

PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE

COMUNE DI CASTELLINA IN CHIANTI - COMUNE DI RADDA IN CHIANTI

- Provincia di Siena -



SINDACO E ASSESSORE ALL'URBANISTICA DEL COMUNE DI CASTELLINA IN CHIANTI

Marcello Bonechi

SINDACO DEL COMUNE DI RADDA IN CHIANTI

Pierpaolo Mugnaini

ASSESSORE ALL'URBANISTICA DEL COMUNE DI RADDA IN CHIANTI

Daniele Barbucci

GARANTE DELL'INFORMAZIONE E PARTECIPAZIONE

Lorenza Faleri (fino al 13/02/2020)
Roberto Gamberucci (fino al 20/01/2021)
Alessandra Capaccioli (dal 21/01/2021)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Alessandra Bellini (fino a giugno 2019)
Alberto Sardelli (fino a ottobre 2020)
Roberto Gamberucci (da ottobre 2020)

UFFICIO DI PIANO ASSOCIATO

Francesco Antonelli
Federico Betti
Grazia Calosi
Cesare Castelli
Carlo Gagliardi
Claudio Pieri

PROGETTISTA

Michela Chiti

Collaboratori

Lorenzo Bartali
Giulio Galletti
Sara Piancastelli
Alessio Tanganelli

ASPETTI AGRONOMICI

Guido Franchi
Federico Martinelli

Collaboratore

Irene Giannelli

ASPETTI GEOLOGICI

Duccio Losi

Collaboratore

Duccio Notari

ASPETTI IDRAULICI

Hydrogeo Ingegneria Srl
Giacomo Gazzini

ASPETTI SOCIO ECONOMICI

Terre di Siena Lab Srl
Alessio Bucciarelli
Massimo Ianniciello

Adozione

Approvazione

RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA

IDR00A

Gennaio 2023

INDICE GENERALE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 5 |
| 2. AREA D'INDAGINE E QUADRO CONOSCITIVO | 6 |
| 2.1 RETICOLO IDROGRAFICO E DI GESTIONE L.R. 79/2012..... | 6 |
| 2.2 CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO | 6 |
| 2.3 DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO | 8 |
| 3. APPROCCIO METODOLOGICO | 9 |
| 4. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 01 – TORRENTE PESA ED AFFLUENTI | 10 |
| 4.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO..... | 10 |
| 4.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO | 10 |
| 4.2.1 CODIFICA DEI BACINI..... | 10 |
| 4.2.2 Modello idrologico implementato | 12 |
| 4.2.3 Sollecitazioni pluviometriche..... | 13 |
| 4.2.4 Idrogrammi di piena | 16 |
| 4.3 VERIFICHE IDRAULICHE | 19 |
| 4.3.1 Caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua e delle aree di interesse | 19 |
| 4.3.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico | 19 |
| 4.3.3 Verifiche Idrauliche implementate..... | 22 |
| 4.3.4 Risultati | 22 |
| 5. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 02 – FOSSO DI FONTERCOLI | 23 |
| 5.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO..... | 23 |
| 5.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO | 23 |
| 5.2.1 Modello idrologico implementato | 23 |
| 5.2.2 Sollecitazioni pluviometriche..... | 24 |
| 5.2.3 Idrogrammi di piena | 24 |
| 5.3 VERIFICHE IDRAULICHE | 25 |
| 5.3.1 Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e dell'aree di interesse | 25 |
| 5.3.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico | 26 |
| 5.3.3 Verifiche Idrauliche implementate..... | 26 |
| 5.3.4 Risultati | 26 |
| 6. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 03 – FOSSO DELLA CASUCCIA | 27 |
| 6.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO..... | 27 |
| 6.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO | 27 |
| 6.2.1 Modello idrologico implementato | 27 |
| 6.2.2 Sollecitazioni pluviometriche..... | 28 |
| 6.2.3 Idrogrammi di piena | 29 |
| 6.3 VERIFICHE IDRAULICHE | 29 |
| 6.3.1 Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e dell'aree di interesse | 29 |
| 6.3.2 Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico | 30 |
| 6.3.3 Verifiche Idrauliche implementate..... | 30 |
| 6.3.4 Risultati | 30 |
| 7. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 04 – AFFLUENTE DEL FOSSO ARBIOLA | 32 |
| 7.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO..... | 32 |
| 7.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO | 32 |
| 7.2.1 Modello idrologico implementato | 32 |
| 7.2.2 Sollecitazioni pluviometriche..... | 33 |
| 7.2.3 Idrogrammi di piena | 33 |
| 7.3 VERIFICHE IDRAULICHE | 34 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 7.3.1 | Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e dell'aree di interesse | 34 |
| 7.3.2 | Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico | 34 |
| 7.3.3 | Verifiche Idrauliche implementate | 35 |
| 7.3.4 | Risultati | 35 |
| 8. | MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 05 – BORRO STROLLA | 36 |
| 8.1 | RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO | 36 |
| 8.2 | IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO | 36 |
| 8.2.1 | MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO | 36 |
| 8.2.2 | Sollecitazioni pluviometriche | 37 |
| 8.2.3 | Idrogrammi di piena | 38 |
| 8.3 | VERIFICHE IDRAULICHE | 38 |
| 8.3.1 | Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e dell'aree di interesse | 38 |
| 8.3.2 | Condizioni al contorno e parametri del modello idraulico | 39 |
| 8.3.3 | Verifiche Idrauliche implementate | 39 |
| 8.3.4 | Risultati | 39 |
| 9. | DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA AI SENSI DELLA L.R. 41/2018 | 40 |
| 10. | DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI | 41 |
| 11. | DETERMINAZIONE DELLE AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI E DELLE AREE DI FONDOVALLE | 43 |
| | APPENDICE A - MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA | 44 |
| A.1 | MODELLISTICA IDROLOGICA | 44 |
| A.1.1 | Regime pluviometrico – Studio Regionale LSPP | 44 |
| A.1.2 | Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico | 44 |
| A.1.3 | Calcolo degli idrogrammi di progetto | 45 |
| A.2 | MODELLISTICA IDRAULICA HEC-RAS | 49 |
| A.2.1 | Modellistica Idraulica Bidimensionale | 49 |
| A.2.2.1 | Stima dei valori di scabrezza | 50 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 2-1 - Elenco dei corsi d'acqua oggetto di studio | 7 |
| Tabella 2-2 - Elenco dei fogli Lidar utilizzati nella presente indagine idraulica | 8 |
| Tabella 4-3 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 11 |
| Tabella 4-4 - Tabella di associazione tra formazione geologica e coefficiente di infiltrazione Ks | 12 |
| Tabella 4-5 - Parametri idrologici sottobacini Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti | 13 |
| Tabella 4-6 - Parametri idrologici interbacini Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti | 13 |
| Tabella 4-7 - Altezze di pioggia lorda [mm] per tempo di ritorno (TR) 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 14 |
| Tabella 4-8 - Altezze di pioggia lorda [mm] per tempo di ritorno (TR) 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 15 |
| Tabella 4-9 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Affluenti - TR= 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 16 |
| Tabella 4-10 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Affluenti - TR= 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 17 |
| Tabella 4-11 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Pesa - TR= 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 17 |
| Tabella 4-12 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Pesa - TR= 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti..... | 18 |
| Tabella 4-13 - Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica – Modello 01 – Torrente Pesa | 20 |
| Tabella 4-14 – Assegnazione dei coefficienti di scabrezza alle sezioni fluviali del Torrente Pesa | 21 |
| Tabella 4-15 - Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica – Modello 01 – Affluenti oggetto di studio..... | 21 |
| Tabella 5-1: Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 02 – Fontercoli..... | 23 |
| Tabella 5-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 02 – Fosso di Fontercoli..... | 24 |
| Tabella 5-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 02 – Fosso di Fontercoli | 24 |
| Tabella 5-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 02 – Fosso di Fontercoli | 25 |
| Tabella 5-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 02 – Fosso di Fontercoli..... | 26 |
| Tabella 6-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 03 – Casuccia..... | 27 |
| Tabella 6-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 03 – Fosso della Casuccia | 28 |
| Tabella 6-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 03 – Fosso della Casuccia | 28 |
| Tabella 6-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 03 – Fosso della Casuccia..... | 29 |
| Tabella 6-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 03 – Fosso della Casuccia | 30 |
| Tabella 7-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 04 – Affluente Arbiola..... | 32 |
| Tabella 7-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola | 33 |
| Tabella 7-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola | 33 |
| Tabella 7-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola..... | 34 |
| Tabella 7-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola | 35 |
| Tabella 8-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 05 – Borro Strolla | 36 |
| Tabella 8-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 05 – Borro Strolla | 37 |
| Tabella 8-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 05 – Borro Strolla..... | 37 |
| Tabella 8-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 05 – Borro Strolla..... | 38 |
| Tabella 8-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 05 – Borro Strolla | 39 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Corsi d'acqua e tratti di studio Modello 01 - Torrente Pesa ed affluenti | 10 |
| Figura 2 - Codifica Sottobacini ed interbacini Modello 01 - Torrente Pesa ed affluenti | 11 |
| Figura 3 - Condizione al contorno di Valle alla sezione 02516__06 implementata nel modello idraulico del Torrente Pesa | 20 |
| Figura 4 – Fosso del Fagiolare: effetto di laminazione del Lago di Volpaia | 21 |

