici (punto 2, Figura 1.35). Il Fosso della Madonna riceveva le acque del Canale di San Rocco e di altri piccoli corsi d’acqua e, seguendo la pendenza naturale del versante, le convogliava verso il torrente Mangiola.

È infine possibile notare (punto 3, Figura 1.35) come la casa situata lungo il tracciato del Fosso della Madonna, poco prima della confluenza con il Mangiola esistesse anche nel 1954. Si trattava all’epoca di un mulino ed il corso d’acqua scorreva sotto l’arco, la cui luce negli anni a venire è stata gradualmente ridotta, causando probabilmente i fenomeni erosivi descritti nel paragrafo 1.4.1.





*Figura 1.39 – Foto aerea di Mulazzo. Anno 1978.*

La costruzione della piazza XXV Settembre, con il conseguente tombamento del Fosso del Frantoio, risale agli anni '70, come è possibile osservare dalla Figura 1.39 (punto 1).

La piazza è stata realizzata mediante colmamento artificiale della valle, contenuto da un muro alto circa 10 metri, e con il tombamento di circa 50 m del Fosso del Frantoio attraverso tubazione metallica del diametro di circa 2 m (Relazione Geologica G2a del suddetto progetto).

È inoltre probabile che il ponte ad arco di cui alla Figura 1.38, sia stato inglobato nel tombamento del Fosso del Frantoio.

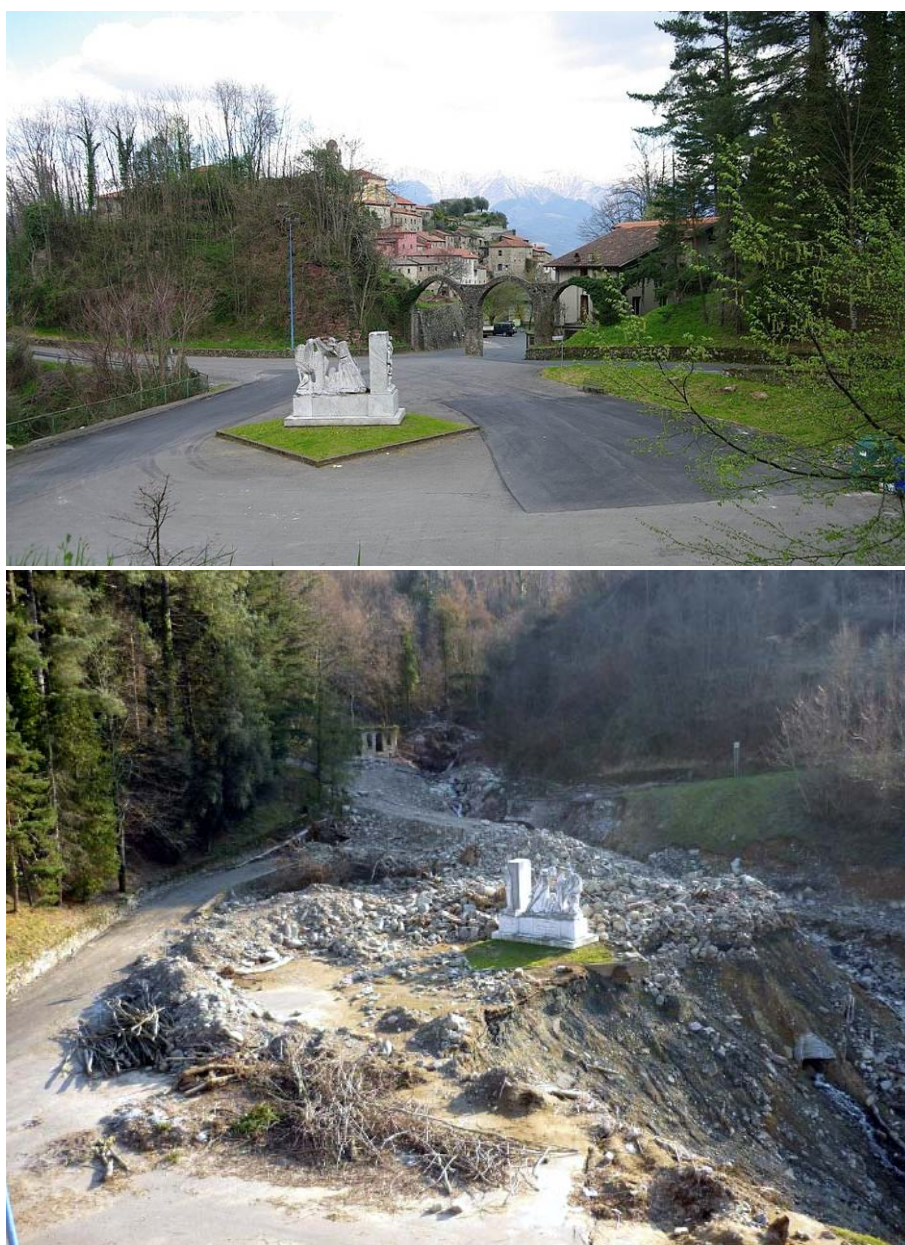
In Figura 1.39, i segmenti tratteggiati indicano i tratti dei corsi d'acqua tombati mentre la linea continua rappresenta i corsi d'acqua che scorrono a cielo aperto.

Sempre nella foto aerea del 1978 di Figura 1.39 è possibile osservare la costruzione della strada (l'attuale Via Pirro Orlandini) (punto 2) che da Piazza XXV settembre porta alla parte alta del paese.

Si osserva inoltre la comparsa delle prime abitazioni alla confluenza tra il Canale di San Rocco ed il Fosso della Madonna (punto 3): l'alveo di quest'ultimo inizia a "scompare" a causa dei tombamenti, mentre la morfologia del versante viene modificata per ospitare le nuove edificazioni. Il corso d'acqua sembra interrompersi a monte della confluenza e riprendere il proprio corso a valle del vecchio mulino prima dello sbocco nel Fiume Mangiola.

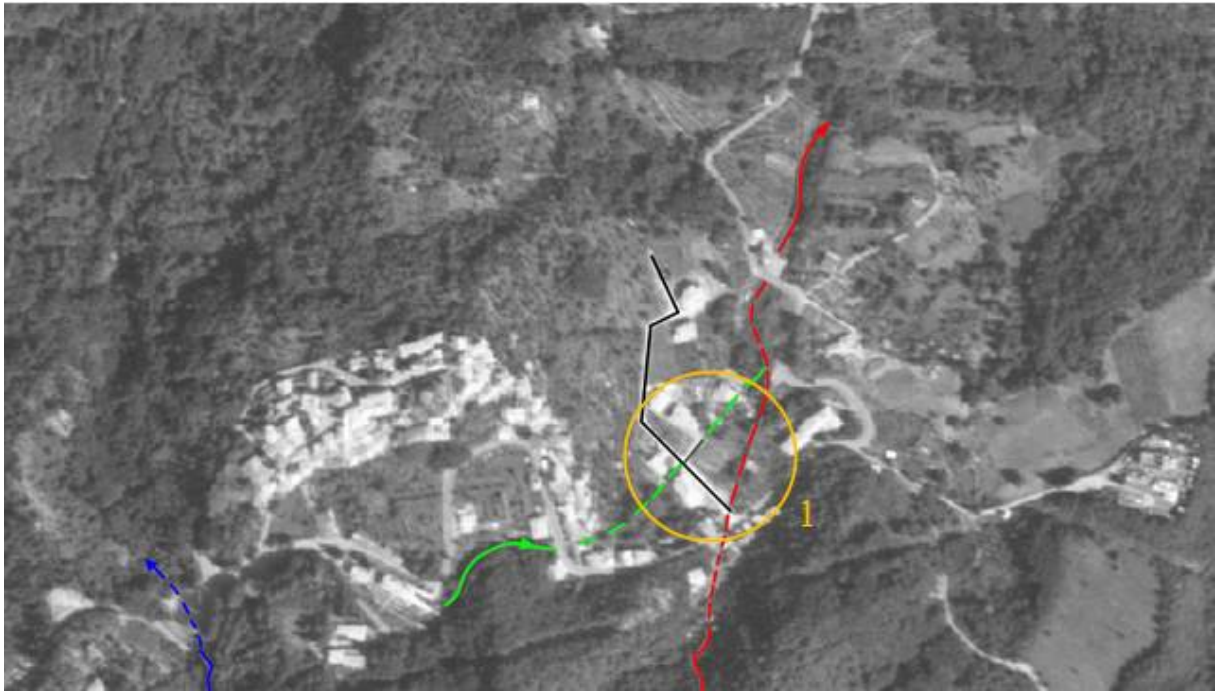
Tra il 1978 ed il 1988 si sono registrati notevoli cambiamenti nell'assetto urbanistico del paese, in particolare nell'area in cui vi era la confluenza del Canale di San Rocco con il Fosso della Madonna (Figura 1.41, punto 1). I due alvei fluviali del Canale di San Rocco e del Fosso della Madonna sono stati completamente tombati in quell'area, mentre l'edificazione è proseguita nel versante della collina. Compare anche una nuova strada (tracciata in nero) e una passerella costruita sull'alveo del canale di San Rocco.

Negli anni successivi, dal 1996 al 2010 non si evidenziano sostanziali cambiamenti, come si evince dalle foto aeree di Figura 1.42.

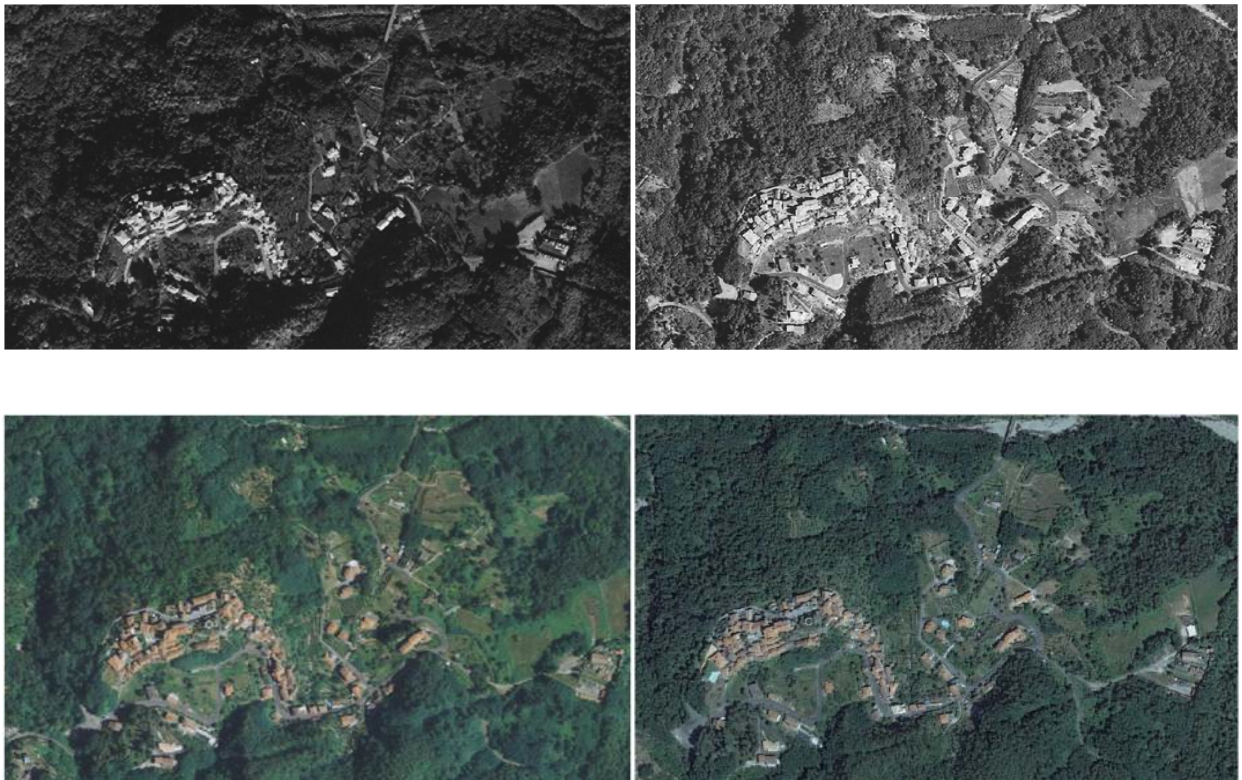


*Figura 1.40. Piazza XXV settembre a Mulazzo prima e dopo l'evento del 25 ottobre 2011*





*Figura 1.41 – Foto aerea di Mulazzo. Anno 1988.*



*Figura 1.42 - Foto aeree di Mulazzo. Anni 1996, 2003, 2007, 2010 a partire dall'immagine in alto a sinistra*

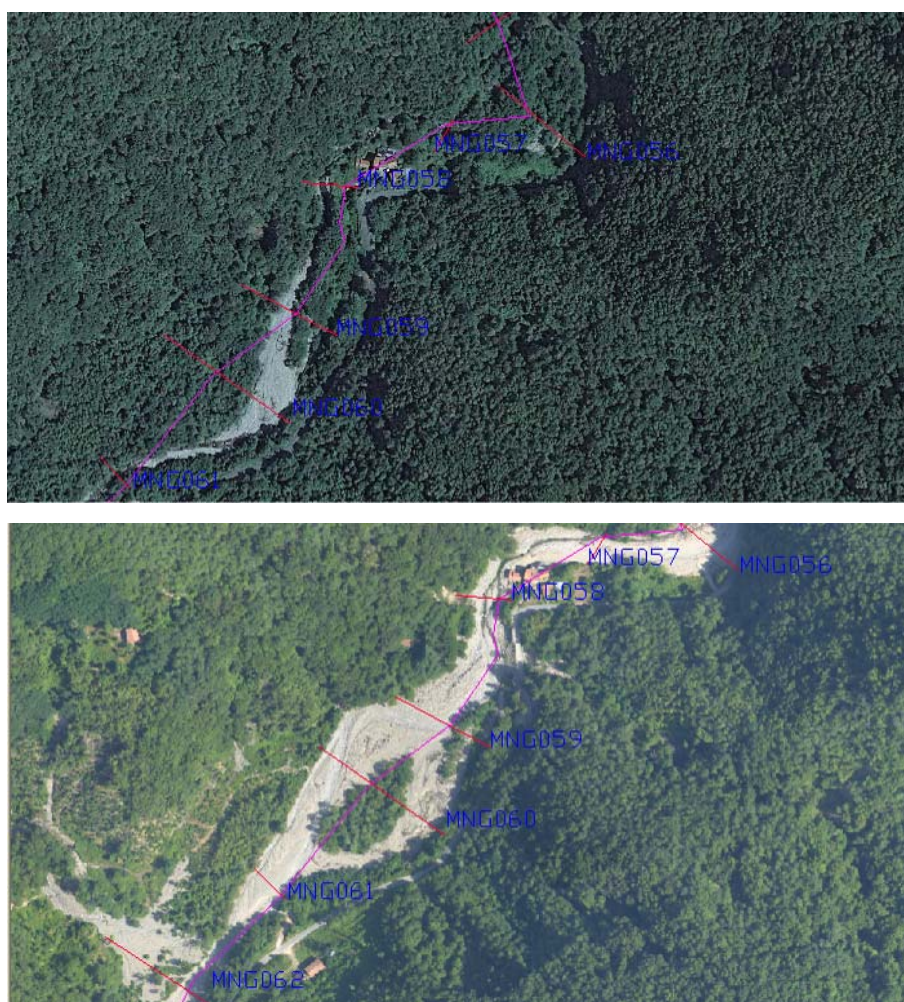


### 1.5.2. Torrente Mangiola

La ricostruzione dello stato ante-evento del Torrente Mangiola è stata effettuata dal punto di vista dell'evoluzione planimetrica connessa all'evento del 25 ottobre 2011.

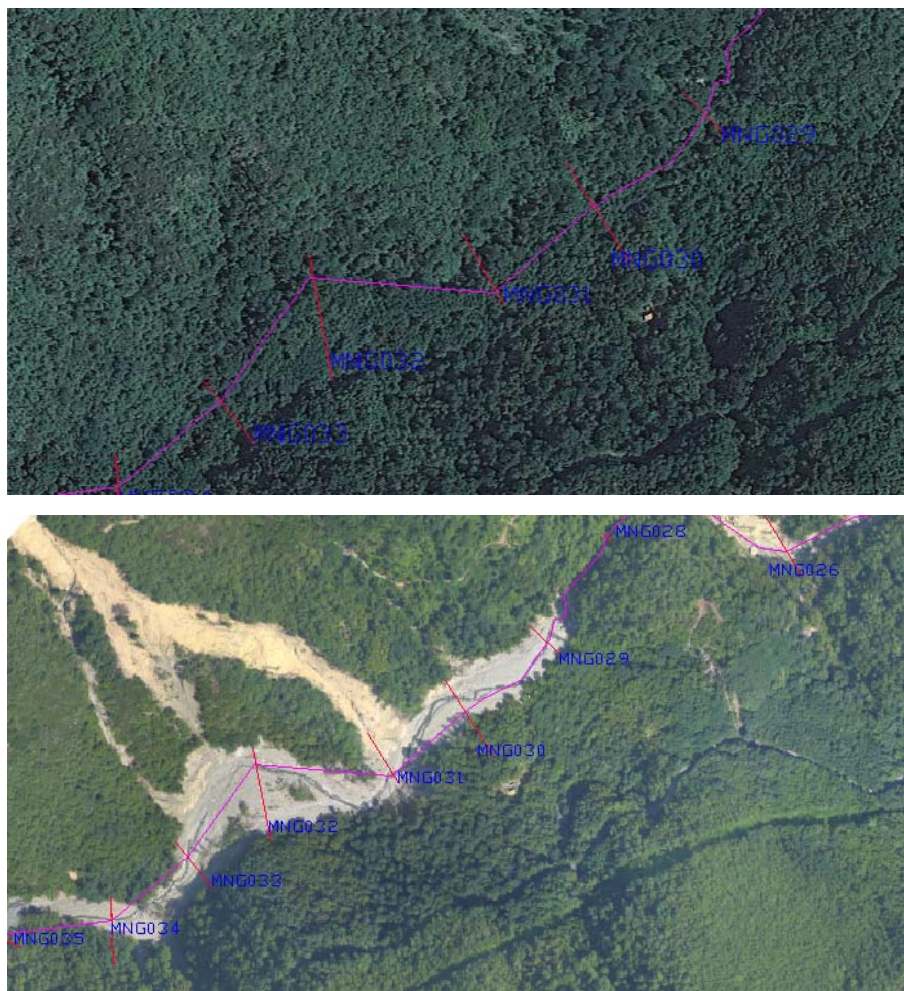
Il fenomeno principale che è stato osservato, praticamente in ogni sezione del tratto rilevato (cfr. Tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4) è stato quello dell'allargamento d'alveo che, in alcuni tratti, ha raddoppiato la sua larghezza. In alcune sezioni è stata altresì osservata la migrazione planimetrica dell'alveo origiario che determinerà lo sviluppo di aree golenali, anche vegetate, in aree precedentemente interessate dal transito delle portate di magra.

