



**COMUNE DI MASSA E COZZILE**  
**PROVINCIA DI PISTOIA**

**SETTORE LAVORI PUBBLICI  
E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**  
*Responsabile: Dott. Arch. Marzia Tesi*

Collaboratori:  
Dott. Alessandro Paoli  
Geom. Lorenzo Baldasseroni

**ASPETTI GEOLOGICI**  
*Dott. Geol. Andrea Bartolini*  
*Viale della Libertà 40*  
*51016 Montecatini Terme (PT)*

**ASPETTI IDRAULICI**  
*Dott. Ing. Enrico Galigani*  
*Via Mannelli n. 167*  
*50132 Firenze*

**VERIFICHE IDRAULICHE  
DI SUPPORTO  
AL REGOLAMENTO  
URBANISTICO**

**Relazione Tecnica**

Luglio 2007



**PIANIFICAZIONE URBANISTICA  
DEL TERRITORIO COMUNALE**

LEGGE REGIONALE N. 1 del 03.01.2005

**REGOLAMENTO URBANISTICO**  
**Approvazione**



Comune di Massa e Cozzile

Provincia di Pistoia

## VERIFICHE IDRAULICHE DI SUPPORTO AL REGOLAMENTO URBANISTICO

### RELAZIONE TECNICA

PREMESSA .....	2
1. ACQUISIZIONE DATI e QUADRO CONOSCITIVO.....	4
1.1. Piano di Assetto Idrogeologico .....	4
1.2. Il modello Al.To. 2000 .....	6
2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IDRAULICO .....	9
3. IDROLOGIA.....	10
3.1 Caratterizzazione morfologica dei bacini .....	10
3.2 Caratterizzazione pluviometrica.....	12
3.3 Idrogrammi di verifica.....	14
4. MODELLAZIONE IDRAULICA.....	15
4.1 Il modello di moto .....	15
4.2 I parametri di simulazione.....	19
4.4 Descrizione del modello .....	21
5. RISULTATI DELLO STUDIO .....	22
5.1 Premessa.....	22
5.2 Sintesi dei risultati sulle aste analizzate.....	23
5.3 Sintesi dei risultati nel modello globale.....	26
5.4 Interventi finalizzati alla riduzione del rischio idraulico.....	27
6. CONCLUSIONI.....	29

## PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale del Comune di Massa e Cozzile, in relazione a studi e integrazioni richieste dall'URTAT di Pistoia a supporto del Regolamento Urbanistico, sono state controllate le condizioni di rischio idraulico della zona di interesse.

In particolare in questo studio sono state analizzate le condizioni di deflusso, individuando eventuali battenti in esondazione in aree prospicienti le aste fluviali, distinguendo tra aree di accumulo, o di invaso statico, e aree di transito.

Le verifiche idrauliche, a moto permanente e a moto vario, su modelli realizzati in HEC-RAS 3.1.3, hanno interessato i seguenti corsi d'acqua:

- TORRENTE BORRA
- FOSSO DEL CALDERAIO
- RIO SPINELLA
- RIO PARENTI
- TORRENTE GAMBERAIO
- TORRENTE VALPIANA

La schematizzazione geometrica dei corsi d'acqua è stata basata su una serie di rilievi pianoaltimetrici delle sezioni fluviali, messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica Del Padule di Fucecchio e appositamente effettuati dall'amministrazione che ha dato incarico al Topografo Lorenzo Baldasseroni.

Inoltre, nelle zone di interesse, le informazioni deducibili dalla cartografia regionale sono state opportunamente integrate mediante una serie di rilievi pianoaltimetrici di precisione che hanno consentito la restituzione dell'andamento di porzioni di territorio situate in prossimità dei corsi d'acqua analizzati e interessati dai fenomeni di esondazione.

Informazioni essenziali per lo studio (stato di conservazione dell'alveo, stima dei parametri di resistenza al moto, individuazioni di situazioni locali di interesse ecc..) sono state acquisite attraverso sopralluoghi in sito opportunamente finalizzati.

Gli idrogrammi di progetto utilizzati sono, dove possibile, quelli calcolati mediante l'uso del software AITo2000, mentre, per i corsi d'acqua per i quali non è stato possibile utilizzare gli idrogrammi dell'Autorità di Bacino (fosso del Calderaio), sono stati impiegati gli idrogrammi ricavati dallo Studio di Area Vasta, effettuato dal Consorzio del Padule di Fucecchio. I tempi di ritorno considerati sono 20, 30, 100 e 200 anni. I tempi di pioggia sono quelli critici per ogni

tratto schematizzato.

La presente relazione, inoltre, è stata redatta sulla base di:

- cartografia tecnica regionale aereofotogrammetrica in scala 1:2000 (formato vettoriale)
- cartografia tecnica regionale aereofotogrammetrica in scala 1:10000 (formato vettoriale)
- cartografia scala 1:25.000 dell' Autorità di Bacino del Fiume Arno (formato pdf)

## 1. ACQUISIZIONE DATI e QUADRO CONOSCITIVO

Si ricordano le principali fonti di acquisizione dati adottati per il presente progetto.

Autorità di Bacino del F. Arno: mappe di pericolosità idraulica a corredo del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Modello idrologico A.I.To. 2000: Regione Toscana Regionalizzazione delle portate di piena

Comune di Massa e Cozzile: elaborati a supporto della pianificazione urbanistica del territorio comunale, Piano Strutturale Comunale

Rilievi della geometria del reticolo: sono state rese disponibili sezioni dell'alveo prodotte dallo Studio del topografo Lorenzo Baldasseroni su incarico della Amm.ne Comunale di Massa e Cozzile.

Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio: sezioni trasversali Torrente Borra