1. **PREMESSA**

Il presente lavoro costituisce lo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Castellina in Chianti e di Radda in Chianti, ed è finalizzato alla verifica della pericolosità idraulica e all'aggiornamento delle mappe di pericolosità idraulica sul territorio di detti comuni.

Ai fini della redazione del presente studio, sono stati considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari a caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo di interesse, individuati sulla base del perimetro del territorio urbanizzato e delle indagini preliminari e definiti con *Genio Civile Valdarno Superiore* e *Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale*, oltre che rappresentanti dei Comuni di Radda in Chianti e Castellina in Chianti, a mezzo riunione tenutasi in videoconferenza il 29 maggio 2020; in sede della stessa riunione sono state condivise le condizioni al contorno e le metodologie di modellazione idrologica ed idraulica.

Secondo la classificazione di cui al Regolamento 30 gennaio 2020, n. 5/R, di attuazione dell'art. 104 della L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il Governo del Territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche, si definiscono le seguenti classi di pericolosità idraulica:

- **aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)**, che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno 30 anni;
- **aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)**, con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

Tale classificazione, indicata al paragrafo C.2 dell'Allegato A del Regolamento 5R/2020 - Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche – fa infatti riferimento alle definizioni di cui alla L.R. 41/2018 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 – per la definizione dei criteri generali di fattibilità idraulica degli interventi, che introduce la seguente classificazione:

- **scenario per alluvioni frequenti:** lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;
- **scenario per alluvioni poco frequenti:** lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b) del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni.

Lo studio si propone di aggiornare la pericolosità idraulica all'interno dei territori comunali, stimando gli input idrologici e modellando i bacini dei corsi d'acqua costituenti la rete idraulica superficiale nello scenario caratterizzante lo stato attuale del territorio, che interessa il reticolo secondario di competenza del Genio Civile Valdarno Superiore.

Il lavoro illustrato nelle pagine successive si articola nelle seguenti fasi operative:

- individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio: raccolta ed analisi dei dati disponibili, caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua;
- modellazione idrologica;
- modellazione idraulica;
- analisi dei risultati e perimetrazione delle aree allagabili;
- definizione delle aree a pericolosità da alluvione ai sensi del Regolamento 5R/2020;
- definizione delle aree presidiate da sistemi arginali ai sensi della L.R. 41/2018 e delle aree di fondovalle ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020.

2. AREA D'INDAGINE E QUADRO CONOSCITIVO

2.1 RETICOLO IDROGRAFICO E DI GESTIONE L.R. 79/2012

Nella Tavola IDR_01 - Inquadramento Generale, che ricomprende tutta l'estensione dei territori comunali oggetto di indagine, è evidenziato il reticolo idrografico sul quale è stata svolta l'indagine idrologico-idraulica. I corsi d'acqua oggetto di studio, individuati sulla base del perimetro del territorio urbanizzato e delle indagini preliminari, risultano ricompresi dal reticolo idrografico individuato da Regione Toscana ai sensi della L.R.79/2012, aggiornato con Delibera di Consiglio 81/2021 ed attualmente vigente, eccezion fatta per il Fosso della Casuccia che, pur non essendo classificato come reticolo idrografico, risulta significativo ai fini della presente indagine.

2.2 CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO

A partire dal reticolo idrografico sopra richiamato, sono stati individuati ed analizzati i principali corsi d'acqua, che concorrono a definire le condizioni di allagabilità dei territori comunali. Nello specifico, si è scelto di sviluppare una serie di modelli idrologico-idraulici di tipo analitico sui reticoli fluviali che interessano il territorio urbanizzato.

Gli areali indagati sono quelli riportati nella tavola IDR_01 - Inquadramento Generale, in cui sono evidenziate le aree di studio ed il reticolo oggetto di modellazione. In particolare, si individuano:

- **Modello 01: Torrente Pesa ed affluenti** – Reticolo di riferimento: Torrente Pesa, Fosso del Cepperano, Fosso del Fagiolare, Fosso degli Assilli, Borro dei Mazzoli – Area di studio: 14.35 Km²;
- **Modello 02: Fosso di Fontercoli** – Reticolo di riferimento: Fosso di Fontercoli e affluente – Area di studio: 1.09 Km²;
- **Modello 03: Fosso della Casuccia** – Reticolo di riferimento: Fosso della Casuccia - Area di studio: 0.08 Km²;
- **Modello 04: Fosso Affluente del Fosso Arbiola** – Reticolo di Riferimento: Fosso Affluente dell'Arbiola - Area di studio: 0.13 Km²;
- **Modello 05: Borro Strolla** – Reticolo di Riferimento: Borro Trola, Borro Ribaldoni - Area di studio: 2.39 Km².

In Tabella 2-1 sono riportati, per ogni corso d'acqua studiato, il modello di riferimento, la lunghezza del tratto ed i dati topografici utilizzati per la caratterizzazione delle opere idrauliche presenti lungo il corso d'acqua e del territorio potenzialmente allagabile (anno di rilievo/ lidar). È inoltre indicato il tipo di modellazione idraulica implementata per ogni modello. Si precisa fin d'ora che, seppur ogni modello sia stato sviluppato mediante il software HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers, per i Modelli 01 (Pesa) e 04 (Arbiola) le modellazioni idrauliche sono di tipo accoppiato mono-bidimensionale, monodimensionale in alveo e bidimensionale per le aree contermini. Per i modelli 02 (Fontercoli), 03 (Casuccia) si è optato per una modellazione mono-bidimensionale disaccoppiata in ragione della difformità tra la campagna rilievi svolta lungo tali aste fluviali e i modelli digitali del terreno disponibili. Infine, per il modello 05 (Strolla) si è scelta una modellazione di tipo 1D senza sfiori per sopperire alla completa incompatibilità tra i rilievi disponibili ed il modello digitale del terreno come sarà meglio descritto nel capitolo dedicato a detto modello.