Con riferimento alle tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4, nel tratto di monte le sezioni in cui l'arretramento delle aree vegetate si è manifestato in maniera più evidente sono quelle comprese tra la n. 61 e la n. 58: in questo tratto il corso del torrente si è biforcuto e nel punto più ampio il letto del fiume è arrivato a misurare in larghezza quasi 110 metri (Figura 1.43):



*Figura 1.43 – Confronto tra le ortofoto 2010 (sopra) e 2012 (sotto) nel tratto compreso tra le sezioni n.56 e n. 62 del torrente Mangiola*

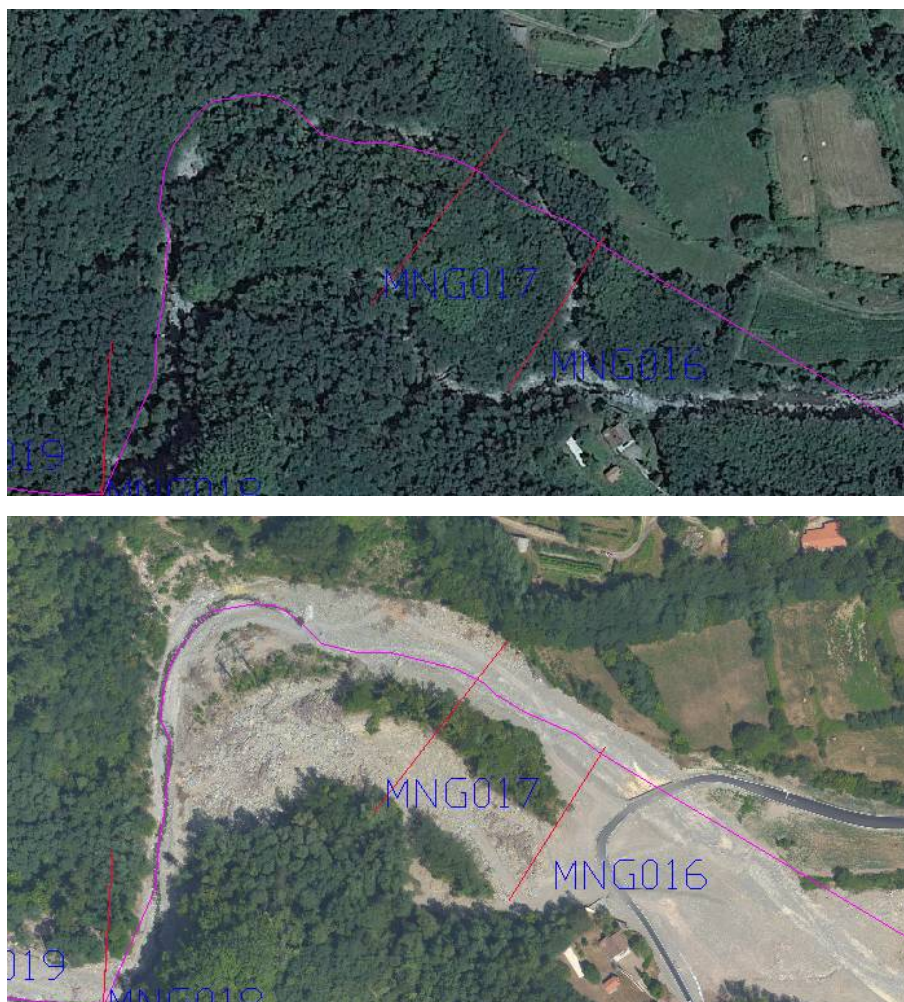
Anche tra le sezioni n. 33 e n. 29, le portate dell'evento del 25 ottobre 2011 hanno causato un ampio allargamento dell'alveo fluviale, specie in corrispondenza della confluenza con il canale Marzano (proveniente in sinistra idraulica, Figura 1.44) in prossimità della sezione n. 32, complice una leggera curvatura verso destra, la larghezza finale ha raggiunto quasi i 100 metri.



*Figura 1.44 - Confronto tra le ortofoto 2010 (sopra) e 2012 (sotto) nel tratto compreso tra le sezioni n.29 e n. 33 del torrente Mangiola*



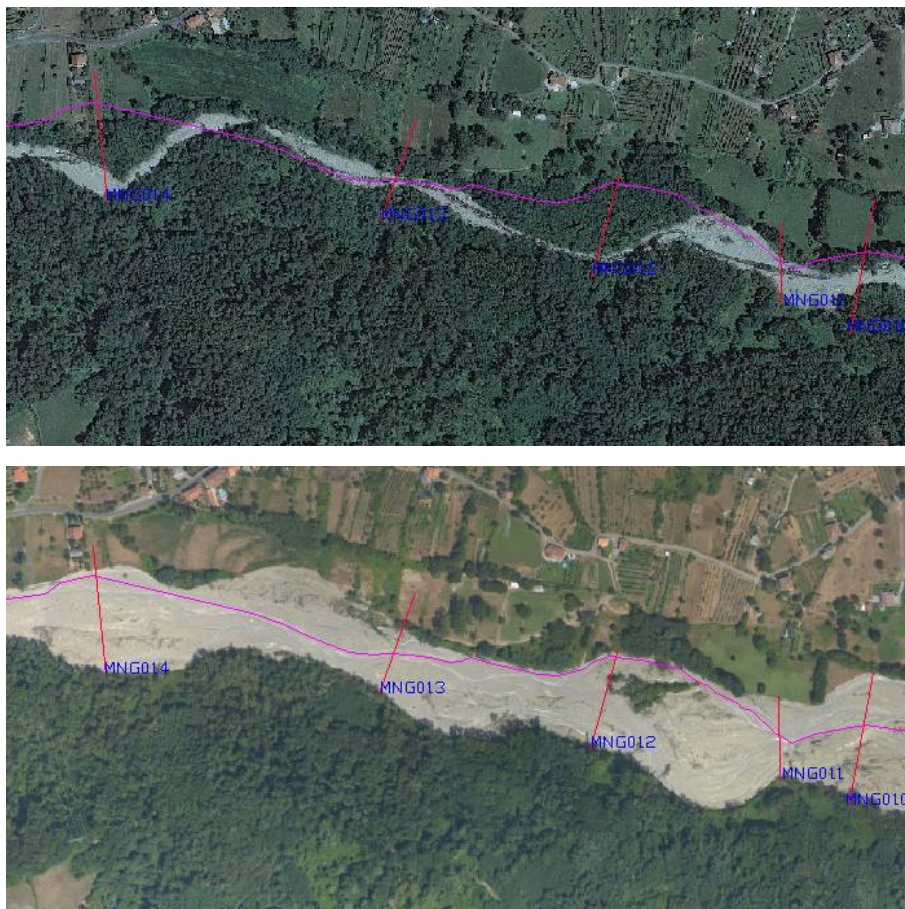
Presso le sezioni n.17 e 16, dove precedentemente all'evento il letto del torrente era largo non più di 10 metri, questo si è allargato notevolmente fino a raggiungere la larghezza di 95-100 metri e la vegetazione è stata asportata dal transito dell'onda di piena (Figura 1.45). L'area vegetata tra le sezioni n. 18 e 15, completamente rimossa durante la piena del 25 ottobre 2011, misura all'incirca 30000 metri quadrati.



*Figura 1.45 - Confronto tra le ortofoto 2010 (sopra) e 2012 (sotto) nel tratto compreso tra le sezioni n.16 e n.17 del torrente Mangiola*



Anche nel tratto finale del torrente Mangiola compreso tra le sezioni n. 14 e n. 10 la corrente ha eroso fortemente le sponde sia in destra che in sinistra idraulica per larghezze anche attorno ai 50 metri (Figura 1.45).



*Figura 1.46 - Confronto tra le ortofoto 2010 (sopra) e 2012 (sotto) nel tratto compreso tra le sezioni n.10 e n.14 del torrente Mangiola*

## **2. RICOSTRUZIONE FENOMENOLOGICA DELL'EVENTO DEL 25 OTTOBRE 2011**

### **2.1. Abitato di Mulazzo**

L'assetto urbanistico e idraulico esistente nell'abitato di Mulazzo prima dell'evento del 25 ottobre 2011 rende molto incerta la ricostruzione quantitativa dei livelli idrici mediante modellazione idraulica nei corsi d'acqua del Fosso del Frantoio e del Fosso della Madonna.

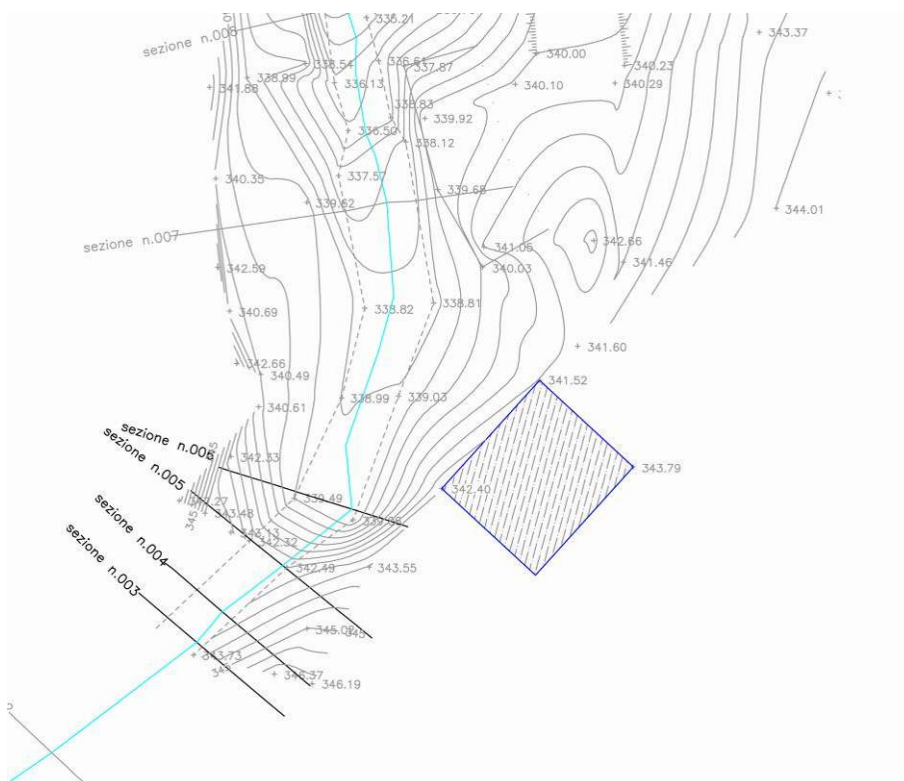
Prima dell'evento, il Fosso della Madonna ed il Fosso di San Rocco erano completamente tombati in corrispondenza del centro abitato mentre il Fosso del Frantoio era tombato in corrispondenza di Piazza XXV settembre (si veda la ricostruzione storica di cui al paragrafo 1.5.1). Non esisteva pertanto un vero e proprio reticolo idraulico superficiale ma le acque dei fossi erano convogliate come acque di scolo in sottoattraversamenti costituiti da scatolari e condotti a sezione circolare di modeste dimensioni, che durante l'evento sono risultati insufficienti al regolare deflusso delle portate.

#### **2.1.1. Stima della portata relativa all'evento sul Fosso del Frantoio e sul Fosso della Madonna**

Utilizzando il rilievo post-evento di alcune sezioni del Fosso del Frantoio, effettuato in occasione del progetto dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo di cui al paragrafo 1.5.1 ed il rilievo della traccia di piena T4 (cfr. Figura 1.4 e Tabella 1.2), è stato possibile effettuare una stima della portata al colmo transitata durante l'evento di piena del 25 ottobre 2011.

A tal fine, è stato fatto riferimento alle considerazioni proposte da Grant (1997), in base alle quali il numero di Froude della corrente per alvei a fondo mobile tende al valore unitario al crescere della pendenza dell'alveo stesso. Tali ipotesi sono state utilizzate per effettuare una stima della portata al colmo verificatasi nel Fosso del Frantoio, in corrispondenza di Piazza XXV settembre.

In Figura 2.1 è riportato un estratto planimetrico dell'area ubicata a monte di Piazza XXV settembre con l'indicazione di alcune tracce di sezioni d'alveo rilevate da parte dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia ed Arezzo.



*Figura 2.1 – Estratto planimetrico dell'area a monte di Piazza XXV settembre a Mulazzo. Da Rilievo dell' Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR.*

La traccia di piena T4 (cfr. Figura 1.4 e Tabella 1.2), è stata rilevata in corrispondenza del fabbricato contornato in blu, il quale costituiva una vecchia opera di presa posta in destra idrografica a monte del ponte della strada che collega Mulazzo a Montereale (S.P. 32).



*Figura 2.2 – Altezza della traccia di piena T4 sul Fosso della Madonna*



La quota relativa alla traccia di piena T4, pari a circa 343.80 m s.l.m. corrisponde ad un'altezza d'acqua di circa 4.66 m sulla sezione n.006 del rilievo di Figura 2.1, posta alla base della cascata in primo piano in Figura 2.2.

La sezione n.006, come rilevata dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia ed Arezzo è riportata in Figura 2.3.

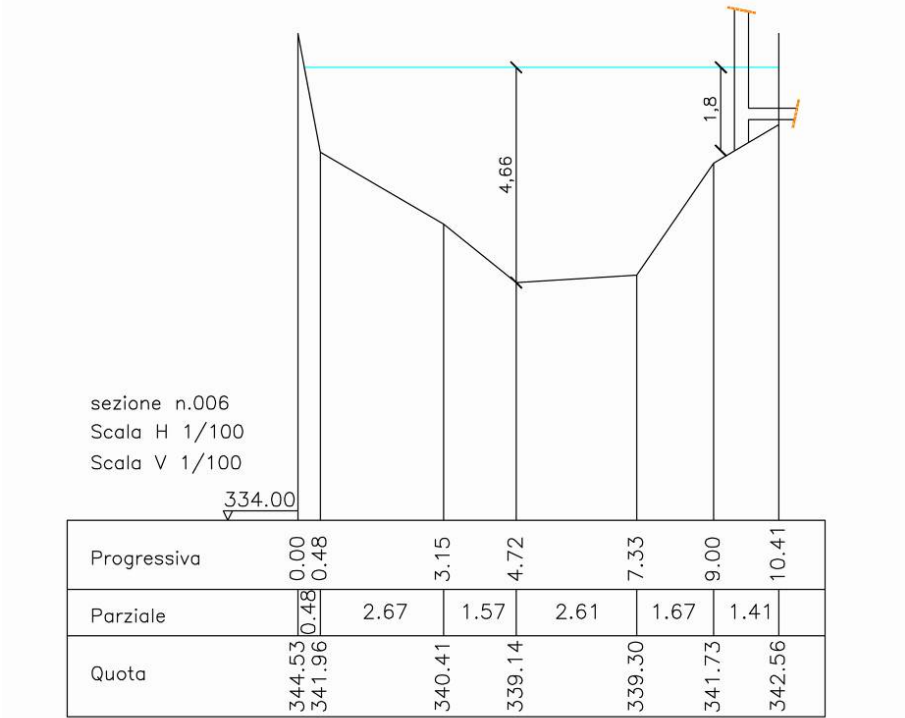


Figura 2.3 - Fosso del Frantoio. Sezione n.06 da Rilievo dell'Ufficio Tecnico Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR, con indicazione della traccia di piena rilevata (Quotature espresse in m)

Proiettando orizzontalmente il livello di piena relativo alla sezione n.006, si otterrebbe un'altezza d'acqua pari a 1.20 m circa sulla sezione n.005 (limite tra l'area colorata in blu e l'area colorata in ciano in Figura 2.4), ubicata alla sommità della cascata.

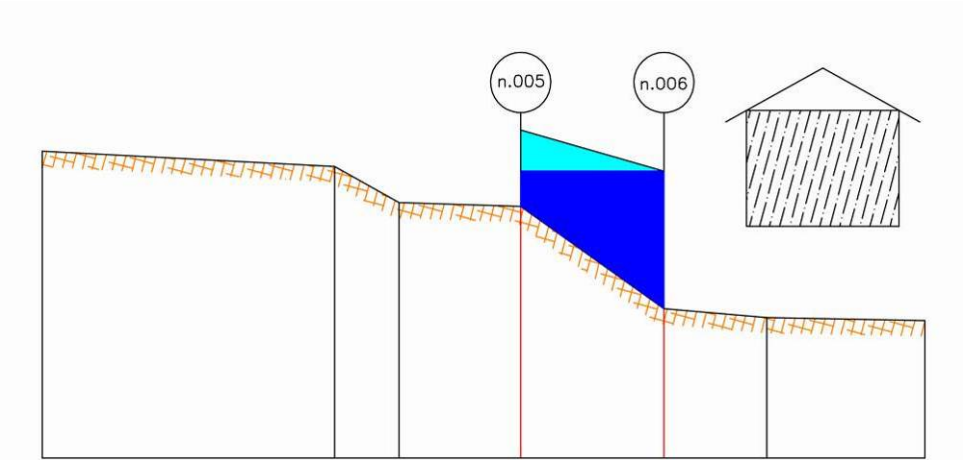


Figura 2.4 - Fosso del Frantoio. Profilo longitudinale qualitativo in prossimità dell'opera di presa da Rilievo dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR

Sia l'andamento del profilo del fondo che la conformazione geometrica dell'alveo, suggeriscono che in corrispondenza della sezione n.006 il profilo della corrente fosse rigurgitato dagli ostacoli presenti nella piazza (a sostegno di tale ipotesi, basti pensare che non esistono ulteriori salti di fondo tra la sezione n.006 e la piazza di Mulazzo). Viceversa, a partire dalla sezione n.005 verso monte, sono presenti svariati salti di fondo generati sia dalla morfologia a step-pool del Fosso, tipica degli alvei montani a forte pendenza, che dalla conformazione del versante.

Si ritiene quindi che la sezione n.005 sia sufficientemente lontano dal tratto tombato del Fosso della Madonna ubicato più a valle e che sia possibile supporre che, al momento del transito delle portate più intense connesse all'evento del 25 ottobre 2011, la corrente vi transitasse in uno stato "libero" da vincoli imposti da particolari condizioni (tombamenti, attraversamenti e rigurgiti dovute a variazioni non naturali o non autoindotte della geometria d'alveo). È pertanto ragionevole supporre un numero di Froude prossimo all'unità in corrispondenza della sezione n. 005, sulla base delle considerazioni di Grant (1997). Un'ulteriore ipotesi che è possibile fare è che la quota del pelo libero in corrispondenza della sezione n.005 non fosse pari a quella rilevata in corrispondenza della sezione n.006, ma fosse posizionata ad un livello più elevato. Pertanto il livello idraulico da considerarsi sulla sezione n.005 è presumibilmente maggiore di 1.20 m.

I valori di portata, calcolati assumendo un numero di Froude pari ad 1.1 sulla sezione n.005, sono riportati in Tabella 2.1 per varie altezze d'acqua ipotizzate.