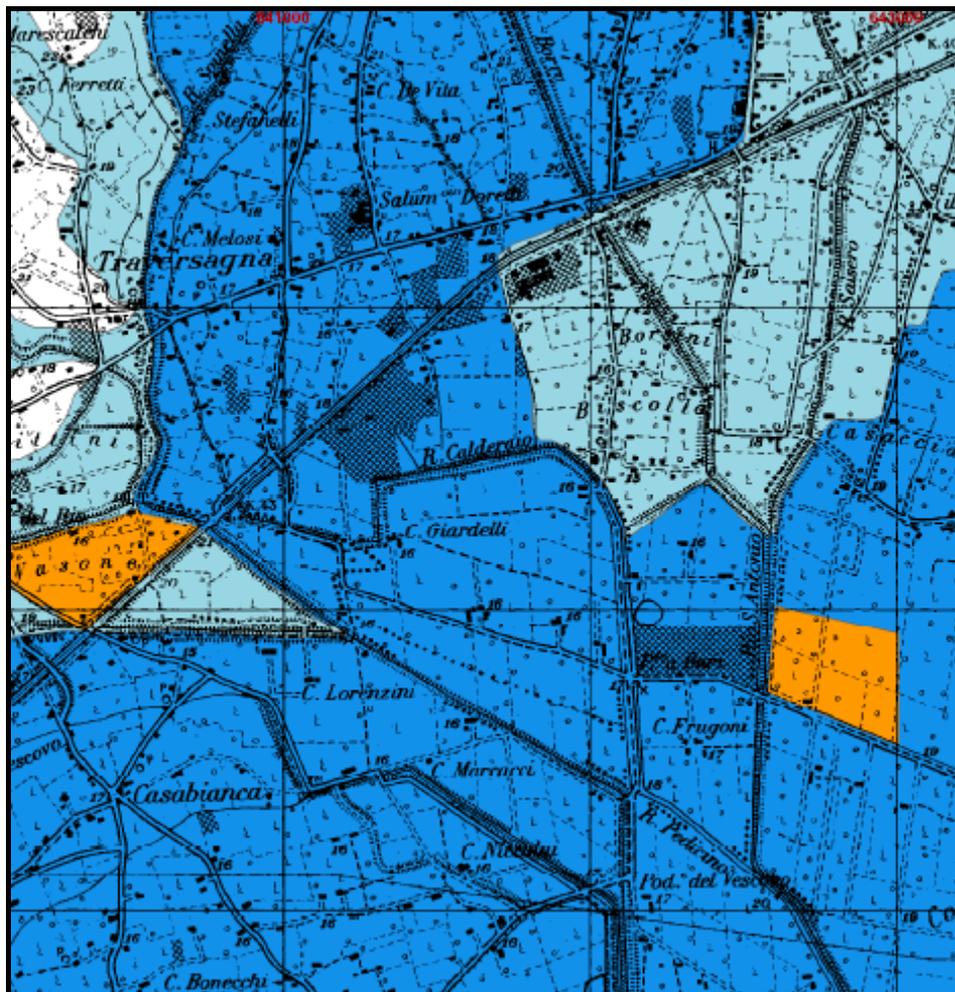
Cartografia: sono state utilizzate le cartografie tecniche regionali (C.T.R.) nelle scale disponibili (1:10.000 e 1:2.000) (formato vettoriale)

Più sopralluoghi sono stati condotti ai fini della verifica delle condizioni attuali dei luoghi (stato di conservazione dell'alveo stima dei parametri di resistenza al moto, individuazioni di situazioni locali di rilievo ecc..).

### 1.1. Piano di Assetto Idrogeologico

Il P.A.I. dell'Autorità di bacino del F. Arno fornisce un utile quadro conoscitivo sulle condizioni di pericolosità idraulica del territorio del Bacino idrografico del Fiume Arno. Tra gli elaborati cartografici di supporto al piano sono infatti prodotte le mappe di perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica che localmente sono sviluppate o sulla base di studi idraulici appositamente redatti allo scopo ("livello di dettaglio" con restituzione su CTR in scala 1:10.000) o sulla base di criteri geomorfologici e storici ("livello di sintesi", con restituzione in scala 1:25.000). Relativamente al caso in esame, l'area in studio non dispone di studio a livello di dettaglio e si hanno pertanto cartografie basate su dati storici, che tuttavia coprono solo parzialmente l'area di studio.

Un estratto dell'elaborato cartografico del PAI di interesse è riportato a pagina seguente. Si evince come l'area in studio, per la porzione analizzata a livello di sintesi, ricada nella classe PI2 (pericolosità media) nelle varie zone di interesse del fondovalle.



Si rileva contestualmente come le mappe sopra riportate siano state prodotte elaborando dati storico-inventariali e quindi sulla base di quanto documentato in occasione degli eventi alluvionali del periodo 1966-1994.

## 1.2. Il modello Al.To. 2000

Il modello di regionalizzazione delle portate di piena, denominato Al.To.<sup>1</sup> (acronimo di Alluvioni in Toscana), permette la valutazione degli idrogrammi di piena nel reticolo idrografico regionale acquisito dalla cartografia IGM alla scala 1:25000. Sfruttando le tecniche di regionalizzazione il sistema consente la stima delle portate di piena, utilizzando i dati idrometrici e pluviometrici rilevati in regioni idrologicamente omogenee per ottenere stimatori efficienti dei valori massimi e delle probabilità di superamento delle portate, soprattutto nei siti sprovvisti di dati storici.

Le elaborazioni idrologiche richiedono in ingresso un file con estensione \*.IDR, che contiene i seguenti parametri idrologici, relativi alle sezioni nelle quali si vuole calcolare l'idrogramma di piena.

- Bac\_arno\_ = Codice del data base del programma ALTO
- Codice = Codice della D.C.R.T. 230/94
- Nome = Denominazione del corso d'acqua
- Area\_por = Area sottesa [km<sup>2</sup>]
- Ia = Perdita iniziale media sul bacino [mm]
- Ks = Infiltrazione a saturazione media sul bacino [mm/h]
- N = parametro di forma dell'idrogramma di Nash
- Cpp\_a1 = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1h
- Cpp\_n1 = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1h
- Cpp\_m1 = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate < 1h
- Cpp\_a = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1h
- Cpp\_n = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1h
- Cpp\_m = parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate > 1h

