



COMUNE DI
CAPRAIA E LIMITE

*Studio idrologico e idraulico di supporto al
Piano Operativo Comunale del
Comune di Capraia e Limite*

CODICE:

R.03

ELABORATO:

Relazione idraulica

SCALA

-

WEST
Systems

West Systems s.r.l.

Viale Donato Giannotti, 24 - 50126 - FI

Sistema qualità certificato da:



UNI EN ISO 9001:2015 - Qualità - n.14779

OHSAS 18001:2007 - Sicurezza sui Luoghi di Lavoro - n.14796

UNI EN ISO 14001:2015 - Ambiente - n.19450

PROGETTISTA:

Ing. David Settesoldi

COLLABORATORI TECNICI:

Ing. Giulio Sommani
Ing. Francesco Valtancoli
Geom. Daniele Natali
Geom. Francesco Matteini

COMMITTENTE:

**COMUNE DI CAPRAIA E
LIMITE**

Piazza VIII Marzo 1944, 9
50050 Capraia e Limite (FI)
Tel. 0571 97811

05					
04					
03					
02					
01	REVISIONE				
00	EMISSIONE	30/08/2021	Ing. Francesco Valtancoli	Dott. Silvia Angelini	Ing. David Settesoldi
NUM.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Articolazione dello studio	5
2	IL QUADRO CONOSCITIVO	6
2.1	Gli studi esistenti.....	6
2.2	I dati territoriali	7
2.3	I rilievi topografici	7
2.4	Dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale	7
3	ANALISI IDROLOGICA	8
4	ANALISI IDRAULICA	9
4.1	Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio.....	9
4.2	Gli elementi del modello idraulico	10
4.3	Aree bidimensionali	11
4.4	Durate verifiche idrauliche.....	16
4.5	Parametri del modello idraulico.....	16
4.5.1	<i>Condizioni al contorno di monte e contributi idrologici.....</i>	<i>16</i>
4.5.2	<i>Condizioni al contorno di valle</i>	<i>16</i>
4.5.3	<i>Connessioni idrauliche</i>	<i>16</i>
4.5.4	<i>Scabrezze dei corsi d'acqua</i>	<i>16</i>
4.5.5	<i>Passo temporale e durata della modellazione.....</i>	<i>16</i>
5	RISULTATI	17
5.1	Perimetrazione della pericolosità idraulica.....	18
5.2	Perimetrazione della magnitudo idraulica.....	18
5.3	Ambiti territoriali morfologicamente sfavoriti.....	19
5.4	Aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni.....	20

ELENCO FIGURE

Figura 4.1 –Planimetria della copertura del suolo.	14
---	----

ELENCO TABELLE

Tabella 4-1 – Elenco dei corsi d’acqua del modello 1.....	9
Tabella 4-2 – Elenco dei corsi d’acqua del modello 2.....	9
Tabella 4-3 – Elenco dei corsi d’acqua del modello 3.....	9
Tabella 4-4 – Elenco dei corsi d’acqua del modello 4.....	9
Tabella 4-5 – Elenco dei corsi d’acqua del modello 5.....	10
Tabella 4-6 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 1.....	12
Tabella 4-7 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 2.....	12
Tabella 4-8 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 3.....	12
Tabella 4-9 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 4.....	12
Tabella 4-10 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 5.....	12
Tabella 4-11 – Scabrezze aree bidimensionali.....	15

1 PREMESSA

La società West Systems S.r.l. è stata incaricata dal Comune di Capraia e Limite della redazione di uno studio idrologico e idraulico finalizzato all'aggiornamento dei dati relativi al rischio idraulico a supporto dell'elaborazione del nuovo Piano Operativo Comunale.

Il Comune di Capraia e Limite con Delibera di Giunta n.70 del 23/10/2019 ha dato l'avvio al procedimento di formazione del Piano Operativo Comunale (P.O.C.).

Il P.O.C. è il nuovo strumento della pianificazione urbanistica (in sostituzione del vigente Regolamento Urbanistico Comunale) che sarà redatto in coerenza con gli obiettivi del redigente Piano Strutturale Intercomunale (Associazione dei Comuni di Empoli, Montelupo Fiorentino, Vinci, Cerreto Guidi, Capraia e Limite), e andrà a disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia di tutto il territorio comunale.

Il presente studio viene redatto in ottemperanza a quanto previsto dal D.P.G.R. 5/R/2020, dalla L.R. 41/2018 e dal P.G.R.A. (Piano di Gestione Rischio Alluvioni) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

In particolare, gli ambiti di natura idrologico e idraulica oggetto di approfondimento dello studio sono:

- utilizzo delle nuove curve di possibilità pluviometrica sviluppate dall'Università degli Studi di Firenze per conto della Regione Toscana con i dati aggiornati fino al 2012;
- implementazione di un modello idraulico bidimensionale sui corsi d'acqua interferenti con le aree urbanizzate o con le nuove previsioni urbanistiche per la valutazione della pericolosità idraulica.