| MODELLO 01 - Torrente Pesa e Affluenti | | | | | |
|---|---|---|-----------------|-------------------|---|
| Corso d'acqua | Lunghezza del tratto di studio [m] | Modellazione Idraulica | N. Opere | N. Sezioni | Provenienza del dato topografico |
| Torrente Pesa | 28896 | Modellazione 1D/2D | 24 | 27 | Rilievo 2020 |
| | | | | 67 | Rilievo Lidar (2008) |
| | | | | 114 | Rilievo 2006 |
| Fosso del Cepperano | 539 | Modellazione 1D/2D | 1 | 14 | Rilievo Lidar (2008) |
| Fosso del Fagiolare | 315 | Modellazione 1D/2D | 1 | 2 | Rilievo 2020 |
| | | | | 6 | Rilievo Lidar (2008) |
| Fosso degli Assilli | 499 | Modellazione 1D/2D | 1 | 2 | Rilievo 2020 |
| | | | | 5 | Rilievo Lidar (2008) |
| Borro dei Mazzoli | 3449 | Modellazione 1D/2D | 3 | 12 | Rilievo 2020 |
| | | | | 8 | Rilievo Lidar (2008) |
| MODELLO 02 - Fosso di Fontercoli | | | | | |
| Corso d'acqua | Lunghezza del tratto di studio [m] | Modellazione Idraulica | N. Opere | N. Sezioni | Provenienza del dato topografico |
| Fosso di Fontercoli | 3026 | Modellazione Disaccoppiata 1D/2D | 12 | 21 | Rilievo 2020 |
| MODELLO 03 - Fosso della Casuccia | | | | | |
| Corso d'acqua | Lunghezza del tratto di studio [m] | Modellazione Idraulica | N. Opere | N. Sezioni | Provenienza del dato topografico |
| Fosso della Casuccia | 397 | Modellazione Disaccoppiata 1D/2D | 2 | 9 | Rilievo 2020 |
| MODELLO 04 - Affluente Fosso Arbiola | | | | | |
| Corso d'acqua | Lunghezza del tratto di studio [m] | Modellazione Idraulica | N. Opere | N. Sezioni | Provenienza del dato topografico |
| Affluente Fosso Arbiola | 800 | Modellazione 1D/2D | 5 | 14 | Rilievo 2020 |
| | | | | 4 | Rilievo Lidar (2008) |
| MODELLO 05 - Borro Strolla | | | | | |
| Corso d'acqua | Lunghezza del tratto di studio [m] | Modellazione Idraulica | N. Opere | N. Sezioni | Provenienza del dato topografico |
| Borro Strolla | 3239 | Modellazione Idrologica Monodimensionale 1D | 8 | 45 | Rilievo 2020/2021 |
| Borro Ribaldoni | 1551 | | 4 | 16 | Rilievo 2021 |

Tabella 2-1 - Elenco dei corsi d'acqua oggetto di studio

2.3 DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Nell'ambito del presente lavoro sono stati consultati, utilizzati ed elaborati una serie di dati geografici, resi disponibili dalle Amministrazioni sovracomunali che li hanno realizzati, oppure ottenuti dall'analisi del materiale di studi pregressi.

In particolare, sono stati utilizzati i seguenti dati:

- **Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000.** - Fonte: Regione Toscana - Carta Tecnica Regionale;
- **Rilievo LIDAR (1x1 m)** - Fonte: Geoportale Nazionale Ministero dell'Ambiente. In particolare, per la modellazione sono stati utilizzati i fogli lidar di cui alla Tabella 2-2.

| | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 16k56_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l52_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l03_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k55_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l61_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l02_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k48_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l60_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l01_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k47_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l59_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k21_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k64_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l58_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k20_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k37_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l41_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k19_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k31_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l49_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k29_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k30_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l46_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k28_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k46_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l45_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k22_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k40_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16l62_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k02_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k39_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l11_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k12_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16k38_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l10_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k11_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16l57_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l05_1x1_dsm_006_2008_3003 | 16k03_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16l54_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l04_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15k32_1x1_dsm_006_2008_3003 |
| 16l53_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15l12_1x1_dsm_006_2008_3003 | 15k31_1x1_dsm_006_2008_3003 |

Tabella 2-2 - Elenco dei fogli Lidar utilizzati nella presente indagine idraulica

- **Shapefile del Reticolo Idrografico, Legge Regionale 27 dicembre 2012, n. 79 - Aggiornamento Del. 28/2020;** Fonte dei dati: Regione Toscana;
- **Shapefile della Carta Geologica Regionale 2018.** - Fonte: Regione Toscana;
- **Shapefile dell'Uso e Copertura del Suolo 2016.** - Fonte: Regione Toscana;
- **[Griglie dei parametri caratteristici delle LSPP, a ed n, pubblicate dalla Regione Toscana nell'ambito dello Studio di Regionalizzazione delle Precipitazioni.](#)** - Fonte: Regione Toscana.

A questi si aggiungono i dati relativi alla caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua, per i quali è stata condotta una specifica campagna topografica effettuata nell'ottobre 2020 che ha riguardato il rilievo delle opere idrauliche principali presenti lungo i corsi d'acqua oggetto di studio.

3. APPROCCIO METODOLOGICO

Lo schema metodologico adottato si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conducono alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione e propagazione dell'onda di piena.

Ai fini dell'individuazione delle aree allagabili, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati. La determinazione delle aree soggette ad inondazione dipende, in sostanza, dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e di laminazione verificatasi nelle sezioni precedenti.

È quindi necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua e, dall'altro, analizzarne la propagazione e laminazione per effetto di esondazioni, opere, diversivi ed immissioni laterali. 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 eventuali connessioni idrauliche laterali.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da idrogrammi 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 nelle sezioni prescelte del corso d'acqua considerato.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata avviene tramite modelli idraulici, in grado di fornire lungo tutto il tratto dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito ed il massimo battente idraulico atteso, in modo tale da poter verificare l'efficienza delle strutture di contenimento o, in caso contrario, il verificarsi di fenomeni esondativi.

L'approccio modellistico per la caratterizzazione della pericolosità idraulica utilizzato nel presente studio è di tipo analitico e prevede una modellazione idraulica di tipo 1D/2D con input idrologici derivanti dall'analisi idrologica e dati geometrici derivanti da rilievo topografico (opere idrauliche) e rilievo Lidar (alveo e territorio potenzialmente allagabile). L'input idrologico è caratterizzato da idrogrammi di piena rappresentati da immissioni puntuali o distribuite lungo l'asta fluviale analizzata.

A tal fine sono stati implementati **5 modelli idraulici** distinti, richiamati al paragrafo 2.2, ed ampiamente descritti nei capitoli successivi. Gli scenari simulati riguardano eventi con **tempi di ritorno** pari a **30 e 200 anni**. Le durate di pioggia simulate sono risultanti dalla modellistica idrologica e ricomprendono le durate critiche che massimizzano le portate di piena ed i volumi dei bacini dei corsi d'acqua principali e dei reticoli minori, nonché la loro mutua interazione.

4. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 01 – TORRENTE PESA ED AFFLUENTI

Il presente modello riguarda la modellazione idrologica e idraulica del reticolo del Torrente Pesa dal tratto di monte fino alla frazione di Sambuca Val di Pesa nel Comune di Barberino Tavarnelle al fine di ricongiungersi al modello redatto dagli scriventi per il Comune di San Casciano Val di Pesa in osservazione al Piano di Gestione Rischio Alluvioni per il bacino del Fiume Arno.

Nel modello oggetto della presente relazione sono ricompresi, inoltre, gli affluenti di interesse ai fini degli studi idraulici di supporto al Piano Strutturale Intercomunale del Comune di Castellina in Chianti e del Comune di Radda in Chianti (rif. IDR01 – *Inquadramento Generale*).

4.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nella Tavola IDR11 - *Modello 01 - Planimetria del Modello Idraulico - Torrente Pesa ed Affluenti* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche, ovvero:

- Torrente Pesa;
- Fosso del Fagiolare;
- Fosso di Cepperano;
- Fosso degli Assilli;
- Borro dei Mazzoli.

