

PROVINCIA DI PISTOIA  
COMUNE DI MONTALE



PROGETTO:

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

OGGETTO:

RELAZIONE TECNICA

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

PROGETTISTA:  
Prof. Ing. Enio Paris

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

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

PROVINCIA DI PISTOIA  
COMUNE DI MONTALE

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

## **RELAZIONE TECNICA**

Progettista: *Prof. Ing. Enio Paris*

Collaboratori: *Dott. Ing. David Settesoldi  
Dott. Ing. Michele Catella  
Dott. Silvia Angelini*

*Firenze, settembre 2007*

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
1.1	ELENCO ELABORATI.....	3
<b>2</b>	<b>IL QUADRO CONOSCITIVO</b> .....	<b>5</b>
2.1	GLI STUDI ESISTENTI .....	5
2.2	ACQUISIZIONE DEI DATI TERRITORIALI .....	6
2.3	VERIFICA AMBITI B E MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	11
<b>3</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	<b>15</b>
3.1	I DATI PLUVIOMETRICI .....	15
3.2	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV .....	16
3.3	INFERENZA STATISTICA.....	19
3.4	CALCOLO DELLE CPP - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	21
3.5	I DATI TERRITORIALI .....	22
3.6	LA STRUTTURA DEL MODELLO IDROLOGICO .....	31
3.7	LE PORTATE DI PIENA .....	36
3.8	LE PRECIPITAZIONI .....	36
3.9	I PARAMETRI DEL MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI.....	37
3.10	CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.....	39
3.11	CONFRONTO CON GLI STUDI PRECEDENTI.....	41
3.12	I PARAMETRI DEL MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI.....	41
<b>4</b>	<b>ANALISI IDRAULICA</b> .....	<b>42</b>
4.1	DEFINIZIONE DEI CORSI D’ACQUA OGGETTO DI STUDIO NEL COMUNE DI MONTALE .....	42
4.2	SCHEMATIZZAZIONE DELL’AREA .....	43
4.3	IL MODELLO IDRAULICO.....	43
4.3.1	<i>Il modello di moto vario</i> .....	43
4.3.2	<i>Il modello di inondazione quasi-bidimensionale</i> .....	49
<b>5</b>	<b>APPLICAZIONE DEL MODELLO E RISULTATI</b> .....	<b>53</b>
5.1	INDIVIDUAZIONE DEI TRATTI CRITICI .....	56
5.2	DEFINIZIONE DELLE AREE INONDABILI.....	62
5.3	PERIMETRAZIONE DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	63
<b>6</b>	<b>DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI</b> .....	<b>64</b>
6.1	DEFINIZIONE DEI CRITERI PER GLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO .....	64
6.2	VERIFICA IDRAULICA DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI DI MESSA IN SICUREZZA.....	65
6.3	GLI INTERVENTI PREVISTI.....	67
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>75</b>

## 1 PREMESSA

A seguito dell'incarico affidato dal Comune di Montale 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 Montale*" 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 Montemurlo 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 Montemurlo [1].

In particolare, gli obiettivi 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 verificare 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 interventi di messa in sicurezza ulteriori con particolare riferimento al centro abitato di Montale.

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 afferenti ai corsi d'acqua del Torrente Agna, del Fosso dei Mulini, del Fosso della

Badia, del Torrente Settola, del Torrente Bure. Nel corso dello studio è stato ritenuto opportuno estendere l'analisi anche al Torrente Agnaccino, al Fosso Poltronova, al Fosso Gramigneto e al tratto iniziale del Torrente Calice.

- **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.

## **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, sistemazioni attraversamenti*

*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.

**[2A] Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Pistoia, 2001, Progetto della cassa di espansione sul Fosso della Badia e Fosso dei Mulini, Comune di Montale.**

Lo studio ha come obiettivo il dimensionamento e verifica di una cassa di espansione per il Fosso della Badia e il Fosso dei Mulini, posta a monte dei rispettivi tratti tombati, in prossimità della stazione ferroviaria Agliana-Montale.

Dopo aver svolto l'analisi idrologica per il calcolo della portata con tempo di ritorno 100 anni, che risulta di 20.5 mc/s per il Fosso della Badia, e di 8.7 mc/s per il Fosso dei Mulini, viene condotta la verifica dello stato attuale e il progetto della cassa. In particolare, viene proposto l'adeguamento della sezione idraulica dei due corsi d'acqua per il tratto a monte della cassa, mentre quest'ultima risulta occupare una superficie di circa 65.000 mq e fornire un volume di laminazione pari a circa 52.000 mc.

**[2B] Comune di Montale, Provincia di Pistoia, 2004, *Fattibilità di assetto idraulico del Fosso della Badia e del Fosso dei Mulini*, a cura del Dott. Ing. A. C. Breschi.**

Obiettivi di tale studio sono stati:

- valutare gli effetti laminazione sul Fosso della Badia operati dal bacino di accumulo realizzato a monte dell'abitato di Montale;
- verificare se tali benefici consentano di sanare gli intubamenti presenti e eventualmente di renderne possibili ulteriori a monte di quelli esistenti;
- eseguire uno studio idraulico generale del Fosso della Badia tenendo conto sia del bacino di accumulo già realizzato sia della nuova cassa di espansione, da realizzare, situata a monte della località "Stazione di Montale";

- eseguire uno studio idraulico generale del Fosso dei Molini tenendo conto della nuova cassa di espansione, da realizzare, situata a monte della località “Stazione di Montale” a fronte dei frequenti problemi di allagamento dell’abitato in quella zona.

**[2C] Comune di Montale**, Provincia di Pistoia, 2007, *Studio Idrologico-Idraulico del T. Settola ai sensi della D.C.R.T. n° 12/2000*, a cura del Dott. Ing. M. Izzo e Dott. Geol. S. Gandolfi.

Tale studio è stato eseguito a supporto della redazione del Piano Strutturale del Comune di Montale con lo scopo di individuare le criticità idrauliche del Torrente Settola nel tratto compreso fra la località “Podere Settola” e la confluenza con il Torrente Bure. E’ stata effettuata una verifica idraulica in moto permanente per portate di picco con TR di 200 anni; sono state individuate le aree a rischio di inondazione e i volumi esondati; sono state date indicazioni di massima delle opere di messa in sicurezza. Nello studio sono riportate le sezioni rilevate per il tratto in esame, la documentazione fotografica e cartografica.

## **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, Fosso Agnaccino, T. Bure, T. Calice, Fosso della Badia, Fosso dei Molini, Fosso Gramigneto, Fosso Poltronova, T. Settola. In particolare, l’insieme delle sezioni e le fonti di acquisizione sono riportate nella tabella seguente per ciascun corso d’acqua considerato.



## Torrente Agna

Tratto	Sezioni	Origine
<p>Agna degli Acquiputtoli</p>	<p>Da AG3001A_ a AG3014__</p>	<p><i>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</i></p>
<p>Agna delle Conche</p>	<p>Da AC3001__ a AC3024__</p>	<p><i>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</i></p>
<p>Agna a valle di Fognano</p>	<p>Da AG4001__ a AG4062__</p>	<p><i>Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI – Studio Hydea – 2001</i></p>
<p>Agna a monte della ferrovia Firenze – Lucca</p>	<p>Da AG5001__ a AG5006__</p>	<p><i>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 – Il Lotto” – URTT di Prato e Pistoia – 2006</i></p>
<p>Agna</p>	<p>Da AG0001__ a AG0017A_</p>	<p><i>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</i></p>

## Fosso Agnaccino

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

### Fosso della Badia

Tratto	Sezioni	Origine
Badia	Da BA0001__ a BG0043D_	<i>Rilievo planoaltimetrico del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini – Comune di Montale - 2007</i>
Badia in località stazione di Montale	Da BA5001__ a BA5033__	<i>Perizia n. 492 Realizzazione di una cassa di espansione a servizio del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini in località Stazione di Montale in Comune di Montale – Regione Toscana – Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Pistoia e Prato</i>

### Fosso dei Molini

Tratto	Sezioni	Origine
Molini	Da FM0001C_ a FM0038D_	<i>Rilievo planoaltimetrico del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini – Comune di Montale - 2007</i>
Molini a valle dell'abitato di Montale (loc. Il Fangaccio)	Da FM10001__ a FM10004D_	<i>Rilievo planoaltimetrico del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini – Comune di Montale - 2007</i>
Molini in loc. Fattoria di Landaia - Molini di Sotto	Da FM20001__ a FM20004D_	<i>Rilievo planoaltimetrico del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini – Comune di Montale - 2007</i>
Canale scolmatore fra Fosso dei Molini e Fosso della Badia	Da SC0001A_ a SC0002D_	<i>Rilievo planoaltimetrico del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini – Comune di Montale - 2007</i>
Fosso dei Molini in località stazione di Montale	Da FM5001__ a FM5023__	<i>Perizia n. 492 Realizzazione di una cassa di espansione a servizio del Fosso della Badia e del Fosso dei Molini in località Stazione di Montale in Comune di Montale – Regione Toscana – Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Pistoia e Prato</i>

### Fosso Gramigneto

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

### Fosso Poltronova

Tratto	Sezioni	Origine
Poltronova	Da PL1001A_ a PL1004D_	<i>Rilievo planoaltimetrico di tratto del fosso Agnaccino da casa "Agnà 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</i>

### Torrente Settola

Tratto	Sezioni	Origine
Settola	Da SE2001A_ a SE2121__	<i>Rilievo planoaltimetrico dello sviluppo del Torrente Settola, fra la località Capiteta e la confluenza nel Torrente Bure – Comune di Montale - 2006</i>

### Torrente Bure

Tratto	Sezioni	Origine
Bure	Da BU4001__ a BU4043__	Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI – Studio Hydea - 2001

### Torrente Calice

Tratto	Sezioni	Origine
Calice	Da CA4001__ a CA4013__	Bacini Idrografici Torrenti Ombrone P.se e Bisenzio – Riduzione Rischio Idraulico – PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI – Studio Hydea - 2001

Le sezioni utilizzate per la modellazione idraulica sono riportate nella Tavola 2.