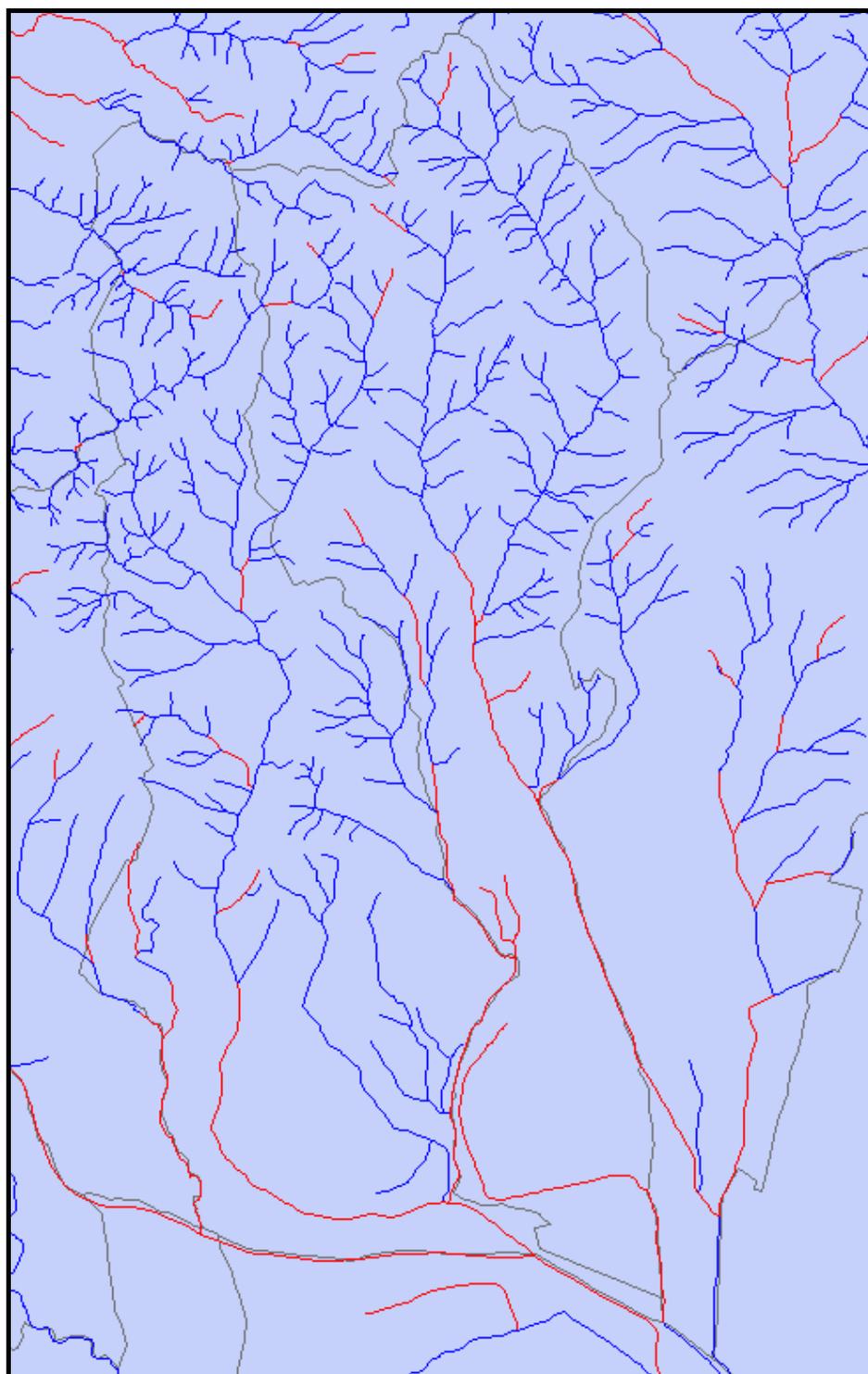
---

<sup>1</sup> *La Regionalizzazione delle portate di piena (PIN, 1997) ha prodotto uno strumento che permette la determinazione delle portate al colmo e del corrispondente tempo di ritorno, per una sezione generica del reticolo idrografico naturale toscano. La stima è condotta attraverso una modellazione afflussi-deflussi basata sull'idrogramma istantaneo unitario di tipo geomorfologico (GIUH). La modellazione si basa sull'analisi statistica delle caratteristiche pluviometriche locali e sulla stima dell'intercettazione iniziale e delle perdite per infiltrazione. Infine, determinando la durata di pioggia che massimizza, per un assegnato tempo di ritorno, la portata al colmo, sono individuabili gli idrogrammi di piena per ogni sezione di verifica. Infine, determinando la durata di pioggia che massimizza, per un assegnato tempo di ritorno, la portata al colmo, sono individuabili gli idrogrammi di piena per ogni sezione di verifica.*

---

- Qbase = portata di base [mc/s km<sup>2</sup>]
- Sezione = Codice della sezione di immissione (verifica idraulica)
- Qmax = portata massima limite [mc/s]

Rispetto alla versione precedente (AITo), il software AITo2000 presenta una maggiore versatilità, sia nella scelta delle durate di pioggia per le quali effettuare le elaborazioni idrologiche, sia per le sezioni di chiusura in corrispondenza delle quali calcolare gli idrogrammi.



Modello Al.To.: estratto del reticolo da GIS

## 2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IDRAULICO

Il territorio interessante il comune di Massa e Cozzile può essere sommariamente diviso in due porzioni, una prevalentemente montano-collinare ed una di tipo pedecollinare-pianeggiante.

In conseguenza di ciò, l'assetto idrografico appare variamente strutturato. In particolare il sistema di drenaggio si presenta molto gerarchizzato nelle zone poste a quote più elevate, mentre la parte massese, caratterizzata da una morfologia piatta, presenta un reticolo idrografico scarsamente gerarchizzato, con i corsi d'acqua principali che manifestano evidente perdita di naturalezza della morfologia fluviale originaria.

Il principale asse drenante è rappresentato dal torrente Borra, il quale ha origine dai bacini idrografici a nord il territorio comunale, scorre per un primo tratto in direzione NW-SE, per poi cambiare bruscamente direzione all'altezza del rilievo Verruca. Il corso d'acqua mantiene tale assetto planimetrico fino all'immissione, in destra idraulica, del torrente Volata, nei pressi di Le Molina. Da questo momento, e per il rimanente suo corso all'interno del territorio comunale, l'asta si sviluppa con orientamento NW-SE. Il corso d'acqua riceve l'ultimo affluente all'interno del comune, il torrente Forra Grande, in località Molino del Lilli.

Relativamente alla porzione di pianura massese, il reticolo idrografico risulta articolato tra corsi d'acqua provenienti dalle zone collinari e pedecollinari, come il torrente Borra, che scorre marcando il confine orientale comunale, e il rio Spinella, originato dalle confluenze del rio Parenti, del torrente Gamberaio e del torrente Valpiana, che invece scorre lungo il limite occidentale, e fossi e canali di smaltimento delle acque piovane di pianura. Tra questi ultimi si ha il fosso del Calderaio, il cui corso si mantiene parallelo al rio Spinella fino all'altezza dell'Autostrada, per poi deviare verso Est.

### 3. IDROLOGIA

Le finalità dello studio hanno comportato la necessità di caratterizzare dal punto di vista idrologico i vari tronchi di interesse del reticolo in studio, al fine di valutare le capacità di deflusso attuali e le volumetrie esondate per i diversi scenari oggetto di verifica.

Gli scenari idrologici considerati sono stati scelti con l'intento di realizzare condizioni di evento critico, per ogni tratto compreso tra due immissioni laterali successive, di ogni corso d'acqua analizzato. In tal senso, i contributi laterali degli affluenti sono stati ricavati come sottrazione tra l'idrogramma calcolato nella sezione immediatamente a valle dell'immissione e l'idrogramma calcolato nella sezione immediatamente monte.

Secondo quanto espresso in premessa, la caratterizzazione idrologica è stata così dettagliata con riferimento a diversi sottobacini corrispondenti alle diverse sezioni di controllo, individuabili all'interno del software AITo2000, dove si siano utilizzate le elaborazioni di AITo2000, oppure all'interno del software *Piene* (Studio di area Vasta – Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio), nel caso del fosso Calderaio.

#### 3.1 Caratterizzazione morfologica dei bacini

##### Torrente Borra

Il modello AITo 2000 riporta per il torrente Borra diverse sezioni notevoli di stima delle grandezze idrologiche. Nella zona di interesse sono disponibili, sull'asta principale, cinque sezioni localizzate nella porzione del bacino, all'interno dell'ambito comunale.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche dei cinque sottobacini così come estratte dalla tabella generale di appoggio al modello.