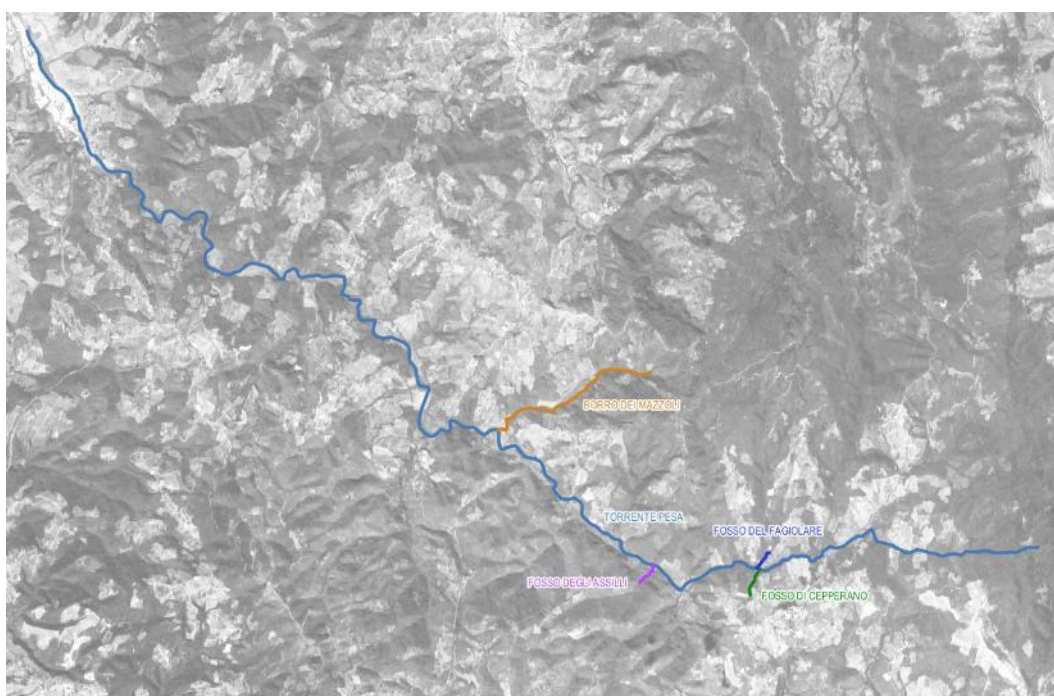


Figura 1 – Corsi d'acqua e tratti di studio Modello 01 - Torrente Pesa ed affluenti

4.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Data la particolare estensione areale dell'intero bacino imbrifero del tratto di Torrente Pesa oggetto di studio, l'analisi idrologica è stata svolta suddividendo il bacino complessivo in bacini e sottobacini (Figura 2).

4.2.1 CODIFICA DEI BACINI

I bacini afferenti all'area di studio sono stati suddivisi in sottobacini e studiati dal punto di vista idrologico tenendo conto dei tratti fluviali simulati idraulicamente e della presenza di contributi laterali al reticolo di interesse. Sulla base di questo sono stati individuati bacini e sottobacini identificati da un codice di 4 caratteri, con progressione numerica da monte verso valle, nel modo seguente:

- le prime due cifre rappresentano il codice del bacino di appartenenza;
- le ultime due cifre rappresentano l'eventuale presenza di sottobacini.

Nella tabella sottostante si riporta l'elenco dei bacini oggetto di analisi idrologica:

| NOME | CODICE | AREA [km ²] |
|------------------------|--------|-------------------------|
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 7.6 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 16.0 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 3.8 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 1.5 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 0.5 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 1.7 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 3.7 |
| FOSSO DELLE MASSICAI | 1006 | 3.4 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 1.3 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 7.3 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 2.5 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 4.6 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 7.0 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 7.0 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 12.5 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 3.1 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 3.1 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 2.7 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 7.8 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 3.6 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 2.5 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 5.3 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 16.7 |

Tabella 4-3 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti



Figura 2 - Codifica Sottobacini ed interbacini Modello 01 - Torrente Pesa ed affluenti

4.2.2 MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione dei contributi pluviometrici e degli idrogrammi di piena. I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con modelli numerici di comprovata affidabilità e con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il modello di infiltrazione utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- **Ia** [mm], volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- **Ks** [mm/h], coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- **n** [-], numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- **k** [h], tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

Modello di Infiltrazione

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro Ia [mm] su ogni sottobacino ed interbacino, è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dalla carta dell'Uso e Copertura del Suolo), consultabile nell'elaborato Allegato 1.1.C – Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti - Tavola delle Aree Boscate all'interno dell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica.

Il parametro Ks [mm/h] è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale, assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 4-4 (mutuata dal già citato studio sul Torrente Pesa per il Comune di San Casciano Val di Pesa) e calcolando un coefficiente medio per ogni bacino. L'assegnazione dei valori dei coefficienti di infiltrazione è consultabile nell'elaborato Allegato 1.1.D – Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti - Tavola dei Coefficienti di Infiltrazione all'interno dell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica.

| NOME | DESCRIZIONE | Ks [mm/h] |
|--|---|-----------|
| Argille varicolori | Argille varicolori con calcari | 0.00 |
| Depositi alluvionali attuali | Depositi alluvionali attuali | 0.00 |
| Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati | Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluvial | 0.00 |
| Depositi alluvionali terrazzati | Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali | 0.00 |
| Travertini e calcari continentali | Travertini e calcari continentali | 1.55 |
| Travertini e calcari continentali | Travertini e calcari continentali | 1.55 |
| Macigno | Arenarie quarzoso-feldspatico-micacee gradate, in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di siltiti | 1.55 |
| Olistostromi di materiale ligure e subligure | Olistostromi di materiale ligure e subligure | 1.55 |
| Arenarie zonate | Arenarie torbiditiche fini e siltiti grigio scure | 4.65 |
| Marne di S. Polo | Marne e marne siltose, con intercalazioni di calcareniti | 0.00 |
| Formazione di M. Morello | Flysch carbonatici, calcari mamosi e marne | 4.65 |
| Flysch di Ottone-Monteverdi | Calcari, calcari mamosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti | 0.00 |
| Sabbie e arenarie gialle. | Sabbie e arenarie gialle. | 1.55 |
| Pietraforte | Arenarie e siltiti quarzoso-feldspatiche e carbonatiche | 1.55 |
| Ruditi | Ruditi | 4.65 |
| Arenarie e siltiti | Arenarie e siltiti | 0.00 |
| Formazione di Sillano | Argilliti grigio-brune e calcilutiti | 4.65 |
| Membro delle Argilliti di Brolio | Membro delle Argilliti di Brolio | 0.00 |
| Membro delle Marne del Sugame | Membro delle Marne del Sugame | 1.55 |
| Membro delle Calcareniti di Montegrossi | Membro delle Calcareniti di Montegrossi | 4.65 |
| Membro delle Calcareniti di Dudda | Membro delle Calcareniti di Dudda | 4.65 |
| Litofacies a brecce e areniti calcareo silicee | Litofacies a brecce e areniti calcareo silicee | 1.55 |
| Membro delle Argilliti di Cintoia | Membro delle Argilliti di Cintoia | 0.00 |
| Conglomerati e ciottolami poligenici | Conglomerati e ciottolami poligenici | 1.55 |
| Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi | Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi | 2.33 |
| Argille e argille sabbiose lignitifere lacustri e fluvio-lacustri | Argille e argille sabbiose lignitifere lacustri e fluvio-lacustri | 0.78 |
| Sabbie e conglomerati | Sabbie e conglomerati | 2.33 |
| Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose | Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose | 0.78 |
| Sabbie e arenarie | Sabbie e arenarie | 1.55 |
| Conglomerati poligenici | Conglomerati poligenici | 1.55 |
| Argille azzurre | Argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere | 0.00 |
| Argille lignitifere | Argille lignitifere | 0.00 |

Tabella 4-4 - Tabella di associazione tra formazione geologica e coefficiente di infiltrazione Ks

Per tutti i sottobacini ed interbacini elencati in Tabella 4-3 sono stati determinati i parametri appena descritti. Questi sono consultabili nelle Tabelle Tabella 4-5 e Tabella 4-6 e nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Per tutti i sottobacini riportati in Tabella 4-3, caratterizzati da aste fluviali di ordine maggiore o uguale a 2, è stata effettuata una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler. Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati dunque derivati i parametri n e k del modello di Nash (si veda l'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica per maggiori dettagli).

