



Ufficio Tecnico del Genio Civile
di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo

Comune di Empoli

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO AL NUOVO REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI EMPOLI

L.R. n° 1 03/01/2005 - D.P.G.R. 25/11/2011 n° 53/R - D.P.C.M. 06/05/2005 e D.Lgs n°49 23/02/2010

Relazione Tecnica

Dirigente Ufficio Tecnico
del Genio Civile
Ing. G.Fianchisti

Comune di Empoli
Dirigente Gestione del Territorio
Arch. M.Carletti

Gruppo di Lavoro
Ing. F.Baroni
Ing. F.Martelli
Geol. C. Simoncini

Giugno 2013

Indice

1 PREMESSA 4

2 IMPOSTAZIONE METODOLOGICA 5

3 DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO 6

4 GLI EVENTI ALLUVIONALI 7

4.1 NUOVI DATI DISPONIBILI AL DICEMBRE 2002 9

5 ANALISI IDROLOGICA 9

5.1 ANALISI MORFOLOGICA 13
5.2 IL MODELLO IDROLOGICO AL.TO. 15
5.3 LE FORMULE DI ONGARO E RAZIONALE PER I BACINI DI PIANURA 19
5.4 APPLICAZIONE DEI MODELLI IDROLOGICI 22

6 ANALISI IDRAULICA 26

6.1 IL MODELLO IDRAULICO DI MOTO VARIO 26
6.2 VERIFICHE IDRAULICHE DELLO STATO ATTUALE 28
6.2.1 Aspetti generali 28
6.2.2 Fiume Arno 29
6.2.3 Fiume Elsa 38
6.2.4 Torrenti Orme e Piovola 39
6.2.5 Sistema "Empoli est" 40
6.2.6 Rio dei Cappuccini 42
6.2.7 Fosso del Romito 43
6.2.8 Sistema "Empoli ovest" 43
6.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA 44

7 INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO 46

7.1 ASPETTI GENERALI 46
7.2 INTERVENTI SUL FIUME ARNO 47
7.3 INTERVENTI SUL FIUME ELSA 47
7.4 INTERVENTI SUI TORRENTI ORME, PIOVOLA E ORMICELLO 48
7.5 INTERVENTI SUL SISTEMA "EMPOLI EST" 54
7.6 INTERVENTI SUL FOSSO DEL ROMITO 54
7.7 INTERVENTI SUL RIO DEI CAPPUCCINI 54
7.8 INTERVENTI SUL RIO BONISTALLO 55
7.9 INTERVENTI SUL RIO SANT'ANNA 55
7.10 INTERVENTI NELL'AREA DEL TERRAFINO 57
7.11 INTERVENTI SUL SISTEMA "EMPOLI OVEST" 57

8 FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI AI SENSI DEL D.P.G.R. 53-R/2011 58

9 MISURE DI SALVAGUARDIA PER L'ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO 63

10 CONCLUSIONI 63

1 Premessa

Il presente studio idrologico-idraulico è redatto a supporto del nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli ai sensi del D.P.G.R. n. 53-R/2011 della Regione Toscana in attuazione della L.R. 1/2005. Esso è inoltre finalizzato all'aggiornamento della pericolosità idraulica del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno relativamente al territorio del suddetto Comune.

Lo studio è stato redatto dai tecnici dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo, la cui collaborazione con il Comune di Empoli è disciplinata tramite apposita Convenzione.

In data 06/08/2012 il Comune di Empoli ha avviato la procedura di aggiornamento della pericolosità idraulica del Piano di Assetto Idrologico presso l'Autorità di Bacino, che ha formulato le seguenti richieste a cui è stato ottemperato con il presente aggiornamento dello studio:

- implementazione del modello idraulico del fiume Arno a partire dalla sezione 466 in prossimità dell'idrometro di Brucianesi invece che da quello di Signa, escludendo il fiume Ombrone Pistoiese giá analizzato dall'Autorità di Bacino in un precedente aggiornamento del PAI;
- utilizzo degli idrogrammi di piena nella sezione 466 del fiume Arno stimati nella revisione del PAI del 2004;
- diversa modellazione dell'area golenale destra tra le sezioni 460 e 451 prevedendo sezioni estese invece di aree di potenziale esondazione.

Con nota assunta al prot. n. 25900 del 11/06/2013 il Genio Civile di Firenze ha espresso il parere di competenza ai sensi della L.R. 1/2005 e D.P.G.R. 53/R/2011, prescrivendo per gli aspetti idraulici:

- la definizione delle pericolosità I2 e I1;
- di supportare nuove eventuali previsione nella pianura alluvionale del fiume Elsa con studi idraulici dei corsi d'acqua minori;
- di condizionare l'approvazione dei piani attuativi delle previsioni 14.1 e 14.2 in loc. Villanuova a specifiche verifiche idrauliche del torrente Piovola.

La presente relazione dà evidenza del recepimento delle condizioni sopra indicate.

Il presente studio è articolato nelle seguenti fasi:

1) fase conoscitiva: acquisizione della cartografia, dei dati di base, dei rilievi topografici e del modello digitale del terreno;
2) elaborazione idrologica: stima delle portate di piena per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni;
3) analisi idraulica dello stato attuale con un modello idraulico in moto vario e individuazione delle criticità;
4) perimetrazione delle aree allagabili in funzione del tempo di ritorno;
5) individuazione delle pericolosità di cui al D.P.G.R. n. 53R-2011 della Regione Toscana, di quelle di cui al Piano di Assetto Idrogeologico e al D. Lgs. 49/2010;
6) definizione degli interventi di messa in sicurezza idraulica del territorio e delle misure di salvaguardia per la loro attuazione;

7) definizione delle condizioni di fattibilità delle previsioni urbanistiche soggette a pericolosità idraulica.

2 Impostazione metodologica

Il presente lavoro è finalizzato alla verifica idraulica dei corsi d'acqua che attraversano il Comune di Empoli e alla conseguente individuazione, in funzione del tempo di ritorno e dei battenti sul piano campagna, del livello di pericolosità. Non vengono invece analizzate le criticità dei sistemi fognari, sia in termini di intermittenza di scolo nel reticolo idrografico, sia di capacità di deflusso dei collettori stessi.

Per i corsi d'acqua oggetto del lavoro, lo schema metodologico scelto si basa su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conducono all'individuazione delle aree allagabili attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione, propagazione ed esondazione dell'onda di piena. Tale schema è direttamente mutuato dalla metodologia utilizzata dal Piano di Assetto Idrogeologico per la definizione delle aree a pericolosità idraulica a livello di dettaglio.

La determinazione dei livelli idrici in alveo e nelle aree contermini dipende dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; gli stessi dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e d'esondazione verificatasi nei tratti di monte e talvolta di valle.

E' pertanto necessario da un lato stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua, e dall'altro analizzarne la loro propagazione e laminazione per effetto di opere, esondazioni o diversivi. Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le connessioni idrauliche tra il corso d'acqua e le aree limitrofe per la simulazione dei fenomeni di tracimazione e inondazione.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni fisiche iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da ietogrammi sintetici definiti in base alle curve di possibilità pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica vengono definiti gli idrogrammi di piena dei vari sottobacini afferenti a ciascuna asta fluviale studiata, tenendo conto che tali contributi di piena sono valutati adottando la stessa durata di pioggia e un coefficiente di ragguaglio areale tale da garantire una distribuzione spaziale coerente dell'evento.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni di esondazione lungo l'asta fluviale, avvengono tramite il modello idraulico di moto vario quasi-bidimensionale, più avanti descritto, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito e i volumi eventualmente tracimati dalle strutture di contenimento.

Da evidenziare che l'analisi svolta ipotizza che i fenomeni di esondazione si manifestino esclusivamente per tracimazione delle portate di piena sopra la quota di massimo contenimento e loro successiva diffusione nel territorio adiacente.

Risultano non considerati i fenomeni di:

- collasso di strutture di contenimento (argini, sponde, muri, ecc.) e dei ponti;
- ostruzione temporanea delle sezioni fluviali dovute al trasporto di materiale flottante;
- modifica della forma e dimensioni delle sezioni fluviali per dinamica d'alveo (erosione, trasporto e deposito di materiale solido);
- effetti legati alla bidimensionalità della propagazione flussi nelle aree allagabili.

Per determinare la pericolosità idraulica delle aree in esame sono stati studiati i seguenti sistemi idraulici:

1) Fiume Arno dall'idrometro di Signa (FI) al ponte di Castelfranco di Sotto (PI), considerando gli apporti dei numerosi affluenti;
2) Fiume Elsa dall'abitato di Poggibonsi alla confluenza nel Fiume Arno, compreso lo scolmatore di Castelfiorentino;
3) Torrenti Orme e Piovola a monte dell'abitato di Casenuove (Comune di Empoli);
4) Rii Cortenuova, Fibbiana, Sammontana, Citerna, Grande e Montecuccoli (l'analisi idraulica è stata condotta attraverso un unico modello che in seguito verrà chiamato "Empoli est");
5) Rio dei Cappuccini;
6) Rii Sant'Anna, Vitiana, Stella, Pagnana, Friano (l'analisi idraulica è stata condotta attraverso un unico modello che in seguito verrà chiamato "Empoli ovest");

Per il tratto del Rio Friano a monte della S.G.C. FI-PI-LI è stato fatto riferimento a studi precedenti, così come per il Rio Volpi.

3 Definizione del quadro conoscitivo

Per la redazione del presente studio sono stati acquisiti i dati territoriali disponibili presso le pubbliche Amministrazioni, nonché è stata eseguita una campagna di rilievi topografici. In particolare sono stati acquisiti:

- CTR vettoriale in scala 1:2.000 [Regione Toscana, in seguito R.T.]
- CTR vettoriale in scala 1:10.000 [R.T., 1998]
- modello digitale del terreno con celle 1x1 m (Laser-scanning) [R.T.]
- modello digitale del terreno con celle 10x10 m dell'intero bacino del fiume Elsa [R.T., 1998]
- progetti di opere idrauliche e di attraversamento dei corsi d'acqua [Ufficio Tecnico del Genio Civile di Firenze]
- reticolo superficiale delle acque [R.T.]
- reticolo idrografico allegato alla D.C.R. 230/1994 e al P.I.T.[R.T.]
- annali e dati idrologici (1921 - 2002) forniti dal Servizio Idrologico della Regione Toscana
- strati informativi delle informazioni geo-litologiche e di uso del suolo (Corinne Land Cover) [R.T., Autorità di Bacino]
- idrogrammi di piena stimati nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico – aggiornamento 2004 [Autorità di Bacino]
- strati informativi delle aree allagate e delle pericolosità contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico [Autorità di Bacino]
- risultati della modellazione idraulica del Fiume Ombrone Pistoiese -aggiornamento luglio 2012 [Autorità di Bacino]
- progetto esecutivo "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai rii minori Volpi e Friano nella zona industriale del Terrafino nel Comune di Empoli" [Comune di Empoli]
- progetto esecutivo "Cassa di espansione nella zona posta in prossimità del futuro svincolo S. Maria della S.G.C. FI-PI-LI [Comune di Empoli]
- progetto esecutivo cassa di espansione di Roffia [Comune di San Miniato]

- progetto esecutivo casse di espansione di Fibbiana [Circondario Empolese Valdelsa]
- progetto esecutivo della cassa di espansione di Madonna della Tosse [Provincia di Firenze]
- progetto esecutivo degli argini del Fiume Elsa a valle della loc. Molino di Granaiolo [Circondario Empolese Valdelsa]
- sezioni fluviali disponibili presso l'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- sezioni fluviali ricavabili dalla documentazione in possesso del Comune di Empoli;
- sezioni fluviali utilizzate per lo studio idraulico della variante S.R.T. 429 – lotti I – II – III
- sezioni del Rio Cappuccini a monte del Cimitero [Consorzio di Bonifica Toscana Centrale]
- "Studio del sistema fognario dell'abitato di Ponsano" [Comune di Empoli]
- rilievo delle sezioni fluviali del Rio Cortenuova [Circondario Empolese Valdelsa]
- rilievo delle sezioni fluviali dei Rii Sammontana, Citerna, Grande [Ufficio Tecnico del Genio Civile di Firenze]
- rilievo delle sezioni fluviali del Rio Grande e Rio Sammontana a sud della linea ferroviaria [Provincia di Firenze]
- rilievo delle sezioni fluviali del Rio di Montecuccoli [Consorzio di Bonifica Toscana Centrale]
- rilievo topografico del Fosso di Fibbiana [Circondario Empolese Valdelsa]
- rilievo topografico, condotto nell'ambito del presente studio, di sezioni fluviali sui Rii dei Cappuccini Sant'Anna, Vitiana, Stella, Pagnana, Friano
- le informazioni desumibili dalla cartografia e dal rilievo topografico sono state integrate attraverso sopralluoghi e indagini sul posto.

4 Gli eventi alluvionali

Si riporta l'analisi degli eventi alluvionali che hanno colpito il Comune di Empoli eseguita nell'ambito degli studi a supporto del precedente Regolamento Urbanistico.

a) Alluvione del 1844

E' l'evento storico più antico di cui si abbiano dati relativamente alle aree coinvolte. La quasi totalità della piana empolese fu interessata dalla esondazione del Fiume Arno. Non si hanno notizie relativamente a danni e/o vittime.

b) Alluvione del Novembre 1966

A differenza di quanto avvenne nel 1844, l'alluvione del 1966 nella piana di Empoli non fu causata direttamente dal Fiume Arno, bensì principalmente dalla esondazione del Fiume Elsa.

Quest'ultimo ruppe gli argini all'altezza di Fontanella e poco dopo S. Andrea e, uscito dall'alveo, invase la valle, riversandosi nella piana empolese fino a lambire il centro urbano di Empoli.

Il settore orientale (Ponsano, Pontorme e Arnovecchio) fu invece interessato dall'esondazione di altri corsi d'acqua (Rio dei Cappuccini, Torrente Orme, Rio della Piovola, etc …) che non riuscivano a defluire nel Fiume Arno a causa del livello idrometrico superiore di quest'ultimo. In queste aree il livello raggiunto dall'acqua esondata non superò mai i 30 – 40 cm, mentre nell'area investita dall'esondazione dell'Elsa furono mediamente superati i 150 cm di altezza nel settore a Nord della ferrovia FI – PI tra S. Maria e Marcignana, in più punti anche 200 cm di altezza con massimi di 280 – 290 cm a Marcignana. Sempre in tale settore la linea ferroviaria fu in parte sommersa e danneggiata.

Il centro abitato di Empoli, seppure non investito direttamente dai fenomeni di esondazione, se non nel settore a sud della ferrovia e nella parte di periferia, fu ugualmente interessato nelle parti basse degli edifici da allagamenti a causa della fuoriuscita delle acque dal sistema delle condotte fognarie che non potevano più scaricare nel Fiume Arno a seguito dell'eccessivo innalzamento del livello idrometrico.

Alluvione del 1992 e 1993

Questi eventi sono stati circoscritti ed hanno avuto conseguenze molto minori rispetto ai precedenti sopradescritti. Tra i due eventi esiste una differenza sostanziale relativamente alla loro dinamica.

- L'episodio alluvionale del 1992 ha interessato essenzialmente le campagne ad ovest di Empoli tra l'Arno e la superstrada, il cui rilevato ha funzionato in parte da argine. La causa dell'esondazioni è stata attribuita in buona parte al fatto che sarebbero rimaste chiuse le cateratte all'immissione in Arno dei vari corsi d'acqua minori; il che ha causato il rigurgito con conseguente inondazione della campagna. Tale evento non ha provocato comunque allagamenti nei centri abitati; solo una piccola porzione dell'abitato urbano, nella zona dell'ospedale di Empoli, morfologicamente depressa, è stata interessata dalla fuoriuscita di acqua dalla rete fognaria. Nel settore più orientale si verificarono allagamenti locali a sud della ferrovia per l'esondazione del Rio della Piovola. Altre ristrette aree furono temporaneamente interessate da allagamenti di ristagno delle acque piovane, come nella zona del Terrafino e di Villa Romagnoli. Lungo l'Elsa non si sono verificate esondazioni, se non all'altezza dell'ampia ansa in corrispondenza di Brusciana dove l'allagamento non è arrivato alla strada statale interessando la campagna e solo limitatamente alcune case.
- Nell'ottobre 1993 il fenomeno è stato provocato principalmente dall'eccezionalità dell'evento meteorico (100 mm di pioggia in 24 ore) ed all'incapacità della rete idrografica di smaltire in così breve tempo il volume di acqua caduta. Quasi tutti i rii collinari non riuscirono a contenere entro l'alveo la corrivazione superficiale e l'acqua dai versanti si è riversata direttamente nella campagna. Si sono perciò verificati allagamenti temporanei con un limitato trasporto solido: il fango ha invaso in più punti la strada comunale di sottopoggio e, in Vald'Elsa, l'abitato di S. Andrea. Le zone più colpite sono state l'ex Padule di Bonistallo , ad ovest di Carraia, per la rottura degli argini e l'esondazione in più punti del Rio S.Anna, la zona ad est di Casanova dove per la rottura di un argine da parte del T. Orme e, in parte, per il rigurgito del Rio della Piovola, si è avuto un esteso allagamento che, con l'eccezione di alcune case lungo la via di Ponzano per S. Donato, ha interessato essenzialmente la campagna con livelli d'acqua massimi di 30 cm. Altri allagamenti locali e temporanei si sono avuti per la fuoriuscita del Rio dei Cappuccini, del Rio dei Cimitero e per il ristagno nelle zone del Terrafino. Lungo l'Elsa sono stati i corsi d'acqua minori che, incapaci di contenere entro l'alveo l'acqua, hanno causato temporanei allagamenti della campagna. In particolare la fuoriuscita dall'alveo del Rio del Casino e del Rio Grassellino ha causato l'allagamento di buona parte del centro abitato di Brusciana, con l'acqua che ha raggiunto i 40 cm sul piano campagna. Sono state alluvionate anche la valle del T. Ormicello, e la valle dell'Orme tra il Rio Camerata e il Rio della Leccia: in particolare fu completamente invaso dall'acqua, seppur per poche ore, l'abitato di Casenuove dove l'acqua ha raggiunto in alcuni punti livelli di 70 – 80 cm sopra il piano campagna.

4.1 NUOVI DATI DISPONIBILI AL DICEMBRE 2002

A seguito della pubblicazione del PAI sono state avanzate alcune osservazioni, presentate con dichiarazione pro –veritate, da parte di cittadini residenti nel Comune di Empoli, che hanno consentito di individuare alcune zone, inizialmente inserite nelle aree allagate nel 1966 con batenti variabili da 30 – 40 cm, come soggette a semplici e localizzati ristagni. In mancanza di indicazioni precise sulle quote raggiunte dai ristagni nell'evento 1966 si mantengono invariati i battenti a suo tempo disponibili nei documenti dell'Amministrazione.

5 Analisi idrologica

L'analisi idrologica è stata differenziata in funzione delle caratteristiche di ciascun bacino e sottobacino: per quelli di tipo collinare è stato utilizzato il modello idrologico Al.To 2000 [4-5], mentre per quelli di pianura drenati da un reticolo di *"acque-basse"* si è fatto riferimento alla formula di Ongaro per il tempo di corrivazione e alla formula razionale per la stima delle portate.

L'analisi idrologica sui bacini collinari è stata condotta attraverso una preliminare analisi morfologica e idrografica del reticolo e dei relativi bacini. Le grandezze ricavate sono state utilizzate nel modello di piena a parametri concentrati, denominato Al.To. 2000 [4-5], basato sull'idrogramma unitario istantaneo di Nash [4-5], i cui parametri sono stati stimati attraverso metodi di regionalizzazione. La stima delle portate è eseguita con il metodo indiretto, ipotizzando cioè che il tempo di ritorno dei deflussi di piena sia lo stesso degli eventi meteorici utilizzati in ingresso al modello. Quest'ultimi sono stati ricavati dalle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni pluviometriche della Regione Toscana. Il modello è stato cimentato per vari tempi di ritorno con ietogrammi sintetici di varia durata a intensità costante.

Per i bacini di pianura è stato fatto riferimento alle sopra citate curve di possibilità pluviometrica, ipotizzando una durata critica pari al tempo di corrivazione stimato con la formula di Ongaro e ricostruendo idrogrammi sintetici per varie durate e tempi di ritorno.

Per i corsi d'acqua che non interessano direttamente il territorio del Comune di Empoli, ma le cui portate contribuiscono alle piene dei Fiume Arno, sono stati acquisiti gli idrogrammi stimati nell'ambito della redazione del Piano di Assetto Idrogeologico. Sebbene il modello utilizzato per la loro stima sia sempre Al.To., per questi non si è proceduto alla verifica ed aggiornamento dei dati di input.

Le seguenti tabelle mostra il tipo di modellazione adottato per ciascun bacino con riferimento alla codifica riportata nella tavola 1 allegata.

Asta	**Sottobacino afferente**	**Modellazione**
Arno	Arno alla sezione 466	PAI 2004 -Modello idraulico
Arno	bacino 1	AlTo con aggiornamento input
Arno	Pesa	PAI 2004 -Modello idraulico
Arno	Guidi	AlTo con aggiornamento input
Arno	dell'Olmo	AlTo con aggiornamento input
Arno	Botricello	AlTo con aggiornamento input
Arno	Ratto Pescaione o Botta	AlTo con aggiornamento input
Arno	Fibbiana	da modellazione idraulica
Arno	bacino 3	formule Ongaro e razionale
Arno	Cortenuova	da modellazione idraulica
Arno	bacino 4	formule Ongaro e razionale
Arno	Orme	da modellazione idraulica
Arno	Morticini	AlTo con aggiornamento input
Arno	Cappuccini	da modellazione idraulica
Arno	Sant'Anna	da modellazione idraulica
Arno	d'Ansano	PAI 2004 -AlTo
Arno	della Valle Marcarro	PAI 2004 -AlTo
Arno	Streda	PAI 2004 -AlTo
Arno	Vitiana	da modellazione idraulica
Arno	Pagnana	da modellazione idraulica
Arno	Friano	da modellazione idraulica
Arno	Elsa	da modellazione idraulica
Arno	Ganghereto, Filicaia e inerbacino	PAI 2004 -AlTo
Arno	Interbacino	PAI 2004 -AlTo
Arno	Egola	PAI 2004 -AlTo

Tipologia di stima idrologia degli affluenti del Fiume Arno

Asta	Sottobacino afferente	Modellazione
Elsa	Elsa a valle confluenza Drove e Stag	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Foci	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac1	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Abese	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Bac2	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Bacchereto	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Zambra	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac3	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Avane	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Forciano	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac4	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Avanella	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac5	AlTo con aggiornamento input
Elsa	delle Rote	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac6	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Agliena	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Casciani	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac7	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Vicariato	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac8	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Renaccio	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac9	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Corniola	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac10	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Valle Buia	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac11	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Pesciola	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac12	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Vallone	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac13	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Lama	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac14	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Pietroso	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Morto	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Grignana	AlTo con aggiornamento input
Elsa	delle Fate	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac15	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Broccolino	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac16	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Maremmana	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Tombaluna	AlTo con aggiornamento input
Elsa	bac17	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Riosoli	AlTo con aggiornamento input
Elsa	Volpi	AlTo con aggiornamento input

Tipologia di stima idrologia degli affluenti del Fiume Elsa

Asta	Sottobacino afferente	Modellazione
Orme	Orme a monte confluenza Ormicell	AlTo con aggiornamento input
Orme	Ormicello	AlTo con aggiornamento input
Orme	Camerata	AlTo con aggiornamento input
Orme	Piovola	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Citerna1	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Citerna2	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Montecuccoli	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Sammontana1	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Sammontana2	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Sammontana3	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Castellucci est	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Castellucci ovest	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Rio Grande0	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Rio Grande1	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Rio Grande2	AlTo con aggiornamento input
Empoli est	Rio Grande3	formule Ongaro e razionale
Empoli est	Rio Grande4	formule Ongaro e razionale
Empoli est	Fibbiana	formule Ongaro e razionale
Empoli est	Fosso Fibbiana	formule Ongaro e razionale
Pozzale	Pozzale	formule Ongaro e razionale
Cappuccini	Cappuccini	AlTo con aggiornamento input
Cappuccini	Terraio	AlTo con aggiornamento input
Corniola	Corniola	formule Ongaro e razionale
Cinotti est	Cinotti est	formule Ongaro e razionale
Cinotti ovest	Cinotti ovest	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Sant'Anna o S. Maria	AlTo con aggiornamento input
Empoli ovest	Vitiana0	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Vitiana1	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Vitiana2	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Stella1	AlTo con aggiornamento input
Empoli ovest	Stella2	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Pagnana1	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Pagnana2	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Pagnana3	formule Ongaro e razionale
Empoli ovest	Friano2	formule Ongaro e razionale

Tipologia di stima idrologia dei bacini minori

5.1 ANALISI MORFOLOGICA

Nei bacini per i quali è indicato *"Al.To. con aggiornamento input"* nella precedente tabella, il reticolo idrografico è stato definito attraverso la composizioni del reticolo delle acque superficiali in scala 1:10.000, così come individuato dalla Regione Toscana, e del reticolo individuabile da cartografia IGM 1:25.000.