Cover# Id	Area_Por [kmq]	RB [-]	RL [-]	RA [-]	IA [mm]	KS [mm/h]	N [-]	K [h]	TL [h]
2655	9.28	4.187	1.15	7.026	19.8	1.55	2.219	0.634	1.406
2696	9.44	4.237	1.75	7.147	19.53	1.55	2.276	0.568	1.293
2761	10.56	4.247	2.216	7.161	18.333	1.550	2.314	0.573	1.325
2774	10.912	4.296	2.303	7.304	17.848	1.525	2.306	0.581	1.340
2939	14.608	4.695	3.17	8.088	15.228	1.354	2.334	0.693	1.618

Dove:

---

Cover	codice identificativo dell'asta in esame
Area_por	area del bacino utilizzata per la stima della portata
RB	rapporto di biforcazione del bacino imbrifero
RL	rapporto di lunghezza del bacino imbrifero
RA	rapporto di area del bacino imbrifero
IA	perdita iniziale (mm)
KS	velocità di infiltrazione a saturazione (mm/h)
N	parametro di forma dell'idrogramma di Nash
K	parametro di scala dell'idrogramma di Nash (h)
TL	tempo di lag (h)

#### Rio Spinella e Rio Parenti

Sono state individuate tre sezioni notevoli di stima delle grandezze idrologiche, sull'asta principale.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche dei tre sottobacini così come estratte dalla tabella generale di appoggio al modello.

Cover# Id	Area_Por [kmq]	RB [-]	RL [-]	RA [-]	IA [mm]	KS [mm/h]	N [-]	K [h]	TL [h]
2864	0.704	2.00	1.088	4.616	3.3	0	1.724	0.127	0.219
2901	5.808	3.048	2.18	4.713	4.633	1.033	2.472	0.423	1.046
2943	7.04	3.311	2.171	4.616	4.4	0.891	2.68	0.447	1.197

#### Torrente Gamberaio

E' stata individuata come unica sezione di stima delle grandezze idrologiche quella immediatamente a monte del tratto di interesse, sull'asta principale.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche del sottobacino così come estratte dalla tabella generale di appoggio al modello.

Cover# Id	Area_Por [kmq]	RB [-]	RL [-]	RA [-]	IA [mm]	KS [mm/h]	N [-]	K [h]	TL [h]
2857	0.528	2.00	1.088	4.616	3.3	0	1.724	0.107	0.184

### Torrente Valpiana

E' stata individuata come unica sezione di stima delle grandezze idrologiche quella immediatamente a monte del tratto di interesse, sull'asta principale.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche del sottobacino così come estratte dalla tabella generale di appoggio al modello.

Cover# Id	Area_Por [kmq]	RB [-]	RL [-]	RA [-]	IA [mm]	KS [mm/h]	N [-]	K [h]	TL [h]
2865	5.104	2.95	1.806	4.404	4.796	1.176	2.509	0.324	0.813

### Fosso del Calderaio

Sebbene l'asta idrografica del Calderaio sia presente all'interno della cartografia e selezionabile per le elaborazioni da Al.To. 2000, non è stato possibile ricavarne l'idrologia con il software messo a disposizione dall'Autorità di Bacino. Pertanto, per il calcolo degli idrogrammi di piena, sono state utilizzate le elaborazioni ricavate dal programma *Piene*, utilizzato per lo studio di area vasta del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio.

## 3.2 Caratterizzazione pluviometrica

Si riassumono di seguito le caratterizzazioni pluviometriche alla base dei modelli idrologici utilizzati.

L'analisi statistica dei dati pluviometrici in ambito regionale è finalizzata alla definizione delle Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica per durate di pioggia inferiori all'ora e da 1 a 24 ore. La curva di possibilità climatica, espressa nella forma:

$$h = a \cdot d^n \cdot Tr^m$$

con h altezza di pioggia [mm]

d durata [ore]

Tr tempo di ritorno [anni]

risulta pertanto caratterizzata dai parametri a, n, m.

Tali parametri, relativi alle curve di possibilità climatica di ciascuna stazione, sono stati ragguagliati sull'intero bacino oggetto di studio mediante un'operazione di media ponderata basata sulla suddivisione in topoletti. Il parametro di ragguaglio areale  $K_r$  è stato definito mediante un'analisi statistica dei dati di pioggia giornaliera, che ne ha messo in evidenza la dipendenza dalla durata della pioggia, dall'estensione del bacino e dalla piovosità media. Il coefficiente  $K_r$  esprime la variabilità spazio-temporale della precipitazione mediante una relazione del tipo:

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

dove  $h_A(A,t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  ragguagliata all'area  $A$  e  $h(t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio. Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

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

Per la quantificazione di  $K_r$  si fa riferimento ad una formulazione del tipo:

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

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  è la durata della precipitazione espressa in ore e  $A$  è l'area del bacino in km<sup>2</sup>. Nell'ambito dello studio di regionalizzazione sono stati definiti i seguenti valori dei parametri:

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

### Idrogrammi di verifica

Per brevità si riportano solamente i valori di portata al colmo, per ciascun tratto dei vari corsi d'acqua analizzati, per ciascuno scenario analizzato. Si rimanda agli allegati per gli idrogrammi di piena completi.

Bacino		Portate [m <sup>3</sup> /sec]				Durata Critica [h]
		Tr 20	Tr30	Tr100	Tr200	
<b>Borra</b>	Tratto 1	44.97	49.68	66.11	77.22	2.028
	Tratto 2	48.51	53.59	71.44	83.6	2.142
	Tratto 3	53.83	59.61	79.12	92.37	2.179
	Tratto 4	55.43	61.31	81.27	94.85	2.194
	Tratto 5	67.99	74.9	98.66	114.13	2.499
<b>Calderaio</b>	Tratto 1	2.24	2.51	3.24	3.71	1.94
	Tratto 2	9.77	10.87	13.92	15.93	1.94
<b>Spinella</b>	Tratto1	11.84	12.67	15.79	17.82	0.241
	Tratto 2	41.23	44.23	54.37	61.16	1.39
	Tratto 3	47.17	50.72	62.23	69.94	1.558
<b>Gamberaio</b>	Unico	9.5	10.15	13.48	15.2	0.241
<b>Valpiana</b>	Unico	41.67	44.7	54.96	61.83	1.134

## 4. MODELLAZIONE IDRAULICA

### Il modello di moto

Il modello idraulico è stato messo a punto adottando il codice di calcolo Hec-Ras versione 3.1.3 del quale si fornisce una sintesi delle principali caratteristiche. In particolare vengono riportate le ipotesi di calcolo, le equazioni di base, i criteri di suddivisione delle sezioni per il calcolo della distribuzione delle portate e delle velocità, le espressioni adottate per il calcolo delle perdite di carico e la metodologia iterativa di risoluzione del problema.