### 2.3 Verifica 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 Pistoia** 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.

La Provincia di Pistoia ha approvato il P.T.C.P. – Piano territoriale di Coordinamento Provinciale con D.C.P. n°317 del 19 Dicembre 2002, quindi successivamente all'approvazione del P.I.T. regionale e pertanto risulta a questo conforme.

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica, il PTC contiene una cartografia che riporta una classazione della pericolosità come indicato nella Figura 2.1.

Nella Figura 2.2 è riportata la mappatura della pericolosità idraulica redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

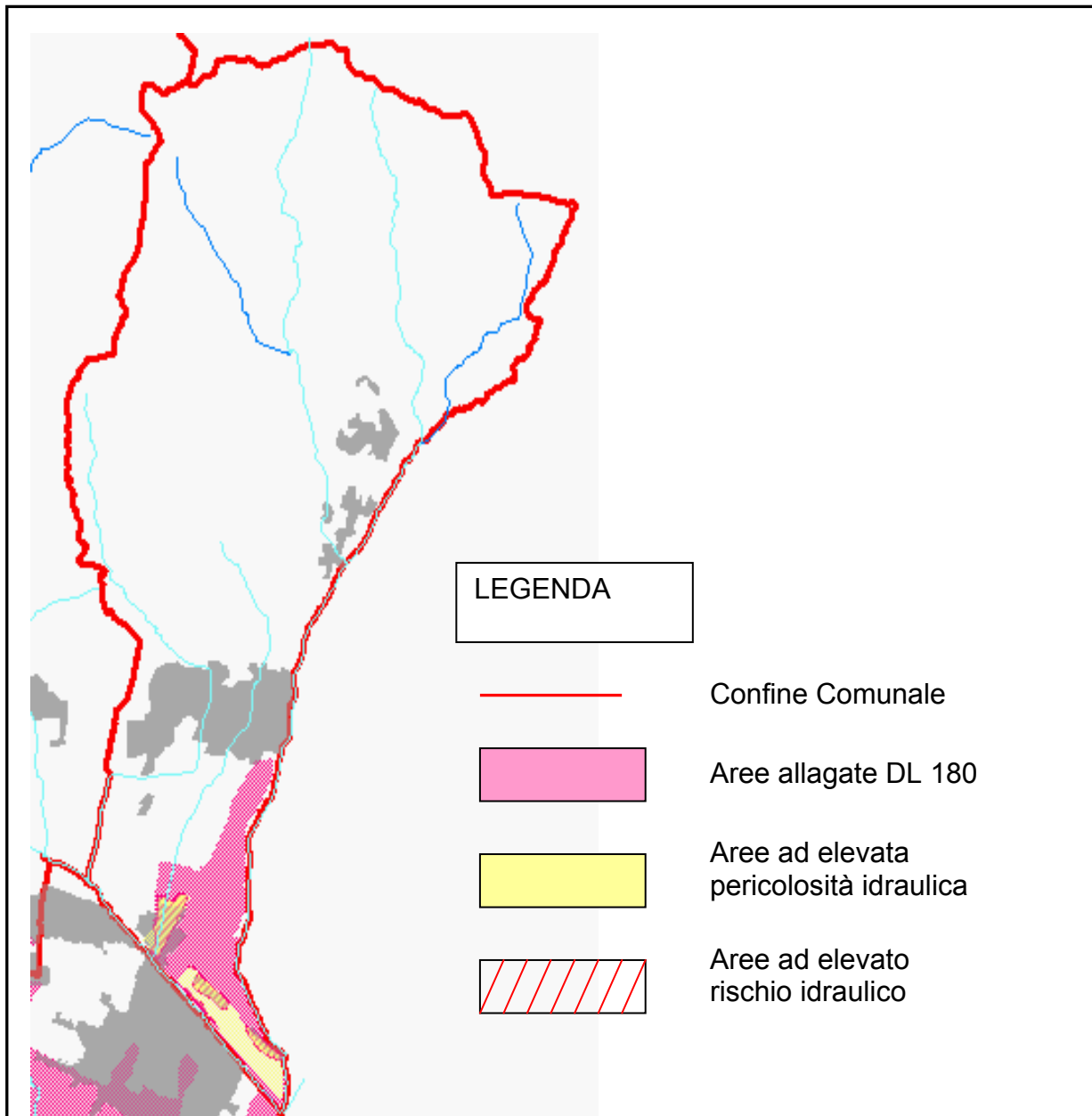


Figura 2.1 - Classazione delle aree a diversa pericolosità (PTC Provincia di Pistoia)

Per quanto riguarda gli ambiti B, il PTC riporta il tematismo di Figura 2.3 ove sono indicati i corsi d'acqua classificati ai fini della DCRT 230/94 e i relativi ambiti B.

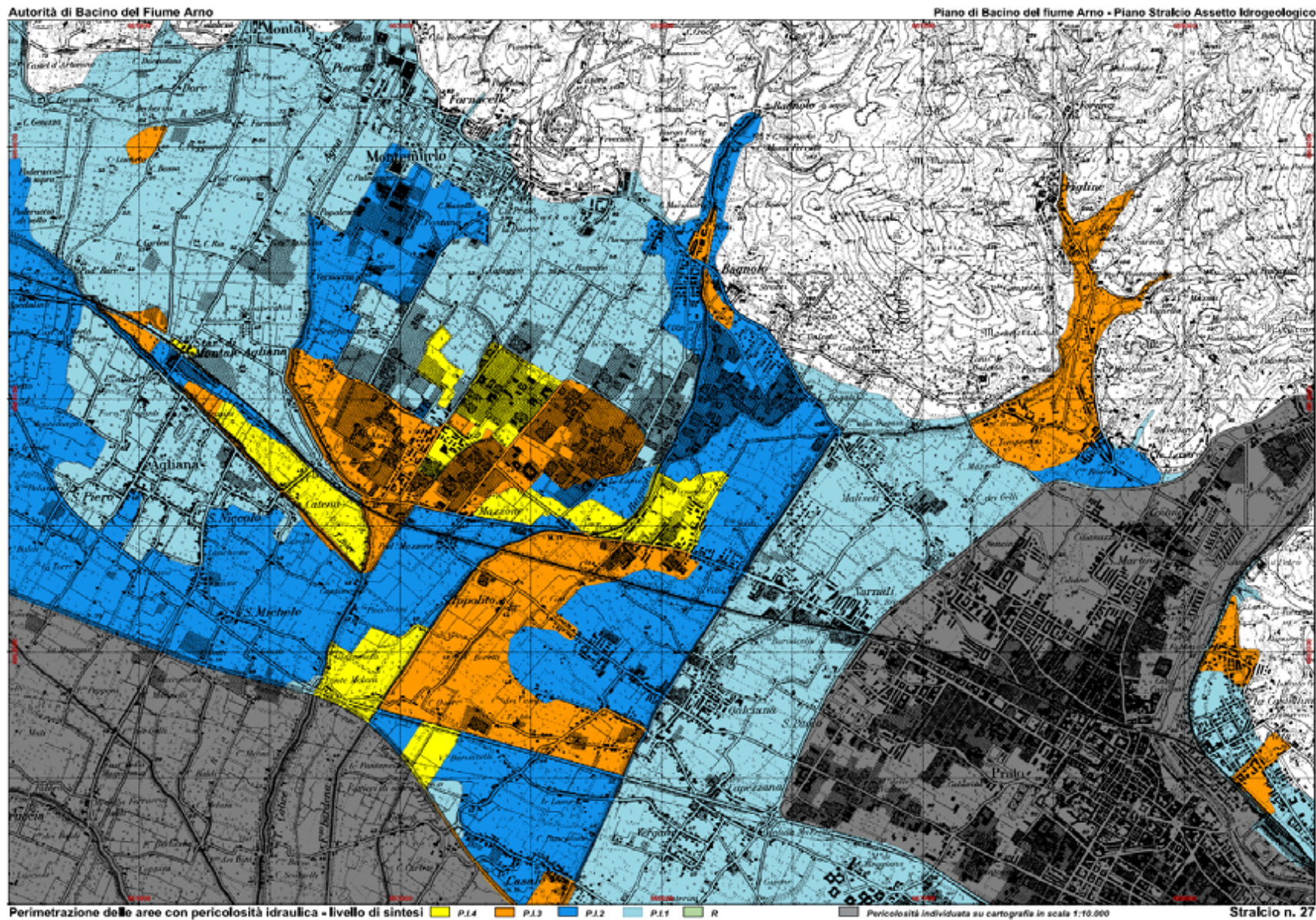


Figura 2.2 - Mappa delle pericolosità idraulica redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno alla scala 1:25.000