Per gli interbacini si è proceduto come segue:

- n è stato considerato pari al valore associato al sottobacino che lo ricomprende;
- il tempo di ritardo TI è stato calcolato sulla base della stima del tempo di corrivazione Tc [h], determinato tramite la seguente formulazione di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{z}}$$

dove:

- A è l'area del bacino [km²];
- L è la lunghezza dell'asta principale [km];
- z è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m]

Per i dettagli sui fondamenti teorici della modellistica idrologica si rimanda all'Appendice A - Modellistica Idrologico – Idraulica. Nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica si riportano in forma grafica la gerarchizzazione del reticolo e del bacino e gli strati informativi per la stima dei parametri la e Ks.

Una sintesi dei parametri idrologici sopra descritti ed utilizzati per la stima del contributo del bacino è riportata nella seguente tabella.

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|--------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | TI [h] |
| 1001 | TORRENTE PESA MONTE | 7.60 | 17.33 | 2.75 | 2.84 | 0.38 | 1.09 |
| 1002 | FOSSO BALATRO | 15.96 | 21.37 | 2.62 | 2.89 | 0.56 | 1.61 |
| 1003 | FOSSO DEL FAGIOLARE | 3.80 | 18.69 | 2.29 | 2.30 | 0.38 | 0.88 |
| 1004B | FOSSO DI CEPPERANO | 0.48 | 19.20 | 4.63 | 2.38 | 0.13 | 0.32 |
| 1005 | BORRO AI COPPINI | 3.67 | 21.45 | 2.64 | 1.91 | 0.33 | 0.63 |
| 1006 | FOSSO DELLE MASSICIAIE | 3.36 | 20.10 | 4.47 | 2.51 | 0.41 | 1.02 |
| 1007 | FOSSO DEGLI ASSILLI | 1.27 | 21.41 | 4.44 | 2.62 | 0.29 | 0.76 |
| 1009 | FOSSO DI CAMPOMAGNO | 2.48 | 20.44 | 2.22 | 2.73 | 0.24 | 0.66 |
| 1010 | BORRO DEL GUALDACCIO | 4.60 | 19.49 | 4.56 | 2.67 | 0.29 | 0.79 |
| 1012 | BORRO DEI MAZZOLI | 7.05 | 15.61 | 2.07 | 3.04 | 0.33 | 1.00 |
| 1013 | BORRO CERCHIAIO | 12.53 | 18.45 | 4.53 | 2.81 | 0.52 | 1.46 |
| 1014 | BORRO DI RIPOLI | 3.08 | 14.57 | 4.48 | 2.82 | 0.19 | 0.53 |
| 1015 | FOSSO DI SANTEUFROSIO | 3.14 | 6.31 | 2.80 | 2.73 | 0.24 | 0.67 |
| 1016 | FOSSO DI SAN MARTINO | 2.69 | 10.40 | 0.84 | 2.82 | 0.26 | 0.72 |
| 1017 | BORRO DELL'ARGENNA | 7.82 | 15.44 | 4.57 | 2.99 | 0.43 | 1.28 |
| 1018 | BORRO DI RIGNANA | 3.54 | 17.74 | 0.84 | 2.62 | 0.28 | 0.74 |
| 1019 | BORRO DELLE VILLANE | 2.47 | 15.88 | 2.58 | 2.53 | 0.25 | 0.64 |
| 1020 | FOSSO DI RIMAGGIO | 5.30 | 19.20 | 2.99 | 2.55 | 0.40 | 1.03 |

Tabella 4-5 - Parametri idrologici sottobacini Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|---------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | TI [h]* |
| 1004A | INTERBACINO 1A | 1.45 | 7.92 | 2.191 | 2.956 | 0.234 | 0.69 |
| 1004C | INTERBACINO 1B | 1.74 | 14.44 | 3.581 | 2.985 | 0.222 | 0.66 |
| 1008 | INTERBACINO 2 | 7.34 | 15.63 | 3.623 | 2.798 | 0.492 | 1.38 |
| 1011 | INTERBACINO 3 | 7.03 | 12.36 | 2.130 | 3.127 | 0.497 | 1.55 |
| 1021 | INTERBACINO 4 | 16.73 | 13.34 | 2.132 | 3.137 | 0.654 | 2.05 |

Tabella 4-6 - Parametri idrologici interbacini Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

4.2.3 SOLLECITAZIONI PLUVIOMETRICHE

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come durate di pioggia si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo di piena) di ciascun contributo idrologico. Questa scelta consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

L'aggiornamento dell'Analisi di Frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, elaborata nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 e pubblicata da parte della Regione Toscana, costituisce la base dati aggiornata su cui implementare le analisi idrologiche. Nell'ambito di tale analisi, sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500. Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n, grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500.

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

In Tabella 4-7 ed in Tabella 4-8 sono riportate le altezze di pioggia lorda (in mm) calcolate secondo la metodologia individuata dalla Regione Toscana. Per ogni tempo di ritorno considerato sono riportate le altezze di pioggia al variare della durata dell'evento meteorico considerato.

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO TR 30 ANNI | | | |
|------------------------|--------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | d = 1 [h] | d = 2 [h] | d = 4 [h] | d = 7 [h] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 53.8 | 63.7 | 75.6 | 86.7 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 53.3 | 62.9 | 74.3 | 85.0 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 52.5 | 62.3 | 73.9 | 84.9 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 36.4 | 63.0 | 75.6 | 87.6 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 36.8 | 62.7 | 74.8 | 86.3 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 36.9 | 62.6 | 74.7 | 86.2 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 52.6 | 62.2 | 73.6 | 84.4 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | 1006 | 51.6 | 61.5 | 73.3 | 84.5 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 51.3 | 61.2 | 73.0 | 84.1 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 51.7 | 61.7 | 73.7 | 85.0 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 52.5 | 62.3 | 73.9 | 84.8 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 52.0 | 62.0 | 73.9 | 85.2 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 50.9 | 60.7 | 72.5 | 83.7 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 52.0 | 61.8 | 73.5 | 84.5 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 51.8 | 62.0 | 74.1 | 85.6 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 51.5 | 61.6 | 73.8 | 85.4 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 51.6 | 61.6 | 73.6 | 84.9 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 50.9 | 60.6 | 72.1 | 83.1 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 51.0 | 60.7 | 72.3 | 83.3 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 50.5 | 60.1 | 71.7 | 82.5 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 50.1 | 59.5 | 70.7 | 81.2 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 49.7 | 58.7 | 69.4 | 79.4 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 49.6 | 59.0 | 70.3 | 80.9 |

