# COMUNE DI TERRANUOVA BRACCIOLINI

Provincia di Arezzo

# PIANO STRUTTURALE

SINDACO
Dott. Mauro Amerighi

ASSESSORE ALL'URBANISTICA
Sergio Chienni

DIRIGENTE AREA SERVIZI AL TERRITORIO
Dott. Matteo Billi

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Matteo Billi

RESPONSABILE DEL SERVIZIO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
Arch. Giancarlo Barucci

GARANTE PER L'INFORMAZIONE
Geom. Monica Brandi

PROGETTISTI
Arch. Francesca Bucci
Arch. Edi Cardi
Arch. Laura Magni
Arch. Annalisa Pontenani

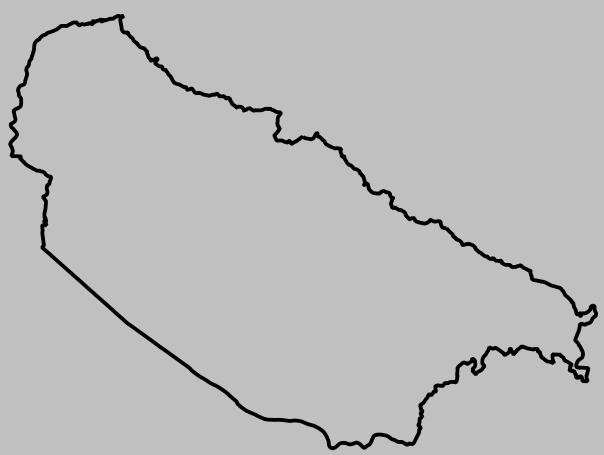
STUDI GEOLOGICI
GeoEco Progetti Firenze
Dott. Geol. Prof. Eros Aiello

STUDI IDROLOGICI IDRAULICI
Studio Sorgente Ingegneria
Ing. Luca Rosadini - Ing. Leonardo Marini
con la collaborazione di Ing. Jr. Valentina Lavacchini

## Proposta di integrazione e modifica del PAI

ai sensi dell'art. 32 del NTA del Piano di Bacino del Fiume Arno
Stralcio "Assetto Idrogeologico"

## EL. IDR05 - Relazione Idrologico Idraulica



**SOMMARIO**

**PREMESSA** ..... 6
**1. RIFERIMENTI NORMATIVI** ..... 8
**2. METODOLOGIA DI INDAGINE** ..... 9
2.1 Inquadramento dell'area ..... 9
2.2 Inquadramento idrologico-idraulico ..... 10
2.2.1 Perimetrazione aree a pericolosità idraulica ..... 10
2.3 Studi idrologico-idraulici esistenti ..... 12
2.3.1 Il P.A.I. ..... 14
2.4 Modellazione idrologica ..... 18
2.4.1 AlTo2000 ..... 18
2.4.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 20
2.4.3 Condizioni al contorno di monte ..... 20
2.4.4 Condizioni al contorno di valle ..... 20
2.5 Modellazione idraulica ..... 22
2.5.1 Codice di calcolo Infoworks ICM ..... 22
2.5.2 Infoworks ICM – Equazioni di base del risolutore 2D ..... 22
2.5.3 Considerazioni sulle connessioni spondali (bank lines) ..... 24
2.5.4 Modellazione zone 2D ..... 25
2.6 Modellazione geometrica ..... 27
2.7 Analisi dei risultati ..... 29
**3. SISTEMA CIUFFENNA** ..... 31
3.1 Introduzione ..... 31
3.2 Inquadramento geografico ..... 31
3.3 Modellazione idrologica ..... 32
3.3.1 Parametri utilizzati ..... 32
3.3.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 33
3.3.3 Condizioni al contorno di monte ..... 33
3.3.4 Condizioni al contorno di valle ..... 34
3.3.5 Analisi idrologica ..... 35
3.3.5.1 Cassa di espansione Ciuffenna ..... 39
3.3.5.2 Cassa di espansione Roviggiani ..... 43
3.4 Modello idraulico ..... 47
3.4.1 Modello geometrico ..... 47

3.4.2 Modellazione zone 2D ..... 51
3.4.3 Layout del modello idraulico ..... 54
3.4.4 Coefficienti di resistenza al moto ..... 55
3.4.5 Immissioni ..... 55
3.5 Risultati delle simulazioni idrauliche ..... 57
3.5.1 Tempo di ritorno trentennale ..... 58
3.5.2 Tempo di ritorno duecentennale ..... 59
**4. SISTEMA VALVIGNA** ..... 63
4.1 Introduzione ..... 63
4.2 Inquadramento geografico ..... 63
4.3 Modellazione idrologica ..... 65
4.3.1 Parametri utilizzati ..... 65
4.3.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 65
4.3.3 Condizioni al contorno di monte ..... 65
4.3.4 Condizioni al contorno di valle ..... 66
4.3.5 Analisi idrologica ..... 67
4.4 Modello idraulico ..... 75
4.4.1 Modello geometrico ..... 75
4.4.2 Modellazione zone 2D ..... 76
4.4.3 Layout del modello idraulico ..... 79
4.4.4 Coefficienti di resistenza al moto ..... 80
4.4.5 Immissioni ..... 80
4.5 Risultati delle simulazioni idrauliche ..... 82
4.5.1 Tempo di ritorno trentennale ..... 83
4.5.2 Tempo di ritorno duecentennale ..... 86
**5. IL SISTEMA RIOFI** ..... 89
5.1 introduzione ..... 89
5.2 SOTTOSITEMA RIOFI-PIANTRAVIGNE-SPINA ..... 91
5.2.1 Introduzione ..... 91
5.2.2 Inquadramento geografico ..... 91
5.2.3 Modellazione Idrologica ..... 92
5.2.3.1 Parametri utilizzati ..... 92
5.2.3.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 92
5.2.3.3 Condizioni al contorno di monte ..... 93
5.2.3.4 Condizioni al contorno di valle ..... 93
5.2.3.5 Analisi idrologica ..... 93
5.2.4 Modello idraulico ..... 96
5.2.4.1 Il modello Geometrico ..... 96
5.2.4.2 Modellazione zone 2D ..... 97

5.2.4.3 Layout del modello idraulico ..... 98
5.2.4.4 Coefficienti di resistenza al moto ..... 99
5.2.4.5 Immissioni ..... 99
5.2.5 Risultati delle simulazioni idrauliche ..... 100
5.2.5.1 Tempo di ritorno trentennale ..... 102
5.2.5.2 Tempo di ritorno duecentennale ..... 103
5.3 SOTTOSISTEMA BOTRIOLO ..... 107
5.3.1 Introduzione ed inquadramento geografico ..... 107
5.3.2 Modellazione idrologica ..... 108
5.3.2.1 Parametri utilizzati ..... 108
5.3.2.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 108
5.3.2.3 Condizioni al contorno di monte ..... 108
5.3.2.4 Condizioni al contorno di valle ..... 109
5.3.2.5 Analisi idrologica ..... 109
5.3.3 Modello idraulico ..... 117
5.3.3.1 Modello geometrico ..... 117
5.3.3.2 Modellazione zone 2D ..... 117
5.3.3.3 Layout del modello idraulico ..... 119
5.3.3.4 Coefficienti di resistenza al moto ..... 121
5.3.3.5 Immissioni ..... 121
5.3.4 Risultati delle simulazioni idrauliche ..... 123
5.3.4.1 Tempo di ritorno trentennale ..... 124
5.3.4.2 Tempo di ritorno duecentennale ..... 125
**6. SISTEMA LE VILLE** ..... 126
6.1 Introduzione ..... 126
6.2 Inquadramento geografico ..... 126
6.3 Modellazione Idrologica ..... 127
6.3.1 Parametri utilizzati ..... 127
6.3.2 Valutazioni sugli scenari di riferimento ..... 127
6.3.3 Condizioni al contorno di monte ..... 128
6.3.4 Condizioni al contorno di valle ..... 128
6.3.5 Analisi idrologica ..... 129
6.4 Modello idraulico ..... 133
6.4.1 Il modello Geometrico ..... 133
6.4.2 Modellazione zone 2D ..... 134
6.4.3 Layout del modello idraulico ..... 137
6.4.4 Coefficienti di resistenza al moto ..... 138
6.4.5 Immissioni ..... 138
6.5 Risultati delle simulazioni idrauliche ..... 140

6.5.1 Tempo di ritorno trentennale ..... 141
6.5.2 Tempo di ritorno duecentennale ..... 143
**7. CONSIDERAZIONI FINALI** ..... 145

# PREMESSA

La presente relazione idrologico-idraulica è redatta a supporto della proposta di integrazione e modifica del PAI ai sensi dell'art.32 delle Norme tecniche di attuazione del PAI, a seguito dell'aggiornamento del Quadro conoscitivo effettuato per la Variante Generale al Piano Strutturale del Comune di Terranuova Bracciolini, ai sensi DPGR N°53/R del 25/ottobre/2011 (regolamento di attuazione dell'art.62 della LR 1/2005).

Si precisa che le verifiche idrauliche sono state condotte in conformità alle disposizione dell'allegato 2 denominato "Indicazioni per l'adeguamento degli strumenti urbanistici al PAI e criteri per la redazione di proposte di integrazioni e modifiche" contenuto nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

Oltre alla presente relazione accompagnano lo studio i seguenti elaborati:

- EL-IDR06 - ALLEGATO ALLO STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Segue l'elenco delle tavole grafiche allegate con indicati i tematismi dei vincoli idraulici.

| N. Tavola | Titolo | Scala |
|---|---|---|
| TAV. IDR07 - CAPUOLOGO | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA – TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR08 – LE COSTE | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA– TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR09 – CASELLO | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA– TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR10 – OVEST | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA PAI | 1:10.000 |
| TAV. IDR12 – OVEST | PROPOSTA DI INTEGRAZIONE E MODIFICA DEL PAI | 1:10.000 |
| TAV. IDR13 – CAPOLUOGO E VALVIGNA | PROPOSTA DI INTEGRAZIONE E MODIFICA DEL PAI | 1:5.000 |
| TAV. IDR14 – SISTEMA LE VILLE – SISTEMA RIOFI | PROPOSTA DI INTEGRAZIONE E MODIFICA DEL PAI | 1:5.000 |

**Tabella 1.** Elenco delle tavole grafiche allegate allo studio idrologico-idraulico per l'integrazione e modifica del PAI.

Non viene prodotta la CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA PAI - EST e la relativa carta con la proposta di integrazione e di modifica del PAI, in quanto non sono presenti modifiche nei corsi d'acqua ricadenti in quella porzione di territorio comunale.

Per completezza di trattazione si riporta l'elenco delle tavole allegate allo studio idrologico-idraulico di supporto alla Variante al Piano Strutturale.

| N. Tavola | Titolo | Scala |
|---|---|---|
| TAV. IDR01 - OVEST | CARTA DELLE AREE ALLAGATE | 1:10.000 |
| TAV. IDR02 - EST | CARTA DELLE AREE ALLAGATE | 1:10.000 |
| TAV. IDR03 - OVEST | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA | 1:10.000 |
| TAV. IDR04 - EST | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA | 1:10.000 |
| TAV. IDR05 - CAPUOLOGO - VALVIGNA | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA | 1:5.000 |
| TAV. IDR06 - VILLE - FARNIBONA | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA | 1:2.000 |
| TAV. IDR07 - CAPUOLOGO | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA – TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR08 – LE COSTE | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA– TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR09 – CASELLO | CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI – TORRENTE CIUFFENNA– TR200 | 1:2.000 |
| TAV. IDR10 – OVEST | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA PAI | 1:10.000 |
| TAV. IDR11 – EST | CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA PAI | 1:10.000 |

**Tabella 2.** Elenco delle tavole grafiche allegate allo studio idrologico-idraulico.

# 1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il quadro normativo di riferimento vigente al momento è il seguente:

- R. D. 8 maggio 1904 n. 368 "Regolamento sulle bonificazioni delle paludi e dei terreni paludosi";
- R.D. 25 luglio 1904 n.523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- D.L. 180/89 e successive modifiche;
- D.P.C.M. n. 226 del 5/11/99 "*Approvazione del Piano stralcio relativo alla riduzione del rischio idraulico del bacino del fiume Arno*" – Norme: 2, 3 e 6;
- L.R. n. 1 del 03/01/2005 "Norme per il governo del territorio"
- D.P.C.M. 6 maggio 2005 "*Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico*" (GU n. 230 del 3-10-2005) – articoli: 6, 7, 8, 20, 21, 26 e 27;
- Piano di Indirizzo Territoriale della Toscana approvato dal Consiglio regionale il 24 luglio 2007 con delibera n. 72;
- DPGR N°53/R del 25/ottobre/2011 (regolamento di attuazione dell'art.62 della LR 1/2005).
- Legge Regionale 21 maggio 2012, n°21 – Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua.

Gli studi e le verifiche idrauliche eseguite sono conformi al suddetto quadro normativo.

# 2. METODOLOGIA DI INDAGINE

In questo capitolo si descrive la metodologia d'indagine utilizzata per rispondere alle prescrizioni normative in tema di rischio idraulico per l'approvazione del Piano Strutturale del Comune di Terranova Bracciolini.

## 2.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il territorio del Comune di Terranuova Bracciolini si sviluppa in direzione sud-est nord-ovest occupando principalmente l'area collinare alle pendici del Pratomagno fino alla pianura alluvionale dell'Arno, che ne delinea il confine comunale con i comuni di Pergine Valdarno, Montevarchi e San Giovanni Valdarno. A sud-est confina con il comune di Laterina e di Castiglion Fibocchi, a nord-est con il comune di Loro Ciuffenna e ad ovest con il comune di Castelfranco di Sopra.

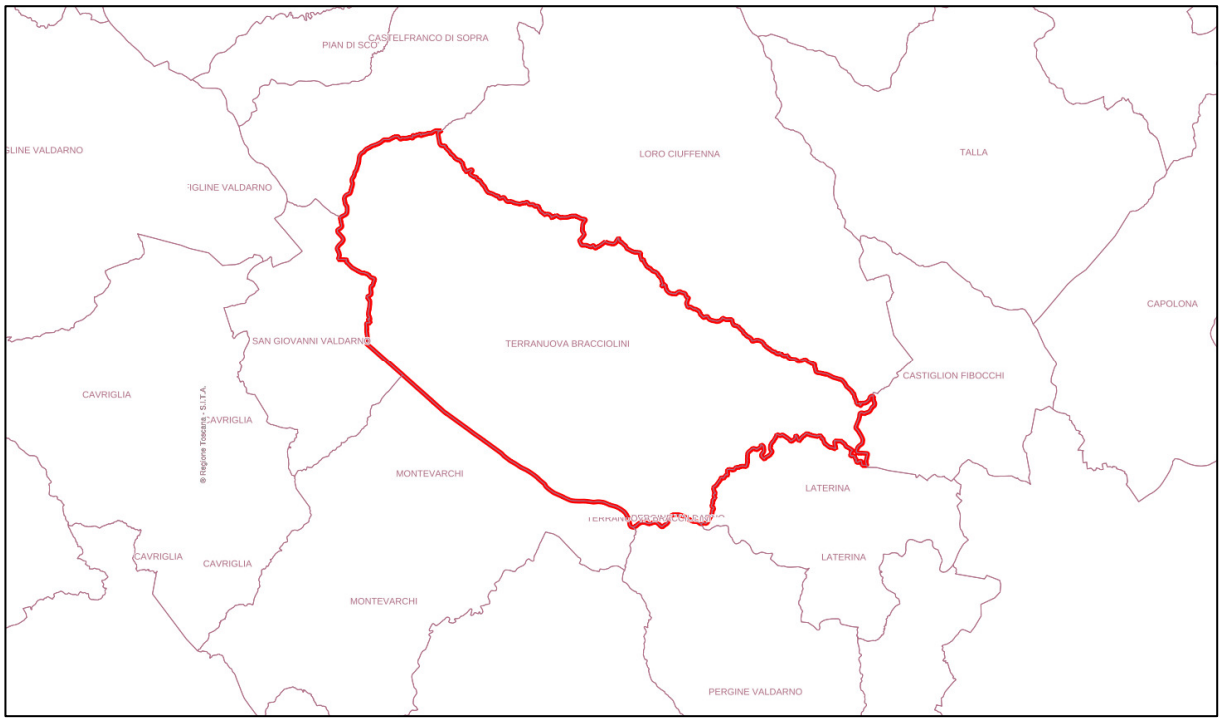



**Figura 1.** Inquadramento territorio comune di Terranova Bracciolini.

La porzione di territorio comunale posta a nord-est è essenzialmente collinare mentre l'area posta a sud-ovest è caratterizzata da ambiti di fondovalle con pianure alluvionali create dai corsi d'acqua e confinate dai rilievi morfologici. Il territorio comunale è compreso tra le quote di 300 m slm in prossimità della strada provinciale n°1 Setteponti e i 130 m slm nell'area valliva alla confluenza tra il borro di Riofi e il borro della Spina.

## 2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO

Dal punto di vista idraulico si individuano, all'interno del territorio comunale, 9 bacini idrografici principali, tutti tributati dell'Arno, da nord-ovest a sud-est:

1. Bacino del Riofi;
2. Bacino delle Ville;
3. Bacino del Ciuffenna;
4. Bacino del Tasso;
5. Bacino del San Lorenzo;
6. Bacino delle Sciupate;
7. Bacino dell'Ascione;
8. Bacino dell'Agna;
9. Bacino dell'Oreno.

### 2.2.1 PERIMETRAZIONE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Lo studio idraulico effettuato per la proposta di integrazione e modifica del PAI si sviluppa sui seguenti corsi d'acqua, classificati ai sensi del PIT nel modo seguente:

| Nome del corso d'acqua | | Codice |
|---|---|---|
| TORRENTE | CIUFFENNA | AR2548 |
| BORRO | FOSSO DI O DEL TASSO | AR88 |
| BORRO | PIANTRAVIGNE DI O SCARELLI | AR140 |
| BOTRO | RIOFI DI O CAVE | AR434 |
| BOTRO | ROVIGGIANI | AR450 |
| BOTRO | SPINA O FORNACE | AR465 |
| BOTRO | VILLE DELLE | AR505 |

**Tabella 3.** Elenco dei corsi d'acqua classificati dal PIT.

A questi si aggiungono i seguenti fossi minori:

| Nome del corso d'acqua | | Bacino |
|---|---|---|
| FOSSO | CAVALOSSO | Ville |
| BORRO | DELLO SCURAGNOLO | Ville |
| BORRO | DI FARNIBONA | Ville |
| FOSSO | MALVIGNA | Tasso |
| FOSSO | VALVIGNA | Valvigna |

**Tabella 4.** Elenco dei corsi analizzati non compresi nel PIT.

Le perimetrazioni della pericolosità idraulica sono state valutate implementando una modellazione idrologico-idraulico di dettaglio per gli eventi con tempo di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni. Gli studi riguardano i seguenti sistemi fluviali:

- Sistema Ciuffenna: comprende un tratto del torrente Ciuffenna dalla cassa di espansione in loc.Steccata fino alla confluenza in Arno, il tratto di valle del borro Roviggiani e il sistema di tombini ed attraversamenti che sotto il rilevato autostradale collegano idraulicamente l'Arno alle aree a tergo del rilevato stesso.
- Sistema Valvigna: Comprende i tratti terminali di valle del Borro del Tasso con il tratto di valle del suo affluente destro fosso di Malvigna, il fosso Valvigna e il fosso San Lorenzo e il sistema di tombini e attraversamenti del rilevato autostradale che sotto il rilevato autostradale collegano idraulicamente l'Arno alle aree a tergo del rilevato stesso.
- Sistema Riofi: comprende un tratto del Riofi a monte della confluenza con il borro di Piantravigne fino alla confluenza in Arno, un tratto del borro di Piantravigne immediatamente a monte della confluenza con il Riofi, il tratto del borro della Spina che va dalla confluenza con il Riofi fino a quella con il borro del Molinaccio e il tratto del borro della Fornace dalla confluenza con il borro del Molinaccio fino alla località "Steccata";
- Sistema Ville: comprende un tratto del borro delle Ville compreso tra la sezione posta a circa 170 metri a monte dell'attraversamento della strada comunale delle Ville presso la località Costa ai Mori, e quella posta a circa 410 metri a monte della confluenza in Arno a valle della linea ferroviaria direttissima Firenze-Roma, per uno sviluppo longitudinale di circa 3.950 metri, i tratti terminali di valle dei borri di Cavalosso, Scuragnolo e Farnibona;

Le perimetrazioni relativa alle pericolosità idrauliche sono state redatte in conformità alla lettera b) dell'art.5 delle Norme Tecniche del PAI:

*b) "Perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica - Livello di dettaglio in scala 1:10.000".*
*Nella cartografia la pericolosità è così graduata:*
*• pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR ≤ 30 anni e con battente h ≥ 30 cm;*
*• pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR ≤ 30 anni con battente h < 30 cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno 30 < TR ≤ 100 anni e con battente h ≥ 30 cm;*
*• pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 30 <TR ≤100 anni e con*
*battente h < 30 cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 100 <TR ≤ 200 anni ;*

• *pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 200 <TR ≤ 500 anni.*

## 2.3 STUDI IDROLOGICO-IDRAULICI ESISTENTI

Sul territorio di Terranuova Bracciolini sono stati eseguiti numerosi studi idrologico-idraulici per la valutazione della pericolosità idraulica e a supporto di interventi per la mitigazione del rischio, soprattutto nelle parti ad alta densità urbanistica.

E' stato svolto, dagli scriventi, un lavoro di ricerca e di sintesi degli elaborati esistenti in modo da realizzare uno stato di fatto degli interventi per la riduzione del rischio idraulico, già presenti nel territorio comunale.

Nella tabella seguente si riportano gli studi principali indicando per ognuno gli autori, il titolo, la fase di progettazione, il corso d'acqua interessato e l'anno di emissione degli elaborati.

| Autori dello studio | Titolo | Tipo di progettazione | Corso d'acqua | Data |
|---|---|---|---|---|
| Ing. Remo Chiarini | Relazione idrologico-idraulica – Cassa di espansione in derivazione sul borro Roviggiani in località "Il Palazzetto". | Progetto esecutivo | **Borro Roviggiani** | Settembre 2002 |
| Studio tecnico Malesani | Interventi di regimazione sul Torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini | Progetto definitivo | **Torrente Ciuffenna** | Aprile 2003 |
| Provincia di Arezzo Servizio viabilità | Riqualificazione urbana e realizzazione nuova viabilità in loc. S. Maria e Badiola | Progetto preliminare | **Borro di Riofi** | Settembre 2003 |
| Ing. Remo Chiarini | Progetto e studi idrologico-idraulici redatti a supporto della variante al P.R.G. per la variante alla S.R.69 | - | **Fiume Arno Torrente Ciuffenna Borro del Tasso** | Settembre 2003 |
| Studio iIDeA | Piano attuativo comparto commerciale Pernina | - | **Fosso di Pernina** | Marzo 2004 |
| Studio tecnico Malesani | Interventi di regimazione sul Torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini – Legge 265/95 | Progetto esecutivo Lotto 1 | **Torrente Ciuffenna** | Maggio 2004 |
| Provincia di Arezzo Ing. Leandro Radicchi Ing. Andrea Canali | L.R. 50/94 - INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA PER LA MESSA IN SICUREZZA DELL'ABITATO DI TERRANUOVA BRACCIOLINI MEDIANTE REALIZZAZIONE DI UNA CASSA D'ESPANSIONE | Progetto Esecutivo | **Torrente Ciuffenna** | Dicembre 2004 |
| Studio Billi Dott. Geol. Tommaso Billi Dott. Geol. Francesco Menchi | Progetto di variante al P.R.G. contestuale al Piano di Recupero in loc. Il Bacio. | - | **Borro delle Ville** | Marzo 2005 |
| Ing. Remo Chiarini | Studio idrologico-idraulico a supporto del Regolamento Urbanistico di San Giovanni Valdarno | - | **Borro delle Ville** | Luglio 2005 |
| NET-Engineering Consulente idraulico: Ing. Remo Chiarini | Studio idrologico-idraulico redatto per la progettazione esecutiva della variante alla S.R. 69 | Progetto esecutivo | **Fiume Arno Torrente Ciuffenna Borro del Tasso** | Settembre 2005 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ing. Remo Chiarini | Studio idrologico-idraulico Variante al P.R.G. vigente ai sensi dell'art. 16 e 17 della L.R. n.1 del 03.01.2005 in loc. "Valvigna-Casello", necessaria per apportare limitate modifiche alla disciplina urbanistica conseguentemente alla approvazione del progetto esecutivo della Strada Regionale n.69 del Valdarno | - | **Fiume Arno Torrente Ciuffenna Borro del Tasso** | Maggio 2006 |
| Sorgente Ingegneria Ing. Luca Rosadini – Ing. Leonardo Marini | Studio idrologico-idraulico a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Terranova Bracciolini per rispondere alle prescrizioni dettate dalla Delibera del Consiglio Regionale della Toscana n. 12 del 25 Gennaio 2000. | - | **Fiume Arno Torrente Ciuffenna Borro delle Ville Borro di Riofi Borro della Spina Borro del Tasso Torrente Agna Borro di Montale** | Gennaio 2007 |
| Ing. Remo Chiarini Ing. Luigi Bigazzi | Proposta di modifica delle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica nel tratto terminale del torrente Ciuffenna – art.32 NTA del PAI | - | **Torrente Ciuffenna Borro Roviggiani** | Maggio 2007 |
| Ing. Remo Chiarini Ing. Luigi Bigazzi | Variante al Regolamento Urbanistico per la modifica delle aree a pericolosità idraulica e attribuzione delle fattibilità ai sensi del D.P.G.R. 27 Aprile 2007 n°26/R | - | **Torrente Ciuffenna Borro Roviggiani** | Febbraio 2009 |
| Ing. Marco Sacchetti | DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" "Interventi per la completa messa in sicurezza idraulica dell'area posta a valle dell'impianto e delle relative opere connesse e funzionali" | Progetto preliminare | **Borro di Riofi** | Ottobre 2012 |

**Tabella 5.** Quadro sinottico degli studi e progetti idraulici esistenti.

Si aggiungono a questi, alcuni studi di dettaglio relativamente alle aree di Valvigna, Paperina e un'area ubicata a monte del capoluogo dove è prevista una espansione residenziale importante, redatti a supporto del Regolamento Urbanistico nel Gennaio 2007 dagli scriventi.

Per le analisi idrologiche utilizzate, i metodi di verifica idraulica adottati e il dimensionamento dei manufatti progettati si rimanda agli elaborati originali.

### 2.3.1 IL P.A.I.

Si aggiunge agli studi descritti nel paragrafo precedente, quello relativo alla stesura delle carte di pericolosità idraulica redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Il comune di Terranuova Bracciolini rientra infatti totalmente all'interno di questo bacino. Per la stesura del Piano di Bacino del Fiume Arno, Stralcio "Assetto Idrogeologico", entrato in vigore con il D.P.C.M. del 06 Maggio 2005 ,e in particolare della cartografia tematica della pericolosità idraulica sono state effettuate indagini per definire le aree classificate secondo le Norme di Attuazione (art.5), come PI4, PI3, PI2, e PI1.

Le perimetrazioni di dette aree è stata effettuata secondo due modalità, come riportato nel medesimo articolo:

a) *Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – livello di sintesi in scala 1:25.000;*
b) *Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – livello di sintesi in scala 1:10.000;*

Nel primo caso sono stati utilizzati dati storico inventariali senza il supporto di studi idrologico-idraulici di dettaglio.

Nel secondo caso invece le aree sono state individuate tramite studi idrologico-idraulici e simulazioni in moto permanente su modelli geometrici derivati da rilievi topografici di dettaglio. In particolare le aree individuate rispondono ai seguenti criteri adottati dall'AdB e riportati all'art. 5, comma b delle Norme di Attuazione:

- Pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR ≤ 30 anni con battente h ≥ 30 cm;
- Pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno Tr ≤ 30 anni con battente h < 30 cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno 30 < TR ≤ 100 anni con battente h ≥ 30 cm;
- Pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 30 < Tr ≤ 100 anni con battente h < 30 cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno 100 < TR ≤ 200 anni;
- Pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 200 < Tr ≤ 500 anni;

Tramite questa classificazione è quindi possibile individuare per ogni asta studiata le aree soggette a rischio idraulico con un tempo di ritorno di 200 anni, corrispondente all'unione delle aree ricadenti in P.I.4, P.I.3 e P.I.2.

Si sottolinea come questa procedura sia valida solamente per quelle aste in cui le perimetrazioni delle pericolosità sia stata effettuata tramite una modellazione geometrico-idraulica di dettaglio, e quindi, nel territorio di Terranuova Bracciolini, per le aree con livello di sintesi in scala 1:10.000.

Vengono di seguito riportati alcuni estratti a livello informativo delle perimetrazioni di pericolosità idraulica del P.A.I. attualmente in vigore nel comune di Terranuova Bracciolini.

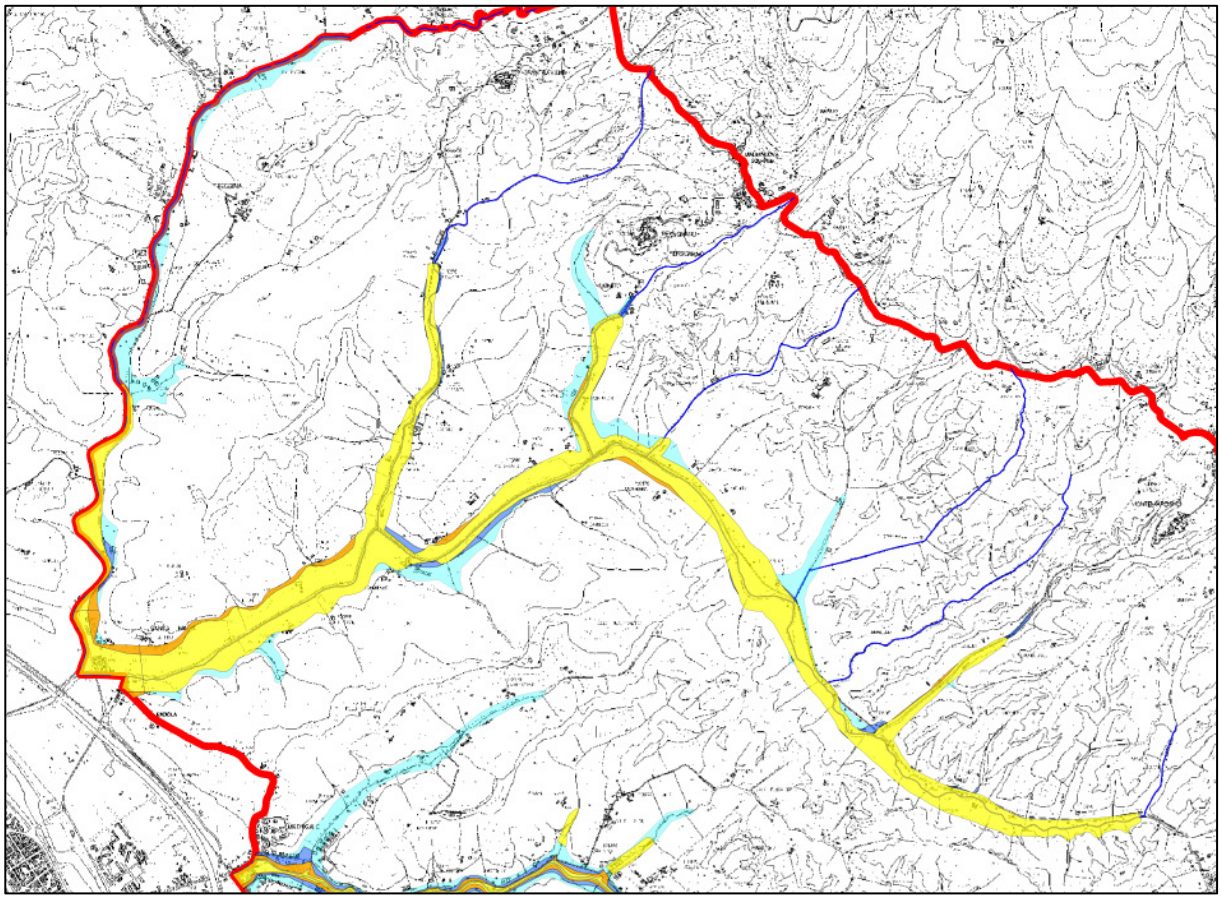


**Figura 2.** Sistema Riofi – Estratto PAI.

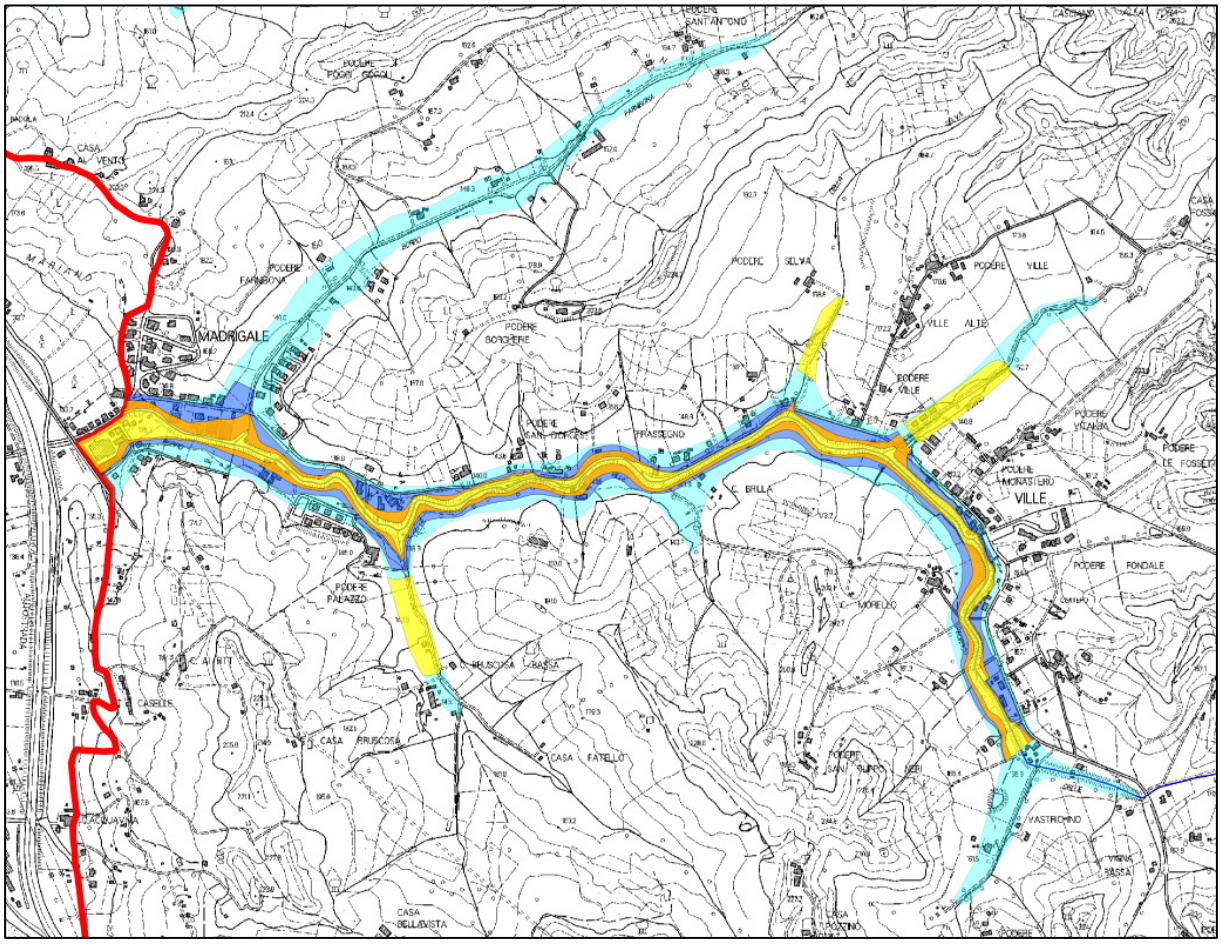



**Figura 3.** Sistema Ville – Estratto PAI.

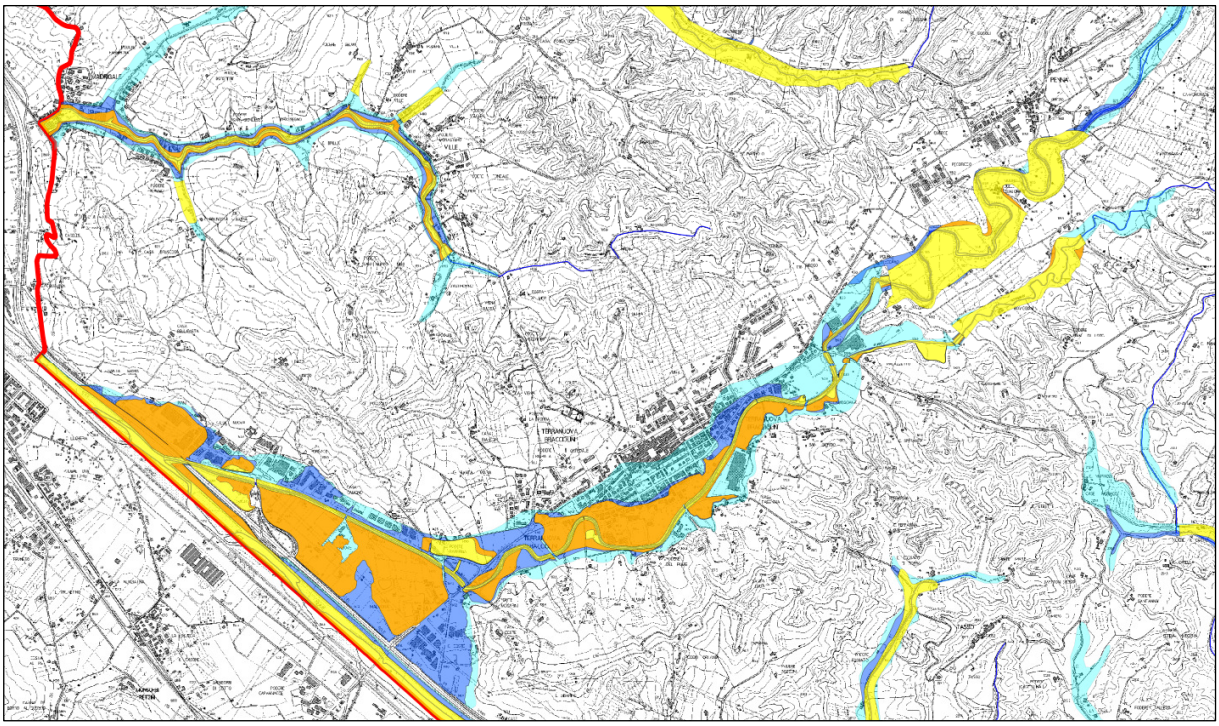


**Figura 4.** Sistema Ciuffenna – Estratto PAI.

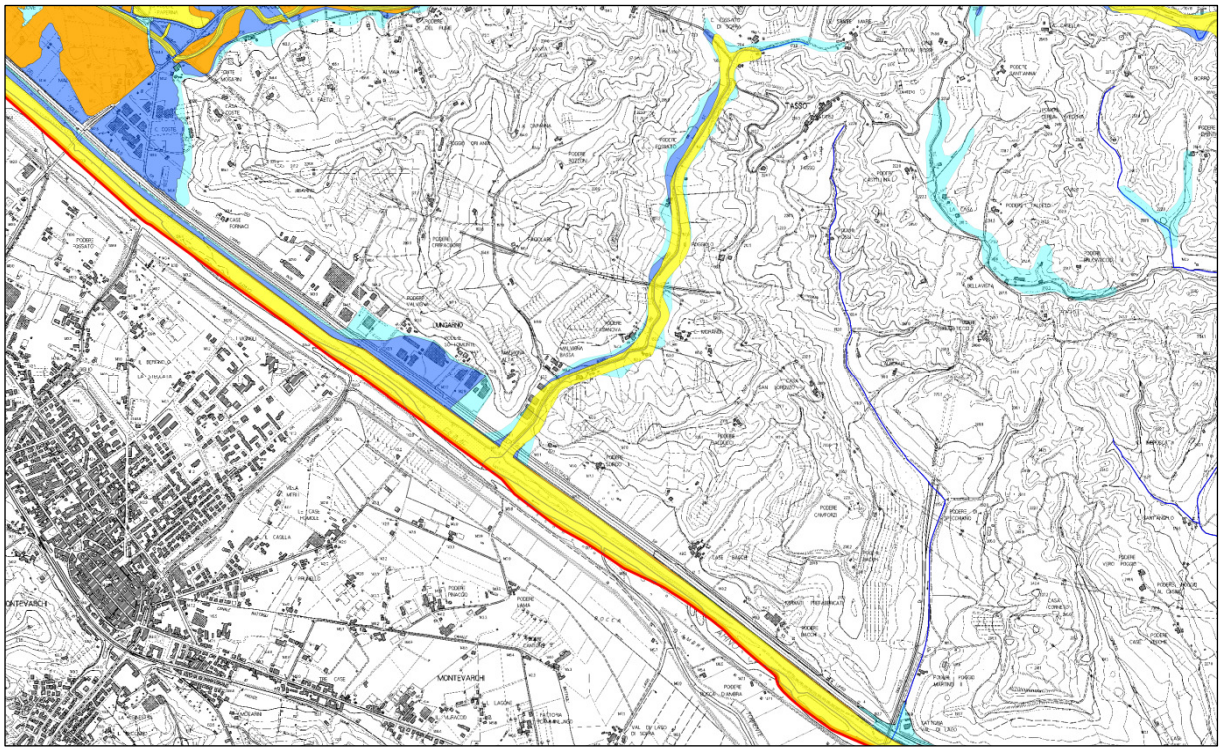


**Figura 5.** Sistema Valvigna – Estratto PAI**.**

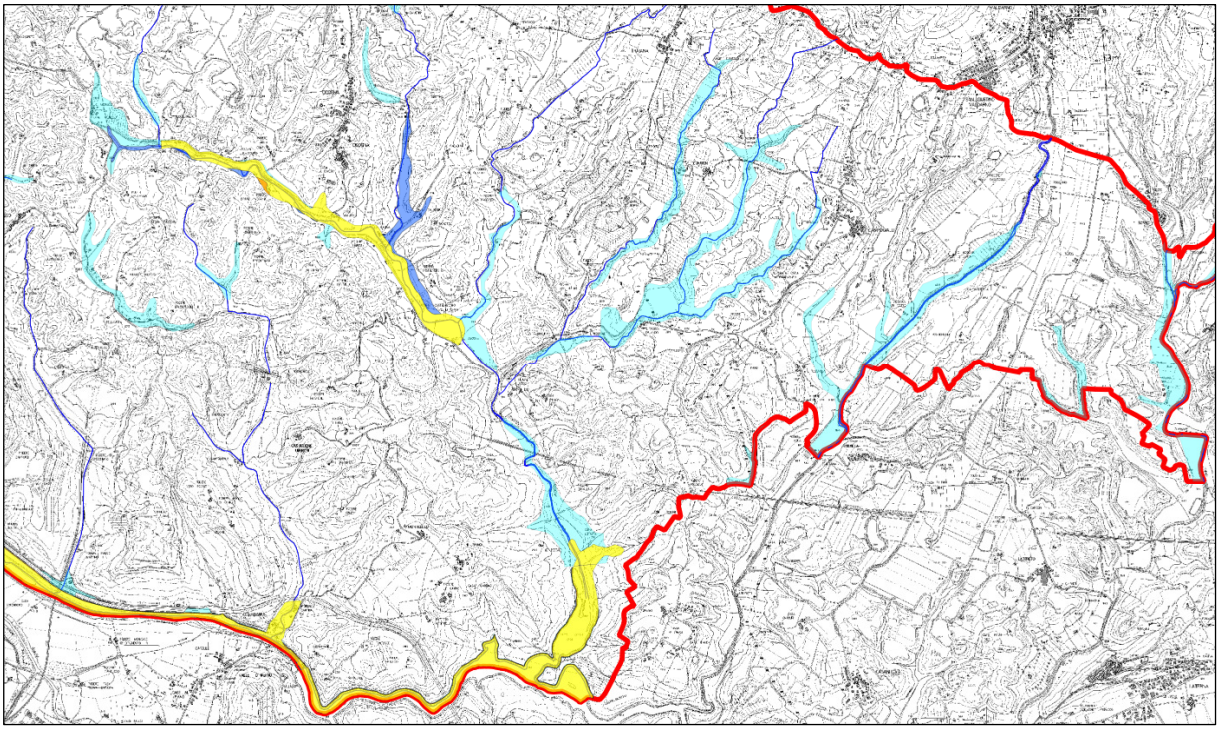


**Figura 6.** Bacino torrente Ascione – Agna e Oreno – Estratto PAI.

## 2.4 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 2.4.1 ALTO2000

La stima delle portate al colmo dei sistemi fluviali oggetto di questo studio è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana) sviluppato nel 1997 dal PIN (Centro Studi Ingegneria dell'Università di Firenze) per conto della Regione Toscana, nell'ambito di un più ampio lavoro finalizzato all'individuazione di procedure per la regionalizzazione delle portate di piena nel territorio toscano, ed aggiornato nel 2000.

Tale modello si basa sulla trasformazione afflussi-deflussi ottenuta tramite la teoria dell'Idrogramma Istantaneo Unitario o IUH. I parametri dell'IUH vengono determinati in base alle caratteristiche geomorfologiche del bacino (in particolare la struttura del reticolo idrografico ordinato), ottenendo un cosiddetto idrogramma unitario geomorfologico o GIUH.

In ALTO il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di tipo $\Gamma$(n, k) introdotto da Nash (1959) e caratterizzato dal parametro di forma $n$ e da quello di scala $k$.

Secondo l'approccio geomorfologico, il parametro di forma può essere valutato mediante l'espressione:

$$n = 3.29\left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07}$$

dove $R_a$ (rapporto di area), $R_b$ (rapporto di biforcazione) ed $R_l$ (rapporto di lunghezza) sono i parametri geomorfici di Horton. Il prodotto $n \cdot k$ fornisce il tempo di ritardo del bacino idrografico $T_l$. Nel caso della Toscana, sulla base dei dati elaborati per 42 bacini idrografici strumentati dal S.I., è stato dimostrato che la miglior relazione tra $T_l$ ed i parametri geomorfici di Horton è fornita dalla relazione:

$$T_l = 0.42\left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.3} \cdot R_l^{-0.41} \cdot \frac{L_{mc}}{A^{0.075}}$$

dove A è l'area del bacino espressa in $Km^2$ e Lmc è la lunghezza media del reticolo, calcolata come cumulata delle lunghezze medie dei vari ordini gerarchici. Ovviamente, noto $n$, quest'ultima espressione consente di calcolare anche $k$.

La forzante data dall'evento meteorico è schematizzata attraverso uno ietogramma sintetico la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità

pluviometrica ricavate con l'adattamento delle serie storiche reali alla distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value). Il modello è strutturato in modo tale da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena.

La depurazione dall'afflusso lordo alla pioggia netta è basata sulla stima dei due parametri relativi alla perdita iniziale e alle perdite per infiltrazione. La perdita iniziale è schematizzata introducendo un volume unitario per unità di area $I_a$ che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento che precedono il la formazione dei primi piccoli invasi superficiali, mentre la perdita durante le fasi successive dell'evento viene schematizzata mediante un coefficiente di infiltrazione costante a saturazione $K_s$.

I dati idrologici ed i parametri n, k Ia e Ks utilizzati sono stati derivati e calcolati tramite il sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana codice AlTo2000 (Alluvioni in Toscana).

Le serie storiche pluviometriche utilizzate in ALTO sono quelle delle precipitazioni massime annue con durata inferiore ad 1 ora; tra 1 e 24 ore, tra 1 e 5 giorni, le precipitazioni giornaliere, le precipitazioni ad alta risoluzione (serie disponibili ed eventi significativi utilizzati per le fasi di taratura del modello).

Le curve di possibilità pluviometrica sono state ricavate con l'adattamento delle serie storiche reali alla distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).

Dette curve sono espresse nella classica equazione di forma monomia nella quale il totale h[mm] dell'altezza di precipitazione è espresso in funzione della durata d[ore] dell'evento e del suo tempo di ritorno T[anni]:

$$h = at^n T_r^m$$

dove i parametri a, n, ed m sono quelli desunti dal database di ALTO. Poiché, come è noto essi assumono due diverse terne di valori dipendenti dalla durata d della precipitazione, si indica con a1, n1 ed m1 quelli relativi a durate d < 1 ora e con a, n, m quelli relativi a durate d > 1 ora.

Occorre effettuare un'ulteriore considerazione a proposito del fattore di ragguaglio areale $k_r$. Il coefficiente $k_r$ è stato calcolato facendo riferimento alla formula dell'U.S. Weather Bureau opportunamente modificata per tener conto delle caratteristiche della Regione Toscana :

$$k_a = 1 - \exp(\alpha t^\beta) + \exp(\alpha t^\beta - \gamma A)$$

con:

$\alpha = 0.036 \cdot a$ dove a è il parametro della CPP per durate superiori all'ora;

$\beta = 0.25$;

$\gamma = 0.01$;

t = durata precipitazione [ore];

A = area del bacino [km2].

Per ogni bacino individuato, è stato determinato su cartografia tecnica regionale in scala 1:2000 e/o 1:10.000 il relativo bacino idrografico. L'area così ricavata è stata inserita all'interno del data base di AlTo per il calcolo dei deflussi.

### 2.4.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Per ogni sistema idraulico si sono analizzati più scenari critici che tengono conto delle diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette in fase di modellazione idraulica di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

La schematizzazione generale adottata è definita dai seguenti scenari di riferimento:

2.4.2.1 Scenario ALPHA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il corso d'acqua analizzato;

2.4.2.2 Scenario BETA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critico per l'affluente più rilevante del corso d'acqua analizzato;

2.4.2.3 Scenario GAMMA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche indotte da una piena in Arno;

### 2.4.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato è stata calcolata la durata di pioggia critica che massimizza l'afflusso del relativo corso d'acqua e in funzione di questa sono stati calcolati i relativi idrogrammi di piena per ciascun tributario analizzato. Per lo scenario GAMMA la durata di pioggia è stata imposta pari a 18 ore, essendo questo il tempo di pioggia che massimizza gli afflussi nel tratto di fiume che interessa il territorio di Terranuova Bracciolini.

Gli idrogrammi così ottenuti rappresentano la condizione al contorno di monte.

### 2.4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Con esclusione del sistema idraulico relativo alle Ville, in cui si è utilizzata come condizione al contorno di valle l'altezza di moto uniforme (normal depth), negli altri

casi la condizione al contorno di valle è rappresentata dal limnogramma del fiume Arno in prossimità dell'immissione. Questo è stato ricavato tramite interpolazione spaziale tra i limnogrammi relativi alle due sezioni immediatamente a monte e a valle di tale immissione, per ciascun tempo di ritorno analizzato e per ciascun scenario. I limnogrammi utilizzati per la elaborazioni sopra descritte sono forniti dall'Autorità di bacino de fiume Arno e rappresentano i risultati delle simulazioni del modello SIMI (SIT - Modellazione Idraulica). Questi sono forniti per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni e per durate delle precipitazioni di 3, 6, 9 ,12,18, 24, 36 ore.

Per gli scenari ALPHA e BETA, è stato scelto il limnogramma il cui tempo di pioggia si approssima alla durata critica valutata per l'affluente.

## 2.5 MODELLAZIONE IDRAULICA

### 2.5.1 CODICE DI CALCOLO INFOWORKS ICM

Le simulazioni dei sistemi idraulici oggetto di studio sono state eseguite con il software Infoworks ICM sviluppato dall'azienda inglese HR Wallingford.

ICM è un applicativo software per la verifica e la progettazione di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali. Il software consente di creare e risolvere, in regime di moto vario, modelli idraulici monodimensionali (1D) per lo studio della propagazione dell'onda di piena in alveo, modelli idraulici bidimensionali (2D) per lo studio della propagazione dell'esondazione in aree su cui è definita una griglia di elementi triangolari sulla base di un modello digitale del terreno (DTM), e modelli idraulici misti (1D-2D) con la modellazione ibrida monodimensionale nel canale e bidimensionale nel territorio inondabile (floodplain).

ICM è dotato di un risolutore del moto vario bidimensionale (2D) che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

Dove non diversamente descritto, le simulazioni idrauliche del presente studio sono state eseguite con il software Infoworks ICM sviluppato dall'azienda inglese HR Wallingford.