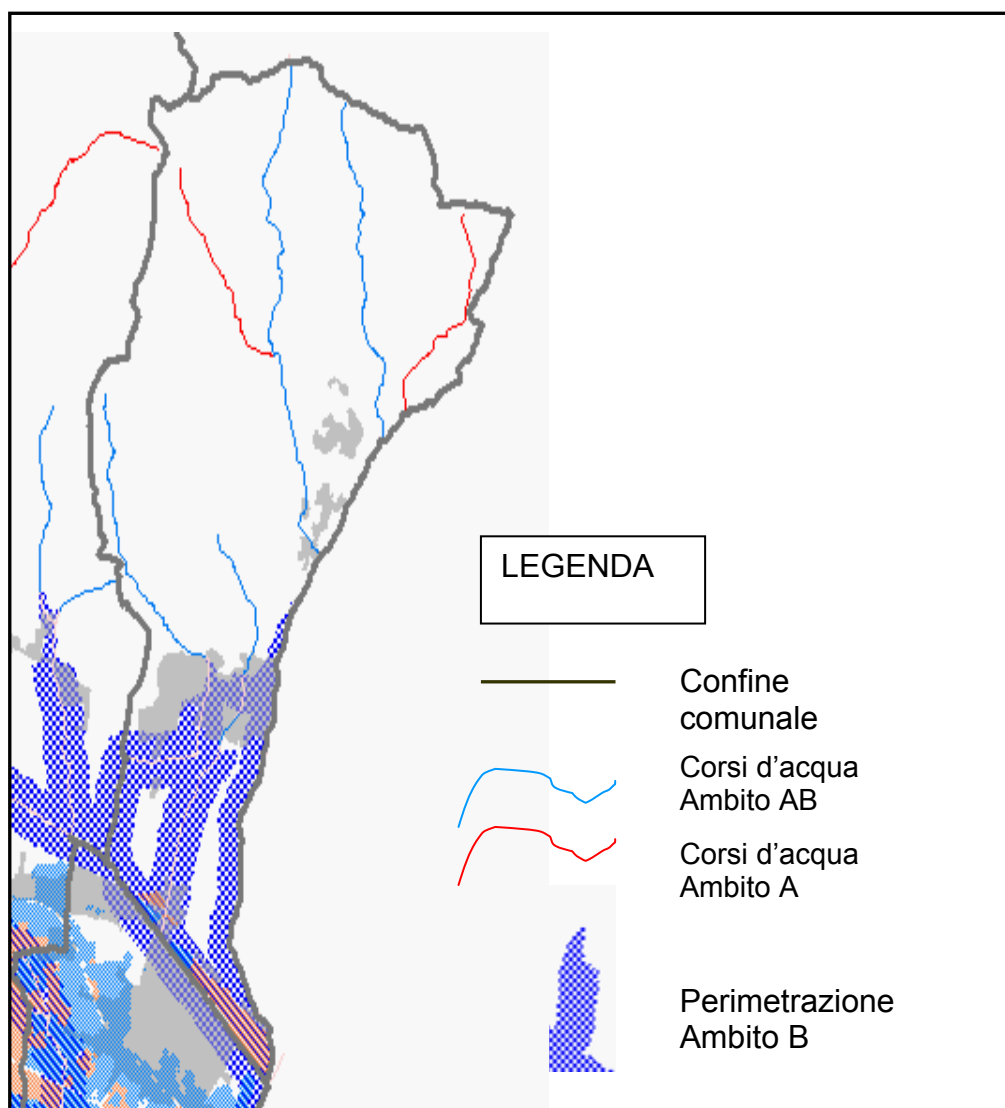


Figura 2.3 - Definizione degli Ambiti "B" nel PTC della Provincia di Pistoia

Nella Tabella 2.1 sono elencati i corsi d'acqua classificati ai sensi della DCRT 230/94 e ricadenti in ambito B.

Denominazione corso d'acqua	Codice 230	Denominazione 230	Ambiti
Torrente Agna	2438	Agna delle Conche	AB
Torrente Agna	2436	Agna e Agna degli Acquiputtoli	AB
Torrente Bure	2494	Bure e Bure di Baggio	AB
Fosso Badia	1791	Stregale o Castello di	AB
Fosso Funandola	1662	Fosso il Rio	AB
Torrente Settola	2848	Tettoia o Settola	AB

Tabella 2.1 – Corsi d'acqua classificati dal DCRT 230/94 e ricadenti in ambito B

### **3 ANALISI IDROLOGICA**

L'analisi idrologica è mirata a fornire una valutazione delle portate di piena per i bacini ricadenti nel comune di Montale 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 [2];
- 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 e' 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  $x$ ;
- $x$  = 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  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  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  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  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  $X'' = X/\theta_1$ :

$$P(X'') = \exp(-\Lambda_1 \exp(-X'')) - \Lambda_1 \Lambda_1^{11/\theta_*} \exp(-X''/\theta_*)$$

Il valore di  $\Lambda_1$  valido per tutta l'area omogenea al secondo livello può 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"  $X_d$  ed il suo valore atteso  $E[X_d]$  (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:

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

dove  $\gamma_E = 0.57722$  è la costante di Eulero.

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

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

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 ove 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.

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	S-Quirico_di_Vernio	434	1672613	4880158

Codice	Nome	Quota	X	Y
(1165)	(Sassetta_di_Vernio)			
(1171)	(Vernio_auto)			
1190	Le_Croci_di_Calenzano			
(1189)	(Le_Croci_di_Calenzano_auto)	440	1677648	4868133
1200	Calenzano			
(1201)	(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	Prato_in_Toscana			
(1205)	(Prato_università_auto)	70	1669875	4860657
1240	Piteccio	235	1652148	4875118
1260	Pistoia			
(1257)	(Pistoia_Frutticoltura)			
(1258)	(Pistoia_vivaio)			
(1261)	(Pontelungo_PT_auto)	88	1653028	4867353
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*

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 adimensionale 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 stazioni 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 Montale 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 Lanciata") 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

Codice	Descrizione
9	AQR2-Membro pelitico-arenaceo della Formazione dell'Acquerino
10	b-Alluvioni attuali e recenti
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 lavello) 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 variaeta' 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 topoi per il ragguglio 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.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
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	f1-(formazione di lavello) argilloscisti siltosi prevalenti con arenarie quarzoso-calcaree micacee fini tipo "pietraforte" Cretaceo superiore
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-Ripporto
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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 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) Aquitaniense-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 breccie 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 livello) argilloscisti siltosi prevalenti con arenarie quarzoso-calcaree micacee fini tipo "pietraforte" Cretaceo superiore



Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
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
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 varietà 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 geo-litologica*

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

Codice	IN media	IN dev.sta.	Descrizione
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
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 2.1 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.