Tutti i rami del reticolo individuato e le corrispondenti aree drenate sono stati gerarchizzati secondo il metodo Horton-Strahler [10]. Sono stati quindi calcolati il numero delle aste fluviali, la lunghezza e l'area relativi ad ogni ordine gerarchico, nonché i rapporti di biforcazione (Rb), di lunghezza (Rl) e di area (Ra) attraverso regressione logaritmica. Sono stati inoltre determinati l'area del bacino (A) e la lunghezza media cumulata del reticolo (Lmc), calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici [10].

I parametri morfologici Rb, Rl e Ra sopra elencati possono essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico e le aree afferenti secondo Strahler, sulla base delle regressioni delle seguenti note relazioni:

$$\begin{aligned} N_u &= R_b{}^{\omega-u} \\ \overline{L}_u &= \overline{L}_1 R_l{}^{u-1} \\ \overline{A}_u &= \overline{A}_1 R_a{}^{u-1} \end{aligned} \qquad [4\text{-}5]$$

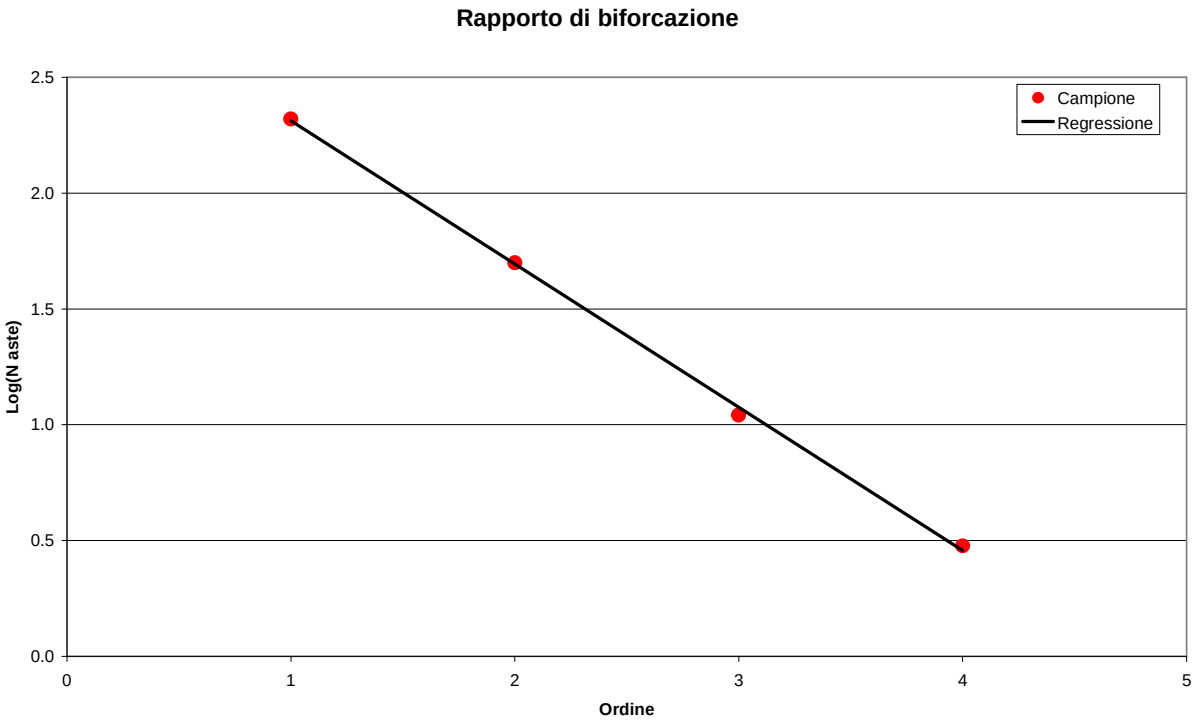
dove:
ω = ordine massimo del reticolo;
Nu = numero delle aste di ordine u;
$\overline{L}_u$ = lunghezza media delle aste di ordine u;
$\overline{A}_u$ = area media sottesa da aste di ordine u.

In analogia alle scelte fatte nello studio di regionalizzazione delle portate della Regione Toscana, le regressioni sono state eseguite secondo le seguenti specifiche:

1. nel calcolo di Rb l'ordine massimo considerato è ω-1;
2. Rl è stato calcolato considerando le lunghezze medie di ciascun ordine gerarchico;
3. per la stima di Ra è stato considerato al più il quinto ordine gerarchico.

Soltanto per i bacini di ordine 3 l'ordine massimo considerato per il calcolo di Rb è ω.

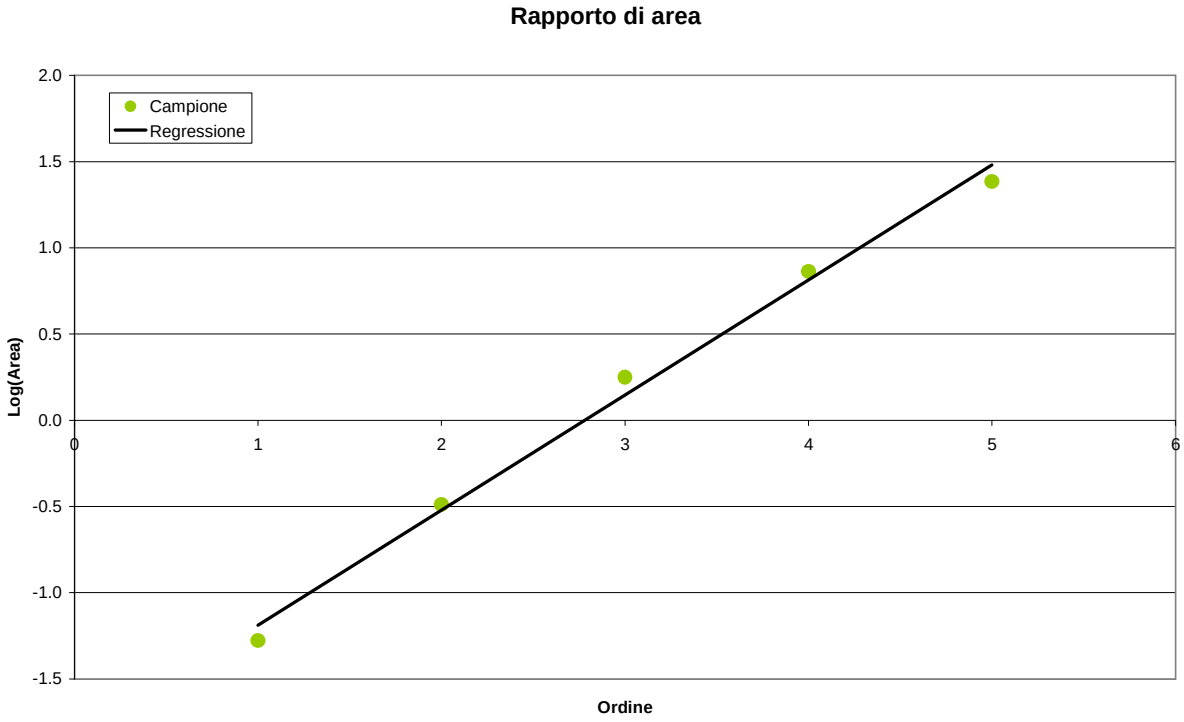
A titolo di esempio si riportano le regressioni eseguite per il bacino del Torrente Orme.



Rapporto di biforcazione del Torrente Orme a monte della confluenza con il Torrente Ormicello



Rapporto di lunghezza del Torrente Orme a monte della confluenza con il Torrente Ormicello



Rapporto di area del Torrente Orme a monte della confluenza con il Torrente Ormicello

5.2 IL MODELLO IDROLOGICO AL.TO.

A seguito della preliminare analisi morfologica e idrografica del bacino e del reticolo idrografico di cui al precedente paragrafo, è stata condotta l'analisi idrologica per la stima degli idrogrammi di piena. Questi sono stati stimati attraverso il modello di piena concettuale a parametri concentrati Al.To. 2000, basato sull'idrogramma istantaneo unitario di Nash, di cui riportiamo di seguito le linee principali [4-5].

L'*input* meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica, ricavate con l'adattamento della TCEV.

Le curve di possibilità pluviometrica sono espresse dalla seguente formula:

$$h=at^nT^m$$

dove a, n e m sono i parametri, t [h] la durata dell'evento, T [anni] il tempo di ritorno e h [mm] l'altezza di pioggia.

Qualora siano necessarie più stazioni di misura per caratterizzare il regime pluviometrico del bacino di interesse, lo ietogramma sintetico è calcolato attraverso il metodo dei topoieti di Thiessen applicato ai parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

Il modello è strutturato in modo da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena, in funzione delle caratteristiche morfologiche del bacino idrografico. Viene in tal modo definita una pioggia di determinata durata con intensità costante. In alternativa è possibile definire ietogrammi di qualsiasi forma e durata.

L'input pluviometrico è stato ragguagliato al bacino attraverso il metodo del coefficiente di ragguaglio areale K_r. Questo è espresso nel modo seguente:

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

dove α, β e γ sono i parametri della formula, t [h] è la durata della precipitazione e A [km^2] è l'area del bacino.

Per la Regione Toscana sono stati stimati i seguenti valori dei parametri:

$\alpha = 0.036$ a
$\beta = 0.25$
$\gamma = 0.01$

dove *a* è il parametro della curva di possibilità pluviometrica utilizzata.

Le opzioni di calcolo del programma permettono inoltre il ragguaglio areale per mezzo di un coefficiente K_r costante definito dall'utente, in funzione dell'area e della durata oppure di tipo "globale".

L'opzione "g*lobale"* calcola il coefficiente di ragguaglio areale K_r considerando che i deflussi del bacino in oggetto si sommino a quelli di un bacino principale di monte. Pertanto, considerando tale bacino come sottobacino del sistema complessivo, il coefficiente di ragguaglio K_r *è* calcolato affinché il coefficiente del bacino di valle (somma di quello principale e del sottobacino) sia uguale a quello stimabile con la formula sopra presentata. Ciò equivale ad imporre che l'altezza di pioggia calcolata sul bacino complessivo coincida con quella ricavabile dalla sommatoria delle altezze calcolate singolarmente per il bacino di monte ed il sottobacino.

In pratica si assume per il sottobacino un coefficiente di ragguaglio K_r che mantenga inalterato il valore del coefficiente di ragguaglio K_r pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi secondo la seguente formula:

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

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

Il metodo per studiare la risposta idrologica in termini di deflussi è quello basato sul cosiddetto *idrogramma istantaneo unitario* (*Instantaneous Unit Hydrograph*, *IUH*), vale a dire l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Infatti, con le ipotesi di linearità e stazionarietà della risposta, l'idrogramma di piena può essere calcolato tramite la convoluzione fra ietogramma efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau)\, p(t-\tau)\, d\tau$$

dove:
Q(t) è la portata defluente;
p(t) = A i(t) con A area del bacino e *i(t)* intensità di pioggia netta ragguagliata sul bacino;
U(t) = idrogramma unitario per cui $\int_0^\infty U(t)dt = 1$

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine (baricentro) e definito dalla

$$Tl = \int_0^\infty U(t)tdt = 1$$

dove viene detto tempo di ritardo Tl.

Il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di tipo *Γ(n,k)* introdotto da Nash e caratterizzato dal parametro di *forma* (*n*) e da quello di *scala* (*k*).

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)}\left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{\left(-\frac{t}{k}\right)} \qquad [4]$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto *n·k*.

I parametri *n*, *k* e *Tl* dell'idrogramma unitario di Nash possono essere ricavati sulla base delle caratteristiche morfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29\ (Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07}$$

$$k = 0.7\ [Ra/(Rb\ Rl)]^{0.48}\ L/\nu$$

$$Tl = 2.3\left(\frac{Rb}{Ra}\right)^{0.3} Rl^{-0.41}\ \frac{L}{v}$$

dove, oltre ai simboli noti, ν è il fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

Lo studio di regionalizzazione, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di Tl [ore] ed i parametri morfologici:

$$Tl = 0.42\left(\frac{Rb}{Ra}\right)^{0.3} Rl^{-0.41}\ \frac{Lmc}{A^{0.075}}$$

La trasformazione da pioggia reale a netta adottata richiede la stima di due parametri: la perdita iniziale è schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con I_a) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante

iniziale dell'evento *t=0* sino all'istante $t=t_a$), mentre la perdita durante l'evento viene schematizzata con una *infiltrazione costante a saturazione* (indicata con K_s):

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{ta} (P(\tau) - K_S) d\tau$$

se $t<t_a$

$$P_n(t) = 0$$
$$I_a(t) = I_a$$

se $t \geq t_a$

$$P_n(t) = P(t) - K_s$$

dove:
P(t) intensità di precipitazione ragguagliata sul bacino [mm/h];
$P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];
$I_a(t)$ perdita iniziale all'istante *t* dell'evento [mm];
$I_a=I_a(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];
K_s=velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

I parametri utilizzati per il calcolo delle portate di piena risultano, in sostanza, i seguenti:

- I_a volume unitario di perdita iniziale [mm];
- K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];
- *n* parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];
- *k* parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

Nello studio di regionalizzazione, i valori di I_a e K_s sono tarati e calcolati in funzione della litologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. In particolare I_a è correlato alla percentuale di superficie boscata del bacino idrografico secondo la relazione:

$I_a = 3.3+22P_{ab}$ (P_{ab} = percentuale di superficie boscata del bacino)

mentre K_s dipende dalle caratteristiche litologiche.

Descrizione formazione litologica	Ks medio [mm/s]
depositi limoso-argillosi moderatamente consistenti	0
depositi limoso-argillosi consistenti	0
depositi sabbiosi moderatamente addensati	2.325
depositi sabbiosi addensati poco cementati	2.325
depositi superficiali incoerenti a granulometria variabile a prevalente compo	3.1
rocce carbonatiche massicce o stratificate in grossi banchi	0.775
rocce carbonatiche stratificate	7.75
rocce carbonatiche vacuolari	3.875
rocce silicee	3.875
rocce ignee basiche ed ultrabasiche e derivati metamorfici	0
rocce intrusive acide o intermedie	0
conglomerati e brecce poco cementati	0.775
rocce carbonatiche vacuolari o poco cementate	7.75
arenarie deboli	2.325
rocce arenacee con interstrati pelitici	1.55
rocce carbonatiche con interstrati pelitici	4.65
rocce carbonatiche alternate a rocce pelitiche	4.65
rocce metamorfiche costituite da alternanze di livelli lapidei e pelitici	0
rocce pelitiche con intercalazioni lapidee	0
complessi a struttura caotica a prevalente componente pelitica	0
rocce metamorfiche scistose a pelite dominante	0

Velocità media di infiltrazione
(solo formazioni presenti nei sottobacini studiati)

5.3 LE FORMULE DI ONGARO E RAZIONALE PER I BACINI DI PIANURA

Il modello idrologico di regionalizzazione delle portate di piena Al.To. non risulta applicabile a reticoli di “acque basse” e aree di pianura. Pertanto è stato valutata applicabile la seguente metodo di calcolo.

La portata in funzione del tempo di ritorno e della durata dell’evento di pioggia è calcolata attraverso la formula razionale

$$Q = K \cdot \frac{A \cdot \frac{h}{d}}{3.6}$$

dove *Q* è la portata [mc/s], *K* é il coefficiente di afflusso [-], *A* è l’area del bacino [Kmq], *h* è l’altezza di pioggia ragguagliata [mm], *d* è la durata meteorica [ore].

Il coefficiente *K* è la media ponderata sulle aree in funzione dell’uso del suolo secondo le seguenti assunzioni:

K = 0.5 per terreni agricoli di pianura
K = 0.8 per piccole aree urbane residenziali con aree a verde
K = 0.9 per aree urbane impermeabili

L'altezza di pioggia è stimata dalle curve di possibilità pluviometrica e ragguagliata secondo la funzione $K_r = 1 - \exp(-\alpha t^{\beta}) + \exp(-\alpha t^{\beta} - \gamma A)$ precedentemente descritta.

E' inoltre stato ipotizzato che la durata critica coincida con il tempo di corrivazione valutato a partire dalla formula di Ongaro:

$$t_c = 0.18 \cdot (A \cdot L)^{1/3}$$

dove, oltre hai simboli precedentemente specificati, t_c è il tempo di corrivazione [giorni], L è la lunghezza dell'asta principale [Km].

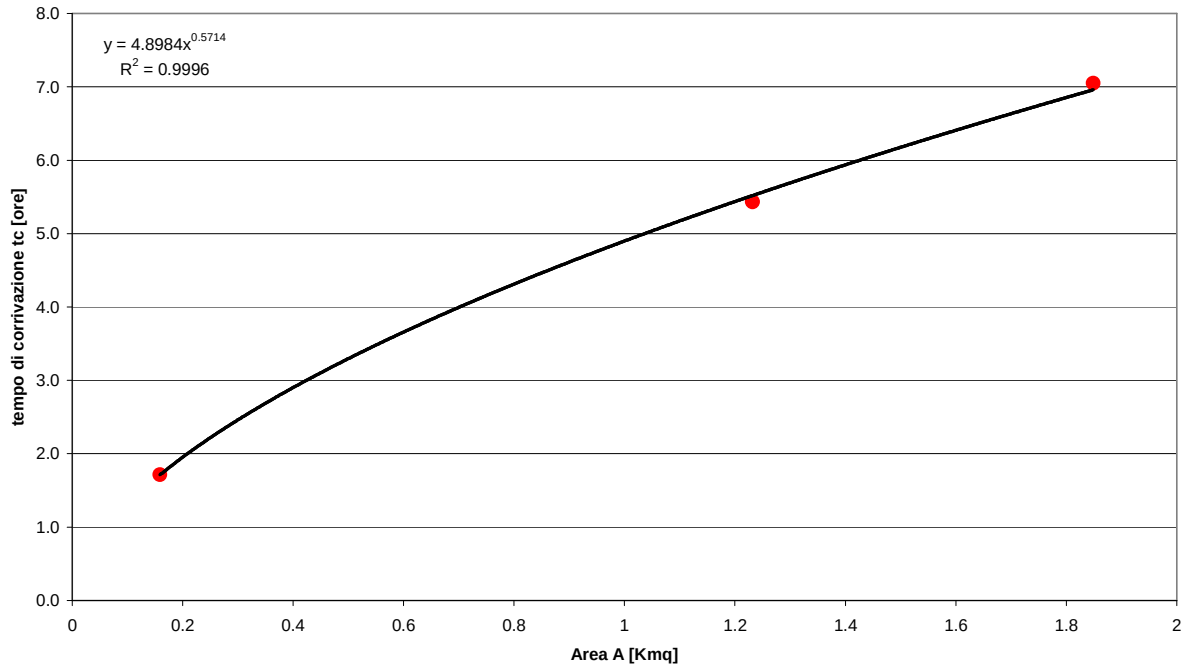
Considerato che la lunghezza dell'asta principale è funzione del grado di dettaglio cartografico (per alcuni bacini risulta assente in cartografia), è stato scelto di applicare una regressione sui risultati dei bacini con reticolo cartografato per rendere la formula dipendente esclusivamente dall'area del bacino, nella forma

$$t_c = a \cdot A^{b}$$

con *a* e *b* parametri stimati attraverso la regressione.

Per i bacini di pianura del sistema "Empoli est" vale *a = 4.898* e *b = 0.571*, mentre per quelli del sistema "Empoli ovest" e i bacini Pozzale, Corniola, Cinotti est e Cinotti ovest vale *a = 4.449* e *b = 0.736*.

Tempo di corrivazione dei bacini di pianura del territorio orientale di Empoli

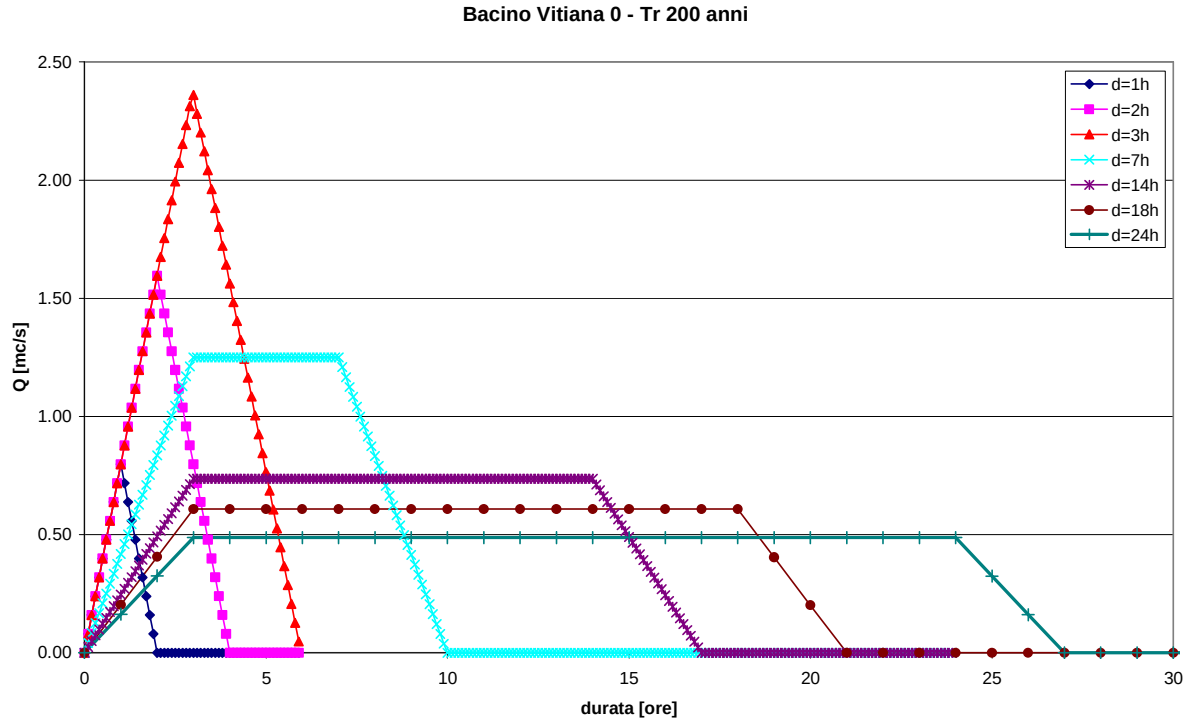




Per $d \leq tc$ gli idrogrammi sintetici sono stati assunti di forma triangolare con di forma triangolare con tempo di picco pari a d e durata complessiva pari a $2d$.