Il modello idraulico allestito in ambiente Infoworks ICM è monodimensionale (1D) in alveo e bidimensionale nelle aree inondabili adiacenti all'alveo comprese nell'area modellata con magliatura triangolare (zona 2D).

L'interfaccia tra l'alveo e la zona 2D è costituita da connessioni spondali denominate linee di sponda (bank lines).

La modellazione della zona 2D è stata eseguita attraverso l'utilizzo di dati LIDAR forniti dalla Regione Toscana (volo anno 2008).

Di seguito si riporta una breve descrizione di alcune funzionalità del codice di calcolo utilizzato.

### 2.5.2 INFOWORKS ICM – EQUAZIONI DI BASE DEL RISOLUTORE 2D

Il motore di calcolo 2D utilizzato in InfoWorks ICM si basa sulle procedure descritte in Alcrudo e Mulet-Marti "Urban inundation models based upon the Shallow Water equations. Numerical and practical issues" (2005).

A partire dalle equazioni di Navier-Stokes considerando un fluido incomprimibile e una profondità bassa rispetto alle dimensioni orizzontali del dominio si può ricavare un modello semplificato, chiamato 2D-Shallow Water Equations.

Le equazioni delle acque basse (shallow water equations SWE), sono utilizzati per la rappresentazione matematica del flusso 2D. SWE assume che il flusso è prevalentemente orizzontale e che la variazione della velocità sopra la coordinata verticale può essere trascurata.

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

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

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left(hv^2+\frac{gh^2}{2}\right)+\frac{\partial (huv)}{\partial x}=S_{0,x}-S_{f,y}+q_{1D}v_{1d} \quad (3)$$

dove:

- h è la profondità dell'acqua
- U e V sono le velocità nelle direzioni x ed y, rispettivamente
- S0x e S0y sono le perdite di carico per attrito nelle direzioni x ed y, rispettivamente;
- Q1D è la portata di transito per unità di superficie;
- U1D e V1D sono le componenti di velocità della portata di transito Q1D in direzioni x ed y, rispettivamente.

La formulazione conservativa della SWE è essenziale al fine di preservare le grandezze fondamentali di base come la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette la rappresentazione di discontinuità di flusso e cambiamenti tra portata gradualmente e rapidamente variata.

Il risolutore 2D adotta una discretizzazione utilizzando uno schema esplicito ai volumi finiti del primo ordine utilizzando volumi di controllo per rappresentare l'area di interesse. Con il metodo dei volumi finiti, il dominio di modellazione è diviso in forme geometriche su cui le SWE sono integrate per dare equazioni in termini di flussi attraverso i confini del volume di controllo. Lo schema che viene utilizzato per risolvere le SWE è basato sulla combinazione numerica Godunov, con i flussi numerici attraverso i confini dei volumi di controllo calcolati utilizzando il metodo approssimato di Roe per la soluzione al problema di Riemann.

Poiché lo schema ha una soluzione esplicita, non richiede iterazione per raggiungere la stabilità entro tolleranze definite, come il regime di 1D. Invece, per ciascun elemento, il passo temporale necessario viene calcolato utilizzando la

condizione di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità, in cui la condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è:

$$c\frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1 \quad (4)$$

Dove C è il numero adimensionale di Courant (il controllo di stabilità Timestep impostato nei parametri 2D default = 0.95).

InfoWorks ICM utilizza una mesh non strutturata per rappresentare la zona di 2D e questo insieme con lo schema utilizzato consente una simulazione stabile anche per flussi rapidamente variabili, così come i flussi super-critici e transizioni attraverso lo stato critico.

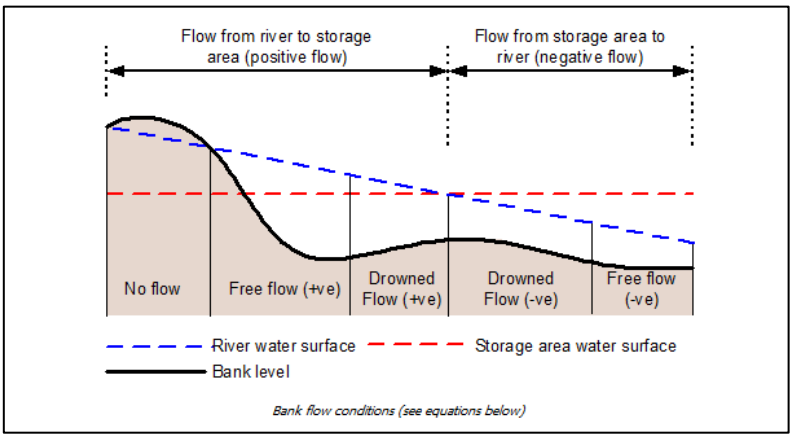
### 2.5.3 CONSIDERAZIONI SULLE CONNESSIONI SPONDALI (BANK LINES)

Il modello idraulico allestito in ambiente Infoworks ICM è monodimensionale (1D) in alveo e bidimensionale nelle aree inondabili adiacenti all'alveo comprese nell'area modellata con magliatura triangolare (zona 2D).

L'interfaccia tra l'alveo e la zona 2D è costituita da connessioni spondali denominate linee di sponda (bank lines).

Ciascun tratto fluviale può essere collegato lateralmente ad altri tratti fluviali, a storage areas (casse espansione) o a zone 2D ed il flusso dal corso d'acqua può essere positivo (se esce dall'alveo) o negativo (se rientra in alveo).

Il flusso sopra le sponde è modellato come deflusso su sfioratore laterale a funzionamento libero o rigurgitato in funzione dei tiranti idrici in alveo e dei battenti nella zona 2D.



L'equazione base dello stramazzo in parete grossa è:

$$Q = C_d\, b h^{1.5}$$

Valori tipici per il coefficiente di deflusso variano da 1.7 a 1.85 (nella formulazione anglosassone il coefficiente di deflusso è moltiplicato per $\sqrt{2g}$ quindi i valori di cui sopra nella formulazione italiana sono compresi tra 0.37 e 0.41).

Il valore di Cd deve essere ridotto se, anziché avere deflusso su strutture in calcestruzzo, abbiamo il deflusso su argini sopra sponde naturali. Indicazioni precise sulla scelta dei valori di Cd per sponde in erba di aree golenali non sono disponibili, anche se attuali buone pratiche suggeriscono valori nell'intervallo di Cd compresi tra 1,7 e 1,0. Per modellare il flusso su un terreno naturale, che è meno efficiente di un'area golenale, possono essere adottati anche valori inferiori ad 1. Adottando questi valori più bassi del Cd possiamo inoltre tenete conto delle perdite di carico per attrito sopra la linea spondale.

Per le simulazioni idrauliche in ambiente Infoworks ICM, anche attraverso una valutazione dei risultati ottenuti con altri codici di calcolo, risulta opportuno e congruente adottare un coefficiente di deflusso sulle linee spondali pari a 0.7.

### 2.5.4 MODELLAZIONE ZONE 2D

Infoworks ICM sull'area 2D va a creare una magliatura (mesh 2D) triangolare sulla quale vengono condotti i calcoli per la risoluzione del moto bidimensionale.

La creazione della magliatura può essere regolata da alcuni parametri: dimensione massima dei triangoli, dimensione minima, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari ad un valore determinato.

Quando è attivata la magliatura dipendente dal terreno (Terrain-sensibile meshing), ICM genera una magliatura con triangoli preliminari. Se la gamma delle altezze all'interno del triangolo supera la massima variazione dell'altezza prevista per la zona 2D, il triangolo è diviso, aumentando la risoluzione della mesh in aree in cui l'altezza del terreno varia rapidamente. Questo processo viene ripetuto finché la massima variazione di altezza non viene più superata. Viene così incrementato la precisione di calcolo per le aree in cui ci sono importanti variazioni in altezza del terreno.

Nella definizione delle aree 2D è necessario impostare la condizione al contorno per il perimetro della zona bidimensionale. Questo parametro governa il deflusso delle

acque che escono dall'area 2D attraversandone il perimetro. Generalmente, nella definizione del perimetro 2D è opportuno definire un'area di indagine con estensione superiore alla massima area allagata presunta e per la quale il passaggio dei deflussi attraverso il perimetro dell'area 2D non si verifica. Ciò nonostante, in taluni casi (come ad esempio per le aree a valle dei tratti terminali dei corsi d'acqua simulati) si può verificare la fuoriuscita dei deflussi dall'area 2D. La condizione al contorno del modello 2D può essere impostata come:

- vertical wall: in questo caso si considera la presenza di una barriera impermeabile di altezza infinita per cui le acque risultano confinate all'interno dell'area 2D (non c'è fuoriuscita di acque dalla zona 2D);
- critical condition: in questo caso si considera che sul perimetro si vadano ad instaurare condizioni di deflusso critiche su stramazzo – (le acque non possono rientrare sulla zona 2D);
- dry: il confine della Zona 2D è considerato come se fosse circondato da un pozzo senza fondo, l'acqua che arriva al bordo della zona 2D fluirà fuori della zona e verrà persa dalla simulazione.
- normal condition: in questo caso si considera che sul perimetro ci sia equilibrio tra la pendenza e le forze di attrito (normal flow), profondità e velocità sono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il perimetro e questa può defluire all'esterno senza perdite.

Nelle simulazione dei modelli è stata impostata sul periemetro dell'area 2D la "normal condition".

## 2.6 MODELLAZIONE GEOMETRICA

La modellazione geometrica monodimensionale in alveo (1D) è stata eseguita tramite l'utilizzo di sezioni trasversali topografiche fornite dall''Amministrazione comunale o rilevate dagli scriventi tramite rilievo topografico di dettaglio o ricavate attraverso l'estrazione di dati dal rilievo LIDAR fornito dalla Regione Toscana (volo anno 2008) eseguito nell'area del Comune di Terranuova Bracciolini.

Le caratteristiche geometriche dei ponti e di alcune infrastrutture arginali sono state rilevate tramite rilievo topografico di dettaglio e rilievi diretti in sito.

Il modello geometrico utilizzato per le simulazioni idrauliche con Infoworks ICM viene completato con:

- inserimento degli edifici esistenti: in ICM gli edifici sono rappresentati da poligoni chiusi dove viene raccordata la magliatura (mesh 2D). Gli edifici rappresentano quindi degli ostacoli per il deflusso delle acque ed è possibile apprezzare la progressione del fronte di esondazione in funzione degli ostacoli che trova nel suo percorso. Per l'inserimento di questi sono stati utilizzati gli strati informativi contenuti negli shapes di tipo xxxxxEA della Regione Toscana. Per attualizzare la modellazione sono state analizzate le fotografie aeree (anno 2010 Regione Toscana) e aggiunti e/o eliminati alcuni edifici;
- inserimento di zone a scabrezza differenziata: in ICM si possono inserire aree a scabrezza differenziata che rappresentano ad esempio la viabilità, dove questa è asfaltata la scabrezza di manning è stata valutata con un coefficiente di manning pari a 0.015. Per l'inserimento di queste zone sono stati utilizzati gli strati informativi contenuti negli shapes di tipo xxxxxAV della Regione Toscana. Anche in questo caso si è proceduto ad una attualizzazione delle strade esistenti tramite l'analisi delle foto aeree;
- Inserimento di strutture lineari 2D: in ICM si possono inserire strutture lineari che simulano la presenza di infrastrutture come muri, recinzioni e/o arginature (polilinee 3D). Si è utilizzato questo strumento per attualizzare e aumentare il dettaglio dei rilievi e delle strutture idraulicamente rilevanti esistenti. Queste strutture rappresentano di fatto degli ostacoli per il deflusso delle acque ed è possibile apprezzare la progressione del fronte di esondazione in funzione della loro consistenza.

In allegato alla presente relazione si riportano, in forma tabellare, i dati inseriti nei modelli di simulazione idraulica relativi alla magliatura della zona 2D, a ciascuna sezione e a ciascun ponte.

Di seguito se ne descrivono i contenuti:

La tabella relativa alla zona 2D riporta:

- Superficie della zona 2D;
- Massima area dei triangoli;
- Minima area dei triangoli;
- Condizioni al contorno;
- Massima variazione di altezza permessa;
- Angolo minimo (angolo minimo ammissibile tra i vertici del triangolo quando si crea una mesh 2D);
- Coefficiente di manning;
- Zona di scabrezza differenziata:
  - ✓ Superficie;
  - ✓ Coefficiente di manning.

Le tabelle relative alle sezioni riportano:

- L'identificativo della sezione;
- le coordinate x ed y (Gauss-Boaga) di ogni punto della sezione;
- le quote in valore assoluto di ogni punto della sezione;
- coefficenti di manning utilizzati.

Per le tabelle dei ponti si riportano;

- L'identificativo del ponte;
- I dati relativi alla sezione di monte, di valle e a quella in corrispondenza dell'impalcato (analogamente a quelle delle sezioni);
- I dati dell'apertura del ponte:
  - ✓ Forma;
  - ✓ Altezza;
  - ✓ Altezza spalla;
  - ✓ Larghezza;
  - ✓ Coeff. Manning.

La modellazione bidimensionale con magliatura triangolare (zona 2D) delle aree inondabili adiacenti all'alveo è stata eseguita attraverso l'utilizzo di dati LIDAR forniti dalla Regione Toscana (volo anno 2008). E' stata effettuata un analisi preliminare di

congruenza tra le sezioni topografiche utilizzate per la modellazione dell'alveo e le aree modellate come zona 2D tramite l'utilizzo dei dati LIDAR. Questa verifica si è resa necessaria per garantire un adeguato grado di accuratezza della simulazione idraulica, in quanto come descritto in precedenza l'interfaccia tra la modellazione 1D e 2D viene effettuato tramite le connessioni spondali denominate linee di sponda (bank lines) che sono costruite sui punti che rappresentano i cigli di sponda interni dell'alveo. L'analisi è stata effettuata confrontando la sezione topografica con la sezione ottenuta estraendo i dati LIDAR lungo la stessa traccia planimetrica della sezione. I risultati ottenuti danno conferma di una generale congruenza ottimale per le finialtà del presente studio. Nella figura seguente si riporta a titolo di esempio la sovrapposizione effettuata sulla sezione CI_064 del Ciuffenna, in grigio il rilievo topografico e in verde il rilievo da dati LIDAR.

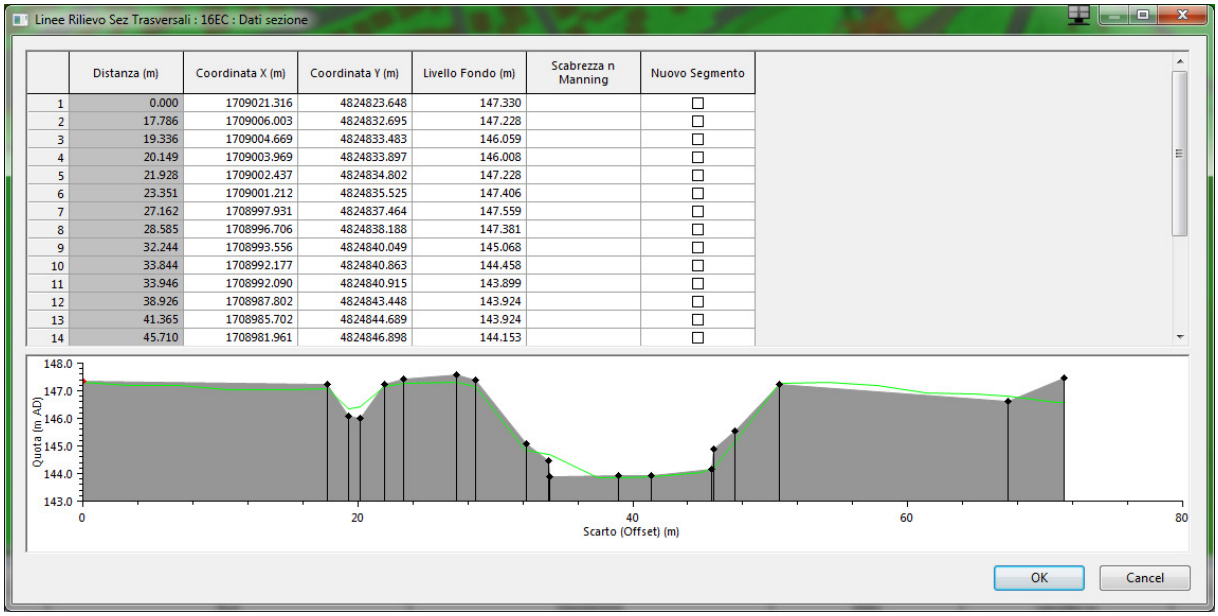



**Figura 7.** Sovrapposizione tra sezioni da rilievo topografico e sezioni da dati LIDAR.

## 2.7 ANALISI DEI RISULTATI

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dai sistemi idraulici analizzati sulle aree indagate e permettono tramite un elaborazione grafica (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati) la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica così come definito dalle Norme Tecniche del PAI.

In allegato alla presente relazione si riportano per ogni corso d'acqua analizzato il profilo idraulico in cui si indica l'andamento altimetrico del talweg, delle sponde

sinistra e destra e il livello del pelo libero per i tempi di ritorno duecentennale e trentennale, ricavato come inviluppo dei massimi livelli degli scenari analizzati.

Si restituiscono inoltre in forma tabellare i risultati delle simulazioni idrauliche.

Le tabelle riportano per ogni scenario, per ogni tempo di ritorno, per ogni sezione in corrispondenza del massimo livello idrico raggiunto:

- La portata transitata = Qmax;
- Il livello massimo raggiunto = WS elev;
- La velocità = Vel Chnl;
- Il numero di Froude = Froude;
- L'altezza del livello idrico rispetto al talweg = Depth;
- La quota del talweg = Main Chanel;
- l'inviluppo dei battenti massimi derivati dagli scenari analizzati.

# 3. SISTEMA CIUFFENNA

## 3.1 INTRODUZIONE

La valutazione della pericolosità idraulica del Capoluogo è stata eseguita attraverso uno studio idrologico-idraulico del tratto terminale del torrente Ciuffenna. Lo studio oltre al citato corso d'acqua riguarda anche il borro Roviggiani ed i potenziali effetti del fiume Arno di cui il Ciuffenna è un tributario destro. In seguito, l'insieme dei corsi d'acqua analizzati viene denominato anche sistema Ciuffenna.

La ridefinizione del livello di pericolosità idraulica dell'area si è resa necessaria alla luce del completamento della cassa di espansione in linea sul Ciuffenna realizzata dalla Provincia di Arezzo e in relazione all'esecuzione di parte del primo lotto dei lavori previsti nell'ambito del progetto di *Interventi di regimazione sul Torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini* redatto da Prof. Malesani.

## 3.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio è ubicata in destra idraulica dell'Arno e si estende nella zona di fondovalle ove sorge il centro abitato di Terranuova Bracciolini. I corsi d'acqua studiati sono il Ciuffenna dalla sua confluenza in Arno (zona casello A1) sino alla cassa di espansione in linea realizzata dalla Provincia di Arezzo a valle della località "La Penna" ed il borro Roviggiani dalla sua confluenza sul Ciuffenna sino alla cassa di espansione in derivazione realizzata a monte del toponimo "Casa Palazzetto". La perimetrazione dell'area di studio è riportata in allegato.

Alla luce della normativa vigente, che impone di eseguire studi idrologici-idraulici unitari lungo una stessa asta fluviale, è stato necessario allestire un modello idraulico unico che comprenda i suddetti tratti fluviali al fine di definire in modo puntuale per l'intera zona il livello di pericolosità idraulica.

In allegato si riporta un estratto dalla cartografia CTR 10K con in evidenza il perimetro dei bacini imbriferi e l'asta principale dei corsi d'acqua analizzati.

Lo studio della morfologia del bacino è stato condotto utilizzando la cartografia tecnica regionale (CTR) in scala 1:2.000 e 1:10000.

Il bacino imbrifero del borro del Ciuffenna, chiuso in alla confluenza in Arno, ha un'area di 64.36 kmq e si estende sino al crinale del Pratomagno. La quota massima del bacino, in corrispondenza della Croce del Pratomagno è di 1590 m slm mentre la quota in corrispondenza della confluenza in Arno è 138 m slm. Il bacino imbrifero del borro Roviggiani si estende dalla confluenza nel Ciuffenna, posta a 154 m slm, sino ai rilievi posti da ovest di Faeto a quota di circa 750 m slm per un'area complessiva di 7.62 kmq. Il borro Roviggiani, circa 20 metri a monte della confluenza sul Ciuffenna, riceve i deflussi da un fosso di scolo ubicato in sinistra idrografica il cui bacino scolante ha un'area di 0.6 kmq (questo bacino, vista l'ubicazione del punto di confluenza, è stato computato come tributario del Ciuffenna).

Il modello idraulico del sistema Ciuffenna è stato allestito inserendo anche i tombini che sotto attraversano il rilevato autostradale e che consentono i deflussi del reticolo idrografico minore dell'area compresa tra l'autostrada e i prospicienti rilievi collinari. I tombini sono presenti nell'area compresa tra il ponte della SP59 sull'Arno sino a nord della zona del casello autostradale. Poiché in questa area di studio il rilevato autostradale assolve anche compiti di difesa idraulica in quanto costituisce l'arginatura in destra idraulica dell'Arno, la presenza dei tombini di scolo (che sotto attraversano il rilevato) costituisce un potenziale fronte di allagamento nel caso in cui i livelli di piena in Arno superino le quote di scorrimento dei tombini, generando un riflusso dalla zona golenale all'area di studio posta a tergo dell'autostrada. La modellazione dei tombini consente di valutare il rischio indotto dai fenomeni di riflusso delle piene dell'Arno attraverso questi collegamenti idraulici.

## 3.3 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 3.3.1 PARAMETRI UTILIZZATI

La stima delle portate al colmo è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana); tale metodologia è già stata esposta nei paragrafi precedenti e vi si rimanda per ulteriori dettagli.

### 3.3.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Nell'ambito del sistema idraulico costituito da Ciuffenna-Roviggiani-Arno sono stati analizzati più scenari critici per valutare le diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette, in fase di modellazione idraulica, di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

Nel caso in esame è stato necessario definire tre scenari di riferimento:

3.3.2.1 Scenario ALPHA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il torrente Ciuffenna;

3.3.2.2 Scenario BETA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il torrente Roviggiani;

3.3.2.3 Scenario GAMMA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche indotte da una piena in Arno.

### 3.3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato sono state valutate le condizioni al contorno di monte, in termini di idrogrammi in ingresso al modello idraulico, attraverso un'analisi idrologica condotta sulla base dei dati di ALTO2000 e sulla base di due modelli idraulici utilizzati per valutare gli effetti di laminazione indotti sul Ciuffenna dalla cassa di espansione in linea " La Penna" e sul Roviggiani dalla cassa di espansione in derivazione "Case Palazzetto". Nel seguito le suddette cassa sono denominate anche come "cassa Ciuffenna" e "cassa Roviggiani".

Le due opere di laminazione sono realizzate e collaudate pertanto, nell'ambito dell'aggiornamento della pericolosità idraulica dell'area di studio, devono essere debitamente valutati gli effetti di laminazione che tali opere generano sugli idrogrammi naturali dedotti da ALTO2000.

Per la valutazione degli idrogrammi di piena che costituiscono le immissioni nel modello idraulico per i tratti di monte del Ciuffenna e del Roviggiani, sono stati allestiti del modelli idraulici in ambiente Hec-Ras che sono stati tarati sulla base dei dati di progetto delle due opere.

Nell'ambito dell'analisi idrologica riportata di seguito sono valutati gli idrogrammi per ciascun scenario e per ciascun tempo di ritorno. Viene inoltre riportata la valutazione degli effetti di laminazione delle due opere.

### 3.3.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Nel modello idrologico-idraulico del sistema Ciuffenna la condizione al contorno di valle è rappresentata dai limnogrammi del fiume Arno in prossimità della confluenza del Ciuffenna. Nell'area oggetto di studio compresa tra il ponte della SP59 e la zona del casello autostradale sono presenti dei tombini che sotto attraversano l'Autostrada del Sole e consentono il deflusso del reticolo idrografico minore in Arno. Per quanto riguarda la modellazione idraulica dei tombini, come condizioni di valle, sono stati utilizzati i dati dei livelli in Arno (limnogrammi).

I limnogrammi per ciascun corso d'acqua e ciascun tombino sono stati ricavati tramite interpolazione spaziale tra i limnogrammi relativi alle due sezioni del fiume Arno immediatamente a monte e a valle di ciascuna immissione, per ciascun tempo di ritorno analizzato e per ciascuna durata critica analizzata. I limnogrammi utilizzati per la elaborazioni sopra descritte sono forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e rappresentano i risultati delle simulazioni del modello SIMI (SIT - Modellazione Idraulica). Questi sono forniti per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni e per durate delle precipitazioni di 3, 6, 9 ,12,18, 24, 36 ore.

Per gli scenari ALPHA e BETA, sono stati inseriti i limnogrammi per la durata di pioggia più simile a quello utilizzato per i due scenari (rispettivamente una durata di 6 ore nello scenario ALPHA e di 3 ore per lo scenario BETA) mentre per lo scenario GAMMA sono stati utilizzati i dati relativi alla durata di 18 ore.

### 3.3.5 ANALISI IDROLOGICA

Il sistema Ciuffenna-Roviggiani è stato suddiviso nei seguenti sottobacini:

1. Bacino Roviggiani: chiuso a monte della confluenza sul Ciuffenna;
2. Bacino Ciuffenna Monte (o "bacino di monte"): chiuso a monte della confluenza del Roviggiani;
3. Interbacino 1: chiuso in corrispondenza della confluenza del fosso Pernina;
4. Interbacino 2: chiuso 200 m a valle della passerella Paperina;
5. Bacino Ciuffenna Valle (o "bacino di valle"): chiuso alla confluenza in Arno.

Per ciascuno di questi sono stati calcolati i parametri morfologici ed idrologici e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per ciascuno scenario analizzato.

Si riportano di seguito i parametri morfologici ed idrologici utilizzati ed i risultati numerici ottenuti attraverso il codice di calcolo ALTO2000.

**Modello Ciuffenna - Parametri Morfologici e idrologici**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | | - | - | | - | |
| BACINO ROVIGGIANI | 7.619 | 14.278 | 1.162 | 2.581 | 0.451 | 19.561 | 0.268 | 0.16 | 18.985 | 0.359 | 0.219 |
| BACINO DI MONTE | 50.303 | 20.404 | 1.43 | 2.13 | 1.416 | 20.787 | 0.273 | 0.17 | 20.177 | 0.342 | 0.224 |
| INTERBACINO 1 | 1.404 | 19.746 | 1.438 | 2.148 | 1.429 | 20.627 | 0.272 | 0.17 | 20.023 | 0.344 | 0.223 |
| INTERBACINO 2 | 2.244 | 18.358 | 1.304 | 2.171 | 1.757 | 20.573 | 0.274 | 0.17 | 19.944 | 0.345 | 0.222 |
| BACINO DI VALLE | 2.800 | 18.919 | 1.361 | 2.163 | 1.558 | 20.57 | 0.272 | 0.17 | 19.967 | 0.345 | 0.223 |

**Tabella 6.** Modello idrologico sistema Ciuffenna - Parametri morfologici ed idrologici.

L'individuazione delle durate di pioggia che massimizzano il valore del colmo dell'onda di piena per un assegnato tempo di ritorno è stata effettuata attraverso il codice di calcolo ALTO2000.

Con riferimento agli accordi intercorsi con l'Istruttore dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno durante la stesura degli studi idraulici a supporto della variante al Regolamento Urbanistico e della "Proposta di modifica alle perimetrazioni di pericolosità idraulica nell'asta terminale del Ciuffenna" del 2009 redatta da Ing. Remo Chiarini, a titolo conservativo si è convenuto di valutare gli idrogrammi di piena relativi al contributo di ciascun interbacino adottando la durata critica di precipitazione del Ciuffenna relativa alla sezione immediatamente a monte della confluenza del borro Roviggiani (relativa quindi al "bacino di monte").

La tabella seguente riporta l'analisi delle durate critiche del sistema Ciuffenna.

## MODELLO CIUFFENNA
### ANALISI DURATE CRITICHE

### DURATE CRITICHE PER I VARI TRATTI FLUVIALI

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| BACINO ROVIGGIANI | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| BACINO DI MONTE | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| INTERBACINO 1 | 4.816 | 4.576 | 4.336 | 4.096 |
| INTERBACINO 2 | 5.636 | 5.396 | 5.156 | 4.916 |
| BACINO DI VALLE | 5.147 | 4.907 | 4.667 | 4.427 |
| | | | | |

### SCENARIO ALPHA - DURATE CRITICHE

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| BACINO ROVIGGIANI | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| BACINO DI MONTE | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| INTERBACINO 1 | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| INTERBACINO 2 | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| BACINO DI VALLE | 5.238 | 4.758 | 4.518 | 4.518 |
| | | | | |

### SCENARIO BETA - DURATE CRITICHE

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| BACINO ROVIGGIANI | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| BACINO DI MONTE | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| INTERBACINO 1 | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| INTERBACINO 2 | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| BACINO DI VALLE | 2 | 1.76 | 1.76 | 1.52 |
| | | | | |

### SCENARIO GAMMA - DURATE CRITICHE

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| BACINO ROVIGGIANI | 18 | 18 | 18 | 18 |
| BACINO DI MONTE | 18 | 18 | 18 | 18 |
| INTERBACINO 1 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| INTERBACINO 2 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| BACINO DI VALLE | 18 | 18 | 18 | 18 |
| | | | | |

**Tabella 7.** Modello idrologico sistema Ciuffenna – Analisi durate critiche.

## MODELLO CIUFFENNA

### PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO - RISULTATI ALTO 2000

### SCENARIO ALPHA - Dc critico CIUFFENNA MONTE

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| BACINO ROVIGGIANI | 500 | 4.518 | 127.236 | 106.331 | 28.162 | 0.973 | **55.59** |
| BACINO ROVIGGIANI | 200 | 4.518 | 104.103 | 83.824 | 23.042 | 0.973 | **45.04** |
| BACINO ROVIGGIANI | 100 | 4.758 | 91.118 | 70.974 | 19.151 | 0.973 | **37.12** |
| BACINO ROVIGGIANI | 30 | 5.238 | 72.457 | 52.361 | 13.833 | 0.974 | **26.25** |
| BACINO DI MONTE | 500 | 4.518 | 135.962 | 94.834 | 30.093 | 0.863 | **258.64** |
| BACINO DI MONTE | 200 | 4.518 | 110.734 | 73.064 | 24.509 | 0.863 | **202.79** |
| BACINO DI MONTE | 100 | 4.758 | 96.502 | 60.678 | 20.282 | 0.865 | **167.52** |
| BACINO DI MONTE | 30 | 5.238 | 76.153 | 42.772 | 14.539 | 0.868 | **117.71** |
| INTERBACINO 1 | 500 | 4.518 | 134.493 | 109.466 | 29.768 | 0.995 | **8.22** |
| INTERBACINO 1 | 200 | 4.518 | 109.638 | 84.732 | 24.267 | 0.995 | **6.47** |
| INTERBACINO 1 | 100 | 4.758 | 95.623 | 70.472 | 20.097 | 0.995 | **5.34** |
| INTERBACINO 1 | 30 | 5.238 | 75.565 | 49.88 | 14.426 | 0.995 | **3.76** |
| INTERBACINO 2 | 500 | 4.518 | 133.334 | 109.979 | 29.512 | 0.992 | **11.42** |
| INTERBACINO 2 | 200 | 4.518 | 108.792 | 85.629 | 24.08 | 0.992 | **8.99** |
| INTERBACINO 2 | 100 | 4.758 | 94.956 | 71.623 | 19.957 | 0.992 | **7.47** |
| INTERBACINO 2 | 30 | 5.238 | 75.136 | 51.395 | 14.344 | 0.993 | **5.33** |
| BACINO DI VALLE | 500 | 4.518 | 134.32 | 110.057 | 29.73 | 0.99 | **15.52** |
| BACINO DI VALLE | 200 | 4.518 | 109.496 | 85.474 | 24.236 | 0.99 | **12.21** |
| BACINO DI VALLE | 100 | 4.758 | 95.505 | 71.331 | 20.072 | 0.99 | **10.13** |
| BACINO DI VALLE | 30 | 5.238 | 75.478 | 50.918 | 14.41 | 0.991 | **7.18** |

### SCENARIO BETA - Dc critico ROVIGGIANI

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| BACINO ROVIGGIANI | 500 | 1.52 | 86.053 | 68.747 | 56.614 | 0.966 | **80.05** |
| BACINO ROVIGGIANI | 200 | 1.76 | 74.212 | 57.135 | 42.166 | 0.967 | **63.44** |
| BACINO ROVIGGIANI | 100 | 1.76 | 63.76 | 47.032 | 36.227 | 0.967 | **53.12** |
| BACINO ROVIGGIANI | 30 | 2 | 51.283 | 34.766 | 25.641 | 0.967 | **38.34** |
| BACINO DI MONTE | 500 | 1.52 | 93.673 | 58.238 | 61.627 | 0.824 | **195.60** |
| BACINO DI MONTE | 200 | 1.76 | 80.214 | 47.287 | 45.576 | 0.829 | **157.99** |
| BACINO DI MONTE | 100 | 1.76 | 68.679 | 37.726 | 39.022 | 0.829 | **126.46** |
| BACINO DI MONTE | 30 | 2 | 54.788 | 26.179 | 27.394 | 0.833 | **87.76** |
| INTERBACINO 1 | 500 | 1.52 | 92.46 | 71.506 | 60.829 | 0.994 | **6.59** |
| INTERBACINO 1 | 200 | 1.76 | 79.271 | 58.095 | 45.04 | 0.994 | **5.32** |
| INTERBACINO 1 | 100 | 1.76 | 67.918 | 46.811 | 38.59 | 0.994 | **4.31** |
| INTERBACINO 1 | 30 | 2 | 54.26 | 32.925 | 27.13 | 0.994 | **3.03** |
| INTERBACINO 2 | 500 | 1.52 | 91.563 | 71.923 | 60.239 | 0.99 | **8.62** |
| INTERBACINO 2 | 200 | 1.76 | 78.586 | 58.812 | 44.651 | 0.99 | **7.02** |
| INTERBACINO 2 | 100 | 1.76 | 67.377 | 47.712 | 38.283 | 0.99 | **5.71** |
| INTERBACINO 2 | 30 | 2 | 53.9 | 34.092 | 26.95 | 0.991 | **4.07** |
| BACINO DI VALLE | 500 | 1.52 | 92.24 | 71.862 | 60.684 | 0.988 | **12.10** |
| BACINO DI VALLE | 200 | 1.76 | 79.094 | 58.61 | 44.94 | 0.988 | **9.82** |
| BACINO DI VALLE | 100 | 1.76 | 67.766 | 47.419 | 38.504 | 0.988 | **7.97** |
| BACINO DI VALLE | 30 | 2 | 54.146 | 33.682 | 27.073 | 0.988 | **5.65** |

NOTA: LE PORTATE DI ROVIGGIANI E BACINO CIUFFENNA MONTE RIPORTATE IN TABELLA COSTITUISCINO LA CONDIZIONE DI MONTE CHE E' STATA APPLICATA AI MODELLI IDRAULICI DELLE RISPETTIVE CASSE DI LAMINAZIONE ESISTENTI (CASSA LA PENNA E CASSA ROVIGGIANI)

**Tabella 8.** Modello idrologico sistema Ciuffenna – Risultati modello idrologico ALTO 2000 - scenario ALPHA e BETA.

**MODELLO CIUFFENNA**

**PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO - RISULTATI ALTO 2000**

**SCENARIO GAMMA - Dc critico ARNO**

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| BACINO ROVIGGIANI | 500 | 18 | 208.991 | 173.851 | 11.611 | 0.982 | **21.95** |
| BACINO ROVIGGIANI | 200 | 18 | 170.993 | 136.536 | 9.5 | 0.982 | **17.56** |
| BACINO ROVIGGIANI | 100 | 18 | 146.911 | 112.886 | 8.162 | 0.982 | **14.78** |
| BACINO ROVIGGIANI | 30 | 18 | 112.861 | 79.447 | 6.27 | 0.982 | **10.84** |
| BACINO DI MONTE | 500 | 18 | 218.137 | 160.281 | 12.119 | 0.911 | **137.65** |
| BACINO DI MONTE | 200 | 18 | 177.66 | 123.388 | 9.87 | 0.911 | **109.01** |
| BACINO DI MONTE | 100 | 18 | 152.111 | 100.101 | 8.451 | 0.911 | **90.93** |
| BACINO DI MONTE | 30 | 18 | 116.154 | 67.328 | 6.453 | 0.911 | **65.47** |
| INTERBACINO 1 | 500 | 18 | 216.378 | 173.415 | 12.021 | 0.997 | **4.15** |
| INTERBACINO 1 | 200 | 18 | 176.39 | 133.553 | 9.799 | 0.997 | **3.29** |
| INTERBACINO 1 | 100 | 18 | 151.127 | 108.371 | 8.396 | 0.997 | **2.74** |
| INTERBACINO 1 | 30 | 18 | 115.542 | 72.898 | 6.419 | 0.997 | **1.98** |
| INTERBACINO 2 | 500 | 18 | 214.809 | 175.315 | 11.934 | 0.995 | **6.65** |
| INTERBACINO 2 | 200 | 18 | 175.271 | 135.977 | 9.737 | 0.995 | **5.29** |
| INTERBACINO 2 | 100 | 18 | 150.273 | 111.105 | 8.349 | 0.995 | **4.42** |
| INTERBACINO 2 | 30 | 18 | 115.028 | 76.038 | 6.39 | 0.995 | **3.21** |
| BACINO DI VALLE | 500 | 18 | 216.397 | 175.358 | 12.022 | 0.994 | **8.32** |
| BACINO DI VALLE | 200 | 18 | 176.405 | 135.617 | 9.8 | 0.994 | **6.60** |
| BACINO DI VALLE | 100 | 18 | 151.141 | 110.511 | 8.397 | 0.994 | **5.52** |
| BACINO DI VALLE | 30 | 18 | 115.553 | 75.147 | 6.42 | 0.994 | **3.99** |

NOTA: LE PORTATE DI ROVIGGIANI E BACINO CIUFFENNA MONTE RIPORTATE IN TABELLA COSTITUISCINO LA CONDIZIONE DI MONTE CHE E' STATA APPLICATA AI MODELLI IDRAULICI DELLE RISPETTIVE CASSE DI LAMINAZIONE ESISTENTI (CASSA LA PENNA E CASSA ROVIGGIANI)

**Tabella 9.** Modello idrologico sistema Ciuffenna – Risultati modello idrologico ALTO2000 - scenario GAMMA.

#### 3.3.5.1 CASSA DI ESPANSIONE CIUFFENNA

La cassa di espansione in linea sul torrente Ciuffenna ubicata a valle della località La Penna è un intervento strutturale realizzato dalla Provincia di Arezzo per la riduzione del rischio idraulico del centro abitato di Terranuova Bracciolini. Il progetto esecutivo e gli atti di collaudo sono stati acquisiti dagli scriventi al fine di poter allestire un modello idraulico capace di consentire la valutazione degli effetti di laminazione sugli idrogrammi di piena di riferimento.

Sulla base dei dati progettuali dell'opera (caratteristiche dei dispositivi di scarico di fondo e di superficie, curva di invaso e delle sezioni idrauliche relative al tratto di Ciuffenna immediatamente a valle dell'opera) è stato allestito un modello idraulico in ambiente Hec-Ras 4.1. Il modello è stato calibrato sui dati di progetto utilizzati dalla Provincia di Arezzo per poi essere utilizzato per la valutazione degli effetti di laminazione su gli idrogrammi di riferimento ricavati con ALTO 2000.

La cassa di espansione "La Penna" è stata realizzata con due diverse configurazioni della luce di fondo:

- Configurazione definitiva: luce di fondo con sezione a forma di segmento circolare con area complessiva disponibile per il deflusso pari a 29 mq;
- Configurazione provvisoria: luce di fondo con sezione a forma di segmento circolare con area complessiva disponibile per il deflusso pari a 20.36 mq, questa configurazione è realizzata attraverso l'installazione di due diaframmi;

La configurazione provvisoria è stata realizzata con lo scopo di contenere la portata in uscita dall'opera in attesa che siano realizzate le opere di sistemazione idraulica previsti nel tratto urbano del Ciuffenna nell'ambito del progetto di "Interventi di regimazione sul torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini" redatto dal Prof. Malesani.

La cassa di espansione è stata collaudata ed attualmente è presente lo scarico di fondo nella configurazione provvisoria. Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche principali dell'opera di laminazione.

**CARATTERISTICHE PRINCIPALI CASSA DI ESPANSIONE IN LINEA "LA PENNA"**
DATI DEL PROGETTO ESECUTIVO PROVINCIA DI AREZZO

| Quota sfioratore | Quota coronamento | Lunghezza sfioratore |
|---|---|---|
| [m slm] | [m slm] | [m] |
| 164.5 | 167.5 | 76 |
| **Quota intradosso luce di fondo** | **Area luce di fondo (configurazione definitiva)** | **Area luce di fondo (configurazione provvisoria)** |
| [m slm] | [mq] | [mq] |
| 154.5 | 29 | 20.36 |

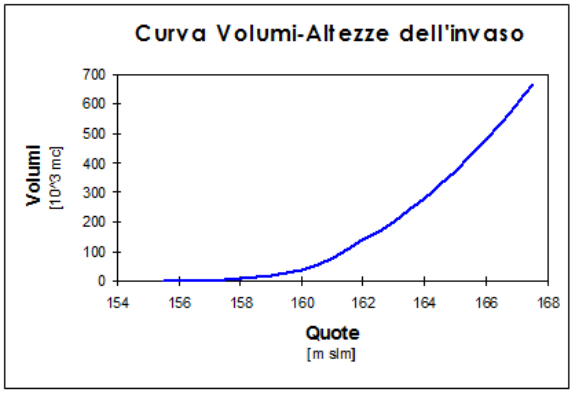



**Tabella 10.** Caratteristiche principali cassa espansione La Penna.

La calibrazione del modello è stata eseguita utilizzando gli idrogrammi in ingresso utilizzati dalla Provincia di Arezzo nella progettazione dell'opera. Si segnala che tali idrogrammi sono quelli ricavati dalle valutazioni di Prof. Malesani e, a parità di tempo di ritorno, differiscono da quelli ottenuti con ALTO 2000. Come già ampiamente segnalato nella relazione idraulica redatta da Ing. Chiarini nell'ambito della Variante al Regolamento Urbanistico anno 2009, gli idrogrammi di piena ottenuti con ALTO 2000 sono caratterizzati da una importante riduzione delle portate al colmo rispetto a quelli utilizzati da Prof. Malesani.

La calibrazione dei parametri del modello idraulico della cassa "La Penna" è stata effettuata utilizzando i parametri progettuali della Provincia di Arezzo per i tempi di ritorno di 200 e 1000 anni, di seguito si riporta l'idrogramma di piena in ingresso e gli idrogrammi in uscita (del progetto esecutivo della cassa e quelli ottenuti dal modello Hec-Ras). I grafici mostrano che gli idrogrammi in uscita ottenuti dal modello Hec-Ras sono sostanzialmente analoghi a quelli del progetto esecutivo; ciò dimostra l'essenziale attendibilità del modello idraulico utilizzato in questo studio.

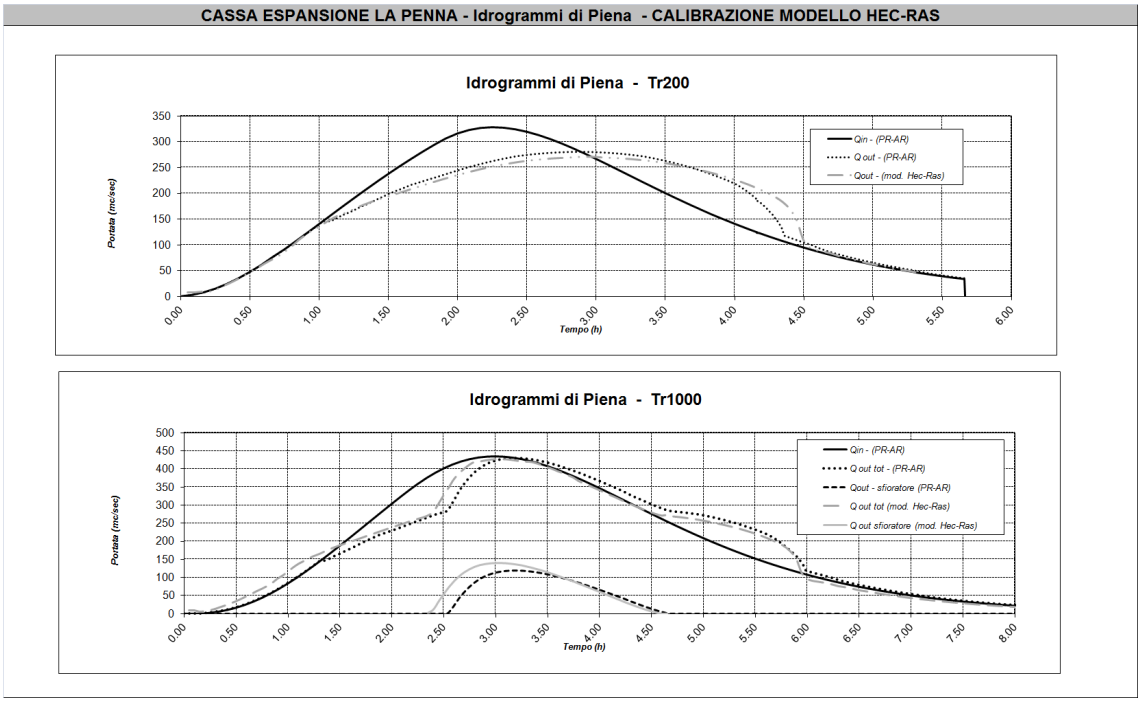



**Figura 8.** Cassa di espansione La Penna – Calibrazione modello idraulico.

**CASSA LA PENNA**

**CALIBRAZIONE MODELLO HEC-RAS - PROGETTO ESECUTIVO ( PROVINCIA DI AREZZO)**

Nota: la calibrazione del modello Hec-Ras è stata eseguita adottando l'idrogramma in ingresso utilizzato dalla Provincia di Arezzo

**SCENARIO TR200**

| PROGETTO ESECUTIVO PROVINCIA DI AREZZO (configurazione definitiva area luce 29mq) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Volume invaso max | Quota max invaso |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 328 | 281.27 | 0 | 324000 | 164.44 |
| | | | | |
| **MODELLO HEC-RAS (AREA LUCE TARATA 29MQ)** | | | | |
| Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Volume invaso max | Quota max invaso |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 328 | 271.47 | 0 | 318005 | 164.42 |
| | | | | |
| **DELTA** | | | | |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| - | -9.8 | - | -5995 | -0.02 |
| [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| - | -3.48% | - | -1.85% | -0.01% |

**SCENARIO TR1000**

| PROGETTO ESECUTIVO PROVINCIA DI AREZZO (configurazione definitiva area luce 29mq) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Volume invaso max | Quota max invaso |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 434.5 | 309.87 | 119.88 | 425643 | 165.49 |
| | | | | |
| **MODELLO HEC-RAS (AREA LUCE TARATA 29MQ)** | | | | |
| Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Volume invaso max | Quota max invaso |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 434.5 | 286.62 | 139.85 | 431730 | 165.55 |
| | | | | |
| **DELTA** | | | | |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| - | -23.25 | 19.97 | 6087 | 0.06 |
| [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| - | -7.50% | 16.66% | 1.43% | 0.04% |

**Tabella 11.** Cassa di espansione La Penna – Calibrazione modello idraulico.

Eseguita la calibrazione del modello idraulico della cassa di espansione sul Ciuffenna, allestito in ambiente Hec-Ras, sono stati valutati gli effetti di laminazione dei colmi di piena su gli idrogrammi determinati con ALTO 2000. I risultati, riportati in tabella seguente, sono stati utilizzati come condizione al contorno di monte (immissioni) del torrente Ciuffenna.

**CIUFFENNA - CASSA LA PENNA**

**RISULTATI MODELLAZIONE HEC-RAS PER I VARI SCENARI DI RIFERIMENTO**

CASSA DI ESPANSIONE LA PENNA- AREA LUCE ATTUALE 20.36 MQ

**SCENARIO ALPHA**

| TR | Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Portata max out (totale) | Volume invaso mx | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 258.54 | 195.59 | 52.71 | 248.30 | 379 690 | 165.05 |
| **200** | 202.66 | 177.46 | - | 177.46 | 236 610 | 163.45 |
| **100** | 167.47 | 154.62 | - | 154.62 | 117 200 | 161.69 |
| **30** | 117.68 | 116.38 | - | 116.38 | 21 630 | 159.21 |

**SCENARIO BETA**

| TR | Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Portata max out (totale) | Volume invaso mx | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 195.52 | 170.49 | - | 170.49 | 195 520 | 162.89 |
| **200** | 157.93 | 146.87 | - | 146.87 | 87 510 | 161.14 |
| **100** | 126.44 | 123.88 | - | 123.88 | 29 570 | 159.65 |
| **30** | 87.75 | 87.67 | - | 87.67 | 10 650 | 158.28 |

**SCENARIO GAMMA**

| TR | Portata max in | Portata max out (luce) | Portata max out (sfioratore) | Portata max out (totale) | Volume invaso mx | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 136.79 | 136.06 | - | 136.06 | 54 380 | 160.41 |
| **200** | 109.01 | 109.00 | - | 109.00 | 16 220 | 158.8 |
| **100** | 90.93 | 90.93 | - | 90.93 | 11 230 | 158.34 |
| **30** | 64.18 | 64.12 | - | 64.12 | 7 080 | 157.88 |

**Tabella 12.** Cassa di espansione La Penna –Risultati simulazioni idrauliche.

#### 3.3.5.2 CASSA DI ESPANSIONE ROVIGGIANI

La cassa di espansione sul torrente Roviggiani è una cassa in derivazione in sinistra idraulica ubicata in località "Il Palazzetto" a circa 700 metri a monte della confluenza tra il Roviggiani e il torrente Ciuffenna. L'opera è un intervento strutturale realizzato in conformità a quanto previsto dallo studio idrologico-idraulico redatto a supporto della variante urbanistica del Comune di Terranuova Bracciolini in adempimento all'"Accordo di programma tra la Regione Toscana, la Provincia di Arezzo ed i comuni di Terranuova Bracciolini e di Montevarchi per la realizzazione della viabilità sovracomunale e l'inserimento di nuove aree produttive". I dati utilizzati nel Progetto Esecutivo redatto per conto della FAST FASHION S.r.l. dallo studio dell'Ing. Remo Chiarini (Settembre 2002) e gli atti del collaudo eseguito il 14/05/2007 sono stati utilizzati per l'allestimento in un nuovo modello idraulico capace di consentire la valutazione degli effetti di laminazione sugli idrogrammi di piena.

In analogia alla calibrazione della cassa in linea sul torrente la Ciuffenna, è stato allestito un modello idraulico in ambiente Hec-Ras 4.1 inserendo i dati progettuali dell'opera utilizzati nello studio dell'Ing. Remo Chiarini: caratteristiche dei dispositivi di sfioro superficiale, di scarico di fondo e di emergenza, la curva di invaso e la geometria delle sezioni idrauliche relative al tratto del borro Roviggiani immediatamente a monte e valle della cassa in derivazione. La calibrazione è stata necessaria per stimare la bontà del modello allestito, per poi poterlo utilizzare per la valutazione degli effetti di laminazione sugli idrogrammi di riferimento ricavati con ALTO 2000 relativamente agli scenari analizzati.

La cassa di espansione in derivazione è stata collaudata ed attualmente in funzione. Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche principali dell'opera di laminazione.