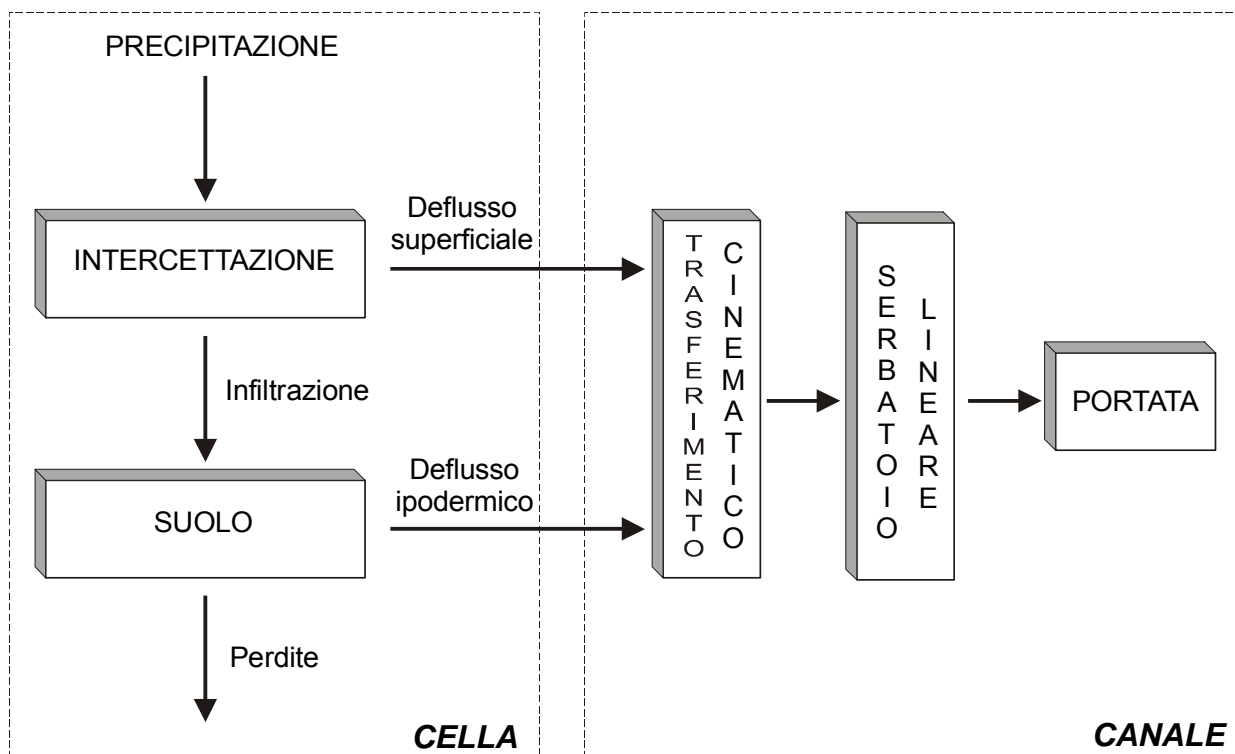


Figura 3.1 - Schema del modello afflussi-deflussi

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,  $P_{ik}$ , [mm/h] è determinato con il metodo dei topoiati;

2 - il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione,  $K_s$  [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro  $K$  [1/h].

3 - l'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

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

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

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

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_0$  [mm] è uguale a  $\alpha_0 \theta_{\max}$ , dove  $\alpha_0$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{\max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:

- essiccamento del suolo:

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

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

$$l_{\text{eff}} = K_s$$

- saturazione del suolo:

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

$$Q_{1k} = 0$$

$$l_{\text{eff}} = \theta_k / dt + P_{ik}$$

- caso intermedio:

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

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{\max}) + P_{ik} - K_s$$

$$l_{\text{eff}} = K_s$$

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

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

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

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

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

$\alpha_0$  = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];

RI = coefficiente moltiplicativo 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	di
Pik	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]	
$\Delta t$	passo temporale	[h]	
Dx	passo spaziale	[m]	
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (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]	
$T_c = CI \cdot T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]	
$T_i = (1 - CI) \cdot T$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di	[h]	
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]	
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]	
$\theta_{max} = RI \cdot SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile	[mm]	
$K_s = IN \cdot KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]	
$\tau_c = T_c / MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]	
$\tau_i = T_i / MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]	
$C_s = 1 / \tau_i$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]	
$\alpha_0$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità	[/]	
$\theta_0$	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]	
$K = IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]	
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]	
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]	
$Q_{1k}$	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]	
$\phi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]	
$Q_k$	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]	

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

### **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 costante in accordo con la metodologia adottata negli studi per la Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana [2].

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

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

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

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

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

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

Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:

$\alpha = 0.036 \times a'$ , dove  $a'$  è il parametro della curva di possibilità;

$\beta = 0.25$ ;

$\gamma = 0.01$ .

### **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 = $\Theta$	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  $\Theta$  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), 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.

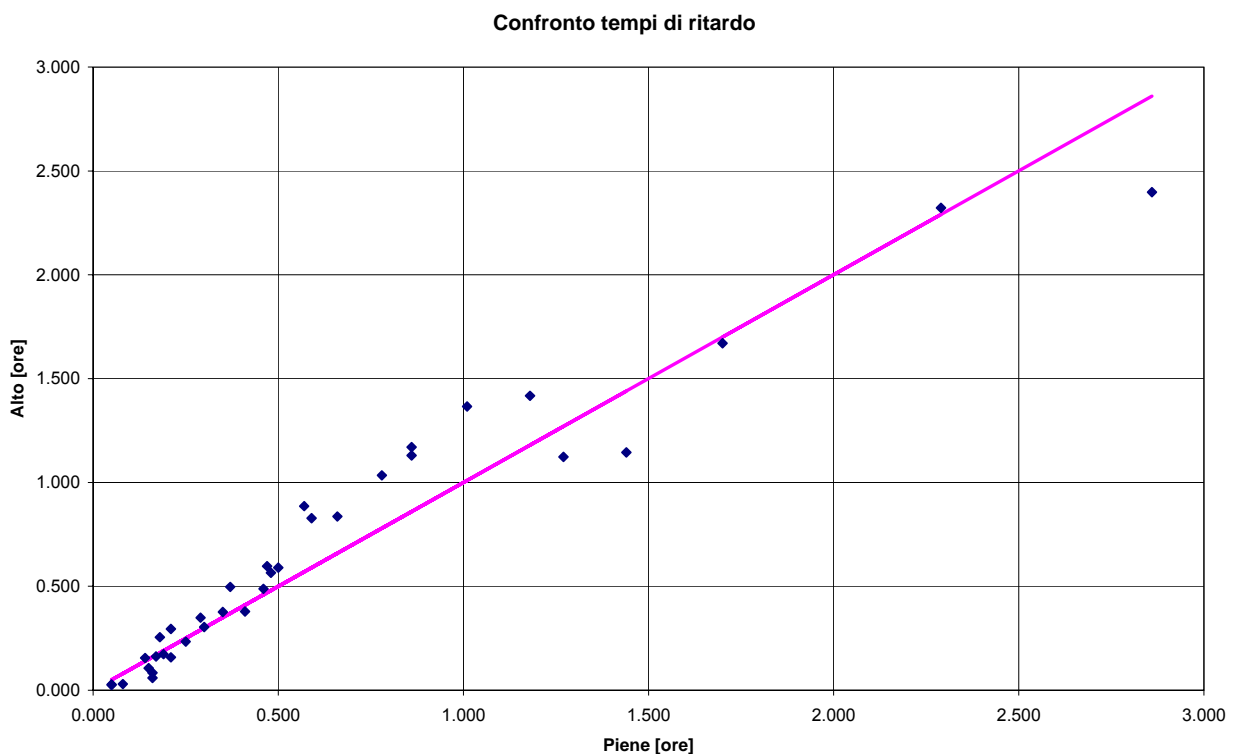


Figura 3.2 - Confronto tra i tempi di ritardo di PIENE e di ALTO

### 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.

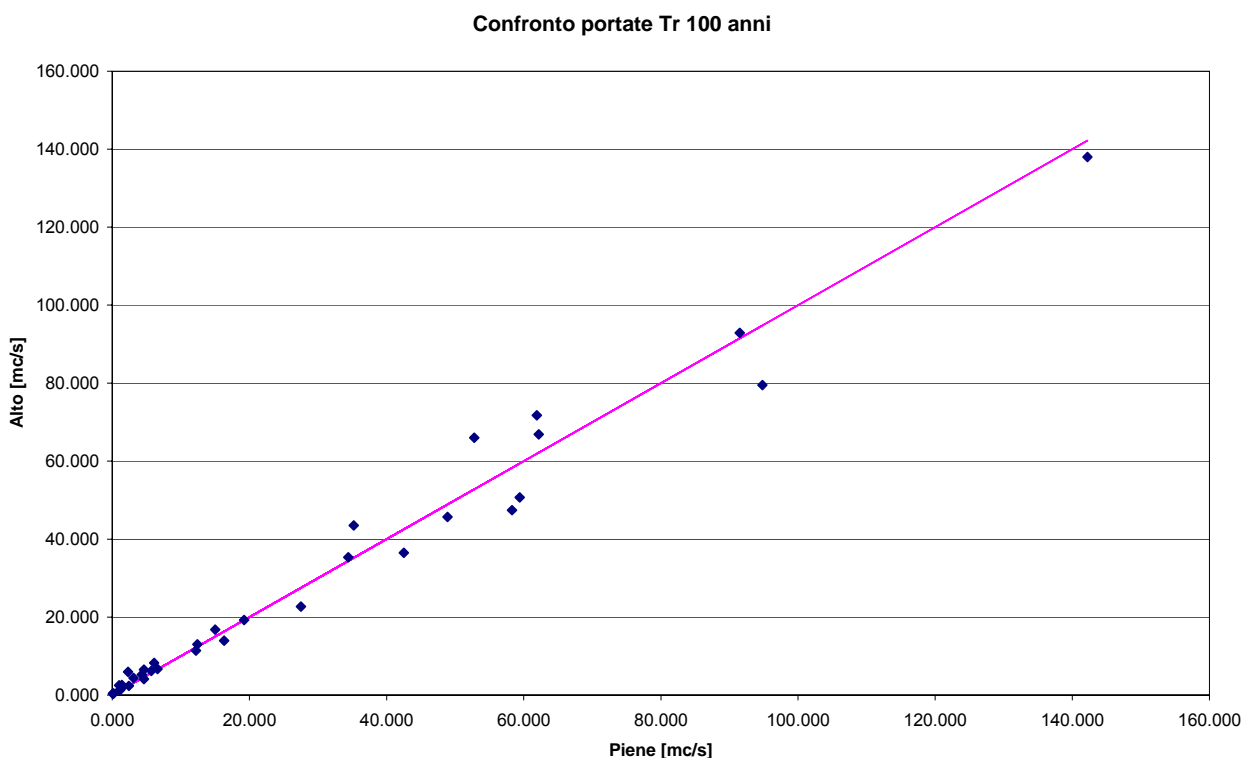


Figura 3.3 - Confronto tra portate stimate con PIENE e con ALTO per  $Tr=100$  anni