*Tabella 2.1 – Valori di portata in corrispondenza di un numero di Froude prossimo all'unità in corrispondenza della sezione n.005 del Fosso del Frantoio (Rilievo Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta FI,PO,PT,AR)*

<b>h [m] sez. n.005</b>	<b>Q[m<sup>3</sup>/s]</b>
1.20	10.9
1.50	20.6
1.75	29.6
2.00	39.9
2.25	51.6
2.50	63.7

La Figura 2.5 riporta il rilievo della sezione n.005 con l'indicazione dei livelli idraulici di Tabella 2.1



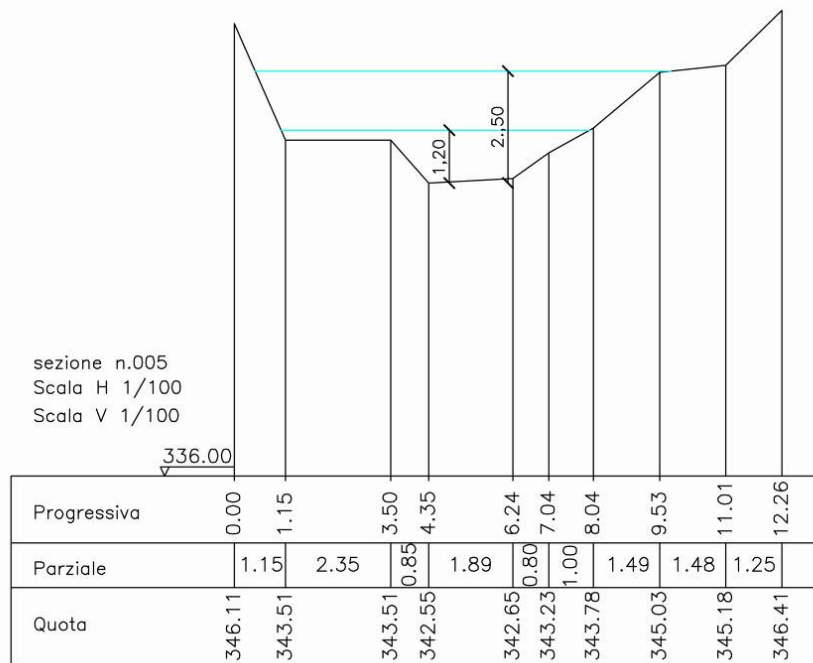


Figura 2.5 - Fosso del Frantoio. Sezione n.05 da Rilievo dell'Ufficio Tecnico Genio Civile Area Vasta FI,PO,PT,AR, con indicazione dei livelli idrici ipotizzati. (Quotature espresse in m)

Per verificare la bontà delle valutazioni effettuate e per poter ottenere un criterio con il quale stabilire quale sia stato il massimo livello idrico raggiunto nella sezione n.005 durante l'evento del 25 ottobre 2011, sono state condotte delle simulazioni in moto permanente mediante il software Hec-Ras, nel tratto compreso tra le sezioni n.001 e n.006 avendo posto come condizione al contorno di valle il livello della traccia di piena relativa alla sezione n.006. È importante notare come l'effettuazione di una simulazione utilizzando una condizione al contorno a valle contenga l'ipotesi di una corrente in stato subcritico in tale sezione: ciò è comunque coerente con le considerazioni precedentemente svolte, secondo le quali la corrente era rigurgitata a partire da Piazza XXV settembre durante l'evento di piena.

Le simulazioni sono state ripetute per tre diversi valori di tentativo per la portata al colmo, rispettivamente pari a 30, 40 e 50 m<sup>3</sup>/s. Il valore del coefficiente di resistenza è stato calcolato utilizzando la formulazione proposta da Ferguson (2007), sulla base della curva granulometrica di cui al rilievo sedimentologico FRA\_01S.

Tabella 2.2 - Parametri adottati nella modellazione in moto permanente con Hec-Ras sul Fosso del Frantoio per la ricostruzione della portata al colmo in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011

Coefficiente di resistenza di Manning n (s/m <sup>1/3</sup> )	Condizione al contorno monte	Condizione al contorno di valle (sez n.006)	Lunghezza tratto [m]	Pendenza media del tratto
0.08	Altezza critica	Traccia di piena (343.8 m)	26	0.29

I livelli idrici in corrispondenza della sezione n.005, ottenuti dalle simulazioni sono riportati nella tabella 2.3.

Tabella 2.3 - Livelli idrici ottenuti dalla simulazione in Hec-ras per differenti valori di portata ipotizzati

Q[m <sup>3</sup> /s]	h [m] sez. n.005
30	1.86
40	2.02
50	2.12

Il valore di portata pari a 40 m<sup>3</sup>/s ha prodotto livelli idrici vicini a quelli riportati in Tabella 2.1, calcolati secondo le ipotesi di Grant (1997) ed è pertanto stato assunto come valore più affidabile per la stima della portata di piena dell'evento del 25 ottobre 2011.

Si riporta in Figura 2.6 il profilo di moto permanente ottenuto mediante modellazione con il software Hec-ras per tale valore di portata.

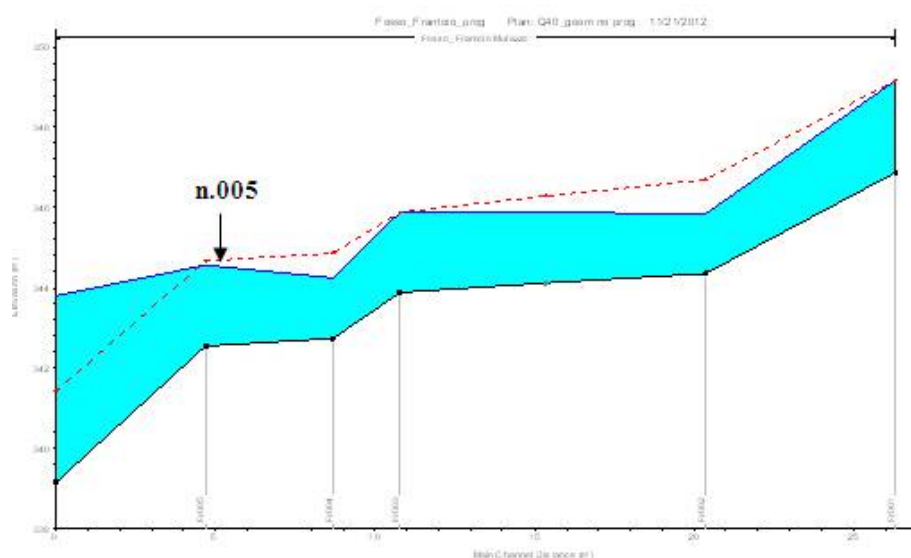


Figura 2.6 - Profilo della simulazione di moto permanente del Fosso del Frantoio nel tratto a monte della piazza XXV settembre per la ricostruzione della portata al colmo ( $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Alla luce della valutazioni fatte e considerando che:

- Tra gli idrogrammi forniti dal modello Piene relativamente al Fosso del Frantoio (cfr. Figura 1.13), il valore appena stimato per la portata al colmo è riprodotto in maniera migliore da quello relativo al tempo di ritorno 500 anni e pari a 38.6 m<sup>3</sup>/s.
- Il pluviometro di Parana, che tra quelli interessati dalle piogge più intense del 25 ottobre 2011 è il più prossimo al Fosso del Frantoio (cfr. Tavola MNG 1), riporta un tempo di ritorno pari a 150 anni, relativamente alla pioggia cumulata su 1h (88 mm), mentre riporta un tempo di ritorno superiore a 500 anni per la pioggia cumulata su 3h (165 mm)

È ragionevole assumere che l'evento che ha interessato il Fosso del Frantoio in occasione del 25 ottobre 2011 abbia avuto un tempo di ritorno attorno ai 500 anni. Vista inoltre l'estensione del bacino e le pendenze in gioco è probabile che i tempi di corrivazione si attestino proprio sulla durata di 3 ore che il pluviometro di Parana ha registrato come corrispondente all'altezza di pioggia con tempo di ritorno 500 anni.

La modesta estensione del bacino, la vicinanza al Fosso del Frantoio e al pluviometro di Parana, giustificano l'assunzione della medesima scala temporale di evento nonché del medesimo tempo di

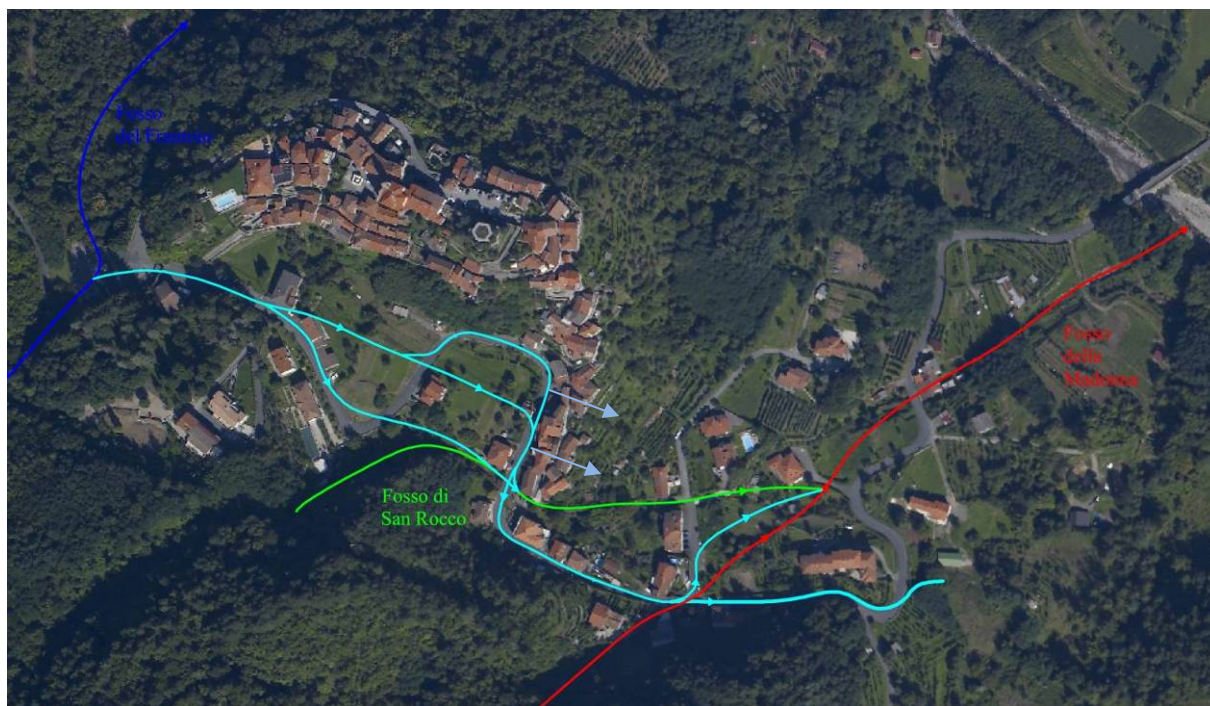


ritorno anche per il Fosso della Madonna, la cui portata al colmo corrispondente è pari a 13.1 m<sup>3</sup>/s (cfr. Figura 1.14).

### 2.1.2. Ricostruzione dell'andamento dei deflussi

Sulla base delle testimonianze raccolte in sito nel corso dei sopralluoghi, del materiale fotografico, dei video amatoriali registrati durante l'evento eccezionale di pioggia, e delle informazioni estratte dalla Relazione Geologica redatta dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo, è stato possibile ricostruire le traiettorie seguite dai flussi d'acqua generatisi durante l'evento del 25 ottobre 2011 nel centro abitato di Mulazzo.

Come si può osservare nello schema dei flussi ricostruito in Figura 2.7, il Fosso del Frantoio ha subito una deviazione in corrispondenza del monumento posto al centro di Piazza XXV settembre (forse agevolata dalla presenza del monumento stesso), per cui in parte l'acqua ha proseguito lo scorrimento lungo l'alveo naturale del Fosso ed in parte si è riversata nelle strade del centro abitato fino a ricongiungersi più a valle con il Fosso di San Rocco.



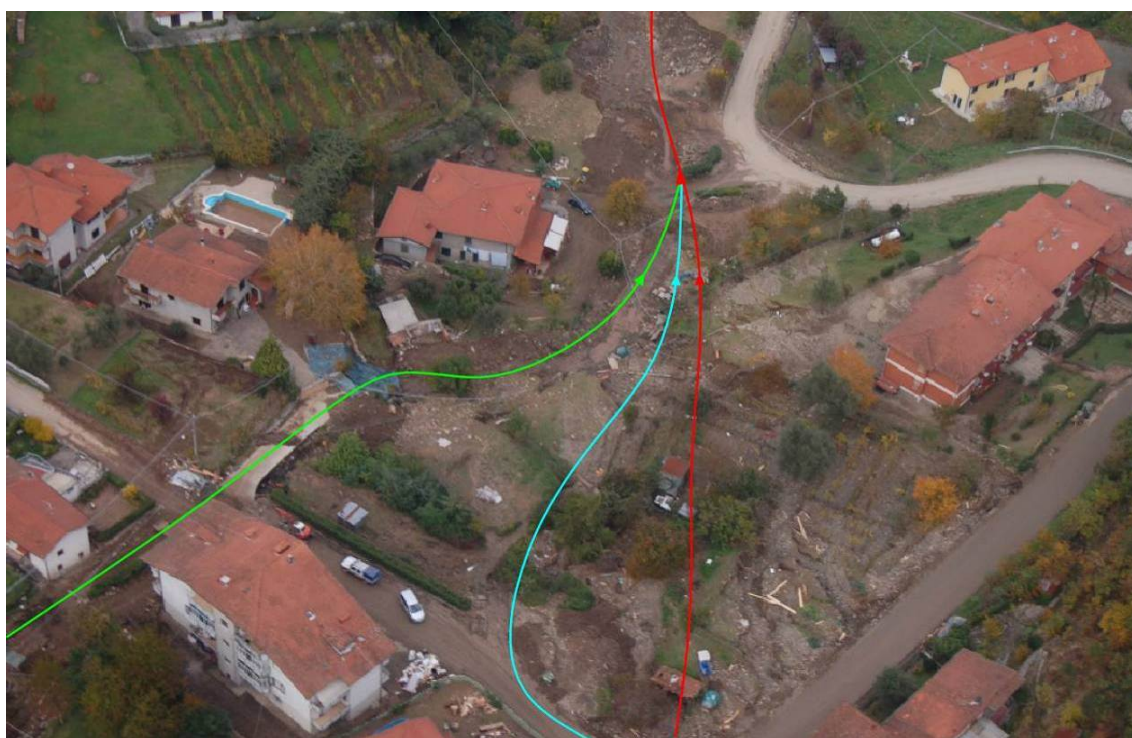
*Figura 2.7 - Ricostruzione dei flussi che si sono generati durante l'evento del 25 ottobre 2011 nel centro abitato di Mulazzo.*

Il Fosso di San Rocco ha poi convogliato le proprie acque verso il Fosso della Madonna probabilmente seguendo il percorso dell'alveo originario esistente prima dei vari tombamenti. A questo si sono aggiunti dei flussi secondari (colorati in ciano in Figura 2.7) provenienti dal bacino del Fosso del Frantoio.





*Figura 2.8 - Fosso del Frantoio (in blu) – deviazione del flusso in corrispondenza di piazza XXV settembre*



*Figura 2.9- Confluenza del Fosso di San Rocco (in verde) con il Fosso della Madonna (rosso) e le acque riversate nelle strade a valle dell'incrocio tra la S.P. 32 e la viabilità comunale (in ciano)*



Il reticolo idrografico alterato che si è venuto a costituire durante l'evento, formato non solo dagli alvei originari dei fossi ma anche dalle strade dell'abitato di Mulazzo, ha causato notevoli dissesti che sono stati amplificati dai numerosi tratti tombati che, ostruiti da acqua e detriti hanno accentuato gli effetti di quanto stava già accadendo.

Nella foto di Figura 2.10 si può osservare il flusso del Fosso della Madonna (in rosso) e l'erosione del versante che originariamente ne ospitava l'alveo fluviale. Sullo sfondo si vede un flusso secondario (in ciano) proveniente dalle acque del Fosso del Frantoio che secondo le testimonianze scorreva lungo la viabilità provinciale (S.P. 32, via Roma).



*Figura 2.10 - Percorso del Fosso della Madonna (in rosso) nel tratto di valle; sullo sfondo in ciano un flusso secondario lungo Via Roma.*

### **2.1.3. Fenomeni localizzati di erosione e deposito**

L'evento del 25 ottobre 2011 è da ritenersi eccezionale non solo per i quantitativi di portata liquida che si sono riversati nei fossi e nel centro abitato, ma anche e soprattutto per la portata solida ad essa associata che ha generato grandi accumuli di detriti in alcuni punti. Ad essa è da sommarsi il contributo delle colate detritiche provenienti dalle pendici del bacino e dalle erosioni di sponda provocate in alveo dalla corrente.

Il principale fenomeno di accumulo di sedimenti fluviali si è verificato in prossimità del Fosso del Frantoio, in corrispondenza di Piazza XXV settembre. Dall'analisi della documentazione fotografica disponibile, dai sopralluoghi effettuati sul posto e dalla carta geolitologica e geomorfologica riportata nella relazione geologica del progetto del Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo (Relazione Geologica G2b) di cui al capitolo 1.5.1, è stato possibile stimare la superficie di accumuli fluviali fuori alveo prodotti in occasione dell'evento di piena nell'area compresa tra l'edificio della vecchia opera di presa della centrale, a monte del ponte crollato, e la piazza stessa.

La superficie stimata per il deposito è pari circa a  $1500 \text{ m}^2$ . Dal sondaggio a carotaggio effettuato in sito, su commissione del Genio Civile, si osserva che lo spessore medio del materiale accumulato è pari a 1.80 m, ciò ci consente di stimare anche un volume di materiale trasportato dal Fosso del Frantoio e depositatosi in corrispondenza della piazza, pari a circa  $2700 \text{ m}^3$ .

Questa stima è supportata anche dalle valutazioni fatte nell'ambito del Piano di Gestione Terre (redatto dal Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo) per stabilire i quantitativi di materiale oggetto di operazioni di movimentazione sulla base delle principali attività di progetto, ove è prevista infatti la rimozione di almeno  $1800 \text{ m}^3$  di materiale in esubero rispetto alla quota originaria della piazza.

Sempre nel Piano di Gestione Terre di cui sopra viene specificata anche l'entità del volume di materiale depositatosi nella zona di monte del Fosso della Madonna, pari a  $800 \text{ m}^3$ , la cui rimozione è anche finalizzata alla rimodellazione del tratto di valle.

Queste valutazioni saranno utili nell'ambito delle modellazioni idrauliche in moto vario e fondo mobile cui si rimanda al capitolo successivo.