**CARATTERISTICHE PRINCIPALI CASSA DI ESPANSIONE IN DERIVAZIONE SUL ROVIGGIANI**

DATI DEL PROGETTO ESECUTIVO

| Quota sfioratore | Quota coronamento | Lunghezza sfioratore |
|---|---|---|
| [m slm] | [m slm] | [m] |
| 160.05 | 161.6 | 9 |
| **Quota sfioratore di emergenza** | **Diametro tubazione di scarico** | **Quota tubazione di scarico** |
| [m] | [mq] | [mq] |
| 161.6 | 1 | 157.6 |

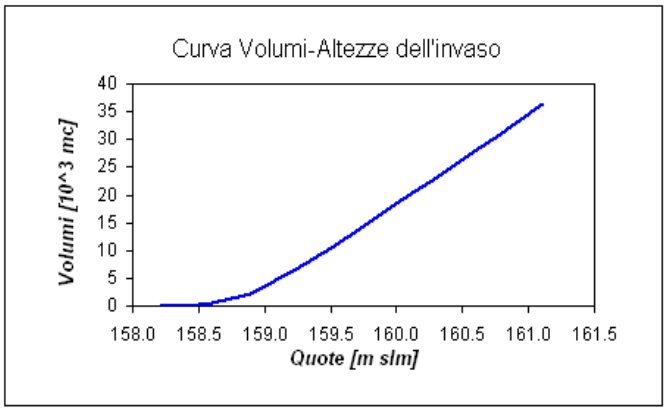



**Tabella 13.** Caratteristiche principali cassa espansione Roviggiani.

Per la calibrazione del modello sono stati utilizzati gli idrogrammi in ingresso calcolati con ALTO2000 considerando l'area del bacino imbrifero del Roviggiani pari a 10.21 kmq congruente con il progetto esecutivo redatto dall'Ing. Remo Chiarini.

La calibrazione dei parametri del modello idraulico della cassa è stata effettuata utilizzando i parametri progettuali desunti dal progetto esecutivo redatto dall'Ing. Chiarini per il tempo di ritorno di 200 anni, di seguito si riporta l'idrogramma di piena in ingresso e gli idrogrammi in uscita (del progetto esecutivo della cassa e quelli ottenuti dal modello Hec-Ras). I grafici mostrano che gli idrogrammi in uscita ottenuti dal modello Hec-Ras sono sostanzialmente congruenti a quelli del progetto esecutivo.

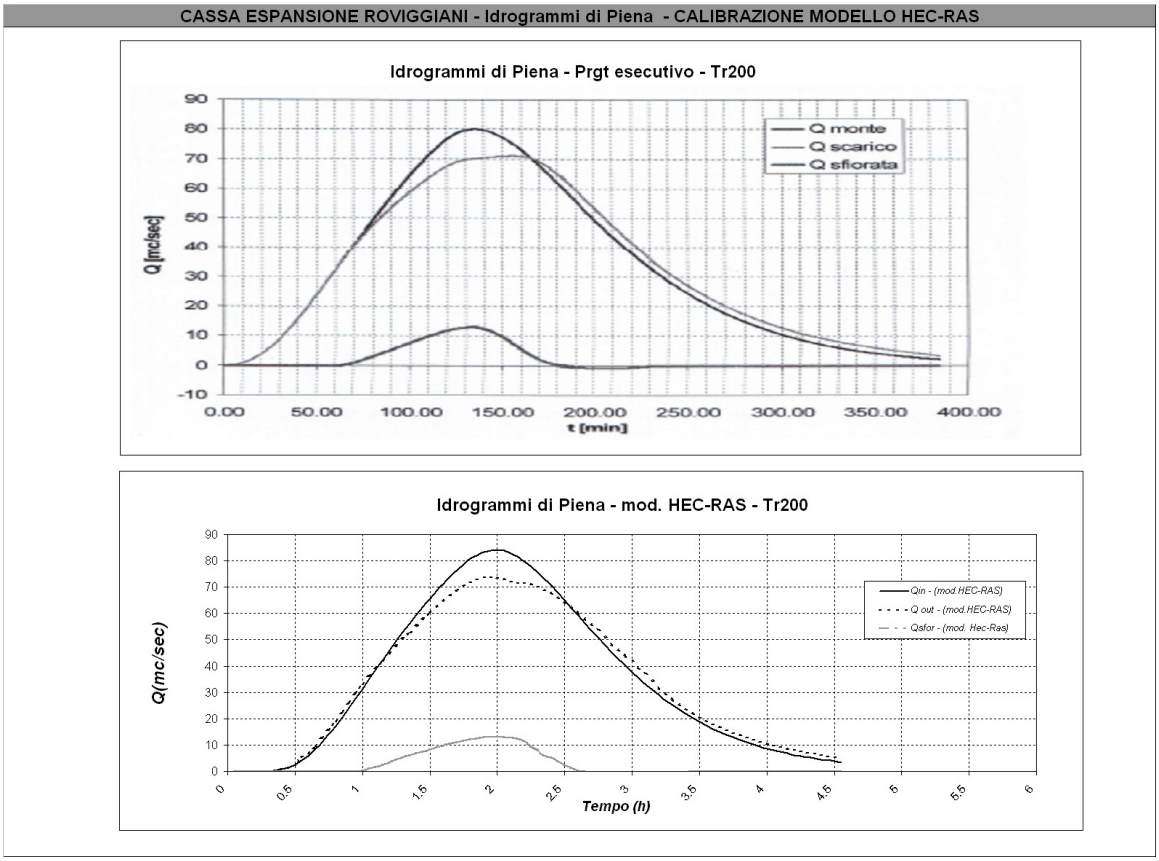



**Figura 9.** Cassa di espansione Roviggiani – Calibrazione modello idraulico.

Di seguito si riportano in tabella le variazioni percentuali dei dati in ingresso e in uscita dei due modelli. Come si vede i risultati sono del tutto analoghi: la portata a valle dell'opera di laminazione differisce di circa il 4% tra i due modelli e l'altezza di quota dell' invaso di 7 cm; ciò dimostra l'essenziale attendibilità del modello idraulico utilizzato in questo studio.

**CASSA ROVIGGIANI**
**CALIBRAZIONE MODELLO HEC-RAS - PROGETTO ESECUTIVO**

**Nota: la calibrazione del modello Hec-Ras è stata eseguita adottando l'idrogramma in ingresso calcolato con ALTO2000**

**SCENARIO TR200**

| PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Portata max in** | **Portata max out (scarico)** | **Portata max out (sfioratore di emergenza)** | **Volume invaso max** | **Quota max invaso** |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 80 | 71 | 0 | 33160 | 160.89 |
| | | | | |
| **MODELLO HEC-RAS** | | | | |
| **Portata max in** | **Portata max out (scarico)** | **Portata max out (sfioratore di emergenza)** | **Volume invaso max** | **Quota max invaso** |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| 83.992 | 73.79 | 0 | 33930 | 160.96 |
| | | | | |
| **DELTA** | | | | |
| [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| - | 2.79 | - | 770 | 0.07 |
| [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| 4.99% | 3.93% | - | 2.32% | 0.04% |

**Tabella 14.** Cassa di espansione Roviggiani – Calibrazione modello idraulico.

Verificata, attraverso la calibrazione, la bontà del modello idraulico della cassa di espansione sul Roviggiani, sono stati valutati gli effetti di laminazione sugli idrogrammi calcolati con AlTo2000 dagli scriventi nei vari scenari adottati per lo studio idraulico del sistema Ciuffenna-Roviggiani.

I risultati, riportati in tabella seguente, sono stati utilizzati come condizione al contorno di monte (immissioni) del borro Roviggiani.

**CIUFFENNA - CASSA ROVIGGIANI**
**RISULTATI MODELLAZIONE HEC-RAS PER I VARI SCENARI DI RIFERIMENTO**

**SCENARIO ALPHA**

| TR | Portata max in | Portata max out (Sez.17) | Portata max sfioratore | Portata max out (scarico) | Volume max invaso | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 55.58 | 54.28 | 5.82 | 2.9 | 28 600 | 160.63 |
| **200** | 45.04 | 43.88 | 3.27 | 2.02 | 13 810 | 159.71 |
| **100** | 37.11 | 36.58 | 1.45 | 0.99 | 5 060 | 159.11 |
| **30** | 26.25 | 26.25 | 0 | 0 | 0 | 158.2 |

**SCENARIO BETA**

| TR | Portata max in | Portata max out (Sez.17) | Portata max sfioratore | Portata max out (scarico) | Volume max invaso | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 80.06 | 70.57 | 12.02 | 3.02 | 31 000 | 160.78 |
| **200** | 63.43 | 57.68 | 7.82 | 2.42 | 19 830 | 160.09 |
| **100** | 53.05 | 49.09 | 5.23 | 1.8 | 11 380 | 159.56 |
| **30** | 38.33 | 37.08 | 1.71 | 0.62 | 2 530 | 158.9 |

**SCENARIO GAMMA**

| TR | Portata max in | Portata max out (Sez.17) | Portata max sfioratore | Portata max out (scarico) | Volume max invaso | Quota max invaso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc/s] | [mc] | [m slm] |
| **500** | 21.95 | 21.95 | - | - | 0 | 158.2 |
| **200** | 17.56 | 17.56 | - | - | 0 | 158.2 |
| **100** | 14.78 | 14.78 | - | - | 0 | 158.2 |
| **30** | 10.84 | 10.84 | - | - | 0 | 158.2 |

**Tabella 15.** Cassa di espansione Roviggiani –Risultati simulazioni idrauliche.

## 3.4 MODELLO IDRAULICO

### 3.4.1 MODELLO GEOMETRICO

Il modello geometrico utilizzato per la modellistica idraulica del sistema costituito dal torrente Ciuffenna e dal borro Roviggiani (denominato sistema Ciuffenna) è stato sviluppato come segue:

- Torrente Ciuffenna: la modellazione ha interessato un tratto lungo circa 5500m dalla confluenza in Arno verso monte utilizzando 147 sezioni trasversali;
- Borro Roviggiani: modellazione di un tratto di circa 480 metri dalla confluenza sul Ciuffenna sino alla cassa di espansione Roviggiani utilizzando 20 sezioni trasversali.

Per l'allestimento del modello geometrico sono state acquisite le sezioni del progetto definitivo "*Interventi di regimazione sul torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini*" (2003) e del successivo progetto esecutivo relativo al primo lotto (aprile 2004) redatti dal Prof. Malesani e dello studio idraulico a supporto della Variante al R.U.[1] del 2008 elaborato da Ing. Remo Chiarini, mentre per quanto riguarda il borro Roviggiani sono state utilizzate le sezioni del progetto esecutivo della cassa di espansione in loc. "Il Palazzetto" (anno 2002) e dello studio idraulico a supporto della Variante al R.U. del 2008 entrambi elaborati da Ing. Remo Chiarini.

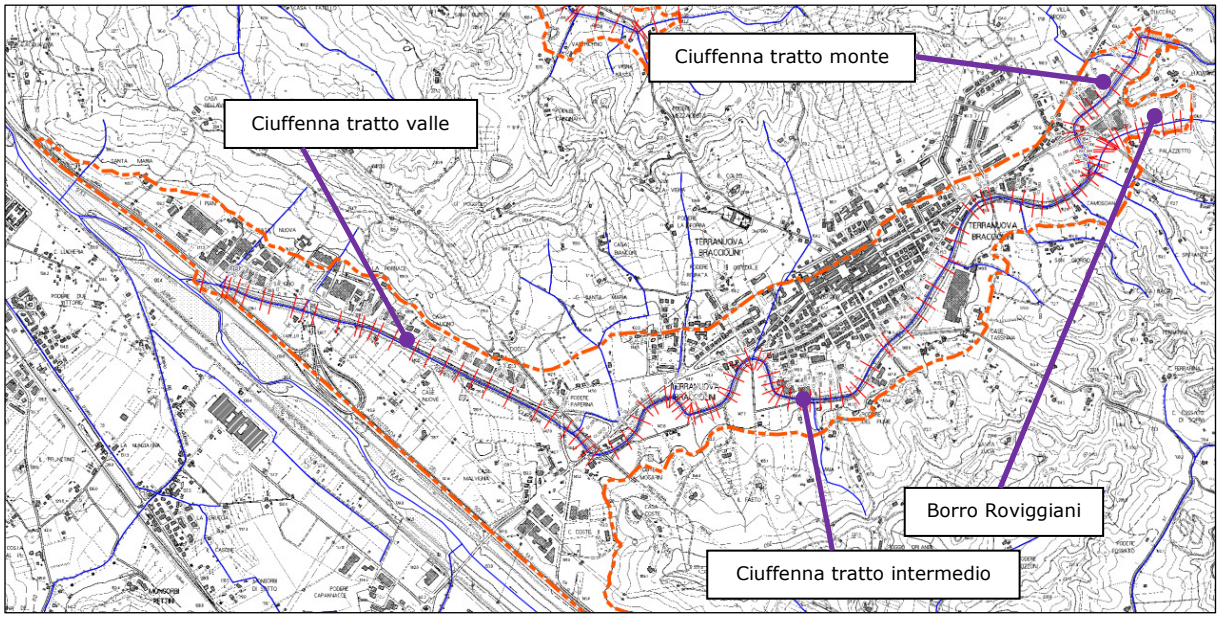



**Figura 10.** Estratto cartografico con individuazione dei corsi d'acqua analizzati e planimetria sezioni trasversali.

[1] Comune di Terranuova Bracciolini - Variante al Regolamento Urbanistico per la modifica delle aree a pericolosità idraulica ed attribuzione delle fattibilità ai sensi del D.P.G.R 27 Aprile 2007, n. 26/R – anno 2008.

Il modello idraulico è stato allestito con modalità di simulazione mista: monodimensionale (1D) all'interno dello sviluppo delle sezioni trasversali e (2D) nelle aree esterne sulle quali è stato definito un DTM sulla base dei dati LIDAR.

Per effettuare una modellazione idraulica corretta ed aggiornata del torrente Ciuffenna è stato necessario acquisire il quadro completo degli interventi di regimazione idraulica effettuati sul torrente e anche altri tipi di interventi che direttamente o indirettamente hanno interessato le aree a questo limitrofe condizionando di fatto la dinamica dei possibili allagamenti. Si tenga conto che lo studio di modellazione implementato nel presente lavoro, per l'analisi delle aree a pericolosità idraulica esterne all'alveo, si basa sui rilievi LIDAR (volo 2008) e quindi si dispone di un grado di dettaglio morfologico molto elevato. Si è proceduto comunque ad integrare i dati di base in funzione dei cambiamenti morfologici rilevanti successivi al volo del rilievo.

Dalle analisi dei documenti acquisiti e dai vari sopralluoghi effettuati è risultato necessario aggiornare il modello idraulico del Ciuffenna in relazione ai seguenti interventi effettuati negli ultimi anni[2]. Nel dettaglio, da monte verso valle:

1. Cassa di espansione sul torrente Ciuffenna, realizzata e collaudata in data 21/06/2010;
2. Realizzazione di alcuni interventi previsti nel progetto esecutivo lotto 1 Malesani[3]:
    a. Realizzazione della nuova passerella San Giorgio (Figura 11) ed adeguamento della sezione d'alveo che interessa un tratto di monte e di valle che si sviluppa per un totale di circa 150 metri tra le sezioni 080 e 077 (vedi tavole allegate TAV.IDR03 e IDR05);
    b. Rialzamento di alcuni muri in destra idraulica a protezione delle aree poste a tergo nei tratti tra le sezioni 077 e 076 e 074 e 070, nel tratto compreso tra la nuova passerella e il ponte alle Monache;
    c. Realizzazione del nuovo ponte alle Monache (Figura 12) ed adeguamento della sezione d'alveo che interessa un tratto di monte e di valle che si sviluppa per un totale di circa 210 metri tra le sezioni 068 e 065;

2 Per i dettagli progettuali si rimanda agli elaborati originali.

3 Il collaudo dei lavori inerenti il progetto esecutivo –lotto 1: Interventi di regimazione sul Torrente Ciuffenna per la riduzione del rischio idraulico dell'abitato di Terranuova Bracciolini – Legge 265/95 è stato approvato con Deliberazione di Giunta Comunale n.140 del 26/07/2011.

d. Realizzazione di arginature e muri per la delimitazione di due aree ad esondazione controllata ubicate in destra idraulica, una immediatamente a monte del ponte alle Monache e l'altra immediatamente a valle;
e. Interventi di protezione con muri in c.a. effettuati a valle del ponte delle monache sia in destra che sinistra idraulica tra le sezioni 062 e 058;
f. Adeguamento arginale e realizzazione di muretti in c.a. di protezione in destra e sinistra idraulica a monte del ponte Mocarini (Figura 13), tra le sezioni 029b e 028a;

3. Variante alla S.R. 69 da Levane a San Giovanni Valdarno con raccordo al casello Autosole – Progetto esecutivo: Demolizione e ricostruzione del ponte di accesso al casello dell'Autostrada A1 (Figura 14). La demolizione del ponte ha interessato un tratto di torrente compreso tra le sezioni 010 e 009. La realizzazione del nuovo attraversamento ha interessato un tratto di torrente più a valle in prossimità della sezione 007.

**Figura 11.** Foto Aerea – Intervento Passerella San Giorgio.

**Figura 12.** Foto Aerea – Intervento Ponte alle Monache.

**Figura 13.** Foto Aerea – Adeguamenti arginali e realizzazione muretti di protezione – ponte Mocarini.

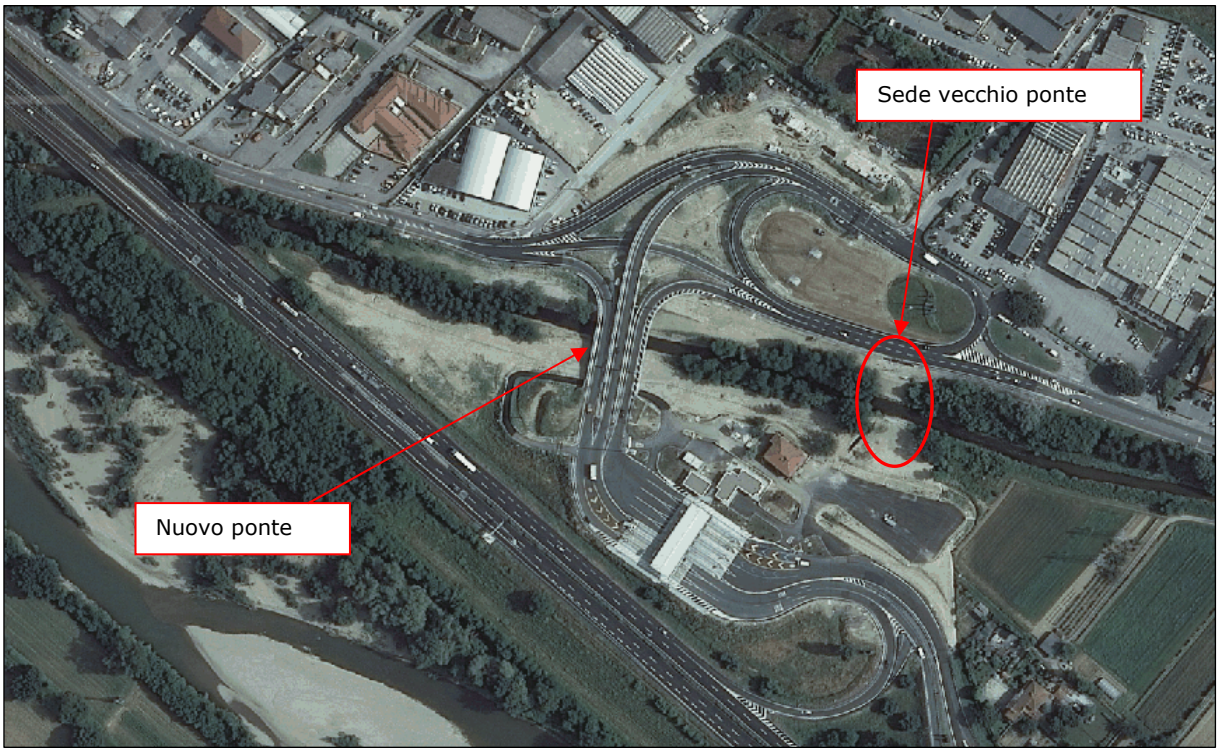



**Figura 14.** Foto Aerea – Demolizione e ricostruzione ponte casello.

Per implementare in maniera corretta il modello geometrico è stato necessario effettuare una campagna di rilievi per definire la consistenza di questi interventi. In particolare sono stati realizzati rilievi topografici e di dettaglio che hanno interessato: la passerella San Giorgio e tutta la sponda destra del Ciuffenna fino al ponte delle Monache, gli interventi di protezione con muri in c.a. effettuati a valle del ponte delle Monache, gli adeguamenti arginali a monte del ponte Mocarini e il nuovo ponte del casello autostradale. La modellazione del fornice presente in sinistra idraulica in corrispondenza del ponte SP 59 è stata effettuata in zona 2D con dati LIDAR.

I dati così ricavati sono stati utilizzati per la modellazione geometrica dello stato attuale del torrente Ciuffenna.

### 3.4.2 MODELLAZIONE ZONE 2D

La zona di studio modellata con simulazione bidimensionale (2D), ha un estensione di 256.30 ha (vedi allegato) che si estende sull'area di fondovalle ubicata in destra del fiume Arno dalla confluenza del Ciuffenna in Arno sino alla località Le Coste per poi interessare il centro abitato di Terranuova Bracciolini e raggiungere le zone a valle della cassa di espansione La Penna e Roviggiani.

E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 100 mq, dimensione minima 16 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.20 m.

E' stato necessario introdurre alcune strutture lineari per simulare la presenza di strutture murarie esistenti a protezione di alcuni edifici. Con questa procedura si riesce a simulare la dinamica dell'allagamento condizionata da queste discontinuità. Dove, durante i sopralluoghi, si sia verificata la presenza di aperture e/o collegamenti idraulici, come scarichi delle acque pluviali dei piazzali o simili, non muniti di valvole antiriflusso, si è considerata la struttura come trasparente.

Le principali strutture "muri" denominate in ICM "base linear structure 2D" inserite nel modello geometrico sono:

- muri di sponda in sx e dx idraulica del Ciuffenna a monte del ponte Mocarini (tratto tra sez CI_028.4 e CI_029b – Foto CI_01 e CI_02);
- muro in dx idraulica nel tratto in adiacenza al campo sportivo (tra sez. CI_056 e CI_062) realizzato con varie modalità esecutive (foto CI_03);
- muri perimetrali delle aree ad esondazione controllata poste in destra idraulica a monte e a valle del ponte alle Monache (tra sez CI_062 e CI_066 e tra sez CI_068 e CI_070);
- muro perimetrale stabilimento produttivo posto in sinistra idraulica tra le sezioni CI_068 e CI_074;
- muri in destra idraulica nel tratto compreso tra le sezioni CI_070 (area attrezzata campino) e CI_081 (posta a monte della passerella San Giorgio) queste strutture sono state realizzate con varie tipologie esecutive e, visto il loro fondamentale ruolo contro potenziali fronti di esondazione verso il centro abitato, sono state oggetto di un rilievo di dettaglio sia della loro consistenza sia, attraverso rilievo topografico, della quota del coronamento (Foto CI_04, CI_005 e CI_06).

I dati sulle quote di coronamento dei muri inseriti nel modello ICM sono stati ricavati da rilievi topografici di dettaglio con quote assolute solidali e congruenti ai dati topografici del progetto Malesani.

Nel modello sono stati inoltre riportati i tombini che sottoattraversano il rilevato autostradale. Le caratteristiche dei tombini sono riportate nel fascicolo allegato. La loro ubicazione planolatimetrica è stata ricavata da rilievi topografici di dettaglio solidali ai caposaldi installati nell'ambito della progettazione della Variante alla SR69 (a loro volta solidali ai caposaldi IGM).

Di seguito si riportano alcune fotografie dei principali muri spondali inseriti nel modello geometrico.

**Foto CI_01** Ponte Mocarini e muro in sx a monte dello stesso - vista verso valle

**Foto CI_02** Ciuffenna a monte del ponte Mocarini – muro spondale in dx idraulica - vista verso monte

**Foto CI_03** Strutture in dx alla sez CI_057 vista verso valle

**Foto CI_04** Strutture in dx alla sez CI_072 vista verso valle

**Foto CI_05** Muri di sponda in dx alla sez CI_075 - vista verso monte.

**Foto CI_06** Muri di sponda a valle della passerella S. Giorgio - vista verso monte

### 3.4.3 LAYOUT DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito si riportano alcuni estratti da ICM nei quali viene riportato il layout del modello idraulico sovrapposto alla ortofoto dove è possibile individuare i vari corsi d'acqua analizzati.

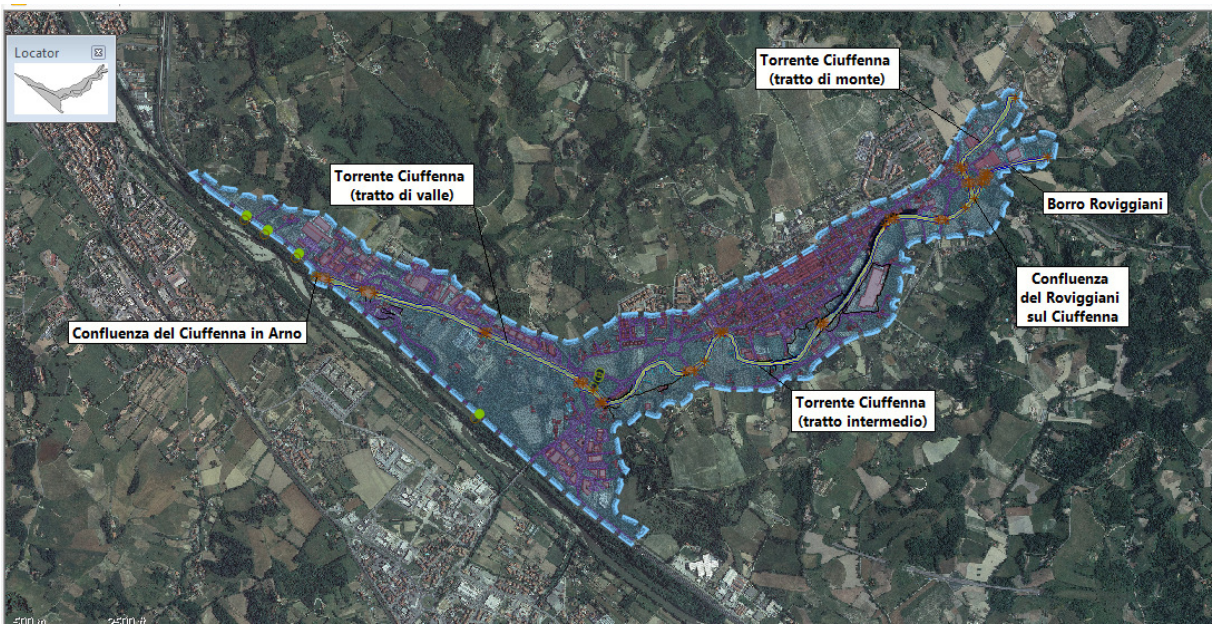



**Figura 15.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Sistema Ciuffenna.

### 3.4.4 COEFFICIENTI DI RESISTENZA AL MOTO

Per quanto riguarda i coefficienti di resistenza al moto (scabrezza), sulla base delle caratteristiche dei corsi d'acqua in esame ed in analogia a quanto eseguito in precedenti studi[4] sui corsi d'acqua in esame, abbiamo assunto per il deflusso in alveo (1D) un valore di coefficiente di Manning pari a 0.032 [$s/m^{1/3}$].

Per quanto riguarda le aree simulate in moto bidimensionale (2D) abbiamo assunto come rappresentativo un coefficiente di Manning pari a 0.025 [$s/m^{1/3}$].

All'interno dell'ambiente Infoworks ICM sono state inoltre definite aree a scabrezza differenziata nelle zone dove è presente viabilità asfaltata e che pertanto offrono una minore resistenza al moto. Per tali aree è stato adottato un Manning pari a 0.015 [$s/m^{1/3}$].

### 3.4.5 IMMISSIONI

I risultati dell'analisi idrologica, sono costituiti dagli idrogrammi di piena valutati per i vari tempi di ritorno e per i vari scenari analizzati.

In ambiente Infoworks ICM l'inserimento degli idrogrammi è effettuato attraverso la definizione delle immissioni su determinati nodi della rete. Gli idrogrammi relativi ai tratti di monte sono immessi nei rispettivi nodi di monte dei tratti fluviali. Gli idrogrammi relativi ai vari sottobacini analizzati per definire l'incremento delle portate lungo i corsi d'acqua sono invece inseriti in nodi intermedi della rete.

Di seguito si riporta l'elenco dei sottobacini e il nodo in cui è stata definita la relativa immissione nel modello ICM:

1. Bacino Roviggiani – nodo 40_ROVIGGIANIMONTE;
2. Bacino Ciuffenna Monte – nodo 01_CIUFFENNAMONTE;
3. Interbacino 1 - nodo 07_IMM_INTER1;
4. Interbacino 2 – nodo 12_IMM_INTER2;
5. Bacino Ciuffenna Valle – nodo 17_IMM_BAC_VALLE

[4] Studio idraulico per la "Proposta di modifica delle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica nel tratto terminale del torrente Ciuffenna" (anno 2007) e studio idraulico per la "Modifica delle aree a pericolosità idraulica ed attribuzione della fattibilità ai sensi del D.P.G.R. 27 Aprile 2007, n.26/R – Variante al Regolamento urbanistico" (anno 2007) entrambi redatti da Ing. Remo Chiarini ed approvati dagli enti competenti (Autorità di Bacino del Fiume Arno e Genio Civile).

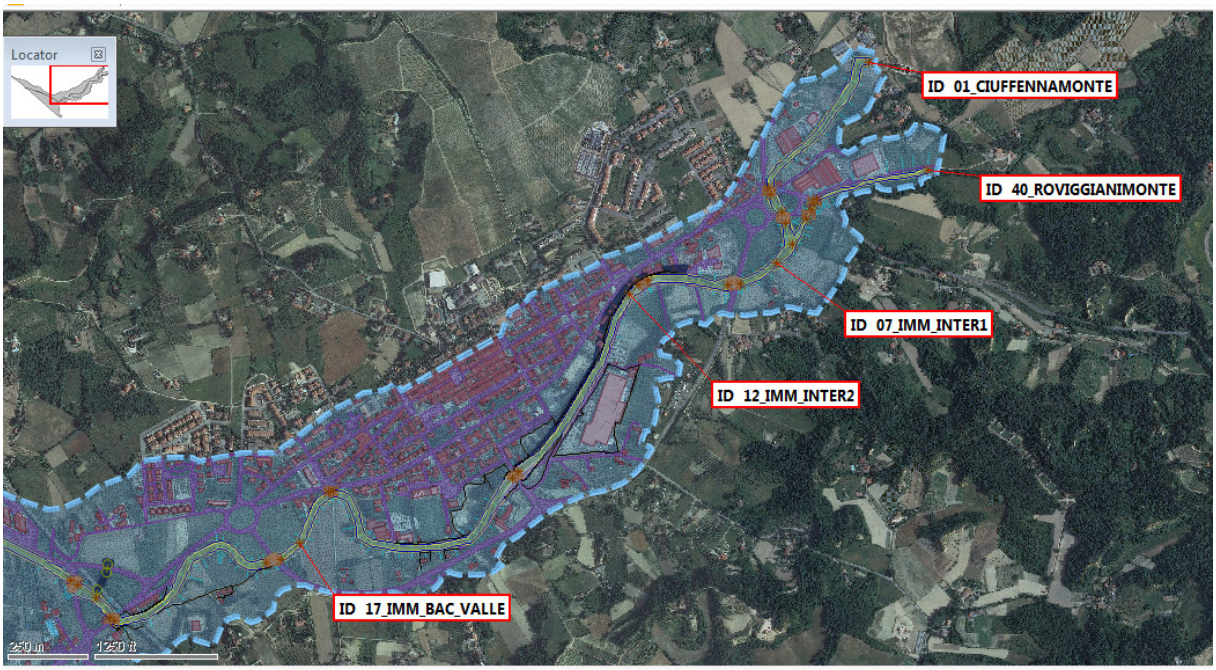



**Figura 16.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico - Immissioni. Sovrapposizione su ortofoto.

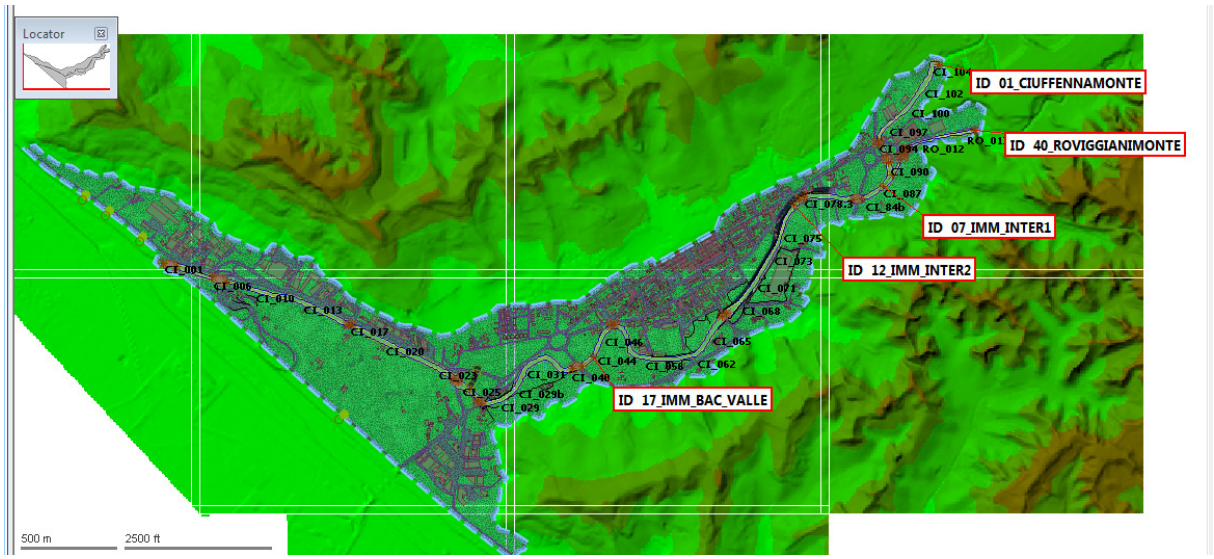



**Figura 17.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico - Immissioni. Sovrapposizione con modello LIDAR

## 3.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dal sistema idraulico Ciuffenna (composto dal torrente Ciuffenna e dal borro Roviggiani) sull'area indagata.

Di seguito si riportano le considerazioni sui risultati delle simulazioni idrauliche eseguite in moto vario con Infoworks ICM suddivise per i tempi di ritorno di riferimento (Tr=200 e Tr=30 anni).

Si precisa che, per tutti i tempi di ritorno valutati, lo scenario critico per il tratto di monte del Ciuffenna a monte del ponte Mocarini risulta essere lo scenario ALPHA mentre per il tratto a valle le maggiori criticità sono espresse dallo scenario GAMMA.

Per quanto riguarda il borro Roviggiani lo scenario critico risulta essete il BETA.

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati elaborati in modo grafico (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati e analisi dei battenti per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica P.I.4 e P.I.3) per la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica. Di seguito si riporta un estratto della tavola: "*Proposta di modifica della Carta delle aree a Pericolosità idraulica PAI*" a cui si rimanda per i dettagli (TAV.IDR13 – in giallo P.I.4, in arancione P.I.3, in celeste P.I.2 e in azzurro chiaro P.I.1).

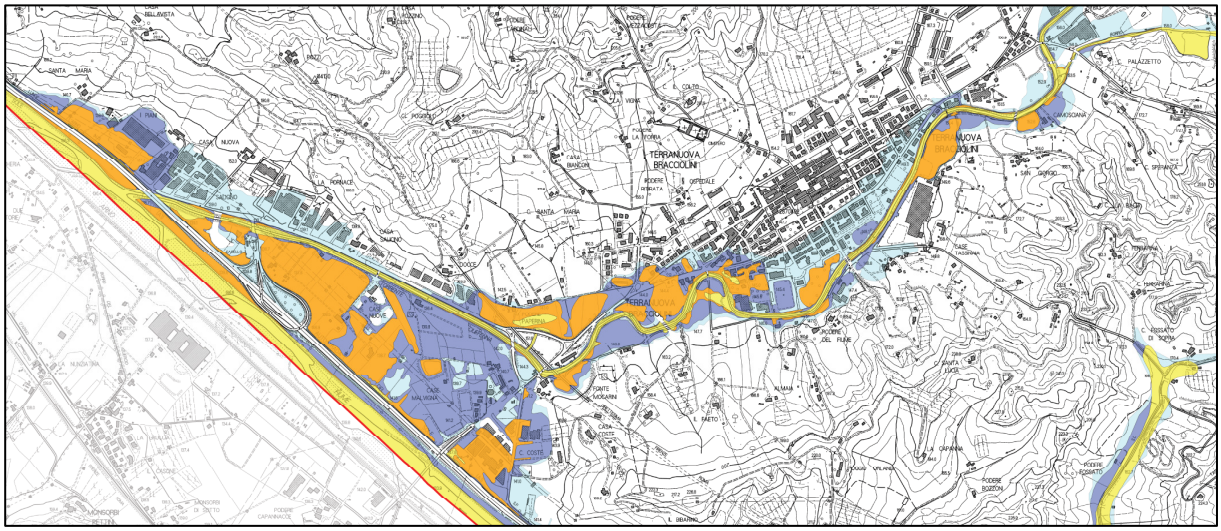



**Figura 18.** Estratto della Tavola: Proposta di modifica della Carta delle aree a pericolosità idraulica PAI

Di seguito si riporta la descrizione dei principali fornti di esondazione per i vari tempi di ritorno.

### 3.5.1 TEMPO DI RITORNO TRENTENNALE

Per Tr=30 anni si segnala la presenza di fronti di esondazione nel tratto compreso tra le sezioni trasversali CI_53 e CI_51 a monte della passerella Paperina in sinistra e destra idraulica ed allagamenti nella zona depressa ubicata in destra idraulica Ciuffenna in prossimità del viadotto Direttissima (zona Paperina). Si verificano inoltre fenomeni di allagamento delle aree prospicenti il Ciuffenna nel tratto terminale a monte della confluenza in Arno.

Di seguito si riporta un estratto di Infowoks ICM relativo ad alcune delle suddette zone.

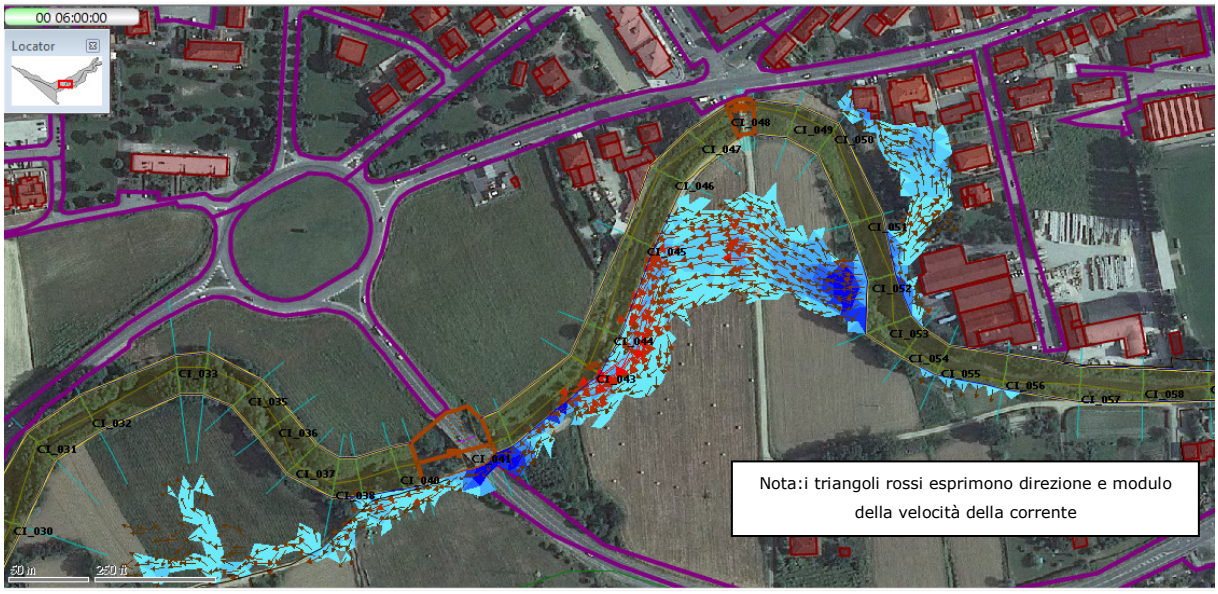



**Figura 19.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 istante simulazione 6:00h- Area Paperina.

### 3.5.2 TEMPO DI RITORNO DUECENTENNALE

Per quanto riguarda il deflusso delle piene duecentenarie, si verificano mulipli fronti di esondazione e le principali zone allagate sono:

- zona in sinistra idraulica del Ciuffenna tra le sezioni CI_088 e CI_070;
- zona in destra idraulica nel tratto a valle del ponte alle Monache sino all'area del viadotto della linea ferroviaria Direttissima (dalla sez. CI_060 alla sez CI_022);
- zona in sinistra idraulica nel tratto a valle del ponte alle Monache sino al ponte Mocarini (dalla sez. CI_066 alla sez CI_028a);
- aree poste in sinistra idraulica a valle del ponte Fespi sino al rilevato autostradale (dalla sez. CI_023 alla sez CI_002);
- aree poste a monte del rilevato autostradale nella zona a nord della confluenza del Ciuffenna in Arno.

Gli estesi e generalizzati allagamenti che si verificano lungo il Ciuffenna sono, in linea generale, causati da una insufficiente sezione idraulica dell'alveo, da alcune inadeguate opere di contenimento (muri di sponda) e dalla presenza di ponti con sezioni insufficiente (come ad esempio il ponte denominato passerella Paperina). Nelle zone a monte del rilevato autostradale risulta estremamente significativo il contributo all'allagamento indotto dalla presenza dei tombini sotto l'autostrada (riflusso dell'Arno). Si segnala inoltre che il tratto di Ciuffenna a monte della confluenza in Arno presenta, nello scenario GAMMA, fronti di esondazione principalmente in sinistra idraulica causati da fenomeni di rigurgito indotti dal transito della piena in Arno.

Le strutture di contenimento realizzate nell'ambito del lavori denominati "Lotto 1 Malesani" a monte del ponte Mocarini risultano idonee al contenimento dei tiranti idraulici duecentenari del Ciuffenna. La zona "Le Coste" non risulta essere interessata da esondazioni provenienti dal Ciuffenna. Si precisa che l'area "Le Coste" è stata simulata anche nel modello Valvigna tenendo conto della presenza dei tombini di sottoattraversamento del rilevato autostradale presente a monte del ponte sull'Arno della SP 59 "ponte di Terranuova": in tali simulazioni si evidenzano fenomeni di allagamento di questa zona causati dai riflusso delle piene dell'Arno attraverso i tombini. Tale fenomeno di riflusso non si verifica per la stradella di accesso all'area golenale dell'Arno denominata C1 per pochi cm di differenza tra il battente Tr200 Dc18 ore e la quota della coronella arginale.

Per quanto riguarda il borro di Roviggiani, anche nello scenario BETA, non genera fronti di esondazione che interessano il tessuto edificato.

Di seguito si riportano alcuni estratti di Infowoks ICM relativi ad alcune delle suddette zone.

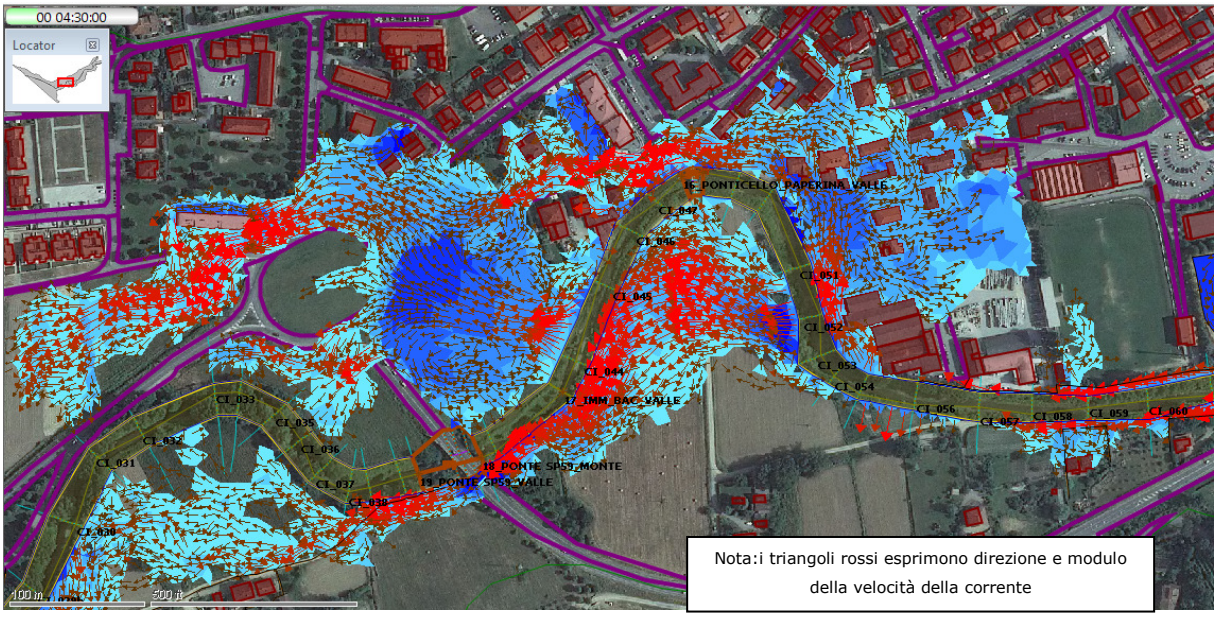



**Figura 20.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 istante simulazione 04:30h- Ciuffenna tratto zona Paperina.

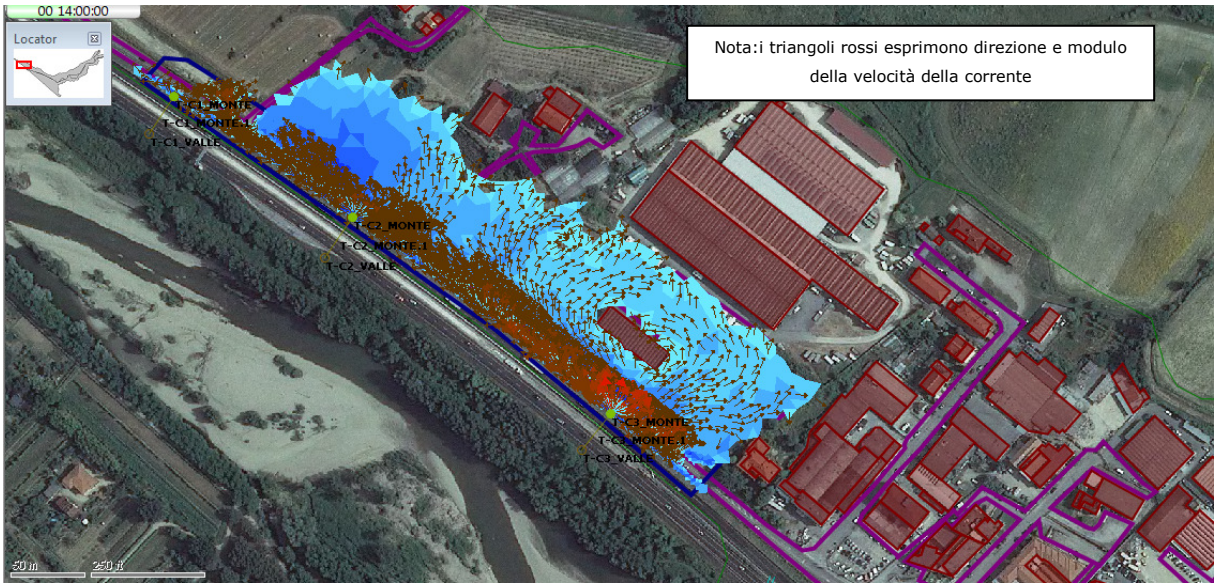



**Figura 21.** Estratto da ICM –Scenario GAMMA Tr200 istante simulazione 14:00h- Area a nord del Casello.

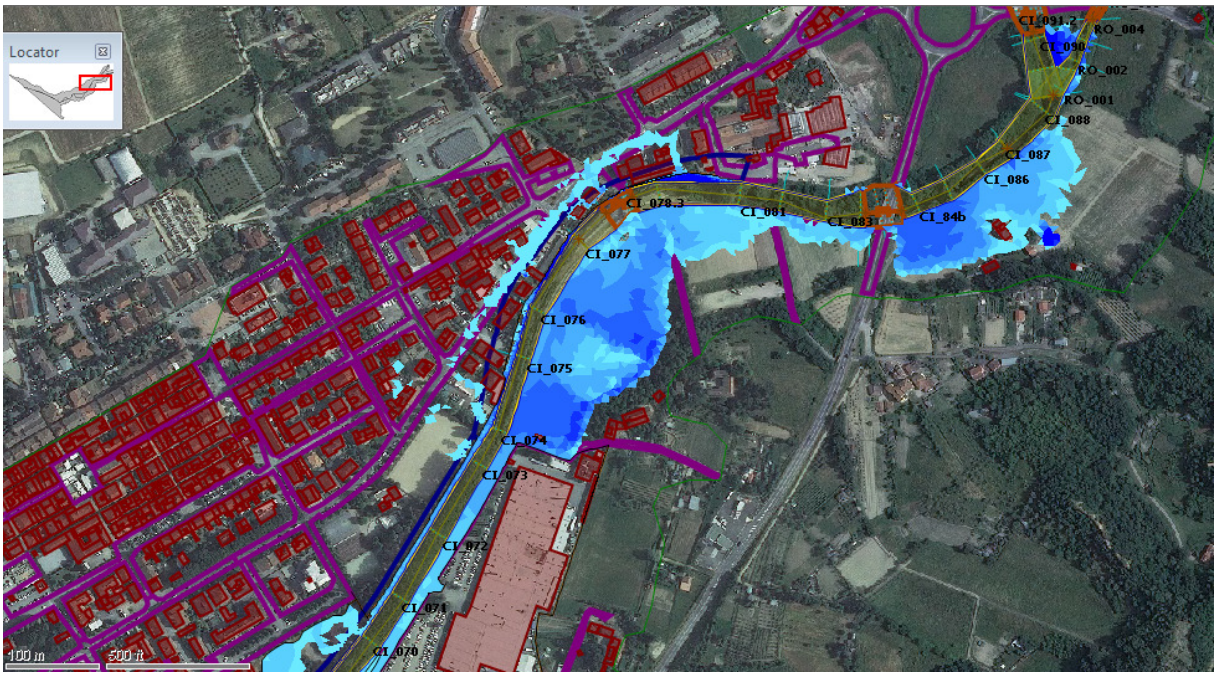



**Figura 22.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 Massimo allagamento – Zona Ciuffenna tratto di monte

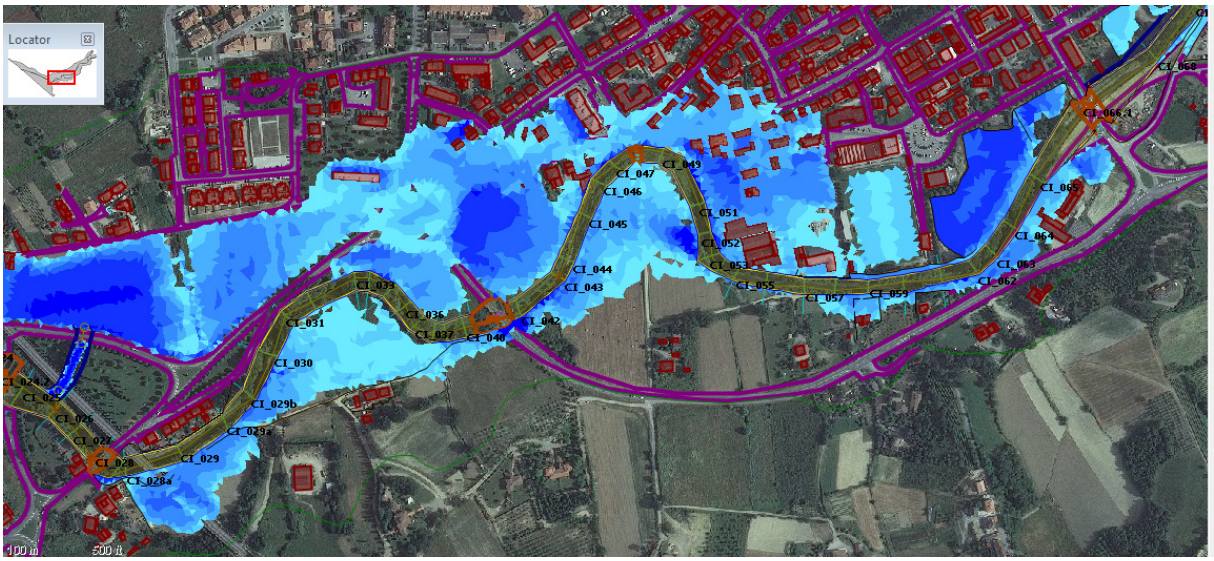



**Figura 23.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 Massimo allagamento – Zona Ciuffenna tratto intermedio

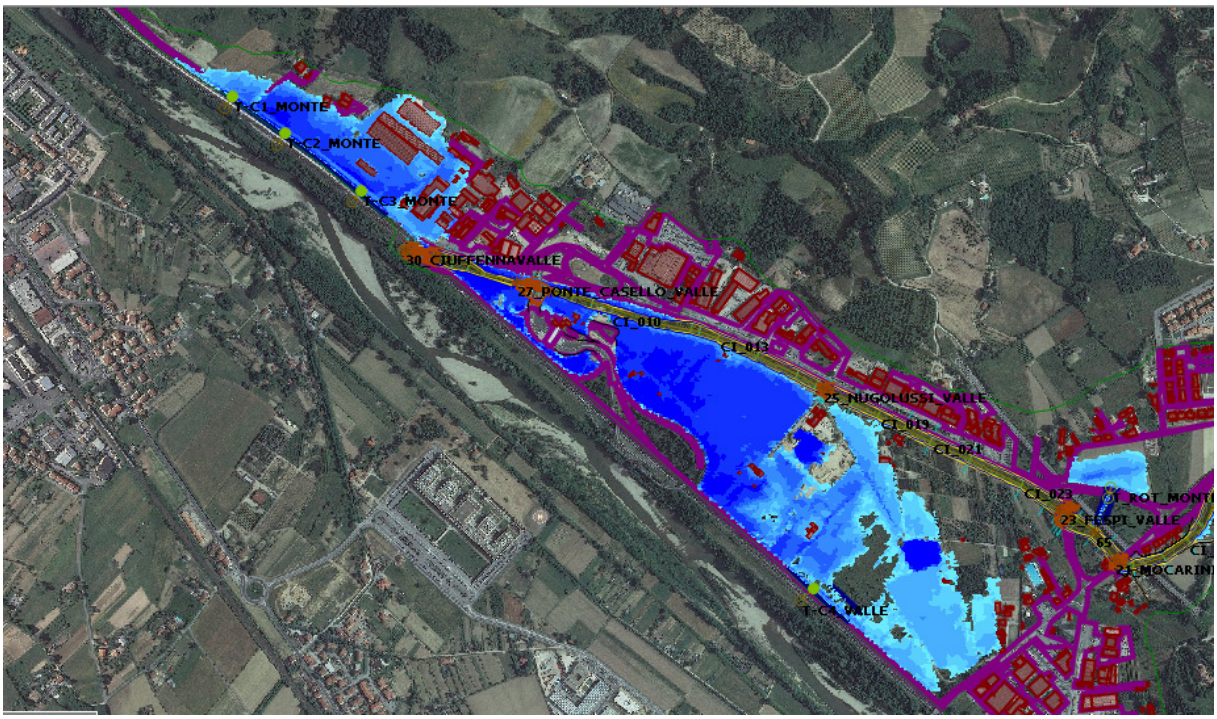



**Figura 24.** Estratto da ICM –Scenario GAMMA Tr200 Massimo allagamento – Zona Ciuffenna tratto di valle

# 4. SISTEMA VALVIGNA

## 4.1 INTRODUZIONE

La valutazione della pericolosità dell'area Valvigna, che si estende dalla località "Le Coste" sino al ponte del raccordo ferroviario LL-DD nei pressi del toponimo Case Bacchi, è stata eseguita attraverso uno studio idrologico-idraulico del tratto terminale del borro del Tasso e di un suo affluente denominato fosso Malvigna. Lo studio, oltre ai citati corsi d'acqua, riguarda anche due corsi d'acqua minori, il fosso Valvigna e il fosso San Lorenzo, ed i potenziali effetti causati dal transito di piene sul fiume Arno che scorre in adiacenza a tutta l'area Valvigna a valle del rilevato dell'autostrada del Sole. In seguito, l'insieme dei corsi d'acqua analizzati viene denominato anche sistema Valvigna.

