PROVINCIA DI PRATO
COMUNE DI MONTEMURLO

PROGETTO:

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DI ALCUNI CORSI D'ACQUA NEL TERRITORIO COMUNALE DI MONTEMURLO

OGGETTO:

RELAZIONE TECNICA

TAVOLA:	REV:	DATA:	SCALA:	NUMERO COMMESSA:	NOME FILE:
	00	Settembre 2007		L427	Relazione.pdf

PROGETTISTA:
Prof. Ing. Enio Paris

COLLABORATORI:
Dott. Ing. David Settesoldi
Dott. Ing. Michele Catella
Dott. Silvia Angelini

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	
02			
01			
00	24/09/07	PRIMA EMISSIONE	

PROVINCIA DI PRATO

COMUNE DI MONTEMURLO

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DI ALCUNI CORSI D'ACQUA NEL TERRITORIO COMUNALE DI MONTEMURLO

RELAZIONE TECNICA

Progettista: *Prof. Ing. Enio Paris*

Collaboratori: *Dott. Ing. David Settesoldi*

Dott. Ing. Michele Catella

Dott. Geol. Silvia Angelini

Firenze, settembre 2007

INDICE

1 PREMESSA 2

1.1 ELENCO ELABORATI 3

2 IL QUADRO CONOSCITIVO 5

2.1 GLI STUDI ESISTENTI 5
2.2 ACQUISIZIONE DEI DATI TERRITORIALI 8
2.3 VERIFICA DEGLI AMBITI "B" E MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA 15

3 ANALISI IDROLOGICA 17

3.1 I DATI PLUVIOMETRICI 17
3.2 IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV 18
3.3 INFERENZA STATISTICA 21
3.4 CALCOLO DELLE CPP - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA 23
3.5 I DATI TERRITORIALI 24
3.6 LA STRUTTURA DEL MODELLO IDROLOGICO 33
3.7 LE PORTATE DI PIENA 37
3.8 LE PRECIPITAZIONI 37
3.9 I PARAMETRI DEL MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI 38
3.10 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA 40
3.11 CONFRONTO CON GLI STUDI PRECEDENTI 42
3.12 I PARAMETRI DEL MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI 43

4 ANALISI IDRAULICA 44

4.1 DEFINIZIONE DEI CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO NEL COMUNE DI MONTEMURLO 44
4.2 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA 45
4.3 LA MODELLISTICA IDRAULICA 45
4.3.1 Il modello di moto vario 45
4.3.2 Il modello di inondazione quasi-bidimensionale 51

5 VERIFICHE IDRAULICHE NELLO STATO ATTUALE 55

5.1 INDIVIDUAZIONE DEI TRATTI CRITICI 58
5.2 DEFINIZIONE DELLE AREE INONDABILI 68
5.3 PERIMETRAZIONE DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA 69

6 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI 70

6.1 CRITERI GENERALI PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO 70
6.2 VERIFICA IDRAULICA DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI DI MESSA IN SICUREZZA 72
6.3 GLI INTERVENTI PREVISTI 73

7 BIBLIOGRAFIA 84

1 PREMESSA

A seguito dell'incarico affidato dal Comune di Montemurlo allo scrivente con Determinazione n. 833 del 30/06/2006, è stato redatto il presente "*Studio idrologico e idraulico di alcuni corsi d'acqua nel territorio comunale di Montemurlo"* finalizzato all'analisi delle problematiche relative al rischio idraulico utili alla predisposizione del Regolamento Urbanistico.
Il presente studio, sebbene presentato in forma separata, è stato condotto congiuntamente allo studio che il Comune di Montale ha affidato sempre allo scrivente con le stesse finalità e che, per continuità territoriale, è stato necessariamente svolto utilizzando approcci e metodologie omogenei.
Ai fini di una migliore chiarezza espositiva, nella presente relazione sono comunque inserite parti in comune con l'analoga relazione redatta per il Comune di Montale [1].

Gli obiettivi generali del presente studio sono:

- La determinazione delle aree a pericolosità idraulica relative ai corsi d'acqua di seguito specificati con una metodologia congruente a quella prevista dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno per gli studi di approfondimento necessari a passare dal livello di sintesi al livello di dettaglio del PAI;
- La verifica dell'ampiezza dell'ambito B definito dalla normativa regionale;
- La verifica dell'efficienza degli interventi di messa in sicurezza di recente realizzazione, in corso d'opera o da realizzarsi;
- L'individuazione degli ulteriori interventi di messa in sicurezza con particolare riferimento al centro abitato di Montemurlo.

Per il raggiungimento degli obiettivi sopra elencati, lo studio è articolato nelle seguenti fasi:

- FASE 1 – Quadro conoscitivo: in tale fase viene definito l'ambito territoriale oggetto di studio, nonché le caratteristiche dei bacini idrografici e delle aste fluviali relativi ai corsi d'acqua di interesse, comprendenti il Fosso Ficarello, il Torrente Bagnolo, il Fosso Mendancione, il Fosso Stregale, il Fosso Funandola, il Torrente

Agna. Nel corso dello studio è stato ritenuto opportuno estendere l'analisi anche al Torrente Agna delle Conche, al Torrente Agnaccino, al Fosso Poltronova e al Fosso Gramigneto.

- FASE 2 - Analisi idrologica: in tale fase vengono applicati e calibrati i modelli idrologici utili alla definizione delle caratteristiche di formazione degli eventi di piena generati dai bacini considerati per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

- FASE 3 - Analisi idraulica: in tale fase viene svolta l'analisi della dinamica di propagazione delle onde di piena nella rete idrografica studiate, dei fenomeni di esondazione e delle criticità della rete idrografica.

- FASE 4 - Perimetrazione della pericolosità idraulica: la perimetrazione della pericolosità idraulica è condotta secondo i criteri definiti dalla Autorità di Bacino del fiume Arno per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni. Per i tempi di ritorno di 30 e di 100 anni sono inoltre definite le aree con diverso battente idrico.

- FASE 5 - ***Definizione e verifica degli interventi*****:** sulla base dei risultati ottenuti nelle fasi precedenti, vengono definiti gli interventi di messa in sicurezza in funzione del rischio nelle diverse aree in accordo con gli indirizzi forniti dall'Amministrazione Comunale e comunque con riferimento alla portata con tempo di ritorno 200 anni.

1.1 ELENCO ELABORATI

Nell'ambito del presente lavoro sono stati prodotti i seguenti elaborati:

Relazione Tecnica

Allegato A – *Dati pluviometrici*
Allegato B – *Stazioni pluviometriche, mappa quote, mappa della geolitologia, mappa uso del suolo, mappa infiltrazione*
Allegato C – *Portate di piena nelle sezioni di interesse*
Allegato D – *Caratteristiche modello idraulico - Stato Attuale*
Allegato E - *Tabulati verifiche idrauliche – Stato Attuale*

Allegati F – *Sezioni fluviali e livelli idrici – Stato Attuale*

Allegato G - *Caratteristiche modello idraulico – Stato di Progetto*

Allegato H – *Verifiche idrauliche – Stato di Progetto*

Allegato I - *Sezioni fluviali e livelli idrici – Stato di Progetto*

Allegato L – *Documentazione Fotografica*

Tavola 1 – *Planimetria Generale – Reticoli e bacini idrografici, immissioni di portata*

Tavola 2 – *Planimetria Sistema Idrografico Stato Attuale – sezioni fluviali, APE, idrovore, portelle, sfioratori, casse di espansione*

Tavole 3 – *Profili longitudinali – Stato Attuale*

Tavole 4 – *Carta delle aree allagabili*

Tavole 5 – *Carta della pericolosità idraulica*

Tavole 6 – *Carta dei battenti idrici di inondazione*

Tavola 7 – *Planimetria Sistema Idrografico Stato di Progetto –sezioni fluviali, idrovore, portelle, sfioratori, casse di espansione e nuovi tracciati fluviali*

Tavola 8 – *Profili longitudinali – Stato di Progetto*

2 IL QUADRO CONOSCITIVO

2.1 Gli studi esistenti

Di seguito si riporta una sintesi dei principali studi che sono stati acquisiti e consultati ai fini del presente lavoro.

[1] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 1989*, Progetto Generale di Regolazione e Convogliamento delle acque Pluviali e della Rete di Fognatura a Servizio del Territorio Comunale – Sistemazione Corsi d'Acqua,* a cura dei Dott. Ingg. A. Baietti e A. Ferro.

Lo studio affronta le problematiche della rete idrografica di pianura nel territorio di Montemurlo, proponendo una serie di interventi sui principali corsi d'acqua (Mendancione, Stregale, Funandola) e su altri minori, comprendenti la risagomatura delle sezioni, il rifacimento di attraversamenti della viabilità, impianti di sollevamento, casse di espansione.

[2] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 1995*, Indagini Geologiche per la Variante Generale al P.R.G – Allegato 1: Verifiche idrauliche delle zone di previsione*, a cura dei Dott. Geol. F. Capecchi, R. Giannini.

Vengono effettuate una serie di verifiche idrauliche in condizioni di moto uniforme per eventi di piena la cui portata al colmo per tempi di ritorno 100 e 200 anni è stimata con il metodo cinematico. Vengono inoltre riportate le sezioni fluviali dei corsi d'acqua considerati insieme ad una documentazione fotografica e cartografica.
Poiché non sono messe in conto le reali capacità di deflusso della corrente, influenzate da fenomeni di rigurgito e dalle perdite di carico concentrate, lo studio appare utilizzabile solo in relazione alla caratterizzazione topografica delle sezioni considerate sul Fosso Funandola, Fosso Stregale e Torrente Agna.

[3] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 1999*, Progettazione di Interventi Idraulici sui Torrenti Agna e Mendancione: Studio geologico di prima fase – Interventi sul T. Agna,* a cura di GEOPLAN - Pistoia.

Viene presentato un inquadramento geologico-geomeorfologico del bacino del T. Agna, insieme ad una caratterizzazione del sottosuolo delle aree adiacenti al tratto terminale del torrente.

[4] Consorzio di Bonifica Ombrone P.se-Bisenzio, 2002, *Interventi Urgenti di Sistemazione sul Fosso Funandola – Comune di Montemurlo*, a cura di DREAM scrl, Pistoia.

Viene redatto il progetto esecutivo relativo a due interventi sul Fosso Funandola, uno in prossimità di Via Scarpettini e l'altro in corrispondenza della confluenza con il Fosso Mendancione e consistenti rispettivamente nel consolidamento arginale per un tratto di circa 100 m e nella riprofilatura della sezione idraulica per un tratto di circa 450 m.
Le portate di progetto per tempo di ritorno 200 anni sono pari a 56 mc/s, come desunto dallo studio "Progettazione preliminare degli interventi bacini idrografici torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione del rischio idraulico"

[5] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 2004*, Studio di carattere Idraulico e Idrogeologico nei Bacini Montani dei Fossi Stregale e Funandola e sulle condizioni di Stabilità della Viabilità Montana,* a cura di GEOPLAN - Pistoia.

Lo studio comprende un'analisi delle problematiche connesse ai dissesti della viabilità montana nei territori di Cicignano, Albiano e Guzzano, proponendo alcuni interventi di riassetto idraulico del reticolo minore e dei versanti. Viene poi svolta un'analisi idrologica dei Fossi Stregale e Funandola finalizzata a determinare gli idrogrammi di piena nei tratti immediatamente a monte dell'abitato di Montemurlo. I risultati forniscono i valori delle portate al colmo come riportati nella tabella riassuntiva seguente (Tabella 2.1).

Corso d'acqua	Bacino Kmq	Q_5 mc/s	Q_{10} mc/s	Q_{20} mc/s	Q_{50} mc/s	Q_{100} mc/s	Q_{200} mc/s
Stregale	0.96	9.77	11.55	13.63	17.08	19.97	22.86
Funandola	1.32	12.06	14.08	16.29	19.89	22.75	26.14

Tabella 2.1 – Portate al colmo per i vari tempi di ritorno

Successivamente vengono proposti interventi di sistemazione dei corsi d'acqua considerati in quanto, essendo questi tombati nel tratto urbano di Montemurlo, la loro

capacità massima di smaltimento è valutata tra 4 e 6 mc/s. In particolare vengono individuati due bacini di laminazione, controllati da una luce a bocca tarata, uno sul Fosso Stregale della capacità massima di 40.000 mc, ed uno sul Fosso Funandola con capacità 70.000 mc. Infine vengono proposti interventi di sistemazione montana per il controllo del trasporto solido a monte dei suddetti bacini.

[6] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 2005*, Rilievo Topografico e Catastale di Supporto alla Messa in Sicurezza Idraulica del Fosso Mendancione nel Tratto compreso tra Via Montalese e la S.P. n. 82 "Nuova Montalese",* a cura del Dott. Ing. G. Brachi.

Vengono riportati i dati relativi ai rilievi topografici eseguiti sul Fosso Mendancione, per un totale di circa 50 sezioni fluviali.

[7] Ufficio Regionale per la Tutela Ambientale del Territorio di Pistoia, perizia n. 518, *Progetto Definitivo per il Completamento della Messa in Sicurezza del Torrente Mendancione*.
Vengono illustrati gli interventi di completamento per la messa in sicurezza del Torrente Mendancione con riferimento alla portata centennale.

[8] Comune di Montemurlo, Provincia di Prato, 2004*, Progetto Generale Preliminare di Risistemazione del Fosso Ficarello,* a cura di Studio Tecnico Dott. Ing. A. Goti - Prato.

Nel progetto è stato preso in esame il tratto settentrionale del Fosso Ficarello che è risultato non idoneo al deflusso della portata con TR di 200 anni; sono stati proposti i seguenti interventi:

- Realizzazione di due casse di espansione; una a monte della vecchia Strada Montalese per un'area di circa 13000 mq e un volume utile di 20500 mc e una a monte della Nuova Montalese per un'area di circa 4000 mq e un volume utile di 3000 mc.
- Deviazione di tracciato per circa 600 m a valle della Nuova Montalese.
- Consolidamento delle difese di sponda nel tratto a monte della Linea Ferroviaria Firenze-Prato-Pistoia.
- Sistemazione di un tratto (circa 400 m) a monte e a valle di via Visiana.

Nel dimensionamento delle opere si è fatto riferimento come portata di progetto a quella con tempo di ritorno di 200 anni.

2.2 Acquisizione dei dati territoriali

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

- cartografia C.T.R. scala 1:10000 e 1:2000 in formato vettoriale;
- sezioni fluviali per i tratti del T. Agna, T. Agna delle Conche, Fosso Agnaccino, T. Bagnolo, Fosso Ficarello, Fosso Funandola, Fosso Gramigneto, Fosso Mendancione, Fosso Poltronova e Fosso Stregale.

In particolare, l'insieme delle sezioni e le fonti di acquisizione sono riportate nella tabella seguente per ciascun corso d'acqua considerato.

L'ubicazione delle sezioni fluviali utilizzate per la modellazione idraulica sono riportate nella Tavola 2.

Torrente Agna

Tratto	Sezioni	Origine
Agna degli Acquiputtoli	Da AG3001A_ a AG3014__	*Studio Idrologico e Idraulico per la valutazione della pericolosità idraulica e definizione degli interventi di messa in sicurezza in un'area posta alla confluenza tra i torrenti Agna delle Conche e Agna degli Acquiputtoli in frazione di Fognano*. - PHYSIS srl - 2006
Agna delle Conche	Da AC3001__ a AC3024__	*Studio Idrologico e Idraulico per la valutazione della pericolosità idraulica e definizione degli interventi di messa in sicurezza in un'area posta alla confluenza tra i torrenti Agna delle Conche e Agna degli Acquiputtoli in frazione di Fognano*. - PHYSIS srl - 2006
Agna a valle di Fognano	Da AG4001__ a AG4062__	*Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI* – Studio Hydea – 2001
Agna a monte della ferrovia Firenze – Lucca	Da AG5001__ a AG5006__	*Progetto n. 127: Legge 226/99 – Deliberazione C.R. 134 del 01/03/2000. Intervento n. 13 "Completamento intervento cassa di espansione sul torrente Meldancione – II Lotto"* – URTT di Prato e Pistoia – 2006
Agna	Da AG0001__ a AG0017A_	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo* – Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio – 2007

Fosso Agnaccino

Tratto	Sezioni	Origine
Agnaccino a monte del sottopasso del torrente Agna	Da AN1001A_ a AN1021B_	*Rilievo planoaltimetrico di tratto del fosso Agnaccino in loc. Oste, da "casa Agna 1°" al sottopasso Torrente Agna* - Comune di Montemurlo – 1999
Agnaccino a valle del sottopasso del torrente Agna	Da AN1022C_ a AN1040D_	*Rilievo planoaltimetrico di tratto del fosso Agnaccino da casa "Agna 1°" in loc. Oste, alla confluenza con il torrente Bure in Comune di Montale.* *Rilievo planoaltimetrico del fosso della Poltronova dallo scolmatore in Comune di Montemurlo alla confluenza con il fosso Agnaccino in Comune di Montale* - Comune di Montemurlo – 1999
Agnaccino - cassa espansione	Da AN3001°_ a AN3001D_	Rilievo eseguito da PHYSIS srl - 2007
Scolmatore Agnaccino	Da SA1001A_ a SA1004D_	*Collettore intercomunale a servizio delle zone di Oste e Limitrofe* – Comune di Montemurlo
Scolmatore Agnaccino1	Da MA1001A_ a MA1001D_	*Collettore intercomunale a servizio delle zone di Oste e Limitrofe* – Comune di Montemurlo
Scolmatore Mazzoccheri	Da SM1001A_ a SM1003B_	*Collettore intercomunale a servizio delle zone di Oste e Limitrofe* – Comune di Montemurlo

Fosso Ficarello

Tratto	Sezioni	Origine
Ficarello	Da FI0001A_ a FI0034B_	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo* – Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio - 2007

Torrente Bagnolo

Tratto	Sezioni	Origine
Bagnolo a monte dell'abitato di Bagnolo	Da BG0001__ a BG0017__	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo* – Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio – 2007
Bagnolo a valle della nuova Montalese	Da BG1001A_ a BG1018__	*Interventi finalizzati alla messa in sicurezza delle aree a rischio idraulico – Legge 265/95 – Rilievo topografico plano-altimetrico di tratto del Torrente Bagnolo dalla nuova Montalese* – Comune di Montemurlo -1998
Bagnolo presso via Cuneo	Da BG1019__ a BG1031__	*Progetto per il completamento degli interventi sugli argini del Torrente Bagnolo nel tratto compreso tra via Cuneo ed il confine comunale – Località Oste – Comune di Montemurlo – 2003*
Bagnolo	Da BG4001__ a BG4045__	*Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI* – Studio Hydea – 2001

Fosso Poltronova

Tratto	Sezioni	Origine
Poltronova	Da PL1001A_ a PL1004D_	*Rilievo planoaltimetrico di tratto del fosso Agnaccino da casa "Agna 1°" in loc. Oste, alla confluenza con il torrente Bure in Comune di Montale.* *Rilievo planoaltimetrico del fosso della Poltronova dallo scolmatore in Comune di Montemurlo alla confluenza con il fosso Agnaccino in Comune di Montale* - Comune di Montemurlo - 1999