#### **LE IPOTESI DI CALCOLO**

Il modello risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in un'assegnata sezione nelle seguenti ipotesi:

- moto permanente e moto vario
- corrente stazionaria (moto permanente) e non stazionaria (moto vario)
- flusso monodimensionale
- pendenze del fondo inferiori al 10%

#### **EQUAZIONI DI BASE**

##### Moto permanente

Facendo riferimento alle sezioni trasversali 1 e 2 del corso d'acqua in *Figura 1*, a cui si rimanda per il significato dei simboli, le due equazioni base del modello sono le seguenti:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$
$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

$WS_2; WS_1$  = livello del pelo libero alle sezioni estreme del tratto 2, 1;

---

$V_2^2, V_1^2$  = velocità medie delle sezioni 2,1;

$\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti di velocità;

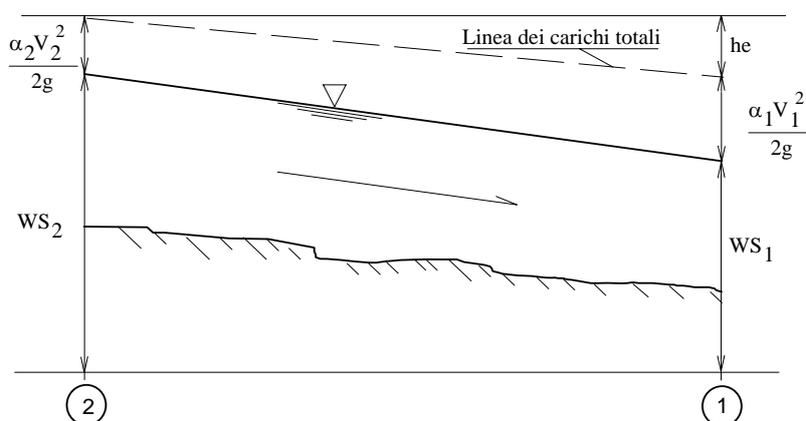
$g$  = accelerazione di gravità;

$h_e$  = perdite di carico totali;

$L$  = distanza tra le due sezioni;

$\bar{S}_f$  = perdite di carico per attrito;

$C$  = coefficiente delle perdite per espansione o contrazione.



Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia

### Moto Vario

Il programma effettua simulazioni a moto vario basandosi sul principio di conservazione della massa e sul principio di conservazione dei momenti per una corrente liquida incompressibile e unidirezionale in condizioni non stazionarie, sfrutta cioè le equazioni di De Saint Venant per il moto vario. Tali equazioni sono espresse genericamente, con ipotesi di afflussi e deflussi laterali, nella forma:

$$\frac{\partial(\Omega U)}{\partial s} + \frac{\partial \Omega}{\partial t} = q_{in} - q_{out} \quad \text{per l'equazione di continuità, con ipotesi di afflussi laterali}$$

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{q_{in} U}{g \Omega} = -J \quad \text{per l'equazione della quantità di moto}$$

Dove  $\Omega$  è l' area della sezione liquida [m<sup>2</sup>]

$U$  è la velocità media della corrente liquida [m/sec]

$q_{in}$  è il contributo in termini di afflussi laterali [m<sup>2</sup>/sec]  
 $q_{out}$  è il contributo in termini di deflussi laterali [m<sup>2</sup>/sec]  
 $h$  è il carico piezometrico [m]  
 $g$  è l'accelerazione di gravità [m/sec<sup>2</sup>]  
 $s$  è l'ascissa corrente lungo l'alveo [m]  
 $J$  rappresenta la perdita di carico totale per unità di lunghezza  
 $t$  è il tempo [sec]

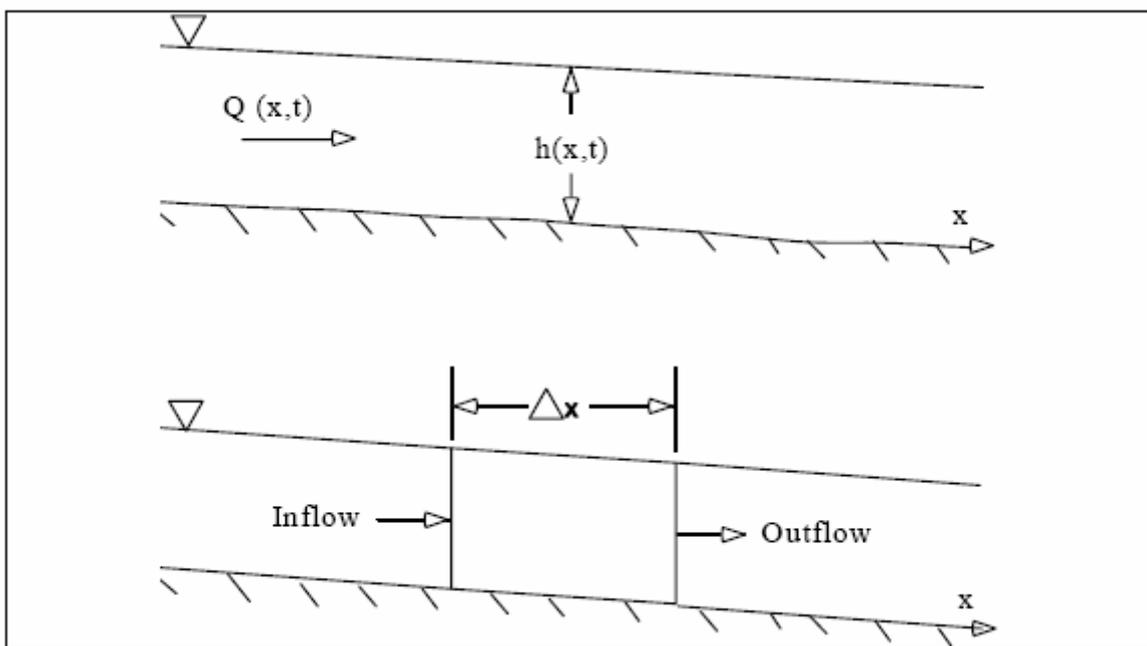
Il sistema delle due equazioni presenta due sole funzioni incognite di  $s$  e  $t$ , una facente parte delle grandezze cinematiche, la portata  $Q$ , l'altra delle grandezze geometriche, ad esempio il livello idrico  $y$ . Dal punto di vista applicativo, infatti, interessa determinare l'andamento temporale delle portate e delle altezze d'acqua in tutte le sezioni del tronco esaminato.

La non linearità delle equazioni di De Saint Venant rende impossibile la loro integrazione per via analitica, se non attraverso delle semplificazioni. La via più semplice, seguita dal programma in particolare, è quella dell'integrazione numerica attraverso schemi alle differenze finite. Il metodo prevede l'approssimazione delle derivate parziali mediante rapporti incrementali finiti.