La Regione Toscana a seguito degli eventi alluvionali del 2011 ha commissionato all'Università degli Studi di Firenze uno studio di supporto alla valutazione del rischio idraulico sul territorio regionale.

Nell'ambito della *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B1 – Regionalizzazione precipitazioni* sono state aggiornate le curve di possibilità pluviometrica con i dati fino al 2012. Nell'ambito della *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic* sono state calcolate le caratteristiche idrologiche dei suoli della Toscana.

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato. Nel caso specifico il corso d'acqua Arno ricade, ovviamente, nel reticolo principale.

La modellistica idrologica adottata (software PIENE 4.13) è costituita da un modello a parametri distribuiti che utilizza le mappe e le curve di possibilità pluviometrica prodotte dall'Università degli Studi di Firenze.

La modellistica idraulica (software HEC-RAS 6.0.0) è costituita da un modello idraulico in moto vario monodimensionale sulle aste fluviali e bidimensionale nelle aree inondabili.

Le verifiche idrauliche sono condotte in riferimento ai corsi d'acqua:

- Borro dei Diavoli;
- Borro del Pescaione;
- Borro della Badia;
- Borro di Forraccia;
- Rio Botricello;
- Rio dei Morticini;
- Rio dei Tassi;
- Rio dell'Olmo;
- Rio di Ratto;
- Rio Granchiaia;
- Rio Guidi.

Per tali corsi d'acqua sono redatte le mappe di pericolosità idraulica da modellazione ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020 e del P.G.R.A..

La mappatura della pericolosità idraulica delle aree esterne al perimetro del territorio urbanizzato è condotta su base morfologica e storico inventariale come previsto al punto C.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. 5/R/2020.

I corsi d'acqua non studiati idraulicamente e perimetrali su base morfologica e storico inventariale sono:

- Borro della Fonte;
- Borro della Motaccia;
- Rio del Marchese;
- Rio Marruca;
- tratti a monte del reticolo soggetto a modellazione numerica (i.e. Borro dei Diavoli; Borro del Pescaione; Borro della Badia; Borro di Forraccia; Rio Botricello; Rio dei Morticini; Rio dei Tassi; Rio dell'Olmo; Rio di Ratto; Rio Granchiaia; Rio Guidi).

Lo studio ha fornito in formato shapefile:

- perimetro dell'area di studio;
- reticolo idrografico di studio;
- traccia delle sezioni idrografiche utilizzate nei modelli idraulici;
- perimetro delle aree allagate per i vari tempi di ritorno;
- perimetro della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020;
- perimetro della pericolosità idraulica ai sensi del P.G.R.A.;
- perimetro della magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018;
- aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni e aree morfologicamente sfavorite al di fuori delle aree urbanizzate;

e in formato raster i risultati delle elaborazioni idrauliche all'interno del territorio comunale:

- mappa dei battenti idrometrici delle esondazioni;
- mappa delle velocità di propagazione delle esondazioni.

1.1 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Nella presente relazione idraulica si riportano la metodologia ed i risultati ottenuti, secondo la seguente articolazione:

FASE 1 - definizione del quadro conoscitivo: in tale fase sono acquisiti ed esaminati gli studi, la documentazione e i dati disponibili riguardanti il reticolo idrografico considerato.

FASE 2 – analisi idrologica: per il sistema idrografico considerato sono valutate le portate al colmo e gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate di 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 e 5 ore.

FASE 3 – analisi idraulica: la modellazione degli eventi di piena è eseguita attraverso un modello unidimensionale di moto vario, per la stima dei livelli idrici nelle sezioni fluviali e delle eventuali insufficienze idrauliche, accoppiato ad un modello bidimensionale per la stima dei battenti di esondazione all'interno del territorio comunale. Le verifiche idrauliche sono condotte per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate di 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 e 5 ore.

FASE 4 – valutazione delle aree inondabili, della pericolosità idraulica e della magnitudo idraulica: sulla base dei battenti idrici ottenuti dal modello bidimensionale sono individuate le aree inondabili, le aree a diversa pericolosità ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020 e del P.G.R.A. e la magnitudo idraulica ai sensi della L.R 41/2018.