Fosso Funandola

Tratto	Sezioni	Origine
Funandola a monte dell'abitato di Fornacelle di Montemurlo	Da FU0001__ a FU0003__	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo* – Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio - 2007
Funandola nel tratto loc. Barzano	Da FU4001A_ a FU4005D_	*Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI* – Studio Hydea - 2001
Funandola in corrispondenza della cassa di espansione	Da FU 5001__ a FU5039__	*Perizia N. 501 – Realizzazione di cassa di espansione in località Selvavecchia a servizio dei torrenti Stregale e Funandola in Comune di Montemurlo (II Lotto)* – URTT di Prato e Pistoia
Funandola in corrispondenza della cassa di espansione	Da FU 3001A_ a FU3001D_	Rilievo eseguito da PHYSIS srl - 2007
Funandola a valle della cassa di espansione	Da FU5040__ a FU5078__	*Rilievo planoaltimetrico dei fossi Stregale e Funandola dalla nuova Montalese alla confluenza con il fosso Meldancione e bacino di accumulo in località Selvavecchia in Comune di Montemurlo* – Regione Toscana – Ufficio del Genio Civile di Pistoia

Fosso Gramigneto

Tratto	Sezioni	Origine
Gramigneto	Da GR1001B_ a GR1020C_	*Rilievo planoaltimetrico del Fosso Gramigneto dallo scolmatore in Comune di Montemurlo fino al TForrente Bure in Comune di Montale* – Comune di Montemurlo - 1999

Fosso Mendancione

Tratto	Sezioni	Origine
Mendancione a monte della nuova Montalese	Da ME1001__ a ME1048__	*Rilievo topografico e catastale di supporto alla messa in sicurezza idraulica del fosso Mendancione nel tratto compreso tra via Montalese e la S.P. n.°82 "Nuova Montalese"* – Comune di Montemurlo - 2005
Ponte in corrispondenza della nuova Montalese	Da ME0001A_ a ME1001D_	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo*– Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio - 2007
Mendancione da monte a valle della nuova Montalese	Da ME5001__ a ME5020__	*Perizia n. 502 I Lotto Completamento della cassa di espansione a servizio del Torrente Mendancione: risagomatura arginale del tratto a valle e a monte della nuova Montalese in Comune di montemurlo* - Regione Toscana – Ufficio Regionale per la tutela del territorio di Pistoia e Prato
Mendancione cassa di espansione	Da ME5021__ a ME5132__	*Perizia n. 422 Opere per l'adeguamento delle sezioni di deflusso e realizzazione di bacino di accumulo sul fosso Mendancione in Comune di Montemurlo* – Regione Toscana – Ufficio del Genio Civile di Pistoia
Mendancione a monte della ferrovia Lucca - Firenze	Da ME4001A_ a ME4009__	*Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMI-NARE DEGLI INTERVENTI* – Studio Hydea - 2001
Mendancione a monte della ferrovia Lucca - Firenze	Da ME6001__ a ME6008D_	*Perizia n. 35 L.R. 50/94: Ristrutturazione idraulica di tratto del Torrente Mendancione nei Comuni di Prato e Montemurlo* – Ufficio del Genio Civile di Prato
Mendancione a valle della ferrovia Lucca – Firenze fino alla confluenza con il T. Bure	Da ME5121__ a ME5132__	*Progetto n. 94: Variante per variata distribuzi. di spesa e supp. al progetto n. 55 relativo all'intervento n. 713 del Piano degli Interventi di cui all'ordinanza Commissariale n. G/533 del 04/12/1998.* *Realizzazione di una cassa d'espansione alla confluenza dei Torrenti Agna e Mendancione, in loc. Oste nel Comune di Montemurlo* – Regione Toscana – URTAT di Prato e Pistoia - 2003
Canale cassa Mendancione	Da CM5001__ a CM5022__	*Perizia n. 489 Opere mitigazione del Fosso Stregale mediante completamento del bacino di accumulo sul T. Mendancione nel Comune di Montemurlo* – Regione Toscana – Ufficio del Genio Civile di Pistoia
Mendancione cassa di espansione	Da ME3001A_ a ME3001D_	Rilievo eseguito da PHYSIS srl -2007

Fosso Stregale

Tratto	Sezioni	Origine
Stregale fino alla S.P. n.78 Scarpettini	Da ST0001__ a ST0009__	*Rilevamento sezioni plano-altimetriche dei corsi d'acqua di competenza consortile nel territorio del Comune di Montemurlo* – Consorzio di Bonifica Ombrone P.se – Bisenzio - 2007
Stregale fino alla cassa di espansione	Da ST4001A_ a ST4005D_	*Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI* – Studio Hydea - 2001
Stregale in loc. Morecci	Da ST1002__ a ST1005B_	*Schema di funzionamento delle paratoie sul fosso Stregale e Meldancione e sulla fognatura di via Parugiano* – comune di Montemurlo
Stregale nei pressi Centro Ippico	Da ST1006__ a ST1009__	*Lavori di ripristino dell'officiosità idraulica del fosso Stregale e messa in sicurezza della nuova lottizzazione, in prossimità del centro ippico, frazione di Oste, Comune di Montemurlo* – Comune di Montemurlo - 2005
Stregale presso la cassa di espansione	Da ST5001__ a ST5020__	*PERIZIA N. 445 Realizzazione di cassa di espansione in loc. Selvavecchia a servizio dei torrenti Stregale e Funandola in comune di Montemurlo (I Lotto)* – Regione Toscana – Ufficio del Genio Civile di Pistoia - 2000
Stregale cassa di espansione	Da ST3001A_ a ST3001D_	Rilievo eseguito da PHYSIS srl -2007
Stregale a valle della cassa di espansione	Da ST5021__ a ST5036__	*Rilievo topografico planoaltimetrico dei fossi Stregale e Funandola dalla nuova Montalese alla confluenza con il fosso Meldancione e bacino di accumulo in loc. Selvavecchia in comune di Montemurlo* – Regione Toscana – Ufficio del Genio Civile di Pistoia
Diversivo Stregale dalla cassa di espansione alla confluenza con il F. Mendancione	Da SD3001__ a SD3010C_	Rilievo eseguito da PHYSIS srl -2007
Diversivo Stregale dalla cassa di espansione alla confluenza con il fosso Mendancione	Da SD5012__ a SD5039__	*PERIZIA N. 503 Esecuzione stralcio funzionale cassa di espansione Torrenti Stregale e Funandola: deviazione Fosso Stregale* – URTT di Prato e Pistoia

2.3 Verifica degli Ambiti "B" e mappatura della pericolosità idraulica

La **Regione Toscana** ha approvato il P.I.T. – Piano di Indirizzo Territoriale con D.C.R. n. 12 del 25/01/00, pubblicata sul BURT n. 32 dell' 08/03/00. Il PIT, in materia di tutela idraulica del territorio dai fenomeni di esondazione e ristagno, ha recepito le norme contenute nella D.C.R.T. 21 Giugno 1994, n. 230, che si applicano su tutto il territorio regionale nelle aree di fondovalle dei corsi d'acqua catalogati nell'elenco allegato alla Deliberazione stessa.

Con tale deliberazione si determinano gli "ambiti di applicazione delle prescrizioni e vincoli" (ambiti definiti **A1** ed **A2**) e le aree soggette all'applicazione di "direttive" per quanto riguarda la formazione di piani urbanistici attuativi di strumenti urbanistici generali vigenti e per la formazione di strumenti urbanistici generali e loro varianti (ambito definito **B**).

Alla **Provincia di Prato** sono attribuite, oltre alle competenze recentemente trasferite con L.R. 91/98 e la L.R. 1/99, le funzioni di pianificazione del territorio individuando i criteri di raccordo tra gli indirizzi previsti a scala regionale e gli strumenti urbanistici a livello comunale.

Il PTC della Provincia di Prato è stato approvato nel 2003 ai sensi della L.R. Toscana n.5 del 1995, ora abrogata e sostituita dalla L.R. n.1 del 2005.

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica, il PTC contiene una cartografia ove sono mappate le aree a diverso livello di pericolosità, come riportato nella Figura 2.1.

Nella Figura 2.2 sono riportate le aree a pericolosità idrauliche redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Per quanto riguarda gli ambiti "B" prima richiamati, questi si applicano ai corsi d'acqua elencati nella Tabella 2.2. Da notare che per tutti i corsi d'acqua classificati è stato redatto lo studio delle aree allagabili, ad eccezione del Fosso Ragnaia.

Denominazione corso d'acqua	Codice 230	Denominazione 230	Ambiti
Fosso Ficarello	1215	Il Fossetto	AB
Torrente Bagnolo	2460	Bagnolo e Fosso Bardena	AB
Fosso Mendaccione	1406	Mendancione	AB
Fosso Stregale	1791	Stregale o Castello di	AB
Fosso Funandola	1942	Gora del Pantano e Fosso Fornacelle	AB
Fosso Ragnaia	1590	Fosso Ragnaia e della Fonte a Guzzano	AB

Tabella 2.2 - Corsi d'acqua a cui si applicano gli ambiti B

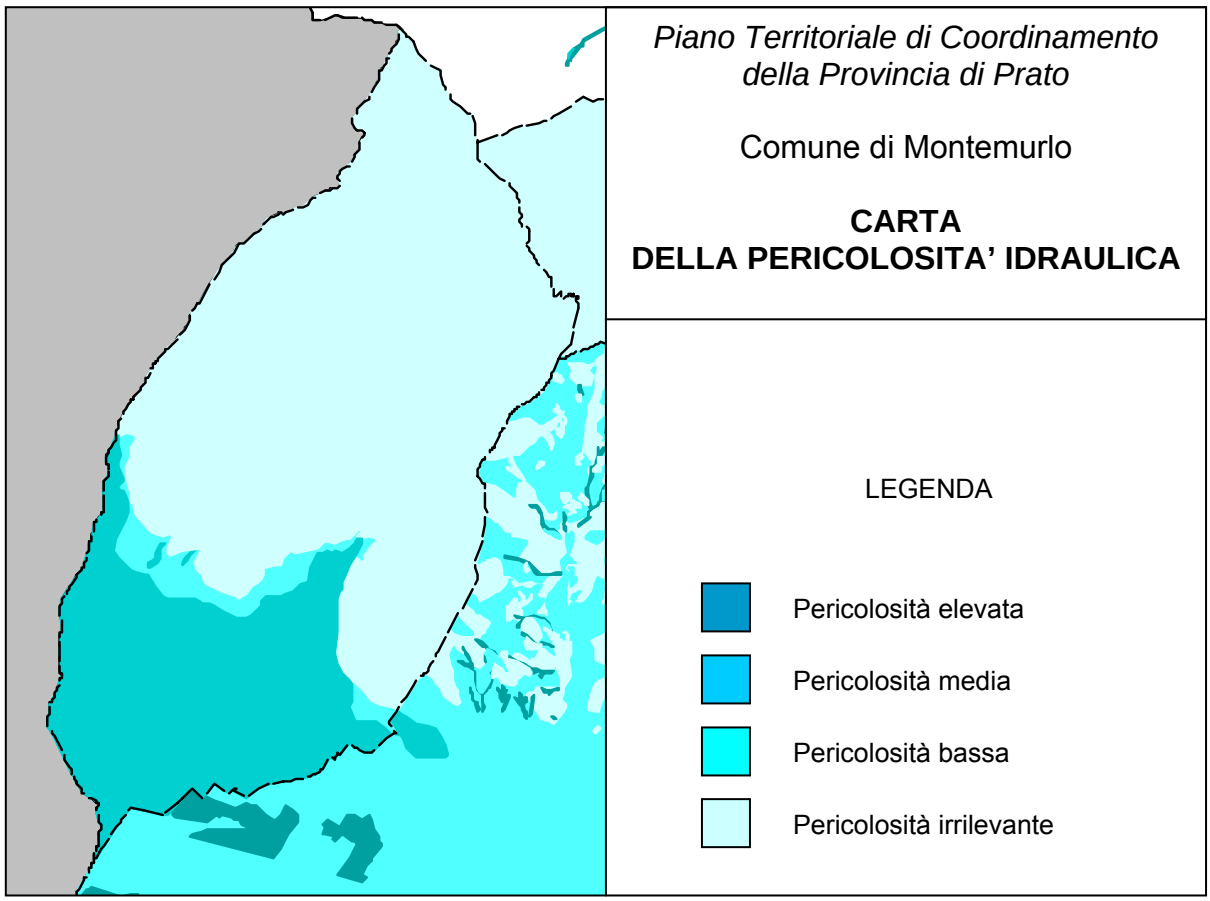

Figura 2.1 – Carta della pericolosità idraulica (PTC provincia di Prato)

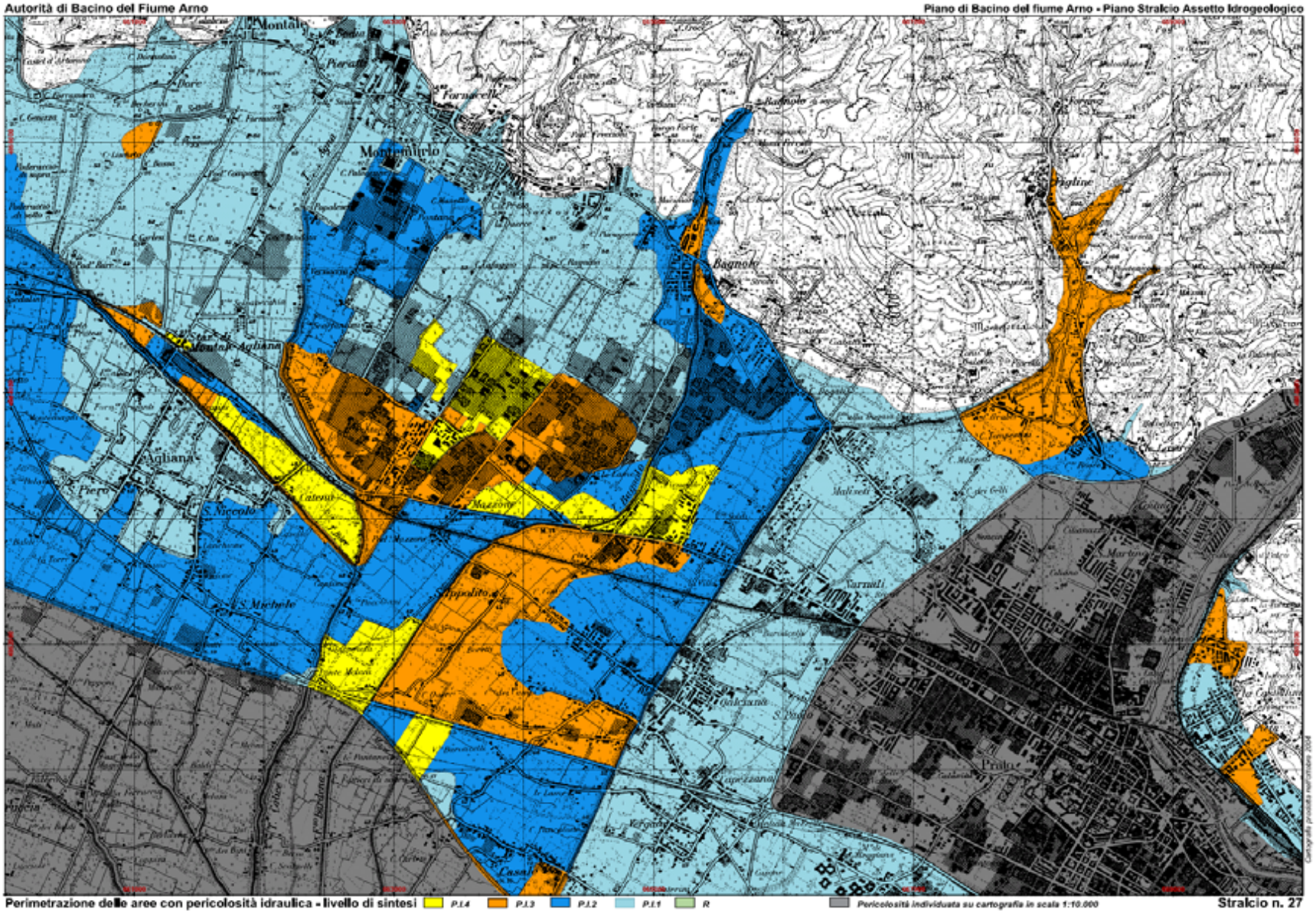

Figura 2.2 - Mappa *delle pericolosità idraulica redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno alla scala 1:25.000*

3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è mirata a fornire una valutazione delle portate di piena per i bacini ricadenti nel comune di Montemurlo oggetto del presente studio (TAVOLA 1).

L'analisi idrologica si articola nelle seguenti fasi:

- Aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica;
- Implementazione di un modello idrologico a parametri distribuiti;
- Taratura dei parametri del modello;
- Confronto con gli studi di regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana;
- Calcolo delle portate e degli idrogrammi di piena.

Il modello utilizzato 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 modello a parametri distribuiti sono state utilizzate le seguenti basi cartografiche:

- modello digitale del terreno con maglia 10x10m;
- mappa geolitologica;
- mappa dell'uso del suolo.

La taratura dei parametri del modello è stata condotta tramite il confronto con i risultati degli studi di regionalizzazione disponibili in alcune sezioni.

3.1 I dati pluviometrici

Il modello a parametri distribuiti effettua una stima indiretta delle portate e degli idrogrammi di piena sulla base di una trasformazione afflussi-deflusso assumendo che il tempo di ritorno della precipitazione sia lo stesso dell'evento pluviometrico che lo ha generato.

Pertanto il modello necessita dei dati di precipitazione in una serie di stazioni ricadenti nel bacino o limitrofe ad esso su cui effettuare una inferenza statistica finalizzata alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica che forniscono le altezze di pioggia per le diverse durate e per i diversi tempi di ritorno.

Nell'ambito del presente lavoro sono state aggiornate le curve ricavate negli studi condotti dalla Regione Toscana per la Regionalizzazione delle Portate di Piena [2] con i dati pluviometrici più recenti. Sono state inoltre inserite nuove stazioni che all'epoca della precedente analisi non possedevano una serie storica adeguata. In particolare sono state considerate tutte le stazioni con una serie storica di almeno 10 anni.

Preme qui ricordare che il modello probabilistico utilizzato è il modello di valore estremo TCEV a doppia componente. In sintesi si perviene a una curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h = ad^n T^m$$

dove h è in [mm], d in [ore] e T in [anni], mentre a, n e m sono i parametri della curva caratteristici per ciascuna stazione pluviometrica.
L'insieme delle stazioni pluviometriche considerate è riportato nel paragrafo 3.3.

3.2 Il modello probabilistico TCEV

Il modello statistico TCEV è particolarmente indicato quando si deve operare a scala di bacino per ricavare una funzione di distribuzione valida per una certa area. È infatti possibile effettuare un'efficace stima dei parametri di tipo regionale ovvero determinare i parametri utilizzando tutti i dati registrati nelle stazioni interne a una data regione, detta omogenea, nella quale si dimostra che tali parametri sono costanti. A tale scopo per la stima dei parametri si adotta uno stimatore ML (massima verosimiglianza) di tipo regionale.
La metodologia di determinazione dei parametri è articolata in modo gerarchico al fine di definire dapprima le zone omogenee al 1° livello di regionalizzazione, poi quelle al 2° per procedere infine alla stima dei parametri al 3°livello che completano la caratterizzazione pluviometrica di una data località.

