



*Ipotesi progettuale per la riduzione del rischio idraulico a Oste (serie B)*

novembre 2018

Q1 - studi idraulici

Relazione idrologica e idraulica

DOC.  
01/B

PROVINCIA DI PRATO  
Comune di Montemurlo

DEFINIZIONE E VERIFICA DI UNA IPOTESI PROGETTUALE PER LA  
RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA FRAZIONE DI OSTE

R01. RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

WEST SYSTEMS s.r.l. – PHYSIS s.r.l. Ingegneria per l'Ambiente

Ing. David Settesoldi

Firenze

Ottobre 2018

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	IL QUADRO CONOSCITIVO.....	7
2.1	<i>Gli studi esistenti</i> .....	7
2.2	<i>I dati territoriali</i> .....	8
2.3	<i>Modello digitale del terreno</i> .....	8
2.4	<i>Modello digitale delle scabrezze</i> .....	9
2.5	<i>Dati idrologici</i> .....	10
3	ANALISI IDROLOGICA .....	13
3.1	<i>Le curve di possibilità pluviometrica</i> .....	14
3.2	<i>Caratteristiche del modello afflussi-deflussi</i> .....	0
3.2.1	Le fasi computazionali .....	0
3.2.2	Le caratteristiche geografiche .....	3
3.3	<i>Implementazione del modello idrologico</i> .....	7
3.4	<i>Taratura del modello idrologico</i> .....	8
3.4.1	Gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno.....	10
4	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	14
4.1	<i>La cassa dello Stregale</i> .....	18
4.2	<i>La cassa del Funandola</i> .....	18
4.3	<i>La cassa del Mendacione</i> .....	19
4.4	<i>La cassa del Acque Basse del Mendacione</i> .....	19
4.5	<i>L'impianto di sollevamento di Via Pola</i> .....	20
5	ANALISI IDRAULICA.....	21
5.1	<i>Il modello idraulico unidimensionale</i> .....	21
5.2	<i>Il modello di inondazione bidimensionale</i> .....	22
5.3	<i>Il modello di inondazione quasi-bidimensionale</i> .....	27
5.4	<i>La modellazione idraulica delle connessioni idrauliche</i> .....	29
5.5	<i>Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio</i> .....	30
5.6	<i>Schematizzazione dell'area di studio</i> .....	30
5.7	<i>Parametri del modello idraulico</i> .....	32
6	VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO .....	34
6.1	<i>Individuazione delle aree inondabili</i> .....	34
6.2	<i>La pericolosità idraulica</i> .....	34
6.3	<i>La magnitudo idraulica</i> .....	35
7	CONCLUSIONI.....	35
A.	CARATTERISTICHE MODELLO IDRAULICO .....	38

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1-Modello digitale Lidar 1x1m. ....	9
Figura 2-2-Modello digitale delle scabrezze. ....	10
Figura 2-3-Caposaldo sul ponte della Variante Pratese. ....	11
Figura 2-4-Sezione in corrispondenza del ponte della Variante Pratese (fonte rilievo Mazzetti 2008). ....	12
Figura 2-5-Scala di deflusso del Calice alla Variante Pratese ....	12
Figura 3-1 - Coefficienti a, n e m.....	16
Figura 3-2 – Modello digitale del terreno. ....	4
Figura 3-3 – Capacità di ritenuta.....	5
Figura 3-4 – Velocità filtrazione. ....	6
Figura 3-5 – Sezione in corrispondenza dell'idrometro del Calice alla Variante Pratese. ....	9
Figura 3-6 – Evento 06-03-2017.....	9
Figura 3-7 – Evento 08-12-2017.....	10
Figura 3-8 – Portate al colmo per i diversi tempi di ritorno ....	13
Figura 4-1- Planimetria interventi ....	15
Figura 4-2- Planimetria cassa di espansione Pontetorto ....	16
Figura 4-3- Planimetria impianto di sollevamento Parugiano ....	17
Figura 5-1 – Griglia di calcolo equazione di continuità.....	24
Figura 5-2 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo X.....	24
Figura 5-3 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y.....	26

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.....	1
Tabella 3-2 – Tabella parametri del modello.....	8
Tabella 3-3 – Eventi del Calice alla Variante Pratese. ....	8
Tabella 3-4 – Stazioni pluviometriche. ....	8
Tabella 3-5 – Parametri taratura del Calice alla Variante Pratese. ....	10
Tabella 3-6 – Valori di portata al colmo valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i bacini totali sottesi alle immissioni.....	12
Tabella 4-1– Livelli e volumi cassa Stregale .....	18
Tabella 4-2– Livelli e volumi cassa Funandola.....	18
Tabella 4-3– Livelli e volumi cassa Mendacione.....	19
Tabella 4-4– Livelli e volumi cassa Acque Basse Mendacione (Fosso Pola).....	20
Tabella 5-1– Elenco dei corsi d’acqua considerati. ....	31
Tabella 5-2 – Parametri scale di deflusso. ....	32
Tabella 5-3– Valori del coeff. di <i>Gauckler-Strickler</i> attribuiti ai corsi d’acqua analizzati. ....	33
Tabella 7-1 – Confronto portata a valle del sollevamento Parugiano sul torrente Mendacione .....	35
Tabella A-A-1 – Leggi di invaso delle aree di potenziale esondazione nello stato di progetto. ....	40
Tabella A-A-2 – Curve di invaso delle aree di potenziale esondazione nello stato di progetto.....	41
Tabella A-A-3 – Caratteristiche delle principali soglie sfioranti. ....	42
Tabella A-A-4 – Caratteristiche delle portelle di collegamento stato progetto .....	45
Tabella A-A-5 – Caratteristiche delle idrovore stato progetto. ....	46

## ELENCO ELABORATI

### *Elaborati tecnici*

- R01 — Relazione idrologica e idraulica
- A01 — Tabulati verifiche idrauliche
- A02 — Sezioni fluviali e livelli idrometrici

### *Elaborati grafici*

- T01 — Planimetria dei bacini idrografici e delle immissioni idrologiche [1:25.000]
- T02 — Carta sinottica delle sezioni fluviali, degli sfioratori, delle paratoie, delle idrovore, delle casse di espansione e del modello digitale del terreno [1:10.000]
- T03A — Profili longitudinali torrente Agna [varie]
- T03B — Profili longitudinali fosso Agnaccino, Calice, Calicino, Gramigneto e Poltronova [varie]
- T03C — Profili longitudinali torrente Bure [varie]
- T03D — Profili longitudinali fosso Bagnolo [varie]
- T03E — Profili longitudinali fosso Ficarello [varie]
- T03F — Profili longitudinali fosso Funandola e diversivo [varie]
- T03G — Profili longitudinali fosso Mendacione [varie]
- T03H — Profili longitudinali fosso Stregale, Selvavecchia e fosso Guardia [varie]
- T04 — Battenti di esondazione e velocità di propagazione  $Tr = 30$  anni [1:10.000]
- T05 — Battenti di esondazione e velocità di propagazione  $Tr = 200$  anni [1:10.000]
- T06 — Battenti di esondazione e velocità di propagazione  $Tr = 500$  anni [1:10.000]
- T07 — Planimetria delle aree inondabili [1:10.000]
- T08 — Pericolosità idraulica ai sensi del 53/R [1:10.000]
- T09 — Pericolosità idraulica ai sensi del PGRA [1:10.000]
- T10 — Magnitudo ai sensi della L.R. 41/2018 [1:10.000]

## 1 PREMESSA

A seguito dell'incarico affidato dal Comune di Montemurlo alla West Systems s.r.l. con Determinazione n. 635 del 12/12/2017, è stato redatto il presente studio finalizzato alla definizione e alla verifica di una serie di interventi per riduzione del rischio idraulico nella zona di Oste. La presente stesura costituisce un aggiornamento di quella redatta nel gennaio 2018 a seguito delle nuove valutazioni idrologiche implementate nello studio a supporto del Piano Operativo.

Tali interventi sono stati in parte desunti dagli studi condotti negli anni passati e in particolare dallo studio condotto nel 2008 *"Definizione e verifica idraulica degli interventi di messa in sicurezza della frazione di Oste nel Comune di Montemurlo"*.

Lo studio è stato condotto implementando un modello della rete drenante interna e limitrofa al comune di Montemurlo basato sui rilievi delle sezioni disponibili dagli studi precedenti e dalle progettazioni realizzate e in corso di realizzazione e del rilievo del terreno eseguito con la tecnica del *laser scanning* (Lidar).

L'analisi idrologica aggiornata per la determinazione delle portate di piena prevede:

- l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica aggiornate al 2012 calcolate dalla Università di Firenze per conto della Regione Toscana;
- l'utilizzo del data-base idrologico redatto nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana con particolare riferimento alla attività B2;
- la taratura del modello PIENE (già utilizzato negli studi precedenti condotti sul comune di Montemurlo) utilizzando i dati registrati dall'idrometro del Calice a Variante Pratese (codice TOS03004847-751559-4847).

Obiettivo del presente studio è quello di definire una serie di interventi in grado di mitigare la pericolosità idraulica nella frazione di Oste senza aggravare le condizioni di deflusso a valle in accordo con le normative regionali e della Autorità di Bacino.

Il presente studio risulta articolato nelle seguenti fasi fondamentali:

**FASE 1 - definizione del quadro conoscitivo:** in tale fase sono stati acquisiti ed esaminati gli studi, la documentazione e i dati disponibili riguardanti il reticolo idrografico considerato. In particolare, dopo l'archiviazione delle informazioni ritenute utili allo svolgimento del presente studio, sono state individuate le integrazioni del quadro conoscitivo necessarie alla sua completa definizione. In particolare sono state individuate le sezioni fluviali integrative considerate indispensabili ai fini delle presenti simulazioni;

**FASE 2 – analisi idrologica:** per il bacino idrografico considerato sono state valutate le portate al colmo e gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 20, 30, 100, 200, e 500 anni e per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore, utilizzando un modello idrologico a parametri distribuiti analogo a quello adottato per le indagini idrologiche a supporto del Regolamento Urbanistico;

**FASE 3 – definizione degli interventi:** sono stati definiti una serie di interventi, alcuni dei quali già in fase di progettazione e realizzazione, finalizzati alla laminazione delle portate;

**FASE 4 – analisi idraulica:** la verifica idraulica degli interventi è stata eseguita attraverso un modello unidimensionale di moto vario, che ha permesso di individuare i livelli idrici nelle sezioni fluviali considerate nonché le eventuali insufficienze idrauliche, accoppiato ad un modello bidimensionale

per la stima dei battenti di esondazione limitatamente al territorio comunale di Montemurlo. Le verifiche idrauliche sono state condotte per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni e per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore;

**FASE 5 – valutazione della pericolosità idraulica e della compatibilità idraulica degli interventi previsti:** sulla base dei battenti idrici ottenuti dal modello bidimensionale per lo stato attuale, sono state elaborate le aree inondabili ed è stata verificata l'efficienza degli interventi previsti. Sulla base di tali perimetrazioni sono state perimetrare la pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2011. E' stata inoltre redatta la carta della magnitudo nelle definita dalla L.R.41/2018 della Regione Toscana.

Di seguito si illustrano i criteri e le attività svolte per le singole fasi sopra descritte.



## 2 IL QUADRO CONOSCITIVO

### 2.1 *Gli studi esistenti*

Nel presente lavoro sono stati consultati i seguenti studi idrologici e idraulici:

- **Comune di Montemurlo** (2007), *“Studio idrologico e idraulico di alcuni corsi d'acqua nel territorio comunale di Montemurlo”*.  
Il suddetto studio ha condotto alla perimetrazione delle aree inondabili e alla definizione degli interventi di messa in sicurezza nel Comune di Montemurlo;
- **Comune di Montemurlo** (2008), *“Indagini idrologiche e idrauliche a supporto delle varianti Capoluogo, Mendacione e Sostegno alle Imprese, Comando Vigili Urbani e Alloggi Vigili del Fuoco al Piano Regolatore Generale vigente del Comune di Montemurlo”*.  
Nel suddetto studio sono stati definiti gli interventi di messa in sicurezza necessari per la fattibilità di alcune Varianti allo Strumento Urbanistico del Comune di Montemurlo. Nel suddetto studio è stata redatta una nuova carta delle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni a seguito degli interventi previsti;
- **Comune di Montemurlo** (2008), *“Definizione e verifica idraulica degli interventi di messa in sicurezza della frazione di Oste nel Comune di Montemurlo”*.  
Nello studio vengono definiti e verificati gli interventi di messa in sicurezza della frazione di Oste connessi alle previsioni del Regolamento Urbanistico del Comune di Montemurlo;
- **Comune di Montemurlo** (2010), *“Studio idrologico e idraulico a supporto di una variante al regolamento urbanistico del comune di Montemurlo per un'area all'angolo tra via del Parugiano e via Zara”*.  
Si tratta del progetto degli interventi idraulici necessari ai fini della messa in sicurezza dell'area oggetto di variante;
- **Comune di Montemurlo** (2011), *“Studio idrologico e idraulico a supporto di una variante al RU in un'area tra il torrente Bagnolo e il torrente Mendacione nel comune di Montemurlo”*.  
Lo studio è finalizzato alla revisione delle aree inondabili alla luce degli interventi di messa in sicurezza realizzati dopo la redazione degli studi a supporto del Regolamento Urbanistico.

Nel presente lavoro sono stati consultati i seguenti progetti:

- **Comune di Montemurlo** (2008), *“Lotto 1: Diversivo fosso Funandola tra via Morecci e via Carducci”*;
- **Comune di Montemurlo** (2008), *“Progetto per l'adeguamento della sezione di deflusso di un tratto del fosso Stregale in loc. La Querce”*;
- **Comune di Montemurlo** (2009), *“Progettazione preliminare della cassa di espansione sul fosso di Selvavecchia nel comune di Montemurlo”*.
- **Comune di Montemurlo** (2009), *“Lotto 2: Adeguamento fosso Funandola lungo via Barzano”*;
- **Comune di Montemurlo** (2009), *“Adeguamento del f. Funandola in corrispondenza dell'attraversamento di via F.lli Rosselli”*;
- **Comune di Montemurlo** (2010), *“Adeguamento del f. Funandola in corrispondenza della SP82 Nuova Montalese”*.
- **Comune di Montemurlo** (2011), *“Aggiornamento della pericolosità idraulica nel territorio comunale di Montemurlo”*.
- **Comune di Montemurlo** (2012), *“Aggiornamento della pericolosità idraulica nel territorio comunale di Montemurlo”*.
- **Comune di Montemurlo** (2012), *“Intervento di manutenzione straordinaria relativo alla sistemazione idraulica del torrente Ficarello nei Comuni di Prato e Montemurlo”*.

## 2.2 I dati territoriali

Per la redazione dello studio sono stati acquisiti i seguenti dati:

- cartografia C.T.R. 1:10.000 e 1:2.000 in formato vettoriale;
- modello digitale del terreno con passo 1m x 1m (messo a punto nell'ambito del progetto *Lidar*) fornito dalla Regione Toscana;
- sezioni fluviali per i tratti del t. Agna, fosso Agnaccino, t. Bagnolo, fosso Ficarello, fosso Funandola, fosso Mendancione, fosso Selvavecchia e fosso Stregale utilizzate negli studi precedentemente citati ricavate dai rilievi del Genio Civile di Prato, del comune di Montemurlo, del Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio o da integrazioni condotte con apposite campagne topografiche nel corso degli stessi studi;
- sezioni fluviali del diversivo del fosso Funandola derivanti dal progetto del "*Lotto 1: Diversivo fosso Funandola tra via Morecci e via Carducci*" (Comune di Montemurlo, 2008);
- sezioni fluviali del diversivo del fosso Funandola derivanti dal progetto del "*Lotto 2: Adeguamento fosso Funandola lungo via Barzano*" (Comune di Montemurlo, 2009);
- sezioni fluviali del fosso Funandola relative al nuovo attraversamento di via F.lli Rosselli (Comune di Montemurlo, 2009);
- sezioni fluviali del fosso Funandola derivanti dal progetto esecutivo "*Adeguamento del f. Funandola in corrispondenza della SP82 Nuova Montalese*" (Comune di Montemurlo, 2010);
- sezioni fluviali del fosso Stregale derivanti dal "*Progetto per l'adeguamento della sezione di deflusso di un tratto del fosso Stregale in loc. La Querce*" (Comune di Montemurlo, 2008).
- Sezioni fluviali del fosso Ficarello con l'aggiunta delle due casse realizzate sullo stesso (Comune di Montemurlo, 2013).

Le sezioni fluviali desunte dai progetti degli interventi di messa in sicurezza sono state verificate mediante specifici rilievi speditivi eseguiti in situ.

## 2.3 Modello digitale del terreno

La modellazione idraulica bidimensionale è stata condotta sul modello digitale del Terreno Lidar fornito dalla Regione Toscana.

Il passo del modello digitale Lidar è 1x1 (Figura 2-1).

Il modello digitale copre completamente l'area di studio. Il DTM utilizzato per la modellazione idraulica, è il risultato per aggregazione del modello digitale lidar (riportato nella tavola T.01) con una risoluzione della maglia di 10 m x 10 m.