Tabella 4-7 - Altezze di pioggia lorda [mm] per tempo di ritorno (TR) 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO TR 200 ANNI | | | |
|------------------------|--------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | d = 1 [h] | d = 2 [h] | d = 4 [h] | d = 7 [h] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 74.8 | 92.7 | 114.8 | 136.5 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 74.1 | 91.4 | 112.7 | 133.5 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 73.0 | 90.6 | 112.3 | 133.6 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 73.1 | 91.5 | 114.8 | 137.9 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 71.8 | 91.1 | 113.6 | 135.8 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 71.4 | 91.0 | 113.5 | 135.6 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 72.0 | 90.3 | 111.6 | 132.3 |
| FOSSO DELLE MASSICIE | 1006 | 73.1 | 89.4 | 111.4 | 133.0 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 72.3 | 88.9 | 110.7 | 132.1 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 70.8 | 88.1 | 107.8 | 127.0 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 72.3 | 89.9 | 110.6 | 130.8 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 72.1 | 88.0 | 107.1 | 125.5 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 71.7 | 86.0 | 104.5 | 122.4 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 71.8 | 87.6 | 106.0 | 123.8 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 70.8 | 87.8 | 106.8 | 125.2 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 71.0 | 87.3 | 106.4 | 124.9 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 70.3 | 87.3 | 106.1 | 124.2 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 69.7 | 85.8 | 104.0 | 121.5 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 69.2 | 86.0 | 104.3 | 121.8 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 69.0 | 85.2 | 103.3 | 120.8 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 73.0 | 84.3 | 101.9 | 118.8 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 73.0 | 83.2 | 100.1 | 116.2 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 73.0 | 83.6 | 101.3 | 118.3 |

Tabella 4-8 - Altezze di pioggia lorda [mm] per tempo di ritorno (TR) 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

$$K_R = 1 - \exp(at^\beta) + \exp(at^\beta - \gamma A)$$

con:

- t è la durata dell'evento
- A è l'area del bacino sotteso
- α , β , γ sono parametri dipendenti dalle caratteristiche del bacino considerato.

Il parametro α della formula sopra riportata dipende dal coefficiente a' della curva di possibilità pluviometrica a tre parametri. Poiché le curve delle nuove LSPP sono rappresentate con la formula a due parametri nella formulazione sopra riportata, $h(t) = a t^n$, al fine di determinare il corrispettivo valore di a' da utilizzare nella stima del coefficiente di ragguaglio, si è operato come segue:

- dalle nuove LSPP sono stati calcolati per ogni tempo di ritorno (TR) e per ogni durata (D) l'altezza di pioggia "h";
- dalle altezze di pioggia, tramite regressione lineare nel piano $\log(h) - \log(t)$, sono stati determinati i coefficienti "a" ed "n" per ciascun TR della formula $\log(h) = \log(a) + n \cdot \log(t)$ (CPP a 2 parametri);
- dalla formula a 3 parametri $h = a' \cdot t^{n'} \cdot TR^{m'}$ in campo logaritmico si ottiene

$$\log(h) = \log(a') + n' \cdot \log(t) + m' \cdot \log(T_R)$$

poiché $n'=n$, per sostituzione si ottiene $\log(a) = \log(a') + m' \cdot \log(T_R)$ che tramite regressione lineare permette di determinare "a'" ed "m'" della LSPP a 3 parametri.

Il coefficiente "a'", così calcolato, è stato utilizzato per la determinazione del coefficiente di ragguaglio "K_R".

Al fine di massimizzare gli effetti in corrispondenza di sezioni di chiusura significative ai fini del presente studio, coerentemente con la metodologia adottata per lo Studio Idrologico Idraulico redatto per il Comune di San Casciano Val di Pesa, si è determinato il coefficiente di ragguaglio della sezione di chiusura del bacino di monte della sezione di valle. Si è quindi assunto per gli interbacini un coefficiente di ragguaglio K_a tale da mantenere inalterato il valore del coefficiente di ragguaglio K_v pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi, secondo la formulazione:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{A_v - A_m}$$

L'impostazione del presente studio si articola su due scenari idrologici diversi:

- **Scenario Affluenti:** in questo scenario si massimizzano i contributi dei singoli bacini, considerando per questi un coefficiente di ragguaglio pari ad 1. Per gli interbacini si è stato invece considerato un coefficiente K_R pari a K_a ;

- **Scenario Pesa:** nel quale si studiano gli effetti complessivi dell'intero reticolo di studio, considerando delle piogge ragguagliate con un coefficiente K_R pari a K_a .

Gli ietogrammi di pioggia sono stati assunti ad intensità costante.

Nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica, per ogni sottobacino ed interbacino, sono riportati i valori delle altezze di pioggia lorda, del coefficiente di ragguaglio areale e delle altezze di pioggia lorda ragguagliata al variare delle durate dell'evento prese a riferimento.

4.2.4 IDROGRAMMI DI PIENA

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico), opportunamente depurate delle perdite idrologiche così come argomentato ai paragrafi precedenti, si sono determinati gli idrogrammi di piena sul bacino di interesse.

I risultati dell'analisi idrologica sono sintetizzati nelle Tabelle da Tabella 4-10 a Tabella 4-12, in cui si riportano i valori di portata di picco [m^3/s] e di volumi [$1000 m^3$] stimati per gli scenari di evento su cui è stato cimentato il modello idraulico. Gli idrogrammi completi sono riportati, sia in forma grafica che tabellare, nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

| BACINO | CODICE | SCENARIO AFFLUENTI - TEMPO DI RITORNO TR 30 ANNI | | | | | | | |
|------------------------|--------|--|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 4 [h] | | d = 7 [h] | |
| | | Q [m^3/s] | Vol [$1000 m^3$] | Q [m^3/s] | Vol [$1000 m^3$] | Q [m^3/s] | Vol [$1000 m^3$] | Q [m^3/s] | Vol [$1000 m^3$] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 48.9 | 256.22 | 48.8 | 311.18 | 33.6 | 359.25 | 20.4 | 380.65 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 63.4 | 467.87 | 72.3 | 579.76 | 54.4 | 562.21 | 94.2 | 1115.55 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 26.1 | 119.68 | 25.4 | 148.17 | 16.9 | 174.90 | 24.2 | 190.46 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 13.3 | 51.61 | 10.2 | 63.12 | 6.0 | 74.76 | 3.7 | 82.57 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 6.3 | 19.14 | 3.6 | 21.79 | 1.9 | 23.17 | 1.0 | 21.96 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 11.8 | 40.06 | 10.0 | 50.55 | 5.8 | 58.67 | 3.4 | 60.04 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 29.8 | 104.19 | 26.4 | 129.83 | 16.0 | 152.25 | 9.6 | 162.48 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | 1006 | 18.1 | 90.84 | 18.3 | 109.14 | 12.6 | 118.81 | 7.1 | 111.19 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 8.4 | 32.22 | 7.9 | 39.11 | 4.8 | 42.78 | 2.7 | 39.99 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 20.0 | 128.06 | 24.0 | 170.04 | 20.3 | 202.42 | 12.7 | 206.51 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 21.5 | 74.14 | 18.6 | 92.87 | 11.2 | 110.60 | 6.8 | 121.13 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 32.2 | 128.27 | 29.4 | 153.35 | 17.7 | 166.35 | 9.7 | 155.46 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 15.7 | 109.38 | 20.5 | 157.41 | 19.0 | 207.67 | 13.0 | 242.46 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 50.4 | 241.55 | 48.1 | 296.29 | 31.8 | 349.58 | 19.6 | 383.55 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 52.9 | 361.34 | 57.1 | 431.63 | 44.7 | 470.07 | 26.7 | 443.94 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 32.0 | 99.95 | 22.3 | 117.42 | 12.0 | 127.25 | 6.6 | 121.42 |
| FOSSO DI SANTEUFROSIO | 1015 | 33.8 | 133.31 | 24.1 | 155.97 | 13.6 | 175.97 | 8.1 | 185.26 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 26.8 | 106.44 | 21.3 | 130.27 | 12.8 | 156.81 | 8.2 | 179.43 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 40.5 | 242.12 | 40.6 | 282.46 | 28.3 | 301.64 | 15.9 | 280.18 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 10.8 | 209.41 | 16.8 | 179.71 | 26.5 | 144.75 | 22.1 | 77.97 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 22.1 | 77.97 | 17.8 | 94.75 | 10.3 | 109.52 | 6.2 | 116.33 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 28.9 | 146.13 | 29.5 | 178.24 | 20.7 | 203.22 | 12.3 | 208.84 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 11.9 | 107.44 | 22.6 | 211.35 | 28.6 | 321.58 | 23.8 | 397.60 |