Per quanto riguarda i fenomeni di erosione, sul Fosso del Frantoio questi si sono manifestati sui versanti, nel tratto di monte, e in alveo nel tratto a valle del ponte sulla SP 32. Lungo il Fosso della Madonna, questi hanno interessato maggiormente il tratto che va dalla confluenza con il Fosso di san Rocco fino a tutto il tratto di valle. In queste zone infatti l'erosione ha colpito i versanti che a partire dagli anni '70 sono stati riempiti artificialmente convogliando le acque dei fossi al Torrente Mangiola mediante sottoattraversamenti.

## **2.2. Torrente Mangiola**

La ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 sul torrente Mangiola è stata fatta attraverso la simulazione del tratto di interesse in condizioni di moto vario a fondo fisso, utilizzando il software Hec – Ras 4.1.0.

Per quanto riguarda la geometria del corso d'acqua è stato utilizzato il rilievo di cui al paragrafo 1.1. Tale rilievo è relativo a sezioni d'alveo rilevate ad un anno circa di distanza dall'evento, le quali presentano una geometria molto diversa, soprattutto in termini di larghezza, da quella presente in alveo prima dell'evento, come risulta anche dall'analisi condotta nel paragrafo 1.5.2.

Dal confronto tra le ortofoto pre e post-evento (cfr. paragrafi 1.4.2 e 1.5.2) emerge inoltre che molte differenze tra le geometrie d'alveo siano dovute alla diversa entità della copertura vegetativa, che appare molto ridotta dopo l'evento.

Considerando che:

- Le geometrie d'alveo del rilievo di cui al paragrafo 1.1 rappresentano di fatto l'unico riferimento disponibile per la geometria del torrente (esistono alcune sezioni d'alveo presenti nel PAI del Bacino del Fiume Magra e datate 1989 che però si estendono soltanto fino a poco a monte dell'abitato di Mulazzo)
- I coefficienti di scabrezza associati alla presenza di vegetazione in alveo sono molto elevati ed hanno una grande influenza sulla officiosità idraulica della sezione
- La ricostruzione a posteriori dell'influenza che la copertura vegetativa abbia avuto sullo stabilirsi dei livelli in alveo è molto incerta: da un lato è possibile che la presenza della copertura vegetativa abbia avuto un ruolo importante nello stabilirsi dei livelli rilevati con le tracce di piena, mentre dall'altro è possibile che tali livelli si siano stabiliti dopo l'asportazione della vegetazione da parte della corrente.



Si ritiene necessario effettuare delle simulazioni con le geometrie d'alveo rilevate (cfr. paragrafo 1.1), sia tenendo conto della copertura vegetativa presente prima dell'evento, attraverso l'opportuna definizione dei coefficienti di scabrezza ad essa associati, sia considerando lo scenario post-evento in cui questa risulta in gran parte asportata.

Per tener conto dell'effetto della copertura vegetativa pre-evento, sono state individuate sulle sezioni d'alveo del rilievo topografico le aree corrispondenti alle coperture vegetative attraverso l'analisi delle ortofoto pre-evento in ambiente GIS e ad esse è stato assegnato un coefficiente di scabrezza di Manning pari a  $0.07 \text{ s/m}^{1/3}$ , idoneo per coperture vegetative a carattere arbustivo, sulla base della formulazione proposta dal USA Federal Highway Administration, in analogia con gli altri Gruppi di Lavoro.

I coefficienti di scabrezza assunti invece per la zona dell'alveo non vegetata sono stati ricavati in base alla granulometria del materiale presente in alveo, campionata durante i rilievi sedimentologici, utilizzando la seguente formula ( $k_s$  espresso in  $\text{m}^{1/3}/\text{s}$  e  $D_{50}$  espresso in m):

$$k_s = \frac{21}{D_{50}^{1/6}}$$

La tabella seguente illustra i coefficienti di scabrezza utilizzati:

*Tabella 2.4- Coefficienti di scabrezza utilizzati per le simulazioni per la ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 sul torrente Mangiola*

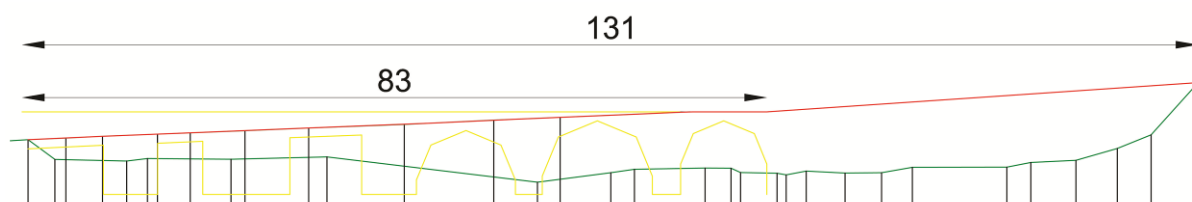
COEFFICIENTI DI MANNING (dalla sezione 8 alla sezione 1)		
sinistra idraulica	alveo inciso	destra idraulica
$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.028 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$
COEFFICIENTI DI MANNING (dalla sezione 34 alla sezione 9)		
sinistra idraulica	alveo inciso	destra idraulica
$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.032 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$
COEFFICIENTI DI MANNING (dalla sezione 52 alla sezione 35)		
sinistra idraulica	alveo inciso	destra idraulica
$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.029 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$
COEFFICIENTI DI MANNING (dalla sezione 76 alla sezione 53)		
sinistra idraulica	alveo inciso	destra idraulica
$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.031 \text{ s/m}^{1/3}$	$0.07 \text{ s/m}^{1/3}$

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di riferimento è riportata nelle tavole da MNG 1.1 a MNG 1.4.

Sono state comunque fatte delle correzioni alle geometrie del rilievo topografico effettuato, in corrispondenza dei manufatti ubicati in prossimità delle tracce di piena, sulla base delle informazioni disponibili nel quadro conoscitivo. In particolare, sono state corrette le sezioni in corrispondenza del

ponte sulla viabilità di collegamento con l'abitato di Mulazzo (sezione 15) e dell'opera di derivazione in prossimità dell'abitato di Montereaggio (sezione 52A).

Per quanto riguarda il ponte sulla viabilità di collegamento con l'abitato di Mulazzo, è stata effettuata una ricostruzione, seppur approssimata, della geometria del manufatto prima che la piena ne causasse il crollo. Ciò è stato possibile sia confrontando il rilievo del ponte stesso presente nel PAI con il nuovo rilievo effettuato, sia analizzando la documentazione fotografica disponibile. In Figura 2.11 è riportato uno schema con la ricostruzione del ponte e della sezione idraulica, effettuata sulla base del confronto tra i due rilievi disponibili:



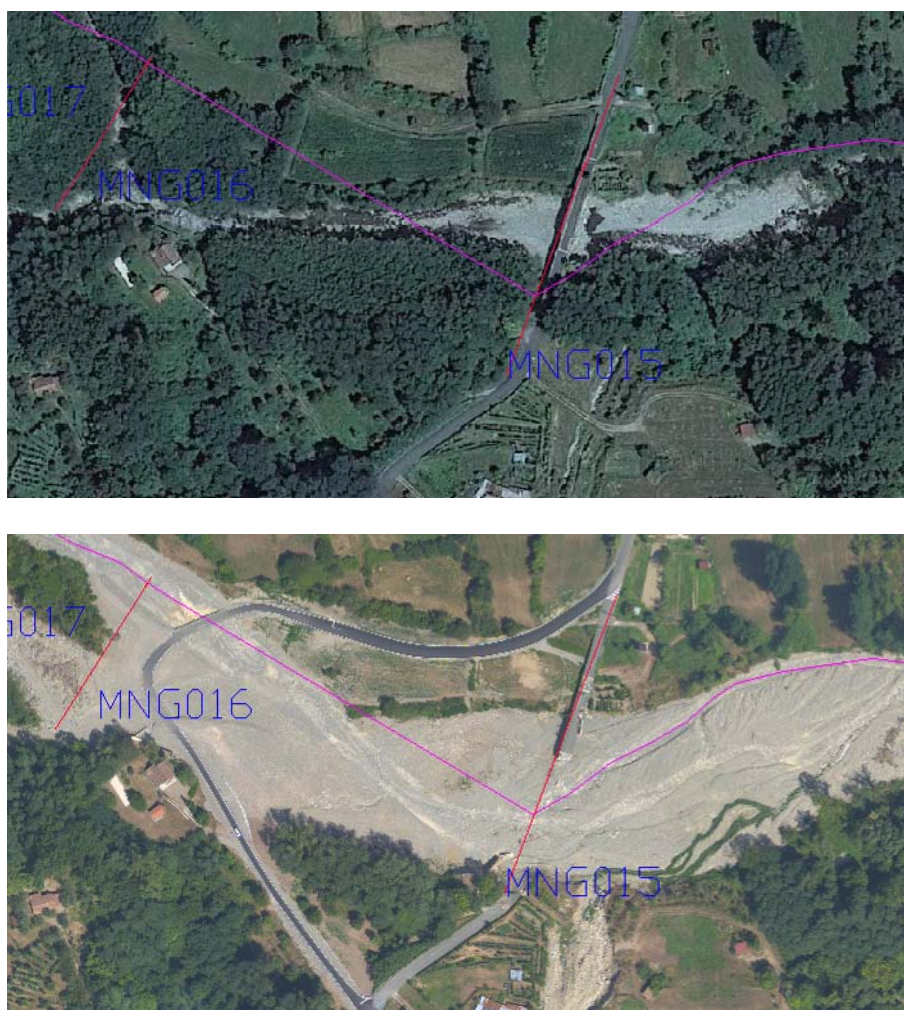
*Figura 2.11 – Ricostruzione del ponte sulla viabilità di collegamento per Mulazzo. In giallo è indicato il profilo del ponte da rilievo PAI (1989). In rosso è riportato l'andamento della quota dell'impalcato del ponte ricavata sulla base del rilievo topografico effettuato dopo l'evento del 25 ottobre 2011. In verde è rappresentata la sezione n.15, come rilevata dopo l'evento. Le quote sono espresse in metri.*

Dalla ricostruzione effettuata si può osservare come la sponda in destra idraulica si sia allargata per oltre 40 metri. Essa appare confermata dalle immagini seguenti, riprese poco dopo il crollo del ponte:



*Figura 2.12 – Immagini del ponte sulla viabilità di collegamento per Mulazzo poco dopo il crollo.*

Un'ulteriore conferma è data dal confronto tra le ortofoto ante e post-evento in corrispondenza del ponte (Figura 2.13)



*Figura 2.13 – Confronto tra le ortofoto in corrispondenza del ponte sulla viabilità di collegamento per l'abitato di Mulazzo. In alto è riportata l'ortofoto relativa all'anno 2010, mentre quella relativa all'anno 2012 è riportata in basso.*

Alla luce di queste considerazioni è probabile che la causa del crollo del ponte sia da imputarsi alla forte erosione in destra idraulica che ha causato un arretramento superiore ai 40 m, asportando di fatto l'appoggio per la campata del ponte. Non risultano invece fenomeni di scalzamento e asportazione di pile in alveo da parte della corrente.

Per quanto riguarda l'opera di derivazione in prossimità dell'abitato di Montereale, dal momento che questa non ha subito danni strutturali consistenti in occasione dell'evento, è stato possibile utilizzare la geometria dell'opera, così come ricavata dal rilievo topografico effettuato, nelle simulazioni. Tuttavia, come è evidente dalle immagini riportate in Figura 2.14, le paratoie della struttura si sono completamente ostruite durante il passaggio dell'onda di piena causando il sormonto della stessa da parte della corrente.





*Figura 2.14 – Immagini dell’opera di derivazione in prossimità dell’abitato di Montereccio. La foto in alto ritrae l’opera svariati mesi dopo l’evento. La foto in basso ritrae l’opera circa una settimana dopo l’evento*

Per poter quindi riprodurre i livelli della traccia di piena rilevata in corrispondenza della struttura (traccia T2) è stato necessario utilizzare queste informazioni in fase di modellazione, introducendo la presenza del manufatto come area impermeabile al passaggio della corrente.

Nelle simulazioni si è cercato di riprodurre separatamente l’evento nei tratti di monte e di valle, considerato che quest’ultimi sono stati presumibilmente investiti da portate di entità differente, così come evidenziato anche dagli idrogrammi forniti dal modello PIENE per vari tempi di ritorno (cfr. paragrafo 1.3). Utilizzando la geometria ed i coefficienti di scabrezza precedentemente indicati, sono state effettuate delle simulazioni nei due diversi scenari corrispondenti alle coperture vegetative pre e post-evento, cercando di riprodurre le tracce di piena rilevate di cui al paragrafo 1.1. Come indicato nella tabella seguente, sono stati utilizzati gli idrogrammi MNG\_03H e MNG\_02H, per i tratti di monte e valle rispettivamente, per vari tempi di ritorno e per diverse entità della copertura vegetativa, valutando le differenze tra i livelli delle tracce di piena simulate e quelle rilevate.

*Tabella 2.5 – Parametri utilizzati per le simulazioni per la ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 sul torrente Mangiola*

Simulazione	Sezioni di riferimento (cfr. tavole da MNG 1.1 a 1.4)	Idrogramma	Copertura vegetativa	Tracce di piena riprodotte
M-1 (Monte)	76-52A	MNG_03H, T = 500 anni	Come da ortofoto pre-evento	T1,T2
M-2 (Monte)	76-52A	MNG_03H, T = 500 anni	Come da ortofoto post-evento	T1,T2
M-3 (Monte)	76-52A	MNG_03H, T = 200 anni	Come da ortofoto pre-evento	T1,T2
M-4 (Monte)	76-52A	MNG_03H, T = 200 anni	Come da ortofoto post-evento	T1,T2
V-1 (Valle)	52A - 15	MNG_02H, T = 500 anni	Come da ortofoto pre-evento	T3
V-2 (Valle)	52A - 15	MNG_02H, T = 500 anni	Come da ortofoto post-evento	T3
V-3 (Valle)	52A - 15	MNG_02H, T = 200 anni	Come da ortofoto pre-evento	T3
V-4 (Valle)	52A - 15	MNG_02H, T = 200 anni	Come da ortofoto post-evento	T3

Le simulazioni sono state condotte utilizzando come condizioni al contorno l'altezza critica a monte e l'altezza di moto uniforme a valle (con una pendenza pari a quella media dell'alveo in un tratto in un intorno della sezione di chiusura). Le simulazioni sono state condotte su tratti più estesi di quelli comprendenti le sezioni di riferimento indicate in Tabella 2.5 per ogni simulazione, in maniera tale che un eventuale errore o imprecisione sulla condizione al contorno imposta non avesse influenza sui livelli riprodotti delle tracce.

La Tabella 2.6 riporta i livelli riprodotti per le tracce di piena nelle varie simulazioni con le relative differenze rispetto ai livelli rilevati.

*Tabella 2.6 - Verifica delle tracce di piena sul torrente Mangiola attraverso simulazioni. I valori in parentesi indicano lo scarto tra il livello riprodotto e quello rilevato.*

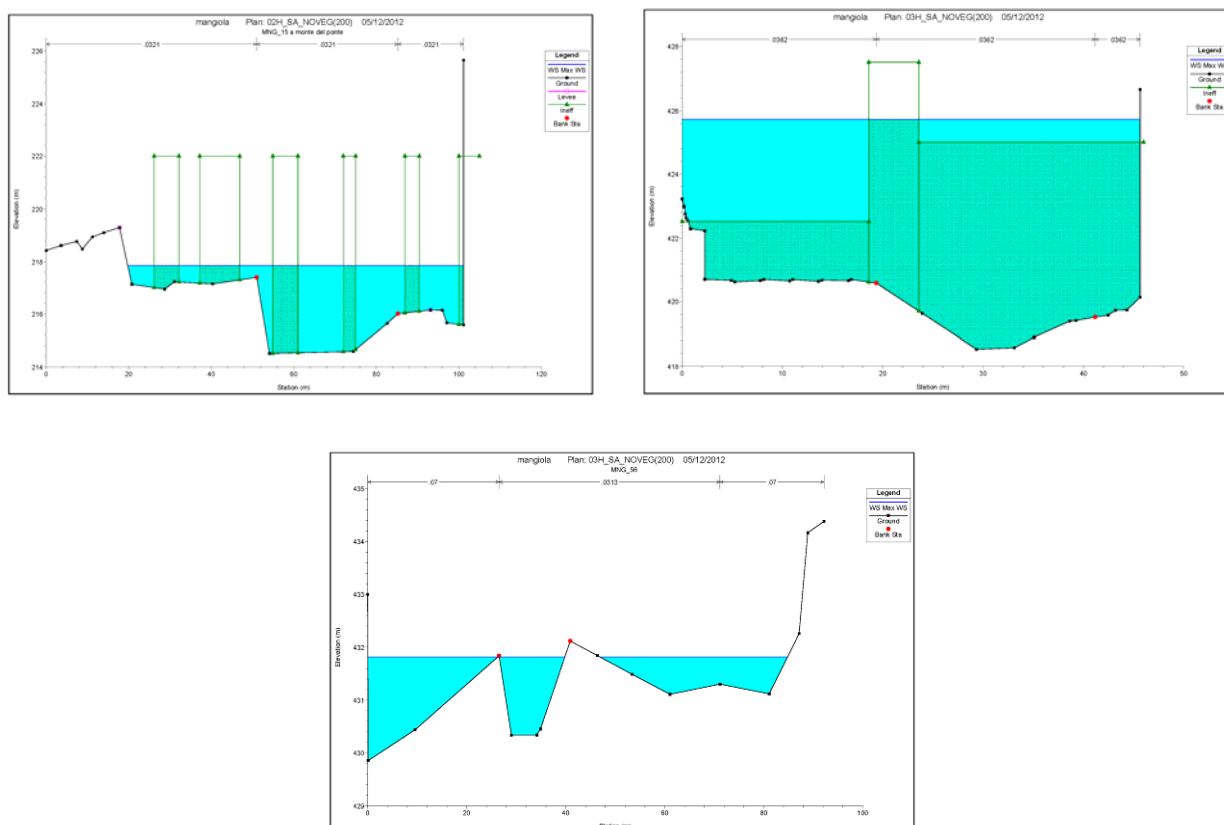
Simulazione	Livello riprodotto traccia di piena T1 (Sez. 56) [m s.l.m.]	Livello riprodotto traccia di piena T2 (Sez. 52A) [m s.l.m.]	Livello riprodotto traccia di piena T3 (Sez. 15) [m s.l.m.]
M-1	432.00 (+0.64 m)	426.09 (+0.08 m)	-
M-2	431.91 (+0.55 m)	425.79 (-0.22 m)	-
M-3	431.88 (+0.52 m )	426.00 (-0.01 m)	-
M-4	431.82 (+0.46 m)	425.74 (-0.27 m)	-
V-1	-	-	218.37 (+0.70 m)
V-2	-	-	218.16 (+0.49 m)
V-3	-	-	218.02 (+0.35 m)
V-4	-	-	217.87 (+0.20 m)

È da ricordare che la traccia di piena T2 (ossia quella in corrispondenza dell'opera di derivazione in prossimità di Montereccio), oltre ad essere quella di più incerta determinazione, per poter essere riprodotta necessita dell'introduzione di aree impermeabili al passaggio delle corrente nella relativa sezione. Ciò rende la sua riproduzione nelle simulazioni una procedura piuttosto empirica, dal momento che è possibile alzare il livello simulato aumentando l'entità di tali aree e che, a rigore, sarebbe necessaria la conoscenza precisa di quale parte della sezione fosse veramente ostruita in occasione dell'evento. Pertanto, nella scelta della simulazioni che riproducano più fedelmente le tracce di piena rilevate, viene assegnata una rilevanza minore all'errore compiuto nella riproduzione della traccia di piena T2.