Per $d > tc$ gli idrogrammi hanno forma trapezia con ramo a portata crescente di durata tc, ramo a portata costante di durata d-tc e ramo a portata decrescente di durata tc.

A titolo di esempio si riportano gli idrogrammi del sottobacino *Vitiana0* per il tempo di ritorno 200 anni.



5.4 APPLICAZIONE DEI MODELLI IDROLOGICI

Condizioni generali

La sollecitazione pluviometrica che caratterizza ciascun sottobacino studiato è stata stimata sulla base delle curve di possibilità pluviometrica di stazioni incidenti sull'area di interesse o limitrofe, aggiornate al 2002 e fornite dal Servizio Idrologico della Regione Toscana. Le curve sono state stimate attraverso il metodo di regionalizzazione di adattamento della TCEV.

Con il metodo dei topoieti [9-10]si è proceduto alla stima dell'altezza di pioggia per i vari tempi di ritorno a partire dalle curve delle seguenti stazioni:

COD	NOME	a	n	m	a_1	n_1	m_1
1300	S.ANDREA IN FABBRICA	20.967	0.262	0.174	19.874	0.384	0.18
1350	EMPOLI (PRUNECCHIO)	21.692	0.245	0.217	24.301	0.488	0.187
1410	POGGOBONSI (STROZZAVOLPE)	22.392	0.269	0.198	22.975	0.289	0.175
1420	S.GIMIGNANO	22.755	0.251	0.186	23.601	0.363	0.157
1430	CERTALDO	22.217	0.23	0.181	22.338	0.333	0.153
1450	CASTELFIORENTINO	22.013	0.271	0.229	24.077	0.36	0.188
1480	MELETO	23.854	0.351	0.178	27.727	0.435	0.167
1490	S. MINIATO (CIMITERO)	26.456	0.292	0.194	25.077	0.389	0.150
1500	FATTORIA SCALETTA	22.499	0.293	0.221	24.848	0.510	0.169
1680	LA MADONNINA	20.59	0.295	0.181	19.581	0.319	0.152
1740	CASTELFALFI	20.250	0.281	0.195	22.706	0.355	0.157
2634	MADONNA A BROLIO	25.188	0.275	0.198	26.412	0.329	0.148
2660	SIENA	19.955	0.345	0.201	19.862	0.325	0.18
2740	COTORNIANO (FATTORIA)	22.019	0.308	0.187	21.863	0.272	0.154

Stazioni pluviometriche

($h = a_1 t^{n1} Tr^{m1}$ per t<1 ora - $h = a t^{n} Tr^{m}$ per t>1 ora)

All'altezza di pioggia stimata è stato applicato il coefficiente di ragguaglio areale, così come definito nei paragrafi precedenti [4-5].

Per il modello afflussi-deflussi del programma Al.To., basato sulla perdita unitaria iniziale I_a [mm] e sulla velocità di infiltrazione K_s [mm/s], i relativi valori sono stati stimati tramite le procedure di regionalizzazione precedentemente descritte [4-5]. Per il calcolo della superficie boscata è stata acquisita la cartografia Corinne Land Cover; la Carta litologica disponibile presso dell'Autorità di Bacino ha permesso l'individuazione delle principali formazioni.

Nei successivi punti vengono descritti gli aspetti peculiari di ciascuna simulazione idrologica.

Sottobacini tributari dell'asta del Fiume Arno

Sulla base delle relazioni note tra le grandezze e i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti, sono stati stimati il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] e i parametri n [ ] e k [sec] dell'IUH di Nash [4-5] per i Rii Guidi, dell'Olmo, Botricello, Pescaione e Morticini. Per il Rio Ratto e il "bacino1", avendo un reticolo idrografico non sufficientemente sviluppato da poter definire parametri attendibili (ordine di Horton-Strahler inferiore a 3), è stata adottata la seguente metodologia già utilizzata per il progetto delle casse di espansione di Fibbiana:

1. il parametro n [ ] di Nash è stato posto uguale al valore medio dei sottobacini (di ordine ≥ 3) i cui parametri sono stati oggetto di aggiornamento;
2. il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] è stato stimato attraverso la regressione di potenza delle coppie (A;Tl) dei sottobacini già calcolati con area inferiore a 30 Kmq, dove A [Kmq] è l'area del bacino;
3. il parametro k [sec] è determinato dal rapporto Tl/n.

Per gli interbacini "bacino3" e "bacino4" si è fatto riferimento alle formule di Ongaro e razionale.

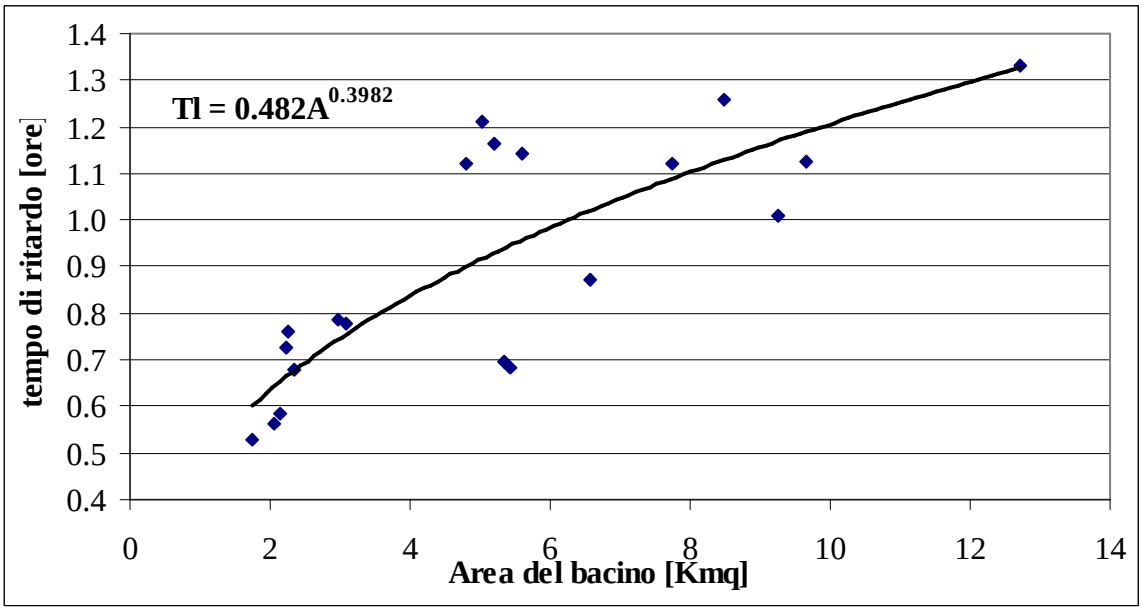
Considerato che obiettivo dello studio è la determinazione dei contributi dei vari affluenti alla formazione delle piena del Fiume Arno, e non delle portate critiche dei singoli corsi d'acqua che non attraversano il territorio del Comune di Empoli, il coefficiente di ragguaglio areale è stato calcolato facendo riferimento all'area del bacino del Fiume Arno a valle di ciascuna confluenza.

Sono state considerate durate di pioggia a intensità costante pari a **18, 24 e 36 ore** e tempo di ritorno di **30, 100** e **200 anni**.

Sottobacini tributari dell'asta del Fiume Elsa

Sulla base delle relazioni note tra le grandezze e i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti, sono stati stimati per i vari sottobacini considerati il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] e i parametri n [ ] e k [sec] del IUH di Nash [4-5]. Al fine di tener conto anche del contributo dei piccoli interbacini con reticolo idrografico non sufficientemente sviluppato da poter definire parametri attendibili (ordine di Horton-Strahler inferiore a 3), è stata adottata la seguente metodologia:

1. i sottobacini limitrofi sono stati accorpati in un unico interbacino a cui è stata assegnato il codice BAC seguito da un numero progressivo da monte verso valle;
2. per ciascun interbacino BAC il parametro n [ ] di Nash è stato posto uguale al valore stimato per l'intero bacino del fiume Elsa;
3. il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] è stato stimato attraverso la regressione di potenza delle coppie (A;Tl) dei sottobacini già calcolati con area inferiore a 30 Kmq, dove A [Kmq] è l'area del bacino;
4. il parametro k [sec] è determinato dal rapporto Tl/n.



Regressione del tempo di ritardo caratteristico

Sono state considerate durate di pioggia a intensità costante pari a **9, 12, 24 e 36 ore** e tempo di ritorno di **30, 100** e **200 anni** con un coefficiente di ragguaglio di tipo *"globale"*. Per ognuna delle combinazioni fra tempo di ritorno e durata di pioggia sono stati stimati gli idrogrammi in ingresso al modello idraulico dell'asta del fiume Elsa.

Sottobacini tributari dell'asta del Torrente Orme

Sulla base delle relazioni note tra le grandezze e i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti, sono stati stimati per i vari sottobacini considerati il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] e i parametri n [ ] e k [sec] del IUH di Nash [4-5].

Sono state considerate durate di pioggia a intensità costante pari a **1** (durata critica per il torrente Piovola)**, 2.5** (durata critica a monte della confluenza del torrente Ormicello)**, 4** (durata critica alla confluenza nel Fiume Arno)**, 18, 24 e 36 ore** e tempo di ritorno di **30, 100** e **200 anni.**

Il coefficiente di ragguaglio è di tipo *"globale"* per le durate ≤ 4 ore, mentre per le durate maggiori è stato calcolato facendo riferimento all'area del bacino del Fiume Arno a valle della confluenza.

Sottobacini tributari del sistema "Empoli est"

Sulla base delle relazioni note tra le grandezze e i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti, sono stati stimati per i vari sottobacini considerati il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] e i parametri n [ ] e k [sec] del IUH di Nash [4-5] per i bacini Citerna1, Citerna2, Montecuccoli, Sammontana1, Sammontana2, Sammontana3, Catellucci est, Castellucci ovest, Rio Grande0, Rio Grande1 e Rio Grande2. E' stata trascurata la laminazione della diga di Sammontana essendo in corso l'approvazione di un progetto di adeguamento e non essendo ancora noto il disciplinare di gestione.

Per gli interbacini Rio Grande3, Rio Grande4, Fibbiana e Fosso Fibbiana si è fatto riferimento alle formule di Ongaro e razionale.

Sono state considerate durate di pioggia a intensità costante pari a **1.1, 3, 6, 9** (durate critiche per i vari sottobacini)**, 18, 24, 36 ore** e tempo di ritorno di **30, 100** e **200 anni.**

Considerato che obiettivo dello studio è la determinazione dei contributi dei vari affluenti alla formazione delle piena del Fiume Arno, per le durate 18, 24 e 36 ore (critiche per l'asta del Fiume Arno), il coefficiente di ragguaglio areale è stato calcolato facendo riferimento all'area del bacino del Fiume Arno a valle della confluenza del Rio Cortenuova. Per le durate inferiori invece l'area di riferimento per il ragguaglio è quella complessiva dell'intero sistema.

Sottobacini tributari dell'asta del Rio dei Cappuccini

Le portate idrologiche sono state stimate con il modello Al.To 2000 utilizzando i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti.

Il contributo del bacino del Rio Terraio è stato calcolato come differenza tra l'idrogramma del bacino complessivo e quello a monte del Ponte degli asini in loc. Corniola.

Sono state considerate durate di pioggia a intensità costante pari a **1, 3, 6, 18, 24 e 36 ore** e tempo di ritorno di **30, 100** e **200 anni.**

Il coefficiente di ragguaglio areale per le durate critiche del Fiume Arno è stato calcolato con riferimento all'area del Fiume Arno a valle della confluenza.

Sottobacini tributari del sistema "Empoli ovest"

Sulla base delle relazioni note tra le grandezze e i parametri morfologici e idrologici di cui ai paragrafi precedenti, sono stati stimati il tempo di ritardo caratteristico Tl [ore] e i parametri n [ ] e k [sec] dell'IUH di Nash [4-5] per il Rio Sant'Anna (o S. Maria). Per somiglianza idrologico gli stessi parametri sono stati utilizzati per i bacini collinari del Rio Stella (Stella1) e del Rio Friano (Friano1). I contributi di tutti gli altri bacini del sistema sono stati stimati con le formule di Ongaro e razionale.

Valutati preliminarmente le durate critiche per i vari sottobacini, gli idrogrammi di verifiche per i tempi di ritorno **30, 100 e 200 anni** sono stato determinati per le durate **1, 2, 3, 7, 14 ore** con un coefficiente di ragguaglio areale in funzione dell'area complessiva del sistema. Per le durate di **18, 24 e 36** ore l'area di riferimento è invece quella del Fiume Arno a valle del Rio Friano.

Altri sottobacini minori

I bacini denominati Pozzale, Corniola, Cinotti est e Cinotti ovest scaricano i loro contributi nel reticolo minuto di drenaggio di aree interessate da inondazioni degli altri corsi d'acqua considerati (sinistra del torrente Orme per il primo bacino, sinistra del torrente Cappuccini per gli altri). Al fine di tenere in conto del loro apporto nelle modellazioni idrauliche e nella perimetrazione delle aree allagabili, sono stati stimati i rispettivi idrogrammi per i tempi di ritorno **30, 100** e **200 anni** e durate di pioggia **1, 2.5, 4, 18, 24, 36 ore** per il primo bacino e **1, 2, 3, 6, 18, 24, 36 ore** per gli altri.

Nell'Allegato idrologico sono riportati i dati di input ed out delle modellazioni sopra descritte.

6 Analisi idraulica

Definiti gli eventi di verifica si è proceduto all'implementazione della modellistica idraulica.
I corsi d'acqua oggetto della modellazione idraulica sono i seguenti:

1. Fiume Arno
2. Fiume Elsa
3. Torrenti Orme e Piovola
4. Rii Cortenuova, Fibbiana, Citerna, Sammontana, Montecuccoli, Grande
5. Rio Cappuccini
6. Rii Sant'Anna (o S. Maria),Stella, Vitiana, Pagnana, Friano

I corsi d'acqua indicati ai punti 3, 4 e 6 sono stati modellati rispettivamente in un unico modello idraulico, essendo alcuni di essi tributari degli altri o inondando con le rispettive piene le stesse aree di pianura. I sistemi sono stati denominati rispettivamente "Orme_Piovola", "Empoli est" e "Empoli ovest".

I modelli idraulici sono stati implementati con il software Hec Ras 4.1 [11-12], di cui si riportano di seguito una breve descrizione. Nei successivi paragrafi sono inoltre presentati i dettagli delle ipotesi di base fatte e il set di dati utilizzati nella modellistica idraulica.

Come anticipato nel paragrafo "Impostazione metodologica", non sono stati studiati i sistemi fognari in quanto esulano dall'ambito oggettivo del D.P.G.R. 53/R/2011 e dal Piano di Assetto Idrogeologico, che riguardano invece il reticolo superficiale delle acque.

6.1 IL MODELLO IDRAULICO DI MOTO VARIO

Le simulazioni idrauliche in moto vario sono state condotte attraverso il programma di calcolo Hec-Ras [11-12] che, sulla base della discretizzazione numerica delle equazioni di moto, fornisce i livelli idrici in ciascuna sezione di calcolo tenendo conto delle eventuali transizioni tra corrente veloce e corrente lenta.

Il modello matematico di moto vario unidimensionale a fondo fisso risolve, in forma numerica, le equazioni di continuità e del moto per una corrente liquida in condizioni non stazionarie. Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo sono stimate con una delle equazione di moto uniforme disponili (Manning o Gauckler-Strickler). Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, sono valutate le perdite di carico localizzate attraverso i coefficienti di contrazione ed espansione.

Al modello unidimensionale, capace di rappresentare adeguatamente il moto in alveo e in aree golenale di limitata dimensione, è accoppiato un sistema di celle di invaso secondo lo schema di Cunge: il modello matematico di moto vario simula i processi di trasferimento e laminazione in alveo cui sono soggetti i volumi di piena durante il verificarsi degli eventi; l'accumulo dei volumi di esondazione nelle aree golenali più ampie o arginate viene invece studiato attraverso la definizione di celle caratterizzate da una propria legge d'invaso, che scambiano volumi d'acqua tra loro e con il corso d'acqua attraverso collegamenti schematizzati come soglie sfioranti libere o rigurgitate. Le celle di accumulo sono definite sulla base delle

caratteristiche morfologiche del territorio in modo che lo schema di stramazzo in parete grossa possa essere considerato valido.

Per quelle aree golenali in cui, per le ridotte dimensioni trasversali, per la morfologia del piano campagna e per l'assenza di arginature, non appare adeguata una modellazione con celle di accumulo, è possibile definire, all'interno di ciascuna sezione idraulica, un'*area attiva* e una *inattiva*: la prima contribuente al deflusso, la seconda preposta all'accumulo temporaneo di volumi d'acqua. Il modello matematico di moto vario utilizza nell'equazione di continuità l'area totale e nell'equazione del moto la sola area attiva, con l'accorgimento di non considerare come perimetro bagnato la superficie di contatto tra i due tipi di area.

In corrispondenza dei ponti e per livelli idrici inferiori all'intradosso, il programma permette il calcolo con il metodo del bilancio energetico e con il teorema della quantità di moto. Il primo, basato sulla risoluzione delle suddette equazioni di continuità e del moto, sottrae nel calcolo dell'area liquida delle sezioni del ponte le parti occupate dalla struttura, ed aggiunge, nella determinazione del perimetro bagnato, le superficie del ponte in contatto con l'acqua.

Il teorema della quantità di moto, particolarmente appropriato in presenza di pile, applica l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Nel caso di livelli idrometrici che superino le quote di intradosso o di estradosso dei ponti, le simulazione idrauliche dei ponti possono essere effettuati con il bilancio energetico o usando le equazioni di deflusso, libero o rigurgitato, per luce a battente e/o per luci sfioranti.

Per la simulazione delle condotte (opere di altezza limitata rispetto ai livelli idrometri attesi alla sezione di ingresso) Hec-Ras calcola l'energia necessaria a monte per avere una determinata portata attraverso l'opera, sia nei casi in cui la sezione di controllo si trovi all'ingresso (*inlet control*), sia quando detta sezione è posta all'uscita (*outlet control*).

Nel primo caso le equazioni adottate sono quelle emerse dai test di laboratorio effettuati dal NBS (1961) e BPR degli Stati Uniti, distinguendo i casi di imbocco sommerso e imbocco non sommerso. Nel secondo l'equazione di Bernoulli è applicata al fine di compiere un bilancio energetico fra le sezioni di imbocco e di uscita.

Tra le condizioni di inlet e outlet control è in generale quella che possiede il carico di monte più alto a determinare il tipo di moto all'interno della condotta per una data condizione di valle. Se, durante l'elaborazione, la domanda energetica del funzionamento in inlet control risulta maggiore di quella di outlet control, il programma valuta se le condizioni di controllo in ingresso possono effettivamente persistere attraverso il condotto senza porlo in pressione. Infatti, se questo funziona completamente in pressione, il programma adotta necessariamente il metodo di outlet control.

Il funzionamento idraulico di soglie e briglie in alveo è tenuto in conto attraverso l'adozione della legge di stramazzo in parete grossa, con coefficiente di efflusso definito dall'utente e variabile in funzione del grado di rigurgito determinato dai livelli di valle. Per un grado superiore al 95 % il programma risolve l'equazione del bilancio energetico abbandonando la formula dello stramazzo.

Relativamente a opere di regolazione mobili, quali ad esempio le paratoie piane previste nel presente progetto, il programma utilizza l'equazione di stramazzo in parete grossa qualora il carico idrico a monte della paratia sia inferiore alla luce della stessa. Per carichi superiori del 25 % della luce viene utilizzata l'equazione di luce a battente libera o rigurgitata. Nella fase transitoria si ha un graduale transizione tra le due formule.

Relativamente all'equazione di luce battente libero o rigurgita, la prima è utilizzata fino ad una rapporto tra carico di valle e carico di monte inferiore al 67%, la seconda per un rapporto superiore all'80%; tra i due valori si ha un graduale transizione tra le due formule.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno sia a monte che a valle. Le prime sono imposte attraverso un idrogramma di livelli/portate. Le seconde possono invece essere costituite da un idrogramma dei livelli/portate o da una scala di deflusso.

Per maggiori dettagli sul modello di calcolo e sulle equazioni utilizzate si rimanda ai manuali del programma Hec-Ras [11-12].

6.2 VERIFICHE IDRAULICHE DELLO STATO ATTUALE

6.2.1 ASPETTI GENERALI

I modelli idraulici sono stati implementati attraverso la definizione di uno schema geometrico del sistema idraulico (sezioni fluviali, aree allagabili, ecc.), la stima di parametri idraulici (coefficienti medi di resistenza al moto, coefficienti di stramazzo, ecc.), la scelta di condizioni iniziali e al contorno e di sollecitazioni del sistema (idrogrammi di verifica).

Si riportano di seguito la descrizione della metodologia di caratterizzazione geometrica e i coefficienti idraulici utilizzati comuni a tutti i modelli implementati. Le singole peculiarità di ciascun corso d'acqua saranno invece esposte nei successivi paragrafi.

La caratterizzazione della capacità di invaso statico o di propagazione delle piene delle aree contermini al corso d'acqua è stata preceduta da un'analisi delle caratteristiche e delle opere sul territorio su base cartografica e attraverso sopralluoghi diretti.