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 ragguglio della precipitazione  $K_r$  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

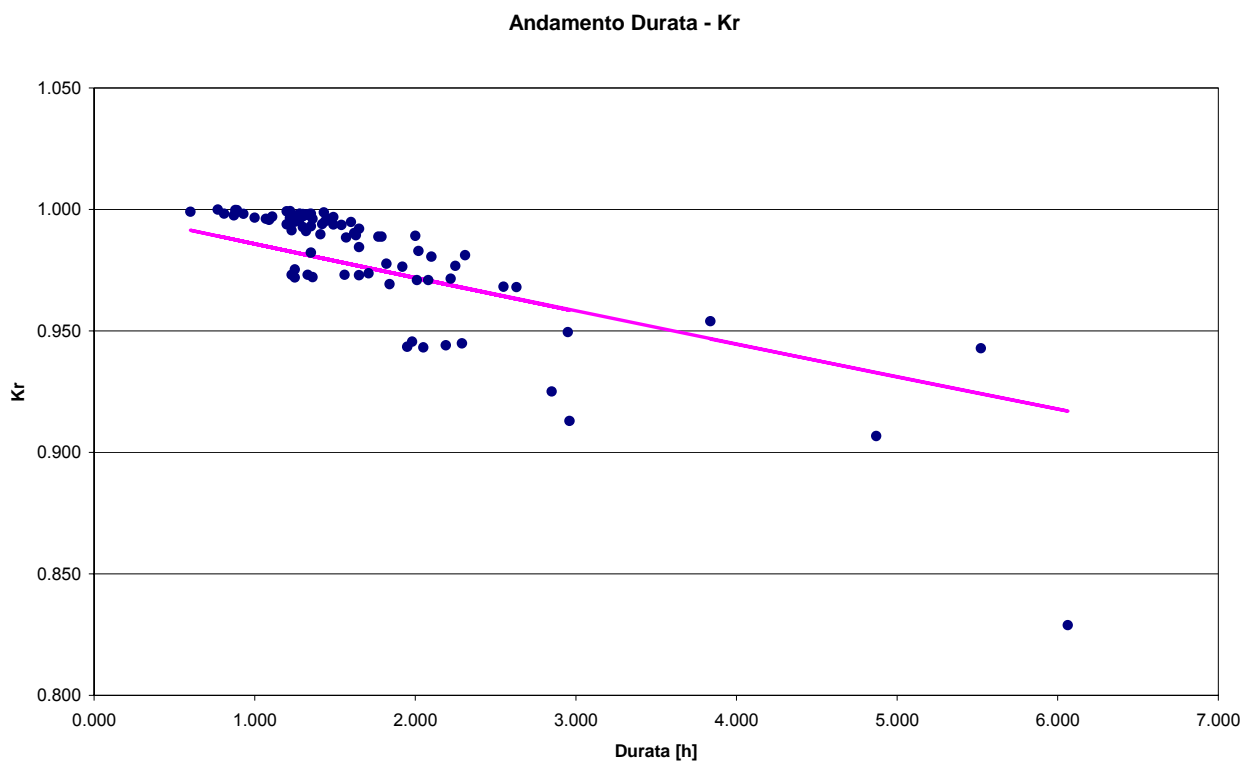


Figura 3.4 - Andamento del Kr con la durata

### 3.11 Confronto con gli studi precedenti

Nella Tabella seguente si riporta un confronto tra i valori delle portate al colmo calcolati nell'ambito del presente studio e quelli desunti dagli studi disponibili.

Corso d'acqua	Sezione	Portata Presente studio (mc/s)	Riferimento studio esistente	Portata studio esistente (mc/s)
Fosso della Badia	BA0038	Q100 = 11.3	[2A]	Q100=20.5
Fosso dei Mulini	FM0030	Q100 = 8.1	[2A]	Q100= 8.7
Torrente Settola	SE2113	Q100= 52.8	[2C]	Q100=65.5
Torrente Settola	SE2113	Q200= 61.5	[2C]	Q200=79.8
Torrente Settola	SE2113	Q30= 40.0	[2C]	Q30= 49.8

Tabella 3.12 – Confronto tra le portate al colmo

Da tener presente che le discrepanze 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 Montale

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 Montale.

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	<b>Agna_01</b>	45.8	FU	Funandola	4353.2
AG	<b>Agna_02</b>	7845.3	GR	<b>Gramigneto</b>	546.2
AC	<b>Agna_Conche</b>	528.3	MA	<b>Mazzaccheri_fg</b>	171.0
AN	<b>Agnaccino_01</b>	1580.1	ME	Mendacione_01	2243.9
AN	<b>Agnaccino_02</b>	285.4	ME	Mendacione_02	849.4
SA	<b>Agnaccino_sc_01</b>	929.0	ME	Mendacione_03	666.4
SM	<b>Agnaccino_sc_02</b>	110.0	ME	Mendacione_04	707.3
BA	<b>Badia_01</b>	1093.0	CM	Mendacione_fo	280.5
BA	<b>Badia_02</b>	2618.4	FM	<b>Molini_01</b>	1226.8
BG	<b>Bagnolo</b>	7201.3	FM	<b>Molini_02</b>	1684.8
BU	<b>Bure_01</b>	698.5	FM	<b>Molini_03</b>	1033.8
BU	<b>Bure_02</b>	1065.0	FM	<b>Molini_dv_01</b>	302.9
BU	<b>Bure_03</b>	123.5	FM	<b>Molini_dv_02</b>	202.9
BU	<b>Bure_04</b>	1299.0	SC	<b>Molini_sc</b>	425.1
BU	<b>Bure_05</b>	521.6	PL	<b>Poltronova</b>	188.5
BU	<b>Bure_06</b>	366.0	SE	<b>Settola</b>	3767.6
BU	<b>Bure_07</b>	63.0	ST	Stregale_01	2253.1
CA	<b>Calice</b>	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 Il modello idraulico**

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 di 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.