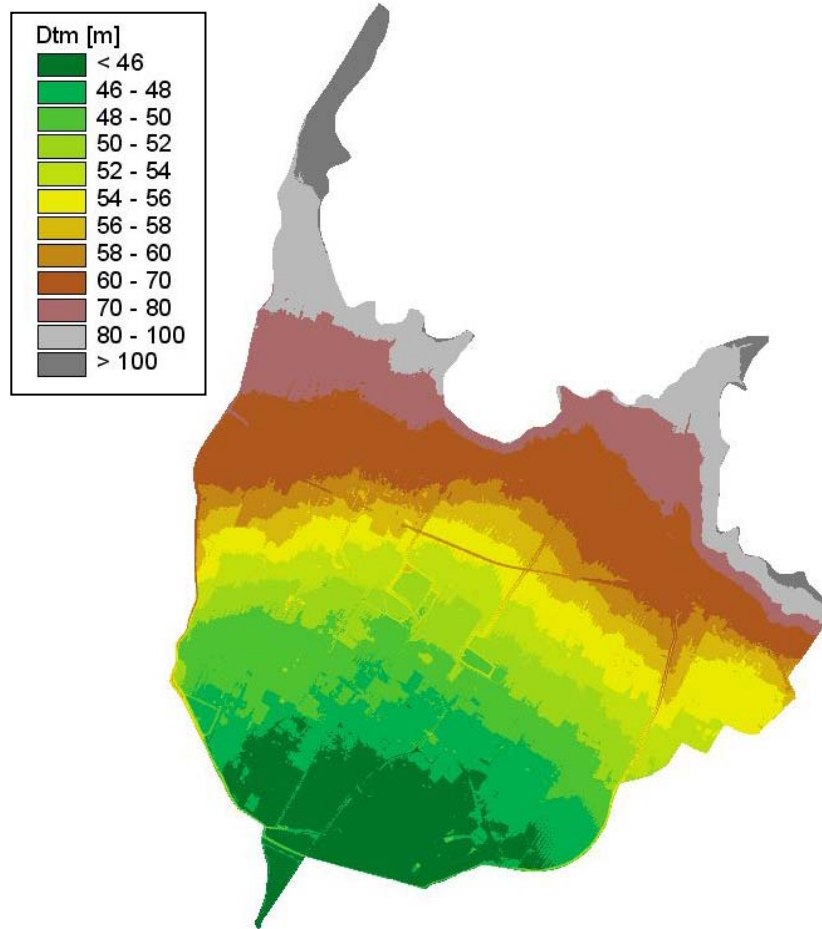


Figura 2-1-Modello digitale Lidar 1x1m.

#### 2.4 *Modello digitale delle scabrezze*

La modellazione del modello digitale delle scabrezze è stata calcolata assegnando valori diversi a seconda della tipologia di soprasuolo. In particolare si distinguono due tipologie:

- Edifici:  $2 \text{ [m}^{1/3}\text{s}^{-1}]$  di Gauckler-Strickler;
- Aree non edificate:  $20 \text{ [m}^{1/3}\text{s}^{-1}]$  di G.S.

La cartografia degli edifici è stata ricavata dalla cartografia in scala 1:2000 estraendo i seguenti strati informativi:

Edifici ed altre strutture:

- |     |  |
|-----|--|
| 201 | UNIT. VOL. CIVILE/SOCIALE/AMMINISTRATIVO     |
| 202 | UNIT. VOL. INDUSTRIALE/COMMERCIALE/CAPANNONE |
| 203 | UNIT. VOL. DI CULTO/CAMPANILE/TABERNACOLO    |
| 204 | EDIFICIO IN COSTRUZIONE                      |
| 205 | EDIFICIO RUDERE/SEMIDIROCCATO                |
| 206 | CORPO AGGETTANTE/PORTICO/LOGGIATO            |
| 207 | BARACCA/EDICOLA                              |
| 208 | TETTOIA/PENSILINA/LUCERNAIO                  |
| 209 | TENDONE PRESSURIZZATO                        |
| 210 | SERRA STABILE                                |

211	CASELLO/STAZIONE FERROVIARIA/FERMATA
212	CENTRALE ELETTRICA/SOTTOSTAZIONE ELETT./CABINA ELETT
214	LINEA CAMPO SPORTIVO
215	CAPANNONE VIVAISTICO
216	STALLA/FIENILE/ALLEVAMENTO
217	TORRE/CIMINIERA

Il modello digitale delle scabrezze è stato da prima calcolato con passo 1x1 m e successivamente aggregato alla maglia 10 m x 10 m (Figura 2-2).

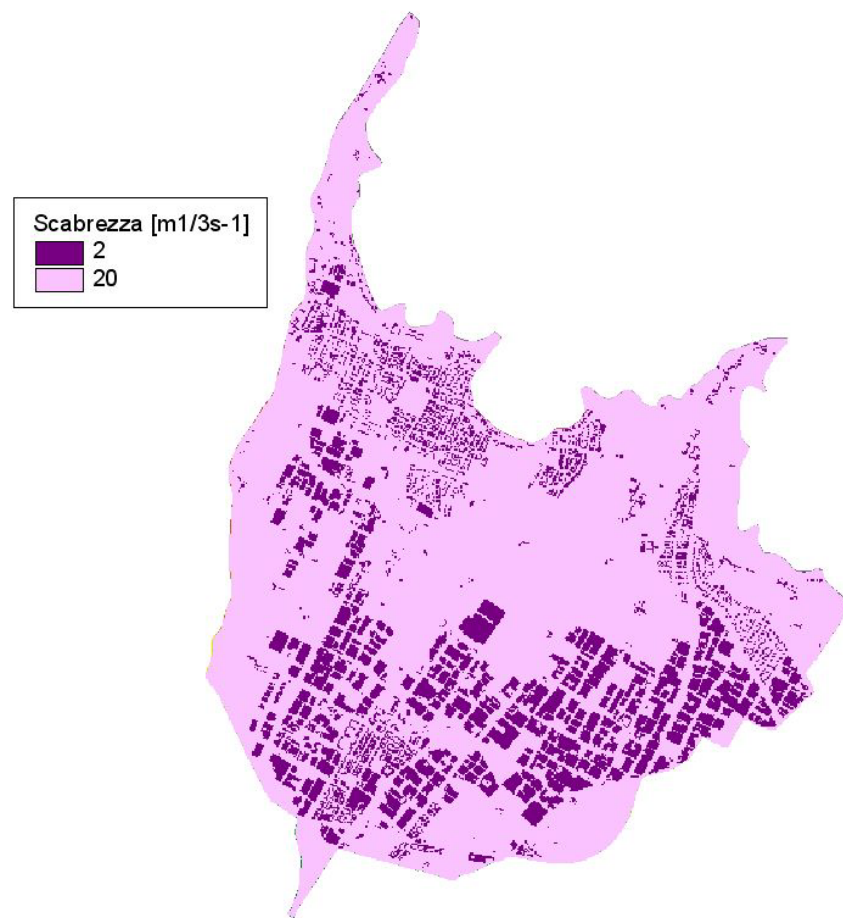


Figura 2-2-Modello digitale delle scabrezze.

## 2.5 *Dati idrologici*

Sono stato acquisiti i dati per alcuni eventi significativi verificatisi nel bacino sotteso alla stazione del torrente Calice alla Variante Pratese per il periodo dal 01-03-2017 al 21-01-2018.

In particolare sono stati acquisiti i dati di altezza idrometrica e precipitazioni per i seguenti eventi:

- dal 06/03/2017 al 08/03/2017;
- dal 08/12/2017 al 17/12/2017.

La stazione è priva di scala di deflusso pertanto la stessa è stata ricostruita attraverso una modellazione di un tratto significativo del torrente Calice in moto permanente. È stato inoltre condotto un rilievo con strumentazione GPS in modalità RTK per il calcolo dello zero idrometrico.

Il calcolo dello zero idrometrico è stato condotto misurando il livello idrometrico in un dato istante in cui era nota anche la lettura dell'idrometro. Per il caposaldo posto sul ponte della Variante Pratese è stata misurata una quota di 47.33 m s.l.m (vedi [Figura 2-3](#)). In data 24-01-2018 è stato misurato un dislivello di 6.82 m tra il suddetto caposaldo e il pelo libero, allo stesso istante l'idrometro registrava un livello di 0.46m (vedi [Figura 2-4](#) ). Pertanto la quota dello zero idrometrico è stata stimata pari a 40.05 m s.l.m.

Lo zero idrometrico stimato dal Centro Funzionale è di 39.98 m s.l.m. del tutto congruente con la stima effettuata come precedentemente descritto.



[Figura 2-3-Caposaldo sul ponte della Variante Pratese.](#)

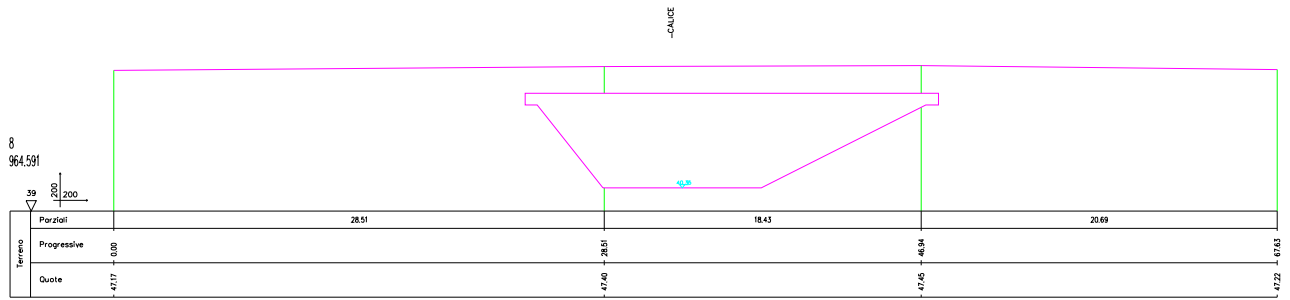


Figura 2-4-Sezione in corrispondenza del ponte della Variante Pratese (fonte rilievo Mazzetti 2008).

La scala di deflusso è riportata nella Figura 2-5

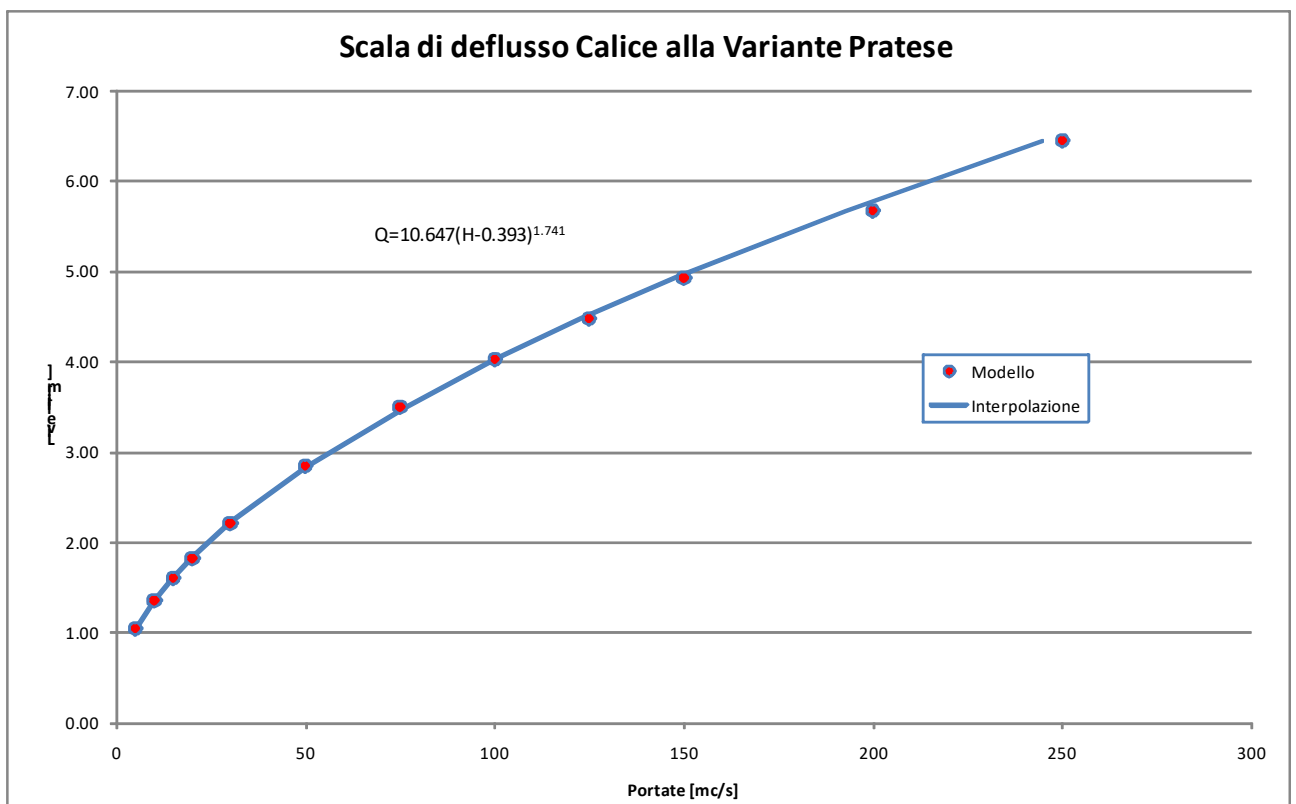


Figura 2-5-Scala di deflusso del Calice alla Variante Pratese

### 3 ANALISI IDROLOGICA

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per i bacini ricadenti nel comune di Montemurlo e oggetto del presente studio (vedere Elaborato T01).

L'analisi idrologica è stata condotta utilizzando le parametrizzazioni utilizzate nell'ambito dello "Studio idrologico e idraulico di alcuni corsi d'acqua nel territorio comunale di Montemurlo".

Sono state utilizzate le Curve di Possibilità pluviometrica ricavate nei recenti studi dell'Università di Firenze per conto della Regione Toscana.

Il modello utilizzato, denominato PIENE, è un modello idrologico a parametri distribuiti che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Il suddetto modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

Per il suo funzionamento il modello a parametri distribuiti necessita delle seguenti basi cartografiche:

- modello digitale del terreno con maglia 10m x 10m geolitologica della Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- mappa geolitologica ricavata a partire dalla cartografia del piano strutturale del comune di Montemurlo integrata per le parti non coperte con la cartografia geolitologica della Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- mappa dell'uso del suolo ricavata a partire dalla cartografia del piano strutturale del comune di Montemurlo integrata per le parti non coperte con la cartografia dell'uso del suolo della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

▪

Le condizioni di portata sono state determinate con riferimento ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni. Gli idrogrammi di portata corrispondenti sono stati determinati per durate pari a 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore.

Gli input di portata così determinati sono stati applicati al reticolo idrografico costituito dai seguenti corsi d'acqua:

- Torrente Agna
- Fosso Agnaccino
- Torrente Bagnolo
- Torrente Bure
- Torrente Calice
- Torrente Calicino
- Torrente Ficarello
- Fosso di Guardia
- Fosso Funandola
- Fosso Gramigneto
- Fosso Mazzaccheri
- Fosso Mazzone
- Fosso Mendacione
- Fosso Parugiano
- Fosso Poltronova
- Fosso Selvavecchia
- Fosso Stregale

### 3.1 Le curve di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica sono quelle dello studio di approfondimento condotto dalla Università di Firenze che utilizza i dati pluviometrici al 2012.

La curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma generica:

$$h = a t^n$$

dove:

- $h$  altezza di pioggia in [mm/h];
- $a$  coefficiente dipendente dal tempo di ritorno [mm/h<sup>n</sup>];
- $n$  esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Lo studio fornisce i valori di  $a$  e  $n$  su una maglia di 1kmx1km su tutto il territorio regionale per vari tempi di ritorno.

Approssimando la curva di crescita, che dipende dal modello probabilistico utilizzato per la stima delle altezze di pioggia per le varie durate e per i vari tempi di ritorno, con un legge di potenza la curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma:

$$h = a' t^n T^m$$

dove:

- $a'$  coefficiente [mm/h<sup>n</sup> y<sup>m</sup>];
- $T$  tempo di ritorno in anni [y].
- 

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti  $a, n$  e  $m$  (Figura 3-1).

Tali coefficienti sono validi sia per durate superiori che inferiori all'ora.

La variabilità spatio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione,  $K_r$ , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove  $h_A(A, t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  ragguagliata all'area  $A$  e  $h(t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio.

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di  $K_r$  si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana:

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

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] l'area del bacino.



Per la regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \times a = 0.036 \times a$ , dove  $a$  è il parametro della curva di possibilità
- $\beta = F_b = 0.25$
- $\gamma = F_c = 0.01$

Per il calcolo delle portate degli interbacini è stata utilizzata l'opzione globale che consente di mantenere congruente il volume complessivo della precipitazione procedendo da monte verso valle su un dato corso d'acqua.