Nella presente relazione si descriveranno le attività relative all'analisi idraulica e alla conseguente valutazione delle aree inondabili, della pericolosità idraulica e della magnitudo idraulica. Viene riportata anche la procedura per l'individuazione degli ambiti territoriali morfologicamente sfavoriti al di fuori del contesto urbano e quella per l'individuazione delle aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni.

2 IL QUADRO CONOSCITIVO

2.1 GLI STUDI ESISTENTI

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

- [1] COMUNE DI VINCI *“Studio idraulico a supporto al piano strutturale relativo ai corsi d’acqua Torrente Streda, Rio Marcarro, Rio S. Ansano e Rio dei Morticini”*, redatto da A4 Ingegneria Studio Tecnico Associato.
- [2] COMUNE DI CAPRAIA E LIMITE *“Piano Strutturale”* del Novembre 1999, redatto da arch. Roberto Montagni e arch. Mara Magnani;
- [3] COMUNE DI CAPRAIA E LIMITE *“Regolamento Urbanistico”* del Novembre 2002, redatto da arch. Roberto Montagni, arch. Mara Magnani, geom. Stefano Falorni, Maura Cecchi, dott. Eros Aiello, dott. Franco Grandini e ing. Enrico Galligani.

Il presente studio idrologico ha fatto riferimento, inoltre, ai seguenti studi:

- [4] *“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni”*, studio redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Caporali E., Chiarello V. e Rossi G., marzo 2014);¹
- [5] *“Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota”* redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Castelli F., novembre 2014) ²;
- [6] *“Caratterizzazione idrologica dei suoli della Toscana per il Modello MOBIDIC - Macroattività B - Modellazione idrologica - Attività B2”* nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze (Lorenzo Gardin).

¹ I risultati dell'Analisi di Frequenza Regionale sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana:

http://www.regione.toscana.it/cittadini/ambiente/difesa-del-suolo/-/asset_publisher/eonjZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni

² I parametri e i risultati derivanti dall'implementazione del modello idrologico distribuito per il territorio toscano sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana:

<http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>

2.2 I DATI TERRITORIALI

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

- [1] Cartografia C.T.R. 1:10.000 in formato vettoriale;
- [2] Cartografia C.T.R. 1:2.000 in formato vettoriale;
- [3] Rilievi Lidar (dtm) con passo 1x1 m fornito dalla Regione Toscana;
- [4] Dtm con passo 10x10 m fornito dalla Regione Toscana.

2.3 I RILIEVI TOPOGRAFICI

Le sezioni fluviali sono state ricavate dalla seguente fonte:

- Le sezioni fluviali del Rio dei Morticini sono ricavate dallo studio redatto da A4 Ingegneria Studio Tecnico Associato datato aprile 2013 [1].

Infine, nel corso del presente studio è stata eseguita una campagna topografica per integrare il quadro conoscitivo esistente.

In particolare sono state rilevate le seguenti sezioni fluviali (le tracce sono riportate nell'elaborato T.02b):

- 9 sezioni fluviali per il Borro dei Diavoli;
- 35 sezioni fluviali per il Borro del Pescaione;
- 8 sezioni fluviali per il Borro della Badia;
- 10 sezioni fluviali per il Borro di Forraccia;
- 20 sezioni fluviali per il Rio Botricello;
- 6 sezioni fluviali per il Rio dei Tassi;
- 14 sezioni fluviali per il Rio dell'Olmo;
- 31 sezioni fluviali per il Rio di Ratto;
- 9 sezioni fluviali per il Rio Granchiaia;
- 21 sezioni fluviali per il Rio Guidi.

2.4 DATI AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

Sono stati forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale i risultati delle simulazioni idrauliche del fiume Arno condotte con il *software* Hec-Ras lungo il tratto in cui il corso d'acqua costeggia il territorio comunale di Capraia e Limite estratti in un file DSS.

I dati utilizzati sono relativi agli idrogrammi dei livelli idrometrici calcolati nelle sezioni trasversali del fiume Arno nel tratto tra la sezione 456 e la sezione 396 comprese, per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 6, 12, 18 e 24 e 36 ore con passo di aggregazione di 1 ora.

3 ANALISI IDROLOGICA

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per i bacini oggetto del presente studio.

Le condizioni di portata sono state determinate con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200 e varie durate in funzione della durata critica dei corsi d'acqua studiati.

I sottobacini idrografici e le relative immissioni nel sistema idraulico sono riportati nell'elaborato T.01.

L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti, denominato PIENE, che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un *set* di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

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

Per una descrizione completa del modello, dei parametri adottati e delle fasi computazionali dell'analisi idrologica si rimanda allo specifico elaborato R.02.