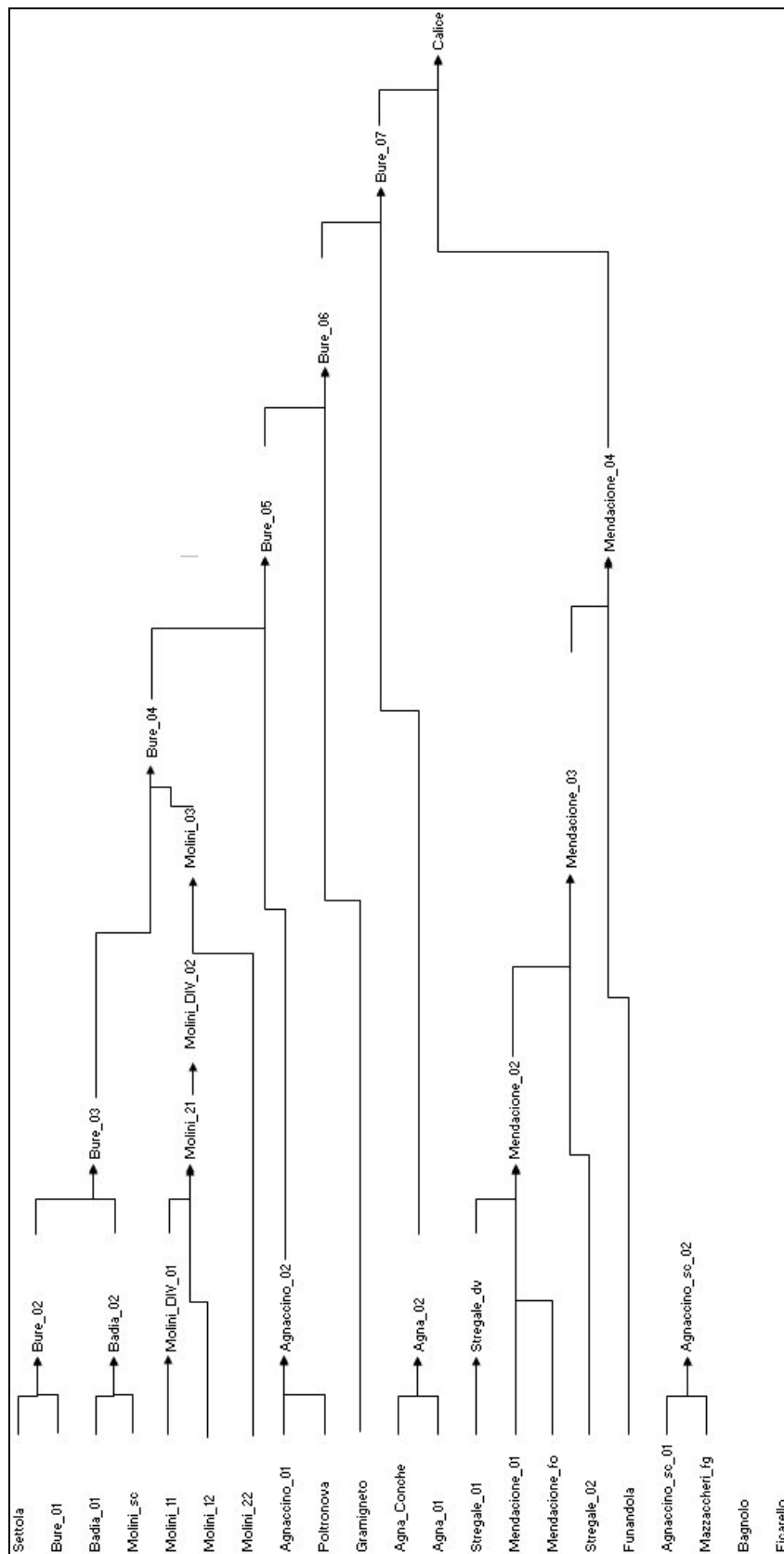


Figura 4.1 – Schema del sistema fluviale

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 dalle 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:

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

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

in cui:

- $A$  = area della sezione liquida [m<sup>2</sup>];
- $Q$  = portata [m<sup>3</sup>/s];
- $q(x)$  = portata laterale (positiva se entrante) [m<sup>2</sup>/s];
- $H$  = carico totale della corrente [m];
- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];
- $U$  = 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:

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

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

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

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,  $\Delta H$ , mediante la formula:

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

ove  $\alpha$  è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e  $\xi$  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:

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

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \quad [4.6]$$

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

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo e l'indice  $i$  allo spazio). I valori utilizzati 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:

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

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 Mendacione\_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 perimetrare 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:

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

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:

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

dove  $l$  è la lunghezza della soglia,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  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:

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

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 schematizzazioni adottate.

## 5 APPLICAZIONE DEL MODELLO E RISULTATI

L'applicazione della modellistica idraulica descritta in precedenza presuppone:

1) la **conoscenza della geometria dell'alveo** in corrispondenza delle sezioni considerate. 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 associabile 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 il coseno del suddetto angolo.

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 al 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 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 presenti 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 [m <sup>2</sup> ]	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	<i>a</i>	<i>h</i> <sub>0</sub>	<i>c</i>	<i>q</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>h</i> <sub>0</sub>	<i>c</i>	<i>q</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>h</i> <sub>0</sub>	<i>c</i>	<i>q</i> <sub>0</sub>
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.

Nella Tavola 3 si riportano i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche per i diversi tempi di ritorno ed per le differenti durate, 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 e F02.

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

Nella Tavola 4.1 e 4.2 si riportano le aree inondabili per i diversi tempi di ritorno, nella Tavola 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 DELLE CONCHE

I risultati delle verifiche idrauliche condotte nel presente studio indicano che l'intero tratto analizzato del t. Agna delle Conche (affluente destro del t. Agna) risulta idoneo al deflusso delle portate con tempo di ritorno pari a 20 anni ad esclusione del tratto finale a monte della confluenza con il torrente Agna (sezioni AC2023\_\_, AC2024\_\_); in corrispondenza di queste sezioni si verificano fenomeni esondativi in sponda sinistra che vanno ad interessare gli insediamenti industriali qui collocati. Dei due attraversamenti presenti quello più a monte corrispondente alla sezione AC3002B\_ non consente il transito della portata di piena duecentennale provocando fenomeni esondativi che interessano una piccola area posta in sinistra idrografica nei pressi dell'attraversamento.

### 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, fanno eccezione:

- Il 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.
- Il 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.
- Il 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).



Figura 5.1- Cassa di espansione del Fosso Agnaccino

- Il tratto dalla sezione AN1020A\_ alla AN1025D\_ (lunghezza 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.

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 BURE

Il tratto preso in esame va dalla confluenza con il t. Settola alla confluenza con il f. Mendancione per una lunghezza di circa 3.5km. Dalle verifiche effettuate il t. Bure non risulta idoneo al deflusso di portate con tempo di ritorno di 20 anni, in particolare il tratto critico inizia a valle della confluenza del fosso del Lischeto e arriva fino alla confluenza con il f. Mendancione. L'intero tratto è caratterizzato da esondazioni sia in destra che in sinistra idrografica; la zona posta in sinistra ricade nel territorio del comune di Montale. In quest'area sono presenti insediamenti residenziali (abitato della "Stazione di Montale"), attività produttive, aree agricole ed importanti infrastrutture viarie fra le quali la linea ferroviaria Firenze-Lucca. Quest'ultima, nel tratto compreso fra il f. del Lischeto e il f. dei Mulini (Figura 5.2), viene sormontata già con eventi di piena con tempi di ritorno 20 anni; a questa situazione estremamente critica contribuiscono anche le acque del f. della Badia e del f. dei Mulini.



*Figura 5.2 Area critica di confluenza del T. Bure, F. della Badia e F. dei Mulini in loc. Stazione di Montale*

### 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 DELLA BADIA

I risultati delle verifiche idrauliche mostrano che il corso d'acqua risulta idoneo al deflusso delle portate con i tempi di ritorno analizzati ad eccezione dei due tratti compresi tra le sezioni BA0008A\_ / BA0014D\_ e BA0033\_\_ / BA0044\_\_.

Il primo tratto, lungo circa 850m, costituito da un tubo di diametro di 1.5m riceve anche le acque di uno scolmatore proveniente dal Fosso dei Molini. In particolare il tratto compreso fra la sezione BA0008A\_ e BA0011\_\_ entra in crisi con la portata centennale mentre il restante tratto fino alla fine dell'intubamento risulta in pressione già con portate ventennali. Il secondo tratto lungo circa 900m rappresenta il tratto finale del Fosso della Badia e attraversa l'abitato della Stazione di Montale (Figura 5.2); l'insufficienza idraulica sia in destra che in sinistra si verifica già con portate di piena ventennali.

Per la portata trentennale risultano sormontati l'attraversamento in corrispondenza della sezione BA0002B\_ (via Fonte di Bronia) e l'attraversamento BA0023\_A.

### FOSSO DEI MULINI

I risultati delle verifiche idrauliche mettono in luce una situazione estremamente critica per il rischio da esondazione sul Fosso dei Mulini. Tutto il tratto esaminato, compreso tra la derivazione dal t. Agna e la foce, risulta caratterizzato dalla presenza di estesi tratti con insufficienza idraulica. La criticità del corso d'acqua è legata al sottodimensionamento dei tratti intubati che si sviluppano per quasi tutta la lunghezza del fosso, e i cui diametri sono compresi fra 0.6 e 0.8m. I tombamenti risultano ampiamente insufficienti a convogliare la portata di piena ventennale con conseguenti fenomeni esondativi che vanno ad interessare ampie zone, ed in particolare l'abitato della Stazione di Montale nei pressi della confluenza con il t. Bure (Figura 5.2).

### 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 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.

### TORRENTE SETTOLA

I risultati delle verifiche mostrano che il t. Settola risulta idoneo al deflusso delle portate ventennali e trentennali. Gli unici tratti che risultano critici per queste portate sono:

- Il tratto compreso fra le sezioni SE2012\_\_ E SE2019\_ situato a valle dell'abitato di Montale Alto. In questo tratto si verificano esondazioni sia in sponda destra che in sponda sinistra ma la morfologia dell'area determina allagamenti solo in sponda sinistra, che interessano l'abitato compreso fra Via F. Crispi, via 25 Luglio, e via XX Settembre, via F. Ili Masini (Figura 5.3).
- Il tratto fra la sezione SE2030\_\_ e la sezione SE2032\_\_ (che si estende per portate centennali a monte alla sez. SE2027A\_ e a valle alla sez. SE2033L\_) dove si verificano esondazioni in destra e in sinistra che interessano l'abitato di via Giusti, via 25 Luglio e via F. Ili Masini (Figura 5.3).