Fatto salvo il caso in cui tali aree siano d'ampiezza confrontabile con quella dell'alveo attivo e non protette da strutture idrauliche di contenimento, situazione che permette di assumere in ogni istante come quota d'inondazione quella idrometrica in alveo (aree attive o inattive in funzione della dinamica locale), le aree dove è stato valutato prevalente il fenomeno di accumulo dei volumi di esondazione e dove la velocità della corrente può essere giustificatamente considerata prossima a zero, sono state approssimate come Aree di Potenziale Esondazione (APE), la cui caratterizzazione è stata condotta secondo i seguenti criteri:

- individuazione delle aree di potenziale esondazione: tale operazione è stata eseguita integrando le aree già individuate nell'ambito degli studi precedenti (Regolamento Urbanistico dei Comuni di Certaldo, Gambassi Terme, variante urbanistica della S.R.T. 429 [14-15]) con le evidenze del territorio, la cartografica in scala 1:2.000 e il rilievo laser-scanning con celle 1x1;
- caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale esondazione: in tale fase si è proceduto alla definizione delle leggi d'invaso volumi-quote d'inondazione V=V(H) prendendo come base cartografica il rilievo laser-scanning;
- definizione delle connessioni idrauliche: sulla base di quanto ottenuto nelle fasi precedenti e dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali e idrauliche del territorio sono state definite le connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le celle di potenziale esondazione, e tra le stesse celle.

La quota di sfioro per le connessioni idrauliche alveo/cella è definita come la quota di sommità dell'argine/sponda ricavata dalle sezioni rilevate. Per le connessioni cella/cella tale quota è individuata dal profilo di contenimento fra le celle.

La larghezza del fronte di sfioro per gli sfioratori d'alveo è stata fissata sulla base delle attuali conoscenze dei fenomeni di esondazione, in funzione della densità spaziale delle sezioni fluviali, nonché della loro estensione. Per gli sfioratori cella/cella, la lunghezza della soglia è stata fissata pari alla lunghezza del tratto di contatto, con un massimo di 100 m e salvo i casi particolari rappresentati da sottopassi, tombinature e zone ristrette in cui viene assunta la larghezza effettiva della luce.

Il coefficiente di efflusso per il calcolo delle portate delle connessioni idrauliche alveo/cella e cella/cella sono stati impostati secondo la seguente tabella:

Tipologia		Coeff. efflusso
Rilevati arginali o opere idrauliche in c.a.	alveo/cella	0.25
Rilevati stradali, ferroviari, ecc.		0.25
Cigli di sponda non arginati		0.12
Rilevati stradali, ferroviari, ecc.	cella/cella	0.25
Limiti morfologici naturali		0.12

Coefficienti di efflusso per le connessioni idrauliche laterali

Nelle tavole allegate sono individuati i perimetri delle aree di potenziale esondazione e sono simbolicamente indicate le connessioni cella/cella.

I coefficienti di contrazione ed espansione, necessari per la valutazione delle perdite di carico indotte da variazioni di sezione, allargamenti o restringimenti, sono stati imposti pari rispettivamente a 0.1 e 0.3 secondo le indicazioni di letteratura [6-7-8-10-11-12].

Il coefficiente di efflusso da utilizzare nella formula di stramazzo in parete grossa per le briglie trasversali è stato posto variabile tra 0.325 e 0.385 [6-7-8-10-11-12].

6.2.2 FIUME ARNO

Le verifiche idrauliche del Fiume Arno hanno riguardato circa 32.3 Km di asta fluviale, dall'idrometro di Brucianesi fino a monte del ponte di Castelfranco di Sotto. Insieme all'asta principale è simultaneamente stato modellato il tratto terminale rigurgitato del Fiume Elsa (a valle dell'idrometro di Ponte a Elsa sez. 87) relativamente al quale si rimanda al successivo paragrafo.

I rilievi delle sezioni fluviali utilizzate nella modellazione del Fiume Arno sono stati effettuati nel 2001 dal Provveditorato alle Opere Pubbliche per la Toscana. Gli stessi rilievi hanno caratterizzato i profili longitudinali delle opere di contenimento con una densità di rilievo maggiore rispetto a quella delle sezioni. Tutte le variazioni altimetriche rilevate delle sponde e degli argini sono utilizzate nella caratterizzazione geometrica del modello.

Relativamente alle opere in corso di esecuzione presso la cassa di espansione di Roffia, è stato concordato con l'Autorità di Bacino del Fiume Arno di considerare esclusivamente quelle

completate anziché tutte quelle del progetto appaltato. In particolare sono stati inseriti nel modello idraulico gli argini di cassa lato campagna e la curva d'invaso finale; le opere di presa, quelle di scarico e gli argini lungo il fiume sono invece stati trascurati.

Per la stima dei coefficienti medi di resistenza al moto è stata condotta un'analisi di taratura basata sul confronto tra i livelli misurati durante un evento reale e quelli calcolati dal programma di calcolo.

Nel caso in esame è stato considerato il corso del Fiume Arno tra la passerella di Signa e il ponte di Fucecchio, per una lunghezza complessiva di 31.1 Km. Nel tratto sono presenti 6 briglie (sezioni 496.5; 455.09; 414.75; 398.75; 379.15; 354.09), 6 ponti (sezioni 460; 451.05; 428; 390; 380.25; 362), 2 soglie di fondo (sezioni 460; 361); a partire dall'abitato di Montelupo F.no verso valle è presente una struttura arginale continua in sinistra idrografica. In destra sono in corso di realizzazione gli argini di protezione dell'abitato di Capraia dal ponte di Capraia fino alla cassa Fibbiana 2.

Il tratto è strumentato con 4 stazioni idrometriche del Servizio Idrologico della Regione Toscana dotate ciascuna di teleidrometro registratore a ultrasuoni con misure in continuo ogni 15 minuti. Due delle stazioni sono ubicate in corrispondenza delle sezioni di monte e di valle del modello, in modo tale che i dati registrati costituiscano le condizioni al contorno dello stesso; i dati delle altre due stazioni sono invece stati utilizzati per il confronto con i risultati delle simulazioni numeriche.

Relativamente ai maggiori affluenti del Fiume Arno che sfociano nel tratto studiato, sono presenti analoghe stazioni sul fiume Ombrone Pistoiese, Pesa ed Elsa.

Per il Fiume Ombrone Pistoiese sono stati acquisiti i dati geometrici delle modellazioni eseguite dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per l'aggiornamento 2012 del Piano di Assetto Idrogelogico a partire dall'idrometro di Poggio a Caiano (sez. 163).

Si riportano nella seguente tabella le principali caratteristiche delle stazioni idrometriche:

Codice	Nome	Bacino	Sezione	Anno inizio misure	Zero idrometrico [m slm]
4811	P.te a Signa	Arno	502	2001	28
4875	Poggio a Caiano	Ombrone PT		1991	31
4901	Brucianesi	Arno	463.666	1991	25
4921	Turbone	Pesa		2000	41
4941	P.te di Empoli	Arno	389	2000	18
4981	P.te a Elsa	Elsa		2000	26
5001	P.te di Fucecchio	Arno	335	1991	17

Stazioni idrometriche

Tra gli eventi di piena più significativi che hanno interessato il tratto oggetto di studio (4/11/1966, 23/2/1968, 29/12/1981, 24/11/1987, 31/10/1982, 9/10/1993, 31/12/1995, 18/11/1996, 26/11/2005, 11/12/2008, 4/3/2009, 22/12/2009, 31/12/2009), soltanto per gli ultimi due sono disponibili le misure idrometriche delle stazioni sopra citate. Per gli ultimi tre eventi invece non sono disponibili le misure del Ponte di Empoli in quanto oggetto di ricostruzione. Considerato inoltre che gli stessi eventi sono i più recenti nel tempo, è stato scelto di procedere alla taratura del modello con gli eventi del 2005 e del 2008 e alla sua validazione con quelli del 2009.

Sulla base della conoscenza diretta dei tecnici del Genio Civile, nonché della consultazione della documentazione disponibile presso gli Enti territoriali e locali, si evidenzia che gli eventi

considerati sono stati contenuti nell'alveo inciso senza alcun fenomeno rilevante di allagamento delle aree contermini; pertanto la procedura di taratura ha permesso di stimare esclusivamente i coefficienti caratteristici dell'alveo inciso, facendo invece riferimento ai dati di letteratura per le aree golenali.

Relativamente alla stazione del Ponte di Empoli è emerso, che i livelli idrici misurati sono incongruenti con quelli delle altre stazioni. In particolare la differenza tra i livelli misurati al ponte di Empoli e al ponte di Fucecchio (equivalenti alla perdita di carico, essendo la differenza di velocità trascurabile) appare palesemente anomala rispetto ai fenomeni in gioco. Si è quindi proceduto ad innalzare di 2.3 m gli idrogrammi dei livelli della stazione di Empoli, facendo coincidere i livelli registrati per le portate di magra e di morbida con quelli calcolati e avendo verificato che per le stesse portate (fino a 100 mc/s) i livelli calcolati differiscono di pochi centimetri al variare del coefficiente oggetto di taratura.

La procedura di taratura, andando a stimare le perdite di energia tra due consecutive stazioni di misura al variare dei coefficienti di input e delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, si è basata sulle seguenti ipotesi:

1. come unico parametro di taratura è stato considerato il coefficiente medio di resistenza al moto dell'alveo inciso, avendo fissato sulla base dei valori di letteratura i coefficienti di contrazione ed espansione per le perdite concentrate di energia;
2. le perdite energetiche per accumulo di materiale flottante in corrispondenza della pile dei ponte è implicitamente considerato nella perdita energetica totale tra due stazioni consecutive;
3. le sezioni fluviali sono state considerate immodificabili, non tenendo esplicitamente conto dell'effettiva variazione delle forme di fondo durante l'evento di piena. Ad ogni modo la perdita energetica totale tra due stazioni consecutive comprende implicitamente anche le perdite legate all'erosione, trasporto e deposito di materiale solido;
4. il coefficiente medio di resistenza al moto è stato considerato per ciascuna sezione costante al variare delle portate e dei livelli in alveo;
5. i contributi di piena dei fiumi Elsa e Ombrone Pistoiese sono stati simulati imponendo i livelli misurati in corrispondenza delle stazioni idrometriche (sezioni di monte dei tronchi simulati).
6. i contribuiti di piena del fiume Pesa è stato stimato attraverso la scale di deflusso del Servizio Idrologico della Regione Toscana. Essendo la stazione di misura ubicata ad una certa distanza dalla confluenza, fuori dal tratto interessato dal rigurgito del Fiume Arno, è stato verificato che il tempo necessario affinché i deflussi si propaghino fino alla confluenza è di circa 1 ora 15', valore stimato ipotizzando che la velocità media della corrente sia uguale a quella calcolata del Fiume Ombrone Pistoiese Pertanto i contributi al Fiume Arno dei suddetti affluenti sono stati immessi nel modello idraulico con 1h e 15' di ritardo rispetto al momento in cui sono stati registrati.

Si è quindi proceduto alla taratura del modello attraverso le seguenti fasi operative:

1. Preliminare suddivisione in tratti omogenei in funzione della presenza di intensa vegetazione arborea sulle sponde. In ciascun tratto è stato considerato un unico coefficiente di resistenza per tutte le sezioni.
   Durante i sopralluoghi effettuati sono stati individuati 4 distinti tratti a diversa tipologia: in corrispondenza dell'abitato di Signa e Ponte a Signa le sponde e le aree golenali interne alle strutture arginali presentano vegetazione erbacee in ottimo stato

di manutenzione e sono presenti opere murarie longitudinali; tra Signa e Capraia la vegetazione di tipo arborea è densa e diffusa; tra Capraia ed Empoli le condizioni appaiono simili al primo tratto descritto; a valle di Empoli la densità della vegetazione aumenta nuovamente.



Vegetazione delle sponde e golene a monte di Capraia e a valle di Empoli



Vegetazione delle sponde e golene tra Capraia e Empoli

2. Stima preliminare dei coefficienti medi di resistenza al moto sulla base dei valori indicati in letteratura. Al riguardo si sottolinea che i valori riportati nel principale testo di riferimento (Chow, 1959) sono riferiti ad alvei di larghezza inferiore a 30 m. Per larghezze superiori la scabrezza sulle sponde e sul fondo assume rilevanza sempre minore nel bilancio delle perdite energetiche.
3. Nelle sezioni di monte e valle del modello idraulico sono stati imposti come condizioni al contorno gli idrogrammi dei livelli misurati presso le stazioni idrometriche di Signa (sezione 502) e Ponte di Fucecchio (sezione 335) per gli eventi del 2005 e del 2008. Attraverso una procedura di "back analisys" il software utilizzato è in grado di stimare le perdite di carico e gli idrogrammi correlati ai livelli imposti, nonché determinare i livelli idrometrici in ogni sezioni del modello.
4. I livelli idrici calcolati sono stati confrontati con quelli registrati alle stazioni di Brucianesi (sezione 463.666) e Ponte di Empoli (sezione 389), quest'ultimi con la correzione precedentemente descritta.
5. Al fine di ottenere il miglior adattamento tra idrogramma dei livelli calcolati e misurati, sono stati testati vari set di valori, tra i quali è stato scelto quello con coefficiente di Manning 0.035 $s/m^{1/3}$ tra le sezioni 502-497 e 432-306, 0.037 $s/m^{1/3}$ tra le sezioni 497 e 432.
6. La scelta fatta è stata validata con la simulazione degli eventi del 2009, che ha confermato l'ottimo adattamento dei dati calcolati a quelli misurati.

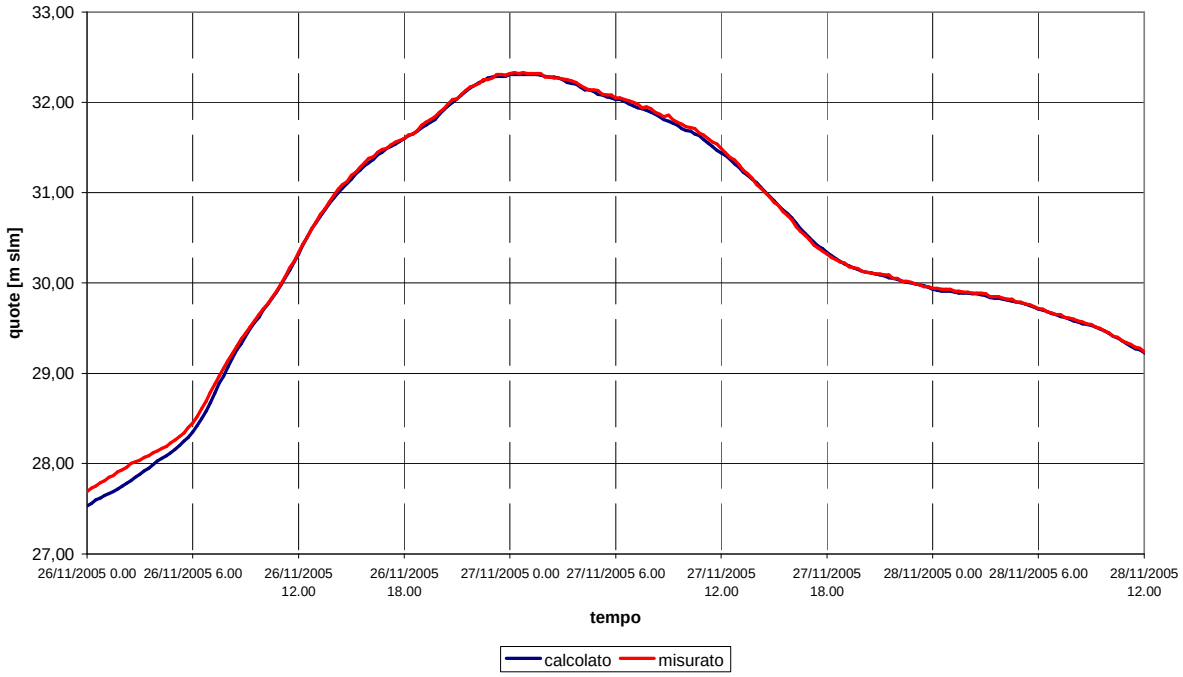
Le seguenti figure mostrano i risultati ottenuti in termini di livelli idrometrici.

Si ritiene che le lievi differenze in termini di livelli siano accettabili e comunque confrontabili con il grado di approssimazione generale del modello. E' possibile inoltre ipotizzare che ad esse contribuisca il fatto di aver trascurato, in quanto non disponibili, i contributi dei bacini minori. Tale considerazione vale in particolar modo per l'evento del 31/12/2009 in quanto generato da un repentino scioglimento delle neve cadute diffusamente su tutto il bacino. Per gli eventi 26/11/2005, 22/12/2009 e 31/12/2009 non sono inoltre disponibili gli idrogrammi del Fiume Pesa.

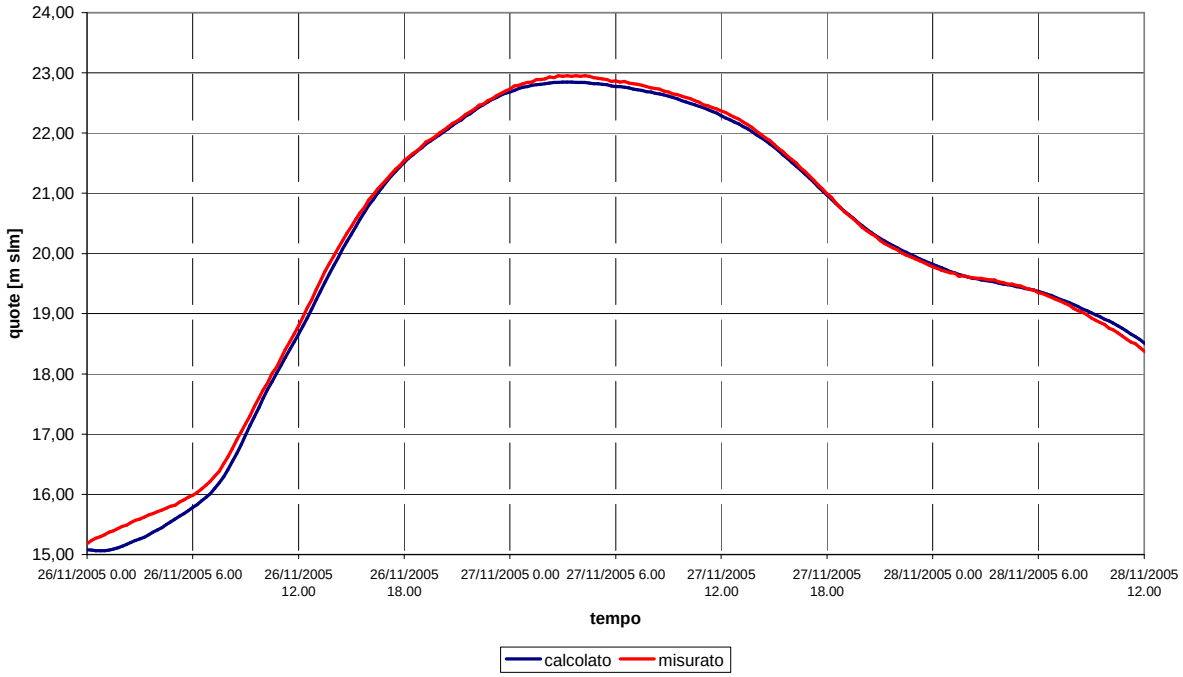
Codice	Nome	Qmax stimata da modello [mc/s]				
		26/11/2005	11/12/2008	4/3/2009	22/12/2009	31/12/2009
4811	P.te a Signa	1436	1114	646	916-853	1129-985
4901	Brucianesi	1480	1155	826	1091-1065	1300-1010
4941	P.te di Empoli	1508	1162	858	1080-1051	1337-1051
5001	P.te di Fucecchio	1576	1161	978	1055-1025	1362-1143