Tabella 4-9 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Affluenti - TR= 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

INDAGINI IDROLOGICHE IDRAULICHE DI SUPPORTO
AL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE
DEI COMUNI DI CASTELLINA IN CHIANTI E RADDA IN CHIANTI

| BACINO | CODICE | SCENARIO AFFLUENTI - TEMPO DI RITORNO TR 200 ANNI | | | | | | | |
|------------------------|--------|---|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 4 [h] | | d = 7 [h] | |
| | | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 78.0 | 416.15 | 78.0 | 531.08 | 54.5 | 657.50 | 35.4 | 759.53 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 107.2 | 800.56 | 123.6 | 1034.33 | 106.4 | 1290.50 | 72.8 | 1496.32 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 42.1 | 197.57 | 40.2 | 255.38 | 27.1 | 320.49 | 17.7 | 375.24 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 19.4 | 77.50 | 15.2 | 99.83 | 9.6 | 126.11 | 6.4 | 149.33 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 9.0 | 28.96 | 5.4 | 35.40 | 3.2 | 41.75 | 2.0 | 45.84 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 18.8 | 67.96 | 15.7 | 90.46 | 9.7 | 115.04 | 6.3 | 133.76 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 48.5 | 179.41 | 41.2 | 232.71 | 25.7 | 291.20 | 16.5 | 338.20 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | 1006 | 30.8 | 158.64 | 31.2 | 202.90 | 21.7 | 246.71 | 13.6 | 274.32 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 14.5 | 57.64 | 13.0 | 74.17 | 8.2 | 90.50 | 5.1 | 100.71 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 35.9 | 233.48 | 41.8 | 314.30 | 34.4 | 398.75 | 22.7 | 457.09 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 34.3 | 125.16 | 28.5 | 161.49 | 17.6 | 201.99 | 11.4 | 235.55 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 53.7 | 221.78 | 46.6 | 272.91 | 28.3 | 318.84 | 17.1 | 340.63 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 27.2 | 192.15 | 33.8 | 271.71 | 30.0 | 364.41 | 21.0 | 443.50 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 78.4 | 384.93 | 72.8 | 477.82 | 47.7 | 578.86 | 30.6 | 660.04 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 89.1 | 615.58 | 95.3 | 755.01 | 73.9 | 880.33 | 46.4 | 940.28 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 48.5 | 162.05 | 33.4 | 196.53 | 18.9 | 227.77 | 11.4 | 243.14 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 48.9 | 196.71 | 35.2 | 236.52 | 20.7 | 278.04 | 13.0 | 308.56 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 39.1 | 159.95 | 30.7 | 198.04 | 18.8 | 242.46 | 12.3 | 282.69 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 65.6 | 398.13 | 65.5 | 480.08 | 45.9 | 551.32 | 27.9 | 581.23 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 45.7 | 183.67 | 39.2 | 233.81 | 24.7 | 292.27 | 16.2 | 345.21 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 34.2 | 126.32 | 26.4 | 155.82 | 15.7 | 186.47 | 9.8 | 208.88 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 48.1 | 249.50 | 47.2 | 308.21 | 32.2 | 366.20 | 20.1 | 404.13 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 27.6 | 250.97 | 43.7 | 422.21 | 50.2 | 625.60 | 40.2 | 800.73 |

Tabella 4-10 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Affluenti - TR= 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

| BACINO | CODICE | SCENARIO PESA - TEMPO DI RITORNO TR 30 ANNI | | | | | | | |
|------------------------|--------|---|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 4 [h] | | d = 7 [h] | |
| | | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 39.3 | 203.54 | 41.3 | 256.24 | 29.7 | 303.35 | 18.2 | 325.58 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 48.8 | 358.27 | 59.0 | 465.95 | 54.4 | 562.21 | 37.3 | 1115.55 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 26.1 | 119.68 | 25.4 | 148.17 | 16.9 | 174.90 | 10.4 | 190.46 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 13.3 | 51.61 | 10.2 | 63.12 | 6.0 | 74.76 | 3.7 | 82.57 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 5.3 | 15.90 | 3.1 | 18.40 | 1.6 | 19.68 | 0.9 | 18.62 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 11.8 | 40.06 | 10.0 | 50.55 | 5.8 | 58.67 | 3.4 | 60.04 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 29.8 | 104.19 | 26.4 | 129.83 | 16.0 | 152.25 | 9.6 | 162.48 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | 1006 | 18.1 | 90.84 | 18.3 | 109.14 | 12.6 | 118.81 | 7.1 | 111.33 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 8.4 | 32.22 | 7.9 | 39.11 | 4.8 | 42.78 | 2.7 | 39.99 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 20.0 | 128.06 | 24.0 | 170.04 | 20.3 | 202.42 | 12.7 | 206.51 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 11.2 | 36.28 | 12.5 | 53.57 | 8.4 | 70.84 | 5.3 | 81.84 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 15.6 | 58.95 | 17.8 | 81.00 | 12.4 | 92.72 | 6.8 | 82.39 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 15.7 | 109.38 | 20.5 | 157.41 | 19.0 | 207.67 | 13.0 | 242.46 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 29.0 | 135.28 | 32.5 | 185.69 | 23.9 | 237.33 | 15.2 | 272.55 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 14.4 | 95.67 | 22.1 | 154.01 | 22.3 | 187.22 | 14.7 | 163.02 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 12.9 | 35.03 | 12.3 | 49.49 | 7.1 | 57.97 | 3.9 | 52.48 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 17.8 | 67.06 | 14.5 | 86.82 | 8.7 | 105.61 | 5.4 | 115.44 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 13.6 | 50.53 | 13.1 | 72.08 | 8.7 | 97.76 | 5.9 | 120.98 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 3.4 | 19.58 | 8.6 | 51.03 | 9.6 | 67.02 | 5.9 | 48.13 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 3.8 | 13.16 | 9.9 | 40.47 | 9.4 | 73.92 | 6.7 | 104.76 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 0.0 | 0.00 | 5.3 | 26.03 | 8.2 | 50.10 | 6.2 | 58.29 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 11.9 | 107.44 | 22.6 | 211.35 | 28.6 | 321.58 | 23.8 | 397.60 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 13.3 | 51.61 | 10.2 | 63.12 | 6.0 | 74.76 | 3.7 | 82.57 |

Tabella 4-11 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Pesa - TR= 30 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