Presupposto del modello TCEV è che i valori registrati durante gli eventi provengano da due distinte popolazioni, la prima detta componente di base, la seconda detta componente straordinaria. La componente straordinaria dà origine a quei valori che si verificano raramente ma con intensità vistosamente superiore rispetto alla media. In presenza di tali valori i coefficienti di asimmetria delle serie storiche risultano talmente elevati che i classici modelli di tipo Gumbel non possono adattarsi con successo.

Il modello TCEV è caratterizzato da 4 parametri, $\Lambda 1$ e $\theta 1$, relativi alla componente di base (rispettivamente numero di eventi medio annuo e media della componente di base), $\Lambda 2$ e $\theta 2$, relativi alla componente straordinaria. La funzione di distribuzione di probabilità cumulata (PDF) del modello ha la seguente espressione:

$$P(x) = \exp(- \Lambda 1 \exp(- x/\theta 1) - \Lambda 2 \exp(-x/\theta 2))$$

dove:

- P(x) = probabilità di avere un evento di intensità minore di xd;
- x = altezza di pioggia massima annuale di assegnata durata;
- $\Lambda 1$, $\theta 1$, $\Lambda 2$ e $\theta 2$ sono i quattro parametri della TCEV.

Si dimostra che il coefficiente di asimmetria G dipende solo dai parametri Λ^* e θ^* così definiti:

$\Lambda^* = \Lambda 2/(\Lambda 1^{(1/\theta^*)})$

$\theta^* = \theta 2/\theta 1$.

mentre il coefficiente di variazione CV dipende, in aggiunta, anche dal parametro $\Lambda 1$.

Sulla base della stima regionale dei parametri è possibile definire delle zone all'interno delle quali il valore dell'asimmetria G viene assunto come costante e risultano quindi costanti anche i parametri Λ^* e θ^* che lo determinano. Tali zone sono dette zone omogenee al 1°livello di regionalizzazione. In tali zone risulta univoca la distribuzione della variabile ridotta $Y=X/\theta 1-\ln(\Lambda 1)$:

$$P(Y)=\exp(-\exp(-Y)-\Lambda^*\exp(-Y/\theta^*))$$

All'interno di tali zone omogenee si possono individuare delle sottoregioni in cui anche il valore del coefficiente di variazione CV risulta costante: si definiscono così le sottozone omogenee al 2°livello di regionalizzazione. In tali zone risulta univoca la distribuzione della variabile ridotta X'' = X/θ1:

$$P(X'')=\exp(-\Lambda 1\exp(-X'')-\Lambda^{*}\Lambda 11/\theta^{*}\exp(-X''/\theta^{*}))$$

Il valore di Λ1 valido per tutta l'area omogenea al secondo livello puo essere ricavato attraverso la media del coefficiente di variazione della componente ricavabile dalla seguente espressione:

$$CV_1 = \frac{0.557}{(\log \Lambda 1 + 0.251)}$$

È dimostrabile inoltre che il rapporto tra la variabile aleatoria "altezza di pioggia massima annuale di assegnata durata" Xd ed il suo valore atteso E[Xd] (pioggia indice) risulta identicamente distribuito in una sottozona omogenea al 2° livello. Tale rapporto, esplicitato rispetto al tempo di ritorno T così definito:

$$T = \frac{1}{1 - P(X_d)}$$

rappresenta la cosiddetta curva di crescita KT:

$$K_T = \frac{X_d(T)}{E[X_d]}$$

la quale indica il ritmo con cui le piogge si fanno più intense all'aumentare del tempo di ritorno. Il valore atteso è ricavabile con la seguente espressione:

$$\mu = E[X] = \left[\ln(\Lambda_1) + \gamma_E - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma(\frac{j}{\theta_*}) \right] \theta_1$$

dove γE = 0.57722 è la costante di Eulero.

Pertanto ogni sottozona omogenea è caratterizzata da una propria curva di crescita espressa come:

$$P(X'')=\exp(-\Lambda 1\exp(-\alpha X')-\Lambda^{*}\Lambda 11/\theta^{*}\exp(-\alpha X'/\theta^{*}))$$

La verifica della ipotesi di omogeneità viene condotta in genere confrontando le distribuzioni, campionarie e teoriche, dell'asimmetria G e del coefficiente di variazione CV, sia al primo che al secondo livello di regionalizzazione. Per la stima della distribuzione teorica del coefficiente di asimmetria e del coefficiente di variazione si ricorre a tecniche di generazione del tipo Montecarlo.

3.3 Inferenza statistica

Le stazioni analizzate sono riportate nella Tabella 3.1.

Codice	Nome	Quota	X	Y
911	Cavallina_auto	270	1678958	4872708
921	Mangona_auto	525	1676018	4879748
1147 (1228)	S-Colombano_auto (Ponte_a_Signa_auto)	34	1671504	4849460
1150 (1151)	Cantagallo (Cantagallo_auto)	582	1666903	4876463
1170 (1165) (1171)	S-Quirico_di_Vernio (Sasseta_di_Vernio) (Vernio_auto)	434	1672613	4880158
1190 (1189)	Le_Croci_di_Calenzano (Le_Croci_di_Calenzano_auto)	440	1677648	4868133
1200 (1201)	Calenzano (Calenzano_auto)	67	1673918	4859538
1210	Prato_Galceti	90	1667225	4863893
1215	S-Giusto_auto	40	1676595	4847277
1220	Sesto_Fiorentino	55	1678038	4857558
1225	Case_Passerini_auto	36	1675069	4853382
1230 (1205)	Prato_in_Toscana (Prato_università_auto)	70	1669875	4860657
1240	Piteccio	235	1652148	4875118
1260	Pistoia	88	1653028	4867353

Codice	Nome	Quota	X	Y
(1257)	(Pistoia_Frutticoltura)			
(1258)	(Pistoia_vivaio)			
(1261)	(Pontelungo_PT_auto)			
1263	Baggio_auto	498	1657446	4872514
1276	Olmi			
(1269)	(La_Ferruccia_auto)	45	1659632	4858751
1280	La_Rugea			
(1281)	(La_Rugea_II)			
(1212)	(Capalle_auto)	36	1667338	4854883

Tabella 3.1 - Stazioni oggetto dell'inferenza statistica

Nella Tabella 3.1 sono presenti codici tra parentesi; si intende in tal caso che i dati di stazioni vicine sono stati assunti come facenti parte di una unica serie storica (come ad esempio nel caso di stazioni manuali sostituite da stazioni automatiche). I dati utilizzati sono riportati nell'allegato A mentre la posizione delle stazioni è riportata nell'allegato B.

Sono riportati sia i dati registrati che i dati ricostruiti per quelle durate per le quali risultavano assenti. La ricostruzione ha riguardato principalmente le durate inferiori all'ora.

I valori mancanti sono stati interpolati con un funzionale del tipo $h = ad^n$. I parametri *a* ed *n* sono ricavati in funzione dei valori posti agli estremi dell'intervallo mancante. In caso di estrapolazione sono utilizzati i due valori disponibili per le durate superiori, in questo caso per il parametro n è stato assunto un valore limite superiore di 0.4.

Per ciascuna durata si è assunto che la zona fosse omogenea al secondo livello e che, pertanto, per ciascuna durata fosse ricavabile una unica curva di crescita. Tale ipotesi differisce da quella utilizzata negli studi condotti dalla Regione Toscana. Peraltro essa presenta una maggiore stabilità dei risultati specie in casi come questo in cui è stato necessario utilizzare serie storiche con un numero di dati ridotto.

Per ciascuna durata sono stati calcolati in parametri statistici e ricavati i parametri del modello TCEV al secondo livello di regionalizzazione, i parametri sono riportati nell'allegato A.

La bontà dell'adattamento è stata valutata confrontando la distribuzione campionaria della variabile adimensionalizzata Y e della variabile X' con quella ricavabile da modello, i grafici della variabile X' (curva di crescita) sono riportati nell'allegato A assieme ai percentili per vari tempi di ritorno.

3.4 Calcolo delle CPP - Curve di Possibilità Pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica sono state ricavate in funzioni dei percentili dedotti dalla inferenza statistica attraverso una regressione lineare multipla sui logaritmi.

Le curve di possibilità pluviometrica sono riportate nella Tabella 3.2.

	> ora			< ora		
	A	N	M	A	N	M
911	31.130	0.271	0.154	29.902	0.479	0.152
921	33.206	0.277	0.154	34.305	0.494	0.152
1147	29.590	0.193	0.154	27.831	0.486	0.152
1150	29.189	0.419	0.154	28.060	0.414	0.152
1170	28.855	0.383	0.154	27.934	0.380	0.152
1190	29.011	0.294	0.154	27.620	0.398	0.152
1200	23.935	0.258	0.154	22.912	0.387	0.152
1210	33.105	0.235	0.154	31.547	0.481	0.152
1215	30.971	0.214	0.154	30.233	0.540	0.152
1220	24.610	0.258	0.154	22.276	0.443	0.152
1225	25.364	0.256	0.154	23.254	0.445	0.152
1230	28.474	0.250	0.154	27.112	0.387	0.152
1240	32.626	0.369	0.154	31.080	0.404	0.152
1260	30.783	0.310	0.154	28.545	0.459	0.152
1263	33.931	0.306	0.154	31.369	0.508	0.152
1276	30.782	0.257	0.154	27.687	0.432	0.152
1280	24.424	0.277	0.154	23.259	0.384	0.152

Tabella 3.2 - Stazioni pluviometriche e curve di possibilità pluviometrica.

Si osservi inoltre che l'esponente del tempo di ritorno risulta lo stesso per tutte le stazione per le durate inferiori e superiori all'ora.

3.5 I dati territoriali

Il 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 di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche. La redazione delle mappe relative alle grandezze idrologiche viene in genere condotta a partire dalla carta dell'uso del suolo e della geolitologia del bacino attribuendo a ciascun tipo di suolo o formazione geologica dei valori di riferimento e una data variabilità spaziale.

Per la definizione dei bacini idrografici e delle linee di impluvio è stato utilizzato un modello digitale del terreno (DTM) di maglia 10mx10m. Tale modello digitale è stato ricavato dalla cartografia scala 1:2000 integrato per la parte montana con il modello digitale prodotto a cura della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

La mappa della geolitologia è stata 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. La legenda della cartografia utilizzata (Tabella 3.3) è stata omogeneizzata con quella analoga del limitrofo comune di Montemurlo ricadente anch'esso nell'area di studio.

Codice	Descrizione
1	a1-Frane con indizi di evoluzione
2	a2-Frane senza indizi di evoluzione
3	a4-Detrito eluvio-colluviale
4	aC-("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore
5	alb-("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
6	all-Alluvioni recenti e attuali Olocene
7	APA-Argille a Palombini
8	AQR1-Membro arenaceo della Formazione dell'Acquerino
9	AQR2-Membro pelitico-arenaceo della Formazione dell'Acquerino
10	b-Alluvioni attuali e recenti

Codice	Descrizione
11	cb-argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
12	cC-calcari a Calpionelle
13	Ccl-Calcari a Calpionelle
14	cd-Conoidi Olocene
15	con-Conoide
16	d-diaspri
17	di-("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
18	DSA-Diaspri di Monte Alpe
19	dt-Detriti e terreni di copertura
20	f1-Depositi fluviali attuali e recenti
21	f2-Depositi fluviali antichi
22	fl-(formazione di Iavello) argilloscisti siltosi prevalenti con arenarie quarzoso-calcaree micacee fini tipo "pietraforte" Cretaceo superiore
23	fM-(formazione di Montemurlo) arenarie tipo "pietraforte" non chiaramente torbiditiche con lenti di conglomerato grossolano Cretaceo superiore?
24	G-gabbri
25	GAB-Gabbri
26	MLL-Formazione di Monte Morello
27	MVV-Marne Varicolori
28	OFL-Olistoliti ofiolitici
29	ol-olistostromi
30	pb- ("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf
31	pf-("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varieta' ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.
32	rip-Riporto
33	S-Serpentiniti
34	SER-Serpentiniti
35	SIL-Formazione di Sillano
36	SILa-Litofacies arenacea della Formazione di Sillano
37	SILb-Litofacies pelitico-arenacea della Formazione di Sillano
38	SILc-Litofacies calcareo-siltosa della Formazione di Sillano

Tabella 3.3 - Legenda della carta geolitologica

La mappa dell'uso del suolo è stata 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. La legenda della cartografia utilizzata (Tabella 3.4) è stata omogeneizzata con quella analoga del limitrofo comune di Montemurlo ricadente anch'esso nell'area di studio.

Codice	Descrizione
1	Tessuto urbano continuo
2	Tessuto urbano discontinuo
3	Aree industriali o commerciali
4	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	Aree estrattive
6	Aree verdi urbane
7	Aree sportive e ricreative
8	Seminativi in aree non irrigue
9	Vigneti
10	Oliveti
11	Prati stabili
12	Zone agricole eterogenee
13	Colture permanenti, colture annuali associate a colture permanenti
14	Sistemi colturali e particellari complessi
15	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
16	Boschi di latifoglie
17	Boschi di conifere
18	Boschi misti
19	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
20	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	Brughiere e cespuglieti
22	Zone aperte con vegetazione rada o assente
23	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
24	Aree percorse da incendio
25	Paludi interne
26	Corsi d'acqua, canali e idrovie
27	Aree aperte con vegetazione naturale
28	Formazioni riparie
29	Vivaio, serre e ortoflorovivaismo

Tabella 3.4 - Legenda della carta dell'uso del suolo

Le suddette mappe sono riportate nell'allegato B.

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. Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

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

Il tempo di trasferimento per ciascuna cella, dipendente da entrambi i fenomeni sopra richiamati, è stimato in funzione della sua distanza dalla foce.

Si è quindi operato sul modello digitale del terreno 10x10m al fine di ricavare nel modo corretto il raster dei "puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento". Il raster 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 funzione dell'area del bacino a monte e della pendenza del reticolo idrografico. La relazione, i cui coefficienti numerici scaturiscono dalla fase di taratura, risulta del tipo:

$$v = 1.2 \times A^{0.15} \times S^{0.2}$$

dove *v* è la velocità di trasferimento in [m/s], *A* è l'area del bacino espresso in [kmq], *S* è la pendenza dell'asta fluviale.

Sulla base delle coordinate delle stazioni pluviometriche viene calcolata la mappa dei topoieti per il ragguaglio delle precipitazioni sul bacino.

Dalle mappe della geolitologia e dell'uso del suolo, attraverso la stima dei parametri idraulici delle diverse formazioni corrette in base alle diverse coperture, vengono ricavate le mappe distribuite riguardanti la capacità di massima ritenuta del suolo e la velocità di infiltrazione a saturazione.

La capacità di ritenuta del suolo (indicata con SC, Storage Capacity) viene inizialmente stimata in funzione delle caratteristiche geolitologiche. Nella Tabella 3.5 viene riportata l'associazione tra ogni classe geolitologica e il valore medio e la deviazione standard della capacità di ritenuta.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	100	50	a1-Frane con indizi di evoluzione
2	100	50	a2-Frane senza indizi di evoluzione
3	100	50	a4-Detrito eluvio-colluviale
4	62	31	aC-("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore
5	56	28	alb-("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
6	80	40	all-Alluvioni recenti e attuali Olocene
7	56	28	APA-Argille a Palombini
8	62	31	AQR1-Membro arenaceo della Formazione dell'Acquerino
9	90	45	AQR2-Membro pelitico-arenaceo della Formazione dell'Acquerino
10	80	40	b-Alluvioni attuali e recenti
11	56	28	cb-argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
12	32	16	cC-calcari a Calpionelle
13	32	16	Ccl-Calcari a Calpionelle
14	100	50	cd-Conoidi Olocene
15	100	50	con-Conoide
16	32	16	d-diaspri
17	32	16	di-("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
18	32	16	DSA-Diaspri di Monte Alpe
19	100	50	dt-Detriti e terreni di copertura
20	80	40	f1-Depositi fluviali attuali e recenti
21	80	40	f2-Depositi fluviali antichi
22	56	28	fl-(formazione di Iavello) argilloscisti siltosi prevalenti con arenarie quarzoso-calcaree micacee fini tipo "pietraforte" Cretaceo superiore

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
23	62	31	fM-(formazione di Montemurlo) arenarie tipo "pietraforte" non chiaramente torbiditiche con lenti di conglomerato grossolano Cretaceo superiore?
24	30	15	G-gabbri
25	30	15	GAB-Gabbri
26	32	16	MLL-Formazione di Monte Morello
27	56	28	MVV-Marne Varicolori
28	68	34	OFL-Olistoliti ofiolitici
29	68	34	ol-olistostromi
30	56	28	pb- ("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf
31	62	31	pf-("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varieta' ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.
32	100	50	rip-Riporto
33	30	15	S-Serpentiniti
34	30	15	SER-Serpentiniti
35	56	28	SIL-Formazione di Sillano
36	62	31	SILa-Litofacies arenacea della Formazione di Sillano
37	90	45	SILb-Litofacies pelitico-arenacea della Formazione di Sillano
38	56	28	SILc-Litofacies calcareo-siltosa della Formazione di Sillano

Tabella 3.5 - Capacità di ritenuta per ciascuna classe geolitologica

Alla capacità di ritenuta propria del suolo viene aggiunta un'ulteriore quota di potenziale accumulo riconducibile al fattore uso del suolo. Tale contributo rispecchia prevalentemente la capacità di intercettazione propria della vegetazione: non si tratta quindi di una modificazione della capacità di accumulo del suolo precedentemente stimata, quanto piuttosto di una possibile quantificazione di un fenomeno legato alla copertura vegetale. L'effetto è comunque, nell'ottica del modello idrologico utilizzato, equivalente ad una maggiorazione della capacità di ritenuta, e come tale viene computato. Anche in questo caso vengono riportati in Tabella 3.6, per ogni classe, un valore medio e la sua deviazione standard.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	0.1	0.05	Tessuto urbano continuo
2	0.1	0.05	Tessuto urbano discontinuo
3	0.1	0.05	Aree industriali o commerciali
4	0.1	0.05	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	0.1	0.05	Aree estrattive
6	15	7.5	Aree verdi urbane
7	5	2.5	Aree sportive e ricreative
8	15	7.5	Seminativi in aree non irrigue
9	5	2.5	Vigneti
10	5	2.5	Oliveti
11	10	5	Prati stabili
12	10	5	Zone agricole eterogenee
13	10	5	Colture permanenti, colture annuali associate a colture permanenti
14	5	2.5	Sistemi colturali e particellari complessi
15	15	7.5	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
16	20	10	Boschi di latifoglie
17	20	10	Boschi di conifere
18	20	10	Boschi misti
19	5	2.5	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
20	5	2.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	10	5	Brughiere e cespuglieti
22	5	2.5	Zone aperte con vegetazione rada o assente
23	10	5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
24	5	2.5	Aree percorse da incendio
25	20	10	Paludi interne
26	20	10	Corsi d'acqua, canali e idrovie
27	5	2.5	Aree aperte con vegetazione naturale
28	20	10	Formazioni riparie
29	1	0.5	Vivaio, serre e ortoflorovivaismo

Tabella 3.6 - Capacità di ritenuta aggiuntiva per ciascuna classe di uso del suolo

Come già accennato, i valori della velocità di infiltrazione a saturazione (Ks), che nel modello considerato regolano il meccanismo di perdite del suolo, vengono anch'essi

derivati dalle caratteristiche litologiche. Di seguito viene riportata la Tabella 3.7 che mette in relazione tali caratteristiche con i valori medi e la deviazione standard del suddetto fattore.

Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
1	8	4	a1-Frane con indizi di evoluzione
2	8	4	a2-Frane senza indizi di evoluzione
3	8	4	a4-Detrito eluvio-colluviale
4	1.55	0.775	aC-("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore
5	0.5	0.25	alb-("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
6	0.5	0.25	all-Alluvioni recenti e attuali Olocene
7	0.5	0.25	APA-Argille a Palombini
8	1.55	0.775	AQR1-Membro arenaceo della Formazione dell'Acquerino
9	1.05	0.525	AQR2-Membro pelitico-arenaceo della Formazione dell'Acquerino
10	0.5	0.25	b-Alluvioni attuali e recenti
11	0.5	0.25	cb-argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
12	7.75	3.875	cC-calcari a Calpionelle
13	7.75	3.875	Ccl-Calcari a Calpionelle
14	8	4	cd-Conoidi Olocene
15	8	4	con-Conoide
16	3.88	1.94	d-diaspri
17	3.88	1.94	di-("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
18	3.88	1.94	DSA-Diaspri di Monte Alpe
19	8	4	dt-Detriti e terreni di copertura
20	0.5	0.25	f1-Depositi fluviali attuali e recenti
21	0.5	0.25	f2-Depositi fluviali antichi
22	1.05	0.525	fl-(formazione di Iavello) argilloscisti siltosi prevalenti con arenarie quarzoso-calcaree micacee fini tipo "pietraforte" Cretaceo superiore
23	1.55	0.775	fM-(formazione di Montemurlo) arenarie tipo "pietraforte" non chiaramente torbiditiche con lenti di conglomerato grossolano Cretaceo superiore?
24	1	0.5	G-gabbri
25	1	0.5	GAB-Gabbri
26	4.65	2.325	MLL-Formazione di Monte Morello
27	0.5	0.25	MVV-Marne Varicolori
28	1	0.5	OFL-Olistoliti ofiolitici
29	1	0.5	ol-olistostromi

Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
30	0.5	0.25	pb- ("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf
31	1.55	0.775	pf-("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varieta' ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.
32	8	4	rip-Riporto
33	1	0.5	S-Serpentiniti
34	1	0.5	SER-Serpentiniti
35	0.5	0.25	SIL-Formazione di Sillano
36	1.55	0.775	SILa-Litofacies arenacea della Formazione di Sillano
37	1.05	0.525	SILb-Litofacies pelitico-arenacea della Formazione di Sillano
38	1.25	0.625	SILc-Litofacies calcareo-siltosa della Formazione di Sillano

Tabella 3.7 - Velocità di infiltrazione a saturazione per ciascuna classe geolitologica

La velocità di infiltrazione a saturazione così calcolata è stata corretta moltiplicandola con una fattore dipendente dall'uso del suolo variabile come riportato nella.Tabella 3.8.

Codice	IN media	IN dev.sta.	Descrizione
1	0.3	0.15	Tessuto urbano continuo
2	0.3	0.15	Tessuto urbano discontinuo
3	0.2	0.1	Aree industriali o commerciali
4	0.9	0.45	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	1	0.5	Aree estrattive
6	1	0.5	Aree verdi urbane
7	1	0.5	Aree sportive e ricreative
8	1.3	0.65	Seminativi in aree non irrigue
9	1.1	0.55	Vigneti
10	1.1	0.55	Oliveti
11	1	0.5	Prati stabili
12	0.9	0.45	Zone agricole eterogenee
13	1.1	0.55	Colture permanenti, colture annuali associate a colture permanenti
14	0.9	0.45	Sistemi colturali e particellari complessi
15	1.3	0.65	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
16	1.2	0.6	Boschi di latifoglie
17	1.2	0.6	Boschi di conifere

Codice	IN media	IN dev.sta.	Descrizione
18	1.2	0.6	Boschi misti
19	1	0.5	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
20	1	0.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	1	0.5	Brughiere e cespuglieti
22	1	0.5	Zone aperte con vegetazione rada o assente
23	1	0.5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
24	1	0.5	Aree percorse da incendio
25	1	0.5	Paludi interne
26	1	0.5	Corsi d'acqua, canali e idrovie
27	1	0.5	Aree aperte con vegetazione naturale
28	1.2	0.6	Formazioni riparie
29	0.1	0.05	Vivaio, serre e ortoflorovivaismo

Tabella 3.8 - Moltiplicatore della velocità di infiltrazione a saturazione

3.6 La struttura del modello idrologico

Il modello idrologico simula il processo di generazione e trasferimento dei deflussi attraverso la successione, per ciascuna cella e per tutti i passi temporali, delle seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione.
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e 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.

Nella Figura 3.1 si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità

di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

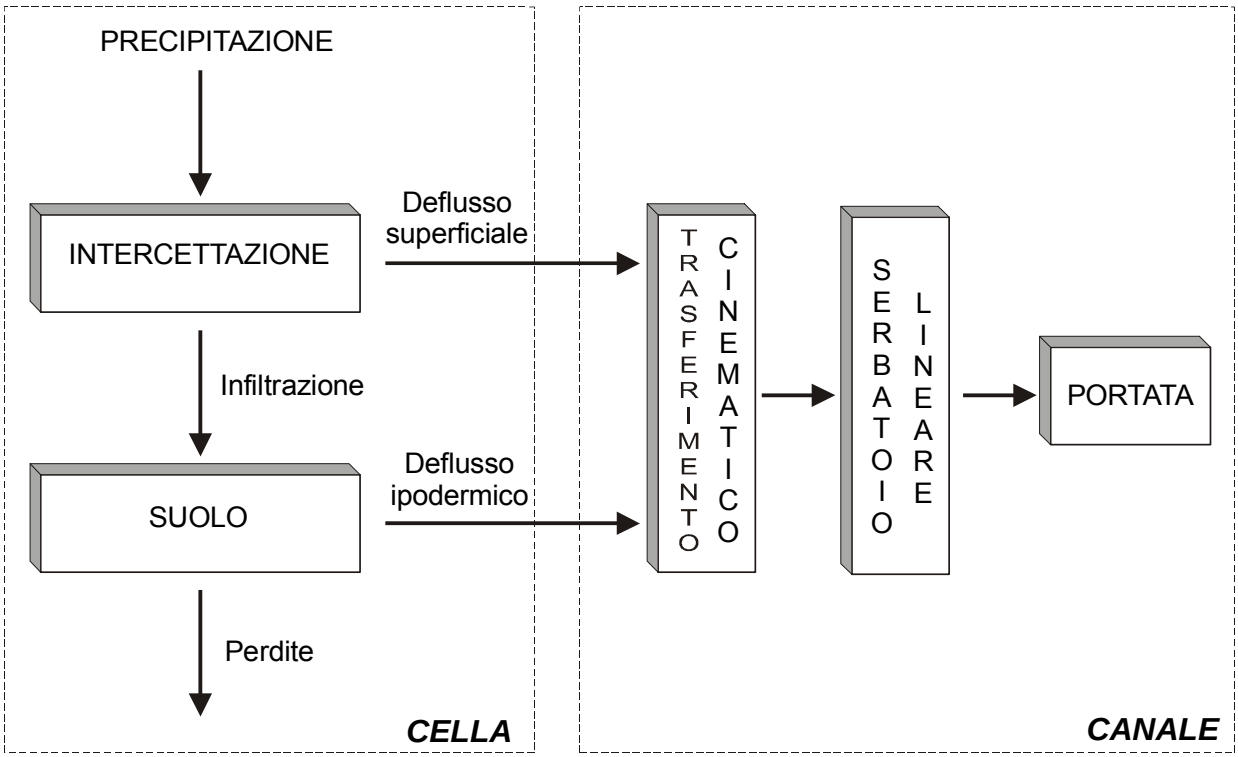

Figura 3.1 - Schema del modello afflussi-deflussi

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle mappe raster relative. Per quanto riguarda il deflusso ipodermico si assume che esso sia funzione della velocità di filtrazione a saturazione.

Passando all'algoritmo di calcolo, con riferimento alle variabili elencate nella Tabella 3.9 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

1 - l'afflusso sulla singola cella, Pik, [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, Ks [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:

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

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

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

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio θ_0 [mm] è uguale a $\alpha_0 \theta_{max}$, dove α_0 è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e θ_{max}, pertanto si possono distinguere tre casi:

- essiccamento del suolo:
θk+1 = 0
Q1k = θk /dt+Pik - Ks
Ieff = Ks

- saturazione del suolo:
θk+1 = θmax
Q1k = 0
Ieff = θk /dt+Pik

- caso intermedio:
0 < θk+1 < θmax
Q1k = (θk -θmax)+Pik - Ks
Ieff = Ks

4 - 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 Cs [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come $1/\tau_i$ e φ_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 Qk di un fattore pari a τ_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:

αo = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];
RI = coefficiente moltiplicativo del raster 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 [/].

Simbolo	Significato	unità misura
Pik	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
Δt	passo temporale	[h]
Dx	passo spaziale	[m]
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (storage capacity)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
T	valore dei tempi di trasferimento	[h]
Tc= CI T	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
Ti=(1-CI)	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di	[h]
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
θmax=RI SC	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile	[mm]
Ks= IN KL	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
τc= Tc/MT	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
τi= Ti/MT	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
Cs=1/τi	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
αo	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità	[/]
θo	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
K=IP(KL/SC)	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
θk	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
Ieff	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
Q1k	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
φk	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
Qk	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella 3.9 - Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-defflussi

3.7 Le portate di piena

La stima delle portate di piena è stata condotta considerando i seguenti tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

Il modello idrologico sopra descritto è stato applicato con le modalità illustrate ai paragrafi successivi.

3.8 Le precipitazioni

L'input di precipitazione, in termini di ietogramma di pioggia, è stato ricavato sulla base curve di possibilità pluviometria (C.P.P.) prima riportate.

Lo ietogramma adottato è del tipo a intensità constante in accordo con la metodologia adottata negli studi per la Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana.

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

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

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

Il valore di Kr dipende da tre fattori:

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

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

$$Kr = 1 - \exp(-\alpha t^{\beta}) + \exp(-\alpha t^{\beta} - \gamma A)$$

dove α, β e γ sono i parametri della formula, t [h] la durata della precipitazione e A [km²] l'area del bacino.
Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:
α = 0.036×a', dove a' è il parametro della curva di possibilità;
β = 0.25;
γ = 0.01.

3.9 I parametri del modello afflussi – deflussi

I parametri del modello di generazione delle portate al colmo sono stati derivati da analoghi studi condotti nel bacino della Val di Nievole [3] e sulla base del confronto tra i risultati del presente modello e quelli forniti dal programma per la regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana.

I tempi di trasferimento sono stati valutati nella ipotesi che la velocità di trasferimento nella singola sezione sia funzione dell'area del bacino a monte e della pendenza del reticolo idrografico.

Nella Tabella 3.10 si riportano i valori dei parametri adottati per la ricostruzione delle portate di piena nelle diverse aree di seguito specificate:

Grado di saturazione iniziale = Θ	0.80
Coefficiente di ripartizione cinematico/invaso = CI	0.45
Coefficiente deflusso ipodermico = IP	1.52
Molt. Velocità di trasferimento = MT	1.62
Molt. Infiltrazione a saturazione = IN	0.50
Molt. Capacità di Ritenuta = RI	1.79

Tabella 3.10 - Parametri del modello idrologico medi bacini di acque alte

I parametri CI, IP, IN e RI sono stati assunti uguali a quelli ricavati dalla taratura su eventi reali nel citato studio sui corsi d'acqua della Val di Nievole.

I parametri Θ e MT è stati ricavato per confronto con i valori del modello di regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana.

Nella Figura 3.2 si riporta il confronto tra i tempi di ritardo del modello PIENE (il modello a parametri distribuiti adottato) e il modello ALTO (modello della Regione Toscana [2]), i due andamenti risultano del tutto concordi.

Nella Figura 3.3 si riporta il confronto tra le portate calcolate dal modello ALTO e le portate calcolate dal modello PIENE per il tempo di ritorno di 100 anni. I due andamenti sono del tutto concordi anche se il modello PIENE fornisce valori inferiori di portata per i bacini di ridotte dimensioni.

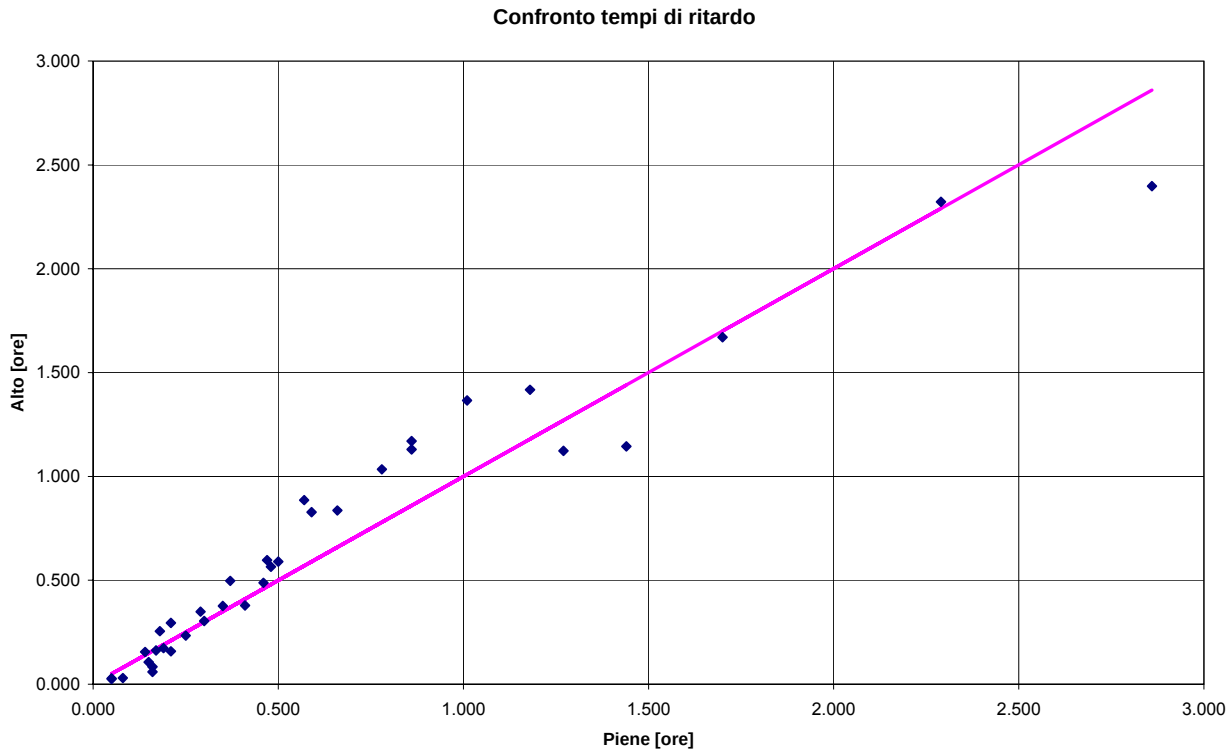

Figura 3.2 - Confronto tra i tempi di ritardo di PIENE e di ALTO

3.10 Calcolo delle portate di piena

La valutazione degli idrogrammi di piena è stata condotta sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti utilizzando il modello afflussi-deflussi i cui parametri sono stati tarati come descritto e applicando l'input di precipitazione con intensità costate e coerente con le Curve di Possibilità Pluviometrica.

Le portate al colmo calcolate con il modello sono riportate in allegato C per una serie di sezioni di interesse.

Le portate con cui condurre le verifiche idrauliche sono state ricavate in una serie di immissioni nel reticolo di studio in punti che costituiscono un sottoinsieme delle sezioni di interesse.

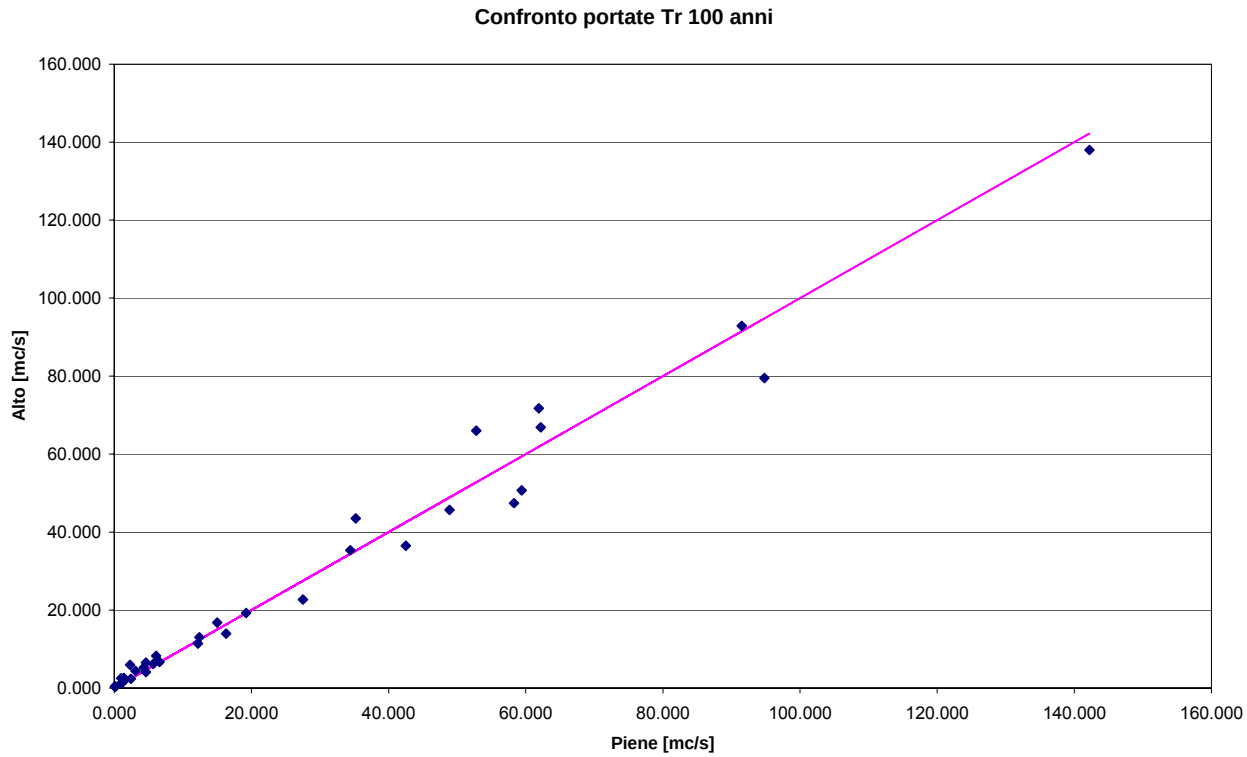

Figura 3.3 - Confronto tra portate stimate con PIENE e con ALTO per Tr=100 anni

Le verifiche saranno condotte per eventi di diversa durata, variabili da 0.5 a 7.5 ore. Per ciascuna delle durate è stato assunto un coefficiente di ragguaglio della precipitazione Kr calcolato in funzione dei dati ricavabili dal modello ALTO su una serie di sezioni ricadenti nell'area di studio. In Figura 3.4 si riporta l'andamento del Kr con la durata per le sezioni prescelte.