Di seguito si ricorda che:

- le curve di possibilità pluviometrica sono quelle dello studio di approfondimento condotto dall'Università di Firenze che utilizza i dati pluviometrici aggiornati al 2012;
- le basi dati cartografiche in formato digitale (*raster*), sono costituite da:
 - modello digitale del terreno con maglia 10×10 m;
 - mappa della capacità di ritenuta (GRAV – contenuto di acqua gravimetrica);
 - mappa della velocità di filtrazione a saturazione (percolazione) (KSAT-150 conducibilità satura intero suolo).
- i tempi di trasferimento sono valutati secondo il legame funzionale $v = 1.85 A^{0.15} J^{0.2}$, in cui v è la velocità di trasferimento [m/s], A l'area del bacino [km²] e J la pendenza locale della rete.

4 ANALISI IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state condotte con un modello idraulico di moto vario misto mono-bidimensionale.

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

4.1 DEFINIZIONE DEI CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO

Ai fini della stabilità numerica del modello e del contenimento dei tempi di calcolo è stato necessario suddividere il reticolo idrografico di studio in 5 differenti sottosistemi.

Questi sono così composti:

- modello 1: contenente il Rio Morticini;
- modello 2: contenente il Rio Botricello, il Rio Pescaione e il Rio Ratto;
- modello 3: contenente il Rio Granchiaia e il Borro della Badia;
- modello 4: contenente il Borro di Forraccia e il Borro dei Diavoli;
- modello 5: contenente il Rio Olmo, il Rio Guidi e il Rio dei Tassi.

Nelle tabelle seguenti sono indicati, per ciascun sottosistema, il nome del corso d'acqua, il numero di sezioni utilizzate (escluse le interpolazioni) e la lunghezza complessiva del tratto verificato.

Le planimetrie delle sezioni fluviali utilizzate, del modello digitale del terreno, delle condizioni al contorno sul dominio di calcolo e delle immissioni idrologiche sono riportate negli elaborati T.01 e T.02b.

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Rio Morticini	70	3991

Tabella 4-1 – Elenco dei corsi d'acqua del modello 1

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Rio Botricello	20	920
Rio Pescaione	35	1150
Rio Ratto	31	945

Tabella 4-2 – Elenco dei corsi d'acqua del modello 2

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Rio Granchiaia	9	217
Borro della Badia	8	236

Tabella 4-3 – Elenco dei corsi d'acqua del modello 3

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Borro di Forraccia	10	186
Borro dei Diavoli	9	409

Tabella 4-4 – Elenco dei corsi d'acqua del modello 4

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Rio Olmo	14	640
Rio Guidi	21	806
Rio dei Tassi	6	168

Tabella 4-5 – Elenco dei corsi d'acqua del modello 5

4.2 GLI ELEMENTI DEL MODELLO IDRAULICO

Il sistema idraulico del modello 1 è descritto da:

- n. 1 tronco fluviale (Rio Morticini schematizzato con tronco "Morticini");
- n. 0 confluenze;
- n. 70 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate);
- n. 2 aree bidimensionali (Area_Dx; Area_Sx);
- n. 30 connessioni idrauliche il corso d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 12 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua;
- n. 2 condizioni al contorno sul contorno delle aree bidimensionali.

Per la modellazione del comportamento della cassa di espansione presente sul Rio Morticini si è fatto riferimento a quanto fatto nello studio idraulico a supporto del P.S. del Comune di Vinci [1]. In corrispondenza della bocca di scarico di forma rettangolare è posizionata una paratoia mobile sollevabile meccanicamente fino a 2 m al di sopra del fondo della bocca (quota a paratoia chiusa 32.15 m s.l.m.).

Le verifiche sono state effettuate ipotizzando la paratoia mobile chiusa, condizione che ne ottimizza il funzionamento.

Il sistema idraulico del modello 2:

- n. 3 tronchi fluviali (Rio Botricello schematizzato con tronco "Botricello"; Rio Pescaione schematizzato con tronco "Pescaione"; Rio Ratto schematizzato con tronco "Ratto")
- n. 0 confluenze;
- n. 86 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate);
- n. 4 aree bidimensionali (Area_01; Area_02; Area_03; Area_04);
- n. 30 connessioni idrauliche tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 10 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua;
- n. 4 condizioni al contorno sul contorno delle aree bidimensionali.

Il sistema idraulico del modello 3:

- n. 2 tronchi fluviali (Rio Granchiaia schematizzato con tronco "Granchiaia"; Borro della Badia schematizzato con tronco "Affluente_Badia");
- n. 0 confluenze;
- n. 17 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate);
- n. 3 aree bidimensionali (Area_1; Area_2; Area_3);
- n. 8 connessioni idrauliche tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 2 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua;
- n. 3 condizioni al contorno sul contorno delle aree bidimensionali.