Per il calcolo di  $K_r$  dell'interbacino  $K_a$  si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte  $K_m$  e per la sezione di valle  $K_v$  procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}$$

dove:  $K_v$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle;  $A_v$  = area del bacino di valle;  $K_m$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte;  $A_m$  = area del bacino di monte

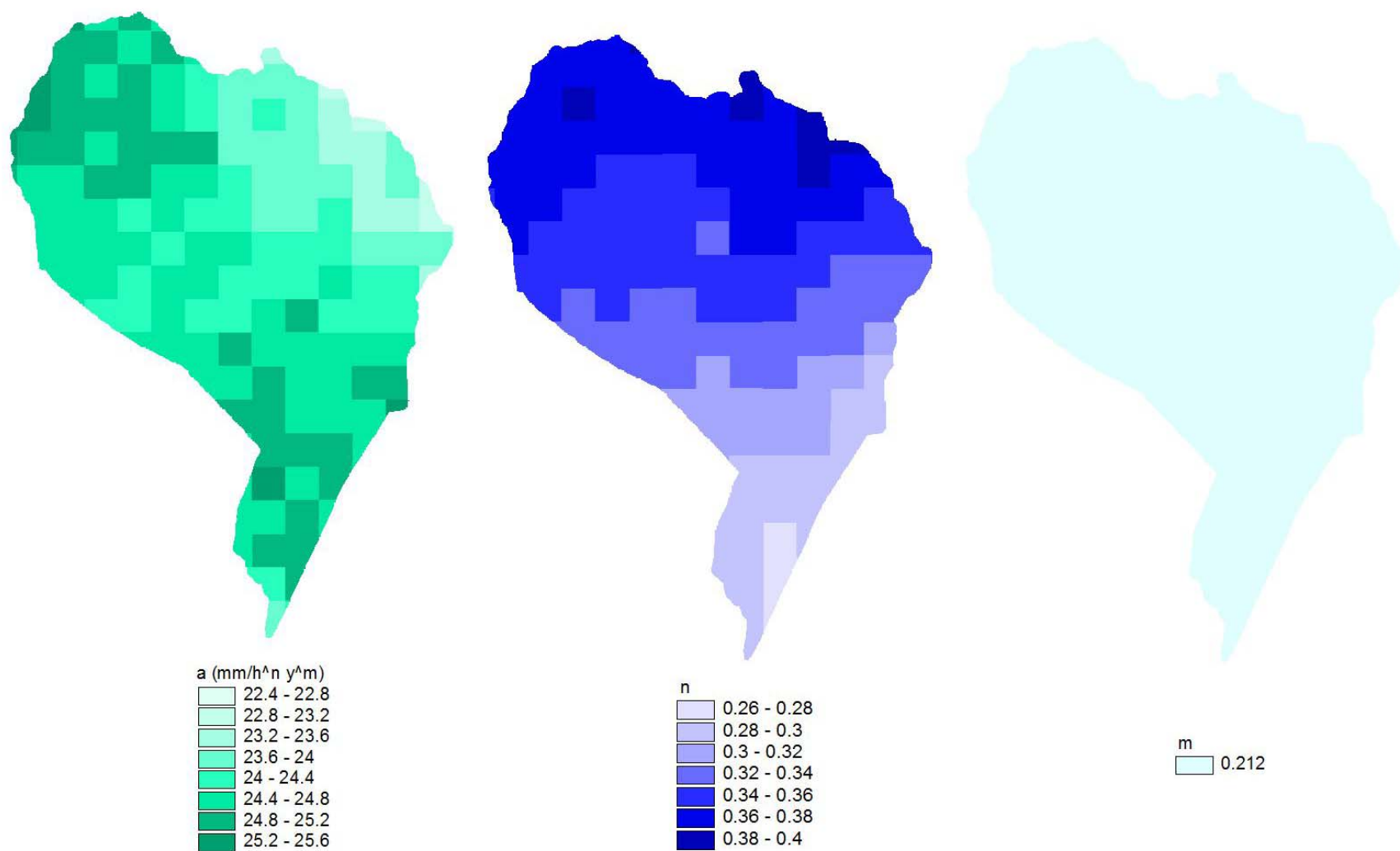


Figura 3-1 - Coefficienti a, n e m

### 3.2 *Caratteristiche del modello afflussi-deflussi*

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come distribuito in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle. Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione (percolazione). Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono state ricavate dal DB idrologico realizzato nell'ambito dello studio condotti dalla Regione Toscana *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic*.

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo Clark).

L'applicazione di un modello a parametri distribuiti prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Il modello necessita, quindi, di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche.

Le mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame sono:

1. *mappa dei puntatori*;
2. *mappa degli ordini di calcolo*;
3. *mappa dei bacini*;
4. *mappa delle velocità*;
5. *mappa dei tempi di trasferimento*;
6. *mappa della capacità di ritenuta (GRAV – contenuto di acqua gravimetrica)*
7. *mappa della velocità di filtrazione a saturazione (percolazione) (KSAT-150 conducibilità satura intero suolo)*

#### 3.2.1 Le fasi computazionali

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale;
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo ed eventualmente la componente del deflusso ipodermico;
- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Con riferimento alle variabili elencate nella Tabella 1 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino.

Simbolo	Significato	U.M.
$Pi_k$	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
$\Delta t$	passo temporale	[h]
$Dx$	passo spaziale	[m]
$SC$	valore della capacità di ritenuta del suolo ( <i>storage capacity</i> )	[mm]
$KL$	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
$RI$	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
$IN$	<i>coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione</i>	[/]
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
$T$	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_{c=CI T}$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_{i=(1-CI) T/MT}$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max}=RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s=IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c=T_c/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i=T_i/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
$C_{s=1/\tau_i}$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
$\theta_o$	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K=IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
$Q_{1k}$	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
$\varphi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
$Q_k$	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi

- 1) L'afflusso sulla singola cella,  $Pi_k$  [mm/h] è determinato con il metodo dei topoieti;
- 2) Il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione,  $K_s$  [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro  $K$ [1/h].
- 3) L'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left( P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + Pi_k - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

- 4) Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_o$  [mm] è uguale a  $\alpha_o \theta_{max}$  dove  $\alpha_o$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:

- *essiccamento del suolo:*

se  $\theta_k / dt + Pi_k > K_s$  allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{eff} = \theta_k / dt + Pi_k$$

- *saturazione del suolo:*

$$\theta_{k+1} = \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{max}) / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

- *caso intermedio:*

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1}) / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

Il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove  $C_s$ , [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come  $1/\tau_i$  e  $\varphi_k$  il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

- 5) La componente cinematica trasla nel tempo il contributo  $Q_k$  di un fattore pari a  $\tau_c$ .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- $\alpha_0$  frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]
- $RI$  coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]
- $IN$  coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]
- $IP$  coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]
- $MT$  coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]
- $CI$  coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]

### 3.2.2 Le caratteristiche geografiche

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (*grid*), sono costituite da:

- modello digitale del terreno con maglia 10m x 10m adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi (Figura 3-2);
- mappa della capacità di ritenuta ritenuta ( Figura 3-3) e;
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione ( Figura 3-4).

La mappa dei "puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento" sono stati elaborati a partire dal DTM 10×10 m. La mappa dei puntatori indica la direzione del deflusso superficiale e viene ricavato assumendo che ogni cella versi nella cella vicina a quota minore.

I tempi di trasferimento sono stati valutati nella ipotesi che la velocità di trasferimento nella singola sezione sia proporzionale all'area del bacino a monte elevata all'esponente 0.15 e alla pendenza locale elevata alla 0.2.

Il legame funzionale è quindi del tipo  $v = 1.85 A^{0.15} J^{0.2}$ , dove  $v$  è la velocità di trasferimento [m/s],  $A$  l'area del bacino [km<sup>2</sup>] e  $J$  la pendenza locale.

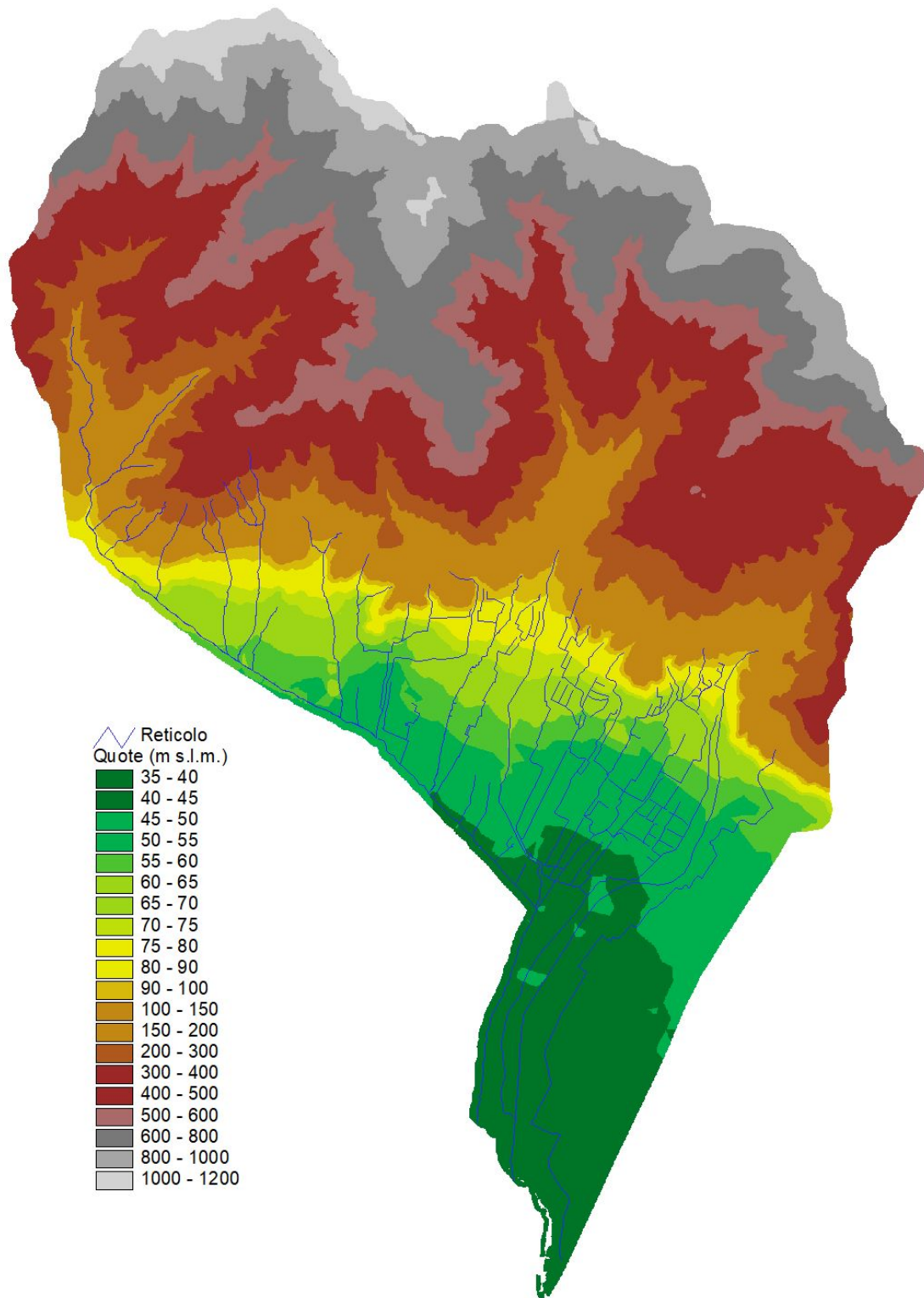


Figura 3-2 – Modello digitale del terreno.

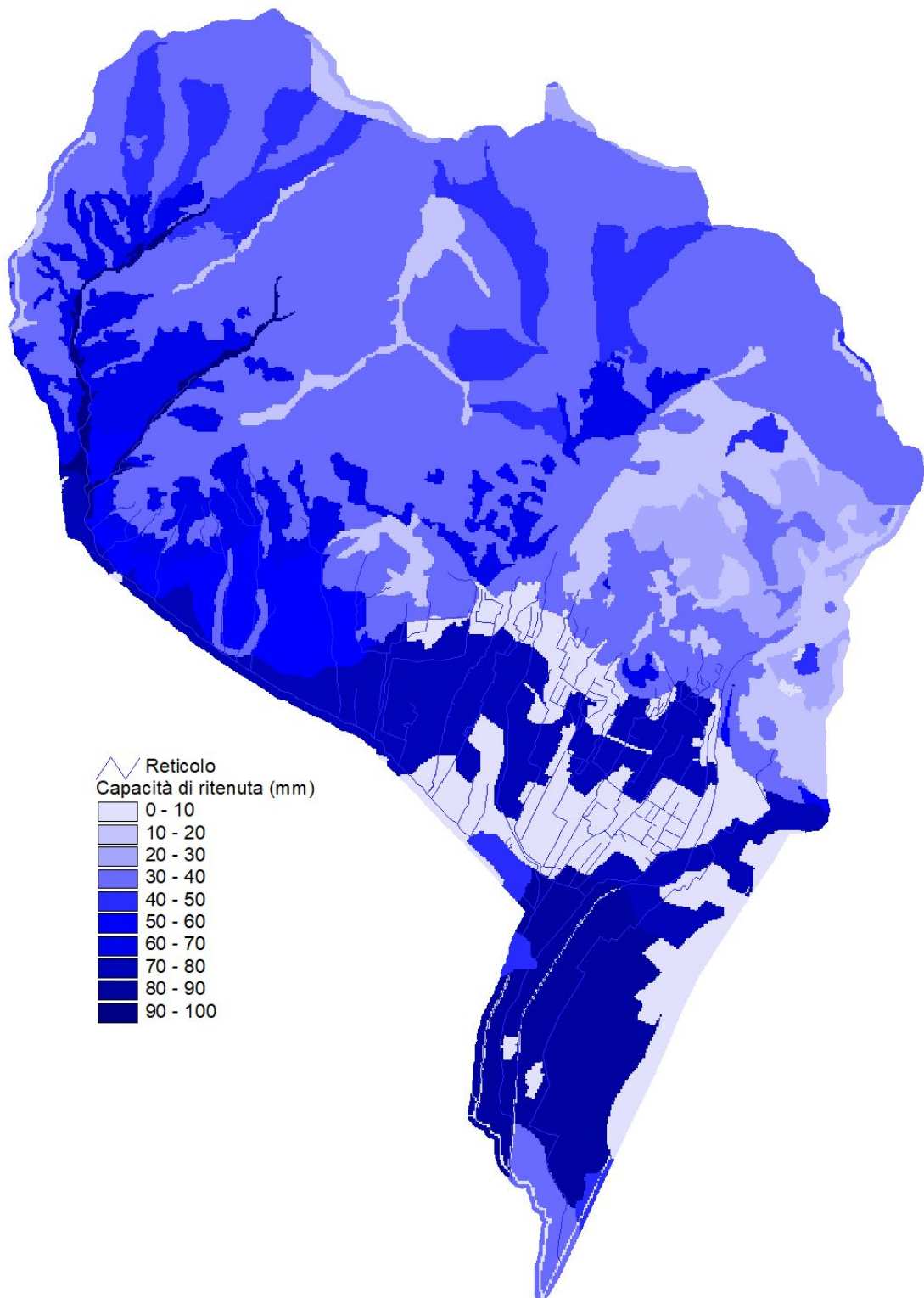


Figura 3-3 – Capacità di ritenuta.



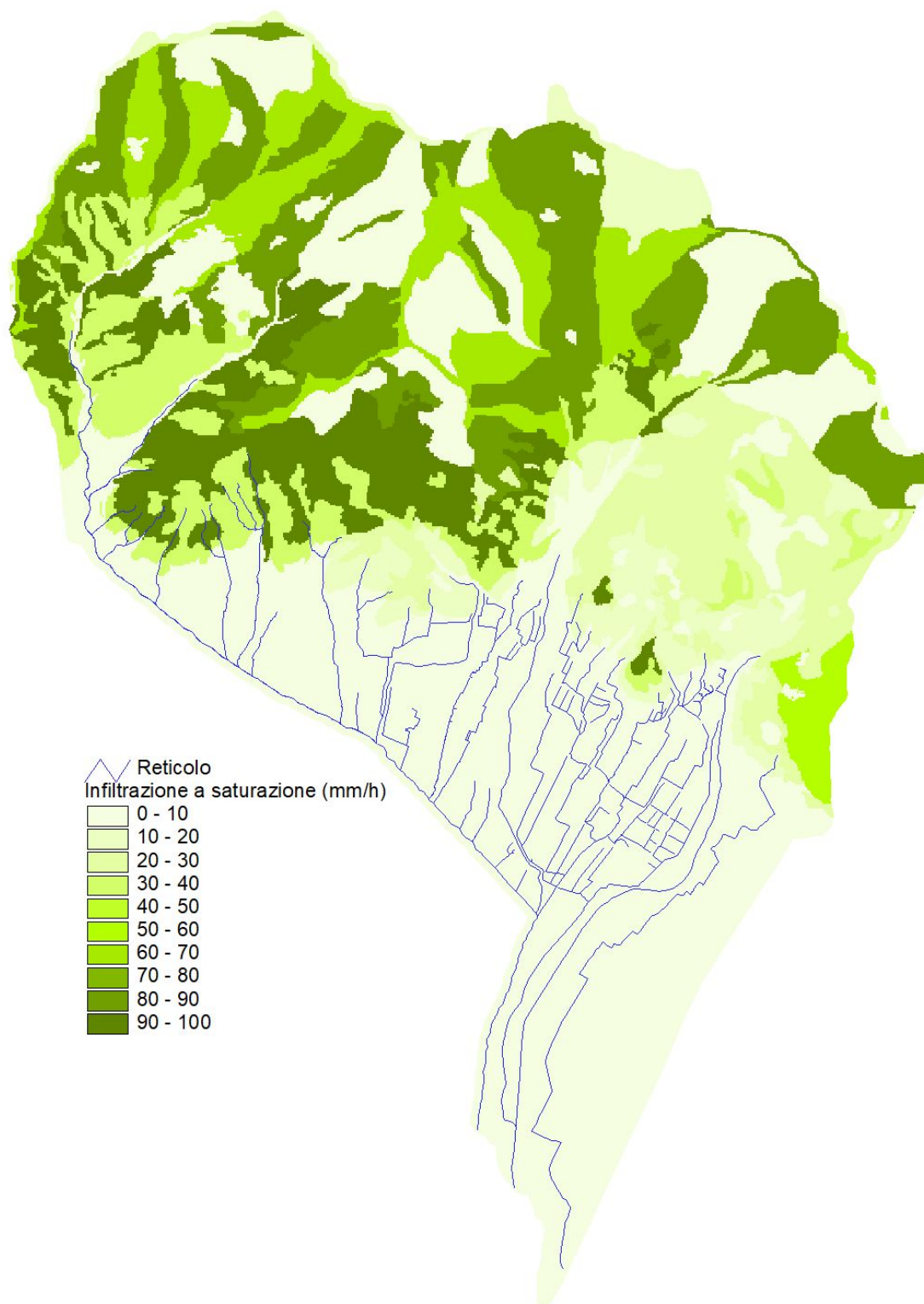


Figura 3-4 – Velocità filtrazione.