I valori del Kr adottati per le diverse durate sono pertanto riportati nella Tabella 3.11.

Durate [ore]	Kr
0.5	0.99
1	0.98
1.5	0.97
2.5	0.96
3.5	0.95
5.5	0.92
7.5	0.89

Tabella 3.11 - Valore del Kr per le diverse durate

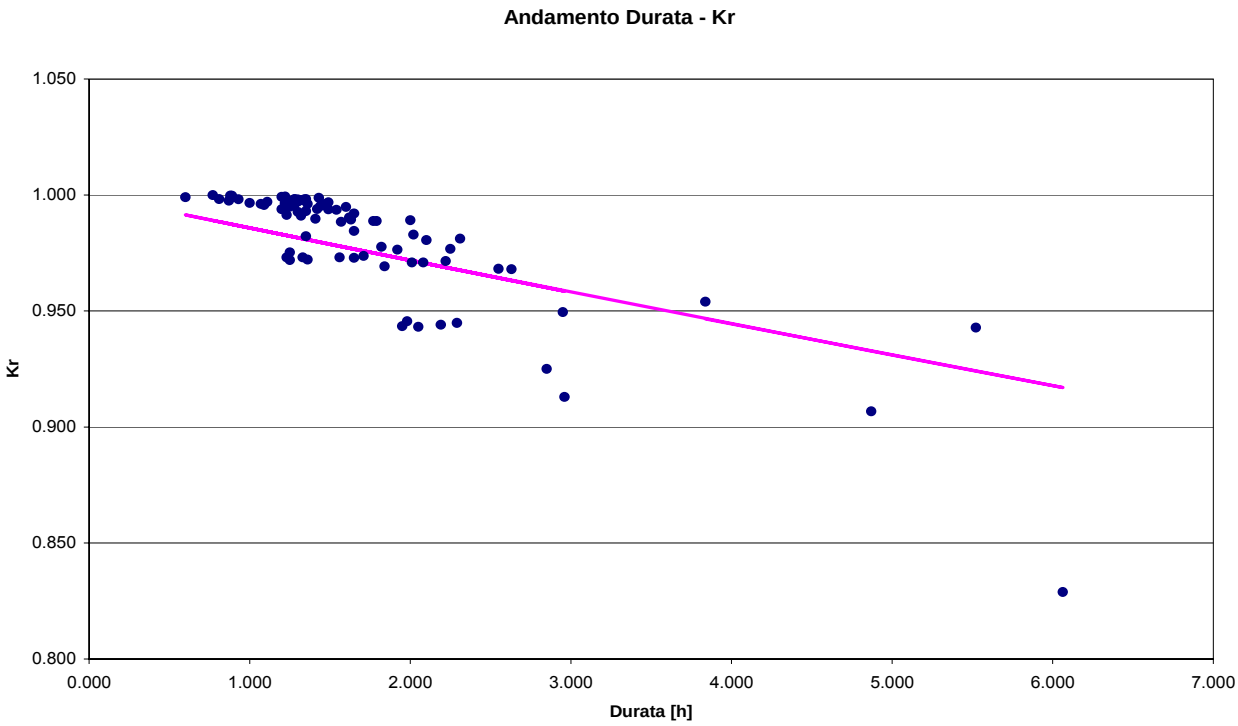

Figura 3.4 - Andamento del Kr con la durata

3.11 Confronto con gli studi precedenti

Nella Tabella 3.12 si riportano, per completezza, i confronti tra le portate al colmo desunte dal presente studio con i valori stimati negli studi citati nel Capitolo 2.

Corso d'acqua	Sezione	Portata Presente studio (mc/s)	Riferimento studio esistente	Portata studio esistente (mc/s)
Torrente Stregale	ST0001	Q100 =13.4	[5]	Q100 = 20.0
Torrente Stregale	ST0001	Q200 = 15.3	[5]	Q200 = 22.9
Torrente Funandola	FU0001	Q100 = 17.1	[5]	Q100 = 22.8
Torrente Funandola	FU0001	Q200 = 19.7	[5]	Q200 = 26.1
Fosso Mendancione	ME5036	Q100 = 15.2	[7]	Q100 = 32.5
Fosso Ficarello	FI0008A_	Q200 = 23.2	[8]	Q200 = 16.5

Tabella 3.12 - Confronto tra portate al colmo

Da tener presente che la discrepanza che si osservano sono in parte attribuibili alla presenza della opere di laminazione nel frattempo realizzate, e in parte al maggior

dettaglio di schematizzazione dei dati territoriali (uso del suolo, geolitologia, morfologia) utilizzato nell'ambito del presente studio.
In ogni caso, i valori stimati delle portate al colmo per tutti i corsi d'acqua considerati nel presente studio, messi a confronto con i valori desunti da ALTO per gli stessi corsi d'acqua (corretti inserendo l'area effettiva del bacino alla sezione considerata), mostrano un soddisfacente accordo su tutto il campo di portate analizzato, come si evince dalla Figura 3.3.

3.12 I parametri del modello afflussi – deflussi

I parametri del modello di generazione delle portate al colmo sono stati definiti sulla base di analoghi studi condotti nel bacino della Val di Nievole [3] e del confronto tra i risultati del presente modello e quelli forniti dal programma per la regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana ALTO.

4 ANALISI IDRAULICA

4.1 Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio nel comune di Montemurlo

L'elenco dei corsi d'acqua considerati nell'ambito del presente studio è riportato nella Tabella 4.1, ove in grassetto sono evidenziati quelli ricadenti (o comunque di interesse) nel territorio di Montemurlo.

Per ciascun corso d'acqua sono indicati:

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

Sigla	Codice tratto	Lunghezza [m]	Sigla	Codice tratto	Lunghezza [m]
AG	**Agna_01**	45.8	FU	**Funandola**	4353.2
AG	**Agna_02**	7845.3	GR	**Gramigneto**	546.2
AC	**Agna_Conche**	528.3	MA	Mazzaccheri_fg	171.0
AN	**Agnaccino_01**	1580.1	ME	**Mendacione_01**	2243.9
AN	**Agnaccino_02**	285.4	ME	**Mendacione_02**	849.4
SA	**Agnaccino_sc_01**	929.0	ME	**Mendacione_03**	666.4
SM	**Agnaccino_sc_02**	110.0	ME	**Mendacione_04**	707.3
BA	Badia_01	1093.0	CM	**Mendacione_fo**	280.5
BA	Badia_02	2618.4	FM	Molini_01	1226.8
BG	Bagnolo	7201.3	FM	Molini_02	1684.8
BU	Bure_01	698.5	FM	Molini_03	1033.8
BU	Bure_02	1065.0	FM	Molini_dv_01	302.9
BU	Bure_03	123.5	FM	Molini_dv_02	202.9
BU	Bure_04	1299.0	SC	Molini_sc	425.1
BU	Bure_05	521.6	PL	**Poltronova**	188.5
BU	Bure_06	366.0	SE	Settola	3767.6
BU	Bure_07	63.0	ST	**Stregale_01**	2253.1
CA	Calice	1923.9	ST	**Stregale_02**	1088.6
FI	**Ficarello**	4157.7	SD	**Stregale_dv**	407.6

Tabella 4.1 – Elenco dei corsi d'acqua considerati.

4.2 Schematizzazione dell'area

Il sistema idraulico considerato, schematizzato nel suo complesso per i territori di Montemurlo e Montale come in Figura 4.1, è stato descritto da:

- un insieme di 40 tronchi fluviali opportunamente individuati e compresi tra le diverse confluenze;
- un insieme di 1408 sezioni fluviali;
- un insieme di 415 aree di espansione connesse idraulicamente ai corsi d'acqua;
- un insieme di 2964 connessioni idrauliche tra aree di espansione e corsi d'acqua e tra i tronchi stessi;
- n. 7 portelle di collegamento;
- n. 14 idrovore;
- n. 96 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua.

4.3 La modellistica idraulica

Al fine di rappresentare adeguatamente i diversi fenomeni che governano la propagazione delle piene all'interno dei corsi d'acqua, la loro laminazione per effetto di casse di espansione, nonché la diffusione dei volumi idrici di inondazione sul territorio, è stata adottata una modellistica idraulica che comprende un modello di moto vario unidimensionale, idoneo a rappresentare il moto all'interno dell'alveo, accoppiato ad un modello quasi-bidimensionale per la simulazione dei fenomeni d inondazione del territorio.
Di seguito si descrivono in dettaglio i diversi modelli adottati.

4.3.1 Il modello di moto vario

Il modello idraulico adottato si basa sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente unidimensionale, associate a una opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito. Le equazioni, 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.

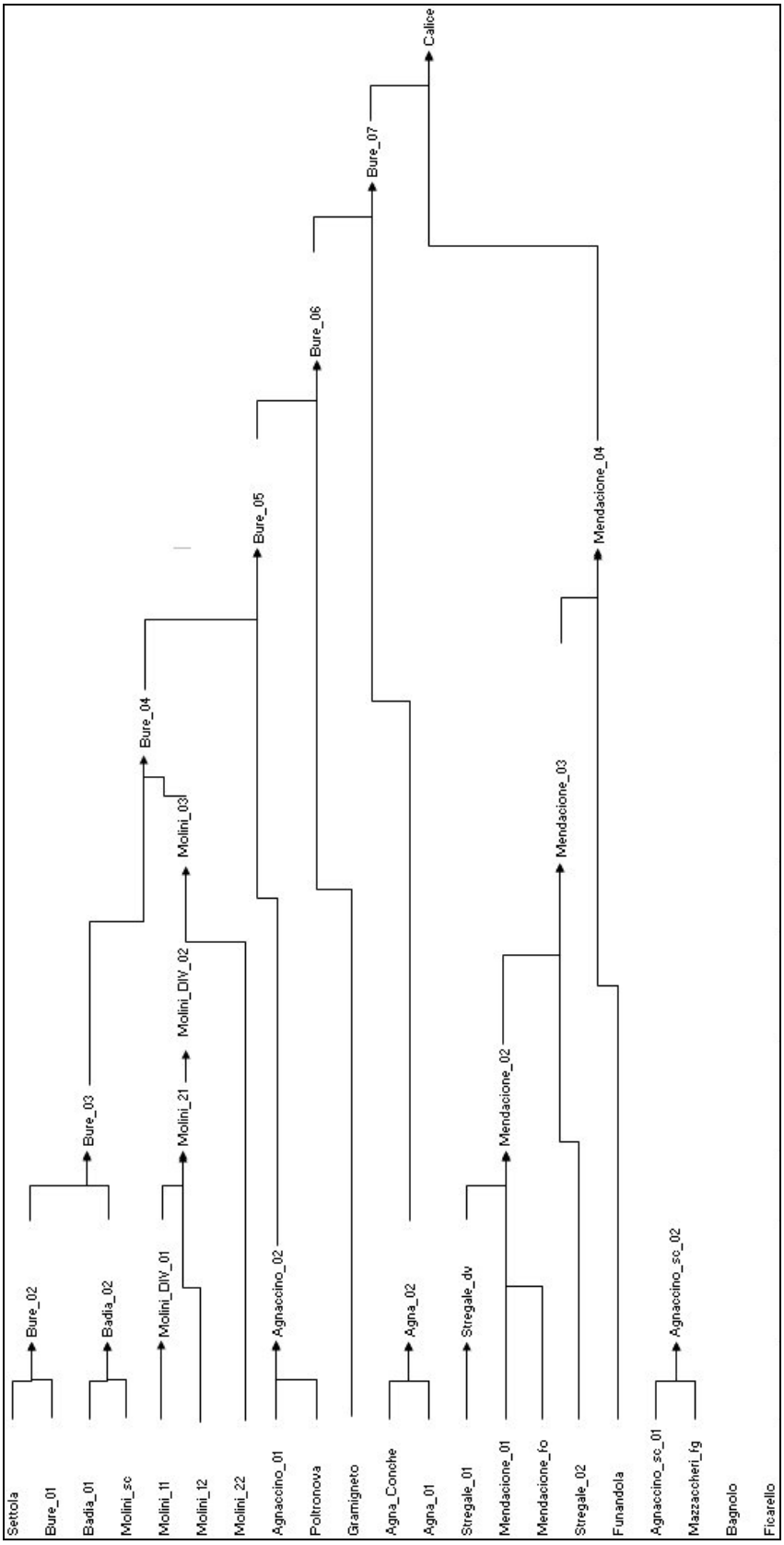

Figura 4.1 – Schema del sistema fluviale

In generale, la risoluzione dello schema di moto vario 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*).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e, per lo schema di moto vario, anche dal passo temporale adottato. Nel presente caso il passo temporale adottato è stato di 15 minuti.

In particolare, le equazioni di moto vario sono state applicate per lo studio della propagazione delle onde di piena, ovvero per la valutazione delle condizioni idrometriche dei corsi d'acqua oggetto del presente studio.
Il modello di moto vario si basa sulle equazioni di continuità e di moto per una corrente liquida incomprimibile e unidirezionale in condizioni non stazionarie; tali equazioni risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t} - J \qquad [4.1]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0 \qquad [4.2]$$

in cui:

- A = area della sezione liquida [m²];
- Q = portata [m³/s];
- q (x) = portata laterale (positiva se entrante) [m²/s];
- H = carico totale della corrente [m];
- g = accelerazione di gravità [m/s²];
- 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 perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R} \qquad [4.3]$$

ove, oltre ai simboli già noti, R è il raggio idraulico e C il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}} \qquad [4.4]$$

ove K_S [$m^{1/3}s^{-1}$] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler. I valori del coefficiente di resistenza K_S attribuiti ai corsi d'acqua analizzati sono riportati in Tabella 4.2.

Codice tratto	K_s [$m^{1/3}s^{-1}$]	Codice tratto	K_s [$m^{1/3}s^{-1}$]
Agna_01	30	Ficarello	30
Agna_02	30	Funandola	45
Agna_Conche	30	Gramigneto	45
Agnaccino_01	45	Mazzaccheri_fg	60
Agnaccino_02	45	Mendacione_01	36
Agnaccino_sc_01	60	Mendacione_02	36
Agnaccino_sc_02	60	Mendacione_03	36
Badia_01	45	Mendacione_04	36
Badia_02	45	Mendacione_fo	45
Bagnolo	30	Molini_01	45
Bure_01	30	Molini_02	45
Bure_02	30	Molini_03	45
Bure_03	30	Molini_dv_01	45
Bure_04	30	Molini_dv_02	45
Bure_05	30	Molini_sc	45
Bure_06	30	Poltronova	45
Bure_07	30	Settola	30
Calice	30	Stregale_01	45

Tabella 4.2 – Valori del coeff. di Gauckler-Strickler attribuiti ai corsi d'acqua analizzati.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si sono valutate le perdite di carico effettivo addizionali, ΔH, mediante la formula:

$$\Delta H = \xi \Delta \left(\alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \qquad [4.5]$$

ove α è il coefficiente di ragguaglio della energia cinetica e ξ può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.9 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento. Tali coefficienti sono stati assunti in generale pari a 0.1 (contrazione) e 0.2 (espansione), in corrispondenza dei ponti e delle botti sono stati utilizzati i coefficienti 0.3 (contrazione) e 0.6 (espansione).

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per via numerica, discretizzandole opportunamente alle differenze finite, e associandovi appropriate condizioni al contorno.

Le equazioni ridotte in forma numerica sono in generale risolte in forma implicita approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini. In particolare sono utilizzate le seguenti formulazioni:

$$\begin{aligned} A &= p_s p_t A_i^k + p_s (1-p_t) A_i^{k+1} + (1-p_s) p_t A_{i+1}^k + (1-p_s)(1-p_t) A_{i+1}^{k+1} \\ \frac{\partial A}{\partial s} &= p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1-p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \\ \frac{\partial A}{\partial t} &= p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1-p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta s} \end{aligned} \qquad [4.6]$$

dove p_s e 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 in genere per p_s e p_t sono rispettivamente di 0.5 e 0.45.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, per le sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo di calcolo 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.
Nell'ipotesi di corrente lenta, le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso nella sezione di chiusura di valle, del tipo:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0 \qquad [4.7]$$

dove *a*, *b*, *c* e q_0 sono i parametri della scala di deflusso, mentre nella sezione di monte si assegna un idrogramma di portata.
Come condizione di valle può essere assunto, inoltre, un livello idrometrico o una portata variabili nel tempo.
Facendo riferimento allo schema della rete fluviale riportato in Figura 4.1, è possibile osservare che nelle presenti simulazioni, essendo il regime di corrente subcritico, sono necessarie quattro differenti condizioni al contorno di valle da porre in corrispondenza delle quattro uscite del sistema definite dal torrente Calice, dal torrente Bagnolo, dal fosso Ficarello e dallo scolmatore del fosso Agnaccino.

Come condizioni al contorno di valle sono state adottate quattro scale di deflusso ubicate in corrispondenza dell'ultima sezione del torrente Calice (sez. CA4013__), del t. Bagnolo (sez. BG4045__), del f. Ficarello (sez. FI0034D_) e dello scolmatore del fosso Agnaccino (sez. SM1003C_). I parametri caratteristici delle suddette scale di deflusso sono riportati in Tabella 4.3.

Scala di deflusso	*a*	h_0	c	q_0
CA4013__.csd	0.74	36.85	2.56	0.0
BG4045__.csd	1.90	39.60	2.34	0.0
FI0034D_.csd	2.94	43.60	2.04	0.0
SM1003C_.csd	2.69	41.30	1.63	0.0

Tabella 4.3 – Valori dei parametri della scala di deflusso adottata come condizione al contorno di valle

E' inoltre possibile inserire una portella che impedisca il rigurgito verso monte annullando la portata. Nelle presenti simulazioni i tratti in cui sono state introdotte delle portelle nelle ultime sezioni di valle sono:

- tratto Mendancione_fo (tra le sezioni CM5011B_ e CM5011C_);
- fosso Gramigneto (tra le sezioni GR1019B_ e GR1020C_);
- diversivo sul fosso Stregale (tra le sezioni SD3010B_ e SD3010C_).

Nel caso di condizioni locali di corrente veloce, la profondità viene fissata sul valore critico. In particolare l'equazione di moto a valle della sezione viene sostituita dalla condizione di corrente critica nella sezione in esame.

La simulazione di eventuali fenomeni di esondazione è stata condotta, come già richiamato, 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, come specificato nel paragrafo successivo.

4.3.2 Il modello di inondazione quasi-bidimensionale

Nelle situazioni in cui si è fatto ricorso alla modellazione *mono-dimensionale pura* le quote di inondazione nelle aree adiacenti al corso d'acqua, e quindi i perimetri delle aree inondabili, si ottengono semplicemente per estensione dei livelli idrometrici stimati in alveo.

Ove la modellazione unidimensionale non risulta più rappresentativa, è stata adottata la modellazione *quasi-bidimensionale 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 (in genere viene considerata tale l'intera superficie delimitata da alti morfologici naturali e/o artificiali) viene immaginata composta da aree elementari connesse idraulicamente tra loro e con l'asta fluviale mediante 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) 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 state dapprima perimetrate individuando gli elementi fisici 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. 1:10000 acquisita in forma digitale vettoriale;

- *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:

  $$V = A(y - y_0)^B \qquad [4.8]$$

  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 (eq. 4.8);
- il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area sia area/area avviene con la legge degli 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 è la seguente:

$$Q_{sf} = l(\mu_1 h_2 - \mu_2 h_1)\sqrt{2gh_1} \qquad [4.9]$$

dove l è la lunghezza della soglia, μ_1 e μ_2 sono pari rispettivamente a 0.65 e 0.4, h_1 e h_2 sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia. 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, in generale con valori compresi tra 1 e 50 m fissati dalla sensibilità e accortezza del modellatore in modo anche da evitare problemi di instabilità numerica.