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto dello studio si estende dalla località Le Coste alla località Case Bacchi lungo una direttrice nord-ovest sud-est, nel territorio compreso tra l'Autostrada del Sole (A1) e lo spartiacque costituito dai rilievi collinari a tergo dell'autostrada.

L'area in oggetto è attraversata da un corso d'acqua significativo, il borro del Tasso, e da altri corsi d'acqua con minore sviluppo areale denominati fosso Valvigna e fosso San Lorenzo . In questa zona tutti i deflussi scorrono in direzione perpendicolare rispetto all'Autostrada e confluiscono in Arno attraverso una serie di tombini ubicati sotto il rilevato autostradale.

Lo studio della morfologia dei bacini imbriferi è stato condotto utilizzando la cartografia tecnica regionale (CTR) in scala 1:2.000 e 1:10000.

Il bacino imbrifero del borro del Tasso, chiuso alla confluenza in Arno, ha un'area di 3.375 kmq e si estende nell'area a sud di Terranuova Bracciolini sino ai rilievi collinari posti a nord della località Tasso. La quota massima del bacino è di 252 m slm mentre la quota in corrispondenza della confluenza in Arno è di 144 m slm. Circa 430 metri a monte della confluenza in Arno riceve i deflussi provenienti dal corso d'acqua (affluente destro), denominato fosso Malvigna che ha un bacino imbrifero di 1.09 kmq.

Il corso d'acqua che scorre a monte dell'area produttiva Valvigna ed a nord-ovest del borro del Tasso viene denominato fosso Valvigna ed ha un bacino che si estende fino alla località Poggio Orlandi con un'estensione areale di 0.287 kmq. La quota massima del bacino è di 220 m slm mentre la quota in corrispondenza della confluenza in Arno è di 144 m slm. Questo corso d'acqua scorre a cielo aperto fino ad un pozzetto ubicato a monte dell'area produttiva Valvigna (presso la 2° strada lungarno) per poi raggiungere l'Arno all'interno di un tombino.

Il bacino imbrifero del fosso San Lorenzo è ubicato a sud-est del borro del Tasso e si sviluppa dai rilievi collinari limitrofi al toponimo Casa San Lorenzo sino a raggiungere la località Podere Bacchi e confluire in Arno per un'estensione areale di 0.36 kmq. La quota massima del bacino è di 230 m slm mentre la quota in corrispondenza della confluenza in Arno è di 146 m slm.

Il modello idraulico del sistema Valvigna è stato allestito inserendo i tombini che sotto attraversano l'autostrada e che consentono i deflussi del reticolo idrografico minore dell'area compresa tra l'autostrada e i prospicienti rilievi collinari. Poiché in questa area di studio il rilevato autostradale costituisce l'arginatura in destra idraulica dell'Arno, la presenza dei tombini di scolo (che sotto attraversano il rilevato) costituisce un potenziale fronte di allagamento nel caso in cui i livelli di piena in Arno superino le quote di scorrimento dei tombini, generando un riflusso dalla zona golenale all'area di studio posta a monte dell'autostrada. La modellazione dei tombini consente di valutare il rischio indotto dai fenomeni di riflusso delle piene dell'Arno attraverso questi collegamenti idraulici.

## 4.3 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 4.3.1 PARAMETRI UTILIZZATI

La stima delle portate al colmo è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana); tale metodologia è già stata esposta nei paragrafi precedenti e vi si rimanda per ulteriori dettagli.

### 4.3.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Nel sistema idraulico Valvigna sono stati analizzati più scenari critici per valutare le diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette, in fase di modellazione idraulica, di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

Nel caso in esame è stato necessario definire tre scenari di riferimento:

- Scenario ALPHA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il corso d'acqua analizzato (borro del Tasso, fosso Valvigna e fosso San Lorenzo);
- Scenario BETA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critico per l'affluente più rilevante del corso d'acqua analizzato (fosso Malvigna);
- Scenario GAMMA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche indotte da una piena in Arno.

### 4.3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato è stata calcolata la durata di pioggia critica che massimizza l'afflusso del relativo corso d'acqua e in funzione di questa sono stati calcolati i relativi idrogrammi di piena per ciascun tributario analizzato. Per lo scenario GAMMA la durata di pioggia è stata imposta pari a 18 ore, essendo questo il tempo di pioggia che massimizza i deflussi nel tratto di fiume Arno che interessa il territorio di Terranuova Bracciolini.

Gli idrogrammi così ottenuti rappresentano la condizione al contorno di monte (immissioni).

### 4.3.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Nel modello idrologico-idraulico del sistema Valvigna la condizione al contorno di valle è rappresentata dai limnogrammi del fiume Arno in prossimità dell'immissione dei corsi d'acqua analizzati ed in corrispondenza dei tombini che sotto attraversano l'autostrada.

I limnogrammi per ciascun corso d'acqua e ciascun tombino sono stati ricavati tramite interpolazione spaziale tra i limnogrammi relativi alle due sezioni del fiume Arno immediatamente a monte e a valle di ciascuna confluenza (immissioni di corsi d'acqua e di tombini), per ciascun tempo di ritorno analizzato e per ciascuna durata critica analizzata. I limnogrammi utilizzati per la elaborazioni sopra descritte sono forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e rappresentano i risultati delle simulazioni del modello SIMI (SIT - Modellazione Idraulica). Questi sono forniti per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni e per durate delle precipitazioni di 3, 6, 9,12,18, 24, 36 ore.

Per gli scenari ALPHA e BETA, sono stati inseriti i limnogrammi la cui durata di pioggia è più simile a quello utilizzato per i due scenari (in questo caso i dati relativi alla durata di pioggia in Arno pari a 3 ore) mentre per lo scenario GAMMA sono stati utilizzati i dati relativi alla durata di 18 ore.

### 4.3.5 ANALISI IDROLOGICA

La modellazione idrologica del sistema Valvigna è stata effettuata attraverso lo studio dei seguenti bacini/sottobacini:

- Bacino del borro del Tasso che a sua volta è suddiviso tra:
  - borro del Tasso monte (bacino chiuso a monte dell'immissione del fosso Malvigna presso il toponimo Malvigna Bassa);
  - fosso Malvigna (bacino chiuso alla confluenza sul Tasso);
  - borro del Tasso valle (interbacino chiuso alla confluenza in Arno);
- Bacino fosso Valvigna;
- Bacino fosso San Lorenzo.

Per ciascuno di questi sono stati valutati i parametri morfologici ed idrologici desunti dal database di AlTo2000 e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per ciascuno scenario analizzato. I parametri morfologici del bacino San Lorenzo e fosso Valvigna, entrambi caratterizzati da estensioni areali limitate, sono stati valutati con un'analisi specifica riportata nel fascicolo allegato.

Si riportano di seguito i parametri morfologici ed idrologici utilizzati, l'analisi delle durate critiche dei corsi d'acqua ed i risultati numerici ottenuti attraverso il codice di calcolo AlTo2000.

**Sistema Valvigna - Parametri Morfologici e idrologici**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | | - | - | | - | |
| TASSO MONTE | 2.203 | 5.744 | 0.517 | 2.261 | 0.305 | 21.245 | 0.317 | 0.16 | 21.078 | 0.304 | 0.21 |
| FOSSO MALVIGNA | 1.090 | 5.3 | 0 | 1.671 | 0.272 | 20.234 | 0.277 | 0.16 | 20.083 | 0.317 | 0.211 |
| TASSO VALLE | 0.082 | 5.654 | 0.332 | 2.238 | 0.378 | 20.112 | 0.297 | 0.16 | 19.579 | 0.347 | 0.22 |
| FOSSO VALVIGNA | 0.287 | 14.617 | 0.747 | 2.5 | 0.069 | 26.298 | 0.516 | 0.14 | 26.056 | 0.238 | 0.204 |
| FOSSO SAN LORENZO | 0.360 | 13.22 | 0.719 | 2.5 | 0.093 | 26.298 | 0.516 | 0.14 | 26.056 | 0.238 | 0.204 |

**Tabella 16.** Modello idrologico sistema Valvigna - Parametri morfologici ed idrologici.

## SISTEMA VALVIGNA
### ANALISI DURATE CRITICHE

**DURATE CRITICHE PER I VARI TRATTI FLUVIALI**

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| TASSO MONTE | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |
| FOSSO MALVIGNA | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| TASSO VALLE | 1.171 | 1.171 | 1.171 | 1.171 |
| FOSSO VALVIGNA | 0.67 | 0.67 | 0.47 | 0.576 |
| FOSSO SAN LORENZO | 0.496 | 0.736 | 0.736 | 0.761 |

**SCENARIO ALPHA - DURATE CRITICHE**

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| TASSO MONTE | 1.171 | 1.171 | 1.171 | 1.171 |
| FOSSO MALVIGNA | 1.171 | 1.171 | 1.171 | 1.171 |
| TASSO VALLE | 1.171 | 1.171 | 1.171 | 1.171 |
| FOSSO VALVIGNA | 0.67 | 0.67 | 0.47 | 0.576 |
| FOSSO SAN LORENZO | 0.496 | 0.736 | 0.736 | 0.761 |

**SCENARIO BETA - DURATE CRITICHE**

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| TASSO MONTE | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| FOSSO MALVIGNA | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| TASSO VALLE | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| FOSSO VALVIGNA | - | - | - | - |
| FOSSO SAN LORENZO | - | - | - | - |

**SCENARIO GAMMA - DURATE CRITICHE**

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| TASSO MONTE | 18 | 18 | 18 | 18 |
| FOSSO MALVIGNA | 18 | 18 | 18 | 18 |
| TASSO VALLE | 18 | 18 | 18 | 18 |
| FOSSO VALVIGNA | 18 | 18 | 18 | 18 |
| FOSSO SAN LORENZO | 18 | 18 | 18 | 18 |

**Tabella 17.** Modello idrologico sistema Valvigna – Analisi durate critiche.

**SISTEMA VALVIGNA**

**PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO**

**SCENARIO ALPHA**

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| TASSO MONTE | 500 | 1.171 | 60.37 | 53.932 | 51.555 | 0.990 | **25.833** |
| TASSO MONTE | 200 | 1.171 | 52.138 | 45.776 | 44.524 | 0.990 | **21.927** |
| TASSO MONTE | 100 | 1.171 | 46.665 | 40.357 | 39.85 | 0.990 | **19.44** |
| TASSO MONTE | 30 | 1.171 | 38.488 | 32.262 | 32.868 | 0.990 | **15.726** |
| FOSSO MALVIGNA | 500 | 1.171 | 78.351 | 73.018 | 66.909 | 0.995 | **18.912** |
| FOSSO MALVIGNA | 200 | 1.171 | 64.577 | 59.314 | 55.147 | 0.995 | **15.503** |
| FOSSO MALVIGNA | 100 | 1.171 | 55.791 | 50.573 | 47.644 | 0.995 | **13.346** |
| FOSSO MALVIGNA | 30 | 1.171 | 43.275 | 38.121 | 36.955 | 0.995 | **10.258** |
| TASSO VALLE | 500 | 1.171 | 81.162 | 75.31 | 69.31 | 1.000 | **1.191** |
| TASSO VALLE | 200 | 1.171 | 66.336 | 60.487 | 56.67 | 1.000 | **0.962** |
| TASSO VALLE | 100 | 1.171 | 56.954 | 51.108 | 48.655 | 1.000 | **0.818** |
| TASSO VALLE | 30 | 1.171 | 43.701 | 37.86 | 37.333 | 1.000 | **0.614** |
| FOSSO VALVIGNA | 500 | 0.67 | 51.045 | 36.596 | 76.214 | 0.999 | **6.161** |
| FOSSO VALVIGNA | 200 | 0.67 | 44.899 | 30.459 | 67.039 | 0.999 | **5.362** |
| FOSSO VALVIGNA | 100 | 0.47 | 33.926 | 19.666 | 72.245 | 0.999 | **4.956** |
| FOSSO VALVIGNA | 30 | 0.576 | 31.854 | 17.513 | 55.287 | 0.999 | **3.893** |
| FOSSO SAN LORENZO | 500 | 0.496 | 43.705 | 30.713 | 88.16 | 0.998 | **7.172** |
| FOSSO SAN LORENZO | 200 | 0.736 | 47.13 | 33.975 | 64.057 | 0.998 | **6.206** |
| FOSSO SAN LORENZO | 100 | 0.736 | 42.772 | 29.623 | 58.133 | 0.998 | **5.586** |
| FOSSO SAN LORENZO | 30 | 0.761 | 36.78 | 23.641 | 48.31 | 0.999 | **4.503** |

**SCENARIO BETA**

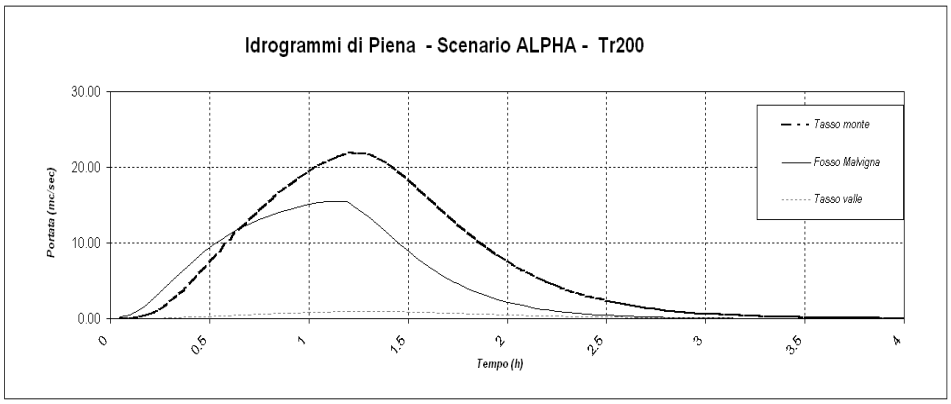
| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| TASSO MONTE | 500 | 0.74 | 52.196 | 45.992 | 70.535 | 0.989 | **26.483** |
| TASSO MONTE | 200 | 0.74 | 45.078 | 38.951 | 60.917 | 0.989 | **22.536** |
| TASSO MONTE | 100 | 0.74 | 40.346 | 34.27 | 54.522 | 0.989 | **19.912** |
| TASSO MONTE | 30 | 0.74 | 33.277 | 27.276 | 44.969 | 0.989 | **15.993** |
| FOSSO MALVIGNA | 500 | 0.74 | 67.742 | 62.433 | 91.543 | 0.994 | **21.801** |
| FOSSO MALVIGNA | 200 | 0.74 | 55.832 | 50.59 | 75.453 | 0.994 | **17.886** |
| FOSSO MALVIGNA | 100 | 0.74 | 48.236 | 43.035 | 65.187 | 0.994 | **15.32** |
| FOSSO MALVIGNA | 30 | 0.74 | 37.415 | 32.274 | 50.563 | 0.994 | **11.665** |
| TASSO VALLE | 500 | 0.74 | 69.213 | 63.497 | 93.531 | 1 | **1.154** |
| TASSO VALLE | 200 | 0.74 | 56.577 | 50.867 | 76.456 | 1 | **0.928** |
| TASSO VALLE | 100 | 0.74 | 48.575 | 42.868 | 65.642 | 1 | **0.785** |
| TASSO VALLE | 30 | 0.74 | 37.272 | 31.57 | 50.367 | 1 | **0.582** |
| FOSSO VALVIGNA | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO VALVIGNA | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO VALVIGNA | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO VALVIGNA | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO SAN LORENZO | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO SAN LORENZO | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO SAN LORENZO | - | - | - | - | - | - | - |
| FOSSO SAN LORENZO | - | - | - | - | - | - | - |

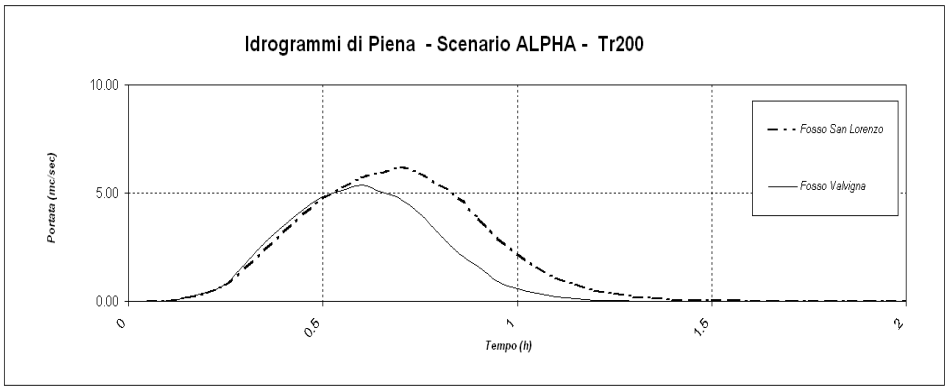
**SCENARIO GAMMA**

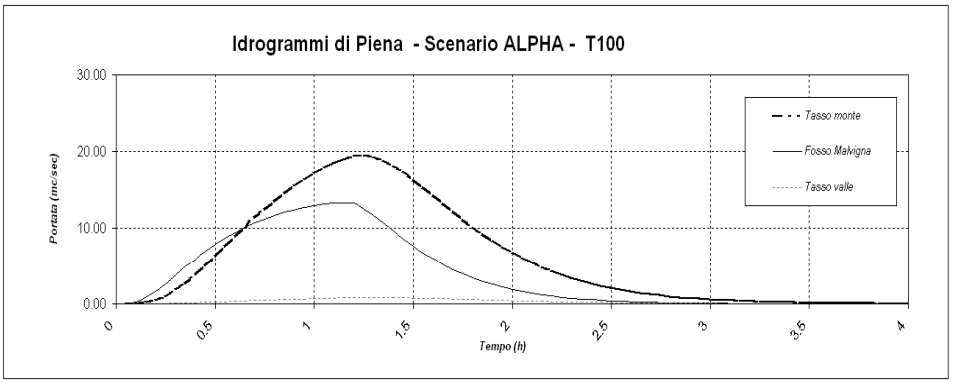
| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| TASSO MONTE | 500 | 18 | 143.553 | 129.074 | 6.888 | 0.995 | **4.575** |
| TASSO MONTE | 200 | 18 | 123.978 | 109.588 | 6.165 | 0.995 | **3.911** |
| TASSO MONTE | 100 | 18 | 110.963 | 96.633 | 5.084 | 0.995 | **3.47** |
| TASSO MONTE | 30 | 18 | 91.52 | 77.279 | 10.35 | 0.995 | **2.811** |
| FOSSO MALVIGNA | 500 | 18 | 186.309 | 180.92 | 8.531 | 0.998 | **3.155** |
| FOSSO MALVIGNA | 200 | 18 | 153.556 | 148.248 | 7.37 | 0.998 | **2.601** |
| FOSSO MALVIGNA | 100 | 18 | 132.663 | 127.405 | 5.717 | 0.998 | **2.247** |
| FOSSO MALVIGNA | 30 | 18 | 102.902 | 97.717 | 11.638 | 0.998 | **1.743** |
| TASSO VALLE | 500 | 18 | 209.48 | 198.25 | 9.513 | 1 | **0.258** |
| TASSO VALLE | 200 | 18 | 171.237 | 160.014 | 8.168 | 1 | **0.21** |
| TASSO VALLE | 100 | 18 | 147.018 | 135.8 | 6.267 | 1 | **0.179** |
| TASSO VALLE | 30 | 18 | 112.807 | 101.596 | 37.333 | 1 | **0.136** |
| FOSSO VALVIGNA | 500 | 18 | 184.184 | 157.47 | 10.232 | 1 | **0.807** |
| FOSSO VALVIGNA | 200 | 18 | 152.782 | 126.081 | 8.488 | 1 | **0.659** |
| FOSSO VALVIGNA | 100 | 18 | 132.636 | 105.943 | 7.369 | 1 | **0.564** |
| FOSSO VALVIGNA | 30 | 18 | 103.752 | 77.07 | 5.764 | 1 | **0.428** |
| FOSSO SAN LORENZO | 500 | 18 | 184.184 | 159.327 | 10.232 | 0.999 | **0.984** |
| FOSSO SAN LORENZO | 200 | 18 | 152.782 | 127.941 | 8.488 | 0.999 | **0.804** |
| FOSSO SAN LORENZO | 100 | 18 | 132.636 | 107.806 | 7.369 | 0.999 | **0.689** |
| FOSSO SAN LORENZO | 30 | 18 | 103.752 | 78.936 | 5.764 | 0.999 | **0.524** |

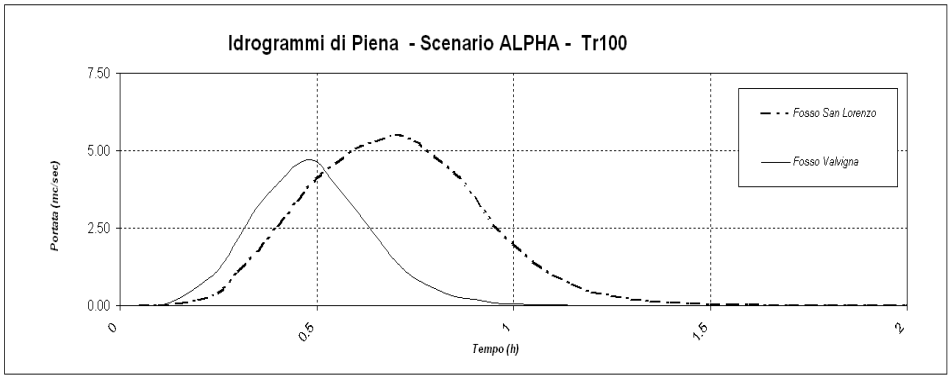
**Tabella 18.** Modello idrologico Valvigna – Risultati simulazioni idrologiche eseguite con ALTO2000.

**SISTEMA VALVIGNA - Idrogrammi di Piena - Scenario ALPHA**



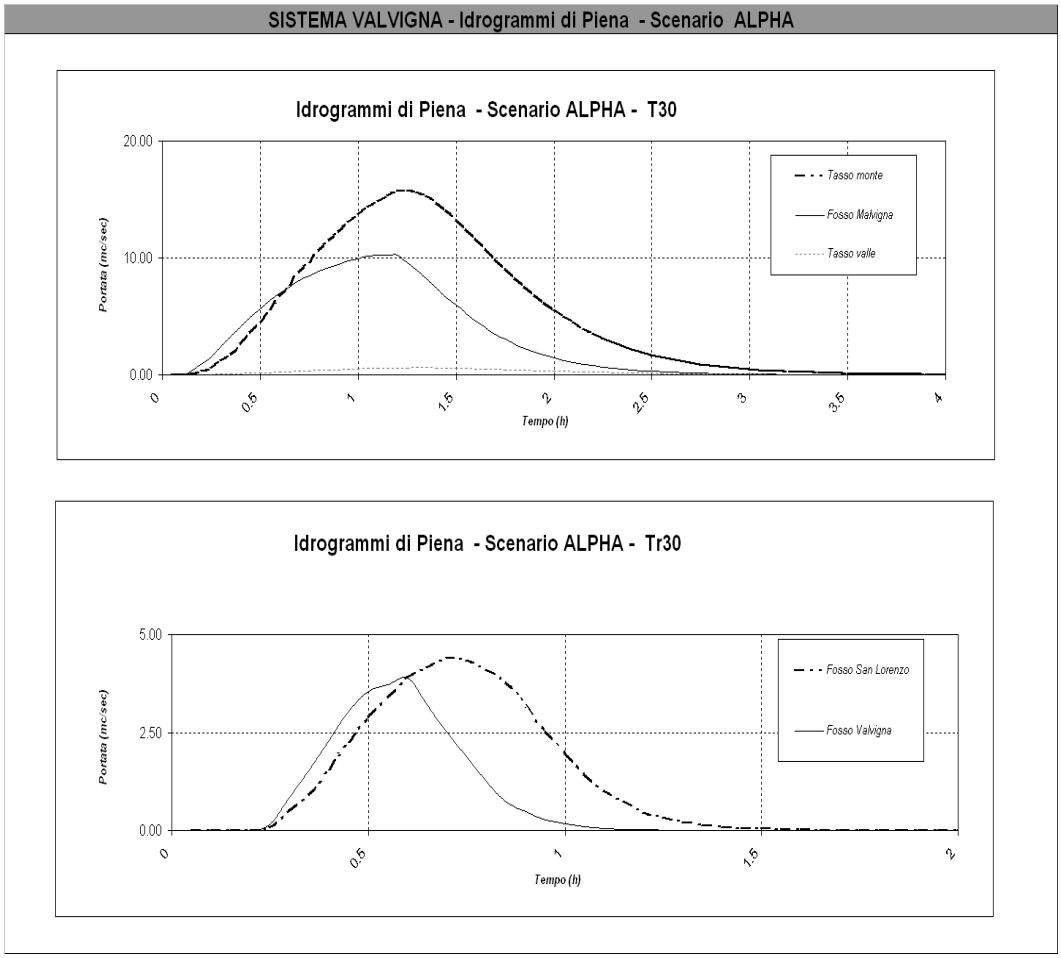



**Figura 25.** Modello idrologico sistema Valvigna – Risultati idrogrammi di piena scenario ALPHA.

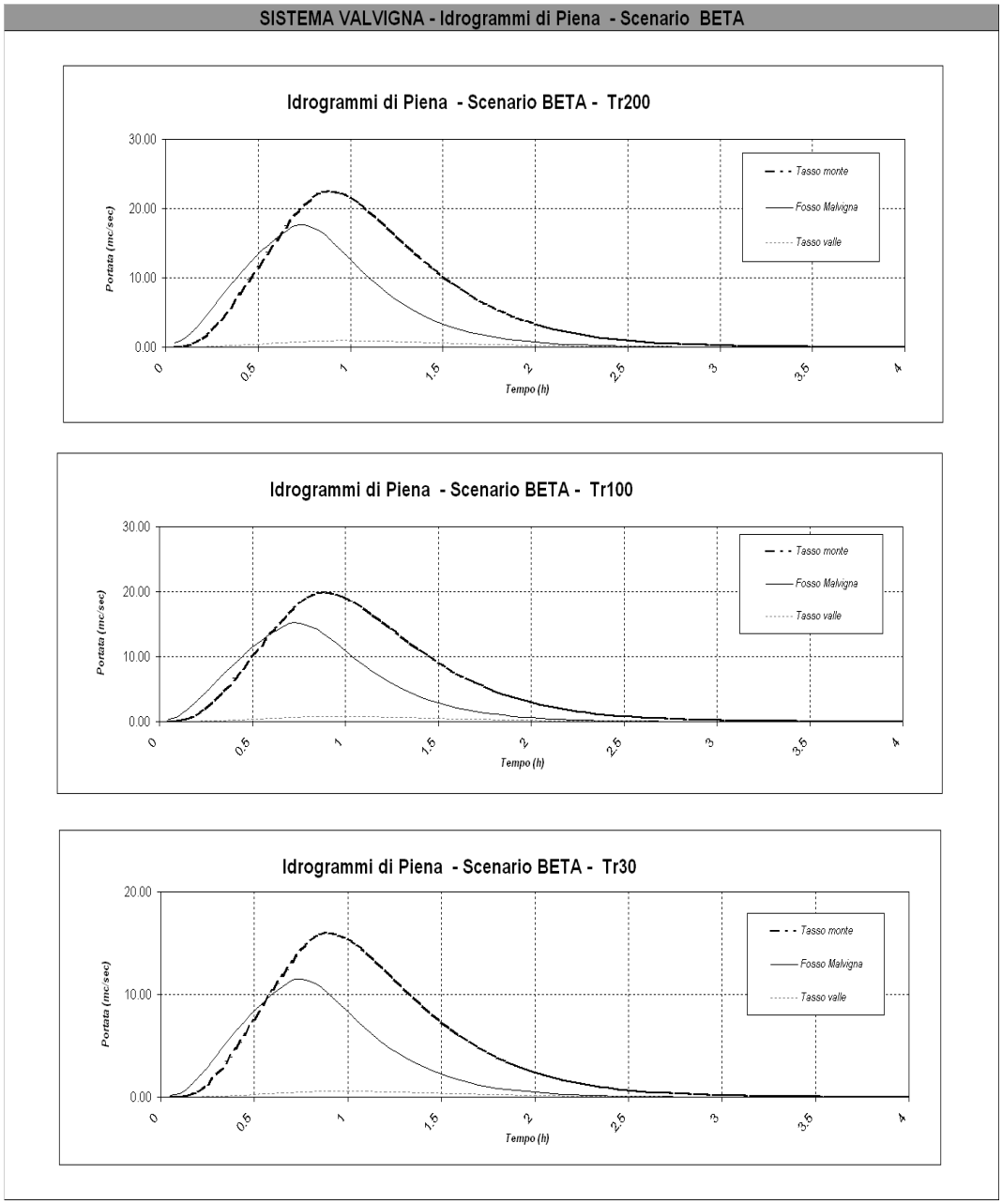
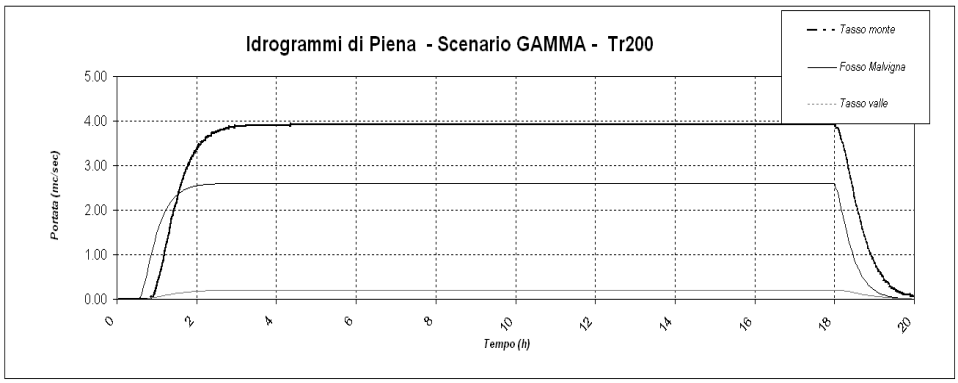
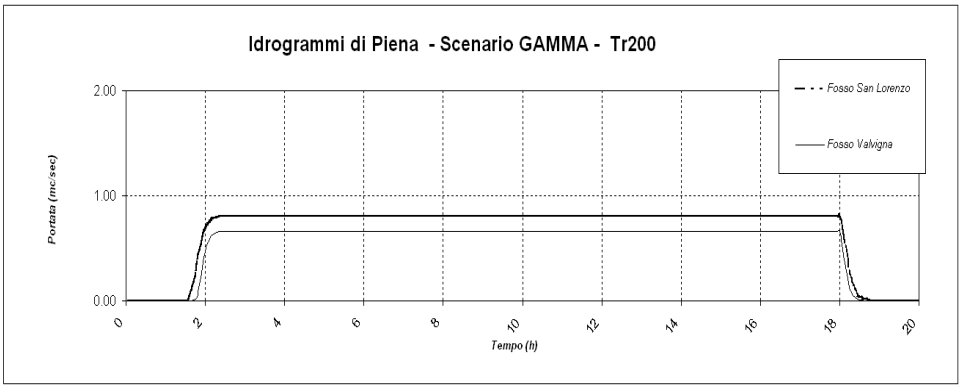
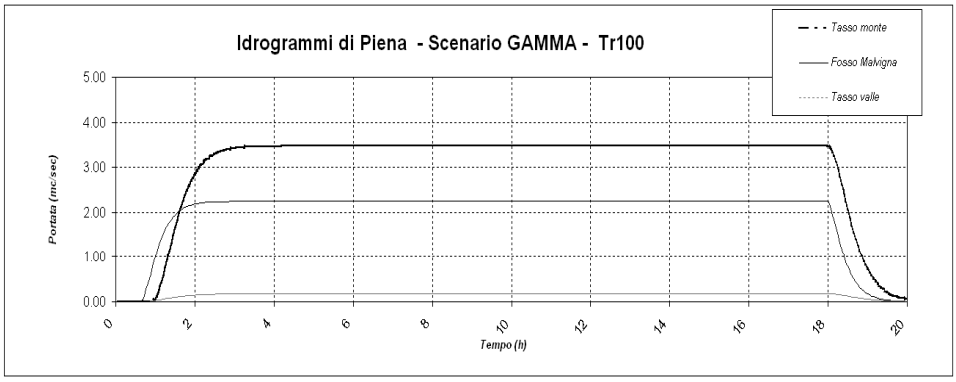


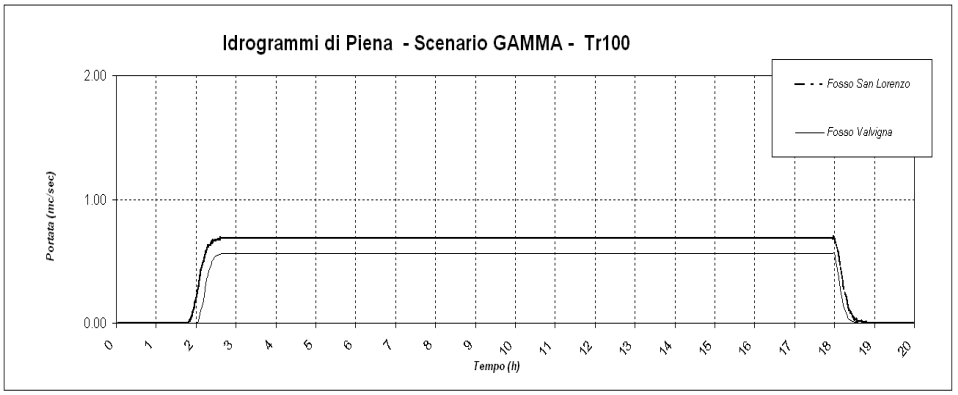

Figura 26. **Modello idrologico Valvigna – Risultati idrogrammi di piena scenario BETA.**

**SISTEMA VALVIGNA - Idrogrammi di Piena - Scenario GAMMA**



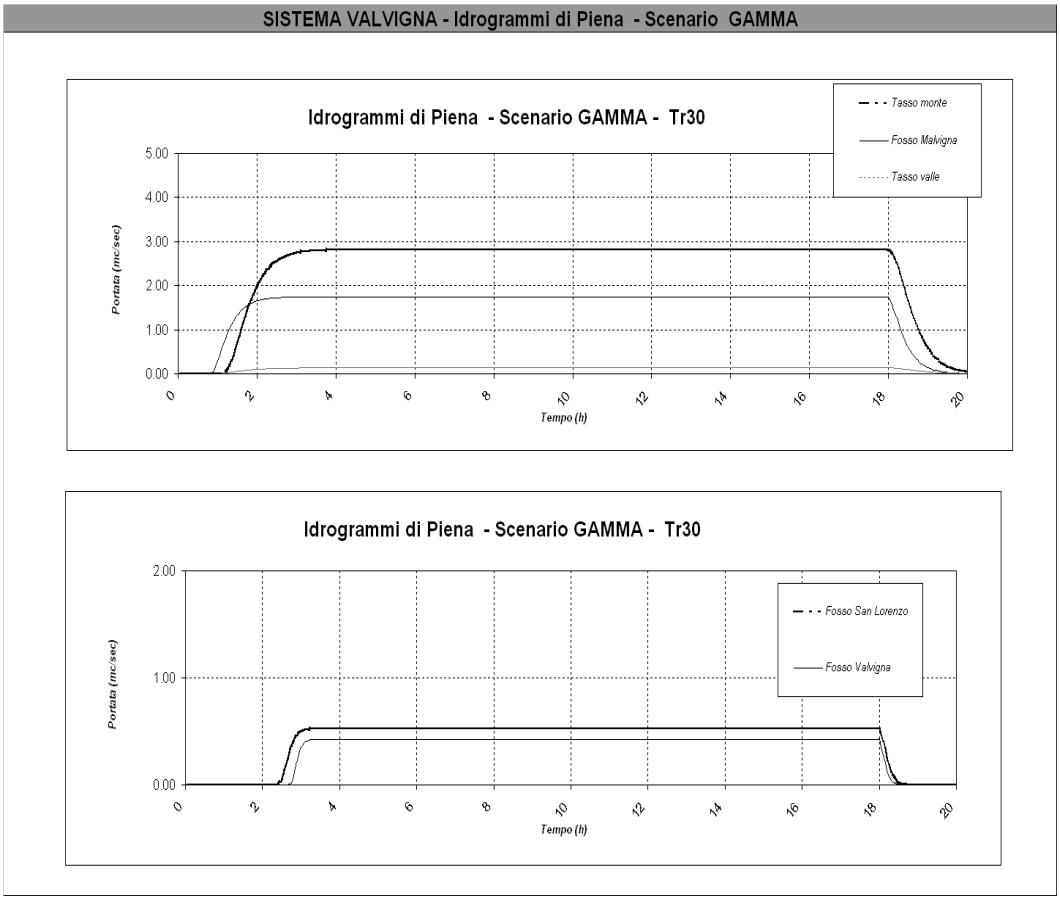



**Figura 27.** Modello idrologico Valvigna – Risultati idrogrammi di piena scenario GAMMA.

## 4.4 MODELLO IDRAULICO

### 4.4.1 MODELLO GEOMETRICO

Il modello geometrico utilizzato per la modellistica idraulica del sistema Valvigna è stato sviluppato come segue:

- Borro del Tasso: la modellazione ha interessato un tratto lungo circa 930m dalla confluenza in Arno verso monte utilizzando 57 sezioni trasversali;
- Fosso Malvigna: modellazione di un tratto di circa 300 metri dalla confluenza sul borro del Tasso verso monte utilizzando 21 sezioni trasversali;
- Fosso San Lorenzo: modellazione di un tratti di circa 220 metri dalla confluenza in Arno verso monte;
- Fosso Valvigna: modellazione di un tratto di circa 250 m dalla confluenza in Arno verso monte (tratto intubato sotto la 2° strada Lungarno).

Per quanto riguarda il borro del Tasso, sono state utilizzate le sezioni trasversali utilizzate negli studi idraulici redatta da Ing. Remo Chiarini nell'ambito del progetto esecutivo della Variante alla SR69[5] per il tratto compreso tra la confluenza in Arno e la sezione TA_017 mentre per il tratto a monte sono state utilizzate sezioni trasversali estratte da dati LIDAR e rilievi in sito. Le sezioni trasversali del fosso Malvigna, del fosso San Lorenzo e del fosso Valvigna sono state utilizzate sezioni traversali estratte da dati LIDAR e ricavate attraverso rilievi topografici in sito.

Il modello idraulico è stato allestito con modalità di simulazione mista: monodimensionale (1D) all'interno dello sviluppo delle sezioni trasversali e (2D) nelle aree esterne sulle quali è stato definito un DTM sulla base dei dati LIDAR.

[5] Variante alla SR69 da Levane a San Giovanni Valdarno con raccordo al Casello Autosole – progetto esecutivo

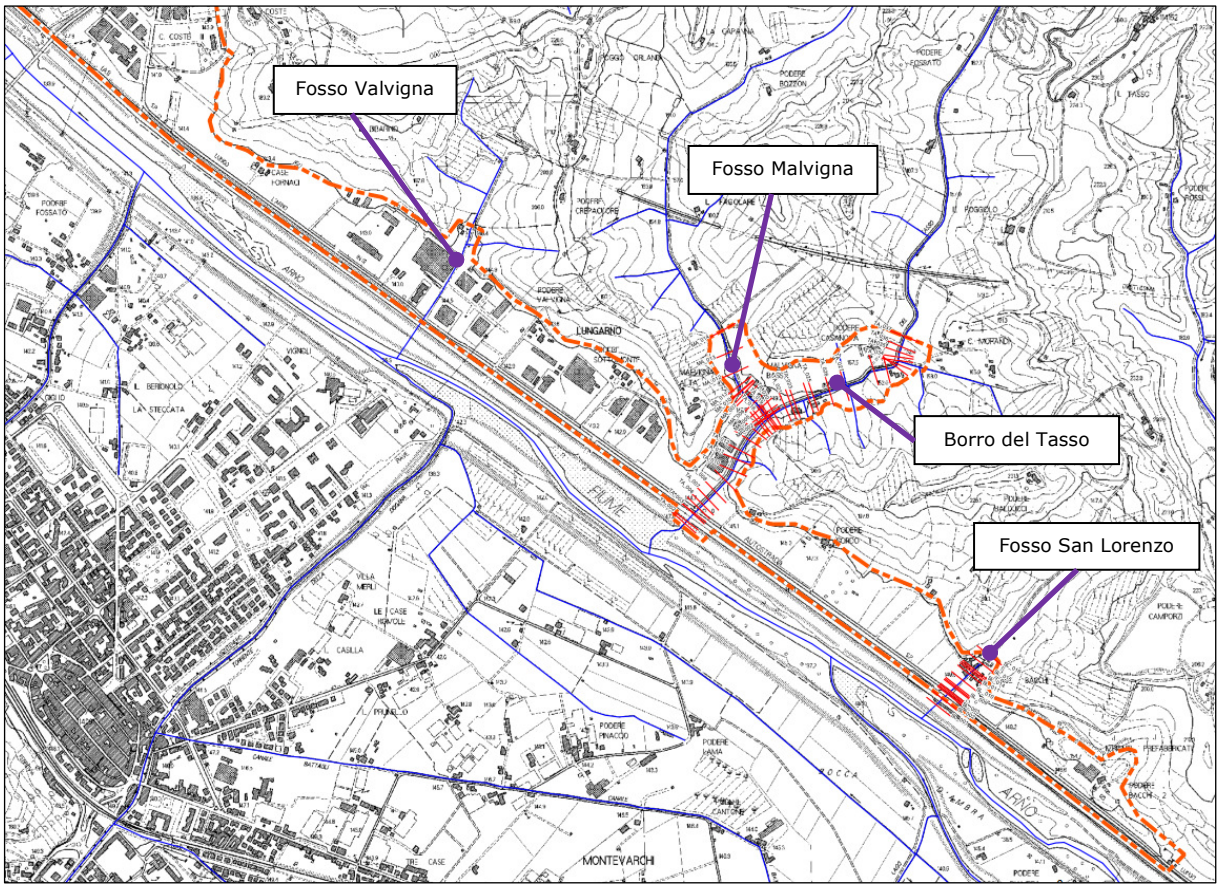



**Figura 28.** Estratto cartografico con individuazione dei corsi d'acqua analizzati e planimetria sezioni trasversali.

### 4.4.2 MODELLAZIONE ZONE 2D

La zona di studio modellata con simulazione bidimensionale (2D), ha un estensione di 122.99 ha (vedi allegato) che si estende sull'area di fondovalle ubicata tra il rilevato autostradale dell'A1 e le colline ad est dell'autostrada raggiungendo, in direzione nord-ovest, la località Le Coste e la SP 59 mentre in direzione sud-est la località Podere Bacchi.

La zona Le Coste è stata modellata sia nel sistema Ciuffenna (per valutare potenziali problematiche di esondazione del torrente Ciuffenna) sia nel modello Valvigna (per valutare potenziali problematiche relative riflussi delle piene dell'Arno attraverso i tombini che sotto attraversano il rilevato autostradale).

E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 50 mq, dimensione minima 10 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.20 m.

E' stato necessario introdurre alcune strutture lineari per simulare la presenza di strutture murarie esistenti a protezione di alcuni edifici. Con questa procedura si riesce a simulare la dinamica dell'allagamento condizionata da queste discontinuità. Dove, durante i sopralluoghi, si sia verificata la presenza di aperture e/o collegamenti idraulici, come scarichi delle acque pluviali dei piazzali o simili, non muniti di valvole antiriflusso, si è considerata la struttura come trasparente.

Le principali strutture "muri" denominate in ICM "base linear structure 2D" inserite nel modello geometrico sono:

- muri in adiacenza alla SP 11 nel tratto della curva di Le Coste dove sono presenti insediamenti produttivi (Foto VA_02 e VA_02);
- muri nella zona produttiva Valvigna (via II strada lungarno – Foto VA_03 e VA_04);
- muro di sponda in destra idraulica sul tratto terminale del torrente Tasso (intervento realizzato nell'ambito della variante alla SR69 – Foto VA_05 e VA_06);

I dati sulle quote di coronamento dei muri inseriti nel modello ICM sono stati ricavati da rilievi di dettaglio con quote assolute solidali e congruenti ai dati LIDAR ed ai caposaldi utilizzati nell'ambito della progettazione della variante SR 69.

Nel modello sono stati inoltre riportati i tombini che sottoattraversano il rilevato autostradale. Le caratteristiche dei tombini sono riportate nel fascicolo allegato. La loro ubicazione planolatimetrica è stata ricavata da rilievi topografici di dettaglio solidali ai caposaldi installati nell'ambito della progettazione della Variante alla SR69 (a loro volta solidali ai caposaldi IGM).

Di seguito si riportano alcune fotografie dei principali muri spondali inseriti nel modello geometrico.

**Foto VA_01** Muri perimetrali di attività produttive in zona Le Coste in adiacenza a SP11.

**Foto VA_02** Muri perimetrali di attività produttive in zona Le Coste in adiacenza a SP11.

**Foto VA_03** Zona produttiva Valvigna – II strada lungarno vista da monte verso A1.

**Foto VA_04** Zona produttiva Valvigna – II strada lungarno vista da monte verso A1.

**Foto VA_05** Borro del tasso – muro spondale in dx idraulica tratto intermedio - vista verso valle.

**Foto VA_06** Borro del tasso – muro spondale in dx idraulica tratto di monte - vista verso monte.

### 4.4.3 LAYOUT DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito si riportano alcuni estratti da ICM nei quali viene riportato il layout del modello idraulico sovrapposto alla ortofoto dove è possibile individuare i vari corsi d'acqua analizzati.

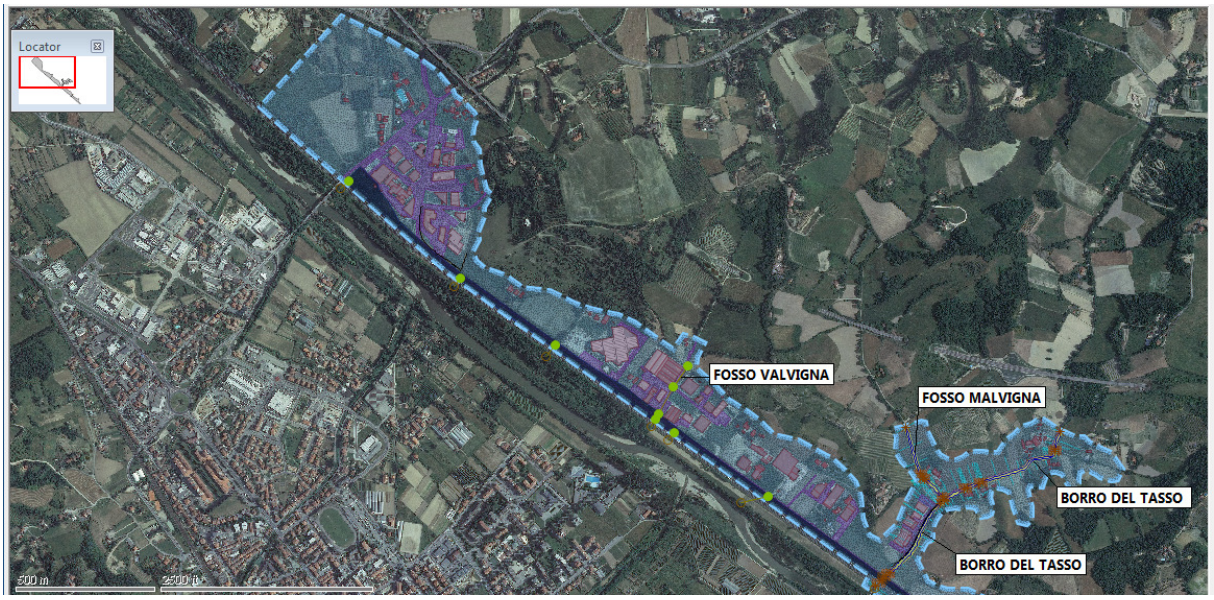



**Figura 29.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Sistema Valvigna quadro nord.

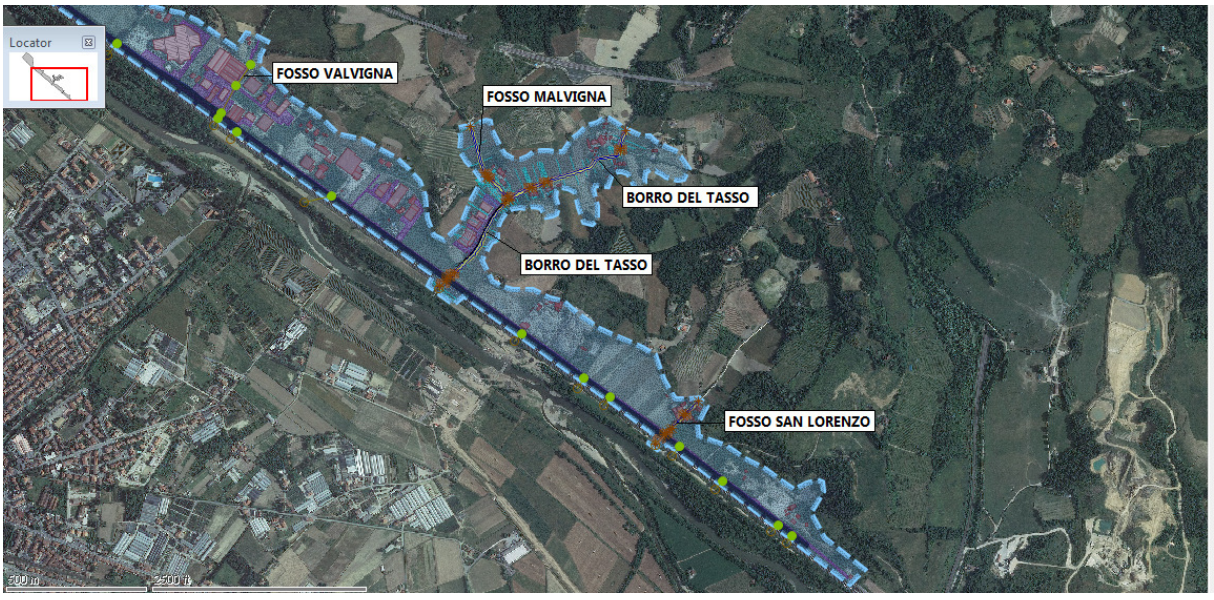



**Figura 30.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Sistema Valvigna quadro sud.

### 4.4.4 COEFFICIENTI DI RESISTENZA AL MOTO

Per quanto riguarda i coefficienti di resistenza al moto (scabrezza), sulla base delle caratteristiche dei corsi d'acqua in esame, abbiamo assunto per il deflusso in alveo (1D) un valore di coefficiente di Manning pari a 0.040 [$s/m^{1/3}$] per il borro del Tasso, il fosso Malvigna ed il fosso San Lorenzo.