Portate calcolate - Eventi 2005, 2008 e 2009

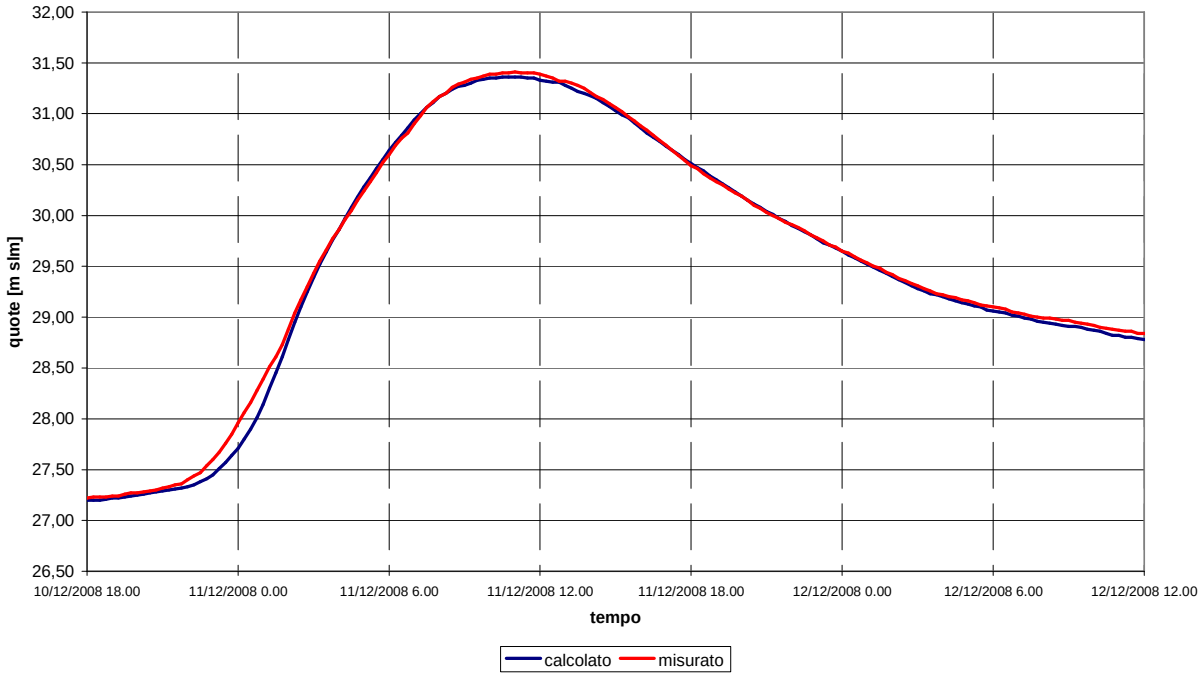
Evento 26/11/2005 - Brucianesi



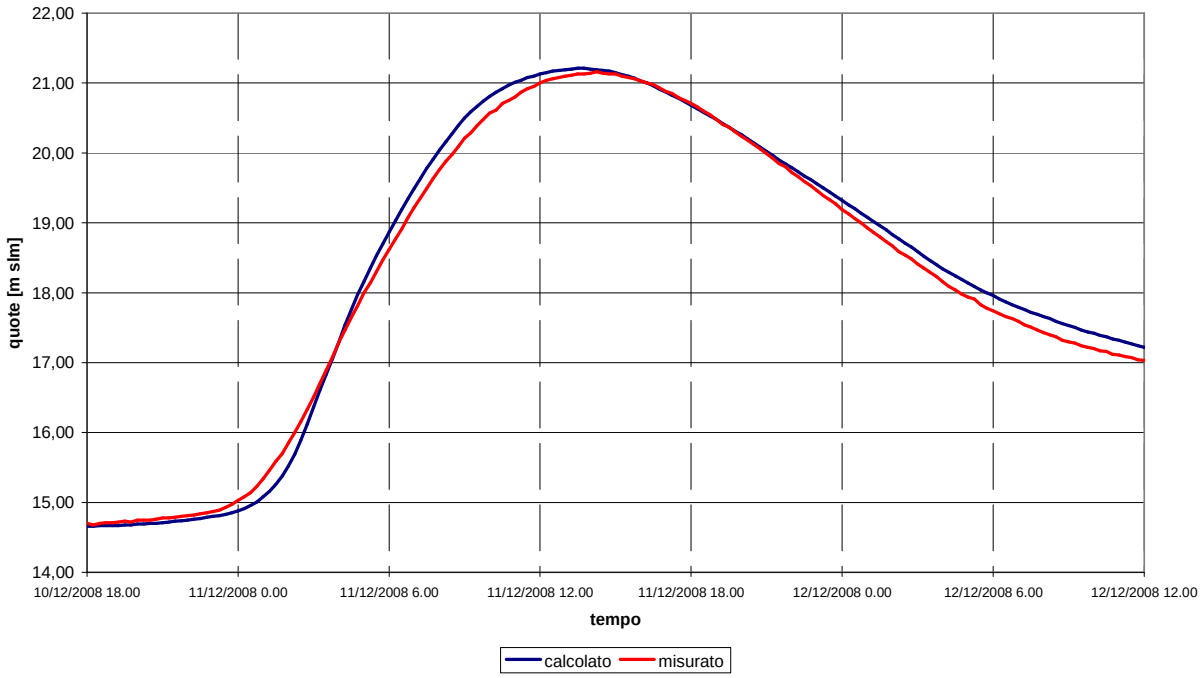
Evento 26/11/2005 - P.te di Empoli

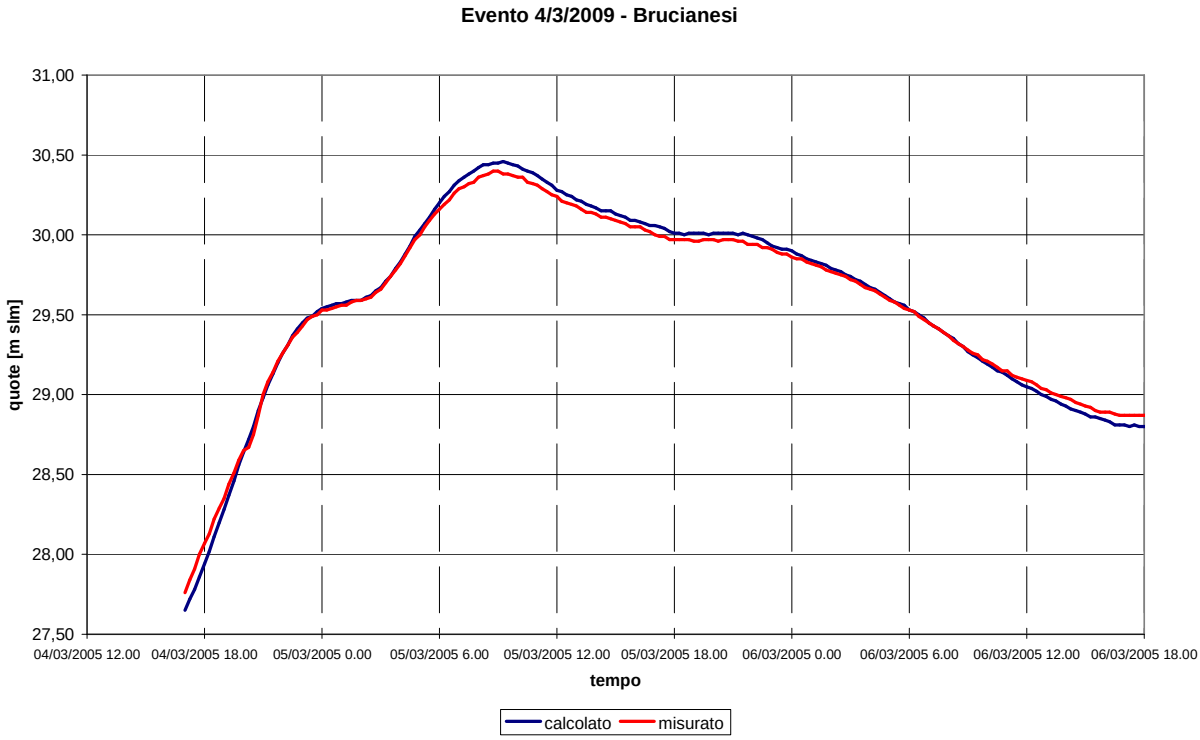


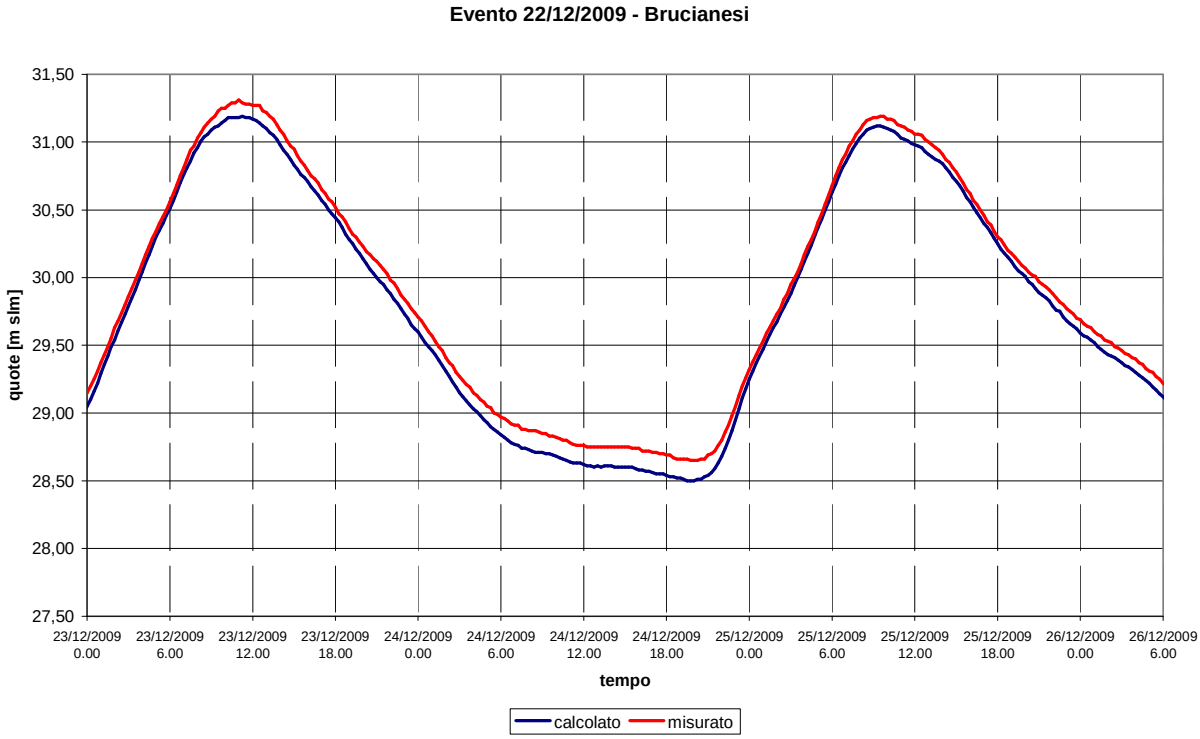
Evento 11/12/2008 - Brucianesi

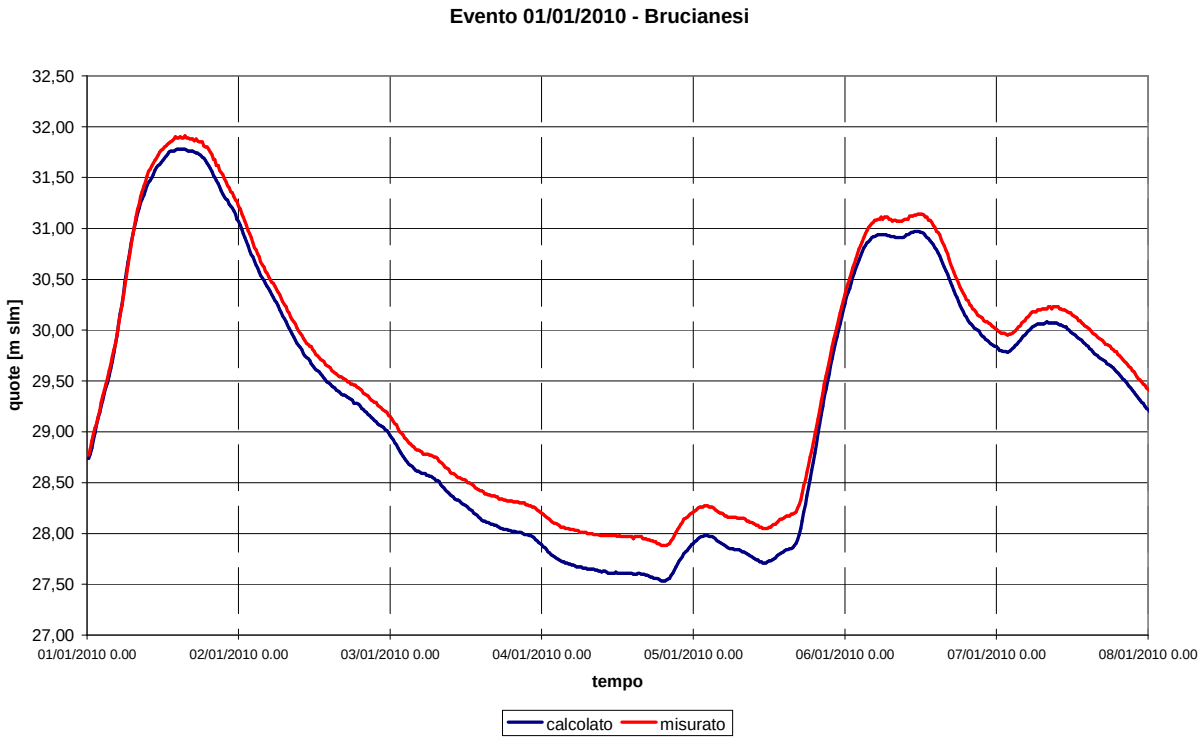


Evento 11/12/2008 - P.te di Empoli




Evento 4/3/2009 - Brucianesi
31,00
30,50
30,00
29,50
29,00
28,50
28,00
27,50
quote [m slm]
04/03/2005 12.00
04/03/2005 18.00
05/03/2005 0.00
05/03/2005 6.00
05/03/2005 12.00
05/03/2005 18.00
06/03/2005 0.00
06/03/2005 6.00
06/03/2005 12.00
06/03/2005 18.00
tempo
calcolato
misurato


Evento 22/12/2009 - Brucianesi
31,50
31,00
30,50
30,00
29,50
29,00
28,50
28,00
27,50
quote [m slm]
23/12/2009 0.00
23/12/2009 6.00
23/12/2009 12.00
23/12/2009 18.00
24/12/2009 0.00
24/12/2009 6.00
24/12/2009 12.00
24/12/2009 18.00
25/12/2009 0.00
25/12/2009 6.00
25/12/2009 12.00
25/12/2009 18.00
26/12/2009 0.00
26/12/2009 6.00
tempo
calcolato
misurato



Concluse le simulazioni di taratura, il modello idraulico è stato cimentato con le seguenti immissioni idrologiche sintetiche, ciascuna riferita ai tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni secondo le possibili combinazioni con le durate dell'evento di 18 – 24 - 36 ore:

- idrogramma delle portate nella sezione di monte (n. 466), fornito dall'Autorità di Bacino e coincidente con quello determinato nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico – revisione 2004;
- idrogramma delle portate del Fiume Pesa, fornito dall'Autorità di Bacino e coincidente con quello determinato nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico;
- idrogramma della portate del Fiume Elsa, del Torrente Orme e dei rii Fibbiana, Cortenuova, Cappuccini, Sant'Anna, Vitiana, Pagnana e Friano come risultante dai rispettivi modelli idraulici implementati nel presente studio e di seguito descritti; si precisa che i rii sopra indicati, ad eccezione del rio Cappuccini, sono dotati alla confluenza di paratoie che vengono chiuse allorquando i livelli del fiume maggiore superano la quota di sbocco degli affluenti. Pertanto le portate degli affluenti sono state assunte nulle durante il periodo di chiusura delle paratoie stesse;
- contributi idrologici dei rii Guidi, Olmo, Botricello, Ratto, Pescaione e Mortini stimati con il modello idrologico Al.To. nell'ambito del presente studio;
- contributi idrologici degli altri bacini lungo l'asta studiata del Fiume Arno, elencati nei precedenti paragrafi e stimati con il modello idrologico Al.To. nell'ambito della redazione del Piano di Assetto Idrogeologico.

Si precisa che le simulazioni idrauliche sono state condotte nell'ipotesi che tutti i contributi idrologici di cui agli ultimi due precedenti punti affluiscano nel Fiume Arno, trascurando pertanto le eventuali esondazioni degli affluenti determinate dall'insufficiente officiosità idraulica degli stessi.

Inoltre è stato ipotizzato che le paratie lungo le arginature del Fiume Arno, presenti in sinistra idraulica in un tratto classificato in II categoria ai sensi del R.D. 523/1904 e oggetto del servizio di piena, siano tempestivamente chiuse all'aumentare dei livelli idrici.

Congruentemente alla scelta degli idrogrammi di verifica, la condizione al contorno di valle è stata imposta come idrogramma dei livelli calcolati nell'ambito della revisione PAI (2004). La sezione di valle del modello risulta sufficientemente distante dall'area di interesse affinché eventuali limitate imprecisioni nella stima dei livelli imposti siano ininfluenti sul calcolo dei livelli in corrispondenza del Comune di Empoli.

Dai risultati delle simulazioni si evince che i livelli idrici del Fiume Arno sono contenuti dalle strutture arginali sinistre fino al tempo di ritorno centennale, così come il rigurgito nel Fiume Elsa.

Per il tempo di ritorno duecentennale sono invece state stimate modeste esondazioni tra la loc. Tinaia e l'immissione del Rio Cortenuova (sez. 403 – 402) per un massimo di 125.000 mc; a valle del ponte alla Motta (sez. 360-359) e nel tratto di rigurgito del fiume Elsa (sez. 4) per un massimo di 50.000 mc.

Una puntuale insufficienza delle strutture arginali è presente in corrispondenza della chiavica presso la sezione 381 (a valle della confluenza del torrente S Anna), dove l'opera di scarico ha una quota di chiusura inferiore rispetto alle sommità arginali dei tratti di monte e di valle.

6.2.3 FIUME ELSA

Il Fiume Elsa è stato studiato per una lunghezza complessiva di circa 45.2 km, dalla confluenza con i Torrenti Drove e Staggia (Comune di Poggibonsi) fino alla confluenza nel Fiume Arno. Esso presenta un andamento "irregolare" che potremmo definire subdendridico e in alcuni casi quasi meandriforme data la presenza di numerose anse per tutto il tratto di studio. A conferma di tale andamento planimetrico vi è la scarsa pendenza media del corso d'acqua che è pari a 0.17%.

La schematizzazione idraulica ha tenuto conto del nuovo tracciato stradale della SRT 429, dei suoi ponti e delle relative connessioni idrauliche (tombini, sottopassi, viadotti, ecc.), così come riportate nel progetto definitivo approvato e in quello esecutivo. I relativi lavori risultano già appaltati.

Sono inoltre stati inseriti nella modellazione la cassa di espansione di Madonna della Tosse, nonché i recenti adeguamenti arginali tra il Molino di Granaiolo e la confluenza nel Fiume Arno.

Le curve di invaso della cassa sono state stimate con il rilievo laser-scanning a celle 1x1, mentre le caratteristiche geometriche delle opere d'arte sono state acquisite dal progetto esecutivo.

Per le sezioni del fiume Elsa a valle della confluenza del Torrente Pesciola e per lo scolmatore di Castelfiorentino Molino di Granaiolo è stato fatto riferimento a quelle disponibili presso l'Autorità di Bacino, rilevate prima del 1998, aggiornandole per le aree golenali e i rilevati arginali con il rilievo laser-scanning e misure dirette in modo da tener conto degli importanti interventi eseguiti.

I rilievi delle sezioni del fiume Elsa del tratto compreso tra le confluenze del torrente Pesciola e del torrente Agliena sono state effettuati dal Geom. Lapi di Stingea nel 2003 su incarico del Circondario Empolese Valdelsa finalizzato allo studio di area vasta [13]. Infine, per le sezioni del tratto compreso tra Poggibonsi e la confluenza del torrente Agliena sono stati acquisiti i dati di RFI (Rete Ferroviaria Italiana) rilevati per il progetto di raddoppio della linea ferroviaria Poggibonsi – Certaldo (rilievo del 2003).

In corrispondenza dei nuovi ponti della variante alla S.R.T. 429 sono state utilizzate le sezioni di progetto definite nell'ambito del progetto esecutivo della strada (2009).

Ad integrazione del rilievo di RFI, nel 2008 il Comune di Certaldo ha fatto rilevare sul Fiume Elsa 2 sezioni in località Mulinaccio (sez. 253.3 - 253.7) e 3 sezioni in località San Benedetto Basso (sez. 299.5 – 299.7 – 298.09); ulteriori 14 sezioni del Fiume Elsa sono state fatte eseguire dalla Provincia di Siena nel 2004 tra il ponte di Poggibonsi e la località Casa Nova del Piano nel Comune di Poggibonsi.

Inoltre il Comune di Gambassi Terme e di Castelfiorentino, per lo studio idrologico idraulico di supporto alla variante urbanistica della S.R.T. 429, ha fatto rilevare tre sezioni (226.5, 226 e 225) sul Fiume Elsa redatti dallo Studio 2G nel 2011 su incarico del Comune di Gambassi Terme e di Castelfiorentino.

I coefficienti medi di resistenza al moto nelle varie sezioni sono stati stimati negli studi idraulici a supporto del progetto approvato della variante alla S.R.T. 429. In particolare le sezioni d'alveo sono caratterizzate da un coefficiente medio di resistenza secondo Manning (n) di 0.037 $s/m^{1/3}$, mentre per le aree golenali di 0.04 $s/m^{1/3}$. Sulla base dei dati di letteratura [6] e la conoscenza diretta dei luoghi si condividono i coefficienti che sono pertanto stati utilizzati anche nel presente studio. In corrispondenza dell'abitato di Ponte a Elsa e lungo la cassa di espansione di Madonna della Tosse, è stato ritenuto adeguato un coefficiente di coefficiente medio di resistenza secondo Manning (n) di 0.037 $s/m^{1/3}$ per tutta la sezione fluviale.

L'analisi idraulica del fiume Elsa è stata condotta per i tempi di ritorno 30 – 100 – 200 e per durate dell'evento meteorico pari a 9, 12, 18 e 24 ore, di cui le prime due risultano critiche nei vari tratti dell'asta fluviale.

Per ciascuno scenario di verifica il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi stimati secondo la procedura descritta nei paragrafi precedenti. E' inoltre stata fatta l'ipotesi che tutti i contributi idrologici stimati affluiscano nel fiume Elsa, trascurando pertanto le eventuali esondazioni degli affluenti determinate o dall'insufficiente officiosità idraulica degli stessi o dalla chiusura di clapet e portelle necessari per contenere il rigurgito del corso d'acqua principale.

Come condizione al contorno di valle è stato impostato un livello costante. Si precisa ad ogni modo che, al fine di verificare l'effetto del rigurgito del Fiume Arno, il tratto a valle di Ponte a Elsa (dalla sezione 87) è stato verificato anche insieme all'asta del Fiume Arno, come descritto nel paragrafo precedente.

Le verifiche idrauliche mostrano l'assenza di pericolosità derivante delle piene del Fiume Elsa nel territorio di Empoli, fatta eccezione per un'area in loc. Fontanelle dove i livelli duecentennali superano l'argine in un punto in cui questo presenta una discontinuità per la presenza di una cataratta.

Pur non avendo proceduto alle verifiche idrauliche dei corsi d'acqua tributari del Fiume Elsa, in quanto non previsto nella convenzione di cui alle premesse, si ritiene utile ricordare la possibilità di esondazioni per intermittenza di scolo: infatti, essendo il Fiume Elsa arginato, in caso di piena le cataratte verrebbero chiuse con conseguente invaso a campagna delle acque degli affluenti.

6.2.4 TORRENTI ORME E PIOVOLA

Le simulazioni idrauliche del Torrente Orme hanno riguardato un tratto di circa 7.5 Km a partire da monte dell'abitato di Martignana fino alla confluenza. Nel centro abitato di Empoli il Torrente Piovola si immette nel Torrente Orme attraverso porte Vinciane che si chiudono per

contenere il rigurgito del corso d'acqua ricevente. Per tale motivo, oltre al fatto che le acque di piena possono inondare le stesse aree di pianura, i due corsi d'acqua sono stati simulati contemporaneamente.

Il tratto del Torrente Piovola ha una lunghezza di circa 2.1 Km a partire dalla loc. Il Fontino. Qualora i livelli idrici del Torrente Orme sia maggiori di quelli del Torrente Piovola alla confluenza, il modello idraulico simula la chiusura delle porte Vinciane.

Tutte le sezioni fluviali utilizzate sono state rilevate nel 2012 dal Comune di Empoli. Durante i sopralluoghi effettuati lungo il Torrente Orme sono stati rilevati alcuni punti in cui le strutture arginali sono state modificate rispetto al loro stato originario in conseguenza del passaggio di persone o mezzi (camminamenti e guadi). Considerato che il Comune di Empoli ha segnalato tale situazione al Circondario Empolese Valdelsa, tenuto a eseguire la manutenzione delle opere idrauliche di II categoria, è stato scelto di verificare il corso d'acqua ipotizzando eliminati i suddetti problemi locali delle strutture arginali.

Per confronto con i dati di letteratura [6-7-11-12] alle sponde e all'alveo inerbiti del Torrente Orme è stato attribuito un coefficiente medio di resistenza al moto secondo Manning (n) di 0.04 $s/m^{1/3}$ tra Martignana e Casenuove; 0.03 $s/m^{1/3}$ nel tratto a valle; per il Torrente Piovola è stato utilizzato analogo valore a valle della linea ferroviaria e 0.035 $s/m^{1/3}$ a monte per la presenza di vegetazione sulle sponde.

L'analisi idraulica è stata condotta per i tempi di ritorno 30 – 100 – 200 e per durate dell'evento meteorico pari a 1, 2.5, 4, 18, 24 e 36 ore, di cui le prime tre risultano critiche nei vari tratti dell'asta fluviale. Le ultime tre invece risultano critiche per il rigurgito del Fiume Arno.

Oltre agli input idrologici delle aste fluviali simulate, i deflussi meteorici del bacino denominato "Pozzale", drenato soltanto da una rete di piccoli canali, sono stati immessi nelle aree di potenziale esondazione VM-042b e VM-042c. Al contempo è stato considerato il collettore fognario in loc. Pozzale verso il quale sono recapitate le acque di pioggia o le acque esondate sulle suddette aree.

Come condizioni al contorno di valle sono stati utilizzati i livelli di moto uniforme per le durate 1, 2.5 e 4, mentre per quelle superiori sono stati imposti gli idrogrammi dei livelli del fiume Arno di pari tempo di ritorno e durata.