Il sistema idraulico del modello 4:

- n. 2 tronchi fluviali (Borro di Forraccia schematizzato con tronco "Forraccia"; Borro dei Diavoli schematizzato con tronco "Diavoli");

- n. 0 confluenze;
- n. 19 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate);
- n. 3 aree bidimensionali (Area_1; Area_2; Area_3);
- n. 8 connessioni idrauliche tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 2 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua;
- n. 3 condizioni al contorno sul contorno delle aree bidimensionali.

Il sistema idraulico del modello 5:

- n. 4 tronchi fluviali (Rio Olmo schematizzato con tronco "Olmo"; Rio Guidi diviso e schematizzato con tronchi "Guidi" e "Guidi_valle"; Rio dei Tassi schematizzato con tronco "Guidi_affl_2");
- n. 1 confluenze;
- n. 41 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate);
- n. 3 aree bidimensionali (Area_04; Area_05; Area_06);
- n. 16 connessioni idrauliche tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 8 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua;
- n. 3 condizioni al contorno sul contorno delle aree bidimensionali.

Al fine di disporre dei battenti idrometrici e delle velocità di esondazione dovute alle insufficienze del fiume Arno è stato necessario implementare un modello idraulico bidimensionale per lo studio della modalità di propagazione delle inondazioni valutate dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Per l'analisi del sistema Arno sono state introdotte delle immissioni nel dominio 2D calcolate a partire da condizioni al contorno poste sull'asse dell'alveo del fiume Arno in termini di idrogrammi dei livelli idrometrici stimati in corrispondenza delle sezioni fluviali del fiume Arno.

Il sistema idraulico del fiume Arno è descritto da:

- n. 1 area bidimensionale (Area_1);
- n. 12 connessioni idrauliche rappresentanti manufatti significativi presenti nelle aree di potenziale esondazione. Tra queste vi è la portella posizionata in corrispondenza dell'immissione del Rio Olmo in Arno;
- n. 52 condizioni al contorno in termini di idrogrammi dei livelli idrometrici forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale;
- n. 1 condizione interna in termini di idrogrammi di portata per modellare il Rio Olmo in maniera puramente bidimensionale.

All'innalzamento dei livelli idrometrici in Arno durante un evento di piena la portella sul Rio Olmo si chiude impedendo lo scarico del suddetto affluente che rigurgitando potrebbe provocare esondazioni nelle aree adiacenti. Per tenerne conto sono inseriti il Rio Olmo e la portella di scarico anche nel modello bidimensionale dell'Arno oltre che nella modellazione riguardante gli affluenti.

4.3 AREE BIDIMENSIONALI

Il modello digitale del terreno, utilizzato come base per la modellazione bidimensionale, è ottenuto a partire dal modello digitale con passo 1x1 m (messo a punto nell'ambito del progetto Lidar) fornito dalla Regione Toscana.

Le maglie di calcolo per la modellazione bidimensionale sono costituite da maglie non strutturate realizzate tramite il *software* Hec-Ras 6.0.0.

Le dimensioni degli elementi della maglia sono state definite in funzione del grado di dettaglio che si desidera ottenere dalle simulazioni compatibilmente con i tempi di calcolo e in funzione della complessità della morfologia del territorio.

In particolare, è stato definito un valore medio di 25 m².

Nelle aree bidimensionali sono state introdotte delle *break-lines* per rappresentare le principali discontinuità.

Le principali caratteristiche del dominio di calcolo bidimensionale dei modelli sono indicate nelle tabelle riportate di seguito.

Per ciascuna maglia di calcolo il software Hec-Ras 6.0.0 calcola la legge di invaso e le scale di deflusso su ciascuna faccia di bordo della cella a partire dal modello digitale del terreno.

Nome area bidimensionale	Celle [#]	Superficie [ha]
Area_Dx	131848	327.6
Area_Sx	71221	176.5

Tabella 4-6 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 1

Nome area bidimensionale	Celle [#]	Superficie [ha]
Area_01	35498	88.1
Area_02	17432	42.9
Area_03	15928	38.7
Area_04	22177	53.9

Tabella 4-7 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 2

Nome area bidimensionale	Celle [#]	Superficie [ha]
Area_1	1615	3.8
Area_2	3454	8.3
Area_3	1320	3.4

Tabella 4-8 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 3

Nome area bidimensionale	Celle [#]	Superficie [ha]
Area_1	1720	4.1
Area_2	4078	9.9
Area_3	3382	8.1

Tabella 4-9 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 4

Nome area bidimensionale	Celle [#]	Superficie [ha]
Area_04	22177	53.9
Area_05	9836	23.9
Area_06	16184	39.7

Tabella 4-10 – Caratteristiche aree bidimensionali del modello 5

Il coefficiente di scabrezza di Manning per le aree a deflusso bidimensionale è attribuito in funzione dell'uso e della copertura del suolo ottenuto dalla cartografia tecnica regionale (Figura 4.1).