Per quanto riguarda le aree simulate in moto bidimensionale (2D) abbiamo assunto come rappresentativo un coefficiente di Manning pari a 0.025 [$s/m^{1/3}$].

All'interno dell'ambiente Infoworks ICM sono state inoltre definite aree a scabrezza differenziata nelle zone dove è presente viabilità asfaltata e che pertanto offrono una minore resistenza al moto. Per tali aree è stato adottato un Manning pari a 0.015 [$s/m^{1/3}$].

Per quanto riguarda il fosso Valvigna la simulazione è stata condotta per il tratto intubato esistente sotto la 2° strada lungarno, in questo caso trattandosi di condotte in calcestruzzo, è stato utilizzato un valore di coefficiente di Manning pari a 0.020 [$s/m^{1/3}$].

### 4.4.5 IMMISSIONI

I risultati dell'analisi idrologica, sono costituiti dagli idrogrammi di piena valutati per i vari tempi di ritorno e per i vari scenari analizzati.

In ambiente Infoworks ICM l'inserimento degli idrogrammi è effettuato attraverso la definizione delle immissioni su determinati nodi della rete. Gli idrogrammi relativi ai tratti di monte sono immessi nei rispettivi nodi di monte dei tratti fluviali. Gli idrogrammi relativi ai vari sottobacini analizzati per definire l'incremento delle portate lungo i corsi d'acqua sono invece inseriti in nodi intermedi della rete.

Di seguito si riporta l'elenco dei sottobacini e il nodo in cui è stata definita la relativa immissione nel modello ICM:

1. borro del Tasso monte – nodo 01_TASSOMONTE
2. fosso Malvigna – nodo 30_FOSSOMALVIGNAMONTE
3. borro del Tasso valle – nodo 09_TASSOVALLE
4. Bacino fosso Valvigna – nodo 60_VALVIGNA_PZ1
5. Bacino fosso San Lorenzo – nodo 50_SANLORENZOMONTE

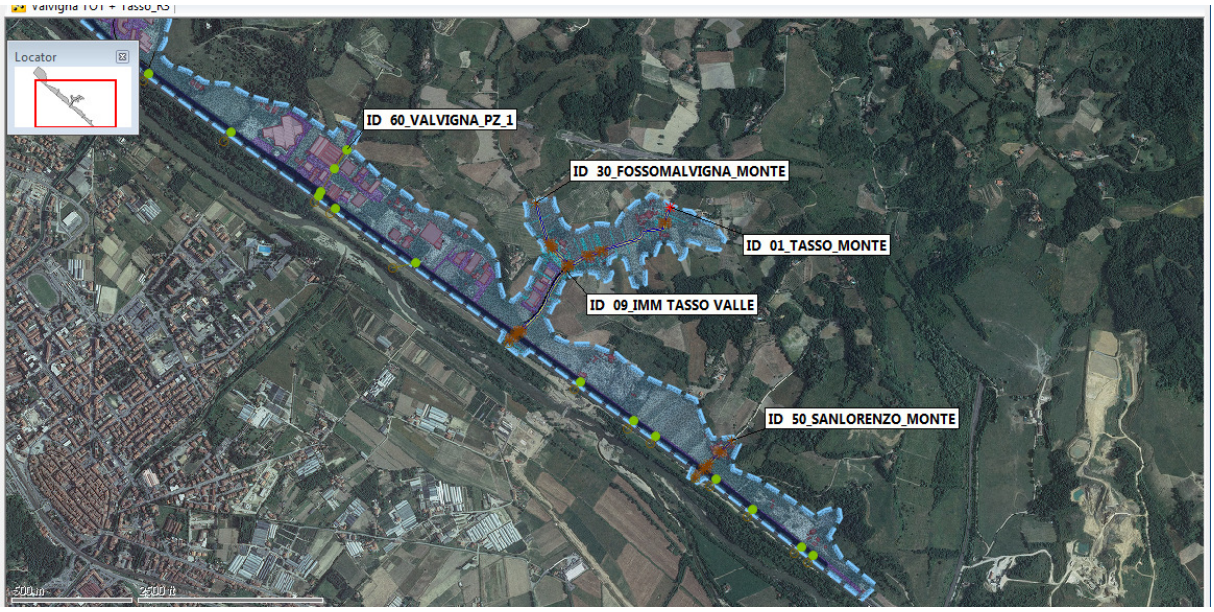



**Figura 31.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico - Immissioni. Sovrapposizione su ortofoto.

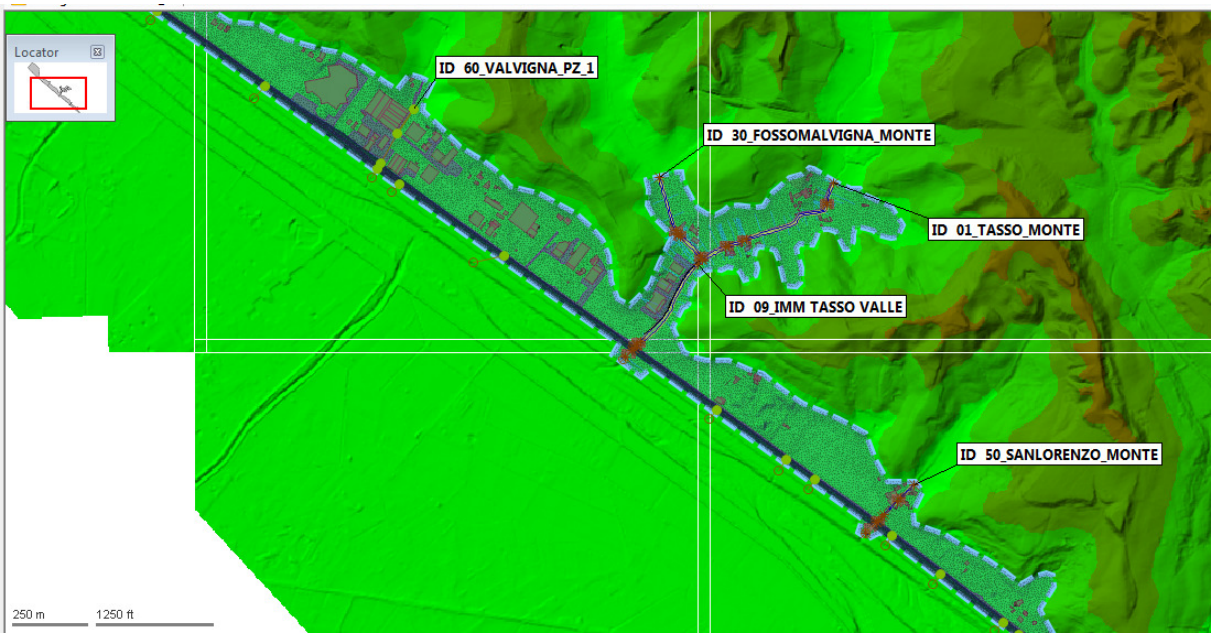



**Figura 32.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico - Immissioni. Sovrapposizione con modello LIDAR

## 4.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dal sistema idraulico Valvigna (composto dal borro del Tasso e dai fossi Malvigna San Lorenzo e Valvigna) sull'area indagata.

Di seguito si riportano le considerazioni sui risultati delle simulazioni idrauliche eseguite in moto vario con Infoworks ICM suddivise per i tempi di ritorno di riferimento (Tr=200 e Tr=30 anni).

Possiamo gia qui introdurre che gli scenari ALPHA e BETA risultano i più cririci per quanto riguarda il deflusso delle acque sui corsi d'acqua analizzati mentre lo scenario GAMMA risulta essere il più critico per gli effetti di riflusso delle piene dell'Arno attraverso i tombini che sottoattraversano il rilevato autostradale.

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati elaborati in modo grafico (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati e analisi dei battenti per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica P.I.4 e P.I.3) per la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica. Di seguito si riporta un estratto della tavola: "*Proposta di modifica della Carta delle aree a Pericolosità idraulica PAI*" a cui si rimanda per i dettagli (TAV.IDR13 – in giallo P.I.4, in arancione P.I.3, in celeste P.I.2 e in azzurro chiaro P.I.1).

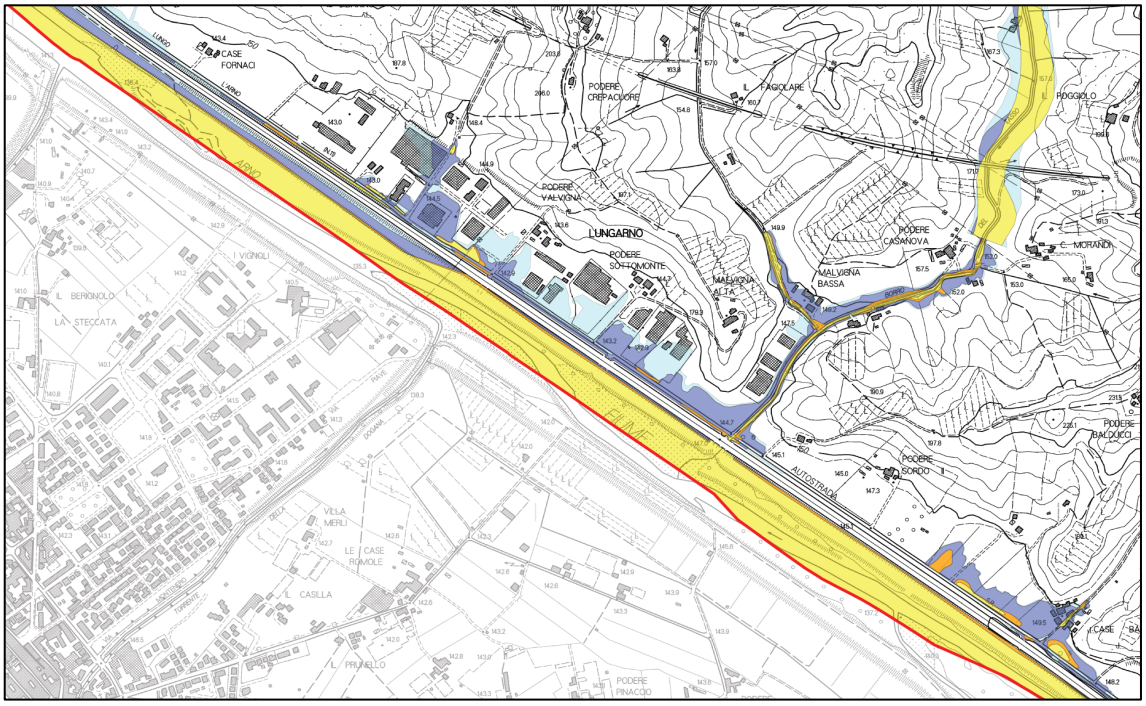



**Figura 33.** Estratto della Tavola: Proposta di modifica della Carta delle aree a pericolosità idraulica PAI.

Di seguito si riporta la descrizione dei principali forniti di esondazione per i vari tempi di ritorno.

### 4.5.1 TEMPO DI RITORNO TRENTENNALE

*Scenario ALPHA e BETA*

Le simulazioni idrauliche condotte per un tempo il ritorno trentennale scenario ALPHA e BETA mostrano la formazione dei seguenti principali fronti di esondazione:

a) nella zona produttiva di Valvigna (area 2° strada lungarno);
b) in destra idraulica del borro del Tasso a monte della confluenza del fosso Malvigna (ubicata alla sez.TA_18);
c) in sinistra idraulica del fosso Malvigna dalla sez. MA_014 alla sez. MA_06;
d) in sinistra e destra idraulica del fosso San Lorenzo a valle della sez. SL_015.

L'allagamento della zona produttiva Valvigna (punto a) deriva dall'insufficente officiosità idraulica del tombino all'interno del quale il fosso Valvigna confluisce in Arno. Il tratto di monte del tombino, costituto da due tubazioni in calcestruzzo DN800 accoppiate risulta essere completamente inadeguato a ricevere i deflussi da monte ed anche il tratto di valle, in particolare a monte del rilevato autostradale, ha caratteristiche insufficienti a convogliare le acque di piena, anche a causa di una parzializzazione della sezione idraulica derivata da irregolarità delle pendenze del fondo che favoriscono il deposito di trasporto solido. Infatti nel tratto terminale del tombino sotto la 2° strada lungarno l'altezza libera disponibile per il deflusso delle acque è di soli 40 cm.

**Figura 35** Fosso Valvigna ingresso tratto tombato sotto 2°strada lungarno

**Figura 34** Fosso Valvigna tratto tra tombino SP e tombino A1

Nel caso dei punti b) e c) gli allagamenti sono causati da una insufficiente officiosità idraulica degli alvei e delle sezioni fluviali in corrispondenza degli attraversamenti presenti lungo i corsi d'acqua.

Per quanto riguarda il fosso San Lorenzo, la causa degli estesi fronti di esondazione è da ascrivere ad una insufficnte sezione idraulica del corso d'acqua che si manifesta in particolare tra le sezioni SL_015 e SL_010 e sul ponticello alla sezione SL_013. Poiché a valle della sezione SL_010 il corso d'acqua è pensile, le acque di piena che esondano a monte vanno ad interessare vaste aree pianeggianti ubicate in sinistra e destra idraulica senza poter rientrare all'interno dell'alveo.

*Scenario GAMMA*

Per questo scenario si segnala un allagamento causato dal riflusso della piena in Arno attraverso il tombino T1A nella zona di Le Coste. Tale allagamento riguarda essenzialmente una zona di limitata estensione in adiacenza all'ingresso lato monte del suddetto tombino.

Di seguito si riportano alcuni estratti di Infowroks ICM relativi ad alcune delle suddette zone.

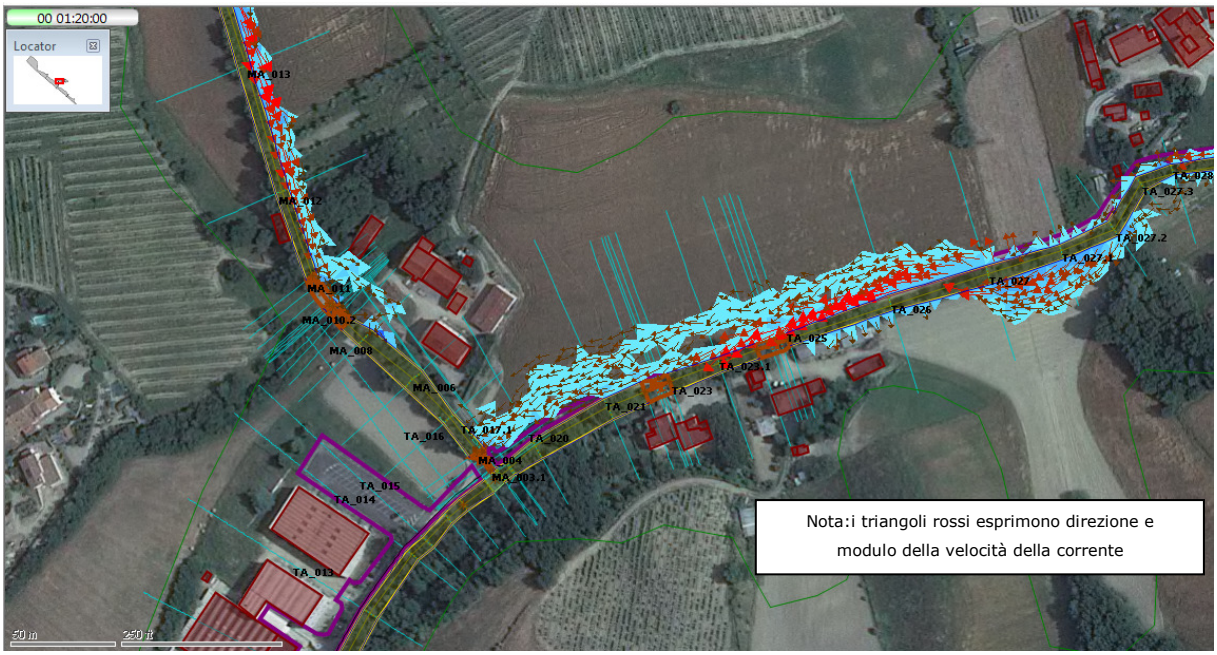



**Figura 36.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr30 istante simulazione 01:20h- Borro del Tasso e fosso Malvigna.

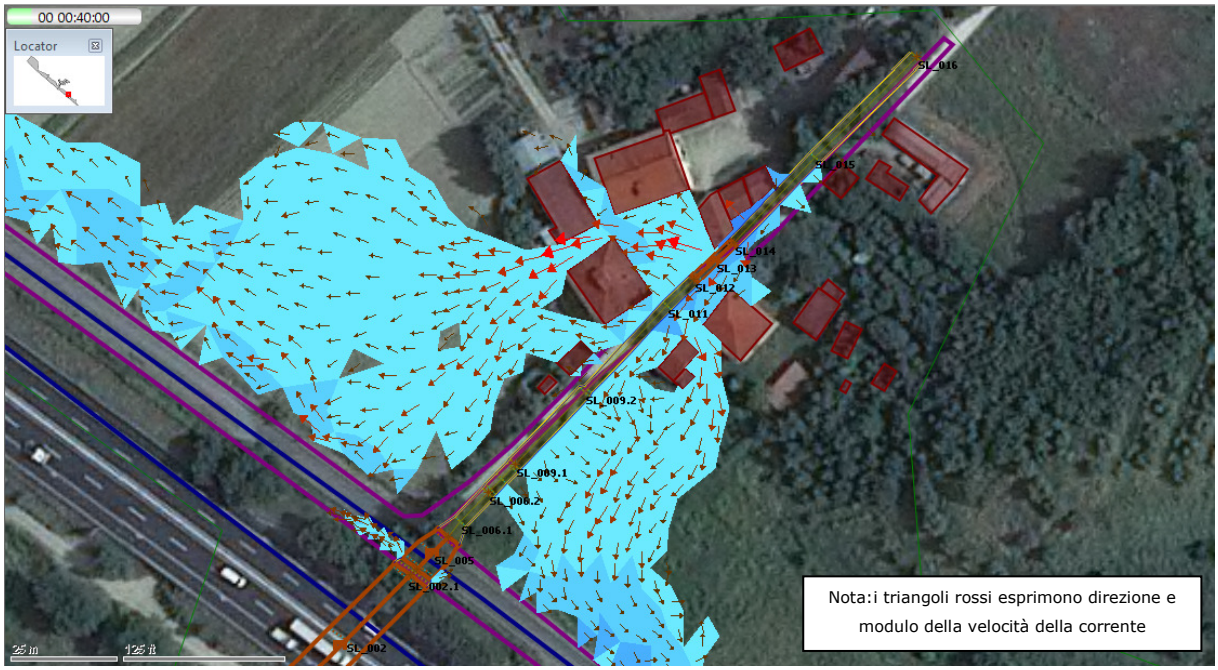



**Figura 37.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr30 istante simulazione 0:40h- Fosso San Lorenzo.

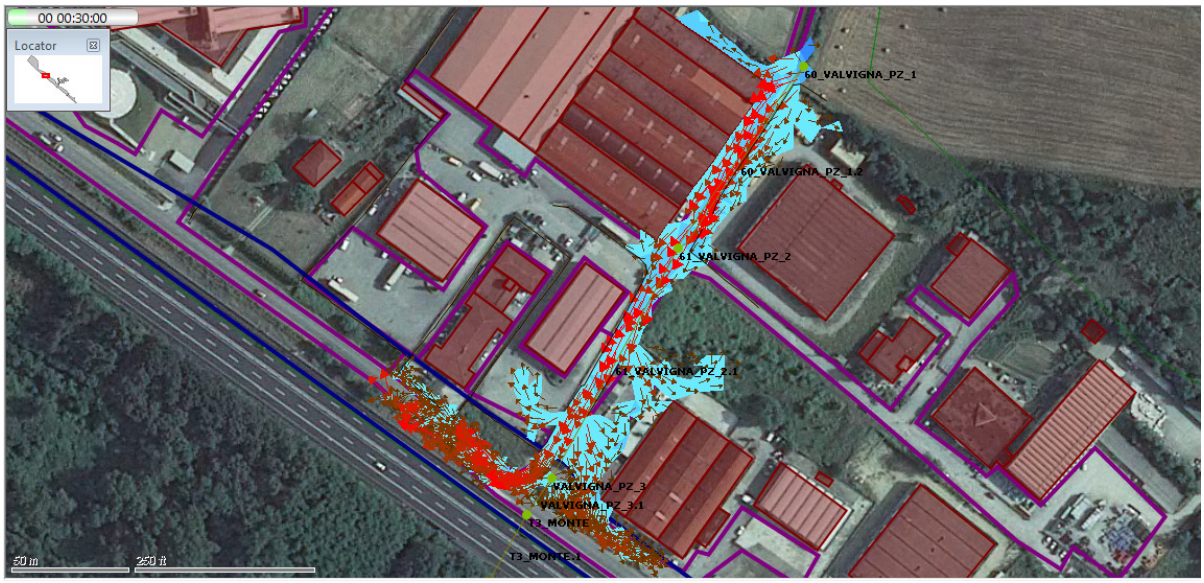



**Figura 38.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr30 istante simulazione 0:30h- Fosso Valvigna.

### 4.5.2 TEMPO DI RITORNO DUECENTENNALE

*Scenario ALPHA e BETA*

Per quanto riguarda il deflusso delle piene duecentenarie negli scenari ALPHA e BETA, si confermano i fronti di esondazione trentennali con un consistenze aumento delle aree allagate per tutti i punti principali di allagamento segnalati per Tr=30 anni.

Per quanto riguarda il borro del Tasso, si segnala che per tempi di ritorno duecentenari, il fronte di esondazione si estende verso valle. L'allagamento in destra idraulica, che per la trentennale resta confinato a monte della confluenza del Malvigna, in questo caso va a defluire a valle della sezione TA_017, sulla strada comunale del Tasso. La piena duecentenaria deflusce quindi anche a tergo del muro di contenimento realizzato in destra idraulica del Tasso tra le sezioni TA_017 e TA_007 e modellato in Infoworks ICM con l'inserimento di una base structure 2D (muro con altezza variabile ricavato dai dati di progetto esecutivo variante SR69). Si precisa che questo fenomeno avviene non perché i battenti idraulici in alveo superano la quota della testa del muro, ma bensì perché i deflussi nel tratto di monte scorrono lungo la strada comunale del Tasso a tergo del muro.

**Figura 39** Borro del Tasso vista tratto sez TA_017 verso monte

**Figura 40** Fosso San Lorenzo vista ponticello SL1 vista verso valle.

Di seguito si riportano alcuni estratti di Infowoks ICM relativi ad alcune delle suddette zone.

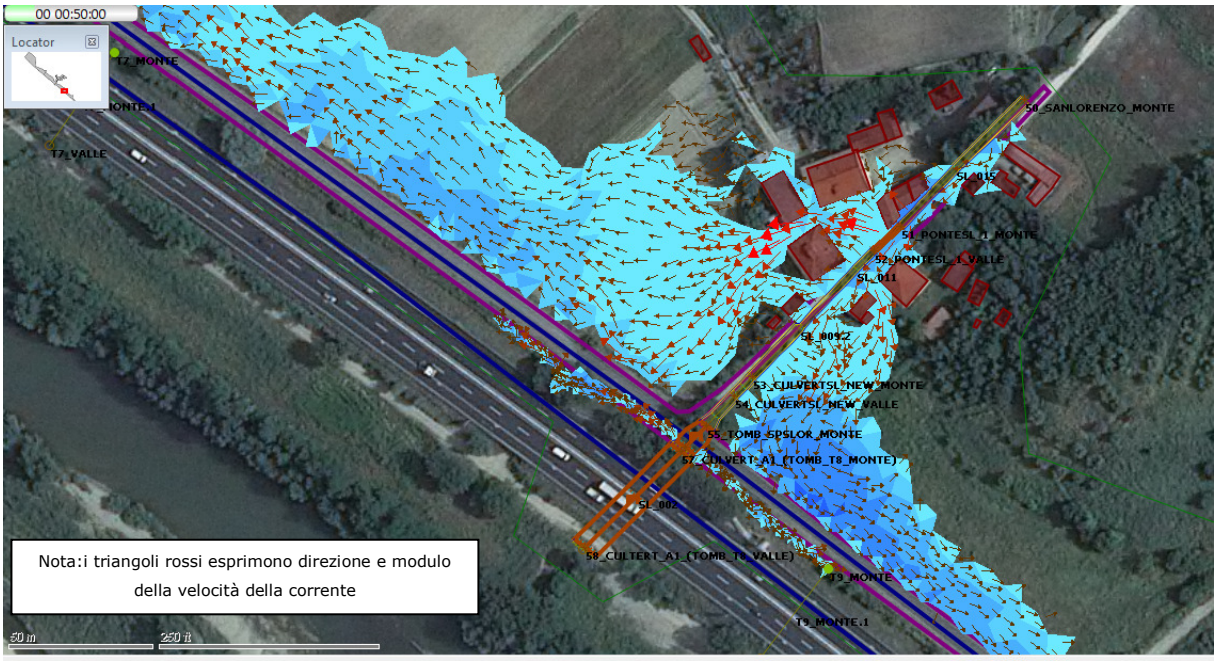



**Figura 41.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 istante simulazione 0:50h- Fosso San Lorenzo.

**Figura 42.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 istante simulazione 01:10h- Borro del Tasso e fosso Malvigna.

*Scenario GAMMA*

Per questo scenario si segnalano consistenti fronti di allagamento causati dal riflusso della piena in Arno attraverso alcuni dei tombini che sottoattraversano il rilevato autostradale. Le maggiori criticità si segnalano nei tombini T1A, T1, T2 T3C e T4 che difatti hanno quote di scorrimento, in corrispondenza della confluenza in Arno, nel range compreso tra circa 1.4 e 2.4 m sotto il massimo battente dell'Arno.

La mancanza di dispositivi antiriflusso nel sistema di tombini che sottoattraversano l'autostrada genera allagamenti consistenti anche in relazione alla durata della piena in Arno. A titolo di esempio si fa notare che nel tombino T1-A le condizioni di riflusso dall'Arno verso il piano campagna a tergo del rilevato, permane per 21 ore; è quindi comprensibile che i volumi defluiti siano consistenti e conseguentemente vengano a generarsi importanti fronti di esondazione.

Si segnala che la località "Le Coste", che risulta in sicurezza idraulica rispetto a piene duecentenarie del Ciuffenna (vedere risultati simulazioni sistema Ciuffenna) è interessata da un allagamento generalizzato causato dai tombini T1A e T1.

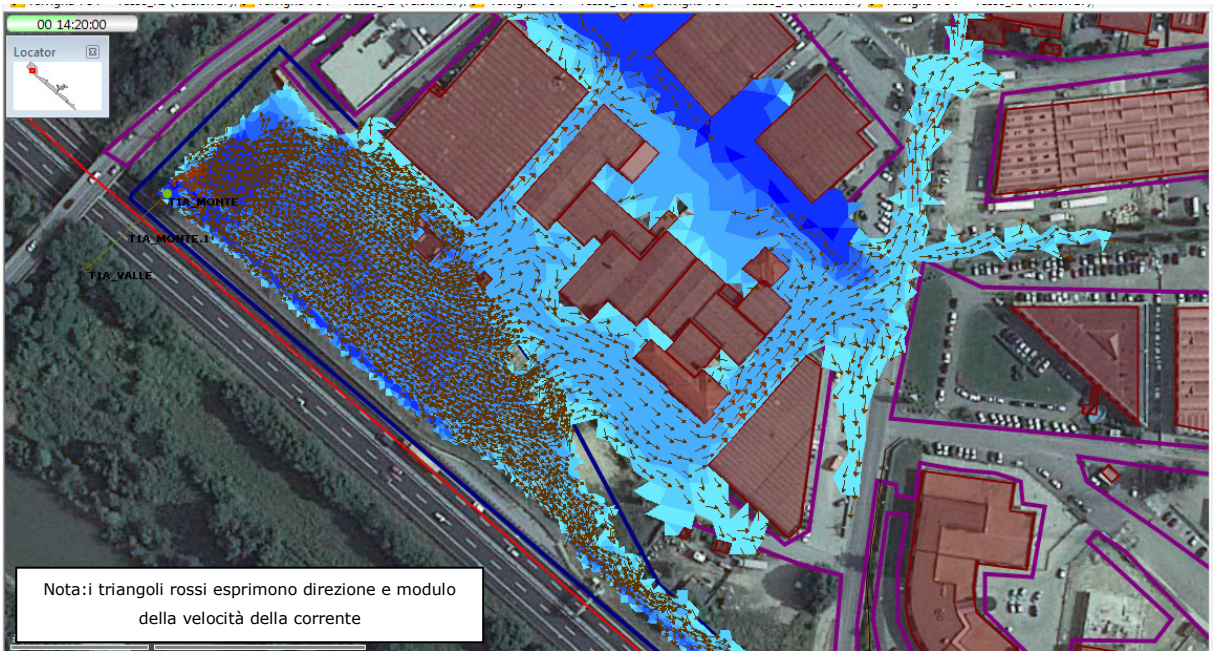



**Figura 43.** Estratto da ICM –Scenario GAMMA Tr200 istante simulazione 14:20h – Località Le Coste

Le simulazioni dello scenatrio GAMMA mostrano che, a causa del riflusso sul tombino T4, anche la parte della la zona produttiva Valvigna a monte del suddetto tombino da allagamenti.

Per quanto riguarda gli accessi all'area golenale dell'Arno si segnala che non si verificano fronti di esondazione per tutti gli scenari e tempi di ritorno analizzati. Si rimanda per dettagli alla tabella "dati attraversamenti" riportata in fascicolo allegato.

# 5. IL SISTEMA RIOFI

## 5.1 INTRODUZIONE

Il bacino imbrifero del torrente Riofi si estende tra il Comune di Terranuova Bracciolini e quello di Castelfranco di Sopra e, come descritto in dettaglio di seguito e come mostrato nella figura sotto riportata, si può schematicamente suddividere in tre sottobacini principali:

1. Riofi Monte;
2. Piantravigne;
3. Spina.

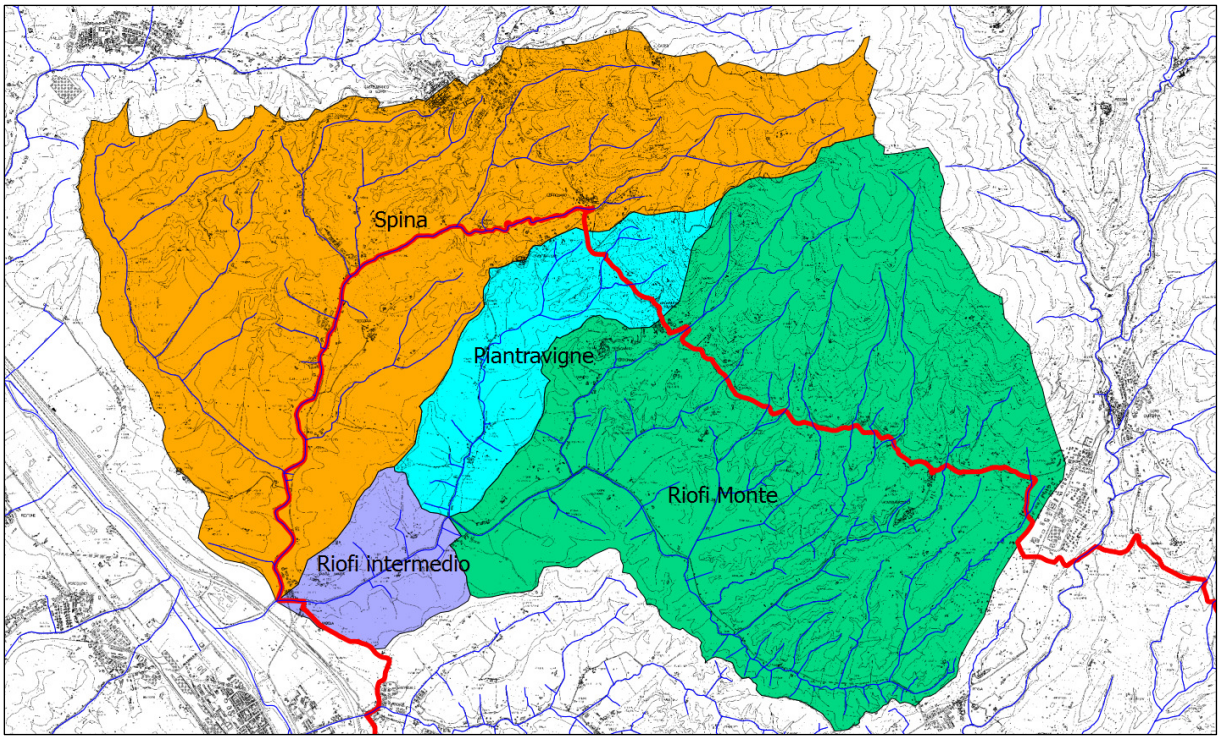



**Figura 44.** Bacini idrografici Torrente Riofi.

Nel seguito della trattazione del presente studio il sistema Riofi sarà suddiviso in due sottosistemi che saranno analizzati con due modellazioni idrologico-idrauliche distinte:

1. Sottosistema Riofi-Piantravigne-Spina: in cui si analizzano il borro di Riofi, di Piantravigne e la parte terminale del borro della Spina, dalla sezione 480 fino alla confluenza con il Riofi (vedi Figura 45);
2. Sottosistema Botriolo: in cui si analizza il borro della Spina dalla sezione 480 per un tratto di circa 3.5 km verso monte, facendo riferimento allo studio idrologico-idraulico redatto nell'abito della variante al Piano Strutturale del Comune di Castelfranco di Sopra. Tale studio è stato realizzato in ambiente

Infoworks con la medesima metodologia adottata nella modellazione del sottosistema Riofi-Piantravigne Spina. Tale studio viene in questa sede ripreso integralmente poiché il borro della Spina in questa zona costituisce il confine tra il comune di Castelfranco di Sopra e Terranuova Bracciolini.

I due modelli idraulici implementati si sovrappongono per un tratto di oltre 600 metri. La mappatura delle pericolosità idrauliche verrà eseguita raccordando i risultati dei due modelli in corrispondenza della sezione 480 dove le diferenze in termini di portate e livelli idrici sono minime.

I risultati che interessano il Comune di Terranuova Bracciolini e che riguardano il borro della Spina verranno restituiti per il tratto di valle, fino alla sezione 480, facendo riferimento al sottosistema Riofi-Piantravigne-Spina, e per il tratto di monte facendo riferimento al sottosistema Botriolo.

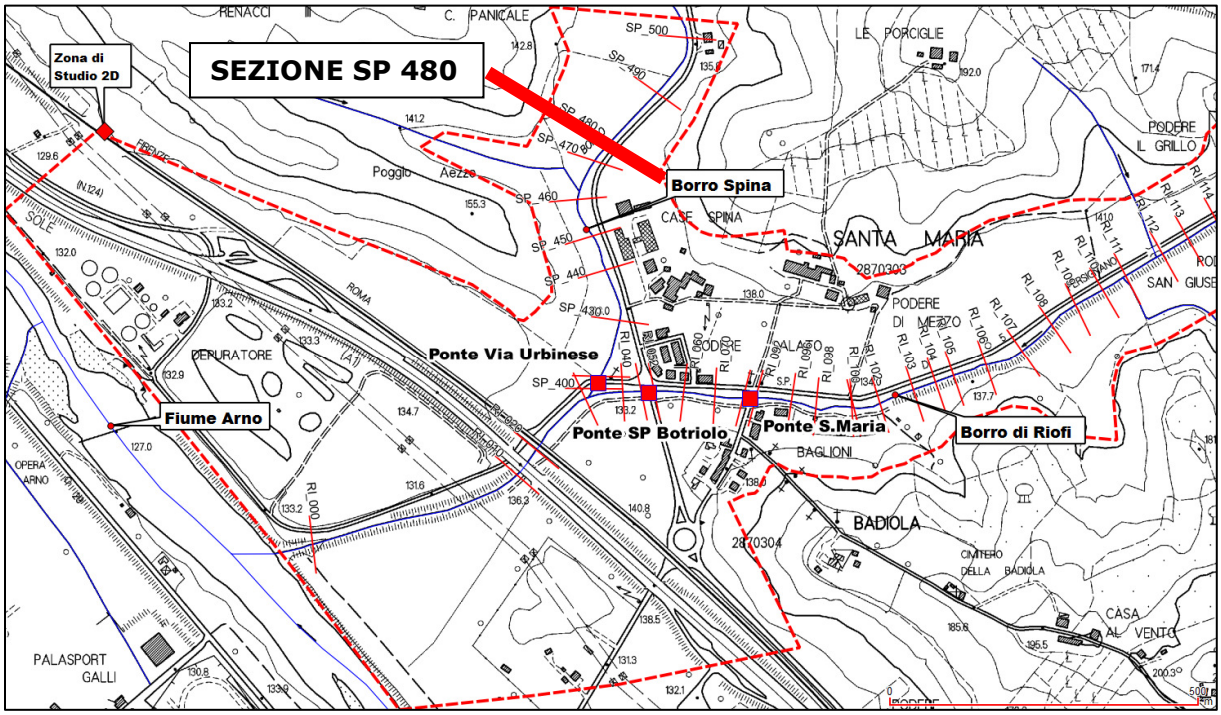



**Figura 45.** Borro della Spina – indicazione sezione 480 di raccordo tra i due modelli utilizzati.

## 5.2 SOTTOSITEMA RIOFI-PIANTRAVIGNE-SPINA

### 5.2.1 INTRODUZIONE

La valutazione della pericolosità idraulica, sul sistema Riofi, è stata eseguita attraverso uno studio idrologico-idraulico che riguarda un tratto del borro di Riofi compreso tra la località Casa Borgherese, posta a circa 270 metri a monte dell'immissione del borro di Piantravigne, e la confluenza in Arno, per uno sviluppo longitudinale di circa 2.760 metri. Lo studio si è esteso anche ad un tratto di circa 180 metri immediatamente a monte dell'immissione sul Riofi del borro di Piantravigne e al borro della Spina per un tratto che sviluppa per circa 670 metri a monte dell'immissione sul Riofi.

### 5.2.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino imbrifero del torrente Riofi si estende tra il comune di Terranuova Bracciolini e quello di Castelfranco di Sopra; il corso d'acqua è affluente sinistro del fiume Arno.

La sezione di chiusura adottata per il calcolo delle portate di riferimento è situata alla confluenza con il torrente Spina affluente destro del Riofi a circa 630 metri a monte della confluenza in Arno.

La corografia del bacino imbrifero è riportata in allegato, mentre l'area di studio è riportata nella figura seguente.

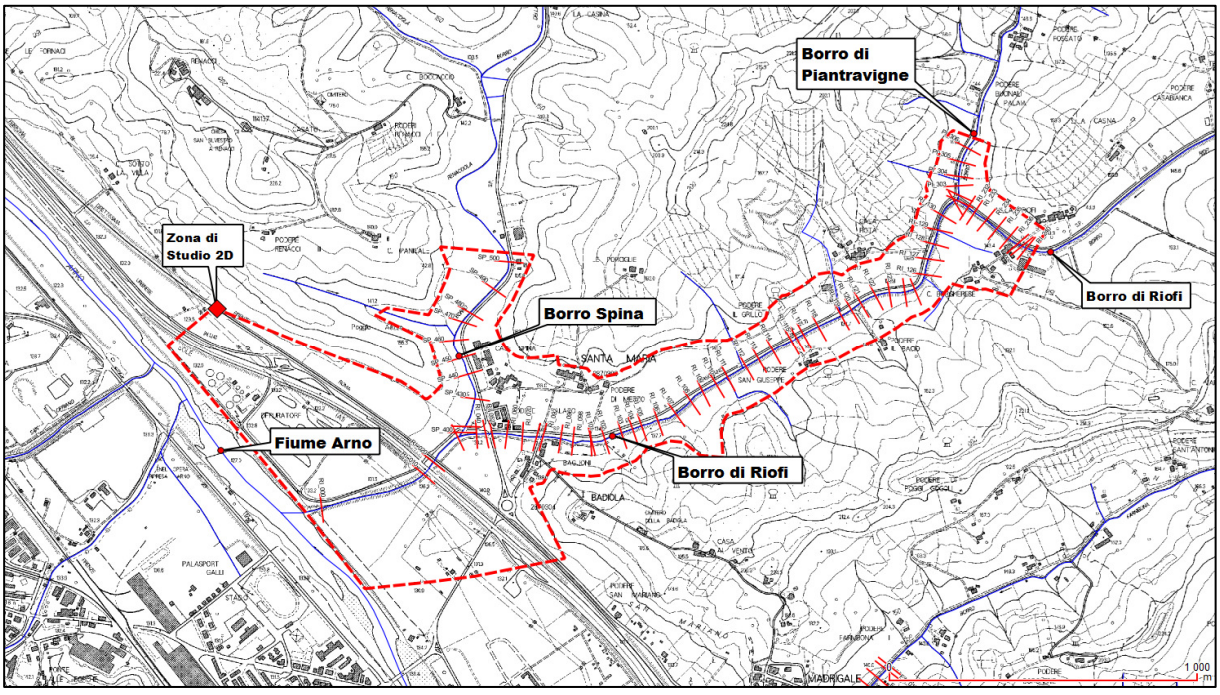



**Figura 46.** Inquadramento zona di studio del modello idraulico.

Il bacino raggiunge la sua altezza massima a circa 899.00 metri slm; la quota minima, presso la confluenza in Arno, è 127.00 m slm, si estende per 41.25 $km^2$ ed ha una lunghezza totale dell'asta principale di 8.0 km.

## 5.2.3 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 5.2.3.1 PARAMETRI UTILIZZATI

La stima delle portate al colmo è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana); tale metodologia è già stata esposta nei paragrafi precedenti e vi si rimanda per ulteriori dettagli.

### 5.2.3.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Nell'ambito del sistema idraulico costituito da Borro di Riofi – Borro di Piantravigne – Borro della Spina sono stati analizzati più scenari critici per valutare le diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette, in fase di modellazione idraulica, di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

Nel caso in esame è stato necessario definire tre scenari di riferimento:

5.2.3.2.1 Scenario ALPHA: è stato impostato per valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il borro di Riofi. Si è assunto quindi di imporre al bacino Piantravigne il Dc critico caratteristico del bacino di Riofi monte, e al bacino della Spina, il Dc critico del Riofi interbacino (considerando l'intero bacino imbrifero sotteso – vedi paragrafo 5.2.3.5 e allegato Fascicolo 04). Con questo sistema si valuta l'evento massimizzante anche per il tratto finale del Piantravigne. Infatti questo bacino avendo un area molto ridotta rispetto a quella del Riofi di monte, ha una risposta idrologica molto più rapida, il Dc critico per un evento duecentennale è pari a 0.91 ore contro 1.893 ore del Riofi di monte. In questo caso la condizione di valle imposta dai livelli del Riofi è più gravosa in termini di rischio idraulico di quella derivante dai livelli raggiunti per un evento massimizzante il solo Piantravigne. Inoltre la differenza in termini di picchi di piena tra i due scenari è trascurabile essendo la portata massima per un evento duecentennale pari a 42.47 mc/sec e trentennale di 26.35 mc/s, contro i 37.6 mc/s i 22.6 mc/s relativi al

Dc Riofi di monte, con differenze quindi rispettivamente di 4.87 mc/s (11.5%) e 3.75 mc/s (14.2%).

5.2.3.2.2 Scenario BETA: è stato impostato per valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il borro della Spina imponendo il relativo Dc critico a tutti i bacini.

5.2.3.2.3 Scenario GAMMA: Lo scenario GAMMA è stato impostato per valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche indotte dal fiume Arno al sistema idraulico analizzato imponendo il Dc critico dell'Arno (18h) a tutti i bacini.

#### 5.2.3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato è stata calcolata la durata di pioggia critica che massimizza l'afflusso del relativo corso d'acqua e in funzione di questa sono stati calcolati i relativi idrogrammi di piena per ciascun tributario analizzato.

Gli idrogrammi così ottenuti rappresentano la condizione al contorno di monte (immissioni).

#### 5.2.3.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Nel modello idrologico-idraulico del sistema Riofi la condizione al contorno di valle è rappresentata dai limnogrammi del fiume Arno in prossimità della confluenza del Riofi.

I limnogrammi sono stati ricavati tramite interpolazione spaziale tra i limnogrammi relativi alle due sezioni del fiume Arno immediatamente a monte e a valle dell'immissione, per ciascun tempo di ritorno analizzato e per ciascuna durata critica analizzata. I limnogrammi utilizzati per la elaborazioni sopra descritte sono forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e rappresentano i risultati delle simulazioni del modello SIMI (SIT - Modellazione Idraulica). Questi sono forniti per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni e per durate delle precipitazioni di 3, 6, 9 ,12,18, 24, 36 ore.

Per gli scenari ALFA e BETA sono stati utilizzati gli stessi limnogrammi con durata di pioggia di 3h mentre per lo scenario GAMMA sono stati utilizzati i dati relativi alla durata di 18 ore.

#### 5.2.3.5 ANALISI IDROLOGICA

La modellazione del sistema Riofi è stata eseguita tramite la suddivisione del bacino in quattro sottobacini:

1. Bacino Riofi monte: è il bacino di monte, chiuso alla confluenza con il borro di Piantravigne;

2. Bacino Piantravigne;
3. Bacino Riofi intermedio;
4. Bacino Spina.

Per ciascuno di questi sono stati calcolati i parametri morfologici ed idrologici e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per ciascuno scenario analizzato.

Si riportano di seguito i risultati numerici ottenuti tramite le elaborazioni descritte nel capitolo 2.5.

**Parametri Morfologici e idrologici - Bacino Riofi**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | | - | - | | - | |
| RIOFI MONTE | 18.700 | 12.581 | 1.011 | 2.013 | 0.638 | 21.810 | 0.351 | 0.160 | 20.165 | 0.322 | 0.212 |
| PIANTAVIGNE | 3.300 | 6.160 | 0.404 | 2.183 | 0.379 | 20.308 | 0.234 | 0.190 | 20.394 | 0.318 | 0.231 |
| RIOFI INTERBACINO | 1.710 | 11.177 | 0.871 | 2.076 | 0.783 | 21.609 | 0.334 | 0.160 | 20.220 | 0.321 | 0.215 |
| SPINA | 17.540 | 9.152 | 0.670 | 2.686 | 0.653 | 20.195 | 0.227 | 0.190 | 20.387 | 0.318 | 0.232 |

**Tabella 19.** Parametri morfologici ed idrologici – Torrente Riofi.

Gli scenari idrologici sono stati valutati adottando l'isofrequenza dei tempi di ritorno per ciascun tratto fluviale.

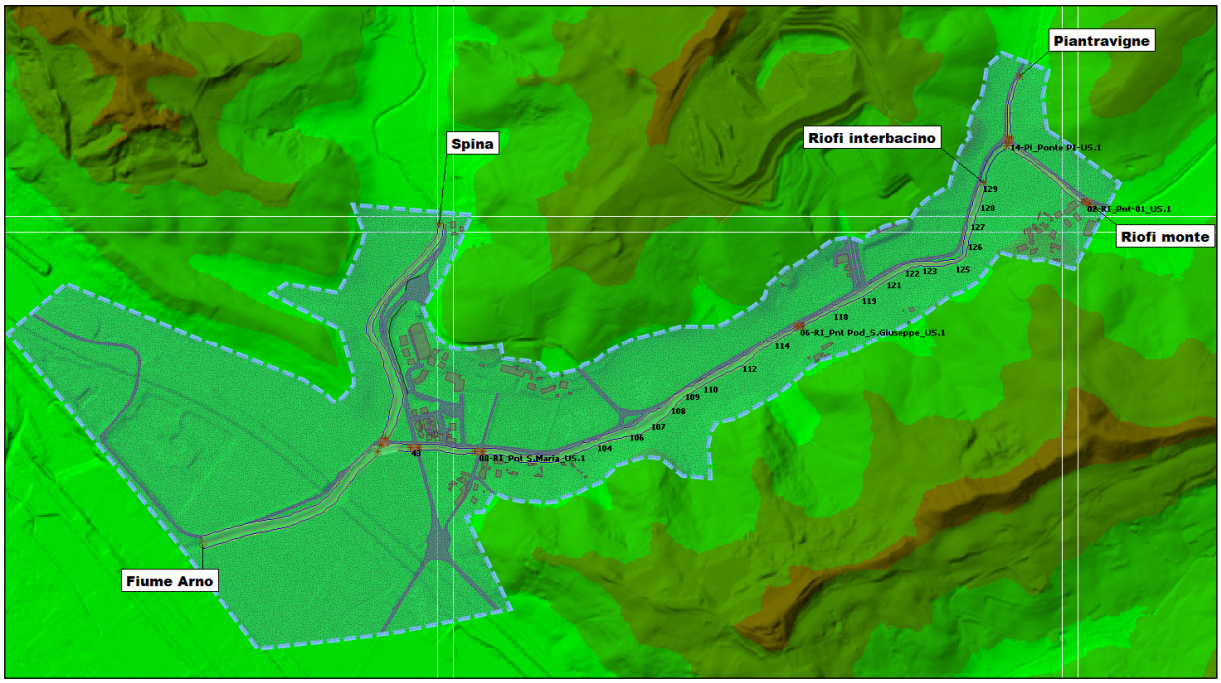



**Figura 47.** Modello idraulico – Immissioni - sovrapposizione al rilievo Lidar.

## BACINO RIOFI

PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO

### SCENARIO ALFA - Dc crtico Riofi

| Tr 30 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.133 | 49.029 | 32.74 | 22.989 | 0.929 | **77.828** |
| PIANTAVIGNE | 2.133 | 56.929 | 49.764 | 26.69 | 0.987 | **22.665** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.568 | 51.024 | 38.288 | 19.869 | 0.993 | **6.616** |
| SPINA | 2.568 | 60.575 | 47.266 | 23.589 | 0.936 | **80.835** |

| Tr 100 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.133 | 59.447 | 42.42 | 27.87 | 0.929 | **98.438** |
| PIANTAVIGNE | 2.133 | 75.183 | 67.774 | 35.248 | 0.987 | **30.103** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.268 | 59.35 | 46.787 | 26.168 | 0.993 | **8.336** |
| SPINA | 2.268 | 76.992 | 62.674 | 33.947 | 0.935 | **110.998** |

| Tr 200 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 1.893 | 63.691 | 46.455 | 33.65 | 0.927 | **112.278** |
| PIANTAVIGNE | 1.893 | 84.952 | 77.471 | 44.877 | 0.986 | **37.608** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.328 | 66.892 | 54.231 | 28.734 | 0.993 | **9.491** |
| SPINA | 2.328 | 91.179 | 75.933 | 39.166 | 0.935 | **132.13** |

| Tr 500 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 1.893 | 73.748 | 55.779 | 38.964 | 0.927 | **133.121** |
| PIANTAVIGNE | 1.893 | 104.978 | 97.222 | 55.456 | 0.986 | **46.708** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.268 | 76.781 | 64.097 | 33.854 | 0.993 | **11.223** |
| SPINA | 2.268 | 111.843 | 95.246 | 49.314 | 0.935 | **166.181** |

### SCENARIO BETA - Dc critico Spina

| Tr 30 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.409 | 51.171 | 34.511 | 21.241 | 0.931 | **77.661** |
| PIANTAVIGNE | 2.409 | 59.175 | 51.869 | 24.564 | 0.987 | **21.31** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.409 | 49.947 | 37.261 | 20.733 | 0.993 | **6.612** |
| SPINA | 2.409 | 59.359 | 46.106 | 24.637 | 0.936 | **81.065** |

| Tr 100 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.169 | 59.797 | 42.655 | 27.569 | 0.929 | **98.467** |
| PIANTAVIGNE | 2.169 | 75.585 | 68.13 | 34.848 | 0.987 | **29.952** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.169 | 58.472 | 45.91 | 26.958 | 0.993 | **8.319** |
| SPINA | 2.169 | 75.907 | 61.61 | 34.996 | 0.934 | **110.836** |

| Tr 200 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.169 | 66.811 | 49.173 | 30.803 | 0.929 | **112.153** |
| PIANTAVIGNE | 2.169 | 88.71 | 81.08 | 40.899 | 0.987 | **35.292** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.169 | 65.33 | 52.72 | 30.12 | 0.993 | **9.483** |
| SPINA | 2.169 | 89.15 | 73.978 | 41.102 | 0.934 | **132.218** |

| Tr 500 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| RIOFI MONTE | 2.169 | 77.36 | 58.977 | 35.666 | 0.929 | **132.631** |
| PIANTAVIGNE | 2.169 | 109.621 | 101.713 | 50.54 | 0.987 | **43.795** |
| RIOFI INTERBACINO | 2.169 | 75.645 | 62.964 | 34.876 | 0.993 | **11.217** |
| SPINA | 2.169 | 110.267 | 93.701 | 50.838 | 0.934 | **166.265** |

**Tabella 20.** Portate al colmo per ciascuno scenario e tempo di ritorno.

## 5.2.4 MODELLO IDRAULICO

### 5.2.4.1 IL MODELLO GEOMETRICO

Il modello geometrico utilizzato per la modellistica idraulica è costituito da 69 sezioni, di cui 53 sul torrente Riofi, 6 sul borro di Piantravigne e 10 sul borro della Spina (vedi Figura 48).