Con tale schema, il riempimento dell'area di potenziale esondazione è regolato dalle caratteristiche dello sfioratore che, in funzione della quota e della lunghezza, influenza la velocità di riempimento dell'area, o cassa, stessa. Si trascurano in tal caso gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte di inondazione nella cassa.

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. Sono comunque sempre trascurati 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:

$$A_{ck}\frac{\partial h_k}{\partial t}=\sum_i Q_{ki}\left(h_k,h_i\right) \qquad [4.10]$$

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.
Qualora siano presenti organi di sfioro diversi dalla soglia fissa sopra descritta, saranno illustrate caso per caso le schematizzazione adottate.

5 VERIFICHE IDRAULICHE NELLO STATO ATTUALE

L'applicazione della modellistica idraulica descritta in precedenza presuppone:

1) **la conoscenza della geometria dell'alveo** in corrispondenza delle sezioni

E' ovvio che, disponendo di un rilievo topografico di dettaglio, le caratteristiche geometriche, e di conseguenza le caratteristiche del moto, saranno definibili con maggiore affidabilità.
In linea generale, occorre stabilire un numero di sezioni sufficiente affinché:

- ogni sezione sia rappresentativa dei valori medi di velocità e di area bagnata caratteristici del tronco ad essa afferente;
- siano adeguatamente rappresentati i tronchi ove si verificano fenomeni localizzati (ponti, allargamenti, salti di fondo).

Pertanto, il rilievo del corso d'acqua deve esser impostato tenendo conto dei fenomeni idraulici in particolare: dovrà essere esteso verso valle (corrente lenta) o verso monte (corrente veloce) rispetto alla sezione di interesse in lunghezza tale da non risentire di eventuali non affidabili rappresentazioni della condizione al contorno. In generale tale lunghezza, a parità di altre condizioni, si riduce all'aumentare della pendenza media del corso d'acqua. In linea del tutto indicativa, si può affermare che la densità spaziale media delle sezioni da rilevare è correlata alla larghezza media del corso d'acqua.

Per le sezioni fluviali rilevate non perpendicolarmente all'asse del corso d'acqua (come quelle dei viadotti) occorre tenere conto dell'angolo di incidenza della corrente, calcolando di conseguenza la luce effettivamente libera per il deflusso tramite la proiezione della sezione su un piano normale alla direzione della corrente.

Nel caso che le sezioni inclinate rispetto all'asse del torrente contengano ostacoli al deflusso (pile in alveo) è inoltre necessario valutare l'ostruzione effettiva che essi rappresentano proiettandone l'ingombro totale (dovuto anche alla loro lunghezza) su un piano perpendicolare all'asse della corrente.
La geometria del corso d'acqua viene considerata "fissa nel tempo", prescindendo quindi da evoluzioni del letto sul breve e lungo periodo e ignorando di conseguenza i fenomeni di erosione e deposito di tipo generalizzato e localizzato.

2) **la conoscenza della portata** da immettere nell'estremo di monte del tratto considerato.

   Se lungo il tratto sono presenti immissioni (o derivazioni) di portata, occorre suddividere il tratto in sotto-tratti ciascuno da considerarsi a portata costante. Si rimanda per tale punto a quanto già descritto nel Capitolo 3.

3) **la conoscenza della condizione al contorno,** da assegnare a valle per corrente lenta e a monte per corrente veloce.

4) **la scabrezza idraulica** dipende in generale da diversi fattori: la geometria più o meno regolare delle sezioni, la natura dell'alveo e delle sponde, l'eventuale vegetazione presente, il trasporto solido, ed il suo valore può influenzare sensibilmente i risultati in termini di altezze d'acqua associate ad una determinata portata.
   Per alvei "larghi, per i quali il rapporto tra larghezza media, B_m, e altezza media della sezione, y_m, risulta maggiore di circa 15, risulta significativa la sola scabrezza dell'alveo. Per valori di B_m / y_m <15 occorre mettere in conto anche l'influenza della scabrezza delle sponde. Se queste possono risultare vegetate, è necessario stimare la scabrezza in relazione alla condizione di massimo sviluppo vegetativo.
   Nel caso in cui siano presenti aree golenali, la scabrezza va computata attribuendo a tali sotto-sezioni il valore rappresentativo in relazione alle caratteristiche delle aree stesse. Possono poi essere messe in conto variazioni della scabrezza con la portata, come conseguenza dei fenomeni di trasporto solido, utilizzando i diversi criteri disponibili in letteratura.
   I parametri per la stima delle perdite energetiche di tipo distribuito e concentrato sono stati definiti mediante sopralluoghi diretti e attraverso il confronto con i dati di letteratura.

Le verifiche idrauliche sono state condotte utilizzando la modellistica descritta nei precedenti capitoli ed applicata per i tempi di ritorno di 20, 30, 100 e 200 anni e per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5, e 7.5 ore.
In particolare, il moto in alveo è stato simulato mediante un modello unidimensionale di moto vario, accoppiato al modello di cassa di espansione.

Nelle verifiche idrauliche sono state inserite le sette casse di laminazione realizzate rispettivamente sui fossi Mendancione, Stregale, Selvavecchia, Funandola, Agnaccino e sul torrente Agna.
Le dimensioni delle casse di laminazione sono state desunte dai relativi progetti nonché da misure dirette in situ e sono riportate in Tabella 5.1.

Codice cassa	Corso d'acqua	Superficie [m²]	Quota fondo [m slm]	Quota argini [m slm]
APE_304	f. Mendancione	17860.0	49.25	54.00
APE_293	f. Stregale	23705.9	50.60	53.00
APE_294	f. Selvavecchia	17659.4	50.60	53.00
APE_292	f. Funandola	28077.0	50.60	53.40
APE_280	f. Agnaccino	36201.5	46.00	49.65
APE_372	t. Agna	48926.4	44.10	46.95
APE_305	acque basse f. Mendancione	7293.67	49.25	51.00

Tabella 5.1 – Caratteristiche geometriche delle casse di espansione

Le bocche tarate a valle delle casse di laminazione poste sui fossi Stregale e Funandola sono state simulate mediante delle apposite scale di deflusso, così come la bocca tarata posta sul diversivo del fosso Stregale.
I parametri caratteristici delle scale di deflusso delle suddette bocche tarate sono riportati in Tabella 5.2.

Scala di deflusso	a	h_0	c	q_0	a	h_0	c	q_0	a	h_0	c	q_0
ST3001A_.csd	10.57	52.60	1.48	1.12	0.41	51.00	0.89	0.55	0.94	50.75	1.00	0.31
FU3001A_.csd	13.51	53.00	1.49	0.96	0.32	51.10	0.87	0.44	0.75	50.85	1.00	0.25
SD3009__.csd	21.46	53.00	1.49	0.97	0.29	50.90	0.99	0.46	-0.07	50.60	1.00	0.48

Tabella 5.2 – Valori dei parametri delle scale di deflusso adottate per simulare le bocche tarate sui fossi Stregale e Funandola

La verifica idraulica ha 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;
- livelli idrometrici in ciascuna cella delle aree di esondazione;
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

Nelle Tavole 3.1 – 3.11 si riportano i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche per i diversi tempi di ritorno, mentre i profili delle sezioni fluviali con i rispettivi livelli idrometrici valutati per i diversi tempi di ritorno e le differenti durate sono riportate negli Allegati F01 – F03.

I tabulati relativi ai massimi valori in termini di livelli idrici e di portate sono riportati nell' Allegato E.

Nelle Tavole 4.1 e 4.2 si riportano le aree inondabili per i diversi tempi di ritorno, nelle Tavole 5.1 e 5.2 si riporta la pericolosità idraulica.

5.1 Individuazione dei tratti critici

Sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche sono stati individuati i tratti critici dei corsi d'acqua considerati in relazione alla insufficienza di contenimento, nelle diverse sezioni fluviali disponibili, delle portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno e alle differenti durate.

Di seguito si fornisce una descrizione sintetica dei risultati ottenuti per ogni singolo corso d'acqua studiato per i diversi tempi di ritorno considerati.

TORRENTE AGNA

I risultati delle verifiche idrauliche condotte nel presente studio indicano che la maggior parte del tratto del t. Agna analizzato risulta idoneo al deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno di 20 e 30 anni, ad eccezione:

- del tratto in corrispondenza della confluenza con il t. Agna delle Conche. Qui si verificano esondazioni in sponda destra che vanno ad interessare gli insediamenti industriali presenti.
- del tratto in corrispondenza del ponte di via Montalese (sezione AG0013B_). Il ponte non risulta mai sormontato ma il rigurgito provoca importanti esondazioni in destra e in sinistra idrografica coinvolgendo zone agricole e soprattutto il centro abitato di Fornacelle di Montemurlo ove sono presenti anche numerosi edifici industriali. Agli allagamenti in destra idrografica contribuisce anche l'adiacente fosso dei Molini.

- del tratto a monte della confluenza con il t. Bure per una lunghezza di circa 2.5 km, (dalla sezione AG5002__ alla AG4061__). Le aree allagate interessano vaste aree dell'insediamento industriale di Montale (destra idrografica) e di Montemurlo (sinistra idrografica) e la zona agricola de "Il Chiuso" posta a valle della ferrovia Firenze-Lucca. Il deflusso attraverso il ponte della ferrovia (sezione AG0017B_) risulta critico per la portata trentennale, e il ponte risulta sormontato per la portata centennale. L'attraversamento della provinciale Pistoiese – Pratese (sezione AG0016B_), che si trova circa 50 m a monte della ferrovia non risulta mai sormontato ma il deflusso avviene in pressione già per portate ventennali.

FOSSO AGNACCINO

I risultati delle verifiche idrauliche condotte mostrano che il tratto del f. Agnaccino preso in esame non risulta in gran parte idoneo al deflusso di portate di piena ventennali. In particolare risultano insufficienti:

- Il tratto dalla sezione AN1001A_ alla AN1009C_, tombato, lungo circa 950m che attraversa la zona industriale di Montemurlo.
- Il tratto dalla sezione AN1013__ alla AN1018__ in corrispondenza della cassa di espansione del f. Agnaccino. Le esondazioni avvengono in destra idrografica in tutte le sezioni e interessano quindi la cassa di espansione, in sinistra idrografica per le sezioni AN1013_, AN1014__, AN1015__, AN1016__ e interessano la zona industriale di Montemurlo (Figura 5.1).
- Il tratto dalla sezione AN1020A_ alla AN1025D_ (lunghezza tratto circa 250m). In questo tratto è presente il sottoattraversamento del t. Agna (sez. AN1020A_ - AN1022D_) in cui deflusso avviene in pressione già con portate di piena ventennali. Nelle sezioni a valle dell'attraversamento si verificano esondazioni in destra e sinistra che interessano l'area compresa fra il t. Agna e il rilevato ferroviario dove sono situati insediamenti industriali del comune di Montale (Figura 5.1).
- Il tratto dalla sezione AN1028__ alla confluenza nel t. Bure. In questo tratto (fatta eccezione per la sez. AN1040A_) le esondazioni avvengono solo in destra idrografica e vanno ad interessare ampie aree agricole ove sono presenti case sparse.

Figura 5.1- Cassa di espansione del Fosso Agnaccino

Per portate centennali l'intero fosso Agnaccino risulta inidoneo provocando estesi allagamenti sia in destra sia in sinistra idrografica; allagamenti che come è stato precedentemente descritto interessano soprattutto la zona industriale di Montemurlo.

In corrispondenza del sottoattraversamento del t. Agna, il f. Agnaccino può essere deviato in un canale scolmatore (lunghezza esaminata circa 850m) interamente tombato che convoglia le acque del fosso all'impianto di depurazione del Calicino, il canale raccoglie anche un altro scolmatore proveniente dall'abitato di Oste. La verifica effettuata mostra che i due canali non risultano idonei al deflusso di portate con tempi di ritorno 20 anni.

TORRENTE BAGNOLO

Il tratto del t. Bagnolo che attraversa il comune di Montemurlo risulta dalle verifiche idrauliche non idoneo, se non in alcuni tratti, al deflusso delle portate per i vari tempi di ritorno. Le aree che risultano inondate sono sede di insediamenti urbani (abitato di Bagnolo) e insediamenti industriali (Figura 5.2).

Di seguito si riportano le sezioni insufficienti al deflusso della portata ventennale-trentennale:

- Dalla sezione BG4004A_ alla BG4007__. Si tratta del percorso urbano del torrente, le inondazioni vanno qui ad interessare la zona prevalentemente in destra dell'abitato di Bagnolo. E' presente nel tratto un attraversamento (sezione BG4004B_) che risulta in pressione per portate centennali e sormontato per portate cinquecentennali. Le portate qui esondate si propagano verso valle in destra idrografica transitando fino alla zona industriale a valle dell'Olmo.
- Dalla sezione BG1004__ alla BG1006__, tratto situato nella zona industriale a valle della Nuova Provinciale Montalese. Le portate qui esondate continuano a propagarsi prevalentemente in destra idrografica, transitando attraverso la zona industriale a valle dell'Olmo.

Di seguito si riportano le sezioni insufficienti al deflusso della portata centennale:

- Dalla sezione BG1015__ alla BG1018__ in sinistra idrografica, e dalla BG1016A_ alla BG1017__ in destra idrografica. Anche in questo caso l'area interessata dalle inondazioni è l'area industriale a valle della Nuova Provinciale Montalese. L'attraversamento relativo alla sezione BG1016B_ risulta sormontato già con portate ventennali.

TORRENTE CALICE

Il tratto preso in esame va dalla confluenza fra t. Bure e f. del Mendancione fino al ponte dell'Autostrada Firenze-Mare (lunghezza circa 3.3km); dalle verifiche condotte il tratto risulta insufficiente già per portate ventennali. I ponti sulla SP126 e sull'autostrada risultano invece idonei al deflussi delle portate di piena dei TR considerati.

FOSSO FICARELLO

I risultati delle verifiche mettono in evidenza una situazione estremamente critica per il tratto del fosso Ficarello che delimita l'abitato e l'area industriale di Bagnolo (dalla sezione FI0004A_ alla Sezione FI0022B_). Tutto il percorso risulta insufficiente per portate di piena ventennali, provocando estesi allagamenti in destra (area insediativa di Bagnolo) e in sinistra idrografica (aree agricole).

Figura 5.2 – Tratto urbano del Torrente Bagnolo e del Fosso Ficarello

FOSSO FUNANDOLA

I risultati delle verifiche mettono in luce una situazione abbastanza critica per il fosso Funandola, soprattutto nella parte alta compresa fra le sezioni FU0001__/FU5012C_ in cui sono presenti vari tombamenti che risultano insufficienti già con portate ventennali.
In particolare risultano critici con tempo di ritorno 20 anni i tratti:

- Dalla sezione FU4001A_ alla FU4001C_. E' il primo dei tombamenti che risultano insufficienti al deflusso della portata di piena ventennale, si tratto di un tubo di diametro di 1600mm e lungo circa 400m che attraversa l'abitato di Montemurlo in località Morecci.
- Dalla sezione FU4002A_ alla FU4002C_. Secondo tombamento di diametro 2000mm, lungo circa 150m che attraversa l'abitato in località Barzano.
- Dalla sezione FU4003A_ alla FU4003E_. Si tratta dell'attraversamento su via F.lli Rosselli, il ponte non viene sormontato ma il deflusso avviene in pressione, con esondazioni che interessano le aree agricole limitrofe (Figura 5.3).

- Dalla sezione FU4004A_ alla FU4005C_. In questo caso il primo ponte su via Scarpettini risulta sormontato (FU4004A_-FU4004D_), il secondo sulla Nuova Provinciale Montalese solo in pressione. L'acqua esondata risulta comunque confinata a monte della provinciale (Figura 5.3).
- Dalla sezione FU5008__ alla FU5012C_. Tratto che corre parallelo a via Scarpettini, dove sono presenti piccoli attraversamenti dei quali risulta sormontato solo quello corrispondente alla sezione FU5012B_. Le acque esondate in destra interessano gli insediamenti industriali presenti (Figura 5.3).

Figura 5.3 - Fosso Funandola nei pressi della Nuova Provinciale Montalese

- Dalla sezione FU5023__ alla FU3001A_. E' questo il tratto in corrispondenza della cassa di laminazione sul fosso Funandola (Figura 5.4). Le esondazioni in destra rimangono comunque limitate alla fascia fluviale

Figura 5.4 –Casse di espansione sui fossi Funandola, Stregale e Selvavecchia

- Dalla sezione FU5047B_ alla FU5048_. Anche in questo caso si tratta di un tombamento, lungo circa 120 m, che risulta insufficiente provocando nelle sezioni a monte esondazioni, sia in destra che in sinistra, che vanno ad interessare gli edifici industriali presenti.
- Dalla sezione FU5062__ alla FU5070__. Interamente urbano, questo tratto va ad interessare con le sue esondazioni l'area industriale di Oste. Il ponte su via Puccini (sez. FU5064B_) risulta sormontato dall'evento di piena centennale, mentre i due ponti su via Pistoiese (sezioni FU5071B_e FU5074B_) non vengono mai sormontati ma il deflusso avviene in pressione già con portate ventennali.

FOSSO GRAMIGNETO

Il fosso Gramigneto parte dalla zona industriale di Oste e dopo aver sottoattraversato il t. Agna e la ferrovia prosegue nella zona denominata "Il Chiuso" per poi gettarsi nel t. Bure. L'intero tratto non risulta idoneo al transito di portate di piena ventennali; tale insufficienza idraulica contribuisce all'allagamento del territorio attraversato nel quale già convogliano le acque del t. Bure, del f. Agnaccino e del t. Agna.

FOSSO MENDANCIONE

Il fosso Mendancione risulta dalle verifiche idrauliche in gran parte idoneo al deflusso delle portate di piena per i diversi tempi di ritorno. Gli unici tratti critici si ritrovano nella parte alta

del corso d'acqua fino alla Nuova Provinciale Montalese (Figura 5.5) e nel tratto terminale fino alla confluenza con il t. Bure (Figura 5.6).

Figura 5.5 – Fosso Mendancione a monte della Nuova Provinciale Montalese

In dettaglio i tratti che risultano critici già con portate ventennali sono:

- Dalla sezione ME1001__ alla ME1010__, dalla sezione ME1015__ alla ME1027__, dalla sezione ME1041__ alla ME1045__. Due ponti su via Montalese risultano sormontanti, il tombamento posto a valle dei due attraversamenti (sezioni ME1023A_ - ME1024G_) insufficiente. In questa zona gli allagamenti interessano l'area posta in sinistra idrografica occupata da terreno agricolo (loc. Il Parugiano) e limitatamente l'abitato in loc. Castello nei pressi di via Montalese (Figura 5.5).