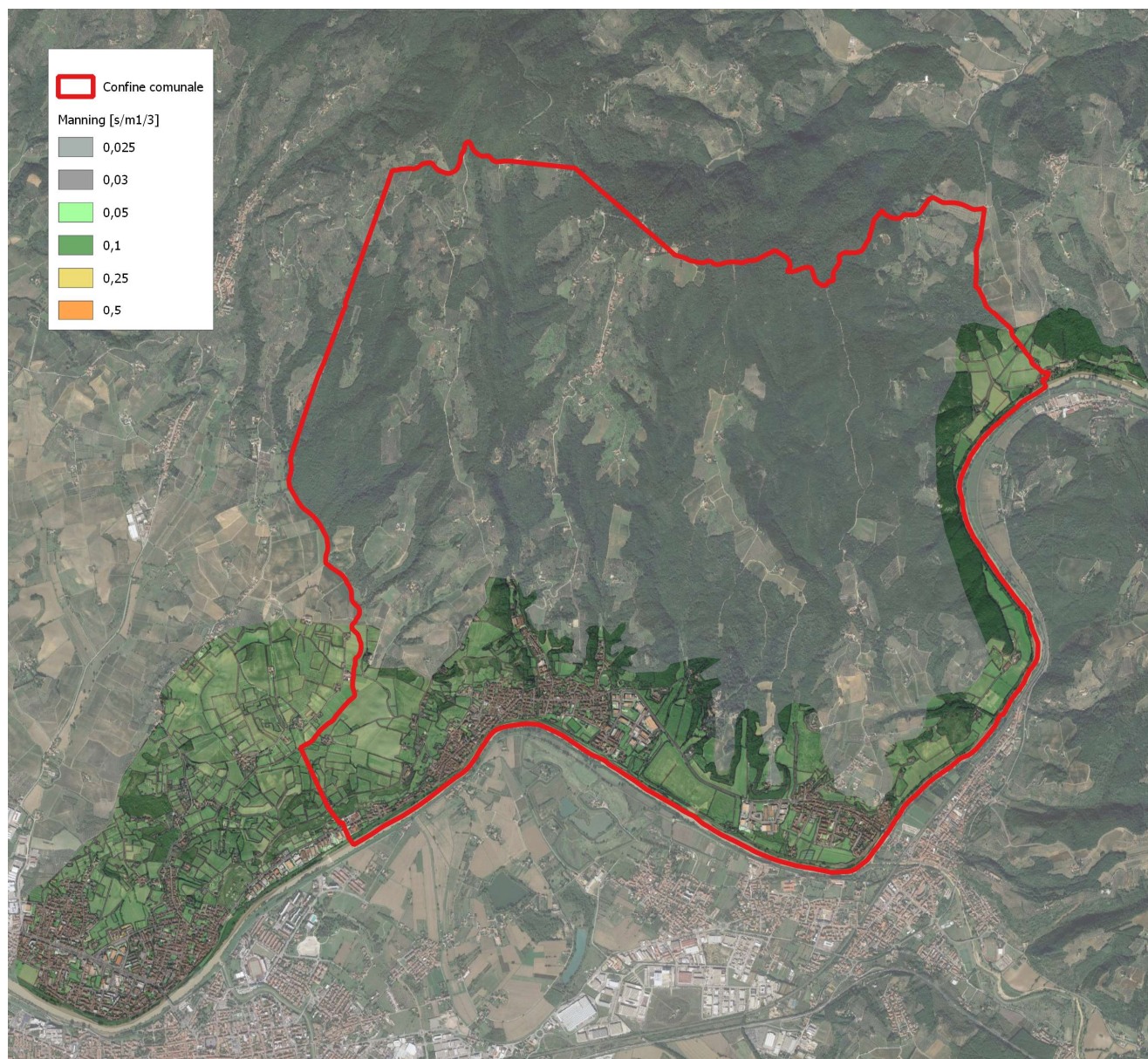


Figura 4.1 –Planimetria della copertura del suolo.

Le classi con cui è suddiviso il territorio con il relativo valore di scabrezza sono riportate nella Tabella 4-11.