Il tratto del borro di Riofi studiato è quello compreso tra la località Casa Borgherese posta a circa 270 metri a monte dell'immissione del borro di Piantravigne e la confluenza in Arno, per uno sviluppo longitudinale di circa 2.760 metri. I ponti montati sul torrente Riofi nel modello sono 4:

1. Ponte Riofi Monte;
2. Ponte Podere San Giuseppe;
3. Ponte Santa Maria;
4. Ponte SP Botriolo

Il borro di Piantravigne è stato studiato per un tratto di circa 180 metri immediatamente a monte dell'immissione sul Riofi. E' stato montato un ponte: ponte Piantravigne.

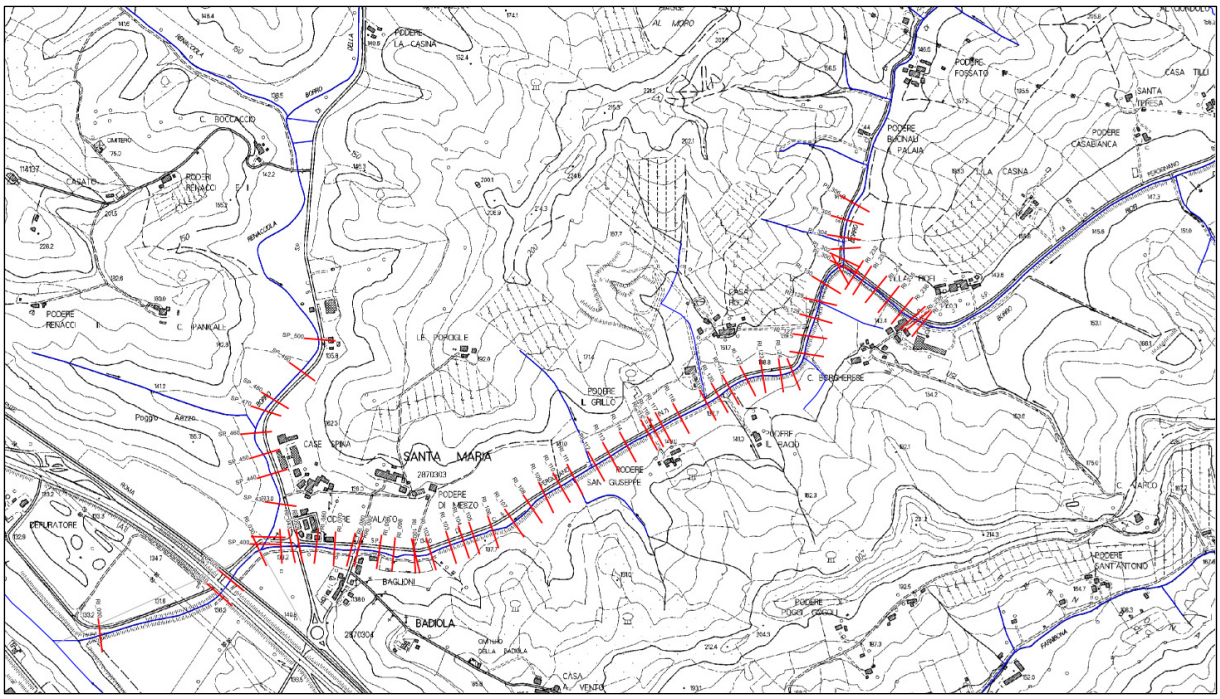



**Figura 48.** Planimetria sezioni Torrenti: Riofi, Piantravigne, Spina .

Le sezioni per i modelli idraulici del borro di Riofi e del Piantravigne sono state fornite da CSAI e sono quelle utilizzate per la modellazione idraulica effettuata

all'interno del progetto *"Interventi per la completa messa in sicurezza idraulica dell'area posta a valle dell'impianto e delle relative opere connesse e funzionali"* [6].

Altre sezioni necessarie per il presente studio sono state rilevate tramite Lidar e verificate a terra con adeguati sopralluoghi.

Il tratto di studio che ha interessato il borro della Spina si sviluppa per circa 670 metri a monte dell'immissione sul Riofi. Anche in questo caso è stato montato nel modello un ponte: ponte via Urbinese. Le sezioni in questo caso sono state rilevate tramite Lidar.

#### 5.2.4.2 MODELLAZIONE ZONE 2D

La zona di studio, su cui è stato creato il modello idraulico 2D, ha un estensione di 131.07 ha (vedi allegato) che si estende dalla confluenza in Arno fino alla sezione di monte del Riofi. E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 100 mq, dimensione minima 10 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.10 m.

Sono stati inseriti all'interno della zona 2D dei poligoni che rappresentano le infrastrutture esistenti che, di fatto, creano ostacolo al deflusso e tolgono volume di accumulo. Per ottenere un modello attuale è stato necessario analizzare le fotografie aeree (anno 2010 Regione Toscana) e aggiungere e/o eliminare alcuni edifici (vedi ad esempio la nuova lottizzazione in località Santa Maria). I poligoni immessi nel modello sono 118.

In maniera analoga sono state valutate delle aree a scabrezza differenziata che rappresentano la viabilità, dove questa è asfaltata la scabrezza di manning è stata valutata con un coefficiente pari a 0.015. Anche in questo caso si è proceduto ad una attualizzazione delle strade esistenti tramite l'analisi delle foto aeree (vedi ad esempio la nuova lottizzazione in località Santa Maria e la variante omonima di recente realizzazione). L'estensione delle aree a scabrezza differenziata copre un a superficie di 5.57 ha.

E' stato necessario introdurre due strutture lineari in prossimità della variante alla strada provinciale di Botriolo, per tenere conto delle recenti modifiche morfologiche apportate dalla realizzazione della strada, della rotatoria e della lottizzazione di monte; modifiche non contenute nel rilievo lidar utilizzato per la modellazione idraulica. Le strutture lineari simulano la presenza del rilevato della nuova strada e del nuovo lottizzo attualmente esistenti, come una barriera idraulica con le quote del coronamento coincidenti con quelle dei rilevati.

[6] Ing. M. Sacchetti – Gennaio 2012

I dati sulle quote di coronamento dei muri inseriti nel modello ICM sono stati ricavati da rilievi di dettaglio con quote assolute solidali e congruenti ai dati LIDAR.

Di seguito si riportano alcune fotografie dei principali muri spondali inseriti nel modello geometrico.

**Foto RI_01.** Nuova rotatoria, nuova viabilità di raccordo e nuovo lottizzo.

**Foto RI_02.** Sulla destra: nuova lottizzazione. E' evidente il rilevato morfologico.

### 5.2.4.3 LAYOUT DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito si riporta un estratto da ICM nel quale viene riportato il layout del modello idraulico sovrapposto alla ortofoto, dove è possibile individuare i vari corsi d'acqua e la zona 2D analizzati.

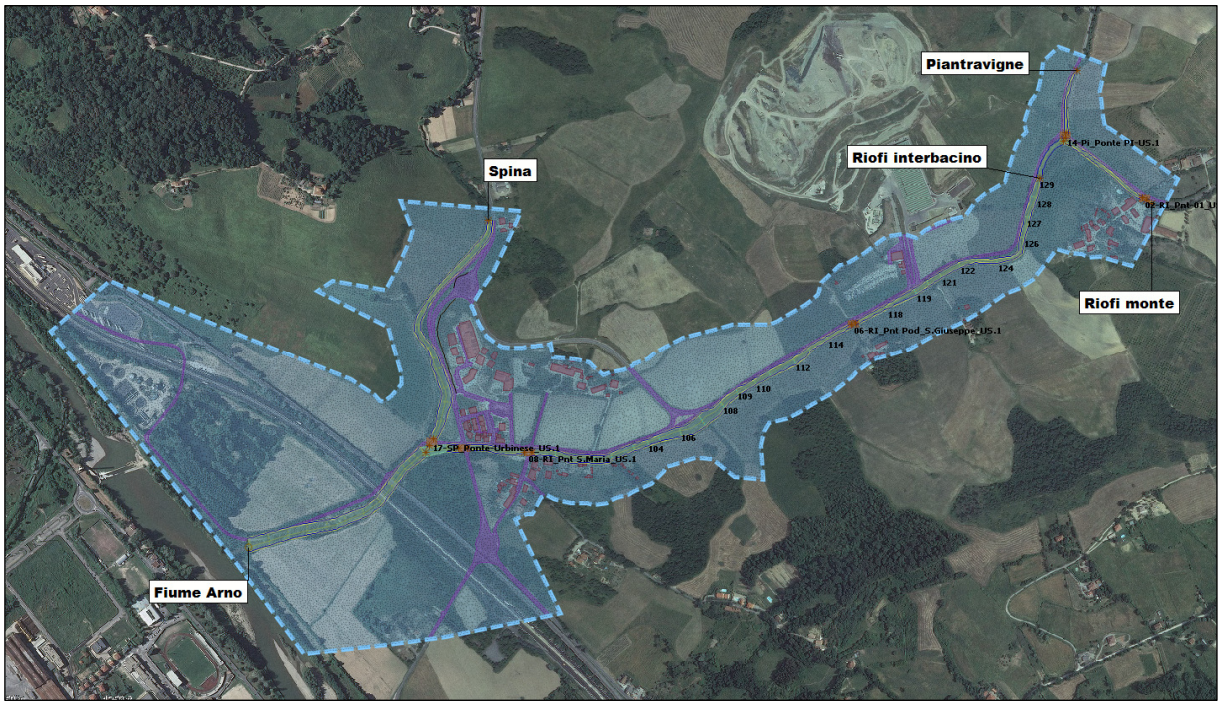



**Figura 49.** Modello idraulico – sovrapposizione a fotografia aerea.

#### 5.2.4.4 COEFFICIENTI DI RESISTENZA AL MOTO

Per quanto riguarda i coefficienti di resistenza al moto (scabrezza), sulla base delle caratteristiche dei corsi d'acqua in esame, abbiamo assunto per il deflusso in alveo (1D) un valore di coefficiente di Manning pari a 0.035 [$s/m^{1/3}$] per il borro di Riofi, di 0.038 [$s/m^{1/3}$] per il borro di Piantravigne e 0.036 [$s/m^{1/3}$] il borro della Spina.

Per quanto riguarda le aree simulate in moto bidimensionale (2D) abbiamo assunto come rappresentativo un coefficiente di Manning pari a 0.025 [$s/m^{1/3}$].

All'interno dell'ambiente Infoworks ICM sono state inoltre definite aree a scabrezza differenziata nelle zone dove è presente viabilità asfaltata e che pertanto offrono una minore resistenza al moto. Per tali aree è stato adottato un Manning pari a 0.015 [$s/m^{1/3}$].

#### 5.2.4.5 IMMISSIONI

I risultati dell'analisi idrologica, sono costituiti dagli idrogrammi di piena valutati per i vari tempi di ritorno e per i vari scenari analizzati.

In ambiente Infoworks ICM l'inserimento degli idrogrammi è effettuato attraverso la definizione delle immissioni su determinati nodi rella rete. Gli idrogrammi relativi ai tratti di monte sono immessi nei rispettivi nodi di monte dei tratti fluviali. Gli idrogrammi relativi ai vari sottobacini analizzati per definire l'incremento delle portate lungo i corsi d'acqua sono invece inseriti in nodi intermedi della rete.

Di seguito si riporta l'elenco dei sottobacini e il nodo in cui è stata definita la relativa immissione nel modello ICM (vedi Figura 49):

1. Borro Riofi Monte: 01-RI_US;
2. Borro Piantravigne: 13-PI_US;
3. Borro di Riofi Interbacino: 05-RI_imm_01;
4. Borro della Spina: 16-SP_US.

### 5.2.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dal sistema idraulico Riofi (composto dal borro di Riofi – borro Piantravigne – borro della Spina) sull'area indagata.

Di seguito si riportano le considerazioni sui risultati delle simulazioni idrauliche eseguite in moto vario con Infoworks ICM suddivise per i tempi di ritorno di riferimento (Tr=200 e Tr=30 anni).

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati elaborati in modo grafico (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati e analisi dei battenti per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica P.I.4 e P.I.3) per la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica. Di seguito si riporta un estratto della tavola: "*Proposta di modifica della Carta delle aree a Pericolosità idraulica PAI*" a cui si rimanda per i dettagli (TAV.IDR14 – in giallo P.I.4, in arancione P.I.3, in celeste P.I.2 e in azzurro chiaro P.I.1).

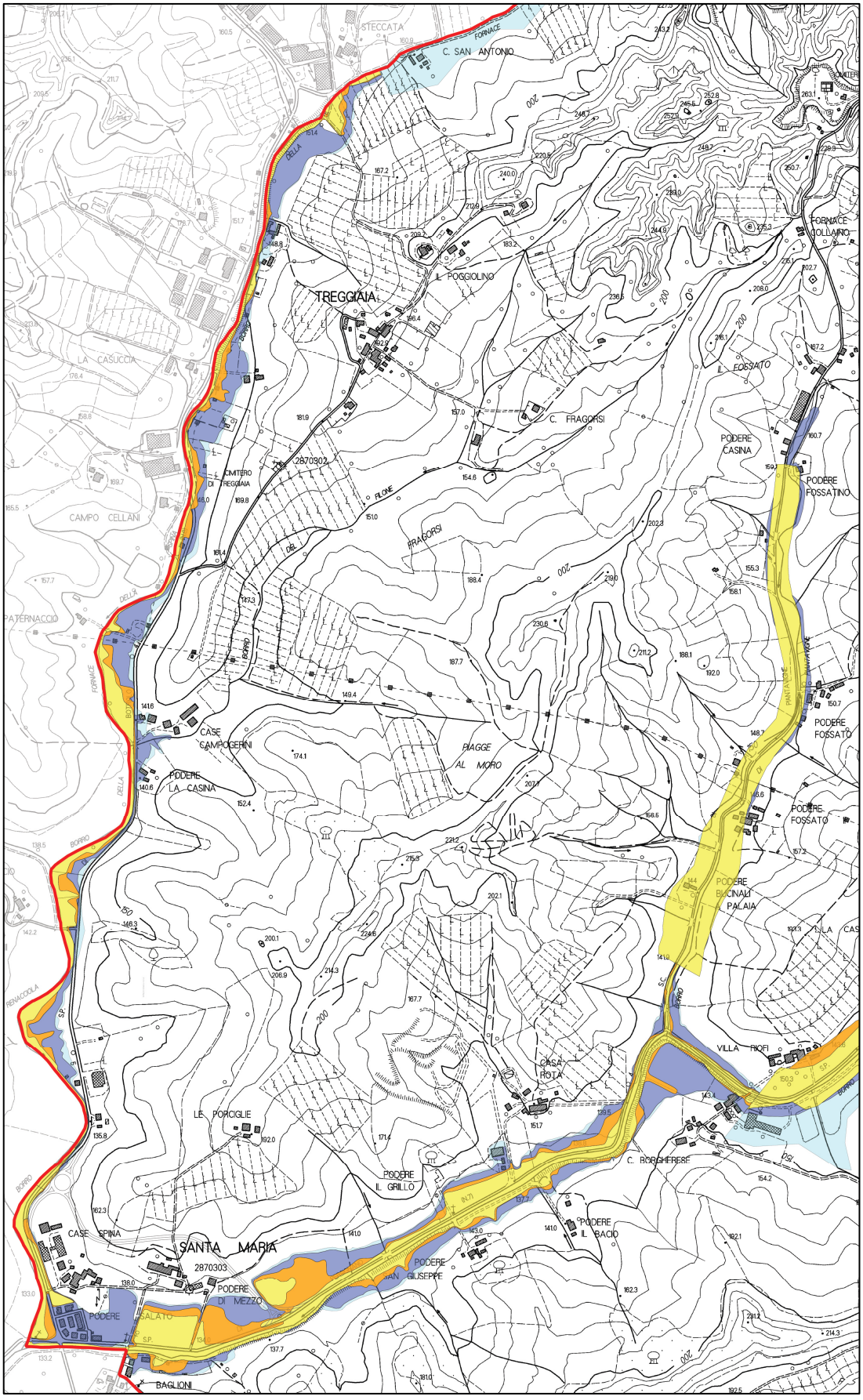



**Figura 50.** Estratto della Tavola: Proposta di modifica della Carta delle aree a pericolosità idraulica PAI.

#### 5.2.5.1 TEMPO DI RITORNO TRENTENNALE

Borro di Riofi:

Lo scenario ALPHA (Dc critico Riofi - Figura 51) risulta il più critico per il tratto di monte fino alla sezione RI_103 in prossimità della località Podere di mezzo. Nel tratto successivo lo scenario più critico risulta essere il BETA (Dc critico Spina) fino alla sezione 20-1-0 ubicata subito a valle del rilevato autostradale. Da questa fino alla confluenza in Arno lo scenario più critico è il GAMMA (Dc critico Arno) poiché in questo tratto si ha l'influenza dei tiranti idrici dovuti al transito della piena in Arno.

I risultati della modellazione idraulica rendono evidente l'insufficienza delle sezioni attuali del Riofi, così come l'inadeguatezza degli attraversamenti esistenti.

Nel tratto di monte compreso tra le sezioni RI_240 e RI_126 si hanno esondazioni in destra idraulica che vanno ad interessare la sede viaria della strada provinciale n°7 di Persignano, mentre in sinistra si ha l'allagamento di un'estesa area compresa tra il borro e il versante collinare.

A valle, tra le sezioni RI_128 e RI_092 (ponte di Santa Maria), sono evidenti estesi fenomeni di allagamento in sponda destra che vanno ad interessare la strada provinciale n°7 di Persignano e l'area pianeggiante compresa tra questa e il versante collinare.

A valle del ponte di Santa Maria si ha il superamento della sponda sinistra con il conseguente allagamento dell'area depressa adiacente (comune di San Giovanni Valdarno), mentre in sponda destra non si hanno esondazioni.

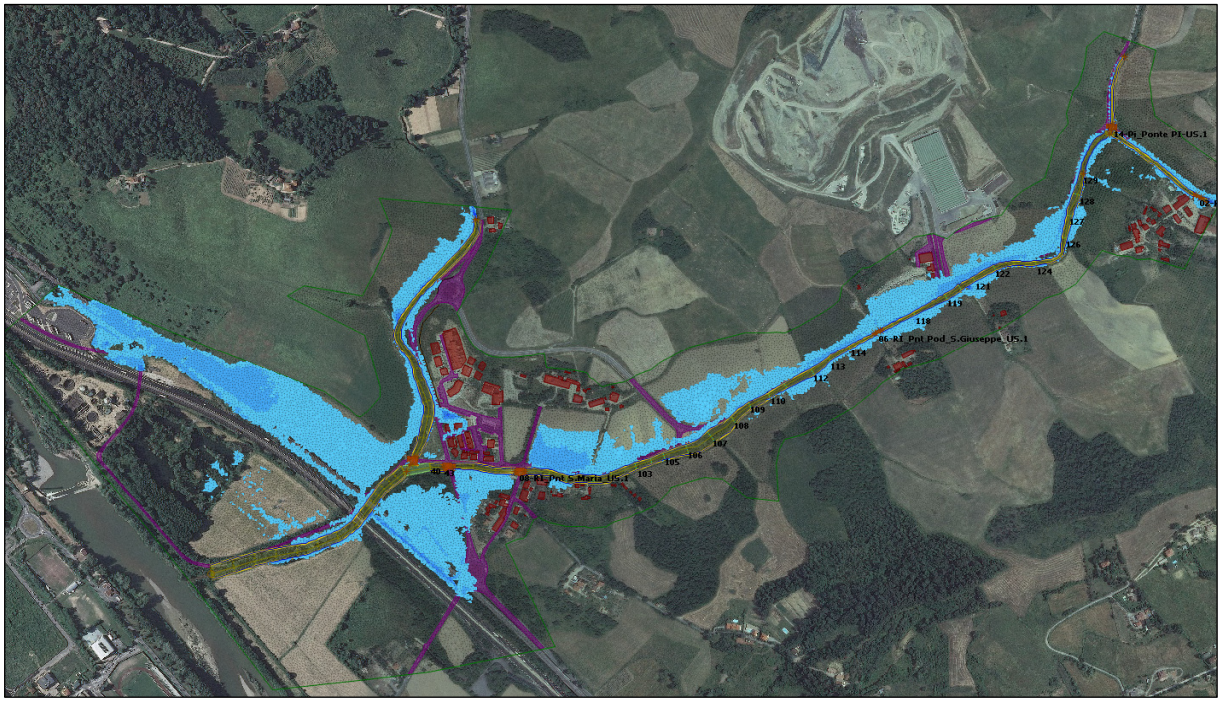



**Figura 51.** Risultati modellazione idraulica per Tr30 – Scenario ALPHA.

Borro di Piantravigne:

Per questo tempo di ritorno lo scenario più critico risulta essere l'ALPHA. Si ha il superamento della sponda destra con conseguente allagamento della sede viaria della S.C. di Piantravigne, causato principalmente dal ponte Piantravigne e dal rigurgito da questo derivante.

Borro della Spina:

Per Tr=30 anni lo scenario più critico risulta essere il BETA. Per questo corso d'acqua si ha il superamento di entrambi i cigli di sponda a causa del rigurgito che si crea sia per la presenza del ponte di Via Urbinese che dei livelli che si instaurano sul Riofi. L'esondazione in sponda sinistra provoca l'allagamento della strada provinciale di Botriolo e di alcune abitazioni nel nucleo di Santa Maria.

#### 5.2.5.2 TEMPO DI RITORNO DUECENTENNALE

Borro di Riofi:

Per Tr=200 anni lo scenario ALPHA (Figura 52) rimane il più significativo per il tratto di monte fino alla sezione RI_098. Da questa fino alla sezione RI_070 risulta essere lo scenario BETA mentre dalla RI_070 fino alla conflunza in Arno lo scenario più critico risulta essere il GAMMA. Questo evidenzia che per questo tempo di ritorno l'influenza dei battenti in Arno interessa un tratto più esteso di quanto avviene per Tr=30 anni.

In questo scenario si conferma la dinamica relativa ai superamenti dei cigli di sponda descritti per l'evento trentennale con un aumento delle superfici e anche del numero degli edifici interessati dagli allagamenti. In aggiunta si evidenzia il superamento del ciglio di sponda destra nel tratto subito a valle del ponte di Santa Maria, che porta ad un allagamento del nucleo abitato omonimo.

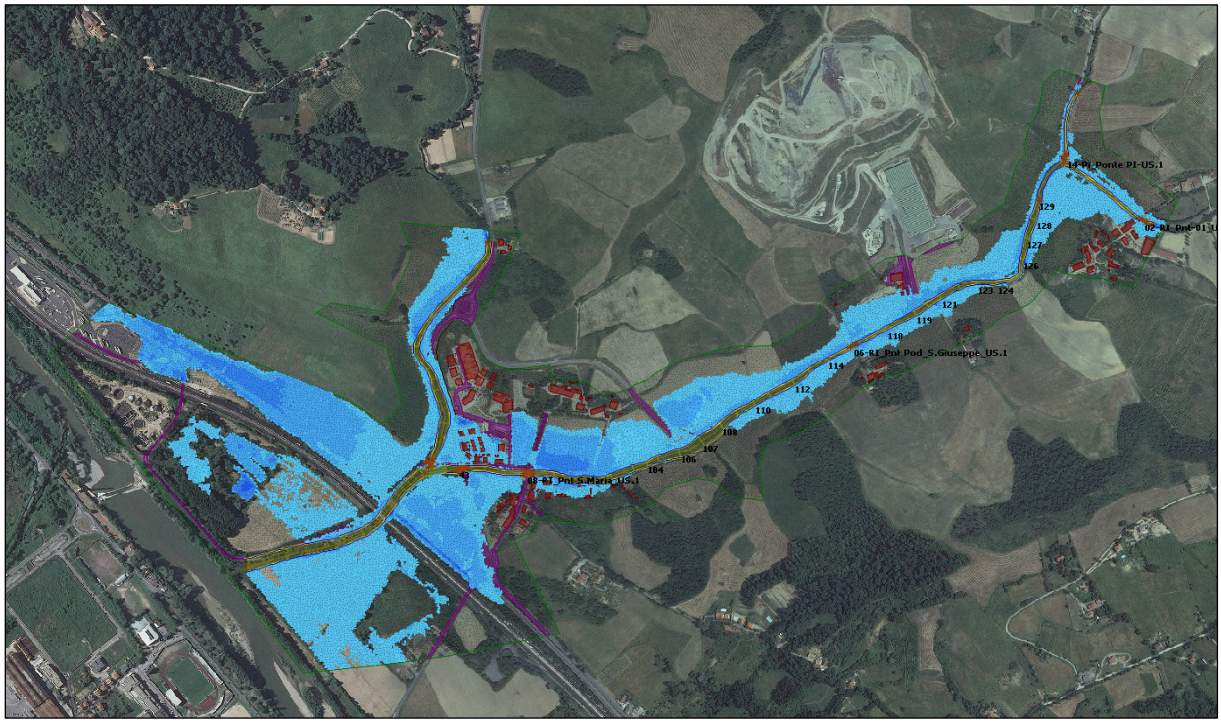



**Figura 52.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario ALPHA.

Borro di Piantravigne:

Per questo tempo di ritorno lo scenario più critico risulta essere l'ALPHA. Anche in questo caso, come per il Riofi, si conferma la dinamica relativa ai superamenti dei cigli di sponda descritti per l'evento trentennale con un aumento delle superfici interessate dagli allagamenti, a cui si aggiunge l'allagamento anche in sponda sinistra.

Borro della Spina:

Per Tr=200 anni lo scenario più critico risulta essere il BETA fino alla sezione 430. A valle di questa i livelli idraulici sono influenzati dai battenti in Arno, analogamente a quanto accade per il Riofi e quindi prevale lo scenario GAMMA.

Si conferma la dinamica relativa ai superamenti dei cigli di sponda descritti per l'evento trentennale con un aumento delle superfici interessate dagli allagamenti, e il conseguente maggior contributo all'allagamento del nucleo abitato di Santa Maria.

Di seguito si riportano gli estratti della modellazione idraulica relativamente all'abitato di Santa Maria per Tr=200 e per i tre scenari analizzati.

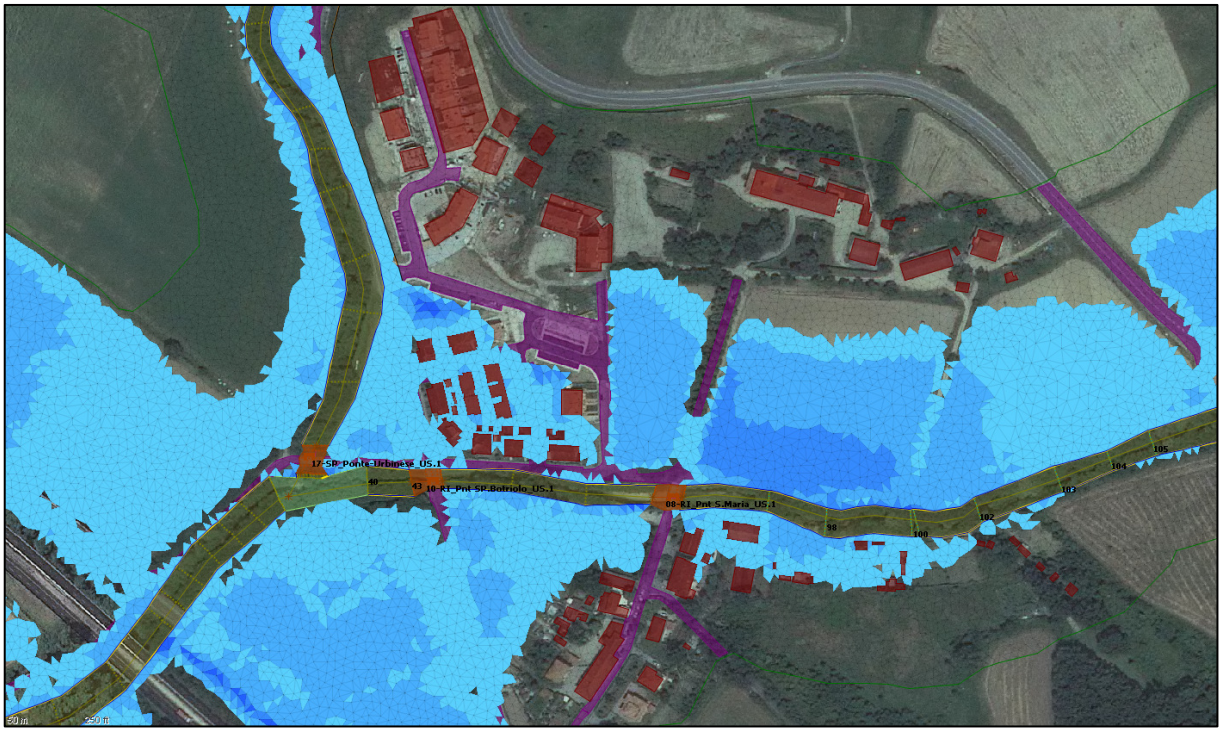



**Figura 53.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario ALPHA – Dettaglio: Loc. Santa Maria.

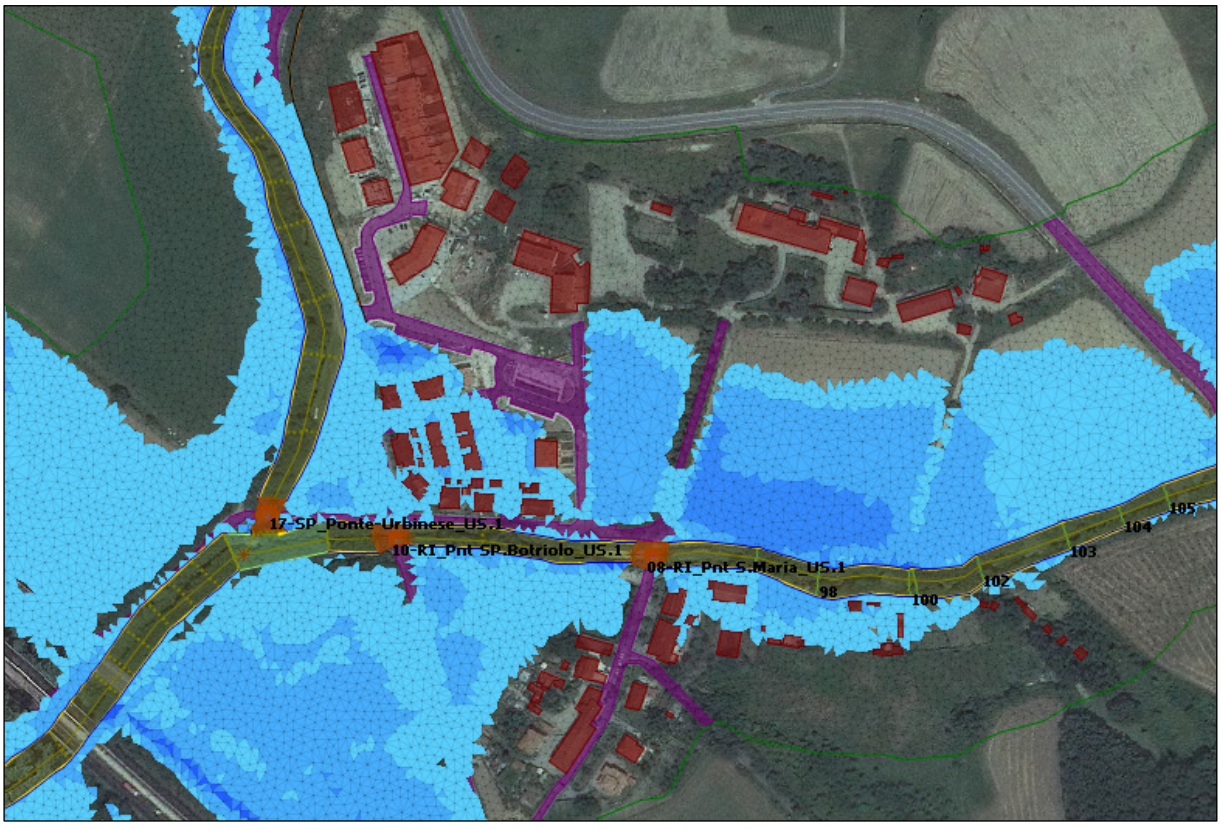



**Figura 54.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario Beta - Dettaglio: Loc. Santa Maria.

**Figura 55.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario Gamma - Dettaglio: Loc. Santa Maria.

## 5.3 SOTTOSISTEMA BOTRIOLO

### 5.3.1 INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Per quanto riguarda il borro della Spina nel tratto a monte della sezione trasversale 480 si fa riferimento allo studio idrologico-idraulico redatto nell'abito della variante al Piano Strutturale del Comune di Castelfranco di Sopra. Tale studio, realizzato in ambiente Infoworks con la medesima metodologia adottata nella modellazione del sistema Riofi, si estende su di un tratto con sviluppo di oltre 3.5 km a monte della sezione 480. Tale studio viene in questa sede ripreso integralmente poiché il borro della Spina in questa zona costituisce il confine tra il comune di Castelfranco di Sopra e Terranuova Bracciolini.

Lo studio idrologico-idraulico dell'area denominata "Botriolo" è relativo alla zona valliva posta a sud di Castelfranco di Sopra e che si estende dal toponimo "Casa Nuova" sino al confine comunale con San Giovanni Valdarno e, più a valle, il nucleo abitato di Santa Maria (Terranuova Bracciolini). L'area è caratterizzata dalla presenza della Strada Provinciale n°8 del Botriolo che da San Giovanni Valdarno raggiunge Castelfranco di Sopra con un tracciato in gran parte adiacente al borro della Fornace o della Spina.

Il borro della Spina, risalendo dalla confluenza sul borro di Riofi presso la località Santa Maria (comune di Terranuova Bracciolini) scorre perlopiù in adiacenza alla SP del Botriolo sino a raggiungere la località "Il Casone" dove riceve il contributo del borro del Molinaccio (che è un suo affluente destro). Risalendo verso monte il borro della Spina, all'interno del presente studio idraulico, è stato denominato borro della Fornace e riceve l'immissione del fosso Steccata che è un suo tributario destro. Il fosso della Steccata è stato modellato in relazione alla presenza di un insediamento produttivo/artigianale della località Il Casone.

Il borro della Spina costituisce il confine comunale tra Castelfranco di Sopra e Terranuova Bracciolini per un vasto tratto della zona valliva. A valle della confluenza del borro Renacciola, lo Spina costituisce il confine tra i comuni di Terranuova Bracciolini e San Giovanni Valdarno.

In allegato si riporta un estratto dalla cartografia CTR 10K con in evidenza il perimetro del bacino imbrifero e l'asta principale del borro della Spina.

Lo studio della morfologia del bacino è stato condotto utilizzando la cartografia tecnica regionale (CTR) in scala 1:2.000 e 1:10000.

Il bacino imbrifero del borro della Spina, chiuso in alla confluenza sul Riofi, ha un'area di 17.54 kmq e si estende sino al crinale del Pratomagno in corrispondenza del varco d'Odina. La quota massima del bacino è 899 m slm mentre la quota in corrispondenza della confluenza sul Riofi è 133 m slm.

## 5.3.2 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 5.3.2.1 PARAMETRI UTILIZZATI

La stima delle portate al colmo è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana); tale metodologia è già stata esposta nei paragrafi precedenti e vi si rimanda per ulteriori dettagli.

### 5.3.2.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Nell'ambito del sistema idraulico Botriolo sono stati analizzati più scenari critici che tengono conto delle diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette, in fase di modellazione idraulica, di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

Nel caso in esame è stato necessario definire due scenari di riferimento:

5.3.2.2.1 Scenario ALPHA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per i tratti di monte dei corsi d'acqua analizzati (durate critiche di ciascun tratto di monte);

5.3.2.2.2 Scenario BETA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per i tratti di valle dei corsi d'acqua analizzati (durata critica del bacino Spina totale);

### 5.3.2.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato è stata calcolata la durata di pioggia critica che massimizza l'afflusso del relativo corso d'acqua e in funzione di questa sono stati calcolati i relativi idrogrammi di piena per ciascun tributario analizzato. Gli idrogrammi così ottenuti rappresentano la condizione al contorno di monte per i tratti fluviali analizzati.

#### 5.3.2.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Come condizione al contorno di valle del modello idraulico è stata utilizzata l'altezza di moto uniforme (normal depth). Ulteriori considerazioni sulle condizioni al contorno saranno dettagliate nella descrizione del modello idraulico.

#### 5.3.2.5 ANALISI IDROLOGICA

Il bacino del Spina è stato suddiviso nei seguenti sottobacini:

6. Bacino borro del Molinaccio che a sua volta è suddiviso tra Molinaccio A, Molinaccio B e Molinaccio Valle;
7. Bacino borro della Fornace;
8. Bacino fosso Steccata;
9. Bacino Spina interbacino 1-A;
10. Bacino Spina interbacino 2-A;
11. Bacino Spina interbacino 3-A;

Per ciascuno di questi sono stati calcolati i parametri morfologici ed idrologici e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per ciascuno scenario analizzato.

Si riportano di seguito i parametri morfologici ed idrologici utilizzati ed i risultati numerici attraverso il codice di calcolo ALTO2000.

**Modello Botriolo (Sistema Molinaccio-Fornace-Spina) - Parametri Morfologici e idrologici**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | [mm/(ore^n1xanni^m1)] | - | - | [mm/(ore^n1xanni^m1)] | - | |
| MOLINACCIO A | 0.506 | 19.03 | 0.775 | 1.855 | 0.226 | 19.989 | 0.214 | 0.19 | 20.375 | 0.319 | 0.234 |
| MOLINACCIO B | 0.123 | 3.3 | 0 | 2.505 | 0.078 | 21.374 | 0.27 | 0.17 | 21.334 | 0.302 | 0.213 |
| MOLINACCIO VALLE | 0.516 | 14.3 | 0.451 | 2.022 | 0.266 | 19.989 | 0.214 | 0.19 | 20.375 | 0.319 | 0.234 |
| FORNACE MONTE | 6.016 | 12.1 | 1.259 | 2.397 | 0.467 | 21.374 | 0.27 | 0.17 | 21.334 | 0.302 | 0.213 |
| STECCATA | 0.990 | 13.3 | 0.564 | 4.19 | 0.14 | 21.374 | 0.27 | 0.17 | 21.334 | 0.302 | 0.213 |
| SPINA INT_1-A | 0.983 | 11.271 | 0.899 | 2.464 | 0.533 | 19.989 | 0.214 | 0.19 | 20.375 | 0.319 | 0.234 |
| SPINA INT_2-A | 2.210 | 10.371 | 0.738 | 2.515 | 0.571 | 21.374 | 0.27 | 0.17 | 21.334 | 0.302 | 0.213 |
| SPINA INT_3-A | 6.197 | 9.152 | 0.67 | 2.686 | 0.653 | 20.195 | 0.227 | 0.19 | 20.387 | 0.318 | 0.232 |

**Tabella 21.** Modello idrologico Botriolo - Parametri morfologici ed idrologici.

In questa sede di riportano anche i principali risultati relativi ai tratti fluviali di monte, anche se questi corsi d'acqua, ad eccezione del borro della Fornace, non sono ubicati nel comune di Terranuova Bracciolini. I risultati idrologici degli altri tratti di monte (Molinaccio A e B, Molinaccio valle e fosso Staccata) sono riportati per chiarezza espositiva anche considerando il fatto che sono tributari del borro della Spina per cui risulta opportuno e necessario esplicitare i risultati delle valutazioni idrologiche anche in questa sede.

Lo scenario ALPHA è stato impostato per valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il borro della Spina nel tratto compreso tra il punto dove riceve il Molinaccio sino alla parte terminale del modello idraulico (confluenza sul Riofi). Per questo scenario sono stati valutati gli idrogrammi di piena competenti ad un evento di durata critica per l'intero bacino del borro Spina.

Lo scenario BETA è stato impostato per valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche per i tratti di monte del modello idraulico; nel dettaglio si tratta dello scenario che massimizza le portate per il borro della Fornace, del fosso Steccata e dei tre tratti del borro Molinaccio. Su ciascuno dei suddetti corsi d'acqua è stato valutato l'idrogramma di piena, per ciascun tempo di ritorno analizzato, competente alla durata critica del corso d'acqua. Le valutazioni sul borro del Molinaccio sono state eseguite applicando la durata critica del bacino Molinaccio valle ai bacini Molinaccio A e B.

Questo approccio è a favore di sicurezza in quanto porta ad una sovrastima delle criticità legate alle zone delle confluenze dei vari tratti; si va infatti a considerare che ciascun corso d'acqua sia interessato dal transito di una piena massimizzante (ricavata dalla durata critica di pioggia relativa al suo bacino imbrifero).

L'utilizzo di questa metodologia di calcolo consente di valutare le condizioni di deflusso maggiormente critiche per i tratti di monte con un solo scenario idrologico di riferimento ed è stata adottata anche in relazione alla presenza di diverse aste fluviali da processare. Gli scenari idrologici sono stati valutati adottando l'isofrequenza dei tempi di ritorno per ciascun tratto fluviale.

Lo scenario BETA risulta il modello idrologico capace di valutare le condizioni di deflusso critiche per i tratti di monte del modello idraulico nel dettaglio risulta valido per l'intero borro del Molinaccio per il fosso Steccata e per il borro della Fornace. I risultati delle simulazioni idrauliche eseguite con questo scenario sono quindi relativi ai tratti di monte sino alla confluenza del Molinaccio sul borro della Fornace. Sulla base di questa considerazione questo scenario non prevede l'inserimento di ulteriori contributi idrologici nel tratti posti a valle della suddetta confluenza (le condizioni di deflusso critiche per il tratto del borro della Spina compreso tra la confluenza del Molinaccio e la confluenza sul Riofi sono valutate nello scenario ALPHA).

Sulla base di quanto appena esposto, per quanto riguarda il Comune di Terranuova Bracciolini, si segnala lo scenario ALPHA come scenario critico per l'asta del borro della Spina dalla confluenza del Molinaccio verso valle, mentre lo scenario BETA risulterà critico per il tratto del borro delle Fornace analizzato.

Di seguito si riportano in forma tabellare e grafica i risultati delle simulazioni idrologiche condotte con ALTO2000.