Un modello che permetta di effettuare simulazioni a moto vario è utile nello studio degli eventi di piena soprattutto in ragione del fatto che consente di effettuare una rappresentazione realistica degli eventuali fenomeni esondativi che possono avvenire in un corso d'acqua per effetto del superamento delle quote arginali da parte dei livelli idrici in alveo. Tali situazioni vengono modellate con HEC-RAS inserendo delle opere longitudinali che si comportano come argini sfioranti, chiamate lateral structures. Il funzionamento idraulico è quello di estesi sfioratori laterali, espresso mediante la seguente relazione:

$$q_{out}(s) = -\frac{dQ}{ds} = \mu \sqrt{2g(y(s) - p)^3}$$

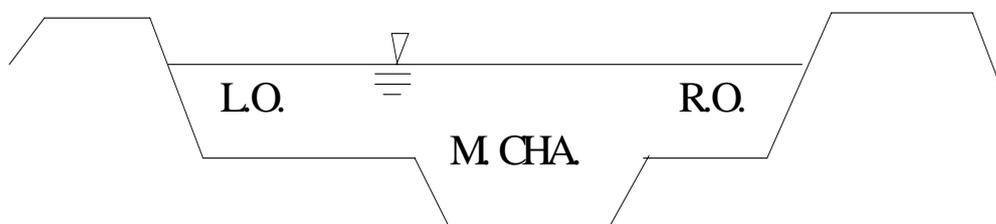
dove  $p$  rappresenta la quota di inizio sfioro [m]



#### **CRITERI DI SCHEMATIZZAZIONE TRASVERSALE DELLA SEZIONE**

La sezione idraulica del corso d'acqua viene rappresentata geometricamente per punti. All'interno di essa si distinguono in generale tre zone, che, adottando la terminologia inglese, si indicano con:

- main channel = M.CHA.* (canale principale)
- left overbank = L.O.* (golena sinistra)
- right overbank = R.O.* (golena destra)



Schema fondamentale di suddivisione in sottosezioni

In ciascuna fascia vengono definite le scabrezze del fondo, che poi vengono composte al fine di generare una scabrezza equivalente valida per l'intera sezione. Per ciascuna

sottosezione si determina la capacità di deflusso (portata per unità di pendenza<sup>1/2</sup>) in moto uniforme:

$$K = \frac{ar^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- $K [m^3/s]$  = capacità di deflusso nella fascia;  
 $n [s/m^{1/3}]$  = scabrezza di Manning;  
 $r [m]$  = raggio idraulico della fascia;  
 $a [m^2]$  = area della sezione bagnata della fascia.

#### **VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI CARICO PER ATTRITO**

Le perdite di carico per attrito sono calcolate attraverso la formula  $L\bar{S}_f$  dove,  $\bar{S}_f$  è la pendenza d'attrito media, pesata, del tratto, secondo la seguente formula:

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

dove  $K_1$  ,  $K_2$  rappresentano le capacità di deflusso totali delle sezioni estreme.

#### I parametri di simulazione

In dettaglio si sono adottati in seguenti parametri idraulici di simulazione:

#### **PORTATE DI VERIFICA**

Per brevità si riportano solamente i valori di portata al colmo, per ciascun tratto dei vari corsi d'acqua analizzati, per ciascun tempo di ritorno. Si ricorda che tali portate corrispondono al verificarsi di un evento pluviometrico con durata di pioggia critica per ogni tratto.

Bacino		Portate [m <sup>3</sup> /sec]				Durata Critica [h]
		Tr 20	Tr30	Tr100	Tr200	
Borra	Tratto 1	44.97	49.68	66.11	77.22	2.028
	Tratto 2	48.51	53.59	71.44	83.6	2.142
	Tratto 3	53.83	59.61	79.12	92.37	2.179
	Tratto 4	55.43	61.31	81.27	94.85	2.194
	Tratto 5	67.99	74.9	98.66	114.13	2.499
Calderaio	Tratto 1	2.24	2.51	3.24	3.71	1.94
	Tratto 2	9.77	10.87	13.92	15.93	1.94
Spinella	Tratto1	11.84	12.67	15.79	17.82	0.241
	Tratto 2	41.23	44.23	54.37	61.16	1.39
	Tratto 3	47.17	50.72	62.23	69.94	1.558
Gamberaio	Unico	9.5	10.15	13.48	15.2	0.241
Valpiana	Unico	41.67	44.7	54.96	61.83	1.134

#### COEFFICIENTI DI SCABREZZA

Il modello utilizzato impiega il parametro di resistenza al moto di Manning. I valori del parametro sono stati assegnati, sezione per sezione, in dipendenza delle condizioni dell'alveo rilevate e tengono conto della presenza di vegetazione, rivestimenti murari ecc....

I criteri di attribuzione del valore del parametro sono schematizzati nella seguente tabella:

CONDIZIONI	n
Alveo con elevate irregolarità e alta vegetazione	0.035
Rivestimento murario di sponda	0.025

Il parametro varia conseguentemente tra  $n = 0.025$  e  $n = 0.035$ . Il valore prevalente è quello di 0.035 corrispondente a una condizione di "alveo con elevate irregolarità e alta vegetazione".

#### CONDIZIONE IDRAULICA AL CONTORNO

Le caratteristiche di corrente sono generalmente, per tutti i tratti simulati, di tipo lento. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, per ognuna delle aste analizzate è stata inserita una condizione di tipo *Normal Depth* nella sezione di valle del modello.

## Descrizione del modello

### **SEZIONI**

La geometria trasversale dei vari corsi d'acqua studiati è stata schematizzata attraverso le sezioni individuate nelle planimetrie di Tav. Rui-QC02, Rui-QC 3, Rui-QC 4, Rui-QC 5 e Rui-QC 6.

Per le sezioni interessate da esondazione, la geometria ai fini del calcolo è stata schematizzata fino al filo esterno di sponda in corrispondenza del quale il modello ipotizza l'esistenza di un confinamento trasversale al deflusso. Secondo tale ottica, gli argini sono stati schematizzati all'interno del modello in HEC-RAS come *lateral structures*, in maniera tale da poter così avere corretta valutazione delle zone di tracimazione e dei volumi esondati.

### **AREE ESONDABILI**

Le volumetrie esondate vanno ad occupare le aree limitrofe al corso d'acqua, le quali vengono così a rappresentare aree di laminazione naturali. Per poter quindi modellare realisticamente il contributo di tali aree, queste sono state inserite nel modello idraulico a moto vario come *storage areas*. Le curve d'invaso delle stesse sono state ricavate attingendo informazioni dalla cartografia regionale in scala 1:2000, integrando con i rilievi ove tale cartografia non fosse sufficientemente di dettaglio.

In particolare, poiché la zona di interesse si sviluppa per la maggior parte in territorio pianeggiante, non potendo avvalersi in molti casi delle curve di livello, sono stati presi in considerazione i punti del piano quotato e da questi, attraverso il software ArcGis 9.0, è stato elaborato un raster delle quote con celle di dimensioni di 1x1 m. Dalle statistiche elaborate da ArcGis sono state ricavate le curve d'invaso, ossia il legame quote-volumi, da inserire nel modello idraulico per caratterizzare le *storage areas*. L'individuazione delle aree di laminazione è stata portata avanti con l'obiettivo di realizzare una serie di zone di accumulo, fra loro comunicanti attraverso sfioratori di interconnessione, rappresentati all'interno del modello

idraulico da *storage areas connections*, nella maggior parte dei casi rappresentati dai rilevati stradali.