Classe	Manning [s/m ^{1/3}]
Strade	0.025
Strade secondarie	0.030
Ferrovie	0.050
Edifici	0.500
Annessi	0.500
Manufatti industriali	0.500
Manufatti civili	0.250
Aree attrezzate	0.050
Manufatti stadali	0.030
Zone residenziali a tessuto continuo	0.050
Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.050
Pertinenza abitativa, edificato sparso	0.030
Aree industriali e commerciali	0.050
Impianti fotovoltaici	0.050
Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	0.025
Strade in aree boscate	0.030
Aree estrattive	0.100
Discariche, depositi di rottami	0.100
Cantieri, edifici in costruzione	0.100
Aree verdi urbane	0.050
Cimiteri	0.250
Aree ricreative e sportive	0.050
Seminativi irrigui e non irrigui	0.050
Serre stabili	0.250
Vigneti	0.050
Frutteti e frutti minori	0.050
Arboricoltura	0.050
Oliveti	0.050
Prati stabili	0.050
Colture temporanee associate a colture permanenti	0.050
Sistemi colturali e particellari complessi	0.050
Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.050
Boschi di latifoglie	0.100
Boschi di conifere	0.100
Boschi misti di conifere e latifoglie	0.100
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	0.100
Paludi interne	0.030
Corsi di acqua, canali e idrovie	0.030
Specchi di acqua	0.030

Tabella 4-11 – Scabrezze aree bidimensionali.

4.4 DURATE VERIFICHE IDRAULICHE

Le durate investigate per i 5 modelli idraulici simulati sono 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 e 5 ore, range di durate critiche per i corsi d'acqua studiati.

4.5 PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

4.5.1 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE E CONTRIBUTI IDROLOGICI

La condizione al contorno di monte, in termini di idrogrammi di portate, è assegnata nella prima sezione di monte di ciascun corso d'acqua.

Gli idrogrammi di piena sono ricavati dai risultati dell'analisi idrologica per ogni tempo di ritorno e per ogni durata dell'evento di pioggia (vedere Capitolo 3 e elaborato R.02).

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

4.5.2 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Per le modellazioni idrauliche oggetto del presente studio sono state utilizzate come condizioni al contorno di valle le altezze liquide di moto uniforme.

4.5.3 CONNESSIONI IDRAULICHE

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

In taluni casi è stato necessario sopraelevare localmente le quote degli sfioratori collegati ad aree bidimensionali al fine di rispettare la congruità con la quota della cella di arrivo.

Il coefficiente di stramazzo degli sfioratori laterali sono stati assunti pari a 1 nel caso di rilevati arginali e 0.5 nel caso di strutture non sopraelevate rispetto al terreno.

4.5.4 SCABREZZE DEI CORSI D'ACQUA

Il valore del parametro di scabrezza (espressa come coefficiente di *Manning*) è assunto pari a $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ per tutti i corsi d'acqua analizzati.

4.5.5 PASSO TEMPORALE E DURATA DELLA MODELLAZIONE

La durata complessiva degli eventi simulati varia a seconda del sistema studiato e in funzione dell'evento modellato.

Il passo temporale adottato nelle simulazioni degli eventi di piena è di 1 secondo.

5 RISULTATI

Le verifiche idrauliche sono condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti ed applicata ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e varie durate in funzione della durata critica dei corsi d'acqua studiati.

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

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico (modello monodimensionale);
- battenti di esondazione e velocità di propagazione nelle maglie di calcolo (modello bidimensionale);
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree.

Obiettivo delle suddette verifiche è quello di valutare i battenti massimi (inviluppo) di piena raggiunti nel territorio comunale in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni e la conseguente inondabilità delle suddette aree.

Nell'elaborato A.01 sono riportati i tabulati delle verifiche idrauliche dei corsi d'acqua studiati.

Nell'elaborato A.02 e A.03 sono riportati rispettivamente i profili longitudinali dell'alveo e le sezioni trasversali, con le quote arginali e le altezze idrometriche dei corsi d'acqua studiati con i massimi livelli idrici valutati per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le varie durate.

Negli elaborati T.03a e T.03b sono riprodotti i battenti di esondazione massimi per il tempo di ritorno di 30 anni rispettivamente per il sistema idraulico del fiume Arno e per il sistema idraulico degli affluenti, mentre nell'elaborato T.03c è rappresentato l'inviluppo tra i due.

Negli elaborati T.04a e T.04b sono riprodotti i battenti di esondazione massimi per il tempo di ritorno di 200 anni rispettivamente per il sistema idraulico del fiume Arno e per il sistema idraulico degli affluenti, mentre nell'elaborato T.04c è rappresentato l'inviluppo tra i due.