Figura 5.6 – Tratto finale del Fosso Mendancione

- Dalla sezione ME5114__ fino alla confluenza con il t. Bure. L'intero tratto presenta insufficienza idraulica sia in destra che in sinistra con allagamenti diffusi nell'area industriale di Oste a monte della linea ferroviaria e nell'area agricola circostante (Figura 5.6). A valle della sezione ME5100A_, il deflusso avviene in pressione in tutti gli attraversamenti presenti, con il sormonto del ponte sulla via Pistoiese e di due piccoli attraversamenti a monte della ferrovia (sezioni ME4001B_ e ME4004B_).

Rimane da mettere in evidenza l'insufficienza idraulica del canale che corre lungo la cassa di espansione del f. Mendancione e la cassa delle Acque Basse limitrofa (si notano nella Figura 5.6 in alto a sinistra). Già con portate ventennali si hanno esondazioni in sponda sinistra che vanno ad interessare gli insediamenti industriali qui collocati.

FOSSO POLTRONOVA

Il fosso Poltronova è un piccolo affluente interamente intubato del fosso Agnaccino che parte dalla zona industriale di Oste. Sono presenti due attraversamenti sotto il t. Agna e sotto la linea ferroviaria Firenze-Lucca. L'intero tratto non risulta idoneo al deflusso che avviene in pressione già con portate ventennali.

FOSSO STREGALE

Dalle verifiche effettuate si delineano come estremamente critici i tombamenti presenti sul fosso Stregale. Risulta infatti insufficiente, per portate di piena ventennali il tratto compreso fra le sezioni ST1003__ e ST007C_ dove sono presenti due tombamenti, il primo lungo circa 900m (ST1005B_/ST0004C_) il secondo circa 45m (ST006B_/ST0007C_); gli allagamenti seppur contenuti vanno ad interessare il centro abitato di Montemurlo.

In corrispondenza della cassa di espansione (Figura 5.4) il f. Stregale viene deviato con un tombamento direttamente nel f. Mendancione all'altezza del ponte su via Selvavecchia, questo tratto risulta gravemente insufficiente già con portate ventennali. Il vecchio corso del fosso non presenta invece problemi anche perché gli apporti sono minimi, l'unico tratto critico è rappresentato dal tombamento alla confluenza con il f. Mendancione (sezioni ST5036B_/ST5036O_ per una lunghezza di circa 500m) che risente delle condizioni di piena del ricettore non riuscendo a far defluire le portate di piena ventennali e contribuendo ad allagare la zona nei pressi di via Palarciano dove avviene la confluenza (Figura 5.7).

Figura 5.7 – Confluenza del Fosso Stregale nel Fosso Mendancione

5.2 Definizione delle aree inondabili

La perimetrazione delle aree inondabili è stata condotta sulla base delle simulazioni idrauliche condotte.

In particolare si è proceduto a tracciare le seguenti aree:

- inondabili con tempo di ritorno 20 anni;
- inondabili con tempo di ritorno 30 anni;
- inondabili con tempo di ritorno 100 anni;
- inondabili con tempo di ritorno 200 anni;
- inondabili con tempo di ritorno 500 anni.

Le aree così definite sono riportate nella TAVOLA 4.1 e 4.2.
I volumi liquidi esondati per sormonto arginale nel territori comunale di Montemurlo per i suddetti tempi di ritorno sono riportati in Tabella 5.3. In tale tabella sono riportati anche i volumi d'acqua laminati dalle sette casse di espansione già realizzate.

Volumi esondati [m^3]					
Denominazione	Tr 20 anni	Tr 30 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 500 anni
Totale aree di esondazione	767480	877891	1287314	1621033	2149513
APE_280	76781	78722	90280	107861	134854
APE_292	85887	87531	92832	96108	98955
APE_293	53501	58814	69001	72763	77054
APE_294	37508	40399	50705	57551	67483
APE_304	13788	14118	16281	17794	19835
APE_305	6970	7162	7940	8422	9527
APE_372	143787	145096	149635	150672	152100

Tabella 5.3 - Volumi liquidi fuoriusciti dai corsi d'acqua analizzati lungo i tratti studiati per i tempi di ritorno di 20, 30, 100 e 200 anni e le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5, e 7.5 ore.

5.3 Perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica

Sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche condotte per i tempi di ritorno di 20, 30, 100 e 200 anni e le diverse durate, sono state mappate le fasce di pericolosità idraulica per i corsi d'acqua oggetto di studio per i tratti di interesse.

La pericolosità idraulica è stata definita in riferimento alle aree inondabili con tempo di ritorno 30, 100, 200 e 500 con le seguenti modalità:

- PI1 aree inondabili con Tr 500
- PI2 aree inondabili con Tr 200 e Tr 100 con H<30cm;
- PI3 aree inondabili con Tr 100 con H>=30cm e Tr 30 con H<30cm;
- PI4 aree inondabili con Tr 30 con H>=30cm.

Si rileva inoltre che nella classe PI3 ricadono le aree soggette a volumi idrici di solo transito conseguenti ad eventi di piena con TR 30 anni, mentre nella classe PI2 ricadono anche le aree di transito per eventi con TR 100 anni. Per volume di transito si intende quella parte del volume di piena che si trasferisce da un'area ad un'altra senza generare zone di allagamento più o meno permanente.
Le fasce di pericolosità idraulica, individuate per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni, sono riportate nella TAVOLA 5.1 e 5.2.

Le fasce di pericolosità idraulica, individuate per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni, sono riportate nella TAVOLA 5.1 e 5.2. Nelle TAVOLE 6 sono riportati i battenti idrici di inondazione per il tempo di ritorno pari a 200 anni.

Pericolosità Idraulica superficie territorio comunale = 31 km²				
	Aree PI1	Aree PI2	Aree PI3	Aree PI4
Superficie aree perimetrate [km²]	1.1	1.4	2.8	1
Percentuale [%]	3.5	4.5	9.0	3.2

Tabella 5.4 – Estensione delle superfici perimetrate nel presente studio.

6 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

Le attività di individuazione degli interventi per la mitigazione del rischio sono state condotte sulla base delle conoscenze acquisite nell'ambito del presente studio e tenendo altresì conto di quanto indicato in studi precedenti e, in particolare, di quanto contenuto nel Piano di Assetto Idrogeologico. A tale proposito si riporta nella Figura 6.1 l'estratto di mappa relativo agli interventi previsti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

La definizione delle tipologie di intervento e il loro dimensionamento di massima scaturiscono da valutazioni preliminari basate sui risultati ottenuti nel corso delle verifiche idrauliche condotte nel presente studio e, pertanto, devono essere considerati in via indicativa.

Si ritiene comunque che tali interventi, ancorché definiti in via preliminare, debbano essere necessariamente inseriti nella pianificazione generale per la riduzione del rischio idraulico nel territorio comunale di Montemurlo.

6.1 Criteri generali per la definizione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico

Gli studi di approfondimento per i diversi scenari contengono la sintesi degli aspetti naturali dell'evento che produce il rischio, delle sue caratteristiche, degli elementi sui quali è presente o si attende un danno e che consentono di predisporre un primo piano di interventi per la mitigazione del rischio.

Tali approfondimenti non possiedono carattere di esaustività, in quanto le specifiche condizioni geologiche, idrogeologiche, geotecniche, idrauliche e territoriali che deriveranno da studi di dettaglio, costituiranno i presupposti imprescindibili per la definizione progettuale degli interventi di sistemazione.

A partire dal quadro conoscitivo sul rischio idraulico possono essere identificate le strategie di intervento sia di tipo strutturale che non strutturale (vincoli sulla destinazione d'uso delle aree stesse e/o norme di edificabilità) per conseguire un'omogenea riduzione del rischio sull'intero territorio.

Figura 6.1a - Legenda Carta degli interventi strutturali previsti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno

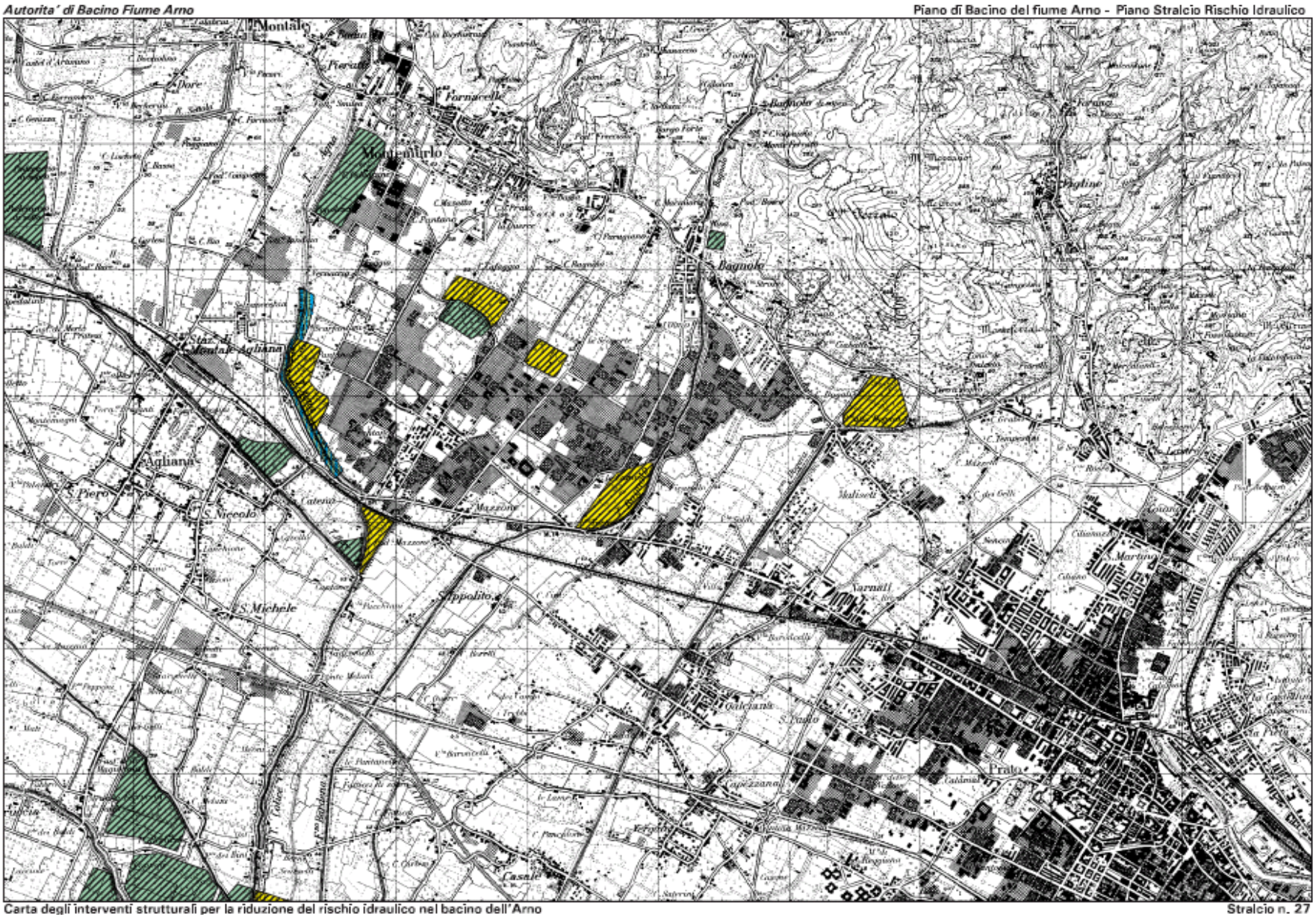

Figura 6.1b - Carta degli interventi strutturali previsti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno

Il presente studio intende indicare le linee di azione da intraprendere, i criteri da adottare e suggerire, quindi, le possibili tipologie di opere da realizzare per la individuazione degli interventi per la mitigazione del rischio.

Nella presente analisi è stato fatto riferimento ad interventi di tipo strutturale finalizzati alla riduzione del rischio da inondazione. Sono stati presi in esame sia le possibilità di laminazione delle piene, sia i possibili interventi per aumentare la capacità di smaltimento del corso d'acqua in termini di portata liquida.

E' importante premettere che, nella definizione degli interventi, non è stato messo in conto l'effetto del trasporto solido e delle possibili evoluzioni morfologiche del corso d'acqua. Poiché tale aspetto può essere particolarmente importante, soprattutto per le parti montane di alcuni corsi d'acqua, in fase di analisi più dettagliate si ritiene necessario includere verifiche sulla dinamica del trasporto solido.

La valutazione della tipologia degli interventi strutturali è stata definita in funzione di una preliminare valutazione della fattibilità tecnica svolta utilizzando i risultati delle verifiche idrauliche.

L'efficacia degli interventi nella riduzione del rischio idraulico è stata verificata attraverso la simulazione idraulica dei corsi d'acqua considerati nello scenario di progetto con le portate corrispondenti al solo tempo di ritorno di 200 anni.

I risultati delle analisi descritte hanno fornito un quadro in base al quale definire gli indirizzi e le proposte operative per la programmazione degli interventi.

La finalità ultima degli interventi è stata la messa in sicurezza per un tempo di ritorno di 200 anni.

6.2 Verifica idraulica degli interventi strutturali di messa in sicurezza

Gli interventi proposti sono stati individuati e verificati in via preliminare mediante la modellazione idrologica e idraulica utilizzata per l'analisi delle condizioni nello stato attuale descritta nel Capitolo 5.

In particolare, sulla base dei risultati ottenuti nella verifica allo stato attuale, le condizioni critiche sono state adeguate mediante le diverse tipologie di intervento, adottando come principio base di riferimento il non aggravio del rischio idraulico verso valle.

Pertanto sono state adottate le seguenti tipologie di intervento e le conseguenti metodologie di schematizzazione idraulica:

- per i tratti di adeguamento arginale, l'eliminazione delle condizioni di esondazione per tracimazione è stata ottenuta mediante il contenimento dei massimi livelli di piena confinando il deflusso all'interno di appositi marcatori d'alveo inseriti all'interno del modello di simulazione;

- il controllo dei fenomeni esondativi è stato attuato tramite l'inserimento di casse di espansione considerando in primo luogo le aree già previste, e, in secondo luogo, trasformando aree che, allo stato attuale, risultano soggette ad allagamento per eventi con tempi di ritorno tra 30 e 200 anni. La simulazione in tal caso è stata condotta determinando, a partire dalla morfologia delle aree ove sarà realizzata la cassa, una legge di riempimento della cassa stessa. La connessione idraulica tra cassa e corso d'acqua è stata simulata mediante uno sfioratore al quale sono stati attribuiti e verificati i parametri di lunghezza di sfioro e quota della soglia in relazione all'efficienza della cassa stessa;

- l'adeguamento delle strutture di attraversamento è stato simulato mediante modifica altimetrica della sezione idraulica, sopraelevando l'impalcato alla quota tale da non interagire con i livelli idrici massimi associati all'evento con tempo di ritorno di 200 anni. La sezione idraulica in senso trasversale, viceversa, non è stata modificata ad eccezione di quelle che ricadono nei tratti soggetti a adeguamento;

- modifiche di tracciato di alcuni tratti di corsi d'acqua; non sono stati previsti interventi di riprofilatura della sezione idraulica nei tratti non soggetti ad adeguamento, in quanto si presuppone che la configurazione del letto di tali corsi d'acqua risulti, allo stato attuale, prossimo a quello corrispondente allo stato di equilibrio, ovvero sia il risultato degli effetti morfodinamici conseguenti all'interazione dell'attuale configurazione plano-altimetrica (i.e. restringimenti, allargamenti, salti di fondo, etc.) con il regime delle portate liquide e solide che li interessano. Nei tratti soggetti a adeguamento, viceversa, unitamente agli interventi per l'incremento della capacità di smaltimento delle portate liquide (allargamenti o modifiche di forma della sezione idraulica) sono state realizzate alcune riprofilature del fondo come conseguenza della mutata configurazione geometrica.

- Nell'ALLEGATO H sono riportati i tabulati relativi alle verifiche idrauliche di progetto, mentre nell'ALLEGATO I sono riportate le sezioni fluviali e i corrispondenti livelli idrici.

6.3 Gli interventi previsti

Gli interventi previsti nell'ambito del presente studio consentono il conseguimento di una notevole riduzione dei battenti di tracimazione.

Per la maggior parte dei tratti dei corsi d'acqua esaminati vengono praticamente annullate le condizioni di esondazione, assumendo tuttavia condizioni di franco di sicurezza nullo, mentre per i rimanenti, interessati in pratica da problematiche di tipo localizzato, risulterà necessario affrontare nel maggior dettaglio le condizioni di criticità e provvedere all'adeguamento, e in alcuni casi al rifacimento, di sommità arginali, oppure all'eliminazione di insufficienze locali (sezioni ristrette, attraversamenti), al fine di contenere definitivamente l'evento di piena duecentennale e ottenere il franco desiderato.

Si rileva inoltre che: le casse di espansione sono dimensionate senza considerare alcuna rimodellazione del terreno. Infine, i coefficienti di resistenza adottati nelle verifiche idrauliche hanno valori che si riferiscono allo stato attuale dei corsi d'acqua.

Gli interventi di adeguamento e/o di manutenzione che si andranno nel tempo a realizzare consentiranno l'adozione di coefficienti di resistenza diversi commisurati ad una migliore efficienza idraulica dei corsi d'acqua.

Di seguito si fornisce una descrizione sintetica degli interventi previsti per ogni singolo corso d'acqua studiato per la messa in sicurezza per un tempo di ritorno di 200 anni.

Ad ogni intervento viene assegnato un codice alfanumerico, indicato tra parentesi, che riporta nei primi due caratteri l'identificativo del Comune ove è ubicato l'intervento (MO = Montale, MU = Montemurlo, PT = Pistoia, AG = Agliana, PO = Prato), i secondi due caratteri individuano il corso d'acqua al quale afferisce l'intervento (AG = Agna, BG = Bagnolo, FI = Ficarello, FU = Funandola, ME = Mendancione, AN = Agnaccino, GR = Gramigneto, PO = Poltronova, ST = Stregale CA = Calice), i successivi due caratteri indicano la tipologia dell'intervento (CS = cassa di espansione, ID = Idrovora, AA = adeguamento attraversamento, TR = nuovi tracciati di corsi d'acqua o canali), seguiti da un numero che risulta progressivo per lo stesso corso d'acqua.

La planimetria di tali interventi è riportata nella TAVOLA 7, mentre nella TAVOLA 8 sono riportati i profili longitudinali. Il sistema idrografico complessivo è schematizzato nella Figura 6.2.