### 3.3 Implementazione del modello idrologico

Il modello idrologico prima descritto è stato implementato per ricavare gli ideogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno e per le diverse durata sia dei bacini complessivi che degli interbacini.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione,  $K_r$ , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove  $h_A(A, t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  ragguagliata all'area  $A$  e  $h(t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio.

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di  $K_r$  si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana:

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

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] l'area del bacino.

Per la regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \times a = 0.036 \times a$ , dove  $a$  è il parametro della curva di possibilità;
- $\beta = F_b = 0.25$ ;
- $\gamma = F_c = 0.01$ .

Per il calcolo delle portate degli interbacini è stata utilizzata l'opzione globale che consente di mantenere congruente il volume complessivo della precipitazione procedendo da monte verso valle su un dato corso d'acqua.

Per il calcolo di  $K_r$  dell'interbacino  $K_a$  si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte  $K_m$  e per la sezione di valle  $K_v$  procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}$$

dove:

- $K_v$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle;
- $A_v$  = area del bacino di valle;
- $K_m$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte;
- $A_m$  = area del bacino di monte.

I parametri del modello idrologico sono riportati nella [Tabella 3-2](#). Tali parametri sono stati ricavati in fase di taratura.

Acque Alte		
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]	0.20
$Rl$	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]	1.00
$IN$	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]	0.03
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]	0.20
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	1.85
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35

Tabella 3-2 – Tabella parametri del modello.

### 3.4 Taratura del modello idrologico

Il modello idrologico è stato tarato su 2 eventi significativi registrati nella stazione idrometrica del Calice a Variante Pratese (codice TOS03004847-751559-4847) i cui periodi di osservazione sono riportati nella Tabella 3-3. La stazione sottende un bacino di circa 91.7 kmq.

Inoltre, sono state utilizzate le precipitazioni delle stazioni riportate nella Tabella 3-4.

I dati pluviometrici sono stati forniti dal Servizio Idrografico Regionale. Le precipitazioni sono state ragguagliate al bacino con il metodo dei topoi.

Num.	Inizio	Fine
1	06/03/2017 12:00:00	08/03/2017 12:00:00
2	08/12/2017 00:15:00	18/12/2017 00:00:00

Tabella 3-3 – Eventi del Calice alla Variante Pratese.

Codice stazione	Descrizione
TOS11000094	Acquerino
TOS01001263	Baggio
TOS01001151	Cantagallo
TOS01001273	Fattoria di lavello
TOS01001269	La Ferruccia
TOS10001210	Prato Galceti
TOS11000093	Santomato

Tabella 3-4 – Stazioni pluviometriche.

Le portate in transito nella stazione idrometrica sono state calcolate con la scala di deflusso ricostruita come descritto nei paragrafi precedenti. Nella

Figura 3-5 si riporta la sezione ove è posto idrometro.

I risultati della verifica sono riportati nella Figura 3-6 e Figura 3-7 .



Figura 3-5 – Sezione in corrispondenza dell'idrometro del Calice alla Variante Pratese.

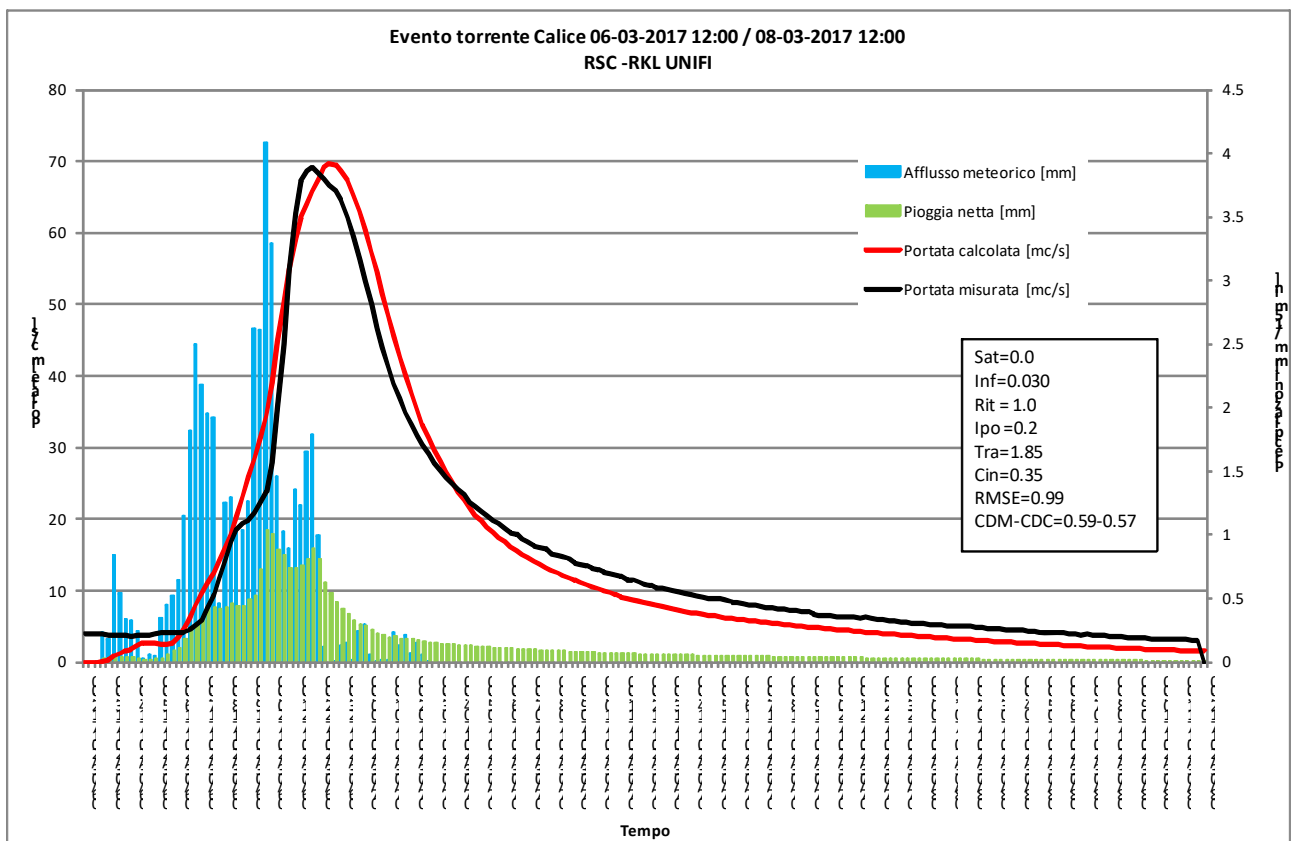


Figura 3-6 – Evento 06-03-2017.

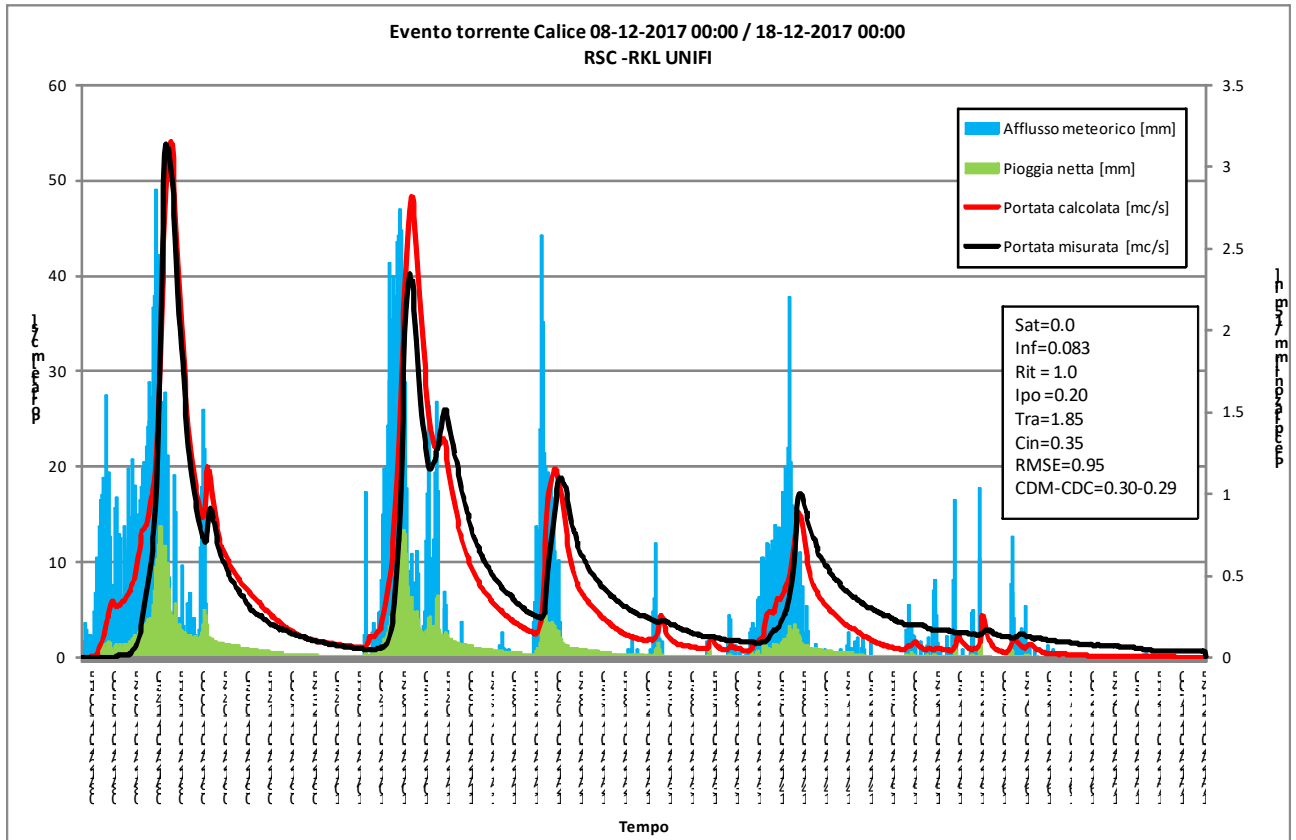


Figura 3-7 – Evento 08-12-2017.

I parametri di taratura di PIENE per il Calice alla Variante Pratese sono riportati nella [Tabella 3-5](#)

Si osserva una buona corrispondenza del valore del picco di piena per l'evento del 2012 e del 2016. Per l'evento del 2013 si ha una sottostima mentre in quello del 2016 una sovrastima imputabili probabilmente allo scarso numero di stazioni pluviometriche presenti nel bacino.

Inizio	Fine	Saturazione	Filtrazione	Ritenuta	Ipodermico	Trasferimento	Cinematico / invaso
06/03/2017 12:00	08/03/2017 12:00	0.00	0.030	1.000	0.200	1.850	0.350
08/12/2017 00:10	18/12/2017 00:00	0.00	0.083	1.000	0.200	1.850	0.350
Media		0.00	0.057	1.000	0.200	1.850	0.350

Tabella 3-5 – Parametri taratura del Calice alla Variante Pratese.

### 3.4.1 Gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno

La valutazione degli idrogrammi di piena è stata condotta sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti utilizzando il modello afflussi-deflussi

Il calcolo delle sollecitazioni al sistema idraulico ipotizza eventi caratterizzati da un campo di precipitazione a intensità costante, di fissata durata e fissato tempo di ritorno interessante tutto il bacino. Le durate degli eventi sono definite in modo tale da comprendere le varie condizioni critiche.

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore e per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni su un totale di 62 immissioni.

Nella [Tabella 3-6](#) sono riepilogati i valori della portata idrologica al colmo di portata valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni con la modellistica idrologica implementata per i bacini totali sottesi alle immissioni.

Nella Tavola T01 si riportano i bacini idrografici e le sezioni di calcolo della portata. Nella Tavola T02 si riporta la planimetria delle immissioni al sistema idraulico.

Immissione	Area bacino [kmq]	Portata [mc/s]		
		Tr 30	Tr 200	Tr 500
IMI001	29.47	103.01	227.59	299.02
IMI002	30.25	101.78	212.66	278.38
IMI003	48.03	142.21	283.83	373.48
IMI004	53.78	149.65	287.82	377.70
IMI005	0.46	3.32	5.97	7.97
IMI006	1.10	3.26	11.43	15.51
IMI007	1.43	3.43	13.79	18.64
IMI008	1.46	3.45	13.23	17.83
IMI009	0.28	3.22	4.82	5.85
IMI010	0.29	3.14	4.70	5.71
IMI011	1.80	6.70	16.07	21.60
IMI012	55.59	152.30	290.97	381.81
IMI013	0.48	7.28	10.89	13.23
IMI014	0.73	8.07	13.14	16.92
IMI015	56.34	151.64	287.89	377.60
IMI016	11.88	61.01	129.46	170.22
IMI017	25.56	108.41	231.16	303.61
IMI018	26.03	90.24	172.91	223.76
IMI019	82.37	222.39	412.15	542.50
IMI020	0.54	6.74	12.77	17.05
IMI021	1.44	13.86	26.36	34.91
IMI022	2.30	11.68	25.67	34.01
IMI023	0.80	3.42	7.46	10.29
IMI024	3.23	11.64	30.38	40.55
IMI025	0.15	3.07	4.59	5.58
IMI026	0.55	7.73	11.57	14.05
IMI027	3.79	17.01	35.25	46.92
IMI028	0.96	10.94	18.79	23.87
IMI029	1.37	9.13	16.18	20.59
IMI030	0.41	3.05	6.56	9.25

IMI031	0.08	0.20	1.27	1.86
IMI032	0.03	0.17	0.43	0.62
IMI033	0.13	0.17	1.72	2.45
IMI034	1.52	8.79	16.49	21.09
IMI035	1.55	8.24	14.89	19.04
IMI036	5.37	23.21	45.91	60.22
IMI037	1.29	13.69	24.49	31.61
IMI038	2.13	19.45	34.35	44.09
IMI039	2.38	20.37	35.85	46.01
IMI040	2.63	21.03	37.40	47.99
IMI041	3.04	19.75	36.23	46.50
IMI042	3.07	17.97	32.91	42.13
IMI043	3.13	15.89	28.09	35.76
IMI044	8.50	37.67	70.86	91.67
IMI045	0.70	8.07	12.06	14.69
IMI046	9.25	39.32	73.52	94.93
IMI047	91.66	233.66	432.87	571.11
IMI048	0.34	2.65	3.99	6.56
IMI049	1.51	8.66	16.74	22.18
IMI050	1.98	9.50	19.08	25.33
IMI051	2.66	8.49	21.52	28.89
IMI052	6.56	43.14	78.73	101.57
IMI053	9.87	69.31	121.01	155.41
IMI054	10.20	68.19	118.53	151.75
IMI055	10.61	63.90	110.19	140.53
IMI056	10.81	44.97	75.81	95.83
IMI057	0.25	5.70	9.79	12.40
IMI058	0.38	5.31	9.21	11.73
IMI059	0.63	8.92	15.52	19.82
IMI060	1.35	9.98	19.96	26.77
IMI061	2.44	18.89	34.10	44.54
IMI062	3.63	19.11	36.94	48.29
IMI063	0.66	2.93	9.11	12.79
IMI064	0.79	2.60	8.84	12.15
IMI065	1.50	9.91	18.77	24.41

Tabella 3-6 – Valori di portata al colmo valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i bacini totali sottesi alle immissioni.