Il tratto del t. Settola posto a valle di via Berlinguer fino alla confluenza con il t. Bure non presenta per portate ventennali e trentennali problemi di efficienza idraulica, se non per singole sezioni sparse che risultano insufficienti e che determinano allagamenti nella zona agricola pianeggiante posta in sinistra idrografica (loc. Lischeto).

Lo stesso tratto, a partire dalla sezione SE2112\_\_ a valle della Fattoria di Lischeto, non risulta idoneo al deflusso delle portate con tempo di ritorno 100 anni; le aree allagate poste in sinistra idrografica sono occupate da terreno agricolo.





Volumi esondati [m <sup>3</sup> ]					
Denominazione	Tr 20 anni	Tr 30 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 500 anni
Totale aree di esondazione	790645	973088	1483737	1746580	2184845

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.

Convieni osservare che nella classe PI3 ricadono anche le aree soggette a volumi idrici di solo transito conseguenti ad eventi di piena con TR 30 anni, mentre nella classe PI2 ricadono le aree 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 = 32 km <sup>2</sup>				
	Aree P1	Aree P2	Aree P3	Aree P4
Superficie aree perimetrate [km <sup>2</sup> ]	0.6	1	1.9	1.1
Percentuale [%]	1.9	3.1	5.9	3.4

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 questo proposito si riporta nella Figura 6.1 l'estratto di mappa degli 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 Montale.

### ***6.1 Definizione dei criteri per gli 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 ed idrauliche, 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.



## Autorita' di Bacino Fiume Arno

Piano di bacino del fiume Arno  
(legge 18 maggio 1989, n. 183)




Stralcio: "Rischio Idraulico"

# Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno

Scala 1:25.000






### Interventi strutturali di tipo "A"









-  Casse di esondazione
-  Serbatoi di laminazione
-  Interventi di laminazione con "bocche tarate", etc.\*

Altri interventi particolari (non cartografati):  
 - Tratti con adeguamento della sezione idraulica  
 - Adeguamento scarichi di fondo diga Levane - La Penna  
 - Sfianamento invasi di Levane e La Penna




### Interventi strutturali di tipo "B"

-  Casse di esondazione
-  Serbatoi di laminazione
-  Interventi di laminazione con "bocche tarate", etc.\*

### Altri interventi particolari:

-  Scolmatore Arno - Padule di Fucecchio
-  Scolmatore Arno - Padule di Bientina
-  Scolmatore Arno - Bocchette - Padule di Stagno (PI)
-  Diversivo del Fiume Era
-  Tratti con adeguamento della sezione idraulica sull'Ombrone Pistoiese
-  Adeguamento Canale Usciana
-  Adeguamento Emissario del Bientina come Scolmatore d'Arno
-  Adeguamento Scolmatore di Pontedera

*Sottobacini dell'Ombrone Pistoiese e del Bisenzio:*  
 le aree di intervento comprendano anche siti alternativi con verifiche in atto.

-  Altre aree di interesse del Piano (La Penna, Stagni di Gaine, San Donato, Bocchette (PI))
-  Invaso Bilancino
-  Aree golenali

La presente cartografia alla scala 1:25,000 interessa gli stralci nr:

8	9	10	14	15	16	17	18	19
20	21	23	24	25	26	27	28	30
31	34	35	36	37	38	39	40	41
42	47	48	49	50	51	52	53	54
56	57	60	61	62	63	64	65	66
67	68	69	72	73	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	87	88
89	90	91	92	93	94	95	96	97
98	99	100	102	103	104	105	106	108
109	112	113	114	115	119	120	122	123
127	128	136	137	138	139	143	144	148
154	158	159	171					

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



CARTA degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno

Stralcio n. 27

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 verificati in via preliminare mediante la modellazione idrologica e idraulica utilizzata per l'analisi delle condizioni nello stato attuale.

In particolare, sulla base dei risultati ottenuti nella verifica in assenza di interventi (stato attuale), le condizioni critiche sono state adeguate mediante le diverse tipologie di intervento, adottando le seguenti metodologie di schematizzazione:

- 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;
- 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, BU = Bure, SE = Settola, BA = Badia, MU = Mulini, AN = Agnaccino, GR = Gramigneto, PO = Poltronova, CA = Calice), i successivi due caratteri indicano la tipologia dell'intervento (CS = cassa di espansione, ID = Idrovora, AA = adeguamento attraversamento), 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. Nella Figura 6.2 è riportato lo schema della rete idrografica nello stato di progetto.



Studio idrologico e idraulico Comune di Montale

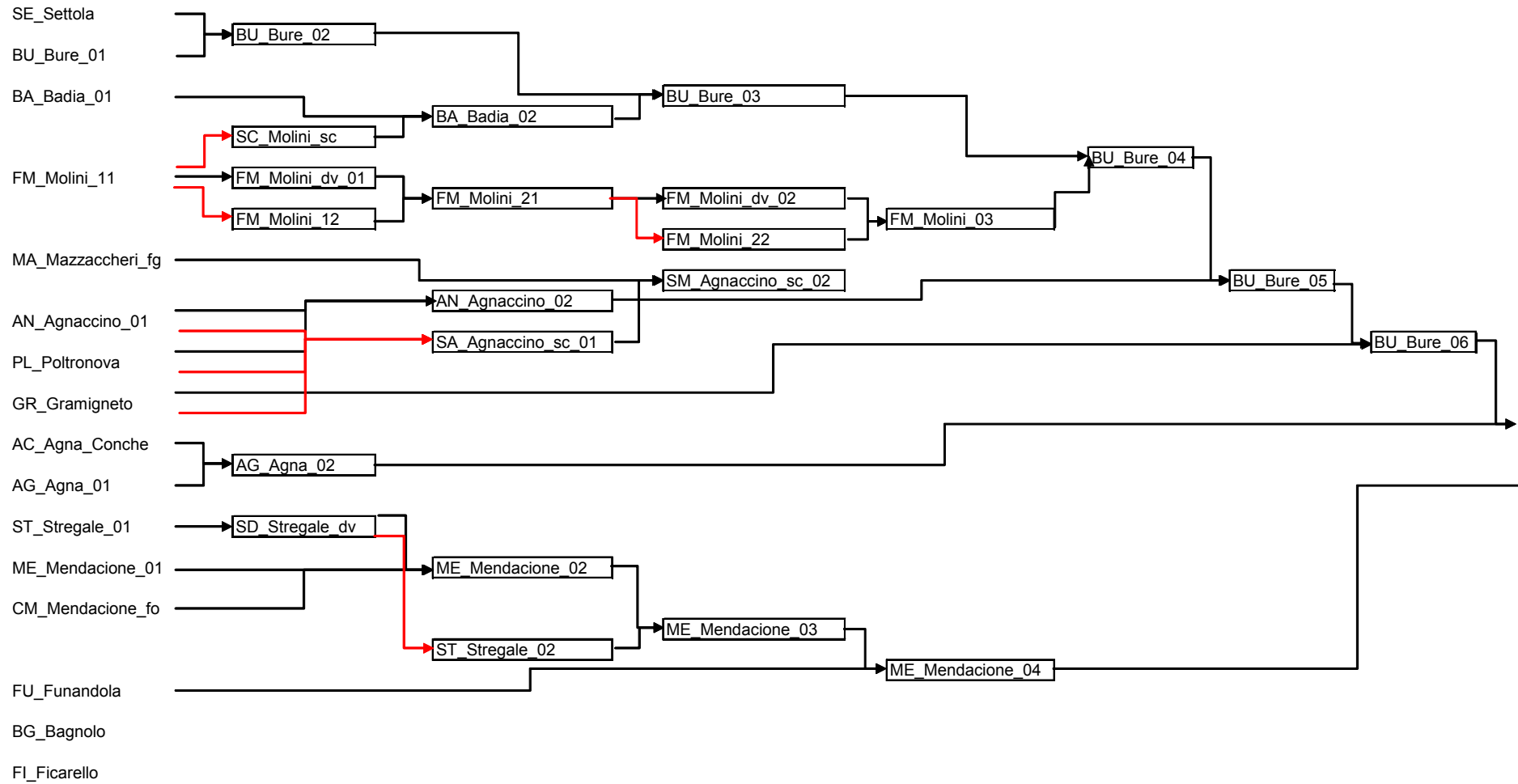


Figura 6.2 – Schema della rete idrografica nello stato di progetto

### TORRENTE SETTOLA

Gli interventi comprendono:

- tre casse di espansione (MO-SE-CS01, 02, 03) a monte del centro abitato di Montale per un'area complessiva di circa 2.4 ha e un volume d'invaso totale di 12.000 mc (le casse sono ubicate in un'area già individuata a tale scopo dal Comune di Montale).
- una cassa di espansione (PT-SE-CS01) a valle dell'abitato di Montale, in sponda destra, ricadente nel Comune di Pistoia, in località Poderaccio di Sopra, intercettante il Fosso del Docciolino, con area di circa 9.5 ha e un volume di invaso di circa 170.000 mc.
- Adeguamento di n. 10 attraversamenti, tra i principali si evidenzia il guado a monte del centro abitato di Montale.
- Adeguamento delle sommità arginali e riprofilatura delle sezioni per altezze dell'ordine del metro mediamente su tutta la lunghezza del corso d'acqua. Si evidenzia inoltre la necessità di manutenzione straordinaria degli esistenti muri di sponda e dei rilevati arginali.