## MODELLO BOTRIOLO (SISTEMA BORRO MOLINACCIO-FORNACE-SPINA)
### ANALISI DURATE CRITICHE

#### DURATE CRITICHE PER I VARI TRATTI FLUVIALI

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| FORNACE MONTE | 1.711 | 1.471 | 1.471 | 1.471 |
| STECCATA | 0.885 | 0.885 | 0.885 | 0.645 |
| MOLINACCIO A | 0.941 | 0.941 | 0.701 | 0.701 |
| MOLINACCIO B | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| MOLINACCIO VALLE | 1.072 | 1.072 | 0.832 | 0.832 |
| SPINA TOT_VALLE | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |

#### SCENARIO ALPHA - DURATE CRITICHE

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| FORNACE MONTE | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| STECCATA | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| MOLINACCIO A | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| MOLINACCIO B | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| MOLINACCIO VALLE | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| SPINA INT-1-A | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| SPINA INT-2-A | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| SPINA INT-3-A | 2.409 | 2.169 | 2.169 | 2.169 |

#### SCENARIO BETA - DURATE CRITICHE

| Corso d'acqua | TEMPO DI RITORNO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tr=30 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni | Tr=500 |
| | [h] | [h] | [h] | [h] |
| FORNACE MONTE | 1.711 | 1.471 | 1.471 | 1.471 |
| STECCATA | 0.885 | 0.885 | 0.885 | 0.645 |
| MOLINACCIO A | 1.072 | 1.072 | 0.832 | 0.832 |
| MOLINACCIO B | 1.072 | 1.072 | 0.832 | 0.832 |
| MOLINACCIO VALLE | 1.072 | 1.072 | 0.832 | 0.832 |
| SPINA INT-1-A | - | - | - | - |
| SPINA INT-2-A | - | - | - | - |
| SPINA INT-3-A | - | - | - | - |

**Tabella 22.** Modello idrologico Botriolo – Analisi durate critiche.

**MODELLO BOTRIOLO (SISTEMA BORRO MOLINACCIO-FORNACE-SPINA)**
**PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO**

**SCENARIO ALPHA - Dc critico SPINA**

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| MOLINACCIO A | 500 | 2.169 | 111.667 | 91.843 | 51.483 | 0.998 | **7.209** |
| MOLINACCIO A | 200 | 2.169 | 90.117 | 70.338 | 41.548 | 0.998 | **5.792** |
| MOLINACCIO A | 100 | 2.169 | 76.624 | 56.873 | 35.327 | 0.998 | **4.903** |
| MOLINACCIO A | 30 | 2.409 | 59.779 | 39.891 | 24.815 | 0.998 | **3.415** |
| MOLINACCIO B | 500 | 2.169 | 101.275 | 98.064 | 46.692 | 1 | **1.669** |
| MOLINACCIO B | 200 | 2.169 | 83.319 | 80.116 | 38.413 | 1 | **1.373** |
| MOLINACCIO B | 100 | 2.169 | 71.882 | 68.685 | 33.141 | 1 | **1.185** |
| MOLINACCIO B | 30 | 2.409 | 57.413 | 54.224 | 23.833 | 1 | **0.852** |
| MOLINACCIO VALLE | 500 | 2.169 | 111.667 | 96.995 | 51.483 | 0.998 | **7.311** |
| MOLINACCIO VALLE | 200 | 2.169 | 90.117 | 75.49 | 41.548 | 0.998 | **5.879** |
| MOLINACCIO VALLE | 100 | 2.169 | 76.624 | 62.026 | 35.327 | 0.998 | **4.981** |
| MOLINACCIO VALLE | 30 | 2.409 | 59.779 | 45.118 | 24.815 | 0.998 | **3.488** |
| FORNACE MONTE | 500 | 2.169 | 101.275 | 85.511 | 46.692 | 0.977 | **65.598** |
| FORNACE MONTE | 200 | 2.169 | 83.319 | 67.967 | 38.413 | 0.977 | **53.051** |
| FORNACE MONTE | 100 | 2.169 | 71.882 | 56.794 | 33.141 | 0.977 | **45.06** |
| FORNACE MONTE | 30 | 2.409 | 57.413 | 42.419 | 23.833 | 0.978 | **32.638** |
| STECCATA | 500 | 2.169 | 101.275 | 87.284 | 46.692 | 0.996 | **12.629** |
| STECCATA | 200 | 2.169 | 83.319 | 69.397 | 38.413 | 0.996 | **10.36** |
| STECCATA | 100 | 2.169 | 71.882 | 58.006 | 33.141 | 0.996 | **8.914** |
| STECCATA | 30 | 2.409 | 57.413 | 43.472 | 23.833 | 0.996 | **6.375** |
| SPINA INT-1-A | 500 | 2.169 | 111.667 | 98.798 | 51.483 | 0.996 | **11.441** |
| SPINA INT-1-A | 200 | 2.169 | 90.117 | 77.335 | 41.548 | 0.996 | **9.087** |
| SPINA INT-1-A | 100 | 2.169 | 76.624 | 63.896 | 35.327 | 0.996 | **7.606** |
| SPINA INT-1-A | 30 | 2.409 | 59.779 | 46.924 | 24.815 | 0.996 | **5.427** |
| SPINA INT-2-A | 500 | 2.169 | 101.275 | 89.333 | 46.692 | 0.991 | **22.381** |
| SPINA INT-2-A | 200 | 2.169 | 83.319 | 71.531 | 38.413 | 0.991 | **18.123** |
| SPINA INT-2-A | 100 | 2.169 | 71.882 | 60.193 | 33.141 | 0.991 | **15.396** |
| SPINA INT-2-A | 30 | 2.409 | 57.413 | 45.698 | 23.833 | 0.992 | **11.36** |
| SPINA INT-3-A | 500 | 2.169 | 110.267 | 97.97 | 50.838 | 0.975 | **61.396** |
| SPINA INT-3-A | 200 | 2.169 | 89.15 | 77.374 | 41.102 | 0.975 | **48.835** |
| SPINA INT-3-A | 100 | 2.169 | 75.907 | 64.458 | 34.996 | 0.975 | **40.95** |
| SPINA INT-3-A | 30 | 2.409 | 59.357 | 48.205 | 24.64 | 0.976 | **29.923** |

**Tabella 23.** Modello idrologico Botriolo – Risultati scenario ALPHA.

**MODELLO BOTRIOLO (SISTEMA BORRO MOLINACCIO-FORNACE-SPINA)**
**PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO**

**SCENARIO BETA - Dc critico Tratti di monte**

| Corso d'acqua | Tempo di ritorno | Durata critica | Precipitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| MOLINACCIO A_DCMOL_valle | 500 | 0.832 | 82.258 | 63.511 | 98.867 | 0.997 | **11.269** |
| MOLINACCIO A_DCMOL_valle | 200 | 0.832 | 66.383 | 47.676 | 79.787 | 0.997 | **8.77** |
| MOLINACCIO A_DCMOL_valle | 100 | 1.072 | 61.197 | 42.335 | 57.087 | 0.998 | **6.925** |
| MOLINACCIO A_DCMOL_valle | 30 | 1.072 | 46.172 | 27.346 | 43.071 | 0.998 | **4.857** |
| MOLINACCIO B_DCMOL_valle | 500 | 0.832 | 75.828 | 72.621 | 91.14 | 0.999 | **3.246** |
| MOLINACCIO B_DCMOL_valle | 200 | 0.832 | 62.383 | 59.184 | 74.98 | 0.999 | **2.669** |
| MOLINACCIO B_DCMOL_valle | 100 | 1.072 | 58.102 | 54.907 | 54.2 | 0.999 | **1.937** |
| MOLINACCIO B_DCMOL_valle | 30 | 1.072 | 44.959 | 41.771 | 41.939 | 0.999 | **1.499** |
| MOLINACCIO VALLE | 500 | 0.832 | 82.258 | 68.223 | 98.867 | 0.997 | **10.382** |
| MOLINACCIO VALLE | 200 | 0.832 | 66.383 | 52.389 | 79.787 | 0.997 | **8.075** |
| MOLINACCIO VALLE | 100 | 1.072 | 61.197 | 47.121 | 57.087 | 0.998 | **6.671** |
| MOLINACCIO VALLE | 30 | 1.072 | 46.172 | 32.133 | 43.071 | 0.998 | **4.738** |
| FORNACE MONTE | 500 | 1.471 | 90.075 | 75.195 | 61.219 | 0.975 | **69.881** |
| FORNACE MONTE | 200 | 1.471 | 74.104 | 59.624 | 50.365 | 0.975 | **56.078** |
| FORNACE MONTE | 100 | 1.471 | 63.932 | 49.708 | 43.452 | 0.975 | **47.2** |
| FORNACE MONTE | 30 | 1.711 | 51.781 | 37.631 | 30.257 | 0.976 | **34.583** |
| STECCATA | 500 | 0.645 | 70.217 | 57.091 | 108.863 | 0.995 | **20.199** |
| STECCATA | 200 | 0.885 | 63.558 | 50.357 | 71.817 | 0.995 | **15.929** |
| STECCATA | 100 | 0.885 | 54.834 | 41.673 | 61.959 | 0.995 | **13.457** |
| STECCATA | 30 | 0.885 | 42.43 | 29.328 | 47.944 | 0.995 | **9.859** |

**Tabella 24.** Modello idrologico Botriolo – Risultati scenario BETA.

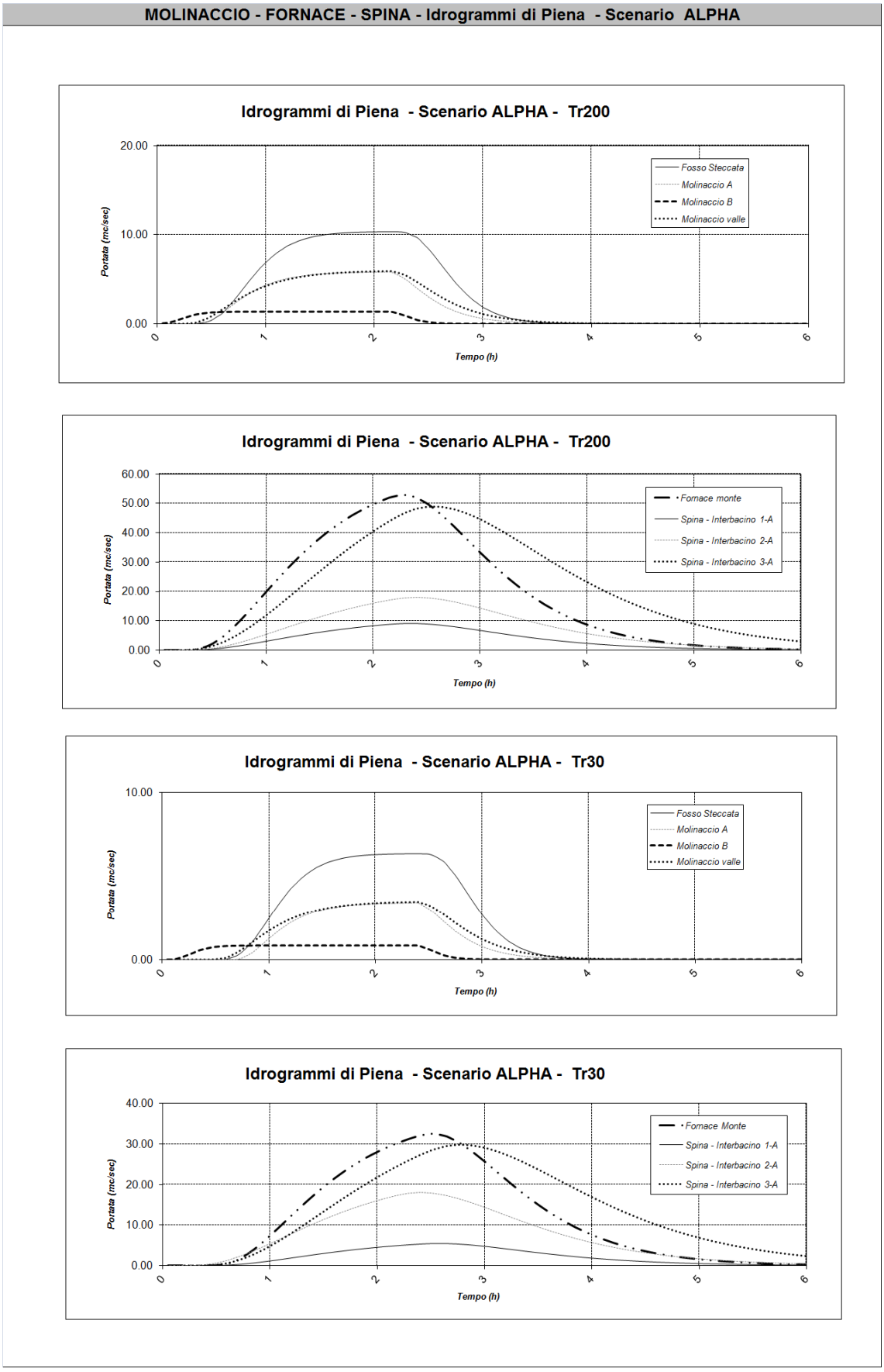



**Figura 56.** Modello idrologico Botriolo – Risultati idrogrammi di piena scenario ALPHA.

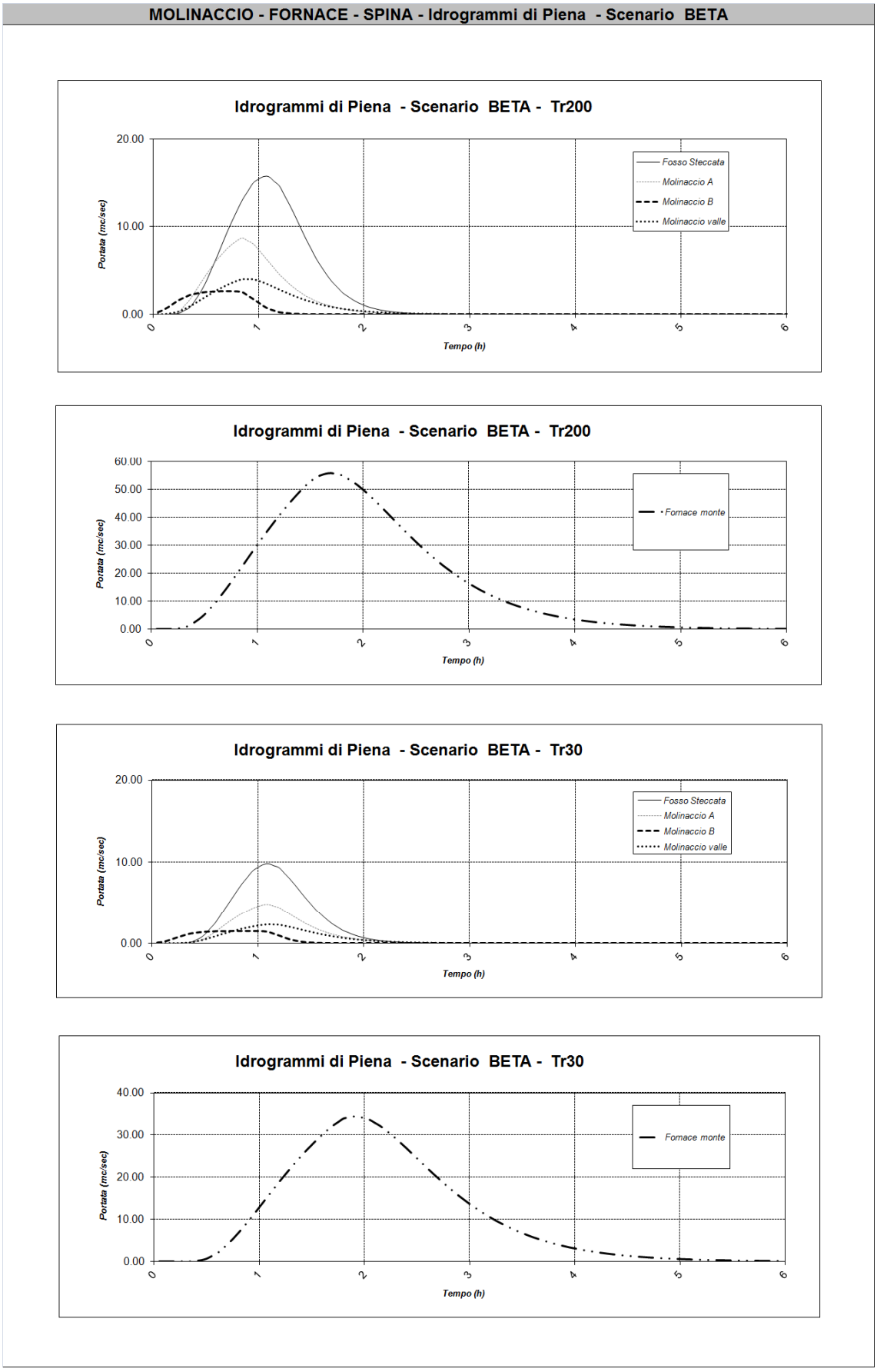



**Figura 57.** Modello idrologico Botriolo – Risultati idrogrammi di piena scenario BETA.

## 5.3.3 MODELLO IDRAULICO

### 5.3.3.1 MODELLO GEOMETRICO

Per quanto riguarda il modello geometrico, in questa sede, andiamo a riportare i dati relativi ai soli tratti di interesse per il comune di Terranuova Bracciolini.

Il modello geometrico utilizzato per la modellistica idraulica del sistema Botriolo è stato sviluppato come segue:

- Borro della Fornace: modellazione di un tratto di circa 250 metri dalla confluenza del molinaccio verso monte utilizzando 19 sezioni trasversali;
- Borro della Spina: modellazione di un tratto di circa 3500 metri dalla confluenza del Molinaccio sino alla confluenza sul borro Riofi (ubicata nel comune di Terranuova Bracciolini) utilizzando 121 sezioni trasversali.

Le sezioni trasversali sono state rilevate sia attraverso rilievi topografici di dettaglio, sia attraverso l'estrazione di dati dal LIDAR disponibile (volo anno 2008) eseguito nell'area del Comune di Terranuova Bracciolini (il borro della Spina costituisce, per ampi tratti, il confine tra i due comuni pertanto è disponibile la copertura dati Lidar quasi per l'intero tratto della Spina).

Le caratteristiche geometriche dei ponti sono state rilevate tramite rilievo topografico di dettaglio e rilievi diretti in sito; lungo i corsi d'acqua analizzati sono presenti 1 ponte sul borro Fornace e 6 ponti sul borro della Spina.

Il modello idraulico è stato allestito con modalità di simulazione mista: monodimensionale (1D) all'interno dello sviluppo delle sezioni trasversali e (2D) nelle aree esterne sulle quali è stato definito un DTM sulla base dei dati LIDAR. Si precisa che l'area del comune di Terranuova Bracciolini valutata in questo studio è coperta integralmente da dati LIDAR. Il ricorso a dati provenienti da cartografica CTR 2K e 10K (utilizzando curve di livello e punti quota) per l'allestimento del DTM è stato necessario per alcuni tratti del sistema Botriolo ricadenti nel Comune di Castelfranco di Sopra.

### 5.3.3.2 MODELLAZIONE ZONE 2D

La zona di studio modellata con simulazione bidimensionale (2D), ha un estensione di 1.07 kmq (vedi allegato). Infoworks ICM sull'area 2D va a creare una magliatura (mesh 2D) triangolare sulla quale vengono condotti i calcoli per la risoluzione del moto bidimensionale. E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 25 mq, dimensione minima 10 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.15 m.

Quando è attivata la magliatura dipendente dal terreno (Terrain-sensibile meshing), ICM genera una magliatura con triangoli preliminari. Se la gamma delle altezze all'interno del triangolo supera la massima variazione dell'altezza prevista per la zona 2D, il triangolo è diviso, aumentando la risoluzione della mesh in aree in cui l'altezza del terreno varia rapidamente. Questo processo viene ripetuto finché la variazione massima altezza viene più superata. Viene così incrementato la precisione di calcolo per le aree in cui ci sono importanti variazioni in altezza del terreno.

Il modello geometrico utilizzato per le simulazioni idrauliche con Infoworks ICM è stato completato con l'inserimento degli edifici esistenti. In ICM gli edifici sono rappresentati da poligoni chiusi dove viene raccordata la magliatura (mesh 2D). Gli edifici rappresentano quindi degli ostacoli per il deflusso delle acque ed è possibile apprezzare la progressione del fronte di esondazione in funzione degli ostacoli che trova nel suo percorso.

Nella definizione delle aree 2D è necessario impostare la condizione al contorno per il perimetro della zona bidimensionale. Questo parametro governa il deflusso delle acque che escono dall'area 2D attraversandone il perimetro. Generalmente, nella definizione del perimetro 2D è opportuno definire un'area di indagine con estensione superiore alla massima area allagata presunta ed il passaggio dei deflussi attraverso il perimetro dell'area 2D non si verifica. Ciò nonostante, in taluni casi (come ad esempio per le aree a valle dei tratti terminali dei corsi d'acqua simulati) si può verificare la fuoriuscita dei deflussi dall'area 2D. La condizione al contorno del modello 2D può essere impostata come:

- vertical wall: in questo caso si considera la presenza di una barriera impermeabile di altezza infinita per cui le acque risultano confinate all'interno dell'area 2D (non c'è fuoriuscita di acque dalla zona 2D);
- critical condition: in questo caso si considera che sul perimetro si vadano ad instaurare condizioni di deflusso critiche su stramazzo – (le acque non possono rientrare sulla zona 2D);
- dry: il confine della Zona 2D è considerato di essere circondato da un pozzo senza fondo l'acqua che arriva al bordo della zona 2D fluirà fuori della zona e verrà persa dalla simulazione.
- normal condition: in questo caso si considera che sul perimetro ci sia equilibrio tra la pendenza e le forze di attrito (normal flow), profondità e velocità sono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il perimetro può defluire all'esterno senza perdite.

Nelle simulazione del modello Botriolo è stata impostata sul perimetro dell'area 2D la "normal condition".

#### 5.3.3.3 LAYOUT DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito si riportano alcuni estratti da ICM nei quali viene riportato il layout del modello idraulico sovrapposto alla ortofoto dove è possibile individuare i vari corsi d'acqua analizzati.

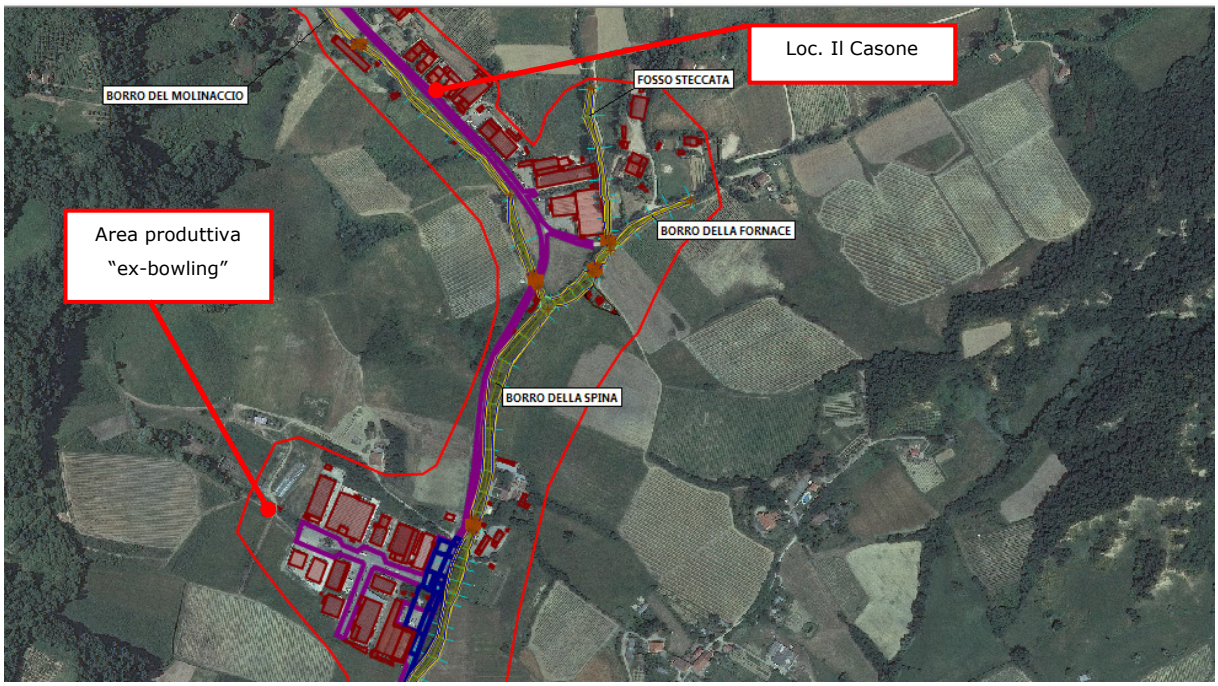



**Figura 58.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Area confluenza Molinaccio-Fornace-Steccata-Spina.

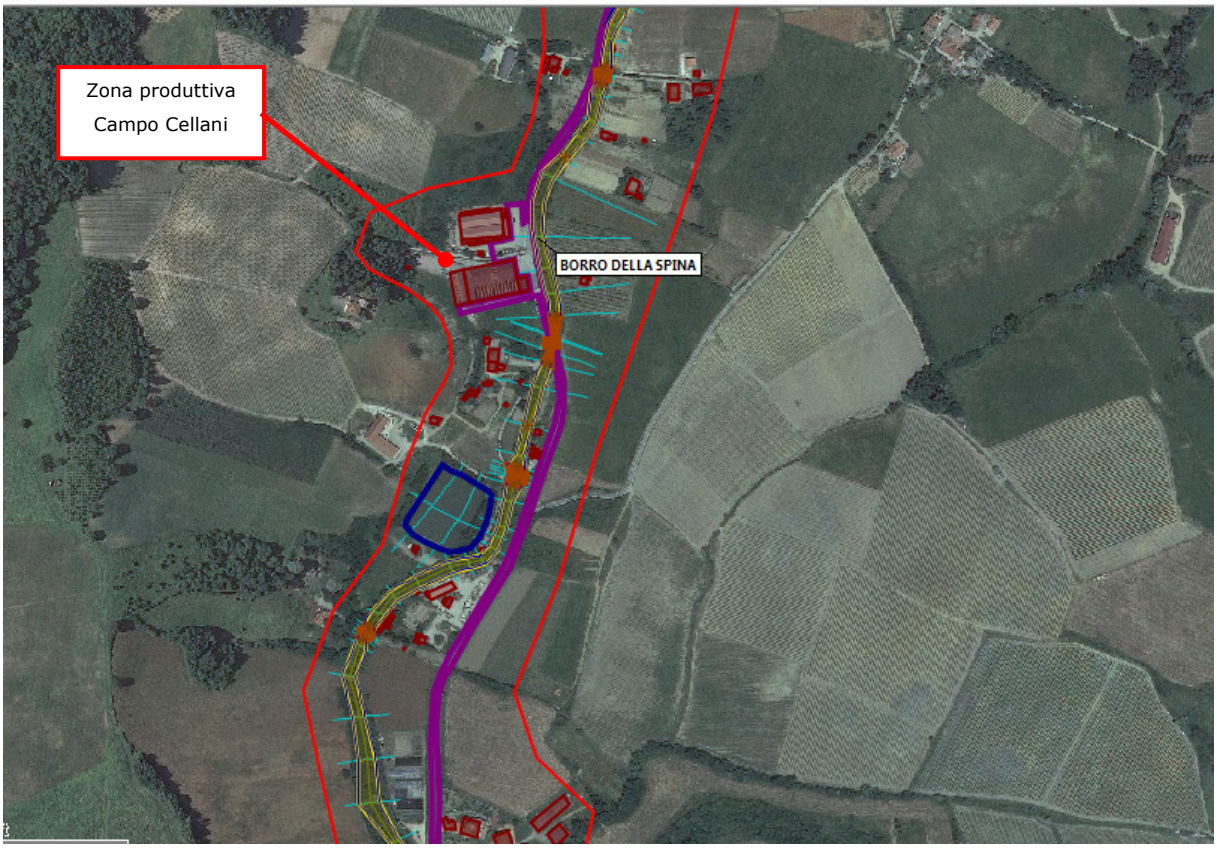



**Figura 59.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Area Campo Cellani.

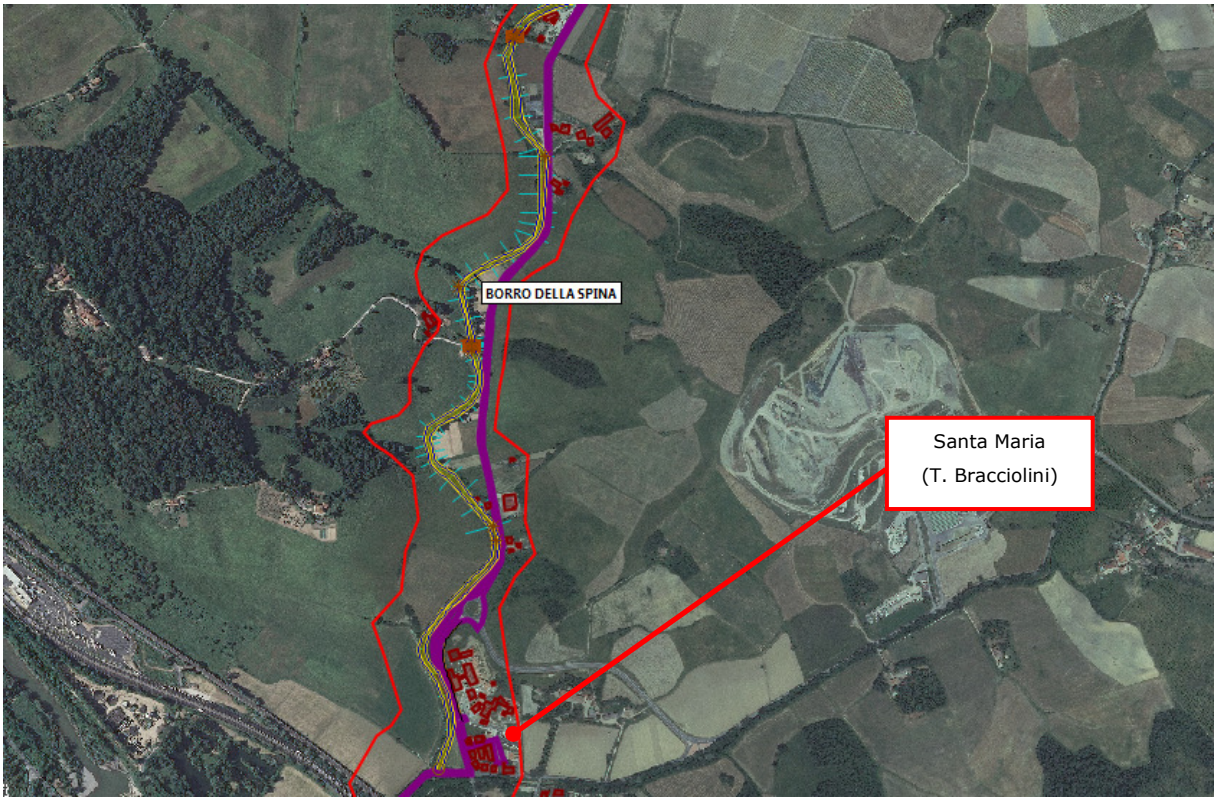



**Figura 60.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico su ortofotocarta. Borro Spina tratto di valle.

#### 5.3.3.4 COEFFICIENTI DI RESISTENZA AL MOTO

Per quanto riguarda i coefficienti di resistenza al moto (scabrezza), sulla base delle caratteristiche dei corsi d'acqua in esame, abbiamo assunto per il deflusso in alveo (1D) un valore di coefficiente di Manning pari a 0.040 [$s/m^{1/3}$].

Per quanto riguarda le aree simulate in moto bidimensionale (2D), trattandosi essenzialmente di zone coltivate con presenza di bassa vegetazione erbacea, abbiamo assunto come rappresentativo un coefficiente di Manning pari a 0.025 [$s/m^{1/3}$].

All'interno dell'ambiente Infoworks ICM sono state inoltre definite aree a scabrezza differenziata nelle zone dove è presente viabilità asfaltata e che pertanto offrono una minore resistenza al moto. Per tali aree è stato adottato un Manning pari a 0.015 [$s/m^{1/3}$].

#### 5.3.3.5 IMMISSIONI

I risultati dell'analisi idrologica, sono costituiti dagli idrogrammi di piena valutati per i vari tempi di ritorno e per i vari scenari analizzati.

In ambiente Infoworks ICM l'inserimento degli idrogrammi è effettuato attraverso la definizione delle immissioni su determinati nodi rella rete. Gli idrogrammi relativi ai tratti di monte sono immessi nei rispettivi nodi di monte dei tratti fluviali. Gli idrogrammi relativi ai vari sottobacini analizzati per definire l'incremento delle portate lungo i corsi d'acqua sono invece inseriti in nodi intermedi della rete.

Di seguito si riporta l'elenco dei sottobacini e il nodo in cui è stata definita la relativa immissione nel modello ICM:

1. Molinaccio A – nodo 10_MOL_MONTE;
2. Molinaccio B – nodo 13_MOL_PONTE_2_MONTE
3. Molinaccio Valle: immissione ripartita tra il nodo 20.5_MOL_IMM_BAC_VALLE/2 e nodo 27_MOL_IMM_BAC_VALLE/2;
4. Bacino borro della Fornace – nodo 05_FOR_MONTE;
5. Bacino fosso Steccata – nodo 01_STE_MONTE;
6. Bacino Spina interbacino 1-A – nodo 44_SP_INPUT_INTERBACINO_1_A;
7. Bacino Spina interbacino 2-A – nodo 52_SP_INPUT_INTERBACINO_2_A;
8. Bacino Spina interbacino 3-A- – nodo 53_SP_INPUT_INTERBACINO_3_A;

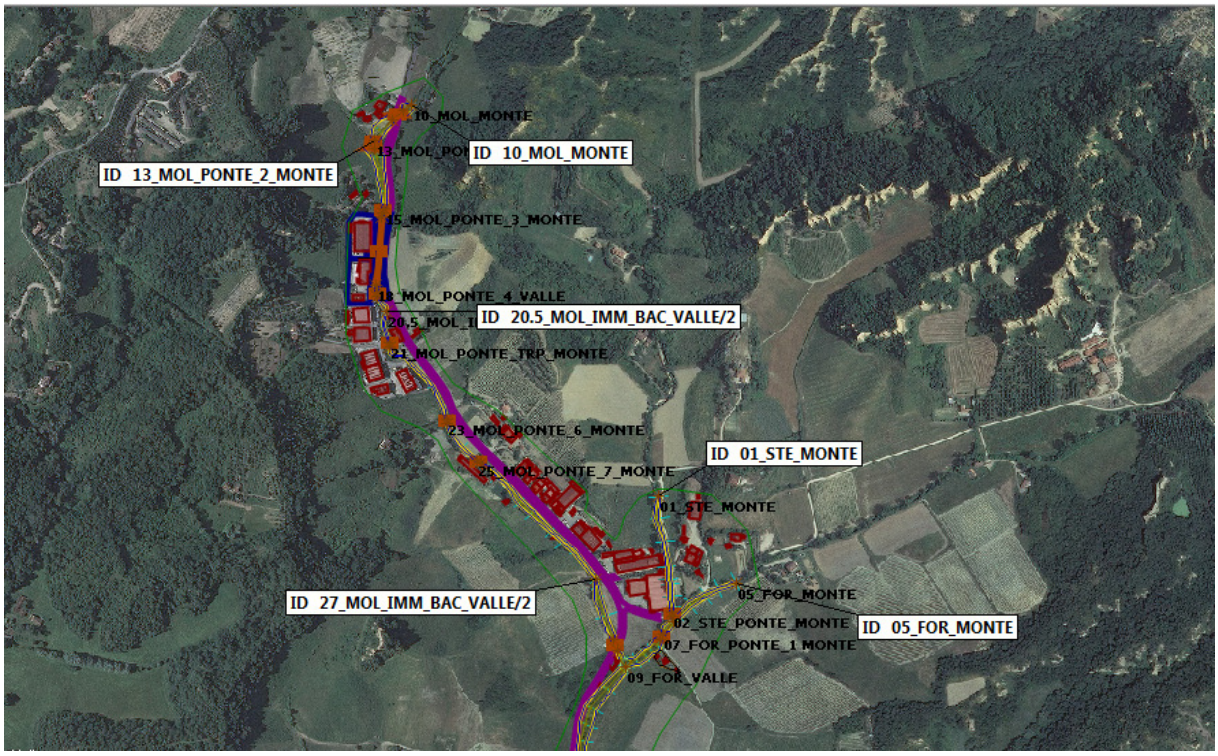



**Figura 61.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico Nodi e immissioni tratti di monte.

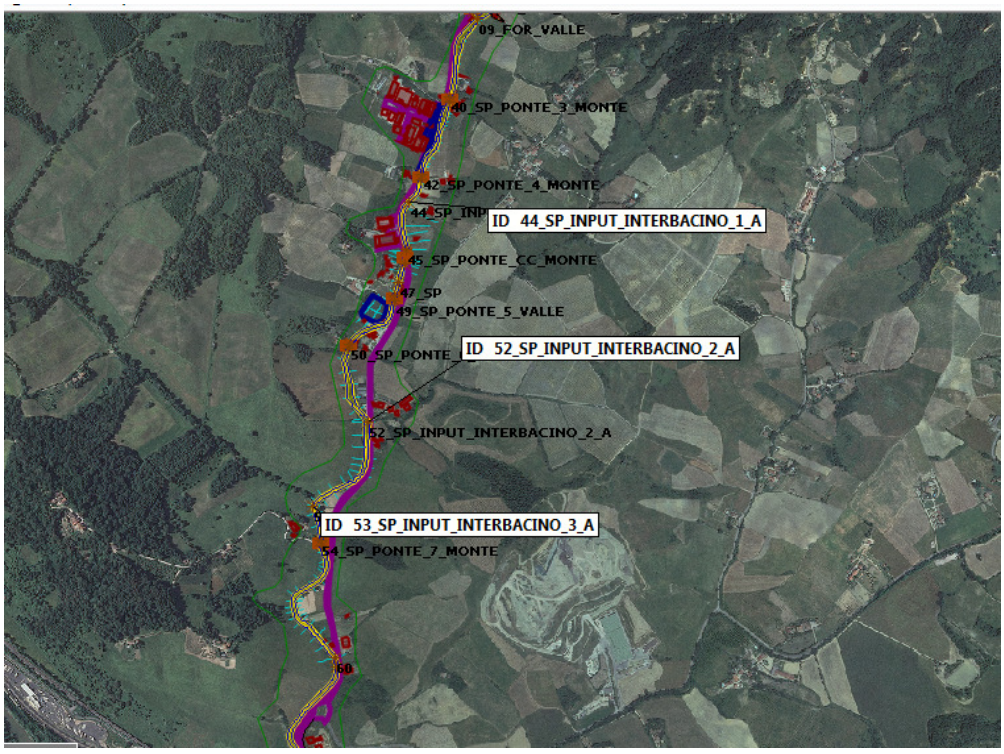



**Figura 62.** Estratto da ICM –Layout modello idraulico Nodi e immissioni tratti di valle.

### 5.3.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dal sistema idraulico Botriolo (composto dal borro Molinaccio - fosso Steccata - borro della Fornace e borro della Spina) sull'area indagata.

In questa sede si riportano i risultati che interessano il Comune di Terranuova Bracciolini e che riguardano il borro della Fornace ed il borro della Spina sino alla sezione trasversale 480. A valle di tale sezione valgono i risultati ottenuti nel modello sistema Riofi (esposto nel paragrafo precedente).

E' opportuno precisare che i due modello idraulici si sovrappongono per un tratto di oltre 600 metri. La mappatura delle pericolosità idrauliche è stata eseguita raccordando i risultati dei due modelli in corrispondenza della sezione 480 dove le diferenze in termini di portate e livelli idrici sono minime.

Di seguito si riportano le considerazioni sui risultati delle simulazioni idrauliche eseguite in moto vario con Infoworks ICM suddivise per i tempi di ritorno di riferimento (Tr=200 e Tr=30 anni).

Si precisa che, per tutti i tempi di ritorno valutati, lo scenario critico per il tratto del borro Fornace risulta essere lo scenario BETA mentre per il tratto a valle della confuenza del borro Molinaccio le maggiori criticità sono espresse dallo scenario ALPHA.

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati elaborati in modo grafico (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati e analisi dei battenti per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica P.I.4 e P.I.3) per la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica. Nella Figura 50 si riporta un estratto della tavola: "*Proposta di modifica della Carta delle aree a Pericolosità idraulica PAI*" a cui si rimanda per i dettagli (TAV.IDR14 – in giallo P.I.4, in arancione P.I.3, in celeste P.I.2 e in azzurro chiaro P.I.1).

#### 5.3.4.1 TEMPO DI RITORNO TRENTENNALE

Per Tr=30 anni si segnala che le principali zone allagate, ricadenti nel comune di Terranuova Bracciolini riguardano la zona della confluenza del Molinaccio e Steccata sul borro Spina ed alcuni tratti a valle. Di seguito si riportano alcuni estratti di Infowoks ICM relativi ad alcune delle suddette zone.

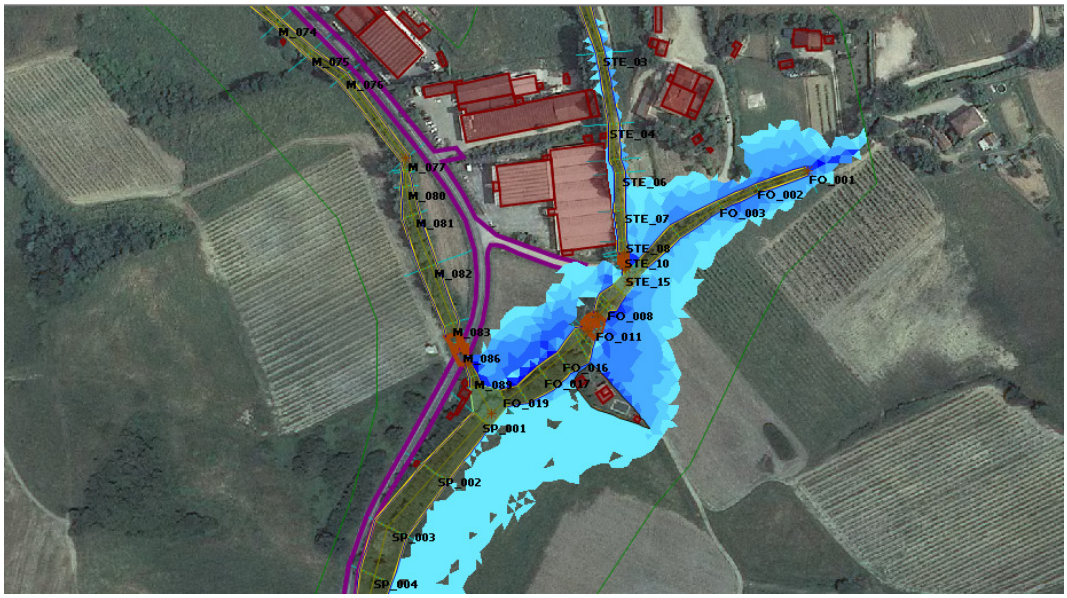



**Figura 63.** Estratto da ICM – Scenario BETA Tr30 Massimo allagamento - Area di confluenza Molinaccio-Spina.

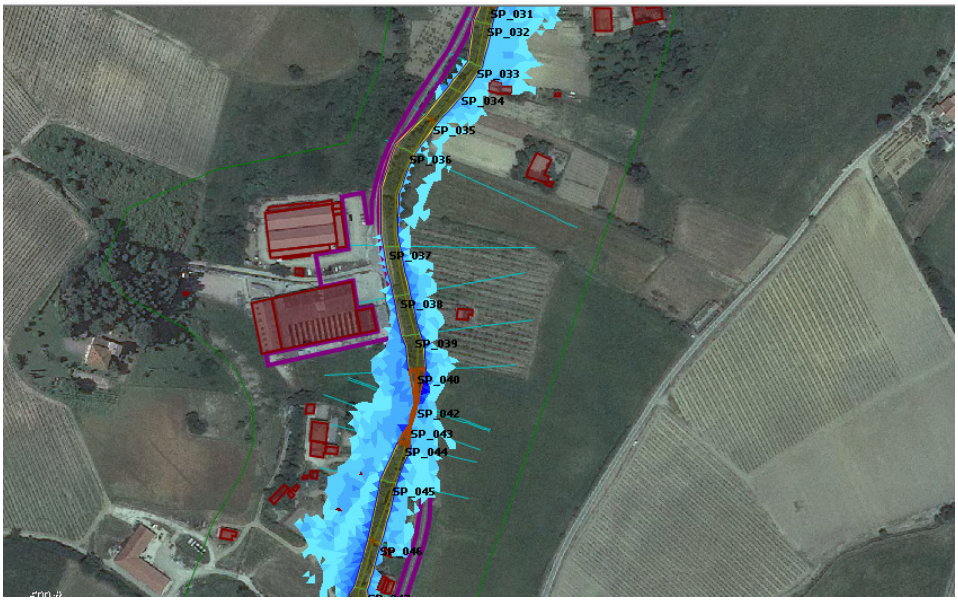



**Figura 64.** Estratto da ICM – Massimo allagamento scenario ALPHA Tr30 - Area di Campo Cellani.

#### 5.3.4.2 TEMPO DI RITORNO DUECENTENNALE

Per quanto riguarda il deflusso delle piene duecentenarie si segnala che la principali zono allagate che riguardano il comune di Terranuova Bracciolini sono:

- l'area della confluenza del Molinaccio e Steccata sul borro Spina;
- più a valle, il borro Spina genera estesi allagamenti per l'intero tratto analizzato andando ad interessare ampi tratti della strada provinciale SP Botriolo sino alla località Santa Maria ubicata nel comune di Terranuova Bracciolini.

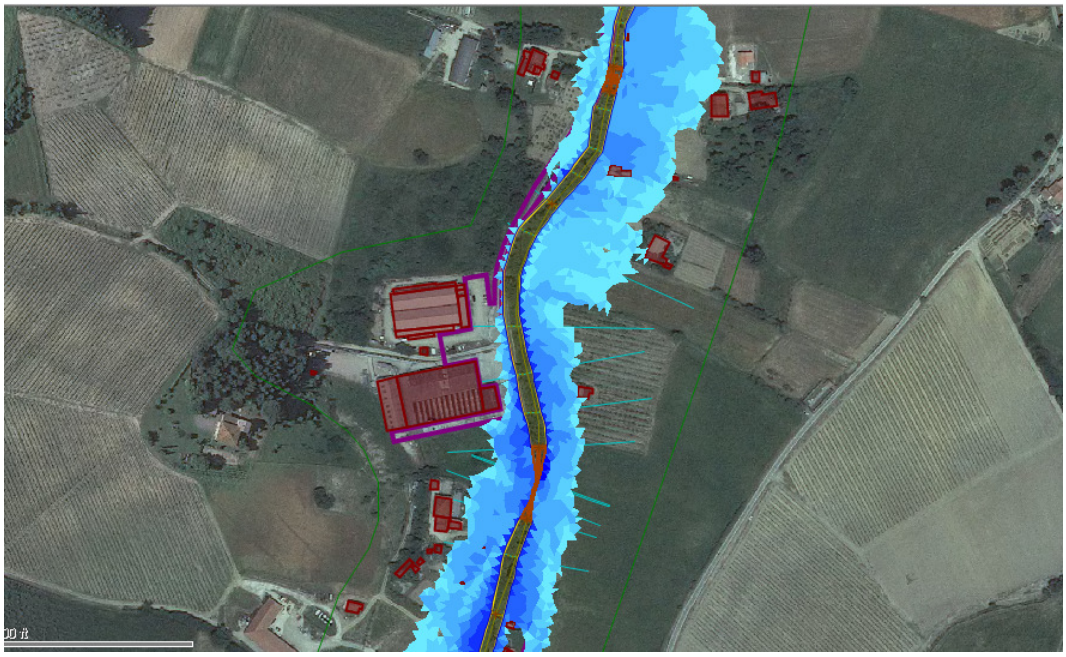


**Figura 65.** Estratto da ICM –Scenario ALPHA Tr200 Massimo allagamento - Area "Campo Cellani".

# 6. SISTEMA LE VILLE

## 6.1 INTRODUZIONE

La valutazione della pericolosità idraulica, sul borro le Ville, è stata eseguita attraverso uno studio idrologico-idraulico che riguarda un tratto del borro che si estende dalla sezione posta a circa 170 metri a monte dell'attraversamento della strada comunale delle Ville presso la località Costa ai Mori, a quella di valle posta a circa 410 metri a monte della confluenza in Arno per uno sviluppo longitudinale complessivo di circa 3.950 metri, oltre ai tratti di valle dei borri: Scuragnolo e Farnibona, affluenti in sponda destra.

E' stato necessario in un secondo momento approfondire lo studio idraulico relativamente ad un affluente destro delle Ville, il fosso di Cavalosso, che scorre in adiacenza al nucleo abitato delle Ville. Per le valutazioni sulla pericolosità derivanti da questo corso d'acqua si è proceduto sviluppando un modello idraulico separato da quello generale, che considera solamente il fosso di Cavalosso, sul quale come condizioni di valle sono state imposte quelle ricavate dal modello generale.

## 6.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino imbrifero del borro delle Ville si estende quasi interamente nel comune di Terranuova Bracciolini, interessando il comune di San Giovanni Valdarno solamente nella sua parte terminale di valle; il corso d'acqua è affluente sinistro del fiume Arno.

La sezione di chiusura adottata per il calcolo delle portate di riferimento è situata a circa 410 metri a monte della confluenza in Arno, a valle dell'attraversamento della linea ferroviaria direttissima Firenze-Roma.

La corografia del bacino imbrifero è riportata in allegato.

L'area di studio è riportata nella figura seguente.

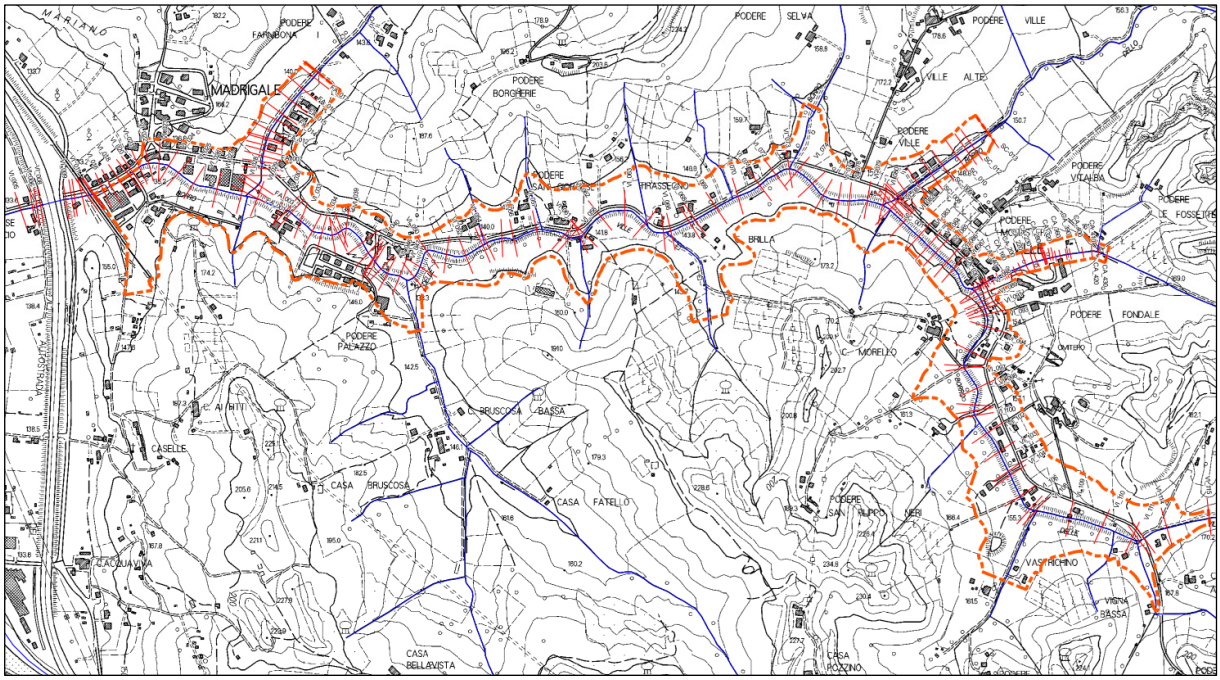



**Figura 66.** Inquadramento zona di studio del modello idraulico.

Il bacino raggiunge la sua altezza massima a circa 255.00 metri slm; presso la sezione di chiusura adottata, la quota minima è 131.71 m slm, la superficie è pari a 8.35 km$^2$ e la lunghezza totale dell'asta principale è di 5.54 km.

## 6.3 MODELLAZIONE IDROLOGICA

### 6.3.1 PARAMETRI UTILIZZATI

La stima delle portate al colmo è stata sviluppata con l'utilizzo del Sistema di Regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, codice ALTO 2000 (Alluvioni in Toscana); tale metodologia è già stata esposta nei paragrafi precedenti e vi si rimanda per ulteriori dettagli.

### 6.3.2 VALUTAZIONI SUGLI SCENARI DI RIFERIMENTO

Nell'ambito del sistema idraulico costituito da Borro delle Ville – Borro dello Scuragnolo – Borro di Farnibona sono stati analizzati più scenari critici per valutare le diverse risposte idrologiche dei corsi d'acqua. Questo permette, in fase di modellazione idraulica, di definire le perimetrazioni più critiche come inviluppo dei battenti massimi degli scenari analizzati.

Nel caso in esame è stato necessario definire tre scenari di riferimento:

6.3.2.1 Scenario ALPHA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il borro delle ville nel tratto di valle. Si è assunto quindi di imporre al bacino Ville monte, dello Scuragnolo, della Selva, del Borro Fatello e del Farnibona, il Dc critico caratteristico del bacino delle Ville di valle, pari a 1.666 h (considerando l'intero bacino imbrifero sotteso).

6.3.2.2 Scenario BETA: rappresenta le condizioni di deflusso maggiormente critiche per il borro di Farnibona, per il tratto di monte delle Ville e degli altri bacini analizzati. Si è assunto come Dc critico quello del borro Farnibona, pari a 0.881 h imponendolo a tutti i bacini.

6.3.2.3 Scenario GAMMA: questo scenario non è stato valutato in quanto a seguito di una verifica è risultato che i livelli del fiume Arno non influenzano quelli del borro delle Ville nel tratto a monte del rilevato della linea ferroviaria direttissima Firenze-Roma, anche a causa dell'attraversamento di questa infrastruttura che crea un rigurgito importante a monte innalzando i livelli idrici ben al di sopra di quelli in Arno.

Per quanto riguarda il fosso Cavalosso si è considerato un unico scenario, denominato ALPHA, in cui si sono calcolati i parametri morfologici e idrologici e montato un modello idraulico separato da quello generale, che considera solamente il fosso di Cavalosso.

### 6.3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Per ciascuno scenario e per ogni tempo di ritorno analizzato è stata calcolata la durata di pioggia critica che massimizza l'afflusso del relativo corso d'acqua e in funzione di questa sono stati calcolati i relativi idrogrammi di piena per ciascun tributario analizzato.

Gli idrogrammi così ottenuti rappresentano la condizione al contorno di monte (immissioni).

### 6.3.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

La condizione di valle sul borro delle Ville, per la simulazione idraulica del modello generale, che considera il sistema Ville-Scuragnolo-Farnibona, è stata assunta come altezza di moto uniforme (normal depth). L'influenza dei livelli idrici sull'Arno risulta infatti trascurabile nel tratto di studio analizzato. Per una durata delle precipitazioni di 3 ore si ha che i battenti attesi in Arno (sez.842a modello SIMI) per Tr30 e Tr200 sono rispettivamente di 131.42 m slm e 132.55 m slm, risultando nettamente inferiori

a quelli attesi alla sezione di chiusura adottata nel presente studio che si attestano rispettivamente a 133.56 m slm e 133.62 m slm.

La condizione di valle per il modello idraulico del Cavalosso è stata ricavata dal modello generale (Ville-Scuragnolo-Farnibona), estraendo i dati relativi al livello idrico massimo atteso alla confluenza con il borro delle Ville (sez. VI_088).

I livelli maggiori alla confluenza risultano essere quelli relativi allo scenario Beta.

Si è imposto il livello massimo come livello statico per tutta la durata della simulazione.

| Tr | Livelli sezione VI_088 |
|---|---|
| [anni] | [m slm] |
| 30 | 148.839 |
| 100 | 149.057 |
| 200 | 149.15 |
| 500 | 149.313 |

**Tabella 25.** Livelli idrici massimi sez.VI_088.

### 6.3.5 ANALISI IDROLOGICA

La modellazione del sistema le Ville è stata eseguita tramite la suddivisione del bacino in sei sottobacini:

1. Bacino Ville monte: è il bacino di monte, chiuso alla confluenza con il borro dello Scuragnolo;
2. Bacino Scuragnolo;
3. Bacino Selva;
4. Bacino Ville interbacino;
5. Bacino Fatello;
6. Bacino Farnibona.

La modellazione del fosso di Cavalosso è stata eseguita definendo il bacino idrografico specifico.

Per ciascuno di questi sono stati calcolati i parametri morfologici ed idrologici e sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per ciascuno scenario analizzato.

Si riportano di seguito i risultati numerici ottenuti tramite le elaborazioni descritte nel capitolo 2.5.

**Parametri Morfologici e idrologici - Bacino Le Ville**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | | - | - | | - | |
| VILLE MONTE | 2.160 | 6.226 | 0.000 | 2.266 | 0.220 | 20.655 | 0.316 | 0.160 | 19.415 | 0.345 | 0.214 |
| SCURAGNOLO | 1.710 | 10.175 | 0.000 | 3.029 | 0.207 | 21.395 | 0.339 | 0.150 | 20.867 | 0.289 | 0.200 |
| LA SELVA | 0.570 | 3.300 | 0.000 | 2.008 | 0.151 | 22.888 | 0.419 | 0.140 | 21.875 | 0.253 | 0.185 |
| BORRO FATELLO | 1.15 | 9.9 | 0.000 | 2.089 | 0.168 | 22.623 | 0.405 | 0.14 | 21.696 | 0.259 | 0.188 |
| FORNIBONA | 1.48 | 3.3 | 0.000 | 2.513 | 0.232 | 22.888 | 0.419 | 0.14 | 21.875 | 0.253 | 0.185 |
| VILLE VALLE | 1.28 | 7.194 | 0.000 | 2.395 | 0.45 | 22.221 | 0.387 | 0.15 | 20.031 | 0.325 | 0.206 |

**Tabella 26.** Parametri morfologici ed idrologici – Torrente Ville.

**Parametri Morfologici e idrologici - Bacino Cavalosso**

| Nome | Area Bacino | Ia | Ks | N | K | durata < 1h | | | durata > 1h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | a1 | n1 | m1 | a | n | m |
| - | Kmq | mm | mm/h | - | h | | - | - | | - | |
| CAVALOSSO | 0.373 | 8.8 | 0.000 | 2.398 | 0.095 | 21.561 | 0.348 | 0.15 | 20.979 | 0.285 | 0.198 |

**Tabella 27.** Parametri morfologici ed idrologici – Fosso Cavalosso.

Gli scenari idrologici sono stati valutati adottando l'isofrequenza dei tempi di ritorno per ciascun tratto fluviale.