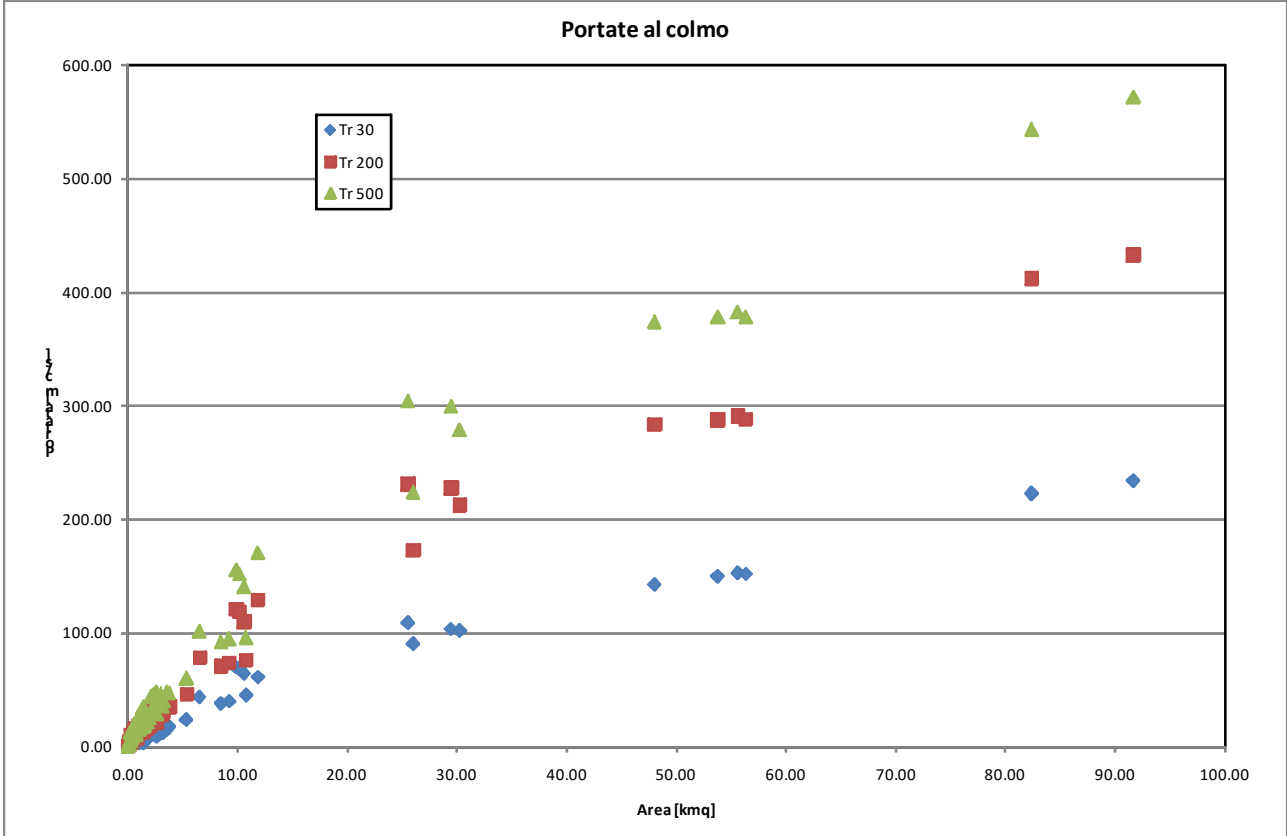


Figura 3-8 – Portate al colmo per i diversi tempi di ritorno



## 4 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

Sono stati definiti i seguenti nuovi interventi:

- Cassa Stregale: adeguamento delle sommità arginali a quota 54.50 m s.l.m. (quota minima attuale 53.75 m s.l.m.) con realizzazione di una soglia di sfioro a quota 51.8 m s.l.m. per una lunghezza di 60.0m e una bocca tarata a fessura di larghezza 60cm con soglia di sfioro a quota 53.00 m s.l.m.;
- Cassa Funandola: realizzazione di un nuovo modulo a valle di quello esistente e adeguamento di quello di monte con sommità arginale a quota 54.50 m s.l.m. (quota minima argine cassa attuale 53.25 m s.l.m.) con realizzazione di una soglia di sfioro a quota media di 51.50 m s.l.m. e lunghezza 52.5 m e una bocca tarata di larghezza 1.00 m con soglia di sfioro a quota 52.90 m s.l.m.;
- Cassa Mendacione: realizzazione di un nuovo modulo a monte di quello esistente con quota della sommità arginale a 54.25 m s.l.m. (quota minima attuale 53.50 m s.l.m.), mantenimento della soglia esistente a quota 51.5 m s.l.m. per una lunghezza di 20.0m e una bocca tarata a fessura di larghezza 50cm con soglia di sfioro a quota 53.00 m s.l.m.
- Cassa Mendacione Acque Basse: ampliamento della cassa di espansione delle acque basse a monte di quella esistente;
- Impianto di sollevamento via Pola: potenziamento dell'impianto di sollevamento di via Pola a 3.0 mc/s, attualmente sono installate due pompe da 250 l/s per un totale di 500 l/s.

Gli interventi sono riportati nella [Figura 4-1](#) .

A questi interventi si aggiungono:

- Cassa di espansione di Pontetorto: la cassa è in fase di realizzazione, la quota delle sommità arginali è di 55.4 m s.l.m., la soglia sfiorante ha quota di 54.18 m s.l.m. per una lunghezza di circa 76.0m;
- Impianto di sollevamento di Via Parugiano: l'impianto è in fase di progettazione da parte di Publiacqua, è prevista l'installazione di 5 pompe da 0.755 mc/s per una capacità utile di sollevamento di circa 3.5 mc/s.

Nella [Figura 4-2](#) si riporta la planimetria di progetto della cassa di espansione di Pontetorto e nella [Figura 4-3](#) la planimetria di progetto dell'impianto di sollevamento di Parugiano.

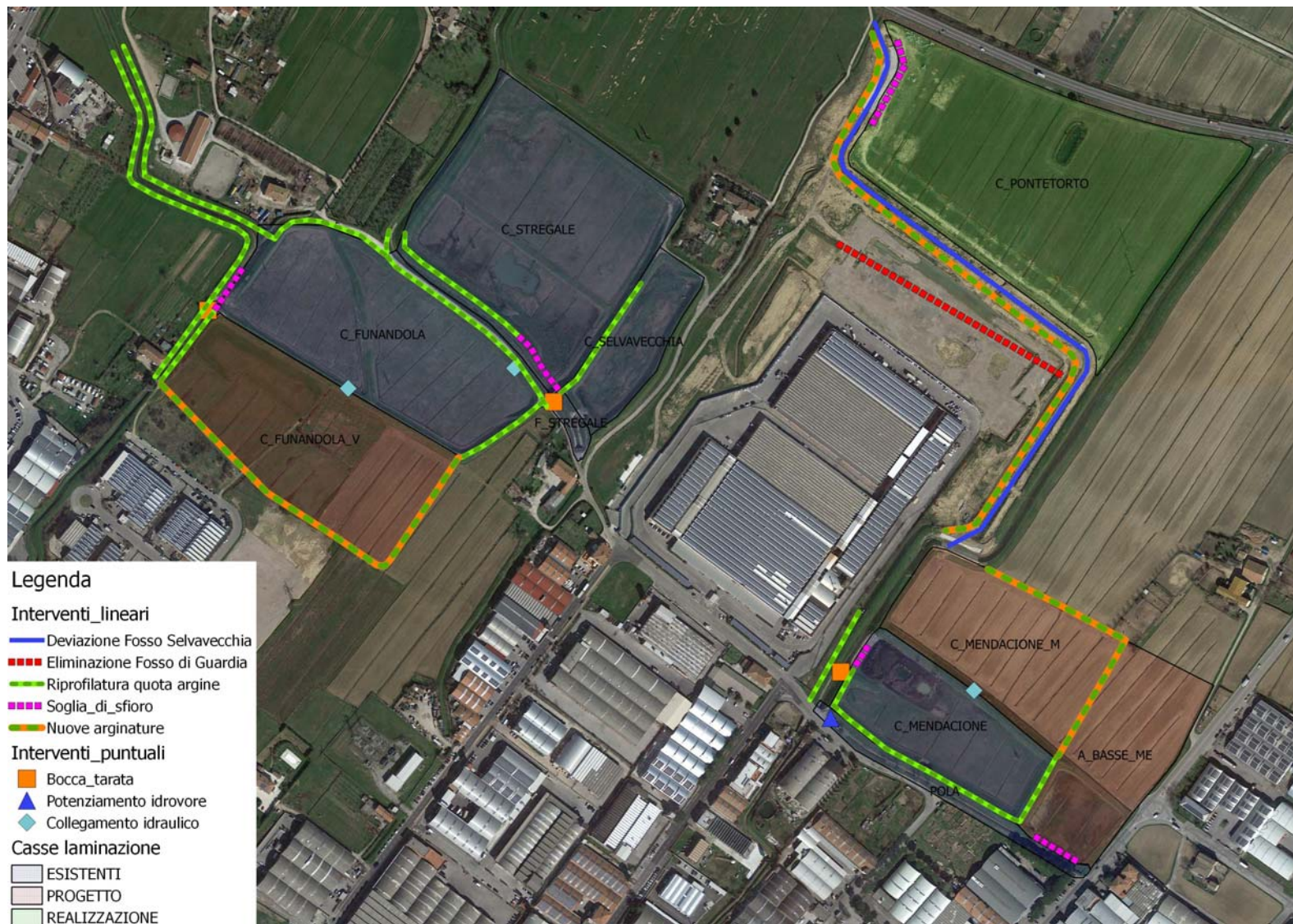


Figura 4-1- Planimetria interventi



Figura 4-2- Planimetria cassa di espansione Pontetorto



Figura 4-3- Planimetria impianto di sollevamento Parugiano

#### 4.1 *La cassa dello Stregale*

La cassa di espansione dello Stregale presenta per i tempi di ritorno esaminati i volumi e livelli riportati nella [Tabella 4-1](#).

Stregale	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	56723	52.43
TR 200	95635	53.40
Tr 500	109863	53.74

Tabella 4-1– Livelli e volumi cassa Stregale

La quota della sommità arginali è stata fissata 54.50 m s.l.m. (quota minima attuale 53.75 m s.l.m.) in ragione del fatto che la cassa risulta collegata con quello del Funandola con tre fornici di 1.0mx0.8m posto alla quota di 51.85 m s.l.m.. Nella presente simulazione tale collegamento non è stato considerato. Ai fini di una maggiore flessibilità del sistema si ritiene che lo stesso possa essere comunque mantenuto introducendo delle paratie piane in modo da regolarne l'entrata in funzione.

Il volume invasabile con 1.0m di franco alla quota di 53.5 m s.l.m. è di circa 100000 mc.

La soglia di sfioro, oggi non presente, avrà una quota di 51.8 m s.l.m. per una lunghezza di 60.0m. A valle sarà adeguata la bocca tarata esistente, nel presente studio è stata prevista una bocca tarata a fessura di larghezza 60cm con soglia di sfioro a quota 53.00 m s.l.m;

#### 4.2 *La cassa del Funandola*

La cassa viene ampliata con la realizzazione di un modulo a valle. I livelli e i volumi nella simulazioni effettuate sono riportati nella [Tabella 4-2](#).

Funandola monte	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	56416	52.42
TR 200	97052	53.58
Tr 500	114379	54.05
Funandola valle	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	76723	52.41
TR 200	114603	53.58
Tr 500	130001	54.05
Funandola totale	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	133138	52.41
TR 200	211655	53.58
Tr 500	244381	54.05

Tabella 4-2– Livelli e volumi cassa Funandola

Le due casse di espansione avranno una quota della sommità arginale a 54.50 m s.l.m. (quota minima argine cassa attuale 53.25 m s.l.m.). E' prevista la realizzazione di una soglia di sfioro oggi non presente con quota media di 51.50 m s.l.m. e lunghezza 52.5 m. A valle si dovrà procedere all'adeguamento della bocca tarata esistente. Nel presente studio si prevede una bocca tarata a fessura di larghezza 1.00 m con soglia di sfioro in alveo a quota 52.90 m s.l.m.

Il volume invasabile con 1.0m di franco alla quota di 53.5 m s.l.m. è di circa 94000 mc per la cassa esistente e 112000mc per la cassa di valle.

#### 4.3 *La cassa del Mendacione*

La cassa viene ampliata a monte con la realizzazione di un nuovo modulo. Gli argini della cassa attuale saranno adeguati alla quota di 54.25 m s.l.m. (quota minima attuale 53.50 m s.l.m.).

La cassa di espansione del Mendacione presenta per i tempi di ritorno esaminati i volumi e livelli riportati nella [Tabella 4-3](#).

Mendacione monte	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	21170	52.03
TR 200	47640	53.21
Tr 500	60569	53.77
Mendacione valle	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	46892	52.03
TR 200	68441	53.21
Tr 500	79487	53.77
Mendacione totale	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	68062	52.03
TR 200	116080	53.21
Tr 500	140056	53.77

[Tabella 4-3- Livelli e volumi cassa Mendacione](#)

La cassa si riempirà attraverso la soglia esistente posta alla quota di 51.5 m s.l.m. per una lunghezza di 20.0m.

La bocca tarata a valle della soglia sarà modificata. Nella presente simulazione è stata considerata una bocca tarata a fessura di larghezza 50cm con soglia di sfioro a quota 53.00 m s.l.m.

Il volume invasabile con 1.0m di franco alla quota di 53.25 m s.l.m. è di circa 69000 mc per la cassa esistente a valle e 48500mc per la cassa di monte.

#### 4.4 *La cassa del Acque Basse del Mendacione*

La cassa delle acque basse sarà ampliata verso monte. La cassa presenta, per i tempi di ritorno esaminati, i volumi e livelli riportati nella [Tabella 4-4](#).

Acque Basse Mendacione	Volume [mc]	Livello [m s.l.m.]
TR 30	9667	49.23
TR 200	36325	50.66
Tr 500	55796	51.65

Tabella 4-4– Livelli e volumi cassa Acque Basse Mendacione (Fosso Pola)

#### 4.5 *L'impianto di sollevamento di Via Pola*

L'impianto di sollevamento via Pola è stato recentemente potenziato 250 l/s per un totale di 500 l/s. Tale intervento è stato realizzato senza intervenire sulle opere civili ma semplicemente sostituendo le pompe.

Nel presente studio si prevede un ulteriore potenziamento a 3.0 mc/s. Tale intervento comporterà necessariamente l'adeguamento delle opere civili.

## 5 ANALISI IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state condotte con un modello idraulico di moto vario con modellazione bidimensionale delle aree di esondazione.

Il modello di moto vario monodimensionale consente la simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua, mentre il modello bidimensionale permette la simulazione dei fenomeni propagazione delle esondazione nelle aree circostanti.

Ai fini della perimetrazione delle aree inondabili è stato fatto riferimento ai battenti idrici massimi (inviluppo) che si instaurano in ciascuna cella del modello digitale del terreno durante la simulazione numerica.

### 5.1 Il modello idraulico unidimensionale

La verifica idraulica è stata condotta secondo uno schema di moto vario basato sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente unidimensionale, associate ad una opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito.

Le equazioni del moto e di continuità, nella loro formulazione generale di *De Saint Venant*, esprimono le caratteristiche idrauliche (portata, carico piezometrico, altezza d'acqua, velocità) in funzione del tempo e dello spazio:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad [5.1]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0 \quad [5.2]$$

in cui:

$A$  = area della sezione liquida [ $m^2$ ];  $Q$  = portata [ $m^3/s$ ];  $q(x)$  = portata laterale (positiva se entrante) [ $m^2/s$ ];  $H$  = carico totale della corrente [ $m$ ];  $g$  = accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ];  $U$  = velocità media della corrente [ $m/s$ ];  $J$  = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;  $x$  = ascissa corrente lungo l'alveo [ $m$ ];  $t$  = tempo [ $s$ ].

La risoluzione dello schema di moto viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalla sezioni geometriche rilevate (*discretizzazione spaziale*) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (*discretizzazione temporale*).

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

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R} \quad [5.3]$$

in cui  $U$  è la velocità media nella sezione,  $R$  è il raggio idraulico e  $C$  il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad [5.4]$$

ove  $K_s$  [ $m^{1/3}s^{-1}$ ] è il coefficiente dimensionale di *Gauckler-Strickler*.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti in corrispondenza dei ponti, vengono introdotte delle perdite di carico effettivo addizionali,  $\Delta H$ , mediante la formula:



$$\Delta H = \xi \Delta \left( \alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad [5.5]$$

ove  $\alpha$  è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e  $\xi$  può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.8, maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per via numerica, discretizzandole opportunamente alle differenze finite, e associandovi appropriate condizioni al contorno. Le precedenti equazioni sono risolte in forma implicita approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini, e associandovi appropriate condizioni al contorno. In particolare sono state utilizzate le seguenti formulazioni:

$$A = p_s p_t A_i^k + p_s (1 - p_t) A_i^{k+1} + (1 - p_s) p_t A_{i+1}^k + (1 - p_s) (1 - p_t) A_{i+1}^{k+1}$$

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \quad [5.6]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1 - p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta s}$$

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo e l'indice  $i$  allo spazio). I valori utilizzati per  $p_s$  e  $p_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45, che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, in corrispondenza delle sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc.). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata.

Le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso, di un idrogramma dei livelli o dell'altezza critica.

La simulazione di fenomeni di laminazione viene condotta associando al modello idraulico non stazionario appena descritto un modello quasi-bidimensionale, definito mediante una rappresentazione "a celle di accumulo" delle aree inondabili adiacenti il corso d'acqua.

## 5.2 Il modello di inondazione bidimensionale

Le aree di potenziale esondazione possono essere modellate anche come oggetto bidimensionale a patto di fornire un modello digitale del terreno rappresentativo della loro altimetria.

La risoluzione dello schema di inondazione bidimensionale è ottenuta mediante la risoluzione di un sistema alle derivate parziali, di tipo iperbolico, non lineare, costituito dalle equazioni complete di De Saint Venant scritte in forma bidimensionale.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad [5.7]$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad [5.8]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad [5.9]$$

in cui  $x$  è coordinata longitudinale;  $y$  coordinata trasversale;  $t$  coordinata temporale;  $h$  altezza d'acqua;  $u$  componente di velocità nella direzione  $x$ ;  $v$  componente di velocità nella direzione  $y$ ;  $M = uh$  = flusso della corrente in direzione  $x$ ;  $N = vh$  = flusso della corrente in direzione  $y$ ;  $h$  altezza d'acqua;  $H$  = quota della superficie libera;  $\rho$  densità dell'acqua;  $\tau_x$  sforzo tangenziale al fondo nella direzione  $x$ ;  $\tau_y$  sforzo tangenziale al fondo nella direzione  $y$ .

In particolare, gli sforzi tangenziali lungo  $x$  e  $y$  sono stati valutati nel modo seguente:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [5.10a]$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [5.10b]$$

avendo indicato con  $n$  il coefficiente di scabrezza di *Manning* assunto nel caso specifico pari a 0.05.

La risoluzione delle equazioni sopra scritte viene svolta numericamente mediante uno schema alle differenze finite di tipo implicito accoppiato ad appropriate condizioni al contorno.