## 5. RISULTATI DELLO STUDIO

### 5.1 Premessa

Le simulazioni a moto vario, per ognuna delle aste fluviali analizzate, consentono di individuare eventuali punti di insufficienza idraulica lungo le stesse, qualora si verifichi un evento pluviometrico con durata di pioggia critica per ogni tratto dell'asta in esame. In tali condizioni, il picco dell'idrogramma viene laminato per effetto del fenomeno di invaso dei volumi di piena all'interno delle aree lungo il corso d'acqua.

Tale evento critico si manifesta sul territorio generando, sullo stesso, dei battenti idrici di accumulo nelle zone sedi di fenomeni di invaso statico o ristagno, all'interno dei quali i volumi idrici permangono anche in seguito al termine dell'evento di piena, e dei battenti idrici di transito, nelle zone che vengono interessate dal solo trasferimento dei volumi di piena, per poi essere stoccati nelle zone di "basso morfologico".

L'entità e il fenomeno di progressivo invaso all'interno delle aree di esondazione può essere individuato in Hec-Ras analizzando i livelli idrici all'interno delle storage areas, le quali vengono alimentate in successione, al superamento delle quote di sfioro. Tali informazioni, direttamente leggibili nelle tabelle di output di Hec-Ras, sono state utilizzate per elaborare i battenti idrici di accumulo.

Attraverso il software ArcGis 9.0 è stato innanzitutto realizzato un modello digitale del terreno TIN, sfruttando le curve di livello ed i punti quotati della cartografia regionale in formato vettoriale in scala 1:2000,. Tale modello è stato in seguito convertito in un raster delle quote, con celle di dimensione 1x1 m. Tale raster è stato utilizzato come maschera per rappresentare il livello idrico all'interno delle storage areas, ottenendone un raster di valore costante e pari al livello idrico stesso. Per sottrazione tra il raster del livello idrico e quello delle quote si è ottenuto il battente idrico all'interno della storage area.

Quest'informazione è stata utilizzata per la redazione delle carte dei battenti idrici nelle zone di accumulo. Tale rappresentazione visualizza il fenomeno del solo invaso statico, consentendo di dare una informazione circa lo stato del fenomeno esondativo al suo esaurirsi, ossia quando i volumi hanno già occupato, seguendo l'andamento del territorio, i minimi altimetrici dello stesso.

In realtà, prima che ciò accada, le stesse volumetrie possono aver interessato con il loro passaggio zone che alla fine del fenomeno non risultano allagate. In tali zone si verifica il solo transito dei volumi di piena. L'individuazione di tali porzioni di territorio è stata effettuata considerando l'andamento altimetrico desumibile dalla cartografia, i battenti sono stati stimati facendo una media tra i valori ricavati da Hec-Ras sulle lateral structures e sulle storage area connections che afferiscono a quella determinata area di transito.

### Sintesi dei risultati sulle aste analizzate

#### ***MOTO PERMANENTE***

##### Torrente Borra

Per il torrente Borra sono state effettuate verifiche idrauliche a moto permanente, per un tratto compreso tra l'abitato de Le Molina e il confine comunale, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 72 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto permanente hanno evidenziato che le portate di progetto, per la durata di pioggia critica e per il tempo di ritorno 200 anni, non sono smaltibili all'interno dell'alveo.

In osservanza a quanto richiesto dall'URTAT di Pistoia, sono state di conseguenza effettuate simulazioni a moto vario, con lo scopo di valutare con esattezza le portate che effettivamente transitano all'interno dell'alveo e la quota parte che invece, non potendo essere contenuta all'interno degli argini, va ad esondare.

##### Fosso del Calderaio

Per il fosso del Calderaio sono state effettuate verifiche idrauliche a moto permanente, per un tratto compreso tra l'abitato di Margine Coperta e il confine comunale, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 126 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto permanente hanno evidenziato che le portate di progetto, per la durata di pioggia critica e per il tempo di ritorno 200 anni, non sono smaltibili all'interno dell'alveo.

Anche in questo caso, sono state di conseguenza effettuate simulazioni a moto vario.

##### Rio Spinella e Rio Parenti

Il rio Spinella e il rio Parenti sono stati schematizzati come un'unica asta fluviale, variando

---

opportunamente le portate nelle sezioni situate all'immissione del torrente Gamberaio e del torrente Valpiana. Sono state effettuate verifiche idrauliche a moto permanente, per un tratto compreso tra l'abitato de La Collina e il confine comunale, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 80 sezioni rilevate.

Anche in questo caso si è reso necessario effettuare un'analisi idraulica a moto vario, dal momento che per gli scenari considerati e per il tempo di ritorno 200 anni, le portate non sono smaltibili all'interno dell'alveo.

#### Torrente Gamberaio

Per il torrente Gamberaio sono state effettuate verifiche idrauliche a moto permanente, per un tratto compreso tra Villa Ankuri e l'immissione nel rio Spinella, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 34 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto permanente evidenziando, anche in questo caso, punti di insufficienza idraulica del reticolo idrografico, rendono necessarie verifiche ulteriori a moto vario.

#### Torrente Valpiana

Per il torrente Valpiana sono state effettuate verifiche idrauliche a moto permanente, per tutto il tratto lungo il quale il corso d'acqua scorre ricalcando l'andamento del confine comunale, fino a immettersi nel rio Spinella. All'interno del modello idraulico sono state inserite un numero complessivo di 26 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto permanente evidenziando, anche in questo caso, punti di insufficienza idraulica del reticolo idrografico, rendono necessarie verifiche ulteriori a moto vario.

Asta	Numero sezioni	Lunghezza tratto analizzato [m]	Distanza media tra sezioni [m]	Verifica Tr 200 anni
Borra	72	4250	60	No
Calderaio	126	3400	30	No
Spinella	80	3200	40	No
Gamberaio	34	1000	30	No
Valpiana	26	900	35	No

### ***MOTO VARIO***

Come già detto, si è eseguita un'analisi a moto vario, atta a schematizzare in maniera adeguata i fenomeni di propagazione e laminazione delle onde di piena, tenendo in considerazione le capacità di invaso dell'alveo e capace di simulare, nei punti di insufficiente capacità di

smaltimento, i fenomeni di esondazione al di sopra dei rilevati arginali.

#### Torrente Borra

Sono state effettuate verifiche idrauliche a moto vario, per un tratto compreso tra l'abitato di Vangile e il confine comunale, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 47 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto vario hanno consentito di stimare le volumetrie esondate ed i battenti all'interno delle storage areas, per la durata di pioggia critica e per i vari tempi di ritorno.

#### Fosso del Calderaio

Per il fosso del Calderaio sono state effettuate verifiche idrauliche a moto vario, per un tratto compreso tra l'abitato di Margine Coperta e il confine comunale, inserendo all'interno del modello idraulico un numero complessivo di 126 sezioni rilevate.

Le simulazioni a moto vario hanno consentito di stimare le volumetrie esondate ed i battenti all'interno delle storage areas, per la durata di pioggia critica e per i vari tempi di ritorno.