Le simulazioni M-4 e V-4, ossia quelle effettuate utilizzando idrogrammi con tempi di ritorno pari a 200 anni , considerando una presenza di copertura vegetativa come da scenario post-evento sono quelle che riproducono le tracce di piena rilevate con uno scarto minore: il relativo scenario di riferimento viene assunto come quello più rappresentativo dell'evento del 25 ottobre 2011.

Si riportano di seguito i grafici delle sezioni relative alle tracce di piena, con l'indicazione dei livelli idrici ottenuti dalle simulazioni:





*Figura 2.15 – Riproduzione delle tracce di piena sulle sezioni del torrente Mangiola. Livelli idrici ottenuti da simulazioni M-4 e V-4 (cfr. Tabella 2.5). Le sezioni riportate sono nell'ordine la 15 (traccia T3), la 52A (traccia T2) e la 56 (traccia T3)*

I profili longitudinali relativi alle simulazioni M-4 e V-4 di cui alla Tabella 2.5 sono riportati nella figura 2.16.

I principali risultati ottenuti nelle simulazioni M-4 e V-4 sono riportati nelle tabelle 2.7 e 2.8.

I risultati ottenuti sembrano avvalorare l'ipotesi che le portate che si sono verificate sul torrente Mangiola in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011 abbiano avuto un tempo di ritorno pari a 200 anni. I risultati migliori si ottengono assumendo una copertura vegetativa dell'alveo pari a quella rilevata in seguito all'evento, ovvero quando gran parte della vegetazione era stata asportata: ciò implica che con ogni probabilità la maggior parte della copertura vegetativa sia stata asportata prima del transito dei colmi di livello, ossia durante la fase crescente dell'onda di piena. È infine da osservare come l'effetto della copertura vegetativa abbia avuto una maggiore influenza sullo stabilirsi dei livelli idrici a valle rispetto a monte (cfr Tabella 2.6): ciò è probabilmente dovuto alla presenza di sezioni più ampie a valle.

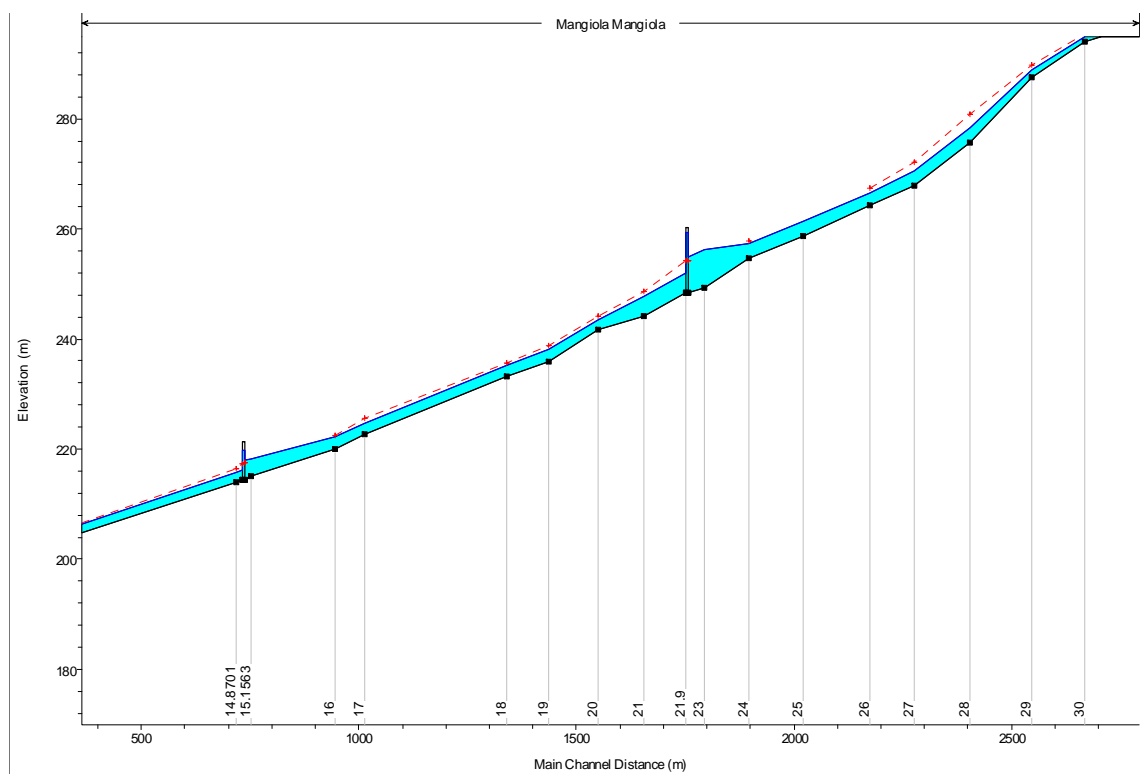
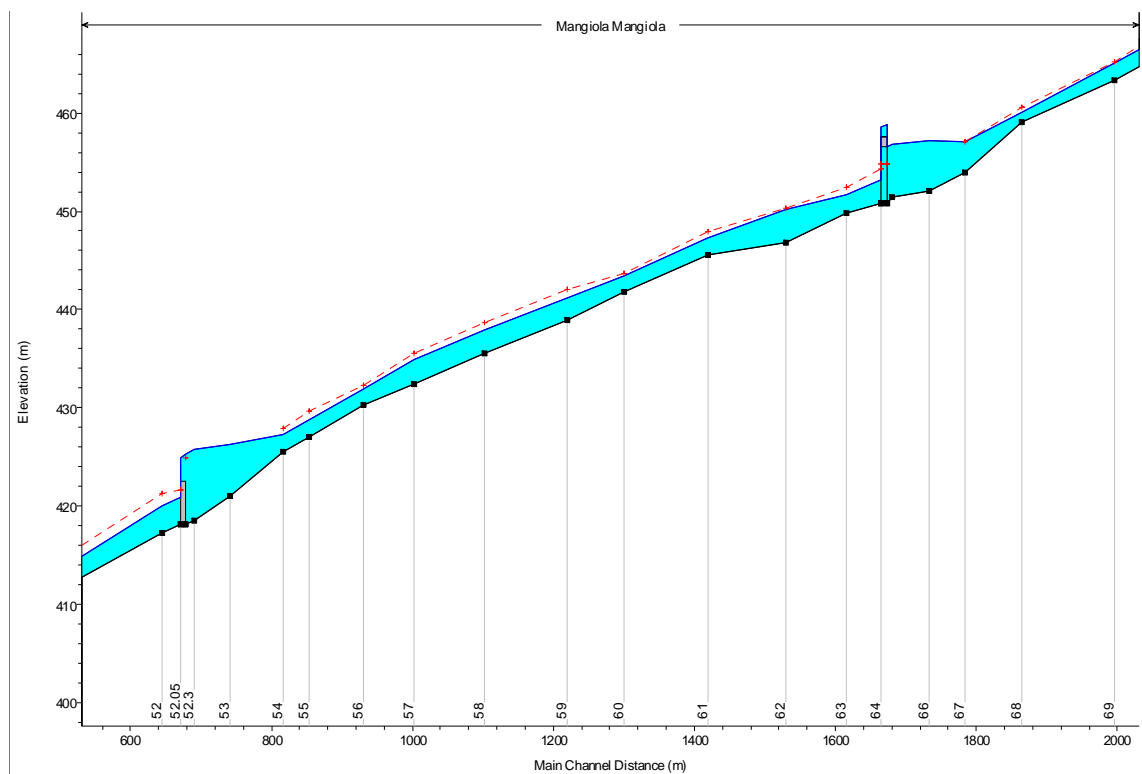


Figura 2.16 - Profili longitudinali relativi alla simulazioni M-4 (sopra) e V-4(sotto) per la ricostruzione delle tracce di piena sul torrente Mangiola.

Tabella 2.7 – Risultati relativi alla simulazione M-4, utilizzata per la ricostruzione delle tracce di piena T1 e T2 (numeri in rosso) sul torrente Mangiola

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
76	219.57	497.38	499.44	500.51	503.49	0.054	8.95	24.95	20.63	2.45
75	219.56	493.8	496.08	496.96	499.13	0.039	8.5	29.96	24.97	1.95
74	219.55	488.53	489.91	490.79	493.75	0.073	8.69	25.27	24.27	2.72
73	219.55	483.7	485.52	485.97	486.08	0.007	7.37	56.06	45.86	2.12
72	219.54	477.38	479.41	479.8	481.59	0.155	6.15	34.54	30.11	1.82
71	219.56	471.55	473.75	474.46	476.14	0.029	7.96	39.5	29.27	1.9
70	219.55	467.9	469.18	470.15	472.58	0.065	8.64	27.91	29.74	2.64
69	219.54	463.28	465.07	465.04	465.67	0.008	3.67	65.5	51.29	0.96
68	219.56	459.12	459.99	460.47	463.28	0.071	6.03	28.71	34.84	2.48
67	219.45	453.97	456.66	456.85	457.73	0.012	5.9	54.45	35.51	1.24
66	219.36	452.1	456.33		456.63	0.001	2.52	95.7	29.95	0.42
65	219.36	451.41	456		456.58	0.002	3.51	74.51	19.14	0.55
64.9	219.36	450.78	455.73	454.36	456.58	0.002	4.19	56.79	24.08	0.61
64.7	219.36	450.78	452.95	454.36	458.01	0.042	10.2	23.26	19.08	2.32
64	219.36	450.78	452.95	453.97	456.38	0.031	8.6	31.42	19.07	1.98
63	219.35	449.75	451.51	452.19	453.69	0.028	7.06	35.03	28.96	1.83
62	219.34	446.83	449.93	450.03	450.81	0.009	4.38	55.03	38.74	1.01
61	219.32	445.55	447.13	447.68	448.99	0.035	7.02	39.69	35.19	1.97
60	219.31	441.79	443.38	443.51	444	0.022	3.54	63.84	78.31	1.19
59	219.3	438.88	441.03	441.78	443.75	0.038	7.81	39.46	56.4	2.05
58	219.31	435.51	437.78	438.43	439.73	0.019	6.46	37.38	25.85	1.5
57	219.3	432.39	434.72	435.25	436.57	0.043	4.99	37.58	28.86	1.22
56	219.28	430.34	431.82	432.14	432.88	0.039	6.32	59.68	77.38	1.98
55	219.29	427.01	428.59	429.5	431.9	0.047	9.01	36.52	38.14	2.36
54	219.29	425.51	427.2	427.9	429.35	0.028	6.51	34.53	26.16	1.76
53	219.26	421.06	426.16		426.25	0.000	1.37	164.11	42.14	0.22
52.3	215.24	418.53	425.74		426.24	0.004	1.41	75.79	45.66	0.52
52.1	209.79	418.16	425.23	424.88	426.07	0.005	0.92	54.9	43.2	0.61
52	219.34	417.26	419.49	420.72	423.7	0.041	9.15	25.23	19.36	2.18



Tabella 2.8 - Risultati relativi alla simulazione V-4, utilizzata per la ricostruzione della traccia di piena T3 (numero in rosso) sul torrente Mangiola

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
43.9	309.49	375.19	377.14	378.050	380.33	0.0336	8.79	53.79	43.58	2.11
43	309.47	372.23	374.65	375.660	378.07	0.0305	9.63	42.18	26.62	2.07
42	309.44	368.34	371.21	372.990	378.12	0.0455	11.72	27.35	14.97	2.51
41	309.44	367.41	369.91	371.020	373.84	0.0431	9.1	35.43	26.33	2.31
40	309.41	362.6	364.97	366.100	369.07	0.0421	9.23	35.51	25.54	2.33
39	309.39	355.84	357.53	358.190	362.04	0.0698	9.41	32.89	29.68	2.85
38	309.37	346.19	347.85	348.600	350.87	0.0606	8.25	40.56	47.71	2.6
37	309.4	335.85	338.31	339.470	342.03	0.0373	8.54	36.24	23.29	2.18
36	309.38	330.26	332.36	334.000	338.17	0.0686	10.68	28.97	20.89	2.89
35	309.36	324.54	326.69	327.500	329.29	0.0246	7.32	46.05	35.66	1.8
34	309.33	317.92	319.68	320.700	324.08	0.0863	10.32	34.92	38.68	2.97
33	309.32	310.92	313.09	313.930	316.11	0.0389	8.08	44.54	46.34	2.06
32	309.3	304.72	307.03	308.100	312.42	0.0561	10.63	30.97	19.43	2.49
31	309.3	296.8	299.11	300.210	303.63	0.0482	9.83	36.6	36.58	2.35
30	309.28	293.91	294.9	295.490	296.95	0.0316	4.33	57.32	60.34	1.66
29	309.29	287.49	288.93	289.770	291.99	0.0656	8.08	40.07	41.06	2.54
28	309.3	275.71	278.38	280.890	289.59	0.0800	15.85	26.42	13.45	3.23
27	309.29	267.83	270.47	271.990	276.09	0.0458	11.32	31.18	17.16	2.36
26	309.26	264.24	266.47	267.380	269.55	0.0325	7.98	46.56	39.81	1.94
25	309.26	258.77	261.31		261.43	0.0250	7.05	41.75	21.85	1.78
24	309.16	254.59	257.27	257.880	259.35	0.0202	6.67	50.94	34.37	1.56
23	309.09	249.19	256.21		256.7	0.0009	3.26	123.64	20.93	0.41
22.1	309.09	248.42	254.94	254.170	256.99	0.0125	6.34	48.77	8.22	0.82
21.9	309.09	248.42	251.94	254.160	259.61	0.0710	12.27	25.19	7.64	2.16
21	309.09	244.22	247.74	248.560	250.47	0.0169	8.14	48.5	24.38	1.49
20	309.09	241.67	243.4	244.210	247.61	0.0655	10.05	38.85	38.65	2.67
19	309.09	235.88	238.2	238.860	240.42	0.0277	7.28	59.54	54.04	1.79
18	309.07	233.18	235.26	235.660	236.61	0.0327	7.02	76.13	74.9	1.83
17	309.08	222.64	224.68	225.62	227.26	0.0328	7.43	47.7	41.68	1.91
16	309.07	220.1	222.23	222.52	226.24	0.0414	9.07	39.21	56.29	2.14
15	308.94	214.51	217.87	217.42	218.38	0.0031	3.36	102.85	81.42	0.64
14.9	308.94	214.34	216.23	217.25	219.66	0.0469	8.4	39.39	49.06	2.24

### **3. PROPOSTE ED ANALISI DI INTERVENTI STRUTTURALI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DA DINAMICA D'ALVEO**

#### **3.1. Abitato di Mulazzo**

##### **3.1.1. Analisi del Progetto dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile, Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia, Arezzo**

Al fine di valutare gli effetti del trasporto solido sulle opere di sistemazione idraulica dei Fossi del Frantoio e della Madonna, progettate dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo, sono state effettuate simulazioni mediante un modello idraulico di moto vario a fondo mobile relativamente allo stato di progetto dei due fossi sopra citati.

Il progetto del Genio Civile prevede la riapertura di tutti i tratti tombati e quindi il ripristino del reticolo idrografico esistente prima dell'intensa attività edilizia risalente agli anni '70 (si veda il capitolo 1.5.1).

È prevista la risagomatura degli alvei mediante sezione trapezia con protezione delle sponde in scogliera per i tratti esterni al centro abitato, e la profilatura mediante scatolari ad "U" rivestiti in pietrame, nei tratti di attraversamento del centro abitato.

Tra le opere in progetto, sono compresi il nuovo ponte sulla SP 32 per l'attraversamento del Fosso del Frantoio a monte di Piazza XXV settembre, e la briglia selettiva a pettine nel tratto di monte del Fosso della Madonna.

##### **Fosso del Frantoio**

Sono state effettuate due simulazioni in moto vario e fondo mobile sul Fosso del Frantoio mediante un modello ai volumi finiti in moto vario e fondo mobile.

Come già descritto all'interno della Parte Prima (quadro conoscitivo), il modello utilizza una formula di trasporto solido del tipo Nitsche et al. (2011) che tiene conto di una riduzione alla cadente dell'energia totale responsabile del trasporto solido, dovuta alla presenza di macro-scabrezze o basse altezze d'acqua in alveo. Tale formula è stata testata su corsi d'acqua montani con pendenze comprese tra il 2% e il 19%.

Il Fosso del Frantoio è caratterizzato da una pendenza pari al 42% nel tratto a monte del ponte, scorrendo su un declivio che forma un angolo di circa 25° con l'orizzontale. Nel tratto a valle del ponte, la pendenza del Fosso decresce attestandosi su un valore medio pari al 13%.

Nel tratto a monte è ragionevole supporre che, in occasione di eventi estremi come quello del 25 ottobre 2011, possano innescarsi fenomeni di debris flow, caratterizzati dalla mobilitazione di correnti di sedimenti "lubrificati" dalla presenza di acqua ed aventi caratteristiche intermedie tra una corrente liquida e una frana.

Questo fenomeno si manifesta contemporaneamente al verificarsi delle tre seguenti condizioni:

- presenza di materiale detritico
- apporto di acqua sufficiente per la mobilitazione dei sedimenti
- adeguata pendenza del fondo alveo

Tutte le tre condizioni sopracitate molto probabilmente si sono verificate nel Fosso del Frantoio in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011. Ciò trova conferma nella relazione geologica redatta nel progetto del Genio Civile (Relazione Geologica G2b) ove è specificato che *“in seguito al sopralluogo effettuato in sito dopo l'evento alluvionale e in base alla quale durante l'evento, associata alla portata liquida, si è generata una portata solida altrettanto eccezionale alimentata da colate detritiche generatesi sulle pendici del bacino e dalle erosioni di sponda provocate dalla corrente. Nella zona a monte del Fosso del Frantoio sono state rilevate ampie aree con erosione di sponda e fenomeni di franamento, mentre la viabilità forestale risulta franata o pesantemente erosa dalle acque”*. In letteratura scientifica (Seminara e Tubino, 1993) è specificato che *“la condizione per l'innescio di una colata detritica è che l'angolo che il fondo alveo forma con l'orizzontale sia maggiore di 15°”*, angolo molto minore di quello del Fosso del Frantoio.