In particolare, facendo riferimento allo schema di Figura 5-1, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione di continuità:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_{i,j}^{k+1} - h_{i,j}^k}{\Delta t} \\ \frac{\partial M}{\partial x} = \rho_t \left( \frac{M_{i,j+1/2}^k - M_{i,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{M_{i,j+1/2}^{k+1} - M_{i,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial y} = \rho_t \left( \frac{N_{i+1/2,j}^k - N_{i-1/2,j}^k}{\Delta y} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{N_{i+1/2,j}^{k+1} - N_{i-1/2,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \end{array} \right. \quad [5.11]$$

in cui:

$$\begin{array}{ll} M_{i,j-1/2}^k = u_{i,j-1/2}^k [\rho_s h_{i,j}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j-1}^k]; & N_{i-1/2,j}^k = v_{i-1/2,j}^k [\rho_s h_{i,j}^k + (1 - \rho_s) h_{i-1,j}^k]; \\ M_{i,j+1/2}^k = u_{i,j+1/2}^k [\rho_s h_{i,j+1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k]; & N_{i+1/2,j}^k = v_{i+1/2,j}^k [\rho_s h_{i+1,j}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k]; \\ M_{i,j-1/2}^{k+1} = u_{i,j-1/2}^{k+1} [\rho_s h_{i,j}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j-1}^{k+1}]; & N_{i-1/2,j}^{k+1} = v_{i-1/2,j}^{k+1} [\rho_s h_{i,j}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i-1,j}^{k+1}]; \\ M_{i,j+1/2}^{k+1} = u_{i,j+1/2}^{k+1} [\rho_s h_{i,j+1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}]; & N_{i+1/2,j}^{k+1} = v_{i+1/2,j}^{k+1} [\rho_s h_{i+1,j}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}]. \end{array} \quad [5.12a,b]$$

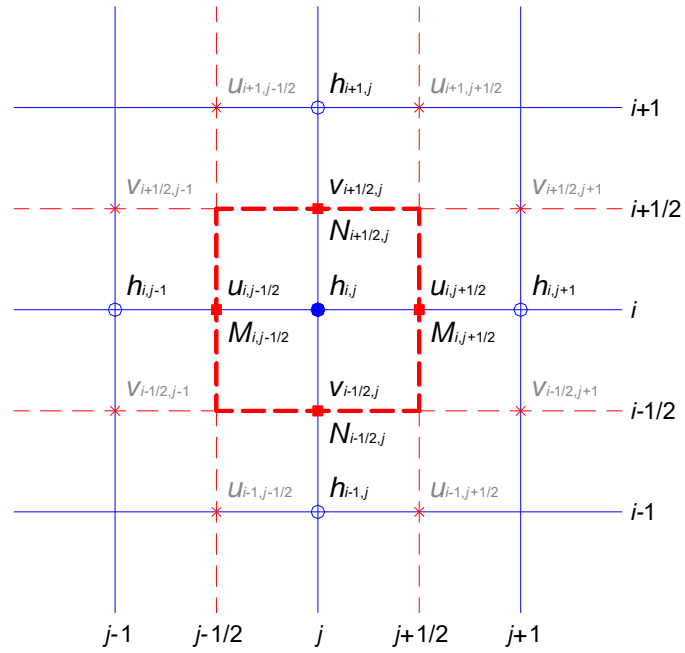


Figura 5-1 – Griglia di calcolo equazione di continuità

Mentre, facendo riferimento allo schema di Figura 5-2, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione x:

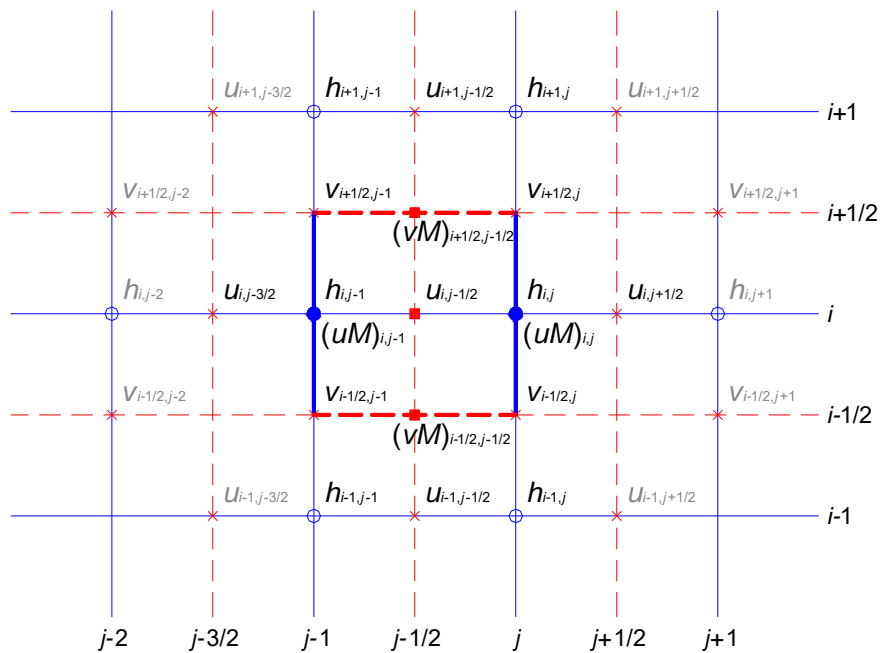


Figura 5-2 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo X

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{M_{i,j}^{k+1} - M_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(uh)_{i,j}^{k+1} - (uh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial(uM)}{\partial x} &= \rho_t \left( \frac{(uM)_{i,j}^k - (uM)_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{(uM)_{i,j}^{k+1} - (uM)_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial(vM)}{\partial y} &= \rho_t \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^k - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta y} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial x} &= g \left[ \rho_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k) + (1 - \rho_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_x &= gn^2 (\rho_t u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_t) u_{i,j-1/2}^k) \cdot \left[ \rho_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k) + (1 - \rho_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \\
 &\quad \cdot \left\langle \left( \rho_t u_{i,j-1/2}^k + (1 - \rho_t) u_{i,j-1/2}^{k+1} \right)^2 + \left\{ \rho_t \left[ \rho_s (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^k) + \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + (1 - \rho_s) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^k) \right] + (1 - \rho_t) \left[ \rho_s (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) + \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + (1 - \rho_s) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \right] \right\}^2 \right\rangle^{1/2}
 \end{aligned} \right. \tag{5.13}$$

in cui:

$$(uM)_{i,j-1}^k = [\rho_s u_{i,j-3/2}^k \cdot u_{i,j-3/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k] h_{i,j-1}^k;$$

$$(uM)_{i,j}^k = [\rho_s u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i,j+1/2}^k \cdot u_{i,j+1/2}^k] h_{i,j}^k;$$

$$(uM)_{i,j-1}^{k+1} = [\rho_s u_{i,j-3/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-3/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1}] h_{i,j-1}^{k+1};$$

$$(uM)_{i,j}^{k+1} = [\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i,j+1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j+1/2}^{k+1}] h_{i,j}^{k+1};$$

$$(vM)_{i-1/2,j-1/2}^k = [(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^k)] \cdot [\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i-1,j}^k) + (1 - \rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k)];$$

$$(vM)_{i+1/2,j-1/2}^k = [(\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i+1,j-1/2}^k)] \cdot [\rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k) + (1 - \rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i+1,j}^k)];$$

$$(vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} = [(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1})] \cdot [\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i-1,j}^{k+1}) + (1 - \rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1})];$$

$$(vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} = [(\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i+1,j-1/2}^{k+1})] \cdot [\rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1 - \rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i+1,j}^{k+1})].$$

[5.13]

[5.14a]

[5.14b]

Infine, facendo riferimento allo schema di Figura 5-3, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione y:

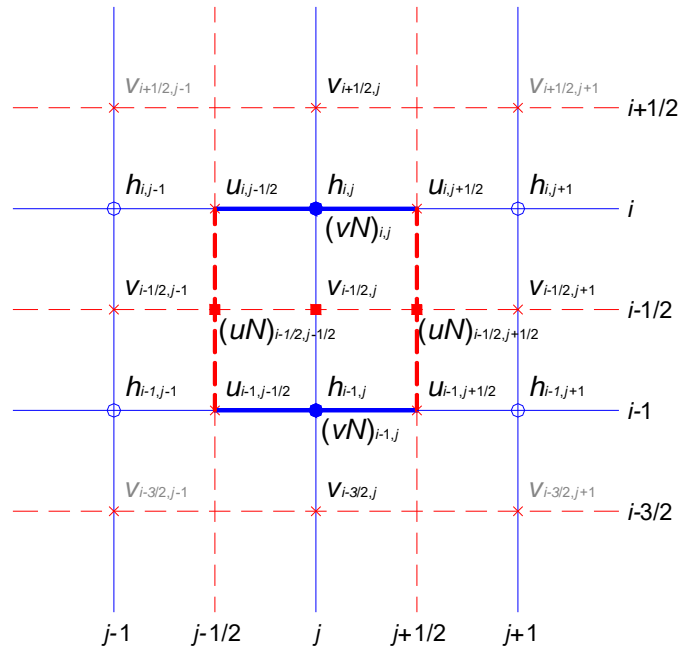


Figura 5-3 – Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{N_{i,j}^{k+1} - N_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(vh)_{i,j}^{k+1} - (vh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial (uN)}{\partial x} &= p_t \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^k - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial (vN)}{\partial y} &= p_t \left( \frac{(vN)_{i,j}^k - (vN)_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(vN)_{i,j}^{k+1} - (vN)_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial y} &= g \left[ p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ p_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_y &= gn^2 (p_t v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^k) \cdot \left[ p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\{ p_t [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k)] + \right. \\
 &\quad \left. + (1-p_t) [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1})] \right\}^2 + \\
 &\quad \left. + (p_t v_{i-1/2,j}^k + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^{k+1})^2 \right\}^{1/2}
 \end{aligned} \right\} \quad [5.15]$$

in cui:

$$\begin{aligned}
(uN)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
&\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
(uN)_{i-1/2,j+1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^k) \right] \\
&\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^k) \right]; \\
(uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
&\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
(uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^{k+1}) \right] \\
&\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^{k+1}) \right]. \\
(vN)_{i,j-1}^k &= \left[ \rho_s v_{i-3/2,j}^k \cdot v_{i-3/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k \right] h_{i,j-1}^k; \\
(vN)_{i,j}^k &= \left[ \rho_s v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^k \cdot v_{i+1/2,j}^k \right] h_{i,j}^k; \\
(vN)_{i,j-1}^{k+1} &= \left[ \rho_s v_{i-3/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-3/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j-1}^{k+1}; \\
(vN)_{i,j}^{k+1} &= \left[ \rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i+1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j}^{k+1};
\end{aligned}
\tag{5.16a}$$

[5.16a]

[5.16b]

dove  $\rho_s$  è il peso della media spaziale e  $\rho_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo, mentre gli indici  $i$  e  $j$  sono riferiti rispettivamente alle coordinate lungo  $x$  e  $y$ ). I valori utilizzati per  $\rho_s$  e  $\rho_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45 che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, al variare del tempo, si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata. La propagazione delle esondazioni avviene in condizioni di corrente lenta.

### 5.3 Il modello di inondazione quasi-bidimensionale

La simulazione delle esondazioni nelle porzioni di territorio esterne al comune di Montemurlo e per la modellazione dei meccanismi di riempimento delle casse di espansione presenti allo stato attuale si è fatto ricorso alla modellazione *quasi-dimensionale tipo Cunge*, integrando cioè il modello mono-dimensionale con quello a macro-aree interconnesse. In questo secondo caso le quote di inondazione coincidono con le quote raggiunte nelle singole celle.

Nel modello tipo *Cunge* l'area potenzialmente inondabile viene immaginata composta da aree elementari connesse idraulicamente tra loro e con l'asta fluviale da soglie sfioranti. La definizione delle aree elementari che compongono le aree di potenziale inondazione deve avvenire con criteri di massima verosimiglianza del modello alla realtà: pertanto ad ogni struttura di contenimento identificabile sul territorio (quali i rilevati stradali e ferroviari, muri e argini, corsi d'acqua) deve corrispondere il bordo di una o più aree.

La delimitazione e la modellazione di tali aree, dette *aree di potenziale esondazione*, per le quali risulta prevalente il fenomeno di invaso rispetto a quello di trasporto, avviene secondo le seguenti fasi:

– *individuazione e acquisizione delle strutture di contenimento*

le aree elementari di potenziale esondazione sono delimitate da elementi di contorno rappresentati da argini, rilevati stradali e ferroviari, contenimenti naturali. L'individuazione di tali elementi è stata condotta sulla base cartografica della C.T.R. 1:2.000 e del modello digitale del terreno con passo 1 m x 1 m;

– *caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale inondazione*

in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle aree elementari sulla base della cartografia con l'obiettivo di ricavare la legge di riempimento quota-volume di inondazione in funzione dei livelli di piena nella forma:

$$V = A(y - y_0)^B \quad [5.17]$$

in cui  $y_0$  è la quota minima del terreno all'interno dell'area.

– *definizione delle connessioni idrauliche*

sulla base dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali ed idrauliche del territorio sono state definite le caratteristiche delle connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le aree di potenziale esondazione, e tra le aree stesse.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente *per tracimazione* delle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio. Anche gli elementi infrastrutturali, delimitanti le aree di potenziale inondazione (i.e. rilevati stradali, ferroviari, etc.), si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area potenzialmente inondabile avviene seguendo la legge di riempimento quota-volume;
- il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area sia area/area avviene tramite le connessioni idrauliche.

Il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avviene in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati. Quest'ultimo è peraltro di difficile stima, soprattutto in casi di aree fortemente antropizzate, ove la presenza di strutture e infrastrutture condiziona la velocità e le direzioni lungo le quali l'allagamento si propaga.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità dei volumi. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

L'approssimazione adottata è tanto più accettabile quanto maggiore è il numero di aree potenzialmente soggette a esondazione. Infatti, in tal modo, il riempimento di ciascuna area è regolato dalle caratteristiche degli sfioratori di collegamento tra le aree che, in funzione della quota e della lunghezza, influenzano la velocità di riempimento della cella successiva. Si trascurano comunque gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte di inondazione.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato in

ciascuna cella sia univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e che le portate scambiate siano funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

In particolare, l'equazione di continuità per la generica area  $k$ -esima risulta la seguente:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i) \quad [5.18]$$

ove  $A_{ck}$  rappresenta la superficie allagata nell'area  $k$ -esima,  $h_k$  è l'altezza d'acqua relativa,  $Q_{ki}$  è la portata scambiata con l'area  $i$ -esima adiacente in funzione delle relative altezze idriche e la sommatoria è estesa a tutte le aree in comunicazione diretta con l'area  $k$ -esima.

#### 5.4 La modellazione idraulica delle connessioni idrauliche

Le soglie sfioranti sono assimilate a stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo.

La legge di deflusso adottata nelle condizioni deflusso libero:

$$Q_{sf} = l\mu_1 h_1 \sqrt{2gh_1} \quad [5.19]$$

e nel caso di deflusso rigurgitato:

$$Q_{sf} = l(\mu_1(h_1 - h_2) + \mu_2 h_2) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad [5.20]$$

dove  $l$  è la lunghezza della soglia,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  sono pari rispettivamente a 0.4 e 0.65,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia (con  $h_2 < h_1 - h_2$ ). Mentre la quota di sfioro delle connessioni alveo/area o area/area è in generale ben definibile come la quota inferiore dell'elemento di contenimento che separa le aree stesse, invece la lunghezza del fronte di sfioro ha un valore dipendente in linea di massima dalla densità spaziale delle sezioni fluviali o dalla lunghezza dei lati delle aree.

Le portelle sono assimilate a luci a battente, che possono funzionare in modo bidirezionale in condizioni di deflusso libero o rigurgitato.

Nelle condizioni di deflusso libero si distinguono i seguenti tre casi:

- 1) livello di monte a quota inferiore all'intradosso della paratoia

$$Q_{sf} = l\mu_1 h_1 \sqrt{2gh_1} \quad [5.21]$$

- 2) livello di monte a quota superiore all'intradosso della paratoia per una quantità minore dell'altezza della luce

$$Q_{sf} = l(\mu_2(h_1 - b) + \mu_1(2b - h_1)) \sqrt{2g\left(h_1 - \frac{h_1 - b}{2}\right)} \quad [5.22]$$

- 3) livello di monte a quota superiore all'intradosso della paratoia per una quantità maggiore dell'altezza della luce

$$Q_{sf} = l\mu_2 b \sqrt{2g\left(h_1 - \frac{b}{2}\right)} \quad [5.23]$$

Nelle condizioni di deflusso rigurgitato si distinguono i seguenti quattro casi:

- 1) livello di monte a quota inferiore all'intradosso della paratoia

$$Q_{sf} = l(\mu_1(h_1 - h_2) + \mu_2 h_2) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad [5.24]$$



- 2) livello di monte a quota superiore all'intradosso della paratoia per una quantità minore dell'altezza della luce e livello di valle minore dell'altezza della luce

$$Q_{sf} = l\mu_2 h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} + l(\mu_2(h_1 - b) + \mu_1(2b - h_1)) \left(\frac{b - h_2}{b}\right) \sqrt{2g\left(h_1 - h_2 - \frac{h_1 - b}{2}\right)} \quad [5.25]$$

- 3) livello di monte a quota superiore all'intradosso della paratoia per una quantità maggiore dell'altezza della luce e livello di valle minore dell'altezza della luce

$$Q_{sf} = l\mu_2 h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} + l\mu_2 (b - h_2) \sqrt{2g\left(h_1 - h_2 - \frac{b - h_2}{2}\right)} \quad [5.26]$$

- 4) livello di monte a quota superiore all'intradosso della paratoia per una quantità maggiore dell'altezza della luce e livello di valle maggiore dell'altezza della luce

$$Q_{sf} = l\mu_2 b \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad [5.27]$$

dove  $l$  e  $b$  sono rispettivamente la larghezza e l'altezza della luce della portella,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  sono pari rispettivamente a 0.4 e 0.65,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia della portella.