#### Rio Spinella e Rio Parenti

Sono state effettuate verifiche idrauliche a moto vario, per un tratto compreso tra l'abitato de La Collina e il confine comunale, per un numero complessivo di 80 sezioni. Dalle simulazioni a moto vario sono stati stimati i battenti in accumulo e in transito nelle storage areas.

#### Torrente Gamberaio

Sono state effettuate verifiche idrauliche a moto vario, per un numero complessivo di 29 sezioni. Dalle simulazioni a moto vario sono stati stimati i battenti in accumulo e in transito nelle storage areas.

### Torrente Valpiana

Sono state effettuate verifiche idrauliche a moto vario, per un numero complessivo di 25 sezioni. Dalle simulazioni a moto vario sono stati stimati i battenti in accumulo e in transito nelle storage areas.

#### Sintesi dei risultati nel modello globale

Si è preso come riferimento, per l'individuazione dei battenti idrici di accumulo e di transito, uno scenario che rappresentasse le condizioni di massima criticità per tutti i corsi d'acqua oggetto dell'analisi. Di conseguenza non si ha un singolo evento pluviometrico che sollecita con una pioggia di durata costante uniformemente tutti i bacini, ma una serie di eventi pluviometrici caratterizzati da durate diverse, che complessivamente mettono in crisi tutte le aste fluviali. Per la realizzazione di tale modello globale sono stati sfruttati i risultati delle simulazioni a moto vario realizzate sulle singole aste, estrapolando le informazioni circa le uscite dalle *lateral structures* verso le *storage areas*. Fatto questo per tutti i corsi d'acqua, è stato possibile quantificare le volumetrie complessive che afferiscono alle *storage areas*, che in generale si trovano a dover invasare, sommandoli, vari contributi afferenti dalle diverse aste fluviali schematizzate nei modelli singoli.

Da questo punto di vista, in termini di battenti idrici, la modellazione "globale", che prevede di conteggiare nei volumi esondati la sommatoria delle uscite dalle varie aste, dovrebbe consentire di rappresentare l'evento di massima criticità, in termini di colmi di piena, e quindi di estensione dei fronti di esondazione, che il territorio oggetto di studio potrebbe trovarsi a fronteggiare.

#### 5.4 Interventi finalizzati alla riduzione del rischio idraulico

Nella tavola RUI QC.11 sono stati riassunti gli interventi finalizzati alla riduzione del rischio idraulico per il territorio comunale di Massa e Cozzile. In particolare sono state individuate, all'interno ed all'esterno del Comune di Massa e Cozzile, alcune porzioni di territorio che possono essere destinate alla realizzazione di interventi strutturali per la riduzione delle condizioni di rischio idraulico. In particolare si è rivolta l'attenzione a quelle porzioni di territorio già individuate all'interno del Regolamento Comunale Urbanistico adottato (Cfr. P01 e Tavola RUg-Qc13 e Tavola RUg-Qc11) e ad aree topograficamente adeguate ed urbanisticamente idonee per eventuali ridefinizioni di aree di espansione ed accumulo.

In particolare si sintetizzano di seguito gli interventi individuati per i vari corsi d'acqua e riportati in tavola RUI QC.11

##### T. BORRA

Realizzazione di casse di espansione in destra idraulica del T. Borra (Cfr. Tavola RUI QC.11) per una area complessiva di circa 17.000 mq ed un volume massimo invasabile di circa 35.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 200.000 €.

##### RIO GAMBERAIO

Realizzazione di casse di espansione in destra idraulica del Rio Gamberaio (Cfr. Tavola RUI QC.11) per una area complessiva di circa 5.000 mq ed un volume massimo invasabile di circa 12.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 75.000 €.

##### RIO SPINELLA

Realizzazione di casse di espansione in destra idraulica del Rio Spinella nel Comune di Buggiano (Cfr. Tavola RUI QC.11) per una area complessiva di circa 35.000 mq ed un volume massimo invasabile di circa 70.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 350.000 €.

##### RIO CALDERAIO

Realizzazione di casse di espansione in sinistra idraulica del Rio Calderaio (Cfr. Tavola RUI QC.11) per una area complessiva di circa 33.500 mq ed un volume massimo invasabile di circa 70.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 350.000 €.

Realizzazione di cassa di espansione in sinistra idraulica del Rio Calderaio subito a monte dell'autostrada A1 (Cfr. Tavola RUI QC.11) per una area complessiva di circa 10.000 mq ed un volume massimo invasabile di circa 25.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 150.000 €.

Realizzazione di cassa di espansione in destra idraulica del Rio Calderaio (Cfr. Tavola RUI QC.11) a valle dell'autostrada A1 per una area complessiva di circa 9.000 mq ed un volume massimo invasabile di circa 20.000 mc. La stima dei costi per tale intervento è di circa 100.000 €.

Dove possibile si sono definite aree di accumulo le cui volumetrie sono risultanti da idrogrammi che massimizzano l'impegno delle casse, ovvero con portate al picco inferiori ma con volumi maggiori rispetto agli idrogrammi di piena utilizzati per le verifiche di contenimento negli alvei esistenti (Cfr. Allegati Parte 1).

## 6. CONCLUSIONI

Le conclusioni sul rischio idraulico relativo alle aste analizzate possono essere sintetizzate dicendo che tutti i corsi d'acqua risultano inadeguati al transito delle portate duecentennali.

Per tale motivo sono state individuate porzioni di territorio che potrebbero essere destinate alla realizzazione di interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico all'interno e fuori dal territorio comunale.

Nella Carta dei battenti idraulici sono riportati i dati relativi alla delimitazione delle aree a rischio di esondazione e ristagno, i dati sono ricavati sulla base degli studi idrologici-idraulici tesi a determinare il rischio di inondazione, in essa sono riconoscibili le aree interessate dalle esondazioni, in particolare si distinguono le aree di ristagno, o di accumulo, e le aree all'interno delle quali avvengono fenomeni di transito delle volumetrie esondate.

La Carta mette in evidenza le aree del territorio comunale la cui utilizzazione deve ritenersi "condizionata" dal rischio di esondazione e dalla difficoltà di drenaggio delle acque superficiali. La vulnerabilità del territorio comunale verrà poi individuata secondo il concetto di pericolosità idraulica, intesa come probabilità di accadimento di un determinato evento di piena nell'ambito di una assegnata finestra temporale. L'individuazione della classe di pericolosità idraulica, deriva da valutazioni congiunte sia sulla frequenza di esondazione sia sull'entità dei battenti attesi sul territorio.

La valutazione della frequenza di esondazione può essere effettuata analizzando i risultati delle modellazioni idrauliche per i vari tempi di ritorno, i battenti sono stati determinati considerando la morfologia delle aree di esondazione, la presenza di ostacoli allo spandimento delle acque (strade, manufatti, argini, rilevati...).

I battenti di accumulo determinati sulla base degli studi idrologici, della modellazione idraulica e di considerazioni sulla morfologia locale delle aree di esondazione, sono stati infine divisi in classi di zonizzazione in funzione delle loro altezze.

Firenze, luglio 2007

Ing. Enrico Galigani