## BACINO LE VILLE

PORTATE AL COLMO PER CIASCUN SCENARIO E TEMPO DI RITORNO

### SCENARIO ALFA - Dc crtico Le Ville

| Tr 30 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 1.666 | 47.942 | 41.758 | 28.777 | 0.99 | **16.828** |
| SCURAGNOLO | 1.666 | 42.367 | 32.668 | 25.43 | 0.993 | **11.363** |
| LA SELVA | 1.666 | 45.634 | 42.424 | 27.391 | 0.998 | **4.43** |
| BORRO FATELLO | 1.666 | 44.784 | 35.368 | 26.881 | 0.995 | **8.636** |
| FORNIBONA | 1.666 | 45.634 | 42.305 | 27.391 | 0.994 | **10.957** |
| VILLE VALLE | 1.666 | 45.094 | 38.164 | 27.067 | 0.994 | **7.428** |

| Tr 100 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 1.666 | 62.032 | 55.712 | 37.234 | 0.99 | **21.851** |
| SCURAGNOLO | 1.666 | 50.753 | 40.993 | 30.464 | 0.993 | **13.748** |
| LA SELVA | 1.666 | 54.012 | 50.783 | 32.42 | 0.998 | **5.244** |
| BORRO FATELLO | 1.666 | 53.006 | 43.551 | 31.817 | 0.995 | **10.237** |
| FORNIBONA | 1.666 | 54.012 | 50.633 | 32.42 | 0.994 | **12.982** |
| VILLE VALLE | 1.666 | 54.02 | 47.04 | 32.425 | 0.994 | **9.04** |

| Tr 200 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 1.666 | 71.951 | 65.535 | 43.188 | 0.99 | **25.387** |
| SCURAGNOLO | 1.666 | 56.314 | 46.514 | 33.802 | 0.993 | **15.323** |
| LA SELVA | 1.666 | 59.516 | 56.274 | 35.724 | 0.998 | **5.778** |
| BORRO FATELLO | 1.666 | 58.408 | 48.927 | 35.059 | 0.995 | **11.288** |
| FORNIBONA | 1.666 | 59.516 | 56.104 | 35.724 | 0.994 | **14.312** |
| VILLE VALLE | 1.666 | 59.939 | 52.926 | 35.978 | 0.994 | **10.107** |

| Tr 500 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 1.666 | 87.538 | 80.971 | 52.544 | 0.99 | **30.935** |
| SCURAGNOLO | 1.666 | 64.611 | 54.751 | 38.782 | 0.993 | **17.672** |
| LA SELVA | 1.666 | 67.662 | 64.402 | 40.614 | 0.998 | **6.569** |
| BORRO FATELLO | 1.666 | 66.402 | 56.884 | 39.857 | 0.995 | **12.844** |
| FORNIBONA | 1.666 | 67.662 | 64.201 | 40.614 | 0.994 | **16.281** |
| VILLE VALLE | 1.666 | 68.77 | 61.707 | 41.278 | 0.994 | **11.699** |

### SCENARIO BETA - Dc crtico Farnibona

| Tr 30 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 0.881 | 38.482 | 32.343 | 43.68 | 0.989 | **21.064** |
| SCURAGNOLO | 0.881 | 34.137 | 24.465 | 38.748 | 0.992 | **12.545** |
| LA SELVA | 0.881 | 34.942 | 31.746 | 39.662 | 0.997 | **6.164** |
| BORRO FATELLO | 0.881 | 34.599 | 25.207 | 39.272 | 0.995 | **10.974** |
| FORNIBONA | 0.881 | 34.942 | 31.648 | 39.662 | 0.993 | **12.867** |
| VILLE VALLE | 0.881 | 35.24 | 28.34 | 40 | 0.994 | **6.606** |

| Tr 100 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 0.881 | 57.753 | 51.405 | 65.554 | 0.989 | **32.376** |
| SCURAGNOLO | 0.881 | 45.375 | 35.61 | 51.504 | 0.992 | **17.578** |
| LA SELVA | 0.881 | 45.572 | 42.348 | 51.727 | 0.997 | **8.068** |
| BORRO FATELLO | 0.881 | 45.124 | 35.676 | 51.219 | 0.995 | **14.758** |
| FORNIBONA | 0.881 | 45.572 | 42.205 | 51.727 | 0.993 | **16.979** |
| VILLE VALLE | 0.881 | 46.841 | 39.868 | 53.168 | 0.994 | **9.235** |

| Tr 200 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 0.881 | 57.753 | 51.405 | 65.554 | 0.989 | **32.376** |
| SCURAGNOLO | 0.881 | 45.375 | 35.61 | 51.504 | 0.992 | **17.578** |
| LA SELVA | 0.881 | 45.572 | 42.348 | 51.727 | 0.997 | **8.068** |
| BORRO FATELLO | 0.881 | 45.124 | 35.676 | 51.219 | 0.995 | **14.758** |
| FORNIBONA | 0.881 | 45.572 | 42.205 | 51.727 | 0.993 | **16.979** |
| VILLE VALLE | 0.881 | 46.841 | 39.868 | 53.168 | 0.994 | **9.235** |

| Tr 500 Corso d'acqua | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| VILLE MONTE | 0.881 | 70.264 | 63.78 | 79.755 | 0.989 | **39.684** |
| SCURAGNOLO | 0.881 | 52.06 | 42.241 | 59.092 | 0.992 | **20.562** |
| LA SELVA | 0.881 | 51.809 | 48.569 | 58.807 | 0.997 | **9.186** |
| BORRO FATELLO | 0.881 | 51.3 | 41.819 | 58.23 | 0.995 | **16.979** |
| FORNIBONA | 0.881 | 51.809 | 48.4 | 58.807 | 0.993 | **19.392** |
| VILLE VALLE | 0.881 | 53.742 | 46.725 | 61.001 | 0.994 | **10.787** |

**Tabella 28.** Portate al colmo per ciascun scenario e tempo di ritorno.

**Fosso Cavalosso - portate al colmo - SCENARIO ALFA - Dc critico Cavalosso**

| Tr | Durata critica | Precicpitazione totale | Precipitazione netta | Intensità di precipitazione | Kr | Portata |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [anni] | [h] | [mm] | [mm] | [mm/h] | [-] | [mc/s] |
| 500 | 0.491 | 42.745 | 34.335 | 87.13 | 0.998 | 8.061 |
| 200 | 0.491 | 37.256 | 28.857 | 75.941 | 0.998 | 6.936 |
| 100 | 0.491 | 33.577 | 25.185 | 68.442 | 0.998 | 6.168 |
| 30 | 0.491 | 28.029 | 19.648 | 57.133 | 0.998 | 4.893 |

**Tabella 29.** Portate al colmo per ciascun tempo di ritorno.- Fosso Cavalosso.

## 6.4 MODELLO IDRAULICO

### 6.4.1 IL MODELLO GEOMETRICO

Il modello geometrico utilizzato per la modellistica idraulica è costituito da 245 sezioni, di cui 162 sul borro delle Ville, 16 sul borro dello Scuragnolo, 24 sul borro Farnibona e 43 sul fosso di Cavalosso (vedi Figura 67).

Il tratto del borro delle Ville studiato è quello compreso tra la sezione posta a circa 170 metri a monte dell'attraversamento della strada comunale delle Ville presso la località Costa ai Mori, e quella posta a circa 410 metri a monte della confluenza in Arno, a valle della line ferroviaria direttissima Firenze-Roma, per uno sviluppo longitudinale di circa 3.950 metri. I ponti montati nel modello sono 16 e sono stati nominati con un numero progressivo da monte verso valle (vedi Figura 70).

Il borro dello Scuragnolo è stato studiato per un tratto di circa 303 metri immediatamente a monte dell'immissione sulle Ville. E' stato montato un ponte: ponte Scuragnolo (vedi Figura 70).

Il borro di Farnibona è stato studiato per un tratto di circa 359 metri immediatamente a monte dell'immissione sulle Ville. Sono stati montati tre ponti, anche in questo caso denominati con un numero progressivo da monte verso valle (vedi Figura 70).

Il fosso di Cavalosso è stato studiato per un tratto di circa 350 metri immediatamente a monte della confluenza con il borro delle Ville. Sono stati montati due ponti: Ponte Cavalosso 01 e Ponte via delle Ville (vedi Figura 71).

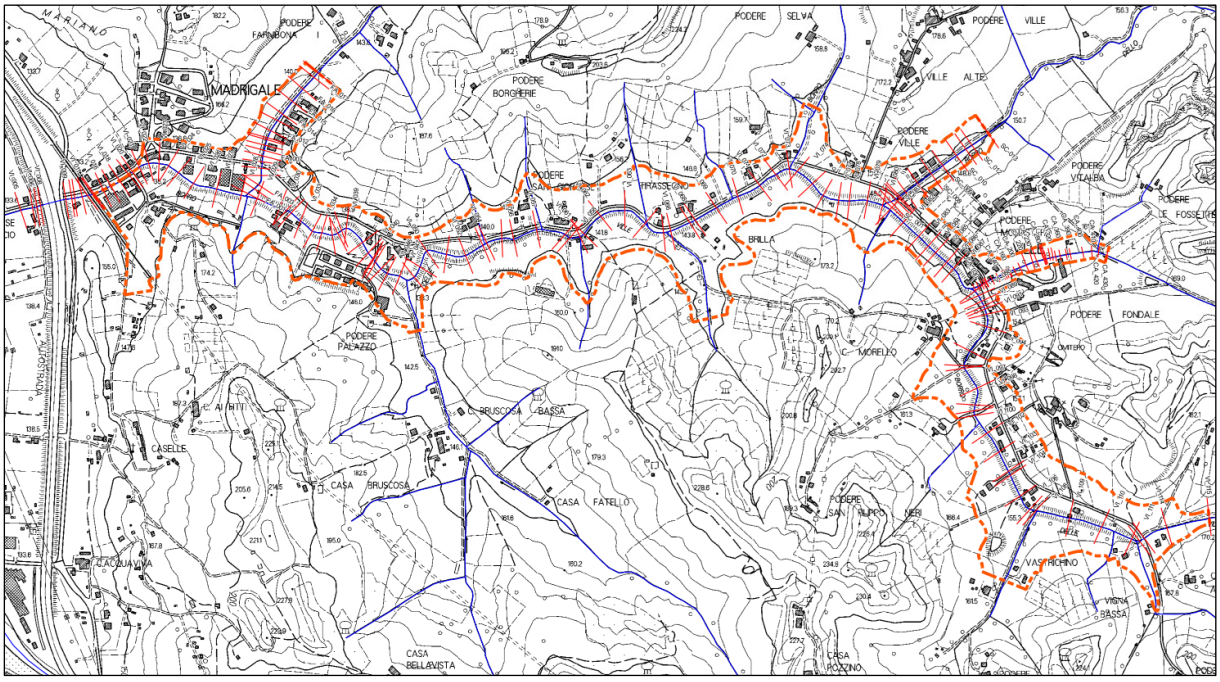



**Figura 67.** Planimetria sezioni Torrenti: Le Ville, Scuragnolo, Farnibona, Cavalosso .

Le sezioni per i modelli idraulici di alcuni tratti del borro delle Ville, dello Scuragnolo e del Farnibona sono state rilevate dagli scriventi in occasione di vari interventi progettati negli anni passati. In dettaglio:

1. Borro delle Ville:
    a. Tratto tra le sezioni VI_087 – VI_077 – Anno 2007 a supporto del RU
    b. Tratto tra le sezioni VI_94 – VI_088 – Anno 2007 Privato
    c. Tratto tra le sezioni VI_46 – VI_027 – Anno 2007 a supporto del RU;
    d. Tratto tra le sezioni VI_099_ VI_094 – Anno 2012 a supporto del PS;
    e. Tratto tra le sezioni VI_077_ VI_074 – Anno 2012 a supporto del PS;
2. Borro dello Scuragnolo:
    a. Tratto tra le sezioni SC_001-SC013 – Anno 2007 a supporto del RU;
3. Borro di Farnibona:
    a. Tratto tra le sezioni FA_001-FA_017 – Anno 2007 a supporto del RU;

Altre sezioni necessarie per il presente studio sono state rilevate tramite Lidar e verificate a terra con adeguati sopralluoghi.

### 6.4.2 MODELLAZIONE ZONE 2D

La zona di studio modellata con simulazione bidimensionale (2D) per il sistema Le Ville, ha un'estensione di 116.70 ha (vedi allegato) che si estende sull'area di fondovalle, compresa tra il rilevato della linea ferroviaria Direttissima Firenze-Roma e dell'autostrada A1 e il fiume Arno, e risale verso monte lungo il tracciato del borro delle Ville fino alla sezione di monte. E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 25 mq, dimensione minima 10 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.10 m.

Per il fosso di Cavalosso la zona 2D ha un'estensione di 2.07 ha che si estende dalla confluenza con il borro delle Ville fino alla sezione di monte. E' stata impostata una magliatura con le seguenti caratteristiche: dimensione massima dei triangoli 30 mq, dimensione minima 10 mq, magliatura dipendente dal terreno con massima variazione di altezza pari a 0.10 m.

Sono stati inseriti all'interno della zona 2D dei poligoni che rappresentano le infrastrutture esistenti che, di fatto, creano ostacolo al deflusso e tolgono volume di accumulo. I poligoni immessi nel modello sono 389.

In maniera analoga sono state valutate delle aree a scabrezza differenziata che rappresentano la viabilità, dove questa è asfaltata la scabrezza di manning è stata

valutata con un coefficiente pari a 0.015. L'estensione delle aree a scabrezza differenziata copre un a superficie di 1.07 ha.

E' stato necessario introdurre alcune strutture lineari per simulare la presenza di strutture murarie esistenti a protezione di alcuni edifici. Per fare questo è stato condotto un rilievo di dettaglio delle suddette strutture che poi sono state inserite nel modello idraulico. Con questa procedura si riesce a simulare la dinamica dell'allagamento condizionata da queste discontinuità. Dove, durante i sopralluoghi, si sia verificata la presenza di aperture e/o collegamenti idraulici, come scarichi delle acque pluviali dei piazzali o simili, non muniti di valvole antiriflusso, si è considerata la struttura come trasparente.

Le principali strutture "muri" denominate in ICM "base linear structure 2D" inserite nel modello geometrico sono:

- Muro in adiacenza agli edifici posti in destra idraulica del fosso Cavalosso in corrispondenza della confluenza con il borro delle Ville, simula il muro esistente che protegge le suddette abitazioni;
- Muri posti lungo la viabilità comunale delle Ville, nel tratto a valle dell'immissione del borro della Selva. I muri simulano la presenza dei muretti di recinzione presenti al bordo della viabilità, la cui altezza è in media di 50-60 cm dal piano viario. Sono stati inseriti dove si è ritenuto importante valutarne il possibile effetto sulla propagazione degli allagamenti, lasciando delle aperture in corrispondenza degli accessi ai resede interni (vedi foto VI_01, VI_02 e VI_03);
- Muri nella zona industriale di Farnibona, immediatamente a valle dell'immissione dell'omonimo borro su quello delle Ville. In questo caso si è inserito un muro in corrispondenza di una recinzione muraria continua a protezione di un resede privato, in sponda destra del Farnibona (vedi foto VI_04 e VI_05). In questo tratto di confluenza c'è la forte propensione ad allagamento dell'area, si è ritenuto quindi importante valutare l'effetto di quest'opera sulla dinamica di allagamento del resede privato e delle aree poste più a valle. La presenza di un'apertura di accesso, seppur chiusa, nella parte prospiciente il borro delle Ville è stata simulata creando una discontinuità sul muro di larghezza pari a quella dell'apertura stessa. Un altro muro è stato inserito nel tratto immediatamente a valle per tenere conto della presenza di una recinzione muraria continua in sponda destra (vedi foto VI_06).

I dati sulle quote di coronamento dei muri inseriti nel modello ICM sono stati ricavati da rilievi topografici di dettaglio con quote assolute solidali e congruenti ai dati LIDAR.

Di seguito si riportano alcune fotografie dei principali muri inseriti nel modello geometrico.

**Foto VI_01.** Muretti di recinzione adiacenti la viabilità comunale delle Ville.

**Foto VI_02.** Muretti di recinzione adiacenti la viabilità comunale delle Ville.

**Foto VI_03.** Muretti di recinzione adiacenti la viabilità comunale delle Ville.

**Foto VI_04.** Zona industriale di Farnibona, muro di recinzione in sponda destra.

**Foto VI_05.** Zona industriale di Farnibona, muro di recinzione in sponda destra – vista lungo la strada comunale delle Ville.

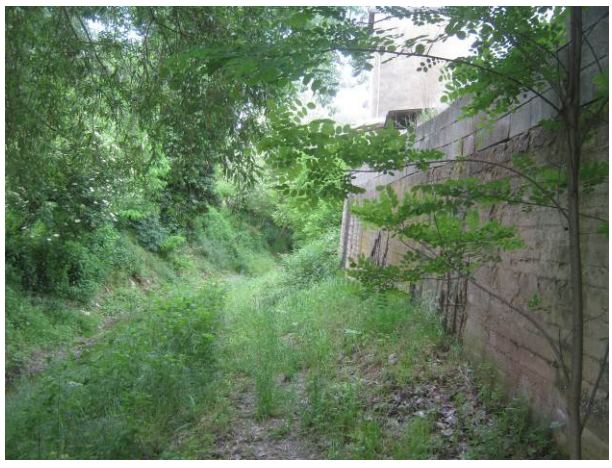


**Foto VI_06.** Zona industriale di Farnibona, muro di recinzione continuo in sponda destra del borro delle Ville.

### 6.4.3 LAYOUT DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito si riportano alcuni estratti da ICM nei quali viene riportato il layout del modello idraulico sovrapposto alla ortofoto ed al rilievo LIDAR dove è possibile individuare i vari corsi d'acqua e la zona 2D analizzati.

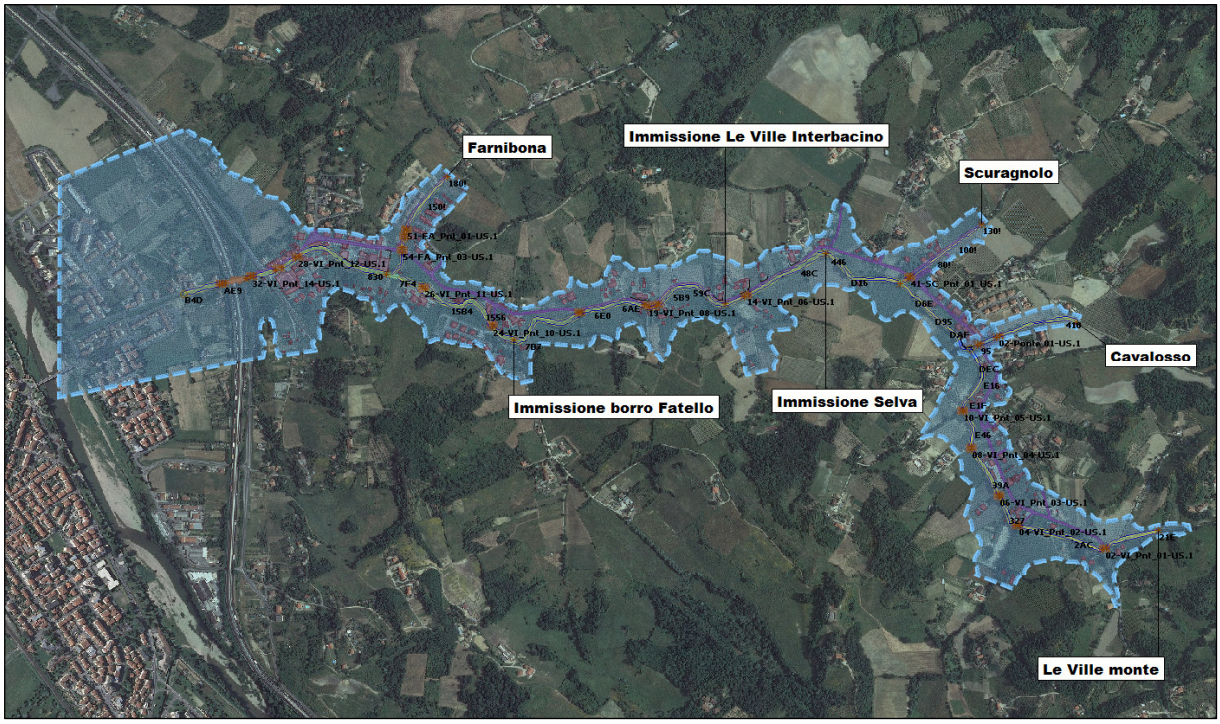



**Figura 68.** Modello idraulico – Immissioni - sovrapposizione al rilievo Lidar.

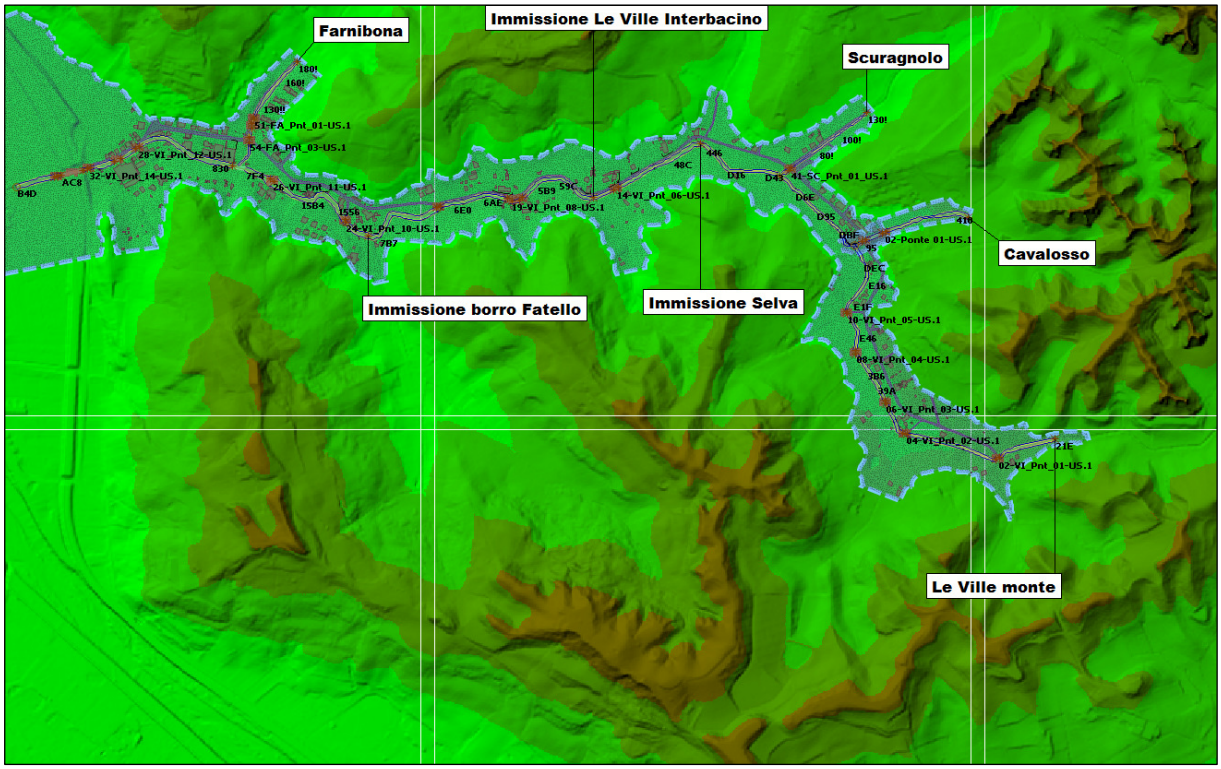



**Figura 69.** Modello idraulico – Immissioni - sovrapposizione al rilievo Lidar.

### 6.4.4 COEFFICIENTI DI RESISTENZA AL MOTO

Per quanto riguarda i coefficienti di resistenza al moto (scabrezza), sulla base delle caratteristiche dei corsi d'acqua in esame, abbiamo assunto per il deflusso in alveo (1D) un valore di coefficiente di Manning pari a 0.040 [$s/m^{1/3}$] per il borro delle Ville, il borro dello Scuragnolo e il borro di Farnibona, mentre per il fosso Cavalosso si è assunto per la parte di monte un coefficiente Manning pari a 0.042 [$s/m^{1/3}$] e per la parte di valle (a valle del ponte Cavalosso 01) un coefficiente Manning pari a 0.070 [$s/m^{1/3}$].

Per quanto riguarda le aree simulate in moto bidimensionale (2D) abbiamo assunto come rappresentativo un coefficiente di Manning pari a 0.025 [$s/m^{1/3}$].

All'interno dell'ambiente Infoworks ICM sono state inoltre definite aree a scabrezza differenziata nelle zone dove è presente viabilità asfaltata e che pertanto offrono una minore resistenza al moto. Per tali aree è stato adottato un Manning pari a 0.015 [$s/m^{1/3}$].

### 6.4.5 IMMISSIONI

I risultati dell'analisi idrologica, sono costituiti dagli idrogrammi di piena valutati per i vari tempi di ritorno e per i vari scenari analizzati.

In ambiente Infoworks ICM l'inserimento degli idrogrammi è effettuato attraverso la definizione delle immissioni su determinati nodi rella rete. Gli idrogrammi relativi ai tratti di monte sono immessi nei rispettivi nodi di monte dei tratti fluviali. Gli idrogrammi relativi ai vari sottobacini analizzati per definire l'incremento delle portate lungo i corsi d'acqua sono invece inseriti in nodi intermedi della rete.

Di seguito si riporta l'elenco dei sottobacini e il nodo in cui è stata definita la relativa immissione nel modello ICM (vedi Figura 68 e Figura 69):

1. Bacino Ville Monte: 01-VI-Monte;
2. Bacino Scuragnolo: 40-SC_Monte;
3. Bacino della Selva: 13-VI_Imm_SE;
4. Bacino Le Ville Interbacino: 16-VI_Imm_VI_valle;
5. Bacino borro Fatello: 23-VI_Imm_FA;
6. Bacino Farnibona: 50-FA_Monte;
7. Fosso di Cavalosso: 01-Imm-Cavalosso.

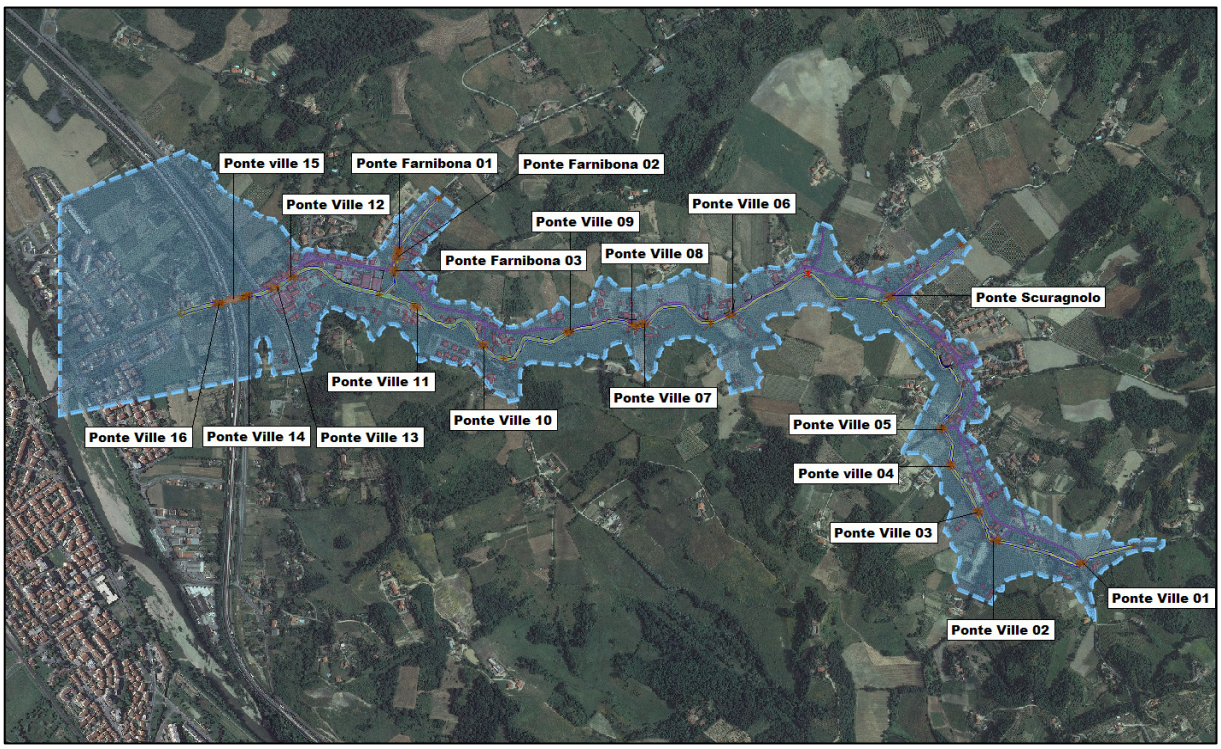



**Figura 70.** Modello idraulico – Ponti – borro delle Ville, Scuragnolo, Farnibona.

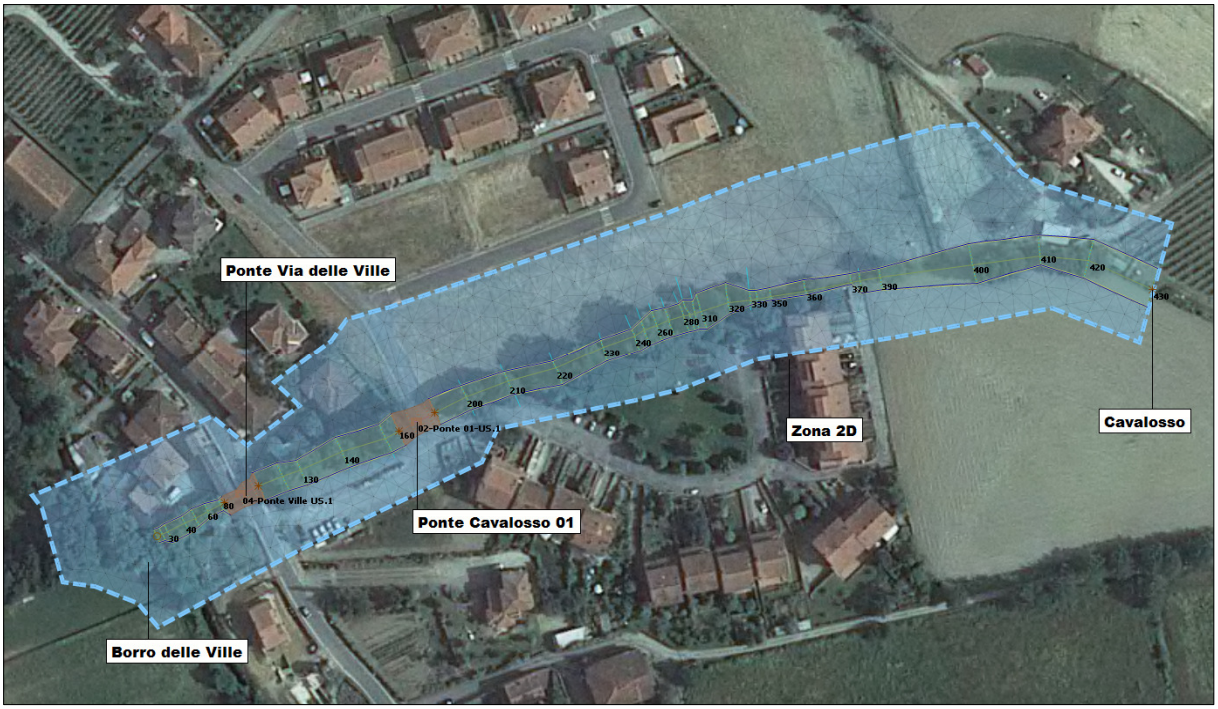



**Figura 71.** Modello idraulico – Ponti – fosso Cavalosso.

## 6.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le simulazioni eseguite consentono di definire la pericolosità idraulica indotta dal sistema idraulico Ville (composto dal borro delle Ville – fosso Cavalosso – borro dello Scuragnolo e borro Farnibona) sull'area indagata.

Di seguito si riportano le considerazioni sui risultati delle simulazioni idrauliche eseguite in moto vario con Infoworks ICM suddivise per i tempi di ritorno di riferimento (Tr=200 e Tr=30 anni).

Si evidenzia che per tutti i tempi di ritorno valutati lo scenario critico per tutti i tratti analizzati è risultato essere il BETA. Lo scostamento sia in termini di portate che di livelli è risultato comunque minimo.

I risultati delle simulazioni idrauliche sono stati elaborati in modo grafico (inviluppo dei massimi battenti relativi agli scenari considerati e analisi dei battenti per l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica P.I.4 e P.I.3) per la redazione delle cartografie della pericolosità idraulica. Di seguito si riporta un estratto della tavola: "*Proposta di modifica della Carta delle aree a Pericolosità idraulica PAI*" a cui si rimanda per i dettagli (TAV.IDR12 – in giallo P.I.4, in arancione P.I.3, in celeste P.I.2 e in azzurro chiaro P.I.1).

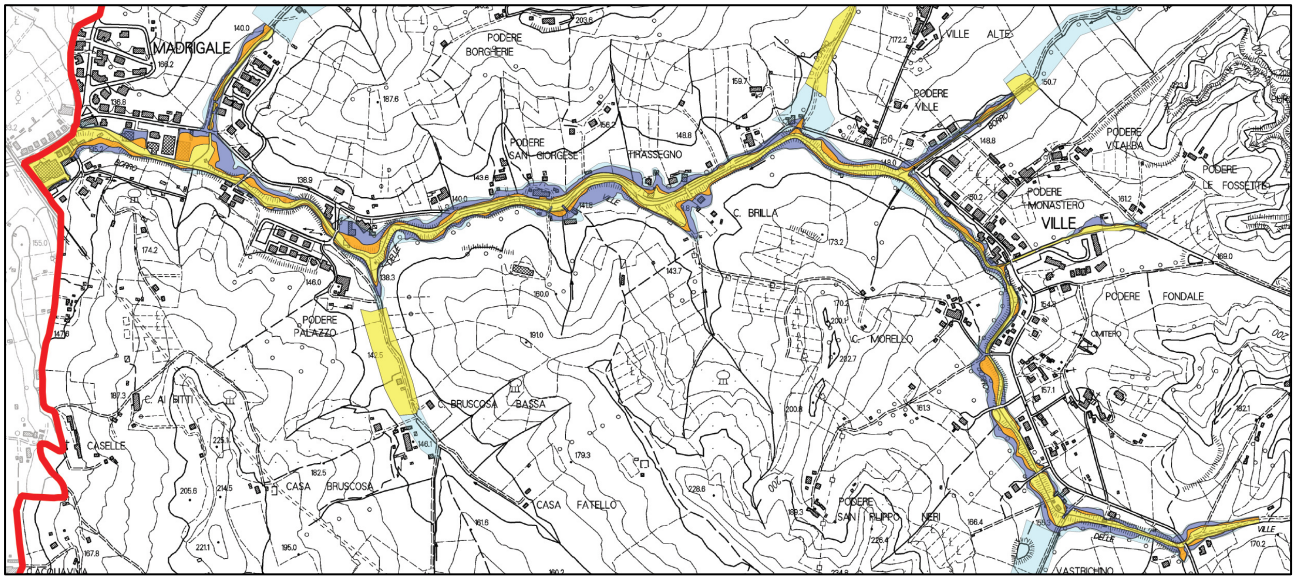



**Figura 72.** Estratto della Tavola: Proposta di modifica della Carta delle aree a pericolosità idraulica PAI

### 6.5.1 TEMPO DI RITORNO TRENTENNALE

Borro delle Ville:

Per questo scenario si ha un insufficenza della sezione d'alveo che interessa diversi ed estesi tratti, con esondazioni sia in destra che sinistra idraulica.

Si può comunque evidenziare che il tratto di monte, fino all'immissione con il borro della Selva, pur presentando esondazioni in destra e/o in sinistra idraulica, soprattutto nei tratti immediatamente a monte dei ponti esistenti, non va ad interessare la viabilità principale (via delle Ville) e interessa solamente alcuni edifici adiacenti al corso d'acqua.

Immediatamente a valle dell'immissione del borro della Selva, si ha l'allagamento delle sede viaria di via delle Ville che si estende fino alla sezione VI_052, a circa 200 metri a monte dell'immissione del borro Fatello. In questo tratto si ha l'allagamento anche di alcuni edifici posti in prossimità dell'alveo del torrente.

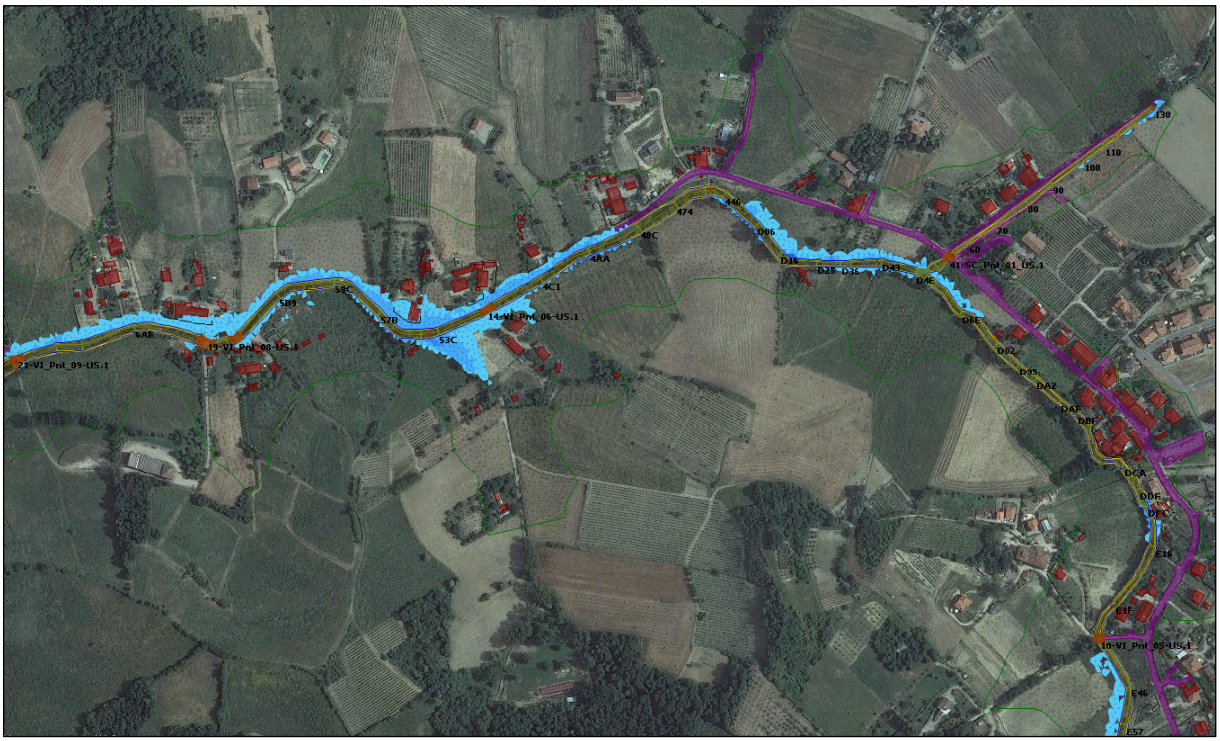



**Figura 73.** Risultati modellazione idraulica per Tr30 – Scenario Beta - Dettaglio: Loc. Le Ville.

Proseguendo verso valle il borro si discosta dalla viabilità principale che rimane quindi fuori dalle aree allagate, che continuano ad interessare le sponde destra e sinistra e a lambire alcuni edifici in destra.

Il tratto compreso dalla confluenza del borro di Farnibona fino alla sezione VI_025 è interessato da allagamenti in sponda destra che interessano l'area della confluenza e alcuni edifici della zona industriale che risultano avere il piano di calpestio più basso di quello delle aree circostanti che si attestano alla quota più elevata della viabilità principale.

Subito a valle della sezione VI_026 inizia il superamento del ciglio di sponda sinistro, mentre in destra la presenza di un muro di sponda e la quota delle abitazioni adiacenti evita l'allagamento.

Dalla sezione VI_021 si ha un allagamento esteso sia in sponda destra che sinistra, causato essenzialmente dal rigurgito che si instaurea immediatamente a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria Direttissima Firenze-Roma e dall'autostrada A1 (ponte Ville 15), che risulta fortemente insufficiente al transito della portata di verifica. Questi allagamenti interessano sia la viabilità principale che gli edifici. Mentre l'area a sinistra risulta naturalmente limitata dal rilevato collinare, in destra tutta l'area a tergo di via delle Ville (che rappresenta di fatto l'arginatura del borro) è depressa presentando differenze di quota con il rilevato stradale che raggiungono e superano 1.5 metri.

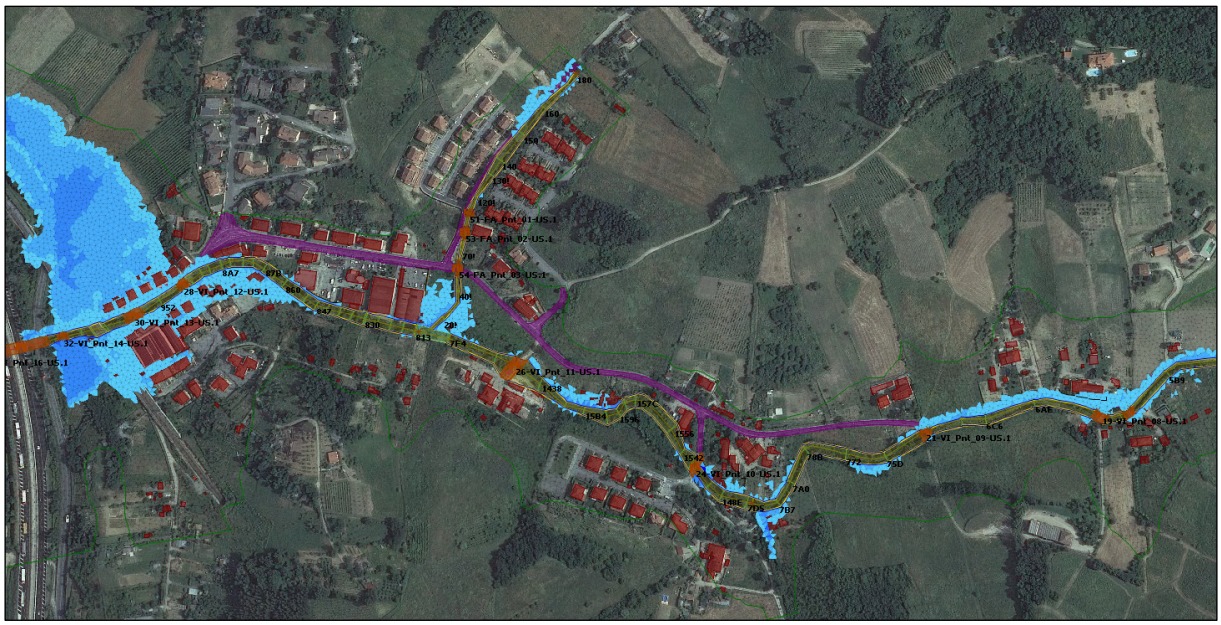



**Figura 74.** Risultati modellazione idraulica per Tr30 – Scenario Beta - Dettaglio: Loc. Farnibona.

Via delle Ville per attraversare il rilevato autostradale si abbassa in quota all'ingresso dell'attraversamento per poi risalire in uscita attestandosi alla quota viaria di valle. Nel presente studio, dovendo valutare la pericolosità idraulica a monte dell'attraversamento, si è preferito trascurare l'eventuale trasferimento di portata attraverso la sede stradale al di là del rilevato, in modo da effettuare una valutazione della pericolosità idraulica più cautelativa.

Fosso di Cavalosso:

Per un tempo di ritorno trentennale questo fosso non presenta fronti di esondazione particolari ad esclusione di un breve tratto in sinistra idraulica tra le sezioni 390 e 310.

Borro dello Scuragnolo:

Non si hanno superamenti dei cigli di sponda in questo scenario.

Borro di Farnibona:

Per questo scenario si ha un superamento dei cigli di sponda in sinistra idraulica tra le sezioni 17 e 15 con conseguente allagameneto della sede viaria e un superamento di entrambi i cigli a valle dell'attraversamento di via delle Ville.

### 6.5.2 TEMPO DI RITORNO DUECENTENNALE

Borro delle Ville:

In questo scenario si conferma la dinamica relativa ai superamenti dei cigli di sponda descritti per l'evento trentennale con un aumento delle superfici e anche del numero degli edifici interessati dagli allagamenti.

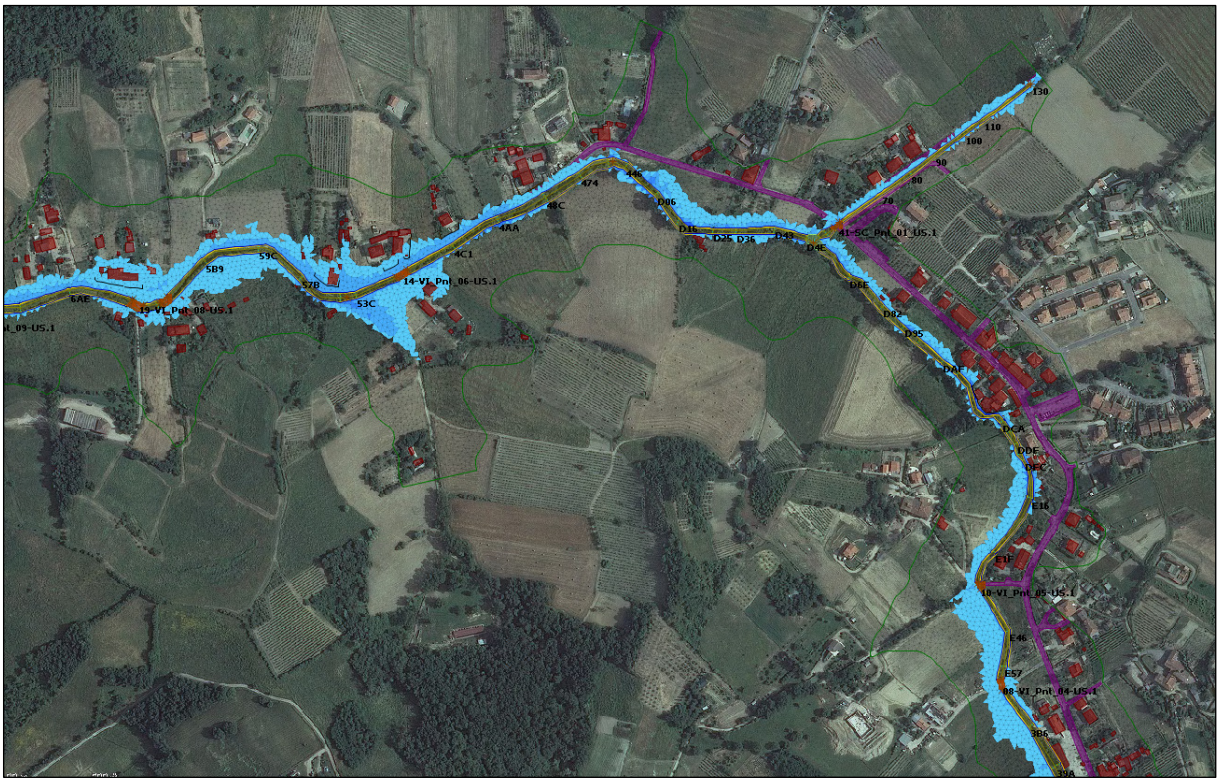



**Figura 75.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario Beta - Dettaglio: Loc. Le Ville.

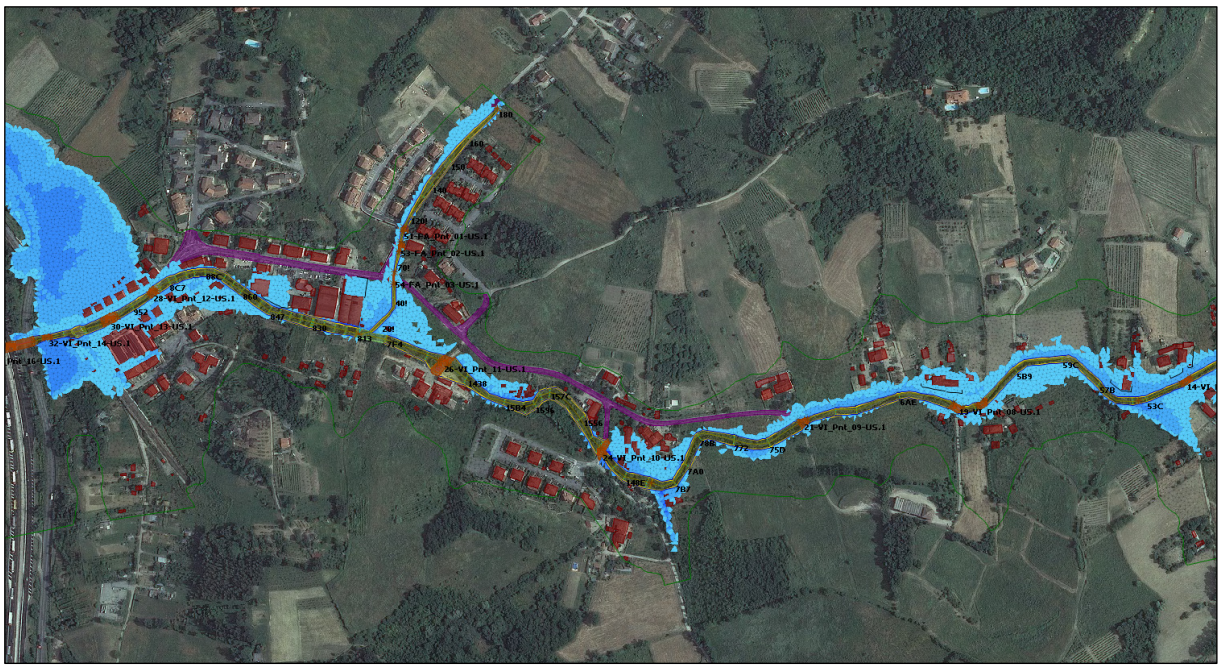


**Figura 76.** Risultati modellazione idraulica per Tr200 – Scenario Beta - Dettaglio: Loc. Farnibona.

Fosso di Cavalosso:

L'allagamneto in sinistra idraulica tra le sezioni 390 e 310 si estende verso valle fino alla sezione 270. A valle della sezione 40 si ha il superamneto del ciglio di sponda sinistro.

Borro dello Scuragnolo:

Per un tempo di ritorno duecentenario si ha il superamento del ciglio di sponda destro per tutta la lunghezza del tratto studiato, con conseguente allagamento della sede stradale adiacente al borro e di alcune limitate aree immediatamente a monte di questa. Questo allagamento va poi ad interessare anche un tratto di via delle Ville per poi rientrare in alveo immediatamente a valle. Nel tratto di monte si riscontra un limitato allagamento in sponda sinistra tra le sezioni 013 e 012.

Borro di Farnibona:

Per quasto tempo di ritorno si ha un superamento dei cigli di sponda in destra idraulica per tutto il tratto analizzato con conseguente allagamento della sede viaria che corre in adiacenza al borro. Questo effetto, insieme all'insufficenza della sezione idraulica dell'attraversamento su via delle Ville, porta all'allagamento anche di questa viabilità. A valle di questo si ha il superamento di entrambi i cigli di sponda con il conseguente allagamento di parte dell'area industriale in sponda destra ed un aumento dell'area allagata in sinistra.

# 7. CONSIDERAZIONI FINALI

I risultati descritti nel presente studio sono stati ottenuti in considerazione dell'assetto attuale del reticolo idrografico analizzato, dell'uso del suolo e in funzione dell'attuale pianificazione urbanistica.

Le indicazioni e i risultati ottenuti dovranno essere rivalutati ed aggiornati in funzione di eventuali varianti della pianificazione urbanistica o per variazioni sostanziali dei parametri idrologico-idraulici significativi che interessino il quadro di riferimento utilizzato (modifica dei dati idrologici indotti da futuri eventi meteorologici estremi; modifiche dell'uso del suolo o del reticolo idrografico; etc.).

I consulenti idraulici:

Dott. Ing. Luca Rosadini
Dott. Ing. Leonardo Marini