Le idrovore sono caratterizzate da una curva e da un livello di attacco e un livello di stacco. Se il livello di monte è maggiore del livello di valle:

$$Q = c \quad [5.28]$$

se il livello di monte è minore del livello di valle

$$Q_{sf} = a(h_2 - h_1)^2 + b(h_2 - h_1) + c \quad [5.29]$$

dove  $a$ ,  $b$  e  $c$  sono i parametri della curva caratteristica,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle.

### 5.5 Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio

L'elenco dei corsi d'acqua considerati nell'ambito del presente studio è riportato nella [Tabella 5-1](#), in cui sono indicati:

- la sigla che contraddistingue il corso d'acqua;
- il nome del tratto di corso d'acqua;
- la lunghezza del tratto;
- il numero di sezioni che compone il tratto.

### 5.6 Schematizzazione dell'area di studio

Il sistema idraulico considerato, schematizzato nel suo complesso per il territorio di Montemurlo è stato descritto da:

- n. 25 tronchi fluviali individuati tramite le confluenze ([Tabella 5-1](#));
- n. 1260 sezioni fluviali;
- n. 46 aree di potenziale esondazione idraulicamente connesse, a cui corrispondono:
  - n. 8 casse di espansione per le acque alte (C\_AGNACCINO, C\_FUNANDOLA, C\_FUNANDOLA\_V, C\_STREGALE, F\_STREGALE, C\_SELVAVECCHIA, C\_PONTETORTO, C\_MENDACIONE, C\_MENDACIONE\_M, C\_FICARELLO\_M, C\_FICARELLO\_V, C\_BASSA);

- n. 1 cassa di espansione per le acque basse (A\_BASSE\_ME);
- n. 10 tratti di corsi d'acqua (POLA, PARUGIANO, F\_AGNACCINO, F\_POLTRONOVA, F\_GRAMIGNETO, AGNACCINO\_SC01, AGNACCINO\_SC02, AGNACCINO\_SC03, AGNACCINO\_SC04, MAZZACCHERI\_SC);
- n. 27 aree corrispondenti alla porzione di territorio esterna al comune;
- n. 1 modello digitale del terreno, rappresentativo del territorio comunale di Montemurlo;
- n. 4515 connessioni idrauliche tra le aree di potenziale esondazione e i corsi d'acqua e tra le aree stesse;
- n. 77 portelle di collegamento, rappresentative di scarichi, sottovia o tombamenti;
- n. 9 idrovore:
  - n. 2 idrovore per l'impianto di sollevamento delle acque basse nel fosso Mendancione in corrispondenza di via Pola;
  - n. 4 idrovore per l'impianto di sollevamento delle acque del fosso Agnaccino nella cassa;
  - n. 3 idrovore per l'impianto di sollevamento delle acque dello scolmatore dell'Agnaccino nel fosso Mendancione
- n. 65 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua.

La planimetria delle sezioni fluviali utilizzate, delle casse di espansione, delle connessioni idrauliche, delle portelle di collegamento, delle idrovore e del modello digitale del terreno è riportata nell'elaborato T02, mentre le principali caratteristiche di tali elementi sono riportate nella Appendice A della presente relazione.

Sigla [codice]	Corso d'acqua [tratto]	L [m]	Sezioni [#]	Sigla [codice]	Corso d'acqua [tratto]	L [m]	Sezioni [#]
AG	Agna	6415.9	112	FU	Funandola_03	2146.0	63
AN	Agnaccino_01	1378.8	49	FU	Funandola_dv	642.1	22
AN	Agnaccino_02	317.3	28	GR	Gramigneto	546.2	51
AN	Agnaccino_03	285.3	25	ME	Mendacione_00	1994.4	68
BG	Bagnolo	4716.1	107	ME	Mendacione_01	1098.9	69
BU	Bure_01	6789.3	137	ME	Mendacione_02	666.4	30
BU	Bure_02	511.5	14	ME	Mendacione_03	732.3	30
BU	Bure_03	373.0	10	PL	Poltrono	201.3	26
BU	Bure_04	58.4	2	SE	Selvavecchia	1104.9	69
CA	Calice	1032.2	23	SE	Selvavecchia fo	285.6	12
CN	Calicino	1407.0	30	FG	Fosso_Guardia	127.7	6
FI	Ficarello	2679.4	91	ST	Stregale_01	2247.1	64
FU - DF	Funandola_01	874.1	36	ST	Stregale_02	1088.6	39
FU	Funandola_02	1285.4	78				

Tabella 5-1– Elenco dei corsi d'acqua considerati.

## 5.7 Parametri del modello idraulico

La condizione al contorno di monte, in termini di idrogrammi di portate, è stata assegnata nella prima sezione di monte di ciascun corso d'acqua. Per ogni tempo di ritorno e per ogni durata dell'evento di pioggia, il relativo idrogramma di piena della condizione di monte è stato ricavato dai risultati dell'analisi idrologica.

Le immissioni idrologiche dei sottobacini imposte al sistema, sono state applicate senza tenere conto delle possibili esondazioni a monte delle immissioni stesse.

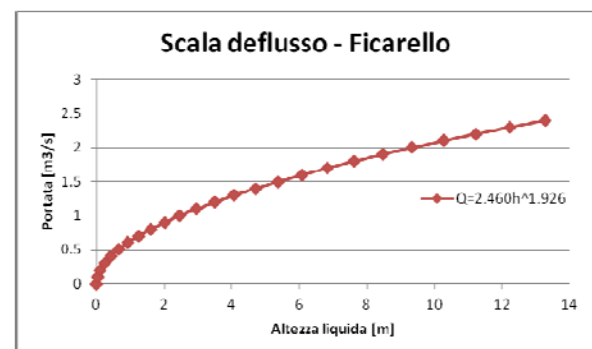
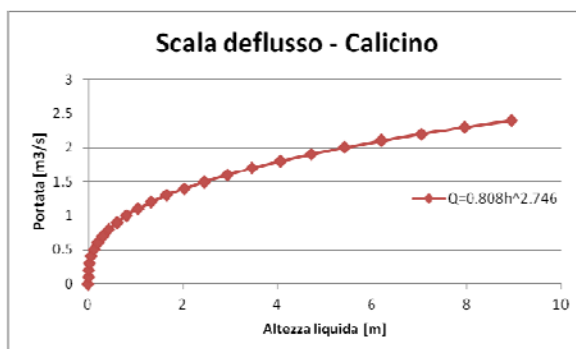
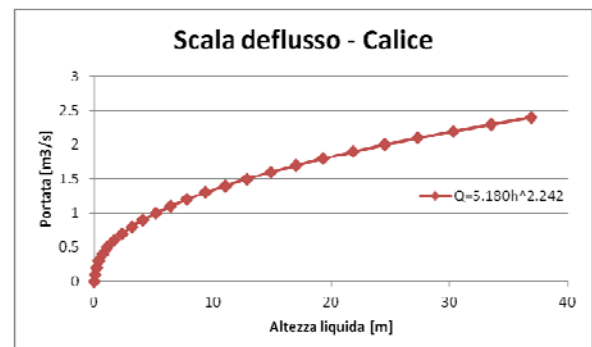
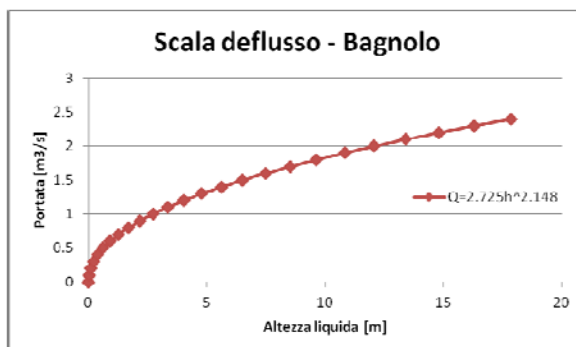
Le condizioni al contorno di valle per il torrente Calice, il torrente Calicino, il torrente Bagnolo e per il fosso Ficarello sono state espresse in termini di scala di deflusso, assegnate all'ultima sezione dei tratti verificati (sezioni CA0012\_\_, CN0085\_\_, BA0101\_\_ e FI4076\_A). Le altezze idrometriche con le relative portate sono state fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Sulla base di tali dati si sono ottenute le scale di deflusso nella seguente forma:

$$Q = a(h - b)^c + q_0 \quad [5.29]$$

Dove a, b, c e  $q_0$  sono i parametri della scala di deflusso (Tabella 5-2):

Corso d'acqua [tratto]	Sezione [codice]	a	b	c	$q_0$
Bagnolo	BA0101__	2.725	40.520	2.148	0.00
Calice	CA0012__	5.180	40.210	2.242	0.00
Calicino	CN0085__	0.808	38.840	2.746	0.00
Ficarello	FI4076_A	2.460	39.050	1.926	0.00

Tabella 5-2 – Parametri scale di deflusso.



In prossimità dei ponti la sezione rilevata è stata suddivisa in 4 sezioni teoriche, di cui una a monte, una filo ponte monte, una filo ponte valle e una a valle in modo da schematizzare il fenomeno di rigurgito connesso con la presenza di un eventuale restringimento della sezione.

I coefficienti delle perdite per espansione e contrazione sono stati assunti in generale pari a 0.1 (contrazione) e 0.2 (espansione), in corrispondenza dei ponti sono stati utilizzati i coefficienti 0.3 (contrazione) e 0.6 (espansione).

I valori dei parametri di scabrezza (espressa come coefficiente di *Gauckler-Strickler*) sono in linea con quelli utilizzati nello studio "*Studio idrologico e idraulico di alcuni corsi d'acqua nel territorio comunale di Montemurlo, 2012*", e sono riportati in [Tabella 5-3](#).

Le quote degli sfioratori d'alveo sono state ricavate dalle sezioni, la larghezza del fronte di sfioro è stata posta pari alla distanza tra le sezioni.

Partendo dai progetti delle casse di espansione sul fosso Ficarello, sono state inserite le quote di sfioro arginali e le quote di sfioro delle opere di prese delle due casse.

La legge di riempimento quota-volume delle aree di potenziale esondazione è stata elaborata a partire dal modello digitale del Lidar.

Il coefficiente di scabrezza di *Gauckler-Strickler* è stato assunto per le aree non edificate  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , mentre in prossimità degli edifici  $2 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . ([Figura 2-2](#))

Il passo temporale adottato nelle simulazioni degli eventi di piena è di 5 minuti. La durata complessiva degli eventi simulati è stata assunta pari a 15 ore.

Corso d'acqua [tratto]	$K_s$ [ $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ]	Corso d'acqua [tratto]	$K_s$ [ $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ]
Aгна	30	Funandola_02	45
Agnaccino_01	45	Funandola_03	45
Agnaccino_02	45	Funandola_dv	60
Agnaccino_03	45	Gramigneto	45
Bagnolo	30	Mendacione_00	36
Bure_01	30	Mendacione_01	36
Bure_02	30	Mendacione_02	36
Bure_03	30	Mendacione_03	36
Bure_04	30	Poltronova	45
Calice	30	Selvavecchia	36
Calicino	45	Selvavecchia_fo	36
Ficarello	30	Stregale_01	45
Fosso_guardia	36	Stregale_02	45
Funandola_01	60		

Tabella 5-3– Valori del coeff. di *Gauckler-Strickler* attribuiti ai corsi d'acqua analizzati.

## 6 VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO

Le verifiche idrauliche dello stato attuale sono state condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti ed applicata ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni e per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore.

Le verifiche idrauliche hanno fornito, per ogni tempo di ritorno e durata considerati, i valori temporali e quelli massimi (inviluppi) di:

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico (modello mono-dimensionale);
- volumi e livelli idrometrici nelle aree di potenziale esondazione (modello quasi-bidimensionale);
- battenti di esondazione e velocità di propagazione nel DTM (modello bidimensionale);
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

Lo scopo della verifica è stato quello di valutare i battenti massimi (inviluppo) di piena raggiunti nel territorio comunale di Montemurlo, in occasione di eventi con tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni e la conseguente inondabilità delle suddette aree.

Nell'elaborato A01 sono riportati i tabulati delle verifiche idrauliche dei corsi d'acqua studiati per lo stato attuale per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Nell'elaborato A02 sono riportate le sezioni fluviali dei corsi d'acqua studiati con i massimi livelli idrici valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni nelle verifiche idrauliche dello stato attuale.

Nell'elaborato T03 si riportano i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche per i vari tempi di ritorno nello stato attuale.

Negli elaborati T04, T05 e T06, sono riportati i battenti di esondazione e le velocità di propagazione rispettivamente per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per lo stato attuale.

Nell'elaborato T07 sono riportate le nuove perimetrazioni delle aree inondabili determinate a partire dai battenti di esondazione.

Nell'elaborato T08 è riportata la perimetrazione della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2011.

Nell'elaborato T09 è riportata la perimetrazione della pericolosità idraulica ai sensi del PGRA.

Nell'elaborato T10 è riportata la magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018.

### 6.1 Individuazione delle aree inondabili

Sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche condotte per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, sono state perimetrate le aree inondabili (elaborato T07).

Il tracciamento delle aree inondabili è stato condotto sulla base dei battenti di esondazione e sulla base delle quote altimetriche.

### 6.2 La pericolosità idraulica

Sulla base delle aree inondabili e sui battenti di esondazione sono aggiornate le fasce di pericolosità idraulica nel territorio comunale di Montemurlo ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2011 (Elaborato T08).

Si ricorda che la pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R è stata definita in riferimento alle aree inondabili con tempo di ritorno 30, 200 e 500 con le seguenti modalità:

- I.2 aree inondabili con  $200 < TR \leq 500$  anni;

- I.3 aree inondabili con  $30 < TR \leq 200$  anni;
- I.4 aree inondabili con  $Tr \leq 30$  anni.

Mentre la pericolosità idraulica ai sensi del PGRA, in seguito al recepimento della Direttiva 2007/60/CE, è stata definita in riferimento alle aree inondabili con tempo di ritorno 30, 200 e 500 con le seguenti modalità:

- P.I.1 aree inondabili con  $200 < TR \leq 500$  anni;
- P.I.2 aree inondabili con  $30 < TR \leq 200$  anni;
- P.I.3 aree inondabili con  $TR \leq 30$  anni.

### 6.3 La magnitudo idraulica

Nell'elaborato T.10 è rappresentata la magnitudo idraulica definita ai sensi della L.R. 41/2018 come il risultato della combinazione tra i valori dei battenti idrometrici e delle velocità di propagazione delle alluvioni poco frequenti.

Le aree inondate sono suddivise in tre classi di magnitudo:

- *moderata*: in cui i battenti idrici sono inferiori o uguali a 0.5 m e le velocità sono inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono uguali o inferiori a 0.3 m;
- *severa*: area con battenti inferiori o uguali a 0.5 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono compresi tra 0.3 m e 0.5 m;
- *molto severa*: dove i battenti sono compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti superiori a 1.0 m. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti superiori a 0.5 m

## 7 CONCLUSIONI

Gli interventi previsti per la mitigazione del rischio idraulico nell'area di Oste sono costituiti da un adeguamento e potenziamento delle casse di espansione esistenti e dall'adeguamento o nuova realizzazione di impianti di sollevamento.

Tali interventi non costituiscono aggravio a valle. A tale proposito nella [Tabella 7-1](#) si riporta il confronto a valle del sollevamento del Parugiano sul Mendacione tra le portate allo stato attuale e nello stato di progetto.

ATTUALE	PROGETTO
ME5096__	ME5096__
2945.5	2945.5
14.53	8.66
18.30	13.31
21.55	15.77

Tabella 7-1 – Confronto portata a valle del sollevamento Parugiano sul torrente Mendacione

Nell'area di Oste non si registrano allagamenti per il tempo di ritorno di 30 anni a meno di problematiche relative alla rete fognaria. A tale proposito si fa osservare che nella presente simulazione non è stata considerato l'intervento previsto da Publiacqua della messa in funzione di una quarta pompa all'impianto di Mazzaccheri. Per il tempo di ritorno di 200 anni gli allagamenti presentano battenti massimi di circa 50cm. Per il tempo di ritorno di 500 anni si registrano battenti massimi di circa 1.2m.