L'analisi delle simulazioni idrauliche mostra inondazioni per il tempo di ritorno trentennali presso la loc. Casenuove e in destra idraulica a monte della linea ferroviaria. Quest'ultime, oltre che da sormonti arginali del torrente Orme, derivano dall'intermittenza di scolo del Torrente Piovola per la chiusura automatica delle porte Vinciane. Per tempi di ritorno centennale e superiori le inondazioni sono diffuse a monte della linea ferroviaria, mentre a valle i deflussi sono completamente contenuti in alveo. In sinistra idraulica si evidenziano esondazioni a partire dal tempo di ritorno centennali presso il ponte di Casenuove e presso la loc. Moriano. Le esondazioni interessano gli abitati di Pozzale, Ponzano e Puntone.

6.2.5 SISTEMA "EMPOLI EST"

La parte nord-orientale del Comune di Empoli è attraversato dal Fosso di Fibbiana e dai rii Sammontana, e Grande.

Il Rio Sammontana nasce come emissario della diga di Sammontana, scorre pensile fino alla SGC FI-PI-LI e attraversa l'area industriale di Pratella dove vi confluiscono il Rio di

Montecuccoli e il Rio Citerna. Il Rio Sammontana si immette nel cosiddetto "Arno vecchio" (antico meandro del Fiume Arno) costituito da due rami che sfociano nel Fiume Arno in due diversi: il ramo orientale è il fosso di Fibbiana, quello occidentale il Rio di Cortenuova. In condizioni di magra e morbida le acque del Rio Sammontana defluiscono completamente nel Rio Cortenuova, mentre in condizioni di piena le acque possono superare la soglia che divide il Fosso di Fibbiana dal Rio di Cortenuova. Quest'ultima inoltre è provvista di portella manovrabile del facilitare l'ingresso delle acque nel fosso.

In corrispondenza dello svincolo stradale di Empoli Est, il Rio di Cortenuova riceve le acque del Rio Grande (pensile a sud della SGC FI-PI-LI) e dell'area pianeggiante a sud dello svincolo.

Sia il Fosso di Fibbiana che il Rio di Cortenuova sfociano nel Fiume Arno attraversando le sue arginature con tombini dotati di paratoie piane manovrate dagli addetti del Servizio di Piena del Circondario Empolese Valdelsa in caso di piena del fiume maggiore.

Di tutti i corsi d'acqua sopra citati sono stati acquisiti i rilievi topografici esistenti come indicato al paragrafo 4.

Per tutti i corsi d'acqua sono stati i coefficienti medi di resistenza al moto in funzione del seguenti criterio:

1. per i tratti a sud della linea ferroviaria 0.035 $s/m^{1/3}$ (Manning)
2. per i tratti con sponde e fondo inerbiti 0.03 $s/m^{1/3}$
3. per i tratti con alveo parzialmente rivestito in cls 0.028 $s/m^{1/3}$
4. per i tratto con alveo completamente rivestito in cls 0.025 $s/m^{1/3}$
5. al di fuori dell'alveo inciso è stato imposto un coefficiente di 0.04 $s/m^{1/3}$

Oltre alle portate di massima piena caratteristiche del reticolo studiato, sono state verificate anche le condizioni di piena del Fiume Arno e dell'intermittenza di scolo del reticolo minore. All'uopo è stato assunto che, come previsto dal Disciplinare di piena della Provincia di Firenze, le paratoie del Fosso Fibbiana e Rio Cortenuova sia chiuse allorquando i livelli del Fiume Arno minacciano di rigurgitare oltre gli argini di II categoria attraverso i tombini. Nelle simulazione è inoltre stato ipotizzato che le paratoie vengano riaperte non appena il livelli del fiume scendo sotto la quota di fondi dei suddetti tombini arginali.

Il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi definiti nei paragrafi precedenti per tutte le combinazioni tra i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni e le durate di pioggia 1.1, 3, 6, 18, 24, 36 ore.

Le esondazioni del fiume Arno stimate attraverso il corrispondente modello sono state inserite nelle aree di potenziale del sistema idraulico secondario.

Sia per il Fosso Fibbiana che per il Rio Cortenuova la condizione di moto uniforme rappresenta la condizione di valle, salvo prevedere la chiusura delle portelle per le durate 18, 24 e 36 ore in funzione dei livelli del Fiume Arno.

Il sistema idrografico analizzato è caratterizzato da una forte laminazione delle portate idrologiche stimate a sud della SGC FI-PI-LI, dove le acque sormontano le strutture arginali pensili.

Relativamente al territorio comunale di Empoli già per il tempo di ritorno trentennale si rileva l'insufficienza della sezione 14 in sinistra del Rio Cortenuova (loc. Legnaia) e problematiche legate al reticolo di drenaggio secondario. Per lo stesso tempo di ritorno le acque inondano superano l'argine destro del Cortenuova in corrispondenza del Podere Arno Vecchio e la sponda sinistra del Fosso di Fibbiana a valle del ponte di Case dell'Isola. Benché le insufficienza rilevate si presentano anche per le durate di pioggia minori, i maggiori volumi

esondati si riscontrano in occasione delle durate critiche del Fiume Arno per l'intermittenza di scolo attraverso le paratoie e le esondazioni dello stesso fiume Arno.

6.2.6 RIO DEI CAPPUCCINI

Il Rio dei Cappuccini è un corso d'acqua pensile lungo il suo tratto vallivo, con argini di modesto spessore e paramenti interni molto inclinati. A partire dal Cimitero dei Cappuccini il Rio è tombato fino alla confluenza nel F. Arno, con una sezione rettangolare 3x1.6 m fino a 200 m a nord della la ferrovia e sezioni molto irregolari e alternate fino alla confluenza [14]. A poca distanza dall'inizio del tombamento riceve le acque del Rio Terraio (o del Cimitero) attraverso un tombino di dimensioni 1.9x1.5 m. A valle della linea ferrovia riceve inoltre i troppo-pieno del sistema fognario di Empoli dotati comunque di clapet e paratoie per impedire il rigurgito del Rio in piena.

Il tratto simulato nel presente studio ha una lunghezza di circa 3.4 Km, a partire dalla loc. Ardenago fino a circa 200 m a nord della ferrovia. Il successivo tratto fino alla confluenza non è stato simulato in virtù dell'ipotesi di completa tenuta del condotto anche rispetto a condizioni di moto in pressione. Tale condizione è stata assunta per tutto il tratto tombato.

Le sezioni a monte del cimitero sono state fornite dal Consorzio di Bonifica Toscana Centrale, mentre quelli all'interno del cimitero sono state rilevate nell'ambito del presente lavoro. La sezione finale di simulazione è invece stata desunta dallo "Studio del sistema fognario dell'abitato di Ponsano" [14].

Verificato che le sponde interne e l'alveo sono prive di vegetazione e di forma regolare, è stato scelto un coefficiente medio di resistenza al moto di 0.03 $s/m^{1/3}$; per il tratto tombato con pareti in clacestruzzo il valore utilizzato pari a 0.018 $s/m^{1/3}$.

Il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi definiti nei paragrafi precedenti per tutte le combinazioni tra i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni e le durate di pioggia 1, 3, 6, 18, 24, 36 ore.

Oltre agli input idrologici dell'asta fluviale, i deflussi meteorici dei bacini denominati "Cinotti est" e "Cinotti ovest", drenati soltanto da una rete di piccoli canali, sono stati immessi nelle aree di potenziale esondazione VM-044a e VM-044b. Al contempo sono stati considerati i collettori fognario in loc. Carraie e Le Cascine verso i quali sono recapitate le acque di pioggia o le acque esondate sulle suddette aree.

La condizione al contorno di valle è quella di regime di moto uniforme per le durate inferiori o uguali a 6 ore, mentre quelle superiori è stato imposto il massimo livello di piena del Fiume Arno a parità di tempo di ritorno e durata di sumulazione. E' stato verificato che il rigurgito del fiume è contenuto nel tombamento con carichi massimo poco superiori ad 1 m sul piano campagna nel tratto simulato. Tale condizione è verificata anche a valle confrontando i livelli massimo del fiume Arno e le quote del piano campagna.

Le simulazioni idrauliche evidenziano che per il tempo di ritorno trentennale le acque fuoriescono lungo la sponda destra a monte del ponte in loc. Corniola, si propagano verso valle fino ad accumularsi nell'area a sud del cimitero dei Cappuccini. Per i tempi di ritorno centennale e duecentennale le esondazioni si verificano anche in sinistra idraulica e ruscellano verso nord fino al rilevato della SGC FI-PI-LI. Esondazioni in sinistra si verificano anche più a valle in corrispondenza della sezione 8.

Al di là della probabilità di sormonto arginale da parte delle acque di piena, il Rio dei Cappuccini presente una criticità importante rispetto alle condizioni di manutenzione e stabilità

delle proprie strutture arginali, con sponde molto acclivi e con presenza di vegetazione arborea sui paramenti esterni. Inoltre un rischio residuo permane rispetto alla tenuta dei tombini e clapet nel tratto tombato e alla gestione dei paratoie fognarie durante gli eventi di piena del Rio Cappuccini o del Fiume Arno. Al riguardo si raccomanda al Comune di Empoli di verificare con il soggetto gestore l'efficienza delle opere di tenuta e i protocolli di intervento in caso di emergenza.

6.2.7 FOSSO DEL ROMITO

Il fosso del Romito non è stato oggetto di specifiche verifiche idrauliche, ma sono state valutate le aree soggette a possibili allagamenti per i vari tempi di ritorno attraverso i dati idrologici caratteristici del bacino.

Il fosso, attraversato il parco di Serravalle, scarica le proprie acque nel Fiume Arno attraverso una portella di regolazione. Questa viene chiusa durante le piene del fiume principale impedendo il drenaggio delle aree retrostanti le arginature. Tale situazione risulta essere la più gravosa in termini di volumi e aree allagabili.

Sono state fatte quindi le seguenti ipotesi:

1. in via cautelativa, non essendo esattamente note tutte le caratteristiche del sistema fognario degli abitati di Pontorme, S. Martino, zona stadio, Serravalle. Piaggia e Cortenuova, è stato ipotizzato che tutti di deflussi del bacino denominato "bacino 4" nella corografia allegata siano regolati in modo analogo durante le piene del Fiume Arno. In altre parole tutte le portelle in corrispondenza degli scarichi fognari e dei fossi di drenaggio vengono ipotizzati chiusi dal momento in cui i livelli del Fiume Arno intercettano la quota di scarico del Fosso Romito;
2. la stima dei battenti è stata fatta a partire dalla curva d'invaso dell'area di potenziale esondazione VM-038;
3. Gli idrogrammi utilizzati sono relativi ai tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni per durate di pioggia di 18, 24 e 36 ore.

In conseguenza dell'intermittenza di scolo del bacino compreso tra il Rio Cortenuova e il Torrente Orme, si rilevano allagamenti già il per tempo di ritorno trentennale che riguardano principalmente il parco di Serravalle e le limitrofe zone agricole.

6.2.8 SISTEMA "EMPOLI OVEST"

I rii Sant'Anna (o S. Maria), Stella, Vitiana, Pagnana e Friano sono stati oggetto di verifica come unico sistema idrografico in quanto le loro esondazioni vanno ad interessare le medesime aree di pianura. Inoltre due canali diversivi derivano le portate di piena dal Rio Sant'Anna e dal Rio Stella, confluiscono in una cassa di espansione presso il nuovo svincolo di Empoli che a sua volta rilascia le portate laminate nel Rio Vitiana.

Relativamente ai Rio Friano le verifiche idrauliche sono state condotte esclusivamente a valle della linea ferroviaria, essendo stato il tratto di monte studiato nell'ambito degli "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai rii minori Volpi e Friano nella zona industriale del Terrafino nel Comune di Empoli", peraltro già realizzati e collaudati; si rimanda agli specifici studi disponibili presso il Comune di Empoli.

Per lo stesso motivo il Rio Volpi non è stato oggetto di studio in quanto messo in sicurezza fino alla sua confluenza nel Fiume Elsa.

Le sezioni fluviali del Rio Sant'Anna, Rio Stella a monte della SGC FI-PI-LI e quelle dei restanti corsi d'acqua in corrispondenza delle opere d'arte sono state rilevate durante una campagna topografica del 2012. La caratterizzazione geometrica del reticolo è inoltre stata completata con sezioni fluviali ricavate dal rilevo laser-scanning a celle 1x1, essendo le sponde

prive di vegetazione e di forma regolare. Al riguardo è stato verificato una buona approssimazione rispetto alle sezioni topografiche rilevate nello stesso punto.

Tutti i corsi d'acqua alla confluenza con il Fiume Arno sono dotati di paratoia manovrabile. Come per il sistema "Empoli est", anche in questo caso è stato ipotizzato che le paratoie rimangano chiuse fin tanto che i livelli del Fiume Arno sono superiori al fondo alveo dei tributari, con conseguente intermittenza di scolo.

Esiste inoltre una paratoia normalmente chiusa in ausilio alla soglia di stramazzo libera tra il Rio Sant'Anna e il suo diversivo, la cui apertura permette di aumentare le portate derivate verso la cassa di espansione di S. Maria e il Rio Vitiana anziché farle attraversare l'abitato di Empoli. E' stato quindi ipotizzato che l'apertura di tale paratoia avvenga 1 ora prima della chiusura delle paratoie del Rio Sant'Anna alla confluenza.

I coefficienti medi di resistenza al moto sono stati valutati variabili tra 0.022 e 0.03 $s/m^{1/3}$ in funzione delle specifiche caratteristiche dell'alveo: inerbito, parzialmente o completamente rivestito in cls.

Il modello idraulico è stato cimentato con gli idrogrammi definiti nei paragrafi precedenti per tutte le combinazioni tra i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni e le durate di pioggia 1, 2, 3, 7, 14, 18, 24 e 36 ore.

Le esondazioni del fiume Arno stimate attraverso il corrispondente modello sono state inserite nelle aree di potenziale del sistema idraulico secondario.

In accordo con il progetto "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai rii minori Volpi e Friano nella zona industriale del Terrafino nel Comune di Empoli", la presenza sul Rio Friano di una bocca tarata con paratoia presso la SGC FI-PI-LI, di una soglia in derivazione a monte, di un sistema casse di espansione di idrovore per 2 mc/s, limita la portata a valle a 1.8 mc/s. In caso in intermittenza di scolo per piene del Fiume Arno è stato ipotizzato la completa chiusura della paratoia presso la SGC FI-PI-LI e il completo invaso delle piene nelle casse di espansione con eventuale sollevamento con idrovore nel Fiume Elsa.

Per tutti i corsi d'acqua la condizione di moto uniforme rappresenta la condizioni di valle, salvo prevedere la chiusura delle portelle per le durate 18, 24 e 36 ore in funzione dei livelli del Fiume Arno.

Dall'analisi dei risultati delle verifiche idrauliche si rileva che per il tempo di ritorno trentennale si verificano esondazioni del Rio Sant'Anna a monte del ponte in loc. Sant'Anna. Analoga problematica si verifica sul Rio Stella a monte del ponte in loc. Podere Ponte Maggiore.

Le principali problematiche del sistema idrografico si verificano ad ogni modo per gli scenari di 18, 24 e 36 con intermittenza di scolo nel Fiume Arno: esaurita la modesta capacità d'invaso degli alvei, i volumi si espandono nella pianura nord-occidentale di Empoli con battenti modesti, mediamente inferiori a 30 cm.

6.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche e del quote del terreno rilevabili dal rilievo Laser-scanning a celle 1x1 m della regione Toscana, sono state individuate le aree soggette a possibile allagamento per i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni.

Si precisa che, essendo state condotte le modellazioni idrauliche con modelli a celle (quasi-bidimensionale), si può verificare il caso di aree perimetrate come allagabili per le quali il battente idrico della cella di simulazione è inferiore alle quota del piano campagna. Tale situazione corrisponde a quelle aree, dette di "transito", interessate per la loro morfologia da un flusso idrico che si propaga dal punto di esondazione alla zona di accumulo statico con battenti modesti, approssimativamente compresi tra 0 e 30 cm.

Sono inoltre state redatte le carte di pericolosità sulla base delle definizioni del Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Arno (PAI) e quelle del punto C.2 dell'allegato A del D.P.G.R. 53-R/2011.

Nel primo caso l'attribuzione della pericolosità è basata esclusivamente sui risultati delle verifiche idrauliche secondo il seguente schema:

	Battente ≥ 30 cm	0 < Battente < 30 cm	Transito
Tr 30 anni	PI4	PI3	PI3
Tr 100 anni	PI3	PI2	PI2
Tr 200 anni	PI2	-	-

Nel secondo caso, oltre ai risultati delle verifiche idrauliche, nella porzioni di territorio non potenzialmente interessato da previsioni urbanistiche è stato tenuto conto anche dei dati storico-inventariali e geomorfologici acquisiti dal vigente Regolamento Urbanistico e dal PAI.

Pertanto le pericolosità sono state attribuite secondo le seguenti principi:

Sono classificate in **pericolosità idraulica molto elevata - I.4:**

- le aree per le quali è stato condotto specifico studio idraulico e interessate da allagamenti per eventi con tempo di ritorno ≤ 30 anni.
- le aree intorno ai corsi d'acqua di cui all'art. 12 comma 1 lettera g-bis della L.R. 91/1998 per una larghezza di 10 m su ciascun lato;
- le aree potenzialmente non interessate da previsioni urbanistiche e prive di specifico studio idraulico soggette ad allagamento o ristagno durante gli eventi del 1992-93.

Sono classificate in **pericolosità idraulica elevata - I.3:**

- le aree per le quali è stato condotto specifico studio idraulico e interessate da allagamenti per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 < Tr ≤200 anni.
- le aree potenzialmente non interessate da previsioni urbanistiche e prive di specifico studio idraulico in condizioni morfologiche sfavorevoli già perimetrate nel vigente Regolamento Urbanistico in ambito B ai sensi della D.C.R. 230/1994.

Sono classificate in **pericolosità idraulica media - I.2:**

- le aree in condizioni geomorfologiche sfavorevoli o per le quali vi sono notizie storiche di inondazioni e già contenute all'interno le perimetro della pericolosità PI1 del vigente PAI.

Sono classificate in **pericolosità idraulica bassa - I.1:**

- la restante parte collinare del territorio comunale.

7 Interventi di riduzione del rischio idraulico

7.1 ASPETTI GENERALI

Il processo di individuazione degli interventi necessari alla riduzione del rischio idraulico nel territorio comunale di Empoli, partendo dai risultati delle verifiche idrauliche dello stato attuale, è stata improntato a definire non soltanto gli interventi che permettessero la realizzazione in condizioni di sicurezza le nuove previsioni urbanistiche, ma anche quelli necessari alla riduzione del rischio idraulico sull'intero territorio. Al riguardo si ricorda che non sono state prese in considerazione le criticità dei sistemi fognari dei centri urbani in quanto non oggetto del presente studio.

Le condizioni di rischio diffuse su tutto il territorio hanno imposto lo studio di soluzioni in un'ottica a scala territoriale che evitasse il trasferimento delle condizioni di rischio verso valle e che tenesse conto del forte condizionamento determinato dalle piene del Fiume Arno.

Pertanto gli interventi di adeguamento arginale, risagomatura dei corsi d'acqua e rifacimento degli attraversamenti stradali sono stati sempre coniugati con interventi di tipo passivo (casse di espansione e aree di laminazione) che contenessero almeno i volumi sottratti alla laminazione lungo i tratti risistemati.

Per fronteggiare la problematica dell'intermittenza di scolo sono state individuate apposite aree di laminazione dimensionate sugli eventi con tempo di ritorno duecentennale e durata 24 ore. In alcuni casi inoltre sono stati previsti interventi che evitassero l'immissione di deflussi da aree agricole e collinari nei sistemi fognari urbani.

Primo di procedere alla descrizioni degli interventi di messa in sicurezza, si ritiene utile ricordare che permane sul territorio un rischio residuo legato alla gestione e manutenzione dei corsi d'acqua.

In generale le caratteristiche idrologiche, idrauliche e strutturali dei corsi d'acqua studiati implicano un rischio idraulico sul territorio riferibile a:

1. adeguatezza delle strutture arginali rispetto ai fenomeni di filtrazione e stabilità
2. adeguatezza delle strutture arginali a contenere i massimi livelli di piena
3. rigurgito dei livelli di piena lungo gli affluenti
4. intermittenza di scolo del reticolo minori per la chiusura delle portelle e chiaviche lungo le strutture arginali

Ai sensi del DPGR 53-R/2011, nel presente studio sono state individuate le aree soggette a potenziale allagamento nell'ipotesi, assunta anche dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per la redazione del PAI, che le strutture arginali non collassino sotto qualsiasi sollecitazione idraulica, compreso il sormonto. I più recenti eventi alluvionali in Toscana, così come quelli accaduti nell'ultimo secolo nel territorio Empolese e inventariati nella tavola 2 allegata, hanno messo in evidenza un rischio legato alla caratteristiche intrinseche delle strutture arginali, in molti casi realizzate in epoche in cui le conoscenze ingegneristiche e le capacità tecniche erano minori di oggi.

Alla luce di ciò, indipendentemente dai risultati ottenuti con le modellazioni idrauliche, permane un rischio residuo, oggi difficilmente calcolabile per l'estensione del campo di indagini e per i costi di acquisizione delle informazioni necessarie, legato alla tenuta delle arginature.

E' in corso di conclusione da parte della Regione Toscana e di URBAT la messa a punto di una metodologia semplificata per la verifica di prima approssimazione della propensione al

collasso arginale. Tale metodo permetterà di individuare i tratti in cui maggiore è il rischio di rottura arginale e di procedere a successivi approfondimenti localizzati.

Ad oggi i migliori strumenti disponibili per la prevenzione di tale fattispecie di rischio sono la vigilanza, il controllo e la manutenzione delle strutture da parte degli Enti preposti. Per il Fiume Arno, il Torrente Orme a valle della S.G.C. FI-PI-LI e il Rio Cappuccini a valle del Cimitero, classificati in II catogoria idraulica ai sensi del R.D. 523/1904, è competente il Circondario Empolese Valdelsa, mentre per gli altri corsi d'acqua è il Consorzio di Bonifica Toscana Centrale.

Pertanto, nell'ambito delle funzioni di controllo del territorio, si raccomanda al Comune di informare i suddetti Enti su possibili situazioni di criticità o attività in prossimità dei corsi d'acqua, nonchè, ai fini delle funzioni di protezioni civile, di acquisire le informazioni sulle eventuali criticità già note.

7.2 INTERVENTI SUL FIUME ARNO

Gli interventi di riduzione del rischio idraulico del Fiume Arno sono stati individuati nell'ambito del Piano di Bacino e presuppongono un'azione di intervento coordinata a scala di bacino. In ragione dell'esigenza di non aggravare, con solo interventi di adeguamento arginale, le condizioni di rischio nei tratti di valle, il suddetto Piano prevede la realizzazione di una serie di cassa di espansione tra le quali, a monte del Comune di Empoli, quelle di maggiore capacità ed efficacia sono: Pizziconi, Restone, Prulli e Leccio nel Valdarno Superiore, Renai presso Signa, Fibbiana 1 e 2 nel Comune di Montelupo F.no.