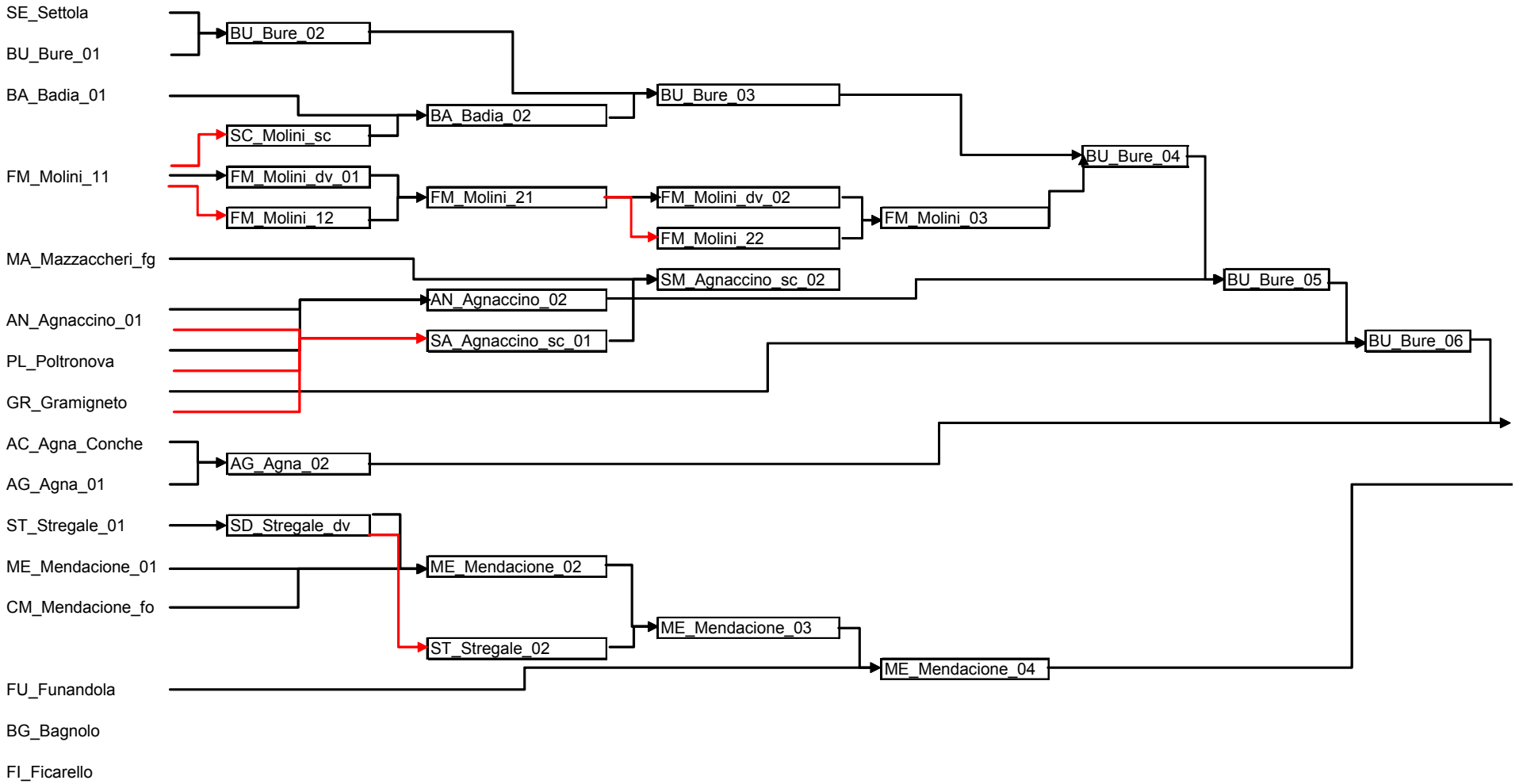

Figura 6.2 – Schema della rete idrografica nello stato di progetto

TORRENTE AGNA

Gli interventi comprendono:

- Cassa di espansione (MU-AG-CS01) ubicata in sinistra a monte della Nuova Montalese (già individuata nel Piano Stralcio Rischio Idraulico della Autorità di bacino del Fiume Arno) per un'area di circa 7.2 ha e un volume d'invaso di 233.000 mc.
- Sezione di controllo immediatamente a valle della cassa MU-AG-CS01 con larghezza pari a 14 m.
- Cassa di espansione (MU-AG-CS02) ubicata in sinistra a valle della Nuova Montalese (già individuata nel Piano Stralcio Rischio Idraulico della Autorità di bacino del Fiume Arno) sulla sponda opposta rispetto alla analoga cassa ubicata nel comune di Montale per un'area di circa 9.8 ha e un volume d'invaso di 332.000 mc.
- Sezione di controllo immediatamente a valle della cassa MU-AG-CS02 con larghezza pari a 8 m.
- Canali di scarico MU-AG-TR01 e MU-AG-TR02 delle casse MU-AG-CS01 e MU-AG-CS02 verso il fosso Agnaccino in quanto le quote dell'alveo dell'Agna consentono solo uno scarico parziale per una lunghezza totale di 820m, il tratto MU-AG-TR01 necessita della realizzazione di un attraversamento della Nuova Montalese.
- Adeguamento attraversamenti: **ponte della Vecchia Montalese** da realizzarsi mediante sottofondazione del ponte e sbassamento della briglia posta immediatamente a valle; **Ponte della Ferrovia** da adeguare in modo analogo.
- Adeguamento sezione idraulica per il tratto compreso tra la ferrovia e l'immissione nel T. Calice per una lunghezza di circa 2000 m.

AVVERTENZA: gli interventi sopra elencati sono da coordinarsi con gli interventi ricadenti nel comune di Montale e relativi allo stesso corso d'acqua.

FOSSO AGNACCINO

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Cassa di espansione (MU-AN-CS01) ubicata in destra per un'area di circa 3.6 ha e un volume d'invaso di 60.000 mc;

- Impianto idrovoro (MU-AN-ID04/05/06/07) composto da 4 pompe da 0.6mc/s ciascuna.

Gli interventi comprendono:

- Cassa di espansione (MU-AN-CS02) ubicata in destra per un'area di circa 3.9 ha e un volume d'invaso di 53.000 mc;
- Canale di derivazione (MU-AN-TR01) della lunghezza di 650m a partire dall'inizio del tombamento del fosso Agnaccino fino alla cassa MU-AN-CS02;
- Canale di scarico (MU-AN-TR02) della lunghezza di 230m che recapita l'acqua della cassa MU-AN-CS02 nell'alveo dell'Agnaccino.
- Lavori di manutenzione straordinaria per la ripulitura di canali e condotti.

NOTA: permane le presenza di tratti in pressione della parte tombata a monte del sifone dell'Agna.

AVVERTENZA: gli interventi sopra elencati sono da coordinarsi con gli interventi ricadenti nel comune di Montale e relativi allo stesso corso d'acqua.

FOSSO POLTRONOVA

Gli interventi comprendono:

- Lavori di manutenzione straordinaria nel sifone sotto l'Agna che si presenta parzialmente ostruito e con deficienze anche dal punto di vista statico.

NOTA: permane le presenza aree inondabili a ridosso dell'argine dell'Agna a seguito del rigurgito del tratto di valle.

AVVERTENZA: gli interventi sopra elencati sono da coordinarsi con gli interventi ricadenti nel comune di Montale e relativi allo stesso corso d'acqua.

FOSSO GRAMIGNETO

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Impianto di sollevamento (MU-GR-ID11/12/13/14) composto da 4 pompe da 0.03mc/s ciascuna.

Non si prevedono nuovi interventi.

NOTA: permane le presenza di aree inondabili a ridosso dell'argine dell'Agna a seguito del rigurgito del tratto di valle.

AVVERTENZA: gli interventi sopra elencati sono da coordinarsi con gli interventi ricadenti nel comune di Montale e relativi allo stesso corso d'acqua.

FOSSO FUNANDOLA

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Cassa di espansione (MU-FU-CS01) ubicata in sinistra a valle della Nuova Montalese per un'area di circa 4.6 ha e un volume d'invaso di circa 80.000 mc (per questa cassa nella verifica di progetto è stata prevista una luce di deflusso della bocca tarata di 1mq ed è stata aggiunta una soglia sfiorante di 10m verso la cassa limitrofa dello Stregale).
- Modifica di tracciato (MU-FU-TR01) per una lunghezza di circa 290m a valle dello svincolo della Nuova Montalese.

Gli interventi comprendono:

- Cassa di espansione (MU-FU-CS02) ubicata a monte del centro abitato e del tombamento, la cassa comprende un'area di circa 1.65 ha, la tipologia è quella della bocca tarata con una altezza allo sfioro di 6.0m e una luce di fondo di 80cm di altezza per 120cm di larghezza per un invaso di 29000 mc.;
- Diversivo (MU-FU-TR02) da realizzarsi a partire dall'imbocco del tombamento a monte della Vecchia Montalese fino a valle del centro abitato ove il fosso torna a cielo aperto, si prevede la posa in opera di uno scatolare di altezza 1.5m e di larghezza 2.0m, per una lunghezza di 560 m.
- Adeguamento attraversamenti: si prevede l'adeguamento con demolizione e ricostruzione di 4 attraversamenti nel tratto tra il centro urbano la cassa di espansione e l'adeguamento della sezione per un quinto che è stato mantenuto nella verifica di progetto; si prevede inoltre la demolizione e ricostruzione dell'attraversamento in corrispondenza dell'abitato di Oste al disotto della s.p.Pratese; per i due ponti a monte e per i due ponti a valle si

dovrà procedere al loro adeguamento nell'ambito dei lavori di sopraelevazione degli argini valutandone nel dettaglio il rigurgito.

- Adeguamento sezione idraulica per il tratto compreso tra il tombamento di via Scarpettini e la confluenza nel fosso Mendacione per una lunghezza di circa 1000 m si dovrà provvedere all'adeguamento delle sommità arginali per altezze variabili da 50cm a 1.0m e alla riprofilatura delle sezioni più ristrette.

FOSSO STREGALE

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Cassa di espansione (MU-ST-CS01) ubicata in sinistra a valle della Nuova Montalese per un'area di circa 5.9 ha e un volume d'invaso di circa 83000 mc, a valle della cassa è stato realizzato un diversivo di circa 400m con un scatolare in pressione di 60cm di altezza per 1.0m di larghezza che recapita nel fosso Mendancione attraverso una portella e scarica quasi completamente il tratto a valle del fosso Stregale.
- Cassa di espansione (MU-ST-CS02) ubicata in sinistra a valle della Nuova Montalese per un'area di circa 1.8 ha e un volume d'invaso di circa 15500 mc; nella cassa recapitano anche le acque del fosso di Selvavecchia (acqua bassa);
- Portella (MU-ST-PO02) allo sbocco del fosso Stregale nel fosso Mendancione.

Gli interventi di progetto comprendono:

- Cassa di espansione (MU-ST-CS03) ubicata a monte del centro abitato e del tombamento, la cassa comprende un'area di circa 1.3 ha, la tipologia è quella della bocca tarata con una altezza allo sfioro di 6.0m e una luce di fondo di 80cm di altezza per 100cm di larghezza per un invaso di 27000 mc.
- Ampliamento del diversivo delle casse (MU-ST-CS01 e MU-ST-CS02) con la posa in opera di un ulteriore scatolare di dimensioni 1.2m di larghezza e 1.0m di altezza con funzionamento in pressione e portella (MU-ST-PO01) allo scarico nel fosso Mendancione.
- Impianto idrovoro (MU-ST-ID16 e MU-ST-ID17) composto da due gruppi da 0.5mc/s ciascuno da porsi in opera alla confluenza tra il fosso Stregale e il fosso Mendancione.

- Adeguamento attraversamenti: si prevede l'adeguamento con demolizione e ricostruzione dell'attraversamento a monte della Nuova Montalese attualmente costituito da due tubi di 1.0m con uno scatolare di 2.0 m di altezza e 3.0 m di larghezza.

NOTA: permane le presenza aree inondabili e tratti in pressione nel tratto tombato interno al centro abitato dove peraltro non si prevedono interventi.

FOSSO MENDANCIONE

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Cassa di espansione (MU-ME-CS01) ubicata in sinistra a valle della Nuova Montalese per un'area di circa 2.5 ha e un volume d'invaso di circa 43000 mc.
- Cassa di espansione (MU-ME-CS02) ubicata in destra a valle della ferrovia Prato-Pistoia per un'area di circa 4.9 ha e un volume d'invaso di circa 128000 mc.
- Cassa di espansione (MU-CM-CS01) ubicata in adiacenza alla cassa MU-ME-CS01 e destinata a ricevere le acque basse di un fosso posto a valle della cassa del Mendancione con una superficie di 0.7 ha e un volume di invaso di circa 15000mc.
- Impianto di sollevamento (MU-CM-ID01, MU-CM-ID02 e MU-CM-ID03) che solleva le acque del canale adiacente alla cassa del Mendancione con una portata stimata di 0.05 mc/s per 3 pompe.
- Adeguamenti arginali e di sezione: sono stati realizzati interventi di adeguamento arginale e di riprofilatura nel tratto dalla Nuova Montalese fino alla ferrovia Prato-Pistoia.

Gli interventi di progetto comprendono:

- Cassa di espansione (MU-ME-CS03) ubicata in sponda destra del fosso Mendancione e destinata a ricevere le acque del fosso di Selvavecchia che attualmente recapita nella cassa ME-ST-CS02; la cassa scarica nel fosso Mendancione con una portella di dimensioni 1.0mx1.0m; allo stato attuale si prevede la parziale arginatura del fosso di Selvavecchia e l'arginatura della cassa su quattro lati, qualora fosse possibile estendere l'area della cassa

verso la Nuova Montalese si potrebbe ridurre la necessita di argini sia sul fosso di Selvavecchia che intorno alla cassa.

- Nuovo tracciato (MU-ME-TR01) tra la vecchia e la Nuova Montalese già progettato dalla URTAT di Pistoia per una lunghezza di 750m.
- Nuovo tracciato (MU-ME-TR02) del Fosso Selvavecchia tra l'attraversamento della Nuova Montalese fino al Mendancione per una lunghezza di 500m.
- Potenziamento Impianto idrovoro (MU-CM-ID01, MU-CM-ID02 e MU-CM-ID03) con la posa in opera di tre gruppi da 1.0 mc/s ciascuno da porsi in opera a valle della cassa del fosso Mendancione.
- Portella di alleggerimento (MU-CM-PO01) per il fosso adiacente la cassa del Mendancione che attualmente ne risulta privo in quanto la quota del fondo alveo del fosso è inferiore a quella del fosso Mendancione ove confluisce attraverso il sollevamento.
- Adeguamento attraversamenti: si prevede l'adeguamento del ponte della Nuova Montalese con l'inserimento di due condotte circolari di diametro 1.8m ai lati di quella esistente; si prevede inoltre l'adeguamento con demolizione e ricostruzione dell'attraversamento del ponte della S.P. Pratese e di un ponticello a monte della ferrovia Prato-Pistoia.
- Adeguamento sommità arginali nel tratto tra la confluenza dello Stregale e la ferrovia Prato–Pistoia per altezze nell'ordine di 1.0 m-1.5 m.

TORRENTE CALICE

Gli interventi di progetto comprendono:

- Due casse di espansione (PO-CA-CS01, 02) ubicate in sinistra nel Comune di Prato, la prima per un'area di circa 22.4 ha e un volume d'invaso di 605.000 mc, la seconda di area pari a 12.4 ha e un volume di 316.000 mc.
- Una cassa di espansione (AG-CA-CS01) ubicata in destra, nel Comune di Agliana, con area di 18.7 ha e un volume di 752.000 mc.
- Adeguamento sezione idraulica per il tutto il tratto studiato attraverso la omogeneizzazione delle quote arginali in sponda destra e in sponda sinistra e la eventuale regolarizzazione della sezione funzionale alla riduzione della scabrezza dell'alveo.

SCOLMATORE AGNACCINO

Si ricordano i seguenti interventi già realizzati:

- Canale scolmatore lo scolmatore del fosso Agnaccino parte dalla sezione immediatamente a monte del sifone al di sotto del torrente Agna, corre parallelo al torrente Agna, attraversa la linea ferroviaria Prato-Pistoia, corre nuovamente parallelo alla ferrovia e infine sottopassa il fosso Mendacione proseguendo verso l'impianto di depurazione del Calicino; In un primo tratto fino alla confluenza della fognatura proveniente dal centro di Oste è costituito da una condotta circolare di 1.2m di diametro, successivamente fino al nuovo impianto di sollevamento da una condotta a sezione ribassata di 1.5 m di altezza per 2.0 m di larghezza; la sua funzione è duplice, raccogliere le acque nere lungo il suo percorso e alleggerire i canali che recapitano nel torrente Bure (Agnaccino, Poltronova e Gramigneto);
- Impianto idrovoro (MU-SM-ID08, MU-SM-ID09 e MU-SM-ID10) recentemente realizzato dal Consorzio di Bonifica Ombrone Bisenzio dotato di tre idrovore da 1.2 mc/s ciascuna recapitante nel fosso Mendancione.

Non si prevedono interventi.

NOTA: il sistema fognario non è dimensionato su tempi di ritorno inferiori a 200 anni pertanto permangono aree inondabili nelle parti più depresse.

TORRENTE BAGNOLO

Si ricordano le seguenti opere esistenti:

- Invaso ad uso idropotabile (MU-BG-CS01) posto a monte del centro abitato che svolge una modesta funzione di laminazione delle piene con una superficie di circa 2.1 ha e un volume invasato di 7500 mc.

Gli interventi di progetto comprendono:

- Una cassa di espansione (PO-BG-CS01) ubicata in destra idraulica nel Comune di Prato, con un'area di 13.9 ha e un volume d'invaso di 323.000 mc (tale opera è già prevista nel Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Idraulico).

- Un nuovo canale di scarico (PO-BG-TR01) che recapita le acque di scarico della cassa PO-BG-CS01 verso il Fosso Ficarello, per una lunghezza di circa 300 m.
- Adeguamento attraversamento del **Ponte Vecchia Montalese** (attraverso sottofondazione e abbassamento dell'alveo).
- Adeguamento sezione idraulica per il tutto il tratto di circa 1100 m a valle della Vecchia Montalese comprensivo di demolizione di due passerelle, sbassamento di una briglia, allargamento della sezione e adeguamento delle sommità arginali.
- Adeguamento delle sommità arginali e demolizione di una passerella nel tratto di circa 1500 m a monte di **Ponte Torto**. Altri modesti adeguamenti delle sommità arginali interessano il tratto a cavallo dell'Autostrada per un tratto di circa 1500 m.

FOSSO FICARELLO

Si ricordano gli interventi realizzati:

- Consolidamento delle difese di sponda nel tratto a monte della linea ferroviaria Firenze-Preto-Pistoia; è stato realizzato un muro in cls in sponda destra ed un muro in scogliera in sponda sinistra per un tratto di circa 60 m.
- Sistemazione del tratto a monte (circa 200 m) e a valle (circa 200 m) di via Visiana, con ricalibratura e adeguamento delle sezioni.

Gli interventi di progetto comprendono:

- Cinque casse di espansione (PO-FI-CS01, 02, 03, 04, 05) ubicate in sinistra idraulica e ricadenti nel Comune di Prato, per un'area complessiva di circa 30.5 ha e un volume totale d'invaso pari a 300.000 mc.
- Adeguamento sezione idraulica dell'attraversamento in località **S.Isidoro** (attualmente sezione circolare di 1 m) di quello della **Vecchia Montalese** (scatolare 1.0 x 1.0 m) e di quello della **Nuova Montalese** (attualmente circolare di 1.20 m). A valle ancora 4 piccoli attraversamenti da rimuovere. Infine il tratto tombato in località Viaccia che risulta insufficiente e per il quale si ritiene necessario effettuare una ulteriore verifica e manutenzione della sezione idraulica e eventualmente procedere al suo adeguamento.

7 BIBLIOGRAFIA

[1] Comune di Montale, *Studio Idrologico e Idraulico di alcuni corsi d'acqua ricadenti nel territorio comunale*, Settembre 2007.

[2] Regione Toscana, *Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana*, Firenze 1998.

[3] Consorzio di Bonifica Padule di Fucecchio, *Studio di Area Vasta del Padule di Fucecchio*, Pistoia, 2005.