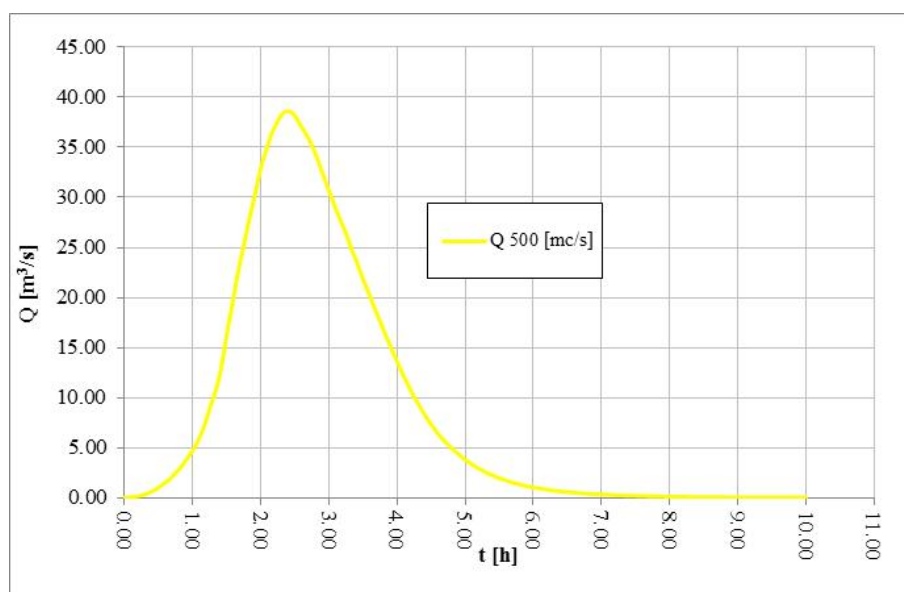
Alla luce delle considerazioni appena svolte, si ritiene che il modello utilizzato sia in grado di fornire risposte ed indicazioni solo qualitative per quanto riguarda il Fosso del Frantoio. Per una modellazione più precisa potrebbe essere più opportuno l'utilizzo di modelli di debris-flow ove alla corrente viene solitamente assegnata una reologia diversa da quella del fluido newtoniano (reologia di fluidi visco-plastici o reologie ad hoc per materiali granulari). L'utilizzo di tali modelli, che implica tuttavia la disponibilità di ulteriori informazioni sulle caratteristiche del materiale mobilitato, non è ancora del tutto consolidato ed attualmente non esistono degli standard di riferimento caratterizzati da un grado di affidabilità conosciuto nei risultati forniti.

Si è pertanto optato per l'utilizzo di un modello di moto vario a fondo mobile basato sulle classiche equazioni richiamate nel Capitolo 2 della Parte Prima.

Alla luce delle considerazioni di cui al paragrafo 2.1.1 relativamente alla ricostruzione delle portate dell'evento del 25 ottobre 2011, è stato considerato in ingresso a monte del Fosso del Frantoio un idrogramma avente un tempo di ritorno pari a 500 anni ed una durata caratteristica pari a 3 ore, calcolato con il modello PIENE. Tale idrogramma è riportato in Figura 3.1.

La prima simulazione è relativa allo stato di progetto redatto dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo, mentre la seconda considera una configurazione della geometria d'alveo leggermente variata rispetto alla precedente. Dettagli su tale configurazione possono essere trovati nelle tavole da MNG 2.7 a MNG 2.9D.

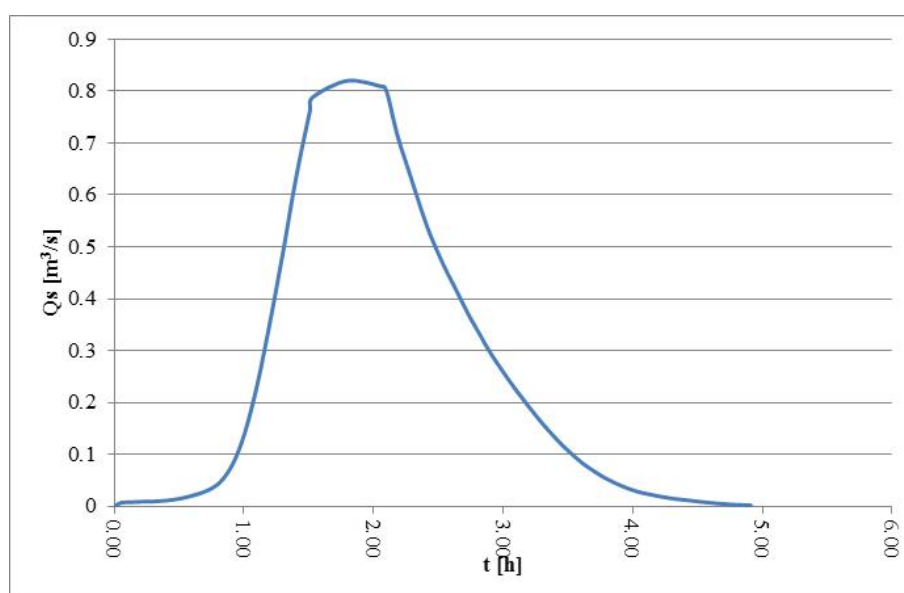




*Figura 3.1 – Idrogramma utilizzato per la simulazione in moto vario a fondo mobile del Fosso del Frantoio  
( $T = 500$  anni,  $d = 3$  ore)*

Inoltre, sulla base della stima del volume di materiale solido trasportato dalla corrente e depositatosi in Piazza XXV settembre (si veda il paragrafo 2.1.3), è stata inserita come condizione al contorno a monte l'ingresso di un idrogramma di portata solida caratterizzato da un volume solido complessivo trasportato pari a  $3000 \text{ m}^3$ . Tale idrogramma di portata solida è riportato in Figura 3.2.

Ulteriori parametri utilizzati nelle simulazioni sono riportati nella tabella 3.1.



*Figura 3.2 - Idrogramma di portata solida inserito come condizione al contorno per le simulazioni di moto vario a fondo mobile per il Fosso del Frantoio*

Tabella 3.1 - Parametri e condizioni delle simulazioni in moto vario e fondo mobile per il Fosso del Frantoio

<b>Q[m<sup>3</sup>/s] r = 500 anni d= 3 h)</b>	<b>Condizioni al contorno a monte</b>	<b>Condizioni al contorno a valle</b>	<b>Lunghezza tratto simulato [m]</b>	<b>Sezioni di riferimento (Progetto Genio Civile)</b>
38.6	Altezza critica	Quota del thalweg da progetto Genio Civile	58	9-23

Dalla simulazione effettuata sullo stato di progetto emerge una tendenza al deposito nel tratto compreso tra le sezioni 11 e 16 (cfr. Tavola MNG 2.7), ovvero in corrispondenza del nuovo ponte previsto a monte di Piazza XXV settembre, fino alla sezione 18 posta più a valle. A partire da questa si osserva una tendenza all'erosione, che procede ulteriormente verso valle attenuandosi fino alla sezione 23.

Sulla base di questi risultati, si è cercato di ridurre in primo luogo l'entità del deposito in corrispondenza del ponte, cercando nel contempo di mitigare anche i fenomeni erosivi che si manifestano più a valle. La geometria d'alveo proposta dal Genio Civile è stata pertanto modificata leggermente in maniera tale da incrementare la capacità di trasporto in corrispondenza delle sezioni dove si verificava il deposito. È stata incrementata la pendenza del tratto in corrispondenza del ponte, passando dal 9%, da progetto del Genio Civile, al 13%. Tale pendenza è stata mantenuta costante fino alla sezione 23 più a valle, ove la quota del fondo alveo si raccorda a quella prevista dal progetto del Genio Civile. Inoltre, il restringimento delle sezioni d'alveo che si verifica tra le sezioni 17 e 18 è stato sostituito con un restringimento più graduale e progressivo dalla sezione 17 fino alla sezione 20. Per maggiori dettagli riguardo alla nuova geometria si rimanda alle tavole da MNG 2.7a MNG 2.9

La simulazione effettuata sulla base della geometria modificata evidenzia un sostanziale miglioramento nel tratto in corrispondenza del ponte dove si manifesta una riduzione del deposito. Nel tratto di monte è leggermente accentuato il fenomeno erosivo.

Il confronto tra le due simulazioni in termini di valori di deposito ed erosione è riportato nel grafico di Figura 3.3. Vengono riportati i valori normalizzati delle erosioni e dei depositi ad indicare il carattere qualitativo dei risultati ottenuti; si ritiene comunque che essi siano in grado di fornire indicazioni affidabili sulla dinamica dell'alveo in corrispondenza degli eventi più estremi, se comparati relativamente.

Per quanto riguarda le altezze d'acqua in alveo, i risultati ottenuti dal Genio Civile appaiono sostanzialmente confermati.

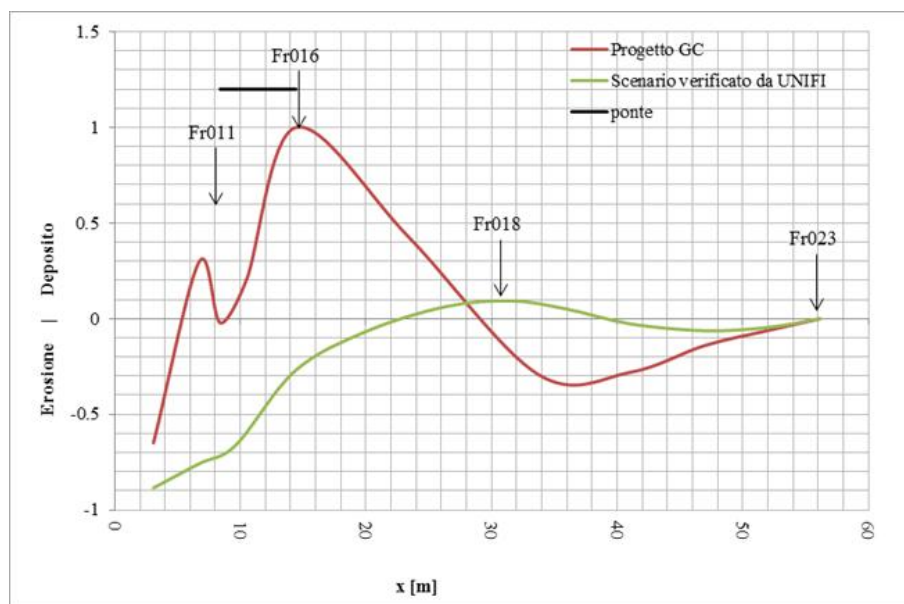


Figura 3.3 - Confronto tra valori normalizzati di deposito ed erosione nelle due simulazioni relative al Fosso del Frantoio

### **Fosso della Madonna**

È stata effettuata una simulazione in moto vario e fondo mobile sul Fosso della Madonna mediante un modello ai volumi finiti in moto vario e fondo mobile, al fine di valutare il comportamento della briglia selettiva a pettine prevista nel progetto del Genio Civile, in corrispondenza della sezione 8 (vedi progetto Genio Civile).

Alla luce delle considerazioni di cui al paragrafo 2.1.1 relativamente alla ricostruzione delle portate dell'evento del 25 ottobre 2011, è stato considerato in ingresso a monte del Fosso della Madonna un idrogramma avente un tempo di ritorno pari a 500 anni ed una durata caratteristica pari a 3 ore, calcolato con il modello PIENE. Tale idrogramma è riportato in Figura 3.4.

Gli altri parametri utilizzati per la simulazione sono indicati nella tabella 3.2.

I risultati ottenuti dalla simulazione, riportati in Figura 3.5 evidenziano un buon funzionamento della briglia, con l'instaurarsi di un deposito a monte (compreso tra le sezioni 5 ed 8) indotto dal rigurgito causato dalla strozzatura a valle della briglia (sezione 10).



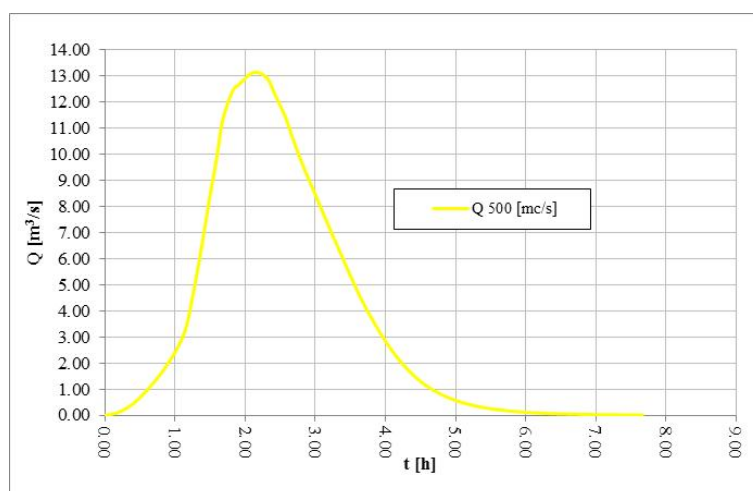


Figura 3.4 - Idrogramma utilizzato per la simulazione in moto vario a fondo mobile del Fosso della Madonna ( $T = 500$  anni,  $d = 3$  ore)

Tabella 3.2 - Parametri e condizioni delle simulazioni in moto vario e fondo mobile per il Fosso della Madonna

$Q[m^3/s]$ ( $Tr=500$ anni $d=3h$ )	Condizioni iniziali a monte	Condizioni iniziali a valle	Lunghezza tratto [m]	Sezioni di riferimento (Progetto Genio Civile)
13.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altezza critica</li> <li>Quota del Thalweg da progetto GC</li> </ul>	Quota del Thalweg da progetto GC	505	5-79

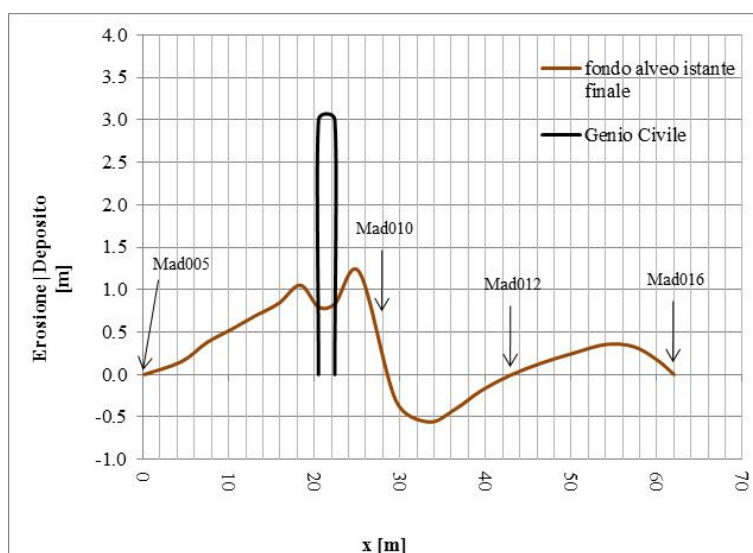


Figura 3.5- Andamento del profilo d'alveo in corrispondenza della briglia sul Fosso della Madonna (simulazione in moto vario a fondo mobile)

Con le condizioni al contorno utilizzate per la simulazione, il volume solido trasportato dall'idrogramma delle portate solide risultante in ingresso è pari a circa  $300 \text{ m}^3$ , valore che corrisponde con buona

approssimazione alla stima effettuata quantitativi di materiale depositato sul posto in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011 (cfr. Figura 1.23) L'idrogramma delle portate solide risultante in ingresso è riportato nella Figura 3.6.

La briglia prevista dal progetto è stata dimensionata per contenere un volume di circa 200 m<sup>3</sup> di materiale, che corrisponde all'incirca ai quantitativi che si depositano, secondo i risultati della simulazione.

Per quanto riguarda le altezze d'acqua, i risultati della simulazione sono riportati in Figura 3.7.

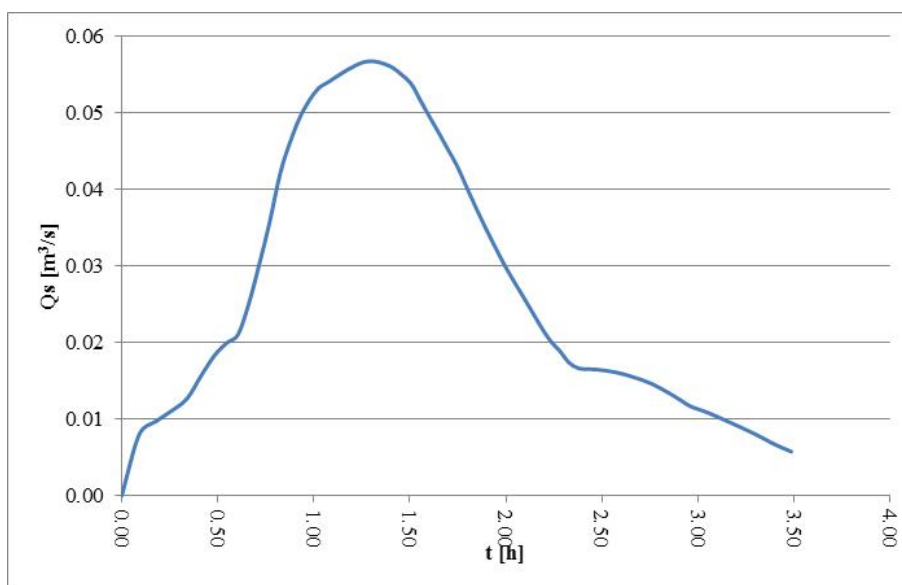


Figura 3.6 - Idrogramma di portata solida in ingresso risultante dalla simulazione in moto vario a fondo mobile per il Fosso della Madonna

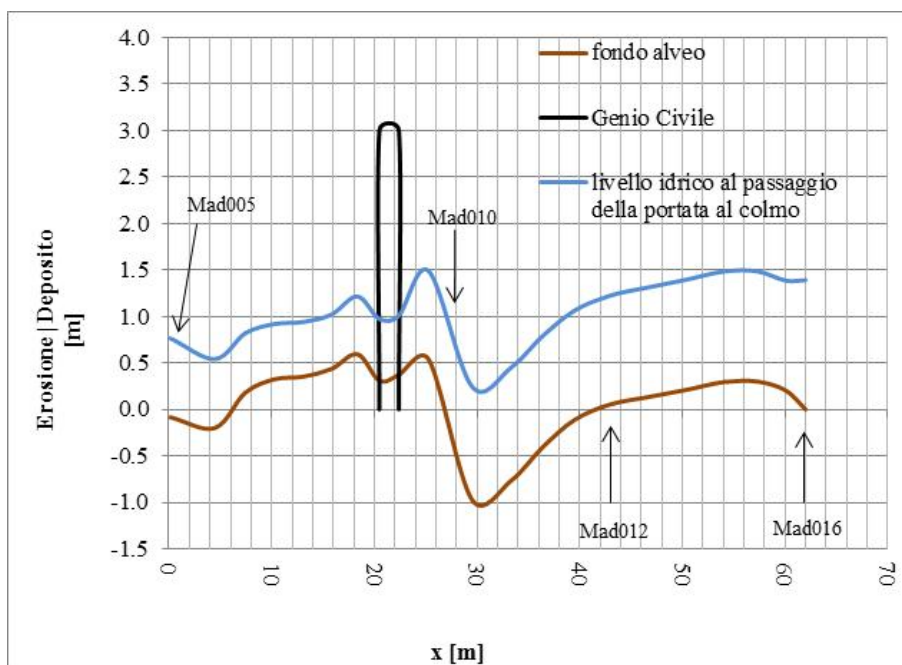


Figura 3.7- Andamento del profilo d'alveo e dei livelli idrici (livelli massimi) in corrispondenza della briglia sul Fosso della Madonna (simulazione in moto vario a fondo mobile)

La massima altezza d'acqua, pari ad 1.50 m sulla quota iniziale del fondo alveo, si registra approssimativamente alla sezione n. 16, ove il franco di sicurezza risulta superiore al metro (pari a circa 1.3 m, come risulta dalle tavole allegate al progetto del Genio Civile).