La realizzazione di tali interventi, che non possono che far capo ad un Ente territoriale sovracomunale, porteranno al miglioramento, se non al superamento, delle criticità del Fiume Arno in loc. Tinaia e Marcignana.

Da rilevare ad ogni modo che in vari tratti arginale è garantito solo un modesto franco idraulico rispetto ai massimi livelli duecentennali calcolati. Pertanto si suggerisce al Comune di Empoli di tenerne conto nel proprio Piano di Protezione Civile per un'adeguata gestione del rischio residuo.

In considerazione dei limitati volumi di esondazione e della discontinuità puntuale dell'argine presso la sezione 381, si ritiene che il manufatto di regolazione del fosso di drenaggio presso la suddetta sezione debba essere adeguato alla quota di contenimento degli argini del tratto di monte e di valle a cura dell'Ente competente.

7.3 INTERVENTI SUL FIUME ELSA

A seguito della realizzazione degli adeguamenti arginali e della cassa di espansione di Madonna della Tosse (Comune di Castelfiorentino) lungo il Fiume Elsa, permane la necessità di:

1. adeguare il manufatto di regolazione del fosso di drenaggio a monte dell'abitato di Sant'Andrea alla quota di contenimento degli argini del tratto di monte e di valle a cura dell'Ente competente;
2. attuare da parte dell'Ente competente un'adeguata attività di verifica e manutenzione delle paratoie, portelle e chiusure idrauliche mobili (ad esempio le porte stagne presso il Molino delle Volpi e il Molino Capocavallo);

3. coordinare il servizio di Protezione Civile Comunale con il Servizio di Piena del Circondario Empolese Valdelsa per la manovra e verifica di tenuta delle opere di cui al punto precedente.

Permane inoltre la previsione delle casse di espansione del Piano di Bacino del Fiume Arno a nord di Bastia e a sud di Brusciana. Si specifica che, pur essendo ricompresi nel perimetro delle suddette casse alcuni edifici, le stesse sono riportate fedelmente a quanto previsto dal Piano, rimandando a successive fasi di progettazione la loro esatta delimitazione.

Relativamente alla problematica dell'intermittenza di scolo degli affluenti del Fiume Elsa, si rileva che la vulnerabilità della pianura tra il corso d'acqua e la linea ferroviaria è bassa, trattandosi quasi completamente di terreni agricoli con qualche casa sparsa. In successivi approfondimenti del quadro conoscitivo del Regolamento Urbanistico e con opportune verifiche idrauliche, si ritiene utile che vengano definite le aree interessate dai ristagni e che venga valutata la convenienza a realizzare opere di regimazione e controllo.

7.4 INTERVENTI SUI TORRENTI ORME, PIOVOLA E ORMICELLO

La messa in sicurezza del bacino del Torrente Orme passa attraverso la realizzazione di interventi di tipo attivo e passivo sul corso d'acqua e sui suoi tributari. Gli interventi di seguito individuati potranno essere realizzati per stralci successivi verificando per ciascuno che gli effetti di incremento dei picchi di piena dovuti agli adeguamenti arginali siano controbilanciati dalla laminazione delle casse di espansione.

Il contenimento delle piene e l'invarianza idraulica a monte del Ponte d'Orme (zona Pozzale) è garantita dalle opere strutturali di seguito elencate. Diverse tipologie di intervento potranno essere approfondite nelle fasi progettuali, senza però incidere negativamente sulla loro efficacia a scala di bacino.

1. Realizzazione di 3 casse di espansione (codici C_ORME2, C_ORME3, C_ORME4) nel tratto compreso tra Martignana e Casenuove. La tipologia ipotizzata è quella delle casse in linea che, oltre ad una certa laminazione dei picchi, permette lo sfasamento degli idrogrammi di piena dei Torrenti Orme e Ormicello. Ciascuna cassa è costituita da uno sbarramento in terra trasversale al corso d'acqua che andrà a rastremarsi alle quote naturale delle adiacenti colline. L'argine è dotato di bocca tarata in alveo da dimensionare opportunamente. Il volume d'invaso complessivo è di 310.000 mc, 210.000 mc in più rispetto allo stato attuale. Nella seguente tabella sono specificate le caratteristiche di ciascuna cassa.

Cassa	Quota max invaso	Quota argine	Volume invasabile	Opere
	[m slm]	[m slm]	[mc]	
C_ORME4	59.0	60.0	110.000	È necessaria un argine trasversale a quota 60 m s.l.m che andrà a rastremarsi con le quote naturali del terreno ad ovest e con la strada di Val d'Orme a est. Quest'ultima è a quota superiore. E' necessaria la protezione degli edifici in prossimità

				dell'ex essiccatoio di Martignana.
C_ORME3	51.0	52.0	107.000	È necessaria un argine trasversale a quota 52 m s.l.m che andrà a rastremarsi con le quote naturali del terreno ad ovest e con la strada di Val d'Orme a est. Quest'ultima è a quota superiore. E' necessaria la protezione dell'attività commerciale esistente ubicata in prossimità del corso d'acqua.
C_ORME2	43.5	44.5	90.000	È necessaria un argine trasversale a quota 44.5 m s.l.m che andrà a rastremarsi con le quote naturali del terreno ad ovest e con la strada di Val d'Orme a est. Quest'ultima è a quota superiore.

2. Chiusura idraulica in destra lungo l'abitato di Casenuove con un parapetto di altezza 1-1.5 m.
3. Chiusura idraulica in sinistra dalla loc. Fornace fino al vecchio ponte per Casenuove con un parapetto di altezza massima 1 m.
4. Adeguamento dell'argine sinistro (circa 0.8 m) dal vecchio ponte per Casenuove fino a valle della località Bussotto.
5. Adeguamento dell'argine sinistro in corrispondenza della località Moriana.

Un primo stralcio dei suddetti interventi è individuabile nella realizzazione delle casse di espansione C_ORME3 e C_ORME4 e delle contestuali chiusure idrauliche in sinistra nel tratto di valle. In tal caso i volumi sottratti alla naturale esondazione (200.000 mc) sarebbero compensati nelle casse di espansione di monte. Inoltre è stato verificato il non incremento delle portate a valle degli interventi.

La messa in sicurezza idraulica della località Casenuove e la cassa di espansione C_ORME2 possono costituire il secondo stralcio funzionale.

Relativamente alle aree allagabili in destra del Torrente Orme a valle di Casenuove e a quelle del Torrente Piovola, è stato stimato per il tempo di ritorno duecentennale un volume complessivo di 940.000 mc.

Gli interventi previsti consistono in:

1. Adeguamento dell'argine destro a monte del Ponte d'Orme.
2. Adeguamento dell'argine destro dall'altezza della località Moriana fino alla ferrovia.
3. Adeguamento degli argini destro e sinistro del Torrente Piovola per tutto il tratto di pianura.
4. Realizzazione di una cassa di espansione (codice C_ORME1) nell'area compresa tra i Torrenti Orme e Piovola, la ferrovia e la superstrada, alimentata da entrambi i torrenti con sfioratori. In successivi studi di maggior dettaglio con i quali siano state opportunamente dimensionate le soglie di alimentazione della cassa di espansione, dovrà essere verificato se l'adeguamento dell'argine destro del Torrente Orme a monte della ferrovia comporterà la necessità di adeguare anche quello sinistro.
5. Realizzazione di una cassa di espansione (codice C_PIOVO1) nell'area compresa tra il Torrente Piovola, la ferrovia e la viabilità Empoli-Villanuova, alimentata: dal Torrente Piovola attraverso un condotto interrato parallelo alla ferrovia che sottopassa

la suddetta viabilità; dal canale di drenaggio dell'area a sud della superstrada attraverso un canale parallelo a quest'ultima.

La cassa permetterà il temporaneo invaso delle acque dei due corsi d'acqua allorquando i livelli idrici del Torrente Orme determineranno la chiusura delle porte vinciane alla confluenza con il Torrente Piovola.

Come specificato successivamente la cassa dovrà laminare anche le portate di piena del Fosso Fratello per un massimo di 50.000 mc.

Nella seguente tabella sono specificate le caratteristiche di ciascuna cassa.

Cassa	**Quota max invaso**	**Quota argine**	**Volume invasabile**	**Opere**
	[m slm]	**[m slm]**	**[mc]**	
C_ORME1	30.0	31.0	650.000	E' necessario l'adeguamento delle arginature di Orme e Piovola, nonché la protezione dei rilevati della ferrovia e della superstrada. Sono escluse dal perimetro le abitazioni in loc. Casanuova, Corticella, San Filippo. La cassa non necessita di scavo del fondo per raggiungere le volumetrie indicate. E' prevista l'immissione in cassa del Rio Piovolino con tombino dotato di clapet di non ritorno. Lo svaso avviene attraverso l'attuale tombino ferroviario del Rio Piovolino. L'opera di presa è prevista tra le località S. Filippo e Torricella. E' possibile aumentare i battenti in cassa localizzando l'opera di presa più a monte.
C_PIOVO1	28.0	29.0	370.000	E' necessario l'adeguamento dell'argine lungo il Fosso Pratello, la protezione dell'abitato di Villa Romagnoli, nonché la protezione dei rilevati della ferrovia e della superstrada. La cassa non necessita di scavo del fondo per raggiungere le volumetrie indicate. E' previsto lo sfioro del Fosso del Pratello per un volume massimo di 50.000 mc. Lo svaso potrà avvenire tramite scarico di fondo sul suddetto fosso. Il battente idrico considerato è quello massimo del Torrente Piovola a monte della ferrovia.

Per il Rio Piovolino e i canali delle aree a sud della superstrada, non sono state condotte nel presente studio specifiche verifiche idrauliche, salvo considerare il relativo contributo nelle verifiche idrauliche dei corsi d'acqua tributari. Vengono pertanto riportati nella tavola 7 gli interventi già individuati nel precedente Regolamento Urbanistico, quali il rifacimento di alcuni

attraversamenti e la risagomatura della sezione d'alveo nei tratti a monte delle immissione nelle previste casse di espansione.

Anche per il Torrente Ormicello non sono state condotte specifiche verifiche idrauliche nell'ambito del presente studio e pertanto si riportano gli interventi già previsti nel precedente Regolamento Urbanistico.

Per invasare i volumi necessari è stato necessario individuare diverse aree di cui, in studi di maggior dettaglio, si dovrà verificare la compatibilità geologica ed ambientale. Sono state individuate 2 aree di estensione variabile descritte, da monte verso valle, nella seguente tabella.

Cassa	**Quota max invaso**	**Aree [mq]**	**Battente idrico [m]**	**Volume invasabile [mc]**	**Opere e difficoltà**
C_ORMIC2	48	60700	1	60700	È necessaria una traversa e quote arginali di 48 m s.l.m. . Gli argini della cassa andranno a rastremarsi con le quote naturali del terreno e del T. Ormicello ad est. e con quelle naturali di Via d'Ormicello ad ovest e sud. A nord è necessario l'argine di chiusura. La strada di Via d'Ormicello è a quota superiore. Il fondo vasca è previsto a quota 47 m s.l.m.
C_ORMIC1	42	86300	1.5	129450	È necessaria una traversa e quote arginali di 42 m s.l.m. che è dettata dal punto più depresso della Via di Poggi piedi e dalla necessità di proteggere alcuni abitati di valle. Gli argini della cassa andranno a rastremarsi con il rilevato stradale di Via di Poggi Piedi mentre sul lato sx del T. Ormicello dovranno essere create arginature con quote compatibili all'invaso previsto. Sono presenti coltivazioni. Il fondo vasca è previsto a quota 40.5. Alcune abitazioni e soprattutto una azienda in sx dell'Ormicello può rendere difficoltoso l'adeguamento arginale.

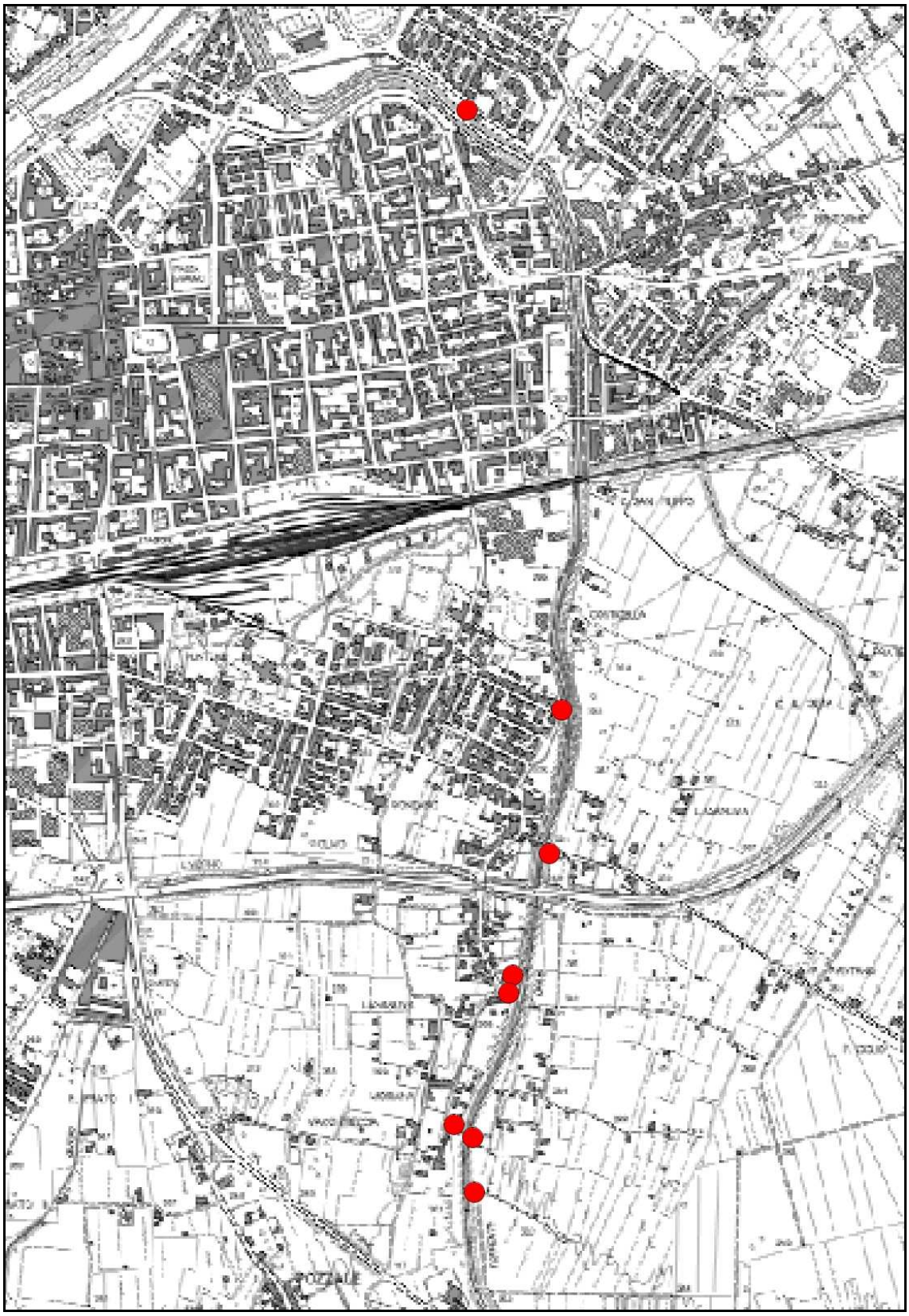
Definiti gli interventi necessari per la messa in sicurezza del territorio a scala di bacino, si segnala la necessità di interventi urgenti di manutenzione straordinaria degli argini e delle opere del Torrente Orme.

Nella planimetria di seguito riportata sono indicati alcuni punti degli argini che hanno subito un abbassamento rispetto alla quota originaria e ai tratti di monte e di valle in conseguenza del continuo passaggio di mezzi e persone. Considerato che gli Enti competenti sono tenuti al ripristino, è stato deciso di non tener conto di tali situazioni puntuali nelle verifiche idrauliche.

Resta comunque necessario procedere agli interventi di manutenzione che garantiscano il livello di sicurezza individuato nelle suddette verifiche.

Analoga considerazione va fatte per le porte vinciane alla confluenza del Torrente Piovola, il cui corretto funzionamento è stato ipotizzato nella modellazione idraulica.

Si suggerisce al Comune di sollecitare gli Enti competenti a realizzare gli interventi di manutenzione sopra descritti.



Localizzazione dei punti arginali lungo il T. Orme che necessitano di interventi di ripristino

7.5 INTERVENTI SUL SISTEMA "EMPOLI EST"

Il sistema idraulico costituito dal Fosso di Fibbiana e dal Rio Cortenuova rappresenta l'elemento di valle di un sistema idrografico che attraversa il Comune di Monteluo Fiorentino costituito dal Rio Citerna, Rio Sammontana, Rio di Montecuccoli, Rio Grande e Fosso Pratello, quest'ultimo nel Comune di Empoli.

Già nell'ambito della progettazione della cassa di espansione di Fibbiana sul Fiume Arno da parte del Circondario Empolese Valdelsa erano state analizzate le condizioni di rischio dei vari bacini ed era emersa la necessità di interventi strutturali sui corsi d'acqua. Nella Conferenza dei Servizi per l'approvazione del progetto definitivo, i Comuni di Empoli e di Montelupo F.no avevano concordato sulla fattibilità di una cassa di laminazione (codice C_CORTE1) in corrispondenza della ex cava presso C. dell'Isola e Via di Mezzo. Per raggiungere la capacità necessaria di 550.000 mc sono richiesti interventi di rimodellazione morfologica, di contenimento lungo la strada poderale e una soglia di stramazzo alla confluenza del Rio Sammontana. La sistemazione di brevi tratti arginali lungo il Rio Cortenuova e il Fosso Fibbiana permetterà la riduzione del rischio idraulico sia per gli eventi critici del sistema idrografico locale, sia per l'intermittenza di scolo dovuto alle piene del Fiume Arno.

E' inoltre previsto che l'area compresa tra la ferrovia, la superstrada e la viabilità Empoli-Villanuova (codice C_PIOVO1), già descritta tra gli interventi per il Torrente Piovola, sia destinata a contenere anche le portate eccedenti la capacità di deflusso del Fosso Pratello (il volume complessivo dell'idrogramma relativo al tempo di ritorno duecentennale e durata 24 ore è pari a 50.000 mc).

Qualora necessario, essendo stato rilevato negli studi a supporto del precedente Regolamento Urbanistico, dovrà essere adeguato l'attraversamento della S.G.C. FI-PI-LI.

7.6 INTERVENTI SUL FOSSO DEL ROMITO

Il fosso ha un limitato bacino di pianura compreso tra la S.G.C. FI-PI-LI e il Fiume Arno e la cui problematica è legata all'intermittenza di scolo nel caso di piena del fiume principale. Per fronteggiare tale evenienza e con la funzione di vasca volano, dovrà essere mantenuta al libero invaso delle acque l'area del Parco di Serravalle compresa tra le località P. Arno, Piagge, Cortenuova, San Martino, Serravalle, Piscina (codice C_ROMIT1). Il volume necessario per l'evento duecentennale è di 210.000 mc ottenibile attraverso modellazioni morfologiche della porzione di parco da completare.

7.7 INTERVENTI SUL RIO DEI CAPPUCCINI

Dall'analisi delle condizioni di rischio attuale del Rio Cappuccini emerge l'esigenza di un adeguamento delle sue strutture arginali sia per la possibilità di sormonto che per insufficienza strutturale a partire dalla loc. Ardenago, dove il rio inizia ad essere pensile, fino all'ingresso del cimitero dei Cappuccini; l'adeguamento delle arginature dovrà essere accompagnato dal rifacimento del Ponte degli Asini e di quello a monte di Ardenago.

Per il Rio del Terraio, tributario del Rio Cappuccini a monte del cimitero, non sono state condotte nel presente studio specifiche verifiche idrauliche, salvo considerare il relativo contributo nel tratto tombato a valle della confluenza. Vengono pertanto riportati nella tavola 7 gli interventi già individuati nel precedente Regolamento Urbanistico, quali il rifacimento di alcuni attraversamenti e la risagomatura della sezione d'alveo.

Gli interventi sopra proposti impedirebbero fuoriuscite dall'alveo del Rio dei Cappuccini di circa 67.000 mc (evento duecentennale), che dovranno essere compensati per non sovraccaricare il tratto tombato di valle. A tal fine viene confermata e ampliata l'area di laminazione (codice C_CAPPU1) già prevista dal precedente Regolamento Urbanistico immediatamente a sud della S.G.C. FI-PI-LI: un rivestimento dell'infrastruttura viaria, l'abbassamento medio di 0.35 m del piano campagna e la regolazione dei deflussi che, sottoattraversando la suddetta strada, si immettono nel sistema fognario urbano, garantirebbero un volume invasabile di 155.000 mc fino alla quota di 28.0 m slm. La cassa è alimentata da un derivatore in corrispondenza dell'opera di immissione del Fosso del Terraio nel Rio dei Cappuccini che, adeguatamente dimensionato e attraversando la S.P. di Val d'Orme (già a quota di sicurezza), permetterebbe:

1. di invasare le portate eccedente quella massima smaltibile nel tratto tombato di valle;
2. di invasare i deflussi del bacino compreso tra il Torrente Orme, la loc. La Casetta, Pozzale e il cimitero (volume dell'idrogramma per tempo di ritorno 200 anni e durata 24 ore pari a 88.000 mc);
3. di non gravare sul sistema fognario di Ponzano e Puntone per il quale, in concomitanza delle piene del Rio dei Cappuccini, sarà difficoltoso scaricare i propri reflui nel Rio;
4. di funzionare da volume di compenso nel caso di piene del Fiume Arno che rigurgitassero il Rio dei Cappuccini impedendone il libero deflusso.

7.8 INTERVENTI SUL RIO BONISTALLO

I deflussi del bacino a ovest del Rio Cappuccini vengono raccolti nei fossi di drenaggio superficiali, nel sistema fognario della loc. Corniola, sottopassano la superstrada e si immettono nel sistema fognario di Carraia e Le Cascine.

La necessità di liberare quest'ultimo dalle acque meteoriche delle aree agricole e collinari a sud della superstrada porta ad ipotizzare la realizzazione di un'area di laminazione (codice C_BONIS1) immediatamente a ridosso dell'infrastruttura stradale per un volume massimo di circa 52.000 mc, pari al volume dell'idrogramma duecentennale di durata 24 ore del bacino denominato Corniola nella tavola 1 allegata. Un argine addossato al rilevato stradale con scarico di fondo regolabile e uno scavo medio del fondo cassa di 1.25 m permetterà di accumulare le acque meteoriche sia durante gli eventi di particolare intensità (che mettono in crisi il sistema fognario), sia durante il periodo di scarico impedito nel Fiume Arno.

In aggiunta, per rendere maggiormente flessibile il sistema di laminazione dell'area posta più ad ovest (afferente al sistema fognario e al Rio di Sant'Anna), si prevede la realizzazione di un diversivo a valle di C. Cinotti che recapiti i deflussi nella suddetta area di laminazione.

7.9 INTERVENTI SUL RIO SANT'ANNA

Gli interventi realizzati negli anni passati nel tratto pedecollinare del corso d'acqua (diversivo con soglia di sfioro) hanno permesso di ridurre notevolmente il rischio di esondazione nei centri urbani di valle.