Negli elaborati T.05a e T.05b sono riprodotte le velocità massime di propagazione per il tempo di ritorno di 30 anni rispettivamente per il sistema idraulico del fiume Arno e per il sistema idraulico degli affluenti, mentre nell'elaborato T.05c è rappresentato l'inviluppo tra i due.

Negli elaborati T.06a e T.06b sono riprodotte le velocità massime di propagazione per il tempo di ritorno di 200 anni rispettivamente per il sistema idraulico del fiume Arno e per il sistema idraulico degli affluenti, mentre nell'elaborato T.06c è rappresentato l'inviluppo dei due.

I battenti e le velocità di esondazione nelle aree contermini al fiume Arno sono desunti dai risultati ottenuti nelle presenti verifiche idrauliche condotte a partire dai dati forniti dall'Autorità di Bacino.

L'estensione delle esondazioni differisce da quella individuata nel P.G.R.A. per la differente schematizzazione numerica.

La perimetrazione adottata per le aree inondabili risulta modificata rispetto a quella del P.G.R.A. in seguito all'aggiornamento delle inondazioni sia del fiume Arno che del reticolo minore affluente.

5.1 PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Le aree inondabili sono tracciate a partire dalle mappe dei battenti per tempi di ritorno 30 e 200 anni. Tramite una procedura in ambito GIS le mappe raster sono ripulite eliminando i poligoni isolati aventi un'area inferiore a 100 m² (valore di soglia scelto).

Le aree inondabili sono riportate nell'elaborato T.07.

A partire dalla mappa delle aree inondabili sono state predisposte le mappe della pericolosità idraulica come definita dal D.P.G.R. n.5/R/2020 (elaborato T.08):

- P3 - pericolosità per alluvioni frequenti come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018 corrispondenti alle aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità per alluvioni elevata;
- P2 - pericolosità per alluvioni poco frequenti come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera e) della l.r.41/2018 corrispondenti alle aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media;
- P1 – pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010.

Analogamente sono state create le mappe della pericolosità idraulica come definita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale ai sensi del P.G.R.A. (elaborati T.09):

- P.3 aree con elevata probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- P.2 aree con media probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- P.1 aree con bassa probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

Le aree P.1 ai sensi del 5/R e del PGRA, derivano dalle aree inondate per il tempo di ritorno 500 anni.

Come già detto nel paragrafo precedente, queste risultano modificate rispetto a quella in vigore del P.G.R.A. in seguito all'aggiornamento delle inondazioni sia del fiume Arno che del reticolo minore affluente.

5.2 PERIMETRAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA

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

Le aree inondate sono suddivise in tre classi di magnitudo:

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

5.3 AMBITI TERRITORIALI MORFOLOGICAMENTE SFAVORITI

La pericolosità idraulica al di fuori del territorio urbanizzato è stata definita come previsto al punto B4 *Elementi per la valutazione degli aspetti idraulici* dell'Allegato A al D.P.G.R. 5/R/2020. Al punto B4 si legge:

“Al di fuori del territorio urbanizzato, in presenza di aree non riconducibili alle mappe di pericolosità da alluvione ed in assenza di studi idrologici idraulici, sono comunque definiti gli ambiti territoriali di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.”

Tale indagine è stata condotta sui seguenti corsi d'acqua:

- Borro della Fonte;
- Borro della Motaccia;
- Rio del Marchese;
- Rio Marruca;
- tratti a monte del reticolo soggetto a modellazione numerica (i.e. Borro dei Diavoli; Borro del Pescaione; Borro della Badia; Borro di Forraccia; Rio Botricello; Rio dei Morticini; Rio dei Tassi; Rio dell'Olmo; Rio di ratto; Rio Granchiaia; Rio Guidi).

La morfologia del terreno è stata ricavata da un modello digitale del terreno messo punto sulla base del rilievo Lidar e, dove mancante, dalla CTR 10k, dal quale è stata estratta mediamente una sezione ogni 50 m. Per ciascuna sezione sono stati individuati l'alveo inciso, i cigli di sponda e le aree poste a quota inferiore rispetto a 2.0 m.

Nel caso non fosse disponibile il Lidar il ciglio di sponda è stato definito a 1.0 m di altezza rispetto al punto più depresso della sezione.

Gli ambiti territoriali di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole così individuati sono riportati nell'elaborato T.11.

5.4 AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI PER IL CONTENIMENTO DELLE ALLUVIONI

Le aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni sono definite dall'articolo 2, comma 1, lettera s) della L.R. 41/2018:

“Aree presidiate da sistemi arginali: aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine. Il limite esterno di tale aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.”

La mappatura di queste aree è stata effettuata tramite procedura GIS con l'ausilio del rilievo Lidar ed è riportata nell'elaborato T.11.