### 3.1.2. Valutazioni sui risultati ottenuti

Le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni di fondo mobile. Questo aspetto è di fondamentale importanza nella valutazione delle stime di deposito ed erosione che emergono dai risultati.

Per quanto riguarda il Fosso del Frantoio, le simulazioni condotte, sia pur qualitativamente, hanno evidenziato una notevole predisposizione al deposito di materiale, soprattutto in corrispondenza del ponte e di qui la necessità di aumentare la capacità di trasporto solido in questo tratto. Allo scopo di esplorare una soluzione progettuale che potesse mitigare il fenomeno evidenziato è stata ipotizzata una geometria d'alveo leggermente modificata: i risultati delle simulazioni condotte su di essa hanno mostrato che essa è in grado di limitare i depositi e le erosioni che si creano, rispetto alla geometria proposta dal Genio Civile. Occorre però evidenziare che l'eventuale realizzazione della nuova geometria d'alveo si dimostrerebbe più onerosa, soprattutto a causa del fatto che a valle del ponte sulla SP 32 sarebbe necessario realizzare dei muri di sostegno, o comunque opere strutturali in grado di sostenere una sponda sub-verticale, in sinistra idraulica per un'altezza media di 4-5 m (cfr. Tavole da MNG 2.9A a MNG 2.9D).

La simulazione effettuata sul Fosso della Madonna, si è limitata a valutare il funzionamento della briglia prevista dal progetto del Genio Civile nel tratto a monte, mostrando risultati soddisfacenti.

## 3.2. Torrente Mangiola

A seguito dell'analisi dei dissesti avvenuti lungo il torrente Mangiola (cfr. paragrafo 1.4.2 ) e della ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 (cfr. paragrafo 2.2), sono state elaborate delle proposte di intervento al fine di proteggere le infrastrutture e gli edifici presenti nelle vicinanze del torrente e ridurre il rischio di erosione spondale. Gli interventi proposti sono riassunti nella Tabella 3.3, mentre le planimetrie e le sezioni tipo degli interventi sono riportate nelle tavole da MNG 2.1 a MNG 2.6A

*Tabella 3.3 - Interventi di ripristino e protezione proposti lungo il torrente Mangiola*

N. riferimento	Sezione di riferimento (cfr tavole da MNG 2A a MNG 2C)	Descrizione	Tavole di riferimento
1	71	Difesa di sponda (scogliera) in sinistra idraulica a protezione della strada provinciale 69	2.1-2.1A
2	58	Difesa di sponda (scogliera) in destra idraulica a protezione di un gruppo di fabbricati	2.2-2.2A
3	56	Difesa di sponda (scogliera e muro) in destra idraulica, esterno curva, a protezione della strada provinciale 32, nel punto in cui è franata	2.2-.2.2B



N. riferimento	Sezione di riferimento (cfr tavole da MNG 2A a MNG 2C)	Descrizione	Tavole di riferimento
4	54	Difesa di sponda (scogliera) in sinistra idraulica, esterno curva, a protezione del versante franante; a supporto della struttura, si suggerisce di stabilizzare il pendio	2.2-2.2C
5	25	Difesa di sponda (scogliera e muro) in sinistra idraulica a difesa di edificio abitativo	2.3-2.3A
6	15	Ricostruzione del ponte crollato sulla viabilità di collegamento per Mulazzo, scogliera e muro in destra idraulica a protezione della sponda erosa in esterno curva	2.4-2.4A
7	14	Difesa di sponda in sinistra idraulica a protezione di edificio abitativo	2.4-2.4B
8	6	Difesa di sponda (scogliera) in destra idraulica a protezione del ponte in località Arpiola-Pianfurcano	2.5-2.5B
9	3	Difesa di sponda (scogliera) in destra idraulica a protezione del ponte sull'autostrada Parma-La Spezia	2.6-2.6B

Apportando le corrispondenti modifiche alla geometria dell'alveo del torrente, sono state effettuate delle simulazioni idrauliche al fine di verificare lo stato di progetto; a tal proposito si è utilizzato il software Hec-Ras 4.1.0 e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto vario e fondo fisso.

La tabella 3.4 illustra i parametri utilizzati nelle simulazioni.

*Tabella 3.4 - Parametri utilizzati nelle simulazioni per la definizione degli interventi da effettuarsi sul torrente Mangiola*

Simulazione	Sezioni di riferimento (cfr. tavole da MNG 1.1 a 1.4)	Idrogramma utilizzato	Interventi verificati (cfr. Tabella 3.3)
SP-1	76-52A	MNG_03H	1,2,3,4
SP-2	52-15	MNG_02H	5,6
SP-3	15-1	MNG_01H	7,8,9

Le verifiche sono state condotte utilizzando idrogrammi con tempo di ritorno 200 anni, con i quali è stato possibile riprodurre i livelli idrici associati all'evento del 25 ottobre 2011.

Le condizioni al contorno utilizzate sono state l'altezza critica a monte e l'altezza di moto uniforme a valle (con una pendenza pari a quella media dell'alveo in un tratto in un intorno della sezione di chiusura). Le simulazioni sono state condotte su tratti più estesi di quelli comprendenti le sezioni di riferimento indicate in Tabella 3.4 per ogni simulazione, in maniera tale che un eventuale errore o imprecisione sulla condizione al contorno imposta non avesse influenza sui livelli riprodotti delle tracce.

I valori di scabrezza assegnati alle sezioni del torrente sono sostanzialmente gli stessi utilizzati nella simulazioni M-4 e V-4 per la ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 di cui alla Tabella 2.6. Sono state quindi considerate come vegetate quelle aree in cui si ritiene possibile la ricrescita spontanea delle specie vegetali per un'estensione simile a quella esistente prima dell'evento del 25 ottobre 2011.

Gli interventi previsti sono quindi stati verificati considerando che si possano determinare dei livelli idrici influenzati dalla presenza di aree vegetate nelle zone adiacenti l'alveo inciso per estensioni paragonabili a quelle presenti prima dell'evento. In ogni caso le parti dell'alveo considerate libere da vegetazione hanno larghezze caratteristiche pari a 15-20 m a partire da monte fino all'abitato di Mulazzo (in corrispondenza della sezione n.17 circa), per poi aumentare progressivamente fino a circa 35-40 m in prossimità della confluenza col Fiume Magra. Tali larghezze determinano livelli idrici interamente contenuti in alveo con un franco di sicurezza superiore ad 1 m, per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni e dovrebbero essere assunte come valori di riferimento per la predisposizione di eventuali specifiche di manutenzione dell'alveo.

Occorre tuttavia tenere presente un altro tipo di rischio, non direttamente correlato all'entità dei livelli idrici in alveo, ma alla possibilità che l'asportazione di grandi quantitativi di materiale vegetale presente nelle aree prospicienti l'alveo principale possa creare situazioni critiche più a valle, ad esempio causando ostruzioni, danneggiamenti di manufatti o rigurgiti che si propagano verso monte.

Le situazioni potenzialmente più critiche che si riscontrano analizzando sotto questo punto di vista il tratto d'alveo in considerazione sono sicuramente rappresentate, procedendo da monte verso valle, da:

- ponte sulla SP 69 per Montereccio (sezione n. 64)
- opera di derivazione in prossimità di Montereccio (sezione n. 52A)
- attraversamento a guado situato poco a monte dell'abitato di Mulazzo (sezione n.22)
- ponte sulla strada di collegamento verso l'abitato di Mulazzo, il quale dovrà comunque essere ricostruito (sezione n. 15)

- ponte in prossimità della località Arpiola-Pianfurcano (sezione n. 6B)
- ponte dell'autostrada Parma-La Spezia (sezione n. 3)

I livelli idraulici ottenuti in corrispondenza delle sezioni suddette, sono riportati nella tabella seguente:

*Tabella 3.5 – Livelli idraulici in corrispondenza di opere di attraversamento o sbarramento del torrente Mangiola (simulazioni con tempo di ritorno 200 anni)*

Sezione	Opera	Qmax [m <sup>3</sup> /s] (T = 200 anni)	Livello idrico [m slm]	Altezza d'acqua [m]	Franco di sicurezza (rispetto all'intradosso dell'opera)[m]
64	Ponte	219	455.75	4.97	0.81 (rispetto alla sommità dell'arco)
52A	Derivazione	219	425.90	7.37	NA
22	Ponte	309	254.79	6.37	4.17 (rispetto alla sommità dell'arco)
15	Ponte (da ricostruire)	309	218.22	2.39	5.93
6B	Ponte	407	169.43	3.03	2.21
3	Ponte	407	157.32	2.54	2.62

Tenendo conto che i livelli idrici sono calcolati assumendo la presenza di vegetazione in alveo, si può ritenere che i franchi di sicurezza disponibili per le opere di attraversamento garantiscano una sufficiente protezione dal rischio di ostruzione del manufatto, ad eccezione del ponte sulla SP 69 ubicato in corrispondenza della sezione n. 64. Nonostante le simulazioni indichino una parziale sommersione dell'arco di tale ponte, non risultano essersi verificati particolari problemi collegati ad ostruzioni dell'opera in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011. È comunque da segnalare che tale ponte occupa con la sua struttura circa il 40% della sezione, e che al fine di valutare la soluzione ottimale tra la realizzazione a monte di un'opera di trattenuta del materiale trasportato dalla corrente, o l'innalzamento della quota dell'impalcato del ponte a livelli più idonei, risulterebbe necessaria un'analisi di tipo costi-benefici.

Le verifiche idrauliche sono state condotte considerando completamente ostruita l'opera di derivazione ubicata in corrispondenza della sezione n. 52A (così come fatto durante la ricostruzione dell'evento). Dal momento che non vi sono opere a monte di essa aventi lo scopo di trattenere il trasporto solido, si ritiene possibile il ripresentarsi dello stesso fenomeno verificatosi durante l'evento del 25 ottobre 2011. Gli elementi che possono essere messi a rischio dal rigurgito creato dall'ostruzione dell'opera sono la strada provinciale 32 per Mulazzo ed alcune abitazioni ubicate circa 400 m più a monte in destra idraulica (sezione n. 58), ove comunque i franchi di sicurezza si aggirano sui 2 m.

Per quanto riguarda la verifica in corrispondenza del ponte per Mulazzo (sezione n.15) è stata ipotizzata, oltre alla ricostruzione alle quote preesistenti, la presenza di pile in alveo per un ingombro totale pari a 15 m, con 6 m di ingombro realizzati all'interno dell'area golenale in sinistra idraulica e 9 m all'interno dell'alveo attivo. Ovviamente, in fase di progettazione del ponte, dovrà essere preso in considerazione anche il rischio connesso alla possibilità di ostruzione da parte del materiale trasportato dalla corrente. Il dimensionamento delle fondazioni dell'appoggio della campata del nuovo ponte in destra idraulica, nonché delle relative opere di protezione dovrà essere eseguito tenendo conto della possibilità di una



maggiore erosione da parte della corrente, dovuta al fatto che tali opere verranno a trovarsi sull'esterno di una curva.

I profili ottenuti dalle simulazioni condotte e le tabelle con i parametri idraulici significativi sono riportati in Figura 3.8, Figura 3.9 e Figura 3.10, e in tabella 3.6, in tabella 3.7, e tabella 3.8.

Si evidenzia infine che i livelli associati alle portate con tempo di ritorno 200 anni sono completamente contenuti in ogni sezione dell'alveo con franchi di sicurezza superiori ad 1 m.

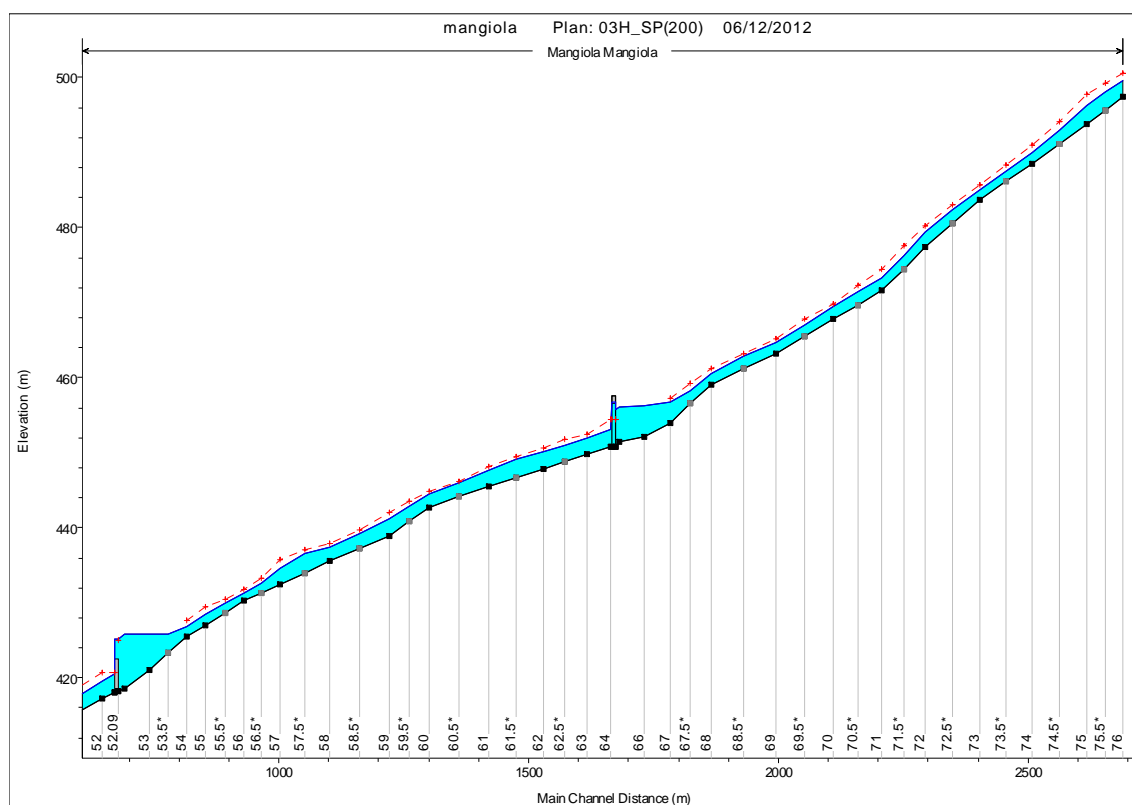


Figura 3.8 – Profilo longitudinale relativo alla simulazione n. SP-1 (cf.r Tabella 3.4)

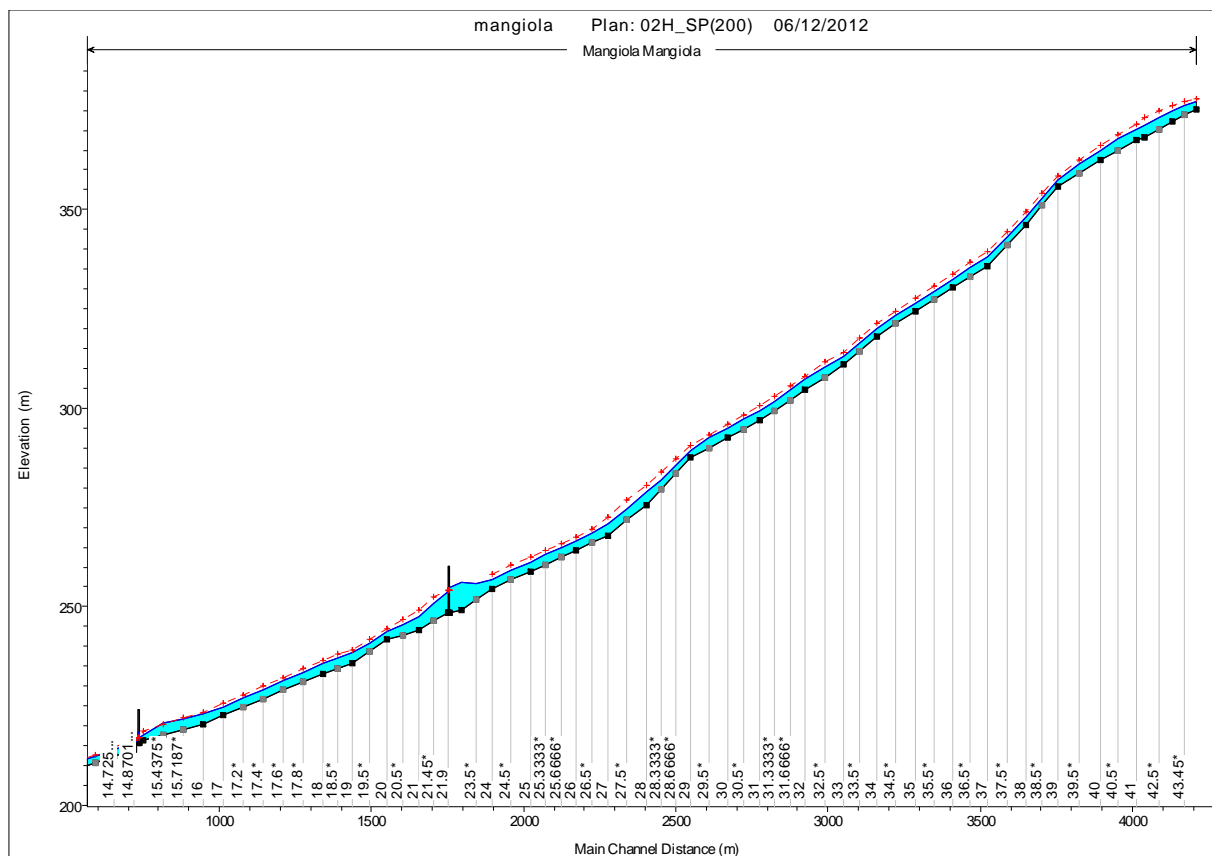


Figura 3.9 - Profilo longitudinale relativo alla simulazione n.SP-2 (cf.r Tabella 3.4)