Permangono ad ogni modo le seguenti criticità:

1. a portella chiusa presso la confluenza nel Fiume Arno, il volume contenibile in alveo è leggermente inferiore agli afflussi e pertanto si hanno modeste esondazioni in

corrispondenza del tratto arginale più depresso in sinistra tra la S.P. n. 11 Pisana per Fucecchio (o Lucchese) e via Boccaccio;

2. le aree agricole in destra del Rio sono drenate da una serie di fossi campestri che confluiscono in un canale tributario del Rio Sant'Anna a nord della linea ferroviaria. Essendo il Rio in questo tratto arginato, il tributario è dotato di portella che impedisce il deflusso in caso di piena;
3. a partire dallo scolmatore fino all'attraversamento della ferrovia il rio scorre pensile tra argini le cui caratteristiche geometriche e di manutenzione fanno emergere la necessità di più approfondite valutazione sulla loro capacità di resistenza alle sollecitazioni della corrente;
4. il ponte su via del Terrafino a monte dello scolmatore è sottodimensionato e inclinato rispetto alla corrente.

Viste le criticità sopra esposte sono stati individuati i seguenti interventi per risolverle:

1. adeguamento del tratto arginale sinistro insufficiente e contestuale realizzazione di una soglia di sfioro verso le aree di compenso (codici C_SANNA1 e C_SANNA2) già realizzate presso il parcheggio dell'ospedale, la cui capacità non dovrà essere inferiore a 4.000 mc;
2. delimitazione di un'area di laminazione (codice C_CARRA1) tra la superstrada e via Torricelli che contenga i deflussi delle aree agricole allorquando il Rio Sant'Anna non è in grado di riceverle. La capacità di invaso massima necessaria è di 43.000 mc, pari all'idrogramma con tempo di ritorno duecentennale e durata 24 ore dei bacini denominati "Cinotti est" e "Cinotti ovest" nella tavola 1 allegata; sarà pertanto necessario delimitare con un argine il lato nord lungo via Torricelli fino alla quota di 25 m slm e dotarlo di scarico regolabile in funzione delle condizioni del recettore. Inoltre va assicurata la chiusura idraulica sul lato est con modesti rialzamenti del piano campagna fino a quota 25 m slm. Non è necessario provvedere allo scavo dell'area;
3. si rimanda al paragrafo 7.1 sulla necessità di provvedere a interventi di manutenzione sulle opere esistenti da parte degli Enti competenti, eventualmente verificandone la propensione al collasso per filtrazione, instabilità strutturale o erosione e adeguandole qualora necessario;
4. adeguamento del ponte su via del Terrafino a monte dello scolmatore alle portate duecentennale.

Si ricorda inoltre che il suddetto scolmatore è provvisto di una paratoia piana regolabile, normalmente chiusa. Le verifiche idrauliche condotte hanno dimostrato che per gli eventi critici del Fiume Arno, che richiedono la chiusura delle portelle lungo le sue arginature, il Rio Sant'Anna riesce a contenere le sue portate soltanto se la paratoia presso lo scolmatore viene aperta. Si suggerisce pertanto al Comune di Empoli di verificare che il Circondario Empolese Valdelsa, per la chiusura delle portelle lungo il Fiume Arno, e il Consorzio di Bonifica Toscana Centrale, per la paratoia di monte, siano rispettivamente informati e coordinati. Al riguardo la paratoia di monte dovrà essere aperta almeno un'ora prima della chiusura delle portelle di valle.

7.10 INTERVENTI NELL'AREA DEL TERRAFINO

Il reticolo idrografico che attraversa l'area del Terrafino non è stato oggetto di ulteriori verifiche oltre quelle condotte per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza idraulica (codice FRIVO1).

Dai sopralluoghi effettuati non appare però chiaro se il tombino della superstrada ad est del Rio Friano sia stato sigillato come previsto. Inoltre è stato rilevato che il fondo del Rio Friano a monte della superstrada è parzialmente sovralluvionato.

Ai fini di garantire le condizioni di sicurezza previste nei vari progetti, si raccomanda al Comune di verificare periodicamente con l'Ente competente alla manutenzione dei corsi d'acqua il grado di interramento del Rio Friano e delle casse di laminazione, la piena officiosità degli attraversamenti, la funzionalità delle opere di regolazione del Rio Friano, del Rio Volpi e del relativo impianto di sollevamento.

Inoltre le operazioni di chiusura delle paratoie piane sul Rio Friano (presso il sottopasso autostradale) e sul Rio Volpi (presso la confluenza) e di avvio dell'impianto idrovoro a cura del soggetto competente dovranno essere concordate e coordinate con il Circondario Empolese Valdelsa in funzione della chiusura delle portelle lungo le arginature del Fiume Arno e del Fiume Elsa.

Per quanto riguarda il Rio Stella a monte del Terrafino, si evidenzia la necessità di verificare la capacità delle arginature a sopportare le sollecitazioni idrauliche in funzione delle loro caratteristiche geometriche e geotecniche.

Inoltre il ponte sulla strada pedemontana (via del Terrafino) a monte del canale derivatore dovrà essere adeguato alle portate duecentennali.

7.11 INTERVENTI SUL SISTEMA "EMPOLI OVEST"

Le problematiche idrauliche del sistema idrografico (costituito dai rii Vitiana, Stella, Pagnana e Friano) sono rilevabili sia per eventi di intensità di pioggia critica locale (durate tra 1 e 14 ore), sia per intermittenza di scolo dovuta alle piene del Fiume Arno. Sotto tali condizioni si verificano esondazioni a partire dai tratti dell'area intorno alla S.P. n. 11 Pisana per Fucecchio (o Lucchese), più depressa rispetto alla zona prossima al Fiume Arno e a quella vicino alla ferrovia.

Inoltre per portate elevate alcuni attraversamenti risultano sottodimensionati.

I volumi massimi che interessano l'area, compresi circa 50.000 mc provenienti dalle esondazione del Fiume Arno presso Marcignana, ammontano a 800.000 mc.

Gli interventi necessari per la riduzione del rischio fino al tempo di ritorno duecentennale sono:

1. adeguamento di alcuni attraversamenti che determinano ostacolo al deflusso delle portate e rigurgito verso monte (vedi tavola 7);
2. ampliamento dell'area di laminazione presso Pratovecchio (C_VITIA1) e diversa gestione delle piene: l'attuale cassa (C_VITIA2) ha un volume ridotto per poter contenere tutti i deflussi del bacino afferente. Inoltre lo scarico di fondo si innesta sul sistema di acque basse (Rio Vitiana) che scorre oltre la ferrovia fino all'area, sopra descritta, che presenta le maggiori criticità. Si ritiene necessario pertanto, nel caso di crisi del sistema di valle, contenere tutti i deflussi a monte della ferrovia nell'area di laminazione C_VITIA1. Questa è costituita da un argine parallelo alla ferrovia con



scarico di fondo dotato di paratoia regolabile, coronella di altezza inferiore ad 1 m a protezione della loc. Pratovecchio, rivestimento con terreno impermeabile dei rilevati stradali esistenti. La gestione della paratoia dovrà prevederne la chiusura contestualmente a quella delle portelle lungo l'argine del Fiume Arno.

L'area di laminazione potrà contenere, compreso il volume della cassa esistente, circa 180.000 mc fino alla quota di 23.9 m slm, con un incremento di 130.000 rispetto allo stato attuale.

3. delimitazione di un'area di laminazione (codice C_OVEST1) tra Marcignana e P.re Castelluccio da sottoporre ad una scavo medio di 1.25 m per incrementarne la capacità d'invaso di 470.000 mc. A sicurezza degli abitati limitrofi, l'area potrà essere delimitata da una coronella di modesta altezza fino a quota 23.5 m slm. Lo svaso avverrà per gravità dal Rio Pagnana dopo la riapertura della portalla lungo il Fiume Arno;
4. realizzazione di un diversivo dal Rio Vitiana al Rio Stella che derivi le portate eccedenti verso la suddetta area di laminazione;
5. modesti rialzamenti delle sponde variamente distribuiti lungo il corso del Rio Vitiana a una quota superiore alla livello di massimo invaso dell'area di laminazione di cui al punto 3;
6. modesti rialzamenti delle sponde del Rio Stella a monte dell'area di cui al punto 3 e rifacimento, che tenga conto delle portate derivate dal Rio Vitiana, dell'attraversamento su via del Castelluccio;
7. realizzazione di un diversivo dal Rio Friano al Rio Pagnana, accompagnata dall'adeguamento delle sezioni di quest'ultimo nel tratto immediatamente a valle e dal rifacimento del ponte esistente per recapitare le portate derivate nell'area di cui al punto 3.

Pertanto, sommando 150.000 mc che già interessano l'area di laminazione C_OVEST1, l'incremento di 470.000 mc per scavo della stessa area, l'incremento di 130.000 mc dei volumi contenuti nell'area di laminazione C_VITIA1, si raggiungono 750.000 mc di invaso per la messa in sicurezza, a meno delle esondazioni dal Fiume Arno, della pianura ovest di Empoli.

Si suggerisce di procedere allo scavo progressivo dell'area C_OVEST1 in ragione dei volumi di terreno necessari per la realizzazione delle previste arginature sugli altri corsi d'acqua studiati.

8 Fattibilità degli interventi ai sensi del D.P.G.R. 53-R/2011

Le condizioni di fattibilità idraulica degli interventi previsti dal Regolamento Urbanistico sono state definita sulla base delle verifiche idrauliche di cui al presente studio. Oltre alle aree allagabili dei corsi d'acqua studiati è stato tenuto conto di alcune situazioni locali sfavorevoli per il ristagno delle acqua meteoriche.

Tutti gli interventi di messa in sicurezza di seguito elencati dovranno essere dimensionati per il tempo di ritorno duecentennale.

Si precisa che le quote di sicurezza indicate fanno riferimento al modello digitale del terreno da rilievo 2007 Laser scanning cluster 1x1 disponibile presso la Regione Toscana.

Piani Urbanistici attuativi

PUA 3.2: la previsione è limitrofa ad aree allagabili dal Torrente Orme e pertanto, per garantire un adeguato margine di sicurezza, la quota di sicurezza è imposta pari a 27.25 m slm, se realizzata prima dei seguenti interventi di messa in sicurezza:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

PUA 3.3: la previsione è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

L'attestazione di abitabilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

PUA 3.4: la previsione è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

L'attestazione di abitabilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

PUA 6.2: la previsione è limitrofa ad aree allagabili del Fosso dal Romito e pertanto, per garantire un adeguato margine di sicurezza, la quota di sicurezza è imposta pari a 25.60 m slm.

PUA 6.3: la previsione è limitrofa ad aree allagabili dal Fosso del Romito e pertanto, per garantire un adeguato margine di sicurezza, la quota di sicurezza è imposta pari a 25.60 m slm.

PUA 7.1: la previsione è limitrofa ad aree allagabili dal Rio dei Cappuccini e ne rimane esclusa per la presenza di un muro perimetrale. Pertanto, per garantire un adeguato margine di sicurezza e tener in considerazione l'eventuale rimozione del suddetto muro, la quota di sicurezza è imposta pari a 27.30 m slm.

PUA 7.2: la previsione è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

L'attestazione di abitabilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

PUA 7.3: si confermano le seguenti condizioni di fattibilità già approvate nella precedente specifica variante urbanistica (deposito n.2999 del 13.07.12 con esito favorevole del n. 336714 del 14/12/2012): la quota di calpestio dei fabbricati e quella dei parcheggi non deve essere inferiore a 31.1 m slm.

PUA 7.4: la previsione è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

L'attestazione di abitabilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

PUA 14.1 e 14.2: i piani attuativi dovranno essere dotati di adeguate verifiche idrauliche del torrente Piovola, estendendo quelle eseguite nell'ambito del Regolamento Urbanistico, che definiscano il livello di pericolosità a livello di dettaglio e le relative condizioni di fattibilità idraulica.

Attrezzature pubbliche

Intervento n. 4 – Attrezzature (Marcignana via Anna Frank): la previsione è limitrofa al corso del Rio Friano e dovranno pertanto essere rispettati i vincolo del R.D. 523/1904 e della L.R. 21/2012.

Intervento n. 8 – Ampliamento gattile (Carraia Via Majorana): la previsione è ubicata in una zona di possibile ristagno e pertanto è condizionata alla verifica della presenza di adeguate condizioni di drenaggio e della possibilità di convogliare le acque nel Rio Sant'Anna. Qualora necessario dovranno essere definiti la quota di sicurezza e i volumi di compenso per il non-aggravio del rischio nelle aree contermini.

Intervento n. 21 – Ampliamento scuola (Marcignana): l'intervento risulta fattibile esclusivamente se le opere vengono realizzate a una distanza di almeno 10 m dal tombamento del Rio Friano, in ottemperanza dei disposti del R.D. 523/1904, della L.R. 21/2012 e giurisprudenza (ad esempio sentenza T.S.A.P. n. 30 del 3/4/1990).

Le opere dovranno essere realizzate in condizioni di sicurezza ad una quota non inferiore a 23.70 m slm, valore comprensivo di 0.5 m di franco sul livello duecentennale. Ai sensi della lettera c) del punto 3.2.2.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. 53-R/2011 non è richiesto il recupero dei volumi sottratti alla naturale esondazione.

Intervento n. 23 – Area di Protezione Civile e impianti sportivi: la previsione è condizionata alla preventiva redazione di uno studio di approfondimento della pericolosità idraulica derivante dal Rio Grande per un tratto significativo a monte e a valle della località Maremmana. Lo studio dovrà definire gli eventuali interventi necessari affinché le previsioni non determinino un incremento del rischio idraulico ai sensi del D.P.G.R. 53-R/2011.
Restano fattibili senza particolari condizioni esclusivamente le aree a verde e quelle sportive prive di edifici, fatta eccezione per gli spogliatoi.

Intervento n. 28 – Ampliamento sede Publiambiente (via del Castelluccio): l'espansione sul lato nord dell'attuale sede è condizionata al collaudo delle opere di messa in sicurezza del Rio Stella e degli interventi necessari a non aggravare la pericolosità idraulica nelle aree contermini.

Verde sportivo in località Pozzale: la realizzazione di eventuali edifici, esclusi gli spogliatoi, o parcheggi di superficie superiore a 500 mq in aree a pericolosità I4 o I3 è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana.

Verde sportivo in località Ponzano: la realizzazione di eventuali edifici, esclusi gli spogliatoi, è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana.

Viabilità

Strada di collegamento tra lo svincolo di Empoli est e la strada Empoli-Villanova: dovrà essere garantita la trasparenza idraulica per il reticolo di drenaggio fino al tempo di ritorno duecentennale.

Viabilità in loc. Ponzano e Olivo: la realizzazione della viabilità parallelela alla S.G.C. FI-PI-LI compresa tra il cimitero dei Cappuccini e l'argine del Torrente Orme è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutti i seguenti interventi idraulici lungo il Torrente Orme:

1. cassa di espansione C_ORME3
2. cassa di espansione C_ORME4
3. chiusure idrauliche e adeguamenti arginali in sinistra idraulica tra le località Fornace e Bussotto, come meglio individuati nella tavola 7 e al precedente paragrafo 7.4
4. adeguamento dell'argine sinistro presso la località Moriana

L'attestazione di agibilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

Nuova strada di collegamento tra il nuovo svincolo FI-PI-LI. Empoli S. Maria e la rotonda di via dei Cappuccini: si confermano le seguenti condizioni di fattibilità già approvate nella precedente specifica variante urbanistica (deposito n.2987 del 25.05.12 con esito favorevole del n. 336726 del 14/12/201): il piano viario dovrà essere posto ad una quota non inferiore a 23.95 m slm nel tratto compreso dallo svincolo di Empoli centro fino al Rio di Sant'Anna; dovrà essere compensato attraverso lo scavo della vicina area di laminazione delle acque basse un volume di 5000 mc sottratto alla naturale esondazione; nella definizione del sistema di smaltimento delle acque meteoriche dovrà aversi cura di valutare gli effetti sulla rete di scolo esistente, in modo da evitare possibili effetti di sovraccarico a valle.

Infine si ricorda il rispetto dei disposti del R.D. 523/1904 e delle Norme Tecniche per le Costruzione e relativa Circolare Ministeriale per la progettazione di ponti e viadotti.

Parcheggio a servizio dell'ospedale: l'ampliamento del parcheggio, posto ad ovest della struttura ospedaliera, dovrà essere realizzato ad un quota minima di 24.0 m slm, provvedendo contestualmente alla realizzazione dell'area di laminazione S_ANNA1.

In alternativa la realizzazione del parcheggio è condizionata alla preventiva o contestuale realizzazione di tutte le seguenti opere:

1. chiusura idraulica in sinistra idraulica tra la S.P. n. 11 Pisana per Fucecchio (o Lucchese) e via Boccaccio
2. area di laminazione denominata S_ANNA1
3. opera di sfioro tra il Rio Sant'Anna e l'area di laminazione S_ANNA2
4. adeguamento in quota dell'opera di scarico in corrispondenza della sezione 381 del Fiume Arno.

L'attestazione di agibilità potrà essere rilasciata a seguito del collaudo di tutte le opere ovvero in presenza di un progetto definitivo approvato e finanziato e di un piano di protezione civile comunale per la gestione del rischio fino al completamento delle opere.

<u>Previsioni lungo il Fiume Elsa</u>

Dato atto che le verifiche idrauliche del Fiume Elsa hanno attestato la generale adeguatezza delle strutture arginali di contenimento, tuttavia non sono stati studiati gli affluenti del fiume che

attraversano la sua pianura alluvionale e sottopassano gli argini attraverso chiaviche o clapet. Pertanto eventuali nuove previsioni urbanistiche nella pianura alluvionale del fiume e in aree di potenziale esondazione o ristagno dei corsi d'acqua secondari, dovranno comunque essere supportate da specifiche verifiche idrauliche che diano conto sia delle condizioni idrologiche critiche dei singoli bacini, sia delle intermittenza di scolo per le piene del Fiume Elsa.

Nelle Tavole 8.1 e 8.2 sono riportati:
-i livelli idrici per eventi con tempi di ritorno Tr 200, Tr 100 e Tr 30 piena;
- i livelli di riferimenti per la messa in sicurezza che sono relativi ad eventi con tempi di ritorno Tr200;
- all'interno delle aree a pericolosità idraulica I3 sono comprese le zone di transito, definite al § 6.3, la cui quota topografica risulta superiore al livello idrico presente nella cella di riferimento. Per tali aree si assume un battente convenzionale di 30 cm sul piano campagna.

9 Misure di salvaguardia per l'attuazione degli interventi strutturali di riduzione del rischio idraulico

Per le aree nelle quale è prevista la realizzazione di interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico, come casse di espansione ,le aree di laminazione e nuovi inalveamenti, si propongono le seguenti misure di salvaguardia.

1. Le aree nelle quale è prevista la realizzazione di interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico, così come individuati nell'elaborato n.7, sono soggette a vincolo di inedificabilità assoluta e al divieto di alterazione morfologica dei terreni.
   In vincolo vige anche per l'installazione di manufatti stabili o precari di qualsiasi tipologia, ivi comprese le serre e i vivai.
2. Sono esclusi dal vincolo di cui al comma 1, purché non determinino un incremento del rischio idraulico e/o di esposizione allo stesso:
   a) gli interventi idraulici e di sistemazione ambientale atti a ridurre il rischio idraulico e a perseguire miglioramento ambientale;
   b) le opere di demolizione senza ricostruzione, di manutenzione ordinaria, straordinaria, di restauro, di risanamento conservativo, di ristrutturazione edilizia e di adeguamento igienico-sanitario riguardanti gli edifici esistenti che non comportino aumenti della superficie coperta, incremento del carico urbanistico e cambio di destinazione d'uso.

10 Conclusioni

Nel presente studio sono state eseguite le stime degli idrogrammi di piena e le verifiche idrauliche di alcuni corsi d'acqua che attraversano il territorio del Comune di Empoli. Sono stati presi in considerazione quindi i fiume Arno e Elsa, i torrenti Orme e Piovola, tutti i corsi d'acqua minori affluenti del Fiume Arno.

Non sono state invece analizzate le criticità dei sistemi fognari, sia in termini di intermittenza di scolo nel reticolo idrografico, sia di capacità di deflusso dei collettori stessi.

La valutazione dei risultati ottenuti dalle simulazione numeriche nelle attuali condizioni di assetto idraulico dei corsi d'acqua ha portato all'individuazione delle aree soggette a diversa pericolosità di allagamento con riferimento alla quote del modello digitale del terreno cluster 1x1, ove disponibile, e della cartografia tecnica 1:2.000 altrove (località Casenuove); le

pericolosità sono definite ai sensi del Piano di Assetto Idrogeologico, del D. Lgs. 49/2010 e del D.P.G.R.T. 53-R/2011 e mostrate nelle tavole allegate.

I risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche sono riportati nello specifico elaborato. Si allegato inoltre i files di calcolo in formato testo (Al.To.) e Hec-Ras.

Si sottolinea che per le aree soggette al contestuale allagamento sia del Fiume Arno che dei reticoli minori, le quote idriche di riferimento sono quelle stimate nei modelli idraulici di quest'ultimi in quanto tengono conto di entrambi i contributi.

Sono inoltre stati definiti gli interventi necessari alla messa in sicurezza del territorio e le condizioni di fattibilità idraulica delle previsioni urbanistiche comunali.

Bibliografia

[1] Autorità di Bacino del Fiume Arno, Piano di Bacino del Fiume Arno, Rischio idraulico, Sintesi del Progetto di Piano Stralcio, 5, luglio 1996.

[2] Autorità di Bacino del F. Arno, Perimetrazione delle aree a rischio sull'asta principale del fiume Arno e sugli affluenti nel tratto di rigurgito, Firenze, 1999.

[3] Autorità di Bacino del Fiume Arno, "Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)", Firenze, Maggio 2002

[4] Regione Toscana, Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana, a cura del PIN-Centro Studi Ingegneria Prato, Prato, 1998.

[5] Regione Toscana, Aggiornamento e sviluppo del sistema di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana, a cura del PIN-Centro Studi Ingegneria Prato, Prato, 2003.

[6] Chow V.T., Open Channel Hydraulics, McGraw Hill, New York, 1959.

[7] Marchi – Rubatta, Meccanica dei fluidi – Principi e applicazioni idrauliche, UTET, 1981.

[8] Rossi e Salvi, Manuale dell'Ingegnere Civile, Zanichelli, 1996.

[9] Maione, Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, Pavia, 1995

[10] Da Deppo, Datei, Saladin, Sistemazione dei corsi d'acqua, Libreria Cortina, Padova, 2000

[11] Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS: River Analysis System , User's Manual, Version 3.1, U.S. Army Corps of Engineering, 2001.

[12] Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS: River Analysis System , Hydraulic Reference Manual, Version 3.1, U.S. Army Corps of Engineering, 2001

[13] Studio di area vasta nel bacino del fiume Elsa, Circondario Empolese Valdelsa, 2004

[14] Studio del sistema fognario dell'abitato di Ponsano, Comune di Empoli, 1995