### TORRENTE BURE

Gli interventi comprendono:

- Una cassa di espansione (PT-BU-CS01) immediatamente a monte del Comune di Montale e ricadente nel comune di Pistoia, ubicata in sinistra idraulica, per un'area di circa 27 ha e un volume d'invaso di 200.000 mc.
- Una cassa di espansione (PT-BU-CS02) ricadente nel comune di Pistoia, in destra idraulica, per un'area di circa 24.5 ha e un volume d'invaso di 850.000 mc.
- Una cassa di espansione (MO-BU-CS01) nel Comune di Montale, in sinistra idraulica, immediatamente a valle della confluenza con il T. Settola, per un'area di circa 17.5 ha e un volume d'invaso di 260.000 mc; tale cassa intercetta il Fosso del Lischeto.
- Due casse di espansione (MO-BU-CS02, MO-BU-CS03) nel comune di Montale, in sinistra idraulica, per un'area complessiva di circa 11.5 ha e un volume d'invaso di 210.000 mc.

- Adeguamento delle sommità arginali e riprofilatura delle sezioni per il tratto a monte della confluenza con il ponte della Ferrovia il contenimento è più o meno garantito (alcune modeste insufficienze dell'ordine di 10 cm); nel tratto tra il ponte della Ferrovia fino alla confluenza dell'Agnaccino le insufficienze sono più marcate (ad es. il tratto prospiciente la stazione FS di Montale) e arrivano sino a circa 2 metri; occorre, oltre all'adeguamento arginale, provvedere all'adeguamento dei due ponti, uno in corrispondenza della Stazione FS di Montale e l'altro in corrispondenza della confluenza con l'Agnaccino. A valle dell'Agnaccino fino allo sbocco nel Calice le insufficienze si riducono all'ordine di 10-20 cm.

### FOSSO DELLA BADIA

Si ricordano le seguenti opere esistenti:

- Invaso ad uso idropotabile (MO-BA-CS01) posto a monte del centro abitato che svolge una funzione di laminazione delle piene con una superficie di circa 1.5 ha e un volume invasato di 7500 mc.

Gli interventi comprendono:

- Una cassa di espansione (MO-BA-CS02) immediatamente a monte della Stazione FS di Montale, in sinistra idraulica, per un'area di circa 3.7 ha e un volume d'invaso di 25.000 mc; tale cassa, già prevista nel progetto definitivo dell'URTAT di Pistoia, è stata verificata con una geometria della bocca tarata pari a 1x1.2 m, mentre il progetto URTAT prevedeva una bocca circolare di 0.70 m. Tuttavia, l'attraversamento del centro abitato è tombato (tubo circolare di 1.5 m ) e pertanto persiste un rischio residuo in quanto non è stato possibile individuare ulteriori interventi di adeguamento.
- Adeguamento ponti: demolizione e ricostruzione di due attraversamenti nel tratto tra il centro urbano e la cassa di espansione; adeguamento del ponte immediatamente a monte della cassa di espansione; demolizione ricostruzione del ponte a monte della ferrovia Prato-Pistoia; adeguamento del ponte della ferrovia con la realizzazione di spallette di contenimento e eventuale ampliamento della sezione con spingitubo.
- Adeguamento delle sommità arginali e riprofilatura delle sezioni nel tratto terminale prima dell'immissione nel T. Bure, ove occorre prevedere la

realizzazione di opere di contenimento per altezze che saranno funzione degli interventi di sistemazione e di adeguamento già richiamati per il T. Bure.

- Nuovo canale di gronda (MO-BA-TR01), costituito da un nuovo canale che raccoglie parte delle portate che si immettono nel Fosso della Badia a partire dalla sponda destra a monte della Stazione FS di Montale-Agliana e recapitante nel Fosso del Lischeto, per una lunghezza di circa 600 m.

### FOSSO DEI MULINI

Gli interventi comprendono:

- Una cassa di espansione (MO-MU-CS01) ubicata in destra e collegata con quella adiacente della Badia, per un'area di circa 1.5 ha e un volume d'invaso di 8.000 mc; tale cassa, già prevista nel progetto definitivo dell'URTAT di Pistoia, è stata verificata con una geometria della bocca tarata pari a 0.80x0.80 m, mentre il progetto URTAT prevedeva una paratoia mobile chiusa.
- Una cassa di espansione (MO-MU-CS02), in sinistra idraulica, per un'area di circa 7 ha e un volume d'invaso di 52.000 mc.
- Una cassa di espansione (MO-MU-CS03) in sinistra idraulica, per un'area di circa 5 ha e un volume d'invaso di 22.000 mc.
- Nuovo canale di derivazione (MO-MU-TR03) per la cassa MO-MU-CS03 della lunghezza di 130 m.
- Installazione di idrovora (MO-MU-ID015) nella cassa MO-MU-CS03 con portata fino a 2 mc/s e recapitante nel T. Bure.
- Modifica del tracciato attuale (MO-MU-TR01). A valle della Vecchia Montalese, il percorso attuale viene deviato a sinistra in corrispondenza della Fattoria Smilea, sfruttando il percorso di un fosso attuale che arriva fino all'attraversamento della Nuova Montalese e successivamente, sempre a cielo aperto, si svolge lungo un nuovo percorso parallelo al vecchio in destra. Il nuovo tracciato ha una lunghezza complessiva di 2000 m. con sezioni trapezie, pendenza sponde 1:1.5, larghezza base 1-1.5 m e altezza sezione 1.5-2.0 m. Per il tratto tombato del centro abitato (tubo circolare di 0.80 m) non sono previsti interventi.

- Nuovo canale di gronda (MO-MU-TR02), costituito da un nuovo canale che raccoglie parte delle portate che si immettono nel Fosso dei Mulini a partire dalla sponda sinistra a monte della Stazione FS di Montale-Agliana e recapitante nella Bure, per una lunghezza di circa 1000 m.
- Adeguamento della sezione idraulica nel tratto immediatamente a monte della confluenza nel T. Bure sostituendo l'ovoidale del tratto finale (0.50 x 0.70 m) con uno scatolare 1.50x1.50 m, per una lunghezza di 120 m.
- Installazione di portella (MO-MU-PO01), in corrispondenza della confluenza con il T. Bure.

### FOSSO AGNACCINO

Gli interventi comprendono:

- Due casse di espansione (MO-AN-CS01, MO-AN-CS02), ubicate in sinistra per un'area complessiva di circa 8.8 ha e un volume d'invaso di 100.000 mc.
- Adeguamento dell'Attraversamento tra Agna e Ferrovia: attualmente costituito da un circolare di 1.50 m.
- Adeguamento dei contenimenti arginali nel tratto compreso tra l'Agna fino allo sbocco nel T. Bure, di tipo localizzato (spallete in muratura oppure rilevati in terra).
- Installazione di portella (MO-AN-PO01), in corrispondenza della confluenza con il T. Bure.
- Lavori di manutenzione straordinaria per la ripulitura di canali e condotti.

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

### FOSSO POLTRONOVA

Gli interventi comprendono:

- Adeguamento sezione idraulica nel tratto compreso tra il sifone dell'Agna (da ripulire) fino allo sbocco nel T. Bure, l'esistente tombamento (tubo con diametro di 1.5 m parzialmente riempito) è sostituito con un canale a cielo aperto su tracciato da definire.
- Lavori di manutenzione straordinaria nel sifone sotto l'Agna e nel sottoattraversamento ferroviario.

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

### FOSSO GRAMIGNETO

Gli interventi comprendono:

- Due casse di espansione (MO-GR-CS01, MO-GRCS02) ubicate in sinistra per un'area complessiva di circa 9 ha e un volume d'invaso di 33.000 mc.
- Installazione di portella (MO-GR-PO01), in corrispondenza della confluenza con il T. Bure.

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

### TORRENTE AGNA

Gli interventi comprendono:

- Una cassa di espansione (MO-AG-CS01) ubicata in destra per un'area di circa 5.9 ha e un volume d'invaso di 230.000 mc.
- Sezione di controllo immediatamente a valle della cassa con larghezza pari a 10 m.
- Canale di scarico MO-AG-TR-01 della cassa MO-AG-CS01 verso il fosso del Mulini in quanto le quote dell'alveo dell'Agna consentono solo uno scarico parziale per una lunghezza di 170m.
- 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 Montemurlo e relativi allo stesso corso d'acqua.

### TORRENTE CALICE

- 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.

## **7 BIBLIOGRAFIA**

**[1] Comune di Montemurlo**, *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.