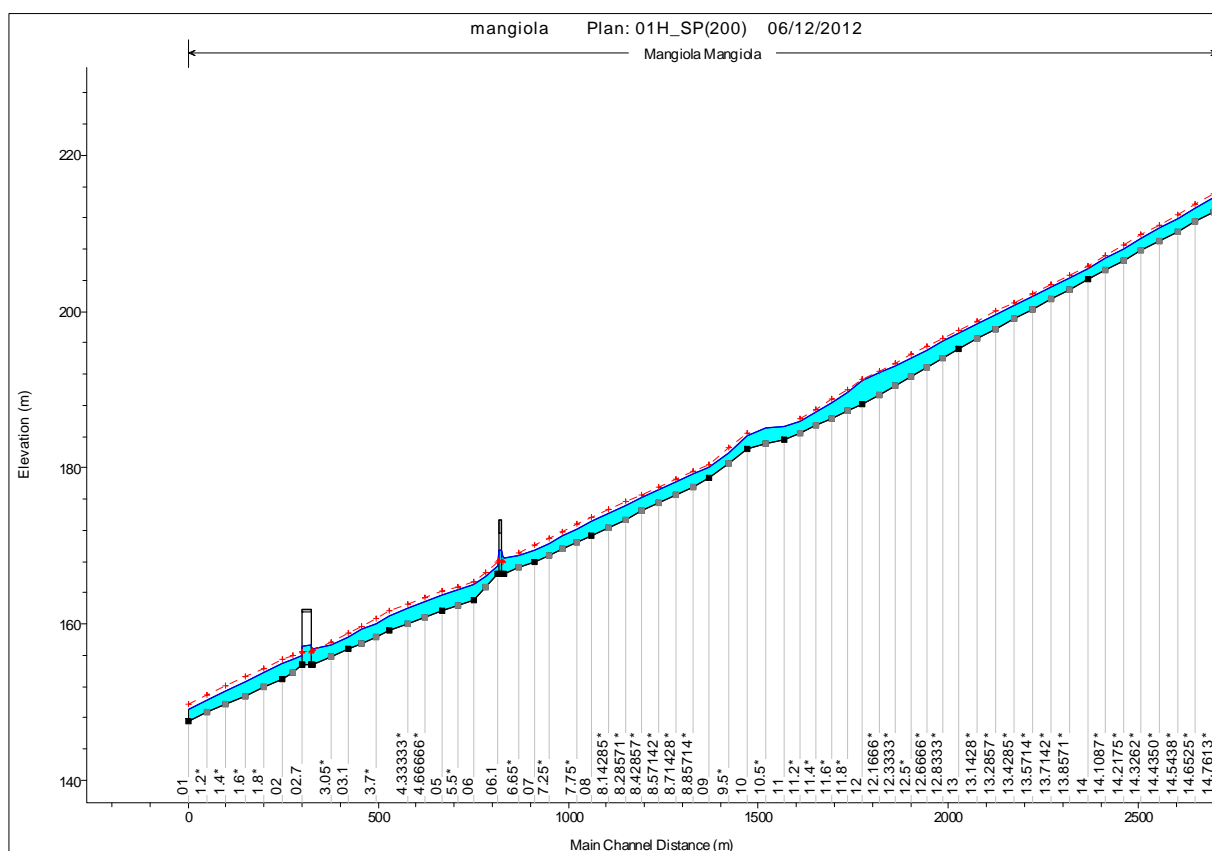


Figura 3.10 - Profilo longitudinale relativo alla simulazione n.SP-3 (cf.r Tabella 3.4)

Tabella 3.6 – Risultati relativi alla simulazione n. SP-1 (cfr Tabella 3.4)

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
76	219.57	497.38	499.5	500.55	503.26	0.047	8.61	26.16	20.98	2.31
75	219.54	493.8	496.3	497.73	502.41	0.066	11.9	27.8	24.54	2.58
74	219.5	488.53	490.01	490.94	493.07	0.051	7.76	28.29	24.52	2.31
73	219.49	483.7	484.96	485.69	487.61	0.055	7.23	30.75	32.76	2.37
72	219.47	477.38	479.47	480.16	485.36	0.087	11.53	27.39	31.58	3.02
71	219.46	471.55	473.34	474.41	476.92	0.041	8.67	28.35	20.69	2.22
70	219.43	467.9	469.42	469.83	472.2	0.042	7.92	35.55	30.17	2.18
69	219.42	463.28	464.62	465.17	466.45	0.037	6.34	43.21	48.26	1.97
68	219.54	459.12	460.48	461.17	463.1	0.056	7.82	39.66	65.85	2.43
67	216.67	453.97	456.74	457.25	458.47	0.020	7.85	56.81	35.88	1.62
66	223.16	452.1	456.22		456.76	0.002	3.73	92.47	29.85	0.61
65	220.34	451.41	456.02		456.6	0.002	3.52	74.76	19.15	0.55
64.9	219.93	450.78	455.75	454.36	456.6	0.002	4.18	56.98	24.09	0.61
64	219.93	450.78	453.12	454.36	457.43	0.032	9.43	25.23	19.46	2.06
63	219.45	449.75	451.9	452.49	453.85	0.018	6.62	46.83	37.35	1.53
62	219.31	447.87	450.09	450.62	451.81	0.020	7.08	56.1	42.98	1.6
61	219.26	445.55	447.71	448.2	449.49	0.021	6.91	51.26	35.19	1.62
60	219.23	442.77	444.52	444.91	445.89	0.037	6.92	74.54	123	1.99
59	219.23	438.88	441.18	442.04	443.84	0.032	7.59	41.36	57.08	1.92
58	219.21	435.51	437.44	437.92	439.45	0.020	6.29	35.64	23.58	1.54
57	219.22	432.39	434.54	435.81	440.08	0.067	12.2	32.5	28.82	2.85
56	219.19	430.34	431.24	431.74	432.81	0.037	5.56	39.45	45.76	1.91
55	219.14	427.01	428.5	429.4	431.61	0.043	8.13	33.33	32.32	2.22
54	218.84	425.56	426.82	427.68	429.69	0.047	7.51	29.13	24.71	2.21
53	224.04	421.06	425.86		425.98	0.000	1.53	151.82	41.47	0.25
52.3	217.94	418.53	425.9		425.95	0.000	0.79	237.76	45.66	0.11
52.1	216.85	418.16	425.24	424.94	426.08	0.030	1.81	55.05	43.2	1.19
52.05	220.25	418.12	420.47	420.7	421.52	0.038	4.68	49.5	36.93	1.09
52	220.14	417.26	419.51	420.78	423.67	0.040	9.1	25.59	20.21	2.15



Tabella 3.7 - Risultati relativi alla simulazione n. SP-2 (cf.r Tabella 3.4)

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
43.9	309.49	375.19	377.200	378.04	380.1	0.02935	8.41	56.53	43.7	1.98
43	309.45	372.23	374.800	376.11	379.38	0.036109	10.96	46.26	26.9	2.28
42	309.42	368.34	371.370	373.06	377.5	0.036899	11.02	29.64	15.02	2.28
41	309.42	367.41	370.130	371.38	374.53	0.046958	10.37	41.61	28.31	2.46
40	309.4	362.6	364.890	366.3	370.62	0.062449	10.7	31.25	25.46	2.8
39	309.39	355.84	357.510	358.63	362.21	0.074324	9.61	32.18	29.48	2.94
38	309.38	346.19	348.220	349.33	353.34	0.064718	10.43	40.6	56.7	2.83
37	309.37	335.85	338.160	339.43	342.68	0.048804	9.42	32.85	22.31	2.48
36	309.36	330.26	332.540	333.82	337.06	0.046733	9.42	32.86	21.35	2.42
35	309.35	324.54	326.370	327.58	330.9	0.052048	9.47	34.67	34.6	2.54
34	309.34	317.92	320.110	321.31	324.81	0.057864	10.35	42.19	39.16	2.56
33	309.32	310.92	313.110	314.16	316.88	0.044896	8.76	39.92	46.29	2.21
32	309.31	304.72	307.250	308.1	311.79	0.061328	9.74	35.77	27.66	2.54
31	309.3	296.8	299.240	300.52	303.54	0.040856	9.49	41.38	37.22	2.19
30	309.29	292.66	294.960	295.98	299.37	0.053718	9.81	45.95	60.07	2.42
29	309.28	287.49	289.350	290.57	294.52	0.077729	11.05	40.52	40.26	2.93
28	309.27	275.71	278.860	280.65	285.25	0.057156	12.14	32.87	13.54	2.31
27	309.27	267.83	270.710	272.46	277.19	0.047839	12.35	35.31	17.4	2.45
26	309.26	264.24	266.490	267.38	269.47	0.030932	7.86	47.5	40.07	1.9
25	309.25	258.87	261.330	262.49	265.23	0.033732	8.97	38.69	19.98	1.96
24	309.22	254.59	256.980	258.02	260.65	0.044303	8.85	41.29	32.43	2.24
23	309.12	249.19	256.030		256.56	0.001014	3.35	120.01	20.8	0.42
22.1	309.12	248.42	254.790	254.17	256.94	0.013424	6.51	47.52	8.09	0.85
21.9	309.12	248.42	253.680	254.17	256.93	0.022878	7.99	38.67	7.88	1.15
21	309.11	244.22	247.420	249.07	253.07	0.037037	11.16	38.65	23.57	2.16
20	309.11	241.67	243.630	244.62	246.87	0.039407	8.44	47.85	39.91	2.12
19	309.1	235.88	238.390	238.96	240.3	0.020951	6.77	68.43	54.03	1.58
18	309.09	233.18	235.770	236.49	238.34	0.034234	8.44	70.44	75.51	1.94
17	309.06	222.64	224.660	225.57	227.85	0.040153	8.12	44.47	41.35	2.11
16	309.04	220.37	223.01	223.28	224.07	0.009037	4.94	96.78	82.89	1.04
15.1563	309	216.33	217.72	218.67	221.61	0.082464	8.75	35.33	32.19	2.66
15.1	309	215.83	218.22	216.91	218.91	0.005205	2.63	117.37	114.34	0.74
14.9	309.01	215.83	216.44	216.91	218.16	0.070429	5.81	53.15	112.36	2.41
14	308.98	204.06	205.38	205.7	206.51	0.025142	4.73	66.04	72.28	1.55
13	308.95	195.29	197.09	197.46	198.22	0.026259	6.75	103.3	109.43	1.72

Tabella 3.8 - Risultati relativi alla simulazione n.SP-3 (cf.r Tabella 3.4)

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
14.9	336.44	215.83	216.42	216.82	217.78	0.056653	5.15	65.27	112.32	2.16
14	335.7	204.06	205.49	205.85	206.72	0.025612	4.91	68.79	72.36	1.58
13	334.47	195.29	197.2	197.56	198.35	0.024552	6.83	111.29	111.43	1.68
12	333.49	188.17	191.12	191.28	194.92	0.040203	9.23	49.46	39.77	2.17
11	332.82	183.61	185.36		185.82	0.006092	3.26	126.91	87.16	0.84
10	332.5	182.48	184.04	184.49	185.45	0.037329	5.88	77	94.81	1.91
9	332.2	178.64	180.13	180.44	181.17	0.021987	5.27	106.12	133.47	1.52
8	330.97	171.3	173.16	173.7	174.69	0.023848	7.06	102.44	121.14	1.87
7	330.52	168.01	169.52	170.06	171.32	0.020357	6.04	60.09	55.05	1.7
6.3	330.29	166.48	168.45	169.43	168.89	0.003378	2.96	113.14	67.22	0.72
6.2	330.29	166.41	169.43	167.98	169.51	0.00221	2.56	129.53	69	0.59
6.1	330.29	166.41	167.42	167.98	169.43	0.041555	6.26	52.82	66.56	2.24
6	330.17	163.09	165.03	165.35	166.19	0.016143	4.81	72.97	70.33	1.46
5	329.97	161.64	163.69	164.18	165.38	0.018352	6.66	78.16	56.35	1.67
4	329.65	159.12	160.98	161.64	163.19	0.026269	7.21	62.72	49.77	1.94
3.1	329.44	156.81	157.32	158.93	159.92	0.032988	5.81	66.52	77.28	2.02
3	329.16	154.78	156.84	156.68	157.6	0.004691	3.97	96.56	61.67	0.88
2.9	329.14	154.77	157.04	156.41	157.45	0.002167	2.88	131.92	72.92	0.61
2.7	329.14	154.77	155.96	156.41	157.49	0.019235	5.57	64.34	57.5	1.63
2	329.04	152.95	154.92	155.5	156.87	0.022628	6.38	61.01	58.1	1.79
1	328.53	147.62	149.06	149.74	151.38	0.030064	6.87	54.12	55.88	2.03

## 4. CONCLUSIONI

L'abitato di Mulazzo ha subito notevoli dissesti in seguito all'evento alluvionale del 25 ottobre 2011, molti dei quali accentuati dal tombamento di gran parte del reticolo idrografico.

Dalla ricostruzione storica emerge una conformazione del paese completamente differente, risalente agli anni '50, in cui i corsi d'acqua principali, il Fosso del Frantoio, il Fosso di San Rocco e il Fosso della Madonna, scorrevano a cielo aperto all'interno dell'abitato stesso.

A partire dagli anni '70, l'intensa attività di insediamento edilizio ha avuto come conseguenza immediata il tombamento di quasi tutti i tratti dei fossi sopra citati. I tratti a cielo aperto sono scomparsi gradualmente ed i pendii naturali sono stati riempiti artificialmente per ospitare nuove abitazioni.

Dopo il passaggio della piena che ha duramente colpito questa zona, lo scenario che si ripresenta è paradossalmente paragonabile a quello esistente negli anni '50.

La miscela di acqua e sedimenti ha occluso i tombini e i sottoattraversamenti causando la rottura degli stessi e l'esondazione delle acque che si sono riversate nelle strade. A questi fenomeni se ne associano altri di forte erosione e di accumulo di materiale trasportato dalla corrente.

Le attività di sopralluogo, di rilievo e di raccolta di materiale informativo vario, hanno consentito di poter ricostruire l'andamento dei flussi di acqua che si sono generati durante l'evento e di poter effettuare stime sufficientemente attendibili dei valori di portata al colmo transitati. La presenza di molti tratti tombati e la scarsità delle informazioni disponibili riguardo alle geometrie d'alveo ante-evento non hanno permesso una ricostruzione quantitativa di quanto accaduto all'interno dell'abitato di Mulazzo.

La successiva analisi del progetto di messa in sicurezza dell'abitato di Mulazzo e di sistemazione idraulica dei Fossi del Frantoio e della Madonna, redatto dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile Area Vasta di Firenze, Prato, Pistoia e Arezzo ha consentito di poter valutare (seppur soltanto qualitativamente nel caso del Fosso del Frantoio) l'impatto dei fenomeni di trasporto solido sulle opere di progetto, in particolare sulla costruzione del nuovo ponte in corrispondenza della SP 32 sul Fosso del Frantoio e la realizzazione di una briglia a pettine nel tratto di monte del Fosso della Madonna.

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni in moto vario e fondo mobile, emerge una tendenza al deposito in corrispondenza del ponte sulla SP 32 per il Fosso del Frantoio: il punto chiave è costituito senza dubbio dalla necessità di gestire al meglio la capacità di trasporto solido dell'alveo per evitare pericolose ostruzioni in prossimità del ponte in occasione di eventi estremi, che potrebbero innescare un fenomeno di diversione del flusso del tutto simile a quello accaduto in occasione dell'evento del 25 ottobre 2011. Una possibile soluzione, sicuramente migliorativa da tale punto di vista, è stata proposta, anche se permangono delle incertezze relative alla definizione quantitativa del comportamento dell'alveo.

Per quanto riguarda il Fosso della Madonna, la verifica effettuata sulla briglia prevista a monte con lo scopo di evitare che quantità considerevoli di materiale detritico giungano a valle, ove il corso d'acqua è costeggiato dalle abitazioni, ha avuto esito positivo.

Per quanto riguarda il torrente Mangiola, la ricostruzione dell'evento del 25 ottobre 2011 è stata fatta attraverso simulazioni in moto vario a fondo fisso. Le geometrie d'alveo utilizzate sono quelle rilevate a seguito dell'evento. Sono stati analizzati differenti scenari, relativi ai tempi di ritorno 200 e 500 anni, considerando l'effetto di diverse coperture vegetative dell'alveo, così come rilevate dall'analisi delle ortofoto pre-evento (2010) e post-evento (2012).

La corretta ricostruzione dell'evento con i dati in possesso è stata possibile grazie al confronto tra le tracce di piena rilevate lungo il corso del torrente con i livelli idrici ricavati dalle simulazioni utilizzando

idrogrammi con vari tempi di ritorno. Ciò ha permesso di stimare pari a circa 200 anni il tempo di ritorno delle portate verificatesi.

Sulla base delle simulazioni effettuate e dell'analisi eseguita lungo il corso del torrente, sono stati studiati e proposti degli interventi di ripristino e di protezione; si tratta per lo più di opere di difesa delle sponde dall'erosione come scogliere e muri di protezione localizzati nei pressi di infrastrutture (strade e ponti) o fabbricati particolarmente esposti a rischio.

Nella configurazione progettuale è stato assunto che parte delle sezioni d'alveo possa nuovamente essere occupata da vegetazione, considerando comunque il permanere di larghezze d'alveo libere pari a circa 15-20 m nel tratto più a monte (fino all'incirca all'abitato di Mulazzo) e 35-40 m più a valle.

Le simulazioni condotte evidenziano come il ponte sulla SP 69 in prossimità di Montereccio presenti la possibilità di un rischio di occlusione in occasione del transito delle portate con tempo di ritorno 200 anni, nonostante tale fenomeno non sia stato registrato durante l'evento del 25 ottobre 2011. Tale rischio potrà essere ridotto o alzando le quote dell'impalcato del ponte, o prevedendo delle opere di trattenuta a monte di esso, valutando quale sia la più vantaggiosa tra le due opzioni.



# **ELENCO DELLE TAVOLE**

## **1 QUADRO CONOSCITIVO**

Tavola MNG 1 – Quadro di unione delle planimetrie del quadro conoscitivo.

Tavola MNG 1.1 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.2 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.3 – Quadro conoscitivo. Planimetria

Tavola MNG 1.4 – Quadro conoscitivo. Planimetria

## **2 – PROPOSTE DI INTERVENTO**

Tavola MNG 2A – Planimetria interventi

Tavola MNG 2B – Planimetria interventi

Tavola MNG 2C – Planimetria interventi

Tavola MNG 2.1 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.1A – Sezione intervento 1

Tavola MNG 2.2 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.2A – Sezione intervento 2

Tavola MNG 2.2B – Sezione intervento 3

Tavola MNG 2.2C – Sezione intervento 4

Tavola MNG 2.3 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.3A – Sezione intervento 5

Tavola MNG 2.4 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.4A – Sezione intervento 6

Tavola MNG 2.4B – Sezione intervento 7

Tavola MNG 2.5 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.5A – Sezione intervento 8

Tavola MNG 2.6 – Planimetria interventi. Estratto

Tavola MNG 2.6A – Sezione intervento 9