## APPENDICE A

### CARATTERISTICHE MODELLO IDRAULICO



## A. CARATTERISTICHE MODELLO IDRAULICO

Codice	C_BASSA	Codice	C_FICARELLO_M	Codice	C_AGNACCINO	Codice	C_FUNANDOLA	Codice	C_MENDACIONE
Quota [m s.l.m.]	Volume [m³]	Quota [m s.l.m.]	Volume [m³]	Quota [m s.l.m.]	Volume [m³]	Quota [m s.l.m.]	Volume [m³]	Quota [m s.l.m.]	Volume [m³]
42.67	0	55.83	0	47.37	0	49.95	0	48.61	0
42.95	2	56.47	266	47.92	2757	50.23	69	48.92	201
43.23	25	57.11	6468	48.47	13933	50.51	1436	49.23	2633
43.51	127	57.76	24624	49.02	25729	50.78	6232	49.54	6936
43.79	872	58.40	52846	49.57	38014	51.06	13926	49.85	11516
44.07	4855	59.04	88978	50.12	51100	51.34	22290	50.16	16211
44.35	14173	59.68	129555	50.67	64895	51.62	30833	50.47	21026
44.63	25161	60.32	173102	51.22	79243	51.89	39533	50.78	25960
44.91	36599	60.96	219656	51.77	94292	52.17	48401	51.09	31011
45.19	48197	61.61	270341	52.32	110055	52.45	57499	51.40	36169
45.46	59907	62.25	324854	52.87	126375	52.73	66791	51.71	41432
45.74	71757	62.89	382567	53.42	143070	53.01	76293	52.02	46802
46.02	83776	63.53	442915	53.97	160104	53.28	86083	52.33	52291
46.30	95957	64.17	505206	54.52	177433	53.56	96204	52.64	57911
46.58	108221	64.81	568756	55.06	195049	53.84	106460	52.95	63629
46.86	120533	65.46	633319	55.61	212928	54.12	116861	53.26	69454
47.14	132864	66.10	698693	56.16	230996	54.39	127467	53.57	75456
47.42	145200	66.74	764531	56.71	249114	54.67	138253	53.88	81735
47.70	157539	67.38	830480	57.26	267267	54.95	149052	54.19	88106
47.98	169880	68.02	896465	57.81	285438	55.23	159852	54.50	94502

Codice	C SELVAVECCHIA	Codice	C STREGALE	Codice	F AGNACCINO	Codice	F STREGALE	Codice	PARUGIANO_A	Codice	POLA
Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume
[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]
49.76	0	49.88	0	44.63	0	49.62	0	45	0	48.53	0
50.03	63	50.31	123	45.12	10	49.89	15	45	128	48.81	6
50.31	485	50.75	4731	45.61	56	50.17	74	46	501	49.10	47
50.59	1588	51.18	12679	46.10	177	50.45	154	46	980	49.39	142
50.87	3360	51.62	26258	46.58	367	50.73	250	46	1524	49.68	304
51.14	5320	52.05	42002	47.07	645	51.00	359	47	2118	49.97	564
51.42	7341	52.48	58691	47.56	1061	51.28	481	47	2763	50.26	1041
51.70	9413	52.92	75908	48.05	1647	51.56	617	47	3486	50.54	1747
51.98	11537	53.35	93524	48.54	2369	51.84	765	47	4279	50.83	2566
52.26	13712	53.78	111524	49.03	3188	52.12	927	48	5254	51.12	3482
52.53	15939	54.22	129980	49.52	4085	52.39	1103	48	6329	51.41	4462
52.81	18220	54.65	148957	50.01	5051	52.67	1297	48	7463	51.70	5478
53.09	20556	55.09	168424	50.50	6128	52.95	1529	48	8646	51.99	6532
53.37	22950	55.52	188148	50.99	7402	53.23	1795	49	9843	52.28	7625
53.64	25415	55.95	208101	51.48	8826	53.50	2092	49	11047	52.56	8753
53.92	28015	56.39	228163	51.97	10356	53.78	2426	49	12253	52.85	9915
54.20	30742	56.82	248318	52.45	11969	54.06	2789	50	13459	53.14	11114
54.48	33569	57.25	268652	52.94	13657	54.34	3153	50	14665	53.14	12359
54.76	36463	57.69	289362	53.43	15384	54.62	3516	50	15872	53.72	13678
55.03	39359	58.12	310277	53.92	17134	54.89	3879	50	17078	54.01	15011

Codice	C MENDACIONE M	Codice	C FUNANDOLA V	Codice	C PONTETORTO	Codice	A BASSE ME
Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume	Quota	Volume
[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]	[m s.l.m.]	[m³]
49.75	0	48.61	0	53.10	0	47.70	0
50.06	11	48.90	52	53.42	1253	48.05	131
50.37	122	49.20	631	53.73	6745	48.40	261
50.67	667	49.50	2408	54.05	16530	48.75	1237
50.98	2538	49.80	5537	54.37	30583	49.10	7384
51.29	6483	50.10	10001	54.69	47534	49.45	13747
51.60	12039	50.40	16298	55.00	66253	49.80	20151
51.91	18502	50.70	24227	55.32	86023	50.15	26629
52.21	25278	51.00	33069	55.64	106217	50.50	33278
52.52	32131	51.30	42146	55.95	126609	50.85	40025
52.83	39038	51.60	51353	56.27	147179	51.20	46866
53.14	46008	51.90	60636	56.59	167951	51.55	53770
53.45	53050	52.20	70097	56.91	188898	51.90	60688
53.75	60148	52.50	79661	57.22	210018	52.25	67668
54.06	67335	52.80	89266	57.54	231284	52.60	74628
54.37	74788	53.10	98915	57.86	252680	52.95	81646
54.68	82276	53.40	108665	58.17	274162	53.30	88691
54.99	89793	53.70	118497	58.49	295678	53.65	95744
55.29	97386	54.00	128329	58.81	317241	54.00	102828
55.60	104989	54.30	138409	59.13	338828	54.35	110045

Tabella A-A-1 – Leggi di invaso delle aree di potenziale esondazione nello stato di progetto.

<b>Codice</b>	<b>Q<sub>r</sub></b> [m s.l.m.]	<b>a</b> [m <sup>3</sup> /mb]	<b>b</b> [m <sup>3</sup> ]
C_FICARELLO_V	51.00	6642.00	1
PARUGIANO	44.30	100.00	1
F_PARUGIANO	41.10	970.00	1
F_POLTRONOVA	43.03	200.00	1
F_CALICINO	40.00	1775.00	1
F_GRAMIGNETO	42.91	200.00	1
AGNACCINO_SC01	43.03	200.00	1
AGNACCINO_SC02	42.91	300.00	1
AGNACCINO_SC03	42.19	520.00	1
AGNACCINO_SC04	41.30	250.00	1
CALICINO_SC	40.30	5000.00	1
MAZZACCHERI_SC	41.55	300.00	1
MAZZONE_SC	41.00	1000.00	1

Tabella A-A-2 – Curve di invaso delle aree di potenziale esondazione nello stato di progetto.

DV	CS	SZ	SC	SV	CC	CL	LS	HS
C_SELVAVECCHIA_F_STREGA	SF4288		C_SELVAVECCHIA		F_STREGALE		5.8	52.6
F_STREGALE_ST5022__	SF4279		F_STREGALE	ST5022__			1.15	52
POLA_A_BASSE_ME	SF4556		POLA		A_BASSE_ME		12.5	49
DX_AN1014__C_AGNACCINO	SF4247	AN1014__			C_AGNACCINO		8	49.1
SX_FI1271__C_FICARELLO__	SF3952	FI1271__			C_FICARELLO_M		20.05	56.48
SX_FU5028__C_FUNANDOLA	SF4266	FU5028__			C_FUNANDOLA		7.5	52
SX_FU5029__C_FUNANDOLA	SF4267	FU5029__			C_FUNANDOLA		17.5	51.56
SX_FU5030__C_FUNANDOLA	SF4268	FU5030__			C_FUNANDOLA		17.5	51.5
SX_FU5030__C_FUNANDOLA	SF4446	FU5031__			C_FUNANDOLA		17.5	51.4
SX_ME7012__-02-ME7020__	SF4282	ME7012__-02-ME7020__			C_MENDACIONE		10.67	54
SX_ME7020__C_MENDACIONE	SF4283	ME7020__			C_MENDACIONE		10	51.5
SX_ME7020__-01-ME7021A_	SF4284	ME7020__-01-ME7021A_			C_MENDACIONE		10	51.5
SX_SE5021__C_PONTETORTO	SF4432	SE5021__			C_PONTETORTO		14.5	54.18
SX_SE5020__C_PONTETORTO	SF4433	SE5020__			C_PONTETORTO		14.17	54.18
SX_SE5019__C_PONTETORTO	SF4434	SE5019__			C_PONTETORTO		16.95	54.18
SX_SE5018__C_PONTETORTO	SF4435	SE5018__			C_PONTETORTO		23.6	54.18
SX_SE5017__C_PONTETORTO	SF4436	SE5017__			C_PONTETORTO		18.07	54.18
SX_ST5016__C_STREGALE	SF4444	ST5016__			C_STREGALE		30	51.8
SX_ST5017__C_STREGALE	SF4445	ST5017__			C_STREGALE		30	51.8
SX_DF9000_BFU4001B_	SF4278	DF9000_B		FU4001B_			5	75.5

Tabella A-A-3 – Caratteristiche delle principali soglie sfioranti.

DV	CP	SZ	SC	SV	CC	LS	HS	HM	GA	VC
PO001	PO001		APE_003		APE_005	3	49.37	51.37	100	
PO002	PO002		APE_003		APE_005	1	47	47.6	100	
PO003	PO003		C_BASSA	ME5127__		2	42.7	43.7	100	1
PO004	PO004		APE_012		APE_011	4	45.25	48.25	100	
PO005	PO005		APE_025		APE_023	1	47.11	48.11	100	
PO006	PO006		APE_025		APE_023	2	46.51	47.51	100	
PO007	PO007		APE_025		APE_023	1	47.24	47.74	100	
PO008	PO008		APE_025		APE_026	1	46.69	47.19	100	
PO009	PO009		APE_025		APE_026	3	46.9	47.9	100	
PO010	PO010		APE_025		APE_026	1	48.1	48.6	100	
PO011	PO011		APE_025		APE_026	1	47.75	48.25	100	
PO012	PO012		APE_025		APE_026	3	48.6	50.6	100	
PO013	PO013		APE_002		APE_003	3	2	5	100	
PO014	PO014		C_MENDACIONE	ME7043__		0.6	50	50.5	100	1
PO015	PO015		C_MENDACIONE		POLA	0.5	48.5	49	100	1
PO016	PO016		A_BASSE_ME		POLA	0.5	48.6	49.1	100	
PO017	PO017		POLA		A_BASSE_ME	0.5	48.62	49.12	100	
PO018	PO018		POLA		C_MENDACIONE	0.5	48.5	49	100	1
PO019	PO019		PARUGIANO_A	ME5095__		3	46	47.5	100	1
PO020	PO020		C_STREGALE		F_STREGALE	1	50.25	50.75	100	1
PO021	PO021		C_SELVAVECCHIA		F_STREGALE	1	50.1	50.6	100	1
PO022	PO022	ST5022__			F_STREGALE	1	50	50.8	100	1
PO023	PO023		F_STREGALE	ME7048__		1	50	50.6	100	1
PO024	PO024		BIDI		C_SELVAVECCHIA	1	52.87	53.87	100	1
PO025	PO025		C_FUNANDOLA	FU5038__		1	49.25	49.75	80	
PO026	PO026		C_FUNANDOLA	FU3001D_		0	50.37	50.87	0	
PO027	PO027		AGNACCINO_SC01		F_POLTRONOVA	1	43.05	44.25	100	
PO028	PO028		F_POLTRONOVA	PL1001A_		3	45.44	46.56	100	

DV	CP	SZ	SC	SV	CC	LS	HS	HM	GA	VC
PO029	PO029		AGNACCINO_SC02		F_GRAMIGNETO	1	42.95	44.15	100	
PO030	PO030		F_GRAMIGNETO	GR1001B_		2	43.26	44.76	100	
PO031	PO031		AGNACCINO_SC03		AGNACCINO_SC04	1	42.2	43.4	100	
PO032	PO032		MAZZACCHERI_SC		AGNACCINO_SC04	1	41.55	42.95	100	
PO033	PO033		C_FUNANDOLA		C_STREGALE	1	51.85	52.65	0	
PO034	PO034		C_FUNANDOLA		C_STREGALE	1	51.85	52.65	0	
PO035	PO035		C_FUNANDOLA		C_STREGALE	1	51.85	52.65	0	
Strada vicinale	PO036		BIDI		BIDI	3	56.55	59.55	100	
Tombino	PO037		BIDI		C_PONTETORTO	1	54.45	55.2	100	
Strada vicinale	PO038		BIDI		APE_008	3	44.59	47.59	100	
Via Traversa	PO039		BIDI		APE_008	5	43.66	47.66	100	
Strada vicinale	PO040		BIDI		APE_008	3	43.56	46.56	100	
Circonvallazione	PO041		BIDI		APE_007	20	43.81	47.81	100	
Tombino	PO042		APE_004		APE_006	1	43.71	44.31	100	
Strada vicinale	PO043		APE_004		APE_006	3	43.83	46.83	100	
Ficarello	PO044		APE_004		APE_006	3	45.72	49.52	100	
PO045	PO045		BIDI	FU5027_		1	52.2	53.14	100	1
PO046	PO046		AGNACCINO_SC04		MAZZONE_SC	1	41.3	42.5	100	
PO047	PO047		MAZZONE_SC		CALICINO_SC	1	41	42	100	
PO048	PO048		F_AGNACCINO		AGNACCINO_SC01	1	44.46	45.66	100	
PO049	PO049		C_AGNACCINO		F_AGNACCINO	1	45.75	46.55	100	1
PO050	PO050		C_AGNACCINO		F_AGNACCINO	1	45.75	46.55	100	1
PO051	PO051	ST5036L_			MAZZACCHERI_SC	1	46.3	46.9	100	
PO052	PO052		PARUGIANO		PARUGIANO_A	1	44.9	45.9	100	
PO053	PO053		PARUGIANO		F_PARUGIANO	1	44.4	44.9	100	
PO054	PO054		F_PARUGIANO		MAZZONE_SC	1	41.2	42	100	
PO055	PO055		CALICINO_SC	CN0100_		2	41	42.3	100	1
PO056	PO056		CALICINO_SC		F_CALICINO	1	40.4	41.4	100	

DV	CP	SZ	SC	SV	CC	LS	HS	HM	GA	VC
PO057	PO057		F_GRAMIGNETO		AGNACCINO_SC03	1	42.95	44.15	100	
PO058	PO058		F_POLTRONOVA		AGNACCINO_SC02	1	43.05	44.25	100	
PO059	PO059		APE_003		APE_005	3	47.3	49.3	100	
PO060	PO060		C_FICARELLO_M	FI2027__		1	55.2	55.8	100	1
PO061	PO061		C_FICARELLO_V	FI2014__		1	51.37	52.17	100	1
PO062	PO062		PARUGIANO_A		ACCUMULO	3	44.5	47	100	
PO063	PO063		ACCUMULO		CARICO	3	41.5	45	100	
PO064	PO064		C_PONTETORTO	SE5041__		1	52.82	53.32	100	1
Collegamento	PO065		C_MENDACIONE		C_MENDACIONE_M	6	50.5	52	100	
PO066	PO066		C_FUNANDOLA_V	FU5038__		1	50.4	50.9	80	1
Strada vicinale	PO069		BIDI		BIDI	6	68.2	73.92	100	
Tombino	PO070		BIDI		BIDI	1	66.24	67.03	100	
Tombino	PO071		BIDI		BIDI	1	65.09	65.88	100	
Tombino	PO072		BIDI		BIDI	2	65.03	66.6	100	
Agnaccino	PO073		BIDI		BIDI	2	61.5	62.68	100	
Via Orvieto	PO074		BIDI		BIDI	7	59.9	62.9	100	
Via Cagliari	PO075		BIDI		BIDI	3	60	63.8	100	
Tombino	PO076		BIDI		BIDI	1	59.67	60.46	100	
Sottopasso nuovo	PO077		BIDI		BIDI	7	59.74	62.74	100	
Via Cafaggio	PO078		BIDI		BIDI	3	56.2	59.2	100	
Via Selvavecchia	PO079		BIDI		BIDI	3	55.11	58.11	100	
Tombino	PO080		BIDI		BIDI	1	58.55	59.55	100	
Strada vicinale	PO081		BIDI		BIDI	3	59.84	62.88	100	
Ex via Bossoli	PO082		BIDI		BIDI	1	60.46	61.46	100	
Strada vicinale	PO083		BIDI		BIDI	3	44.83	48.83	100	
Tombino	PO084		BIDI		BIDI	1	67.74	68.74	100	
Collegamento	PO085		C_FUNANDOLA		C_FUNANDOLA_V	6	50.2	51.7	100	

Tabella A-A-4 – Caratteristiche delle portelle di collegamento stato progetto



DI	CI	A3	HA	HS	HV	CC	SV	SZ	SC
ID001_	ID001_	1	49	48.8	-9999		ME7044A_		POLA
ID002_	ID002_	1	49.1	49	-9999		ME7044A_		POLA
ID003_	ID003_	1	49.2	49.1	-9999		ME7044A_		POLA
ID004_	ID004_	0.6	46.1	45.9	-9999	C_AGNACCINO		AN3001A_	
ID005_	ID005_	0.6	46.4	46.2	-9999	C_AGNACCINO		AN3001A_	
ID006_	ID006_	0.6	46.7	46.5	-9999	C_AGNACCINO		AN3001A_	
ID007_	ID007_	0.6	47	46.8	-9999	C_AGNACCINO		AN3001A_	
ID008_	ID008_	1.2	42	41.4	45.2		ME5121__		AGNACCINO_SC04
ID009_	ID009_	1.2	42.4	41.8	45.2		ME5121__		AGNACCINO_SC04
ID010_	ID010_	1.2	42.8	42.2	45.2		ME5121__		AGNACCINO_SC04
ID101	ID101	0.72	43.3	43	48.5	SCARICO			CARICO
ID102	ID102	0.72	43.4	43.1	48.45	SCARICO			CARICO
ID103	ID103	0.72	43.5	43.2	48.4	SCARICO			CARICO
ID104	ID104	0.72	43.6	43.3	48.35	SCARICO			CARICO
ID105	ID105	0.72	43.7	43.4	48.3	SCARICO			CARICO

Tabella A-A-5 – Caratteristiche delle idrovore stato progetto.