INDAGINI IDROLOGICHE IDRAULICHE DI SUPPORTO
AL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE
DEI COMUNI DI CASTELLINA IN CHIANTI E RADDA IN CHIANTI

| BACINO | CODICE | SCENARIO PESA - TEMPO DI RITORNO TR 200 ANNI | | | | | | | |
|------------------------|--------|--|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 4 [h] | | d = 7 [h] | |
| | | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] | Q [m³/s] | Vol [1000 m³] |
| TORRENTE PESA MONTE | 1001 | 64.7 | 203.54 | 67.5 | 451.22 | 48.6 | 572.63 | 31.9 | 672.14 |
| FOSSO BALATRO | 1002 | 87.2 | 648.09 | 105.1 | 869.02 | 94.2 | 1115.55 | 65.7 | 1316.95 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | 1003 | 34.8 | 161.88 | 34.9 | 216.46 | 24.2 | 279.05 | 16.0 | 332.58 |
| INTERBACINO 1 | 1004A | 19.4 | 77.50 | 15.2 | 99.83 | 9.6 | 126.11 | 6.4 | 149.33 |
| FOSSO DI CEPPERANO | 1004B | 7.7 | 24.46 | 4.8 | 30.47 | 2.8 | 36.51 | 1.8 | 40.32 |
| INTERBACINO 2 | 1004C | 18.8 | 67.96 | 15.7 | 90.46 | 9.7 | 115.04 | 6.3 | 133.76 |
| BORRO AI COPPINI | 1005 | 34.1 | 121.30 | 32.2 | 169.80 | 21.0 | 224.76 | 13.8 | 270.26 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | 1006 | 21.0 | 106.25 | 23.4 | 145.73 | 17.4 | 185.83 | 11.1 | 211.65 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | 1007 | 8.2 | 31.40 | 8.9 | 45.56 | 6.1 | 60.12 | 3.8 | 69.56 |
| INTERBACINO 3 | 1008 | 35.9 | 233.48 | 41.8 | 314.30 | 34.4 | 398.75 | 22.7 | 457.09 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | 1009 | 21.1 | 72.48 | 20.4 | 104.75 | 13.4 | 142.41 | 9.0 | 174.96 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | 1010 | 31.6 | 125.29 | 31.9 | 170.19 | 20.9 | 212.14 | 12.8 | 232.99 |
| INTERBACINO 4 | 1011 | 27.2 | 192.15 | 33.8 | 271.71 | 30.0 | 364.41 | 21.0 | 443.50 |
| BORRO DEI MAZZOLI | 1012 | 49.5 | 237.00 | 51.5 | 321.11 | 36.5 | 416.91 | 24.1 | 497.31 |
| BORRO CERCHIAIO | 1013 | 36.4 | 245.88 | 48.6 | 361.73 | 44.9 | 472.46 | 30.1 | 529.30 |
| BORRO DI RIPOLI | 1014 | 24.2 | 71.72 | 19.9 | 100.31 | 12.0 | 127.84 | 7.4 | 142.37 |
| FOSSO DI SANT'EUFROSIO | 1015 | 26.9 | 104.52 | 21.6 | 138.56 | 13.6 | 176.59 | 9.0 | 206.47 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | 1016 | 21.1 | 82.16 | 19.2 | 115.62 | 12.9 | 157.33 | 8.9 | 197.15 |
| BORRO DELL'ARGENNA | 1017 | 21.1 | 82.16 | 19.2 | 115.62 | 12.9 | 157.33 | 8.9 | 197.15 |
| BORRO DI RIGNANA | 1018 | 12.3 | 44.18 | 17.8 | 86.07 | 14.1 | 139.73 | 10.1 | 192.12 |
| BORRO DELLE VILLANE | 1019 | 9.44 | 30.327 | 11.8 | 54.501 | 8.42 | 82.194 | 5.7 | 104.523 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | 1020 | 9.1 | 44.30 | 16.8 | 92.60 | 16.5 | 145.37 | 11.3 | 183.91 |
| INTERBACINO 5 | 1021 | 27.6 | 250.97 | 43.7 | 422.21 | 50.2 | 625.60 | 40.2 | 800.73 |

Tabella 4-12 - Portate massime e volumi di piena - Scenario Pesa - TR= 200 anni - Modello 01 – Torrente Pesa ed Affluenti

4.3 VERIFICHE IDRAULICHE

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Quest'ultima tipologia di modellazione è particolarmente indicata per la simulazione degli eventi di piena in cui il flusso nell'alveo fluviale viene schematizzato con un moto 1D, mentre la propagazione della piena sulle aree inondabili, attraverso un moto 2D. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica.

Il modello idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale. In particolare, sono stati sviluppati:

- il modello del Torrente Pesa, in cui sono stati inseriti i contributi idrologici dei bacini degli affluenti nel tratto studiato;
- i modelli degli affluenti oggetto di studio, dove come condizione al contorno di valle sono state utilizzate le risultanze della modellazione del Torrente Pesa.

4.3.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEI CORSI D'ACQUA E DELLE AREE DI INTERESSE

La caratterizzazione geometrica del Torrente Pesa è stata derivata dalle sezioni fluviali fornite dal Consorzio di Bonifica della Toscana Centrale e derivanti da una campagna di rilievi svolta nell'anno 2006. Tali sezioni sono state integrate tramite i rilievi LiDAR forniti da Regione Toscana (2008) ed una campagna rilievi svoltasi nel Luglio 2020 a supporto delle indagini.

La caratterizzazione degli affluenti oggetto di indagine (Fosso del Fagiolare, Fosso di Cepperano, Fosso degli Assilli e Borro dei Mazzoli) è stata derivata dai rilievi LiDAR del 2008 integrata tramite campagna rilievi svolta nel Luglio 2020.

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni (Esempio: sezione 00320PB20):

- 5 caratteri (Esempio: 00320) identificativo del codice della sezione;
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:20) identificativo dell'anno del rilievo topografico.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software HEC-RAS per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

Il territorio potenzialmente soggetto ad allagabilità dal sistema fluviale sopra descritto è stato modellato tramite un DTM ricavato dal rilievo Lidar del 2008 (e da CTR10K ove non presente la copertura LIDAR), ricomprendendo un areale complessivo di circa 14.35 Km².

La risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata così assegnata:

- al modello del Torrente Pesa si è assegnata una cella pari a 15 x 15 [m], successivamente dettagliata tramite linee di discontinuità (breaklines) in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (viabilità, attraversamenti, etc) sino ad una risoluzione di 5 m ove necessario;
- ai modelli degli affluenti oggetto di indagine si è assegnata una cella pari a 5 x 5 [m], successivamente dettagliata tramite linee di discontinuità (breaklines) in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (viabilità, attraversamenti, etc) sino ad una risoluzione di 1 m ove necessario.

Le tracce delle sezioni, le opere dell'arte, il dominio dell'area 2D, le *breaklines* utilizzate per infittire la mesh sono riportati in tavola IDR11 - *Modello 01 - Planimetria del Modello Idraulico - Torrente Pesa ed Affluenti*. Le sezioni delle opere idrauliche da rilievo topografico sono riportate nell'elaborato IDR16 - *Modello 01 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 e 200 anni*.

4.3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Le condizioni al contorno dei modelli idraulici analitici sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche puntuali in corrispondenza delle confluenze con corsi d'acqua non oggetto di simulazione idraulica;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presenta un reticolo idrografico di riferimento;
- Condizioni al contorno di valle.

Modello Idraulico del Torrente Pesa

Nella Tabella 4-13 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica del Torrente Pesa.

La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CM il contributo di monte, CP i contributi puntuali e CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso % in funzione dell'area, per distinguere se gli input derivanti da bacini ed interbacini sono stati inseriti interamente nello stesso punto di immissione oppure se questi sono stati scorporati

in più input lungo il modello. Tali contributi sono consultabili nell'elaborato grafico IDR11 - Modello 01 - Planimetria del Modello Idraulico - Torrente Pesa ed Affluenti.

| BACINO | TIPO IMMISSIONE | CODICE BACINO | CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | CODICE SEZIONE | RS | % |
|------------------------|-----------------|---------------|------------------------------|----------------------|-----------|------|
| TORRENTE PESA MONTE | CM | 1001 | 1001A | - | 207 | 0.5 |
| | CD | | 1001B | 05182PC20 → 04978_08 | 201 → 186 | 0.5 |
| FOSSO BALATRO | CP | 1002 | 1002 | 04955_08 | 185 | 1 |
| FOSSO DEL FAGIOLARE | CP | 1003 | 1003A | 00034_08 | 173.33 | 1 |
| INTERBACINO 1 | CD | 1004A | 1004A | 04943_08 → 04833_08 | 184 → 174 | 1 |
| FOSSO DI CEPPERANO | CP | 1004B | 1004B | 00055_08 | 173.73 | 1 |
| INTERBACINO 2 | CD | 1004C | 1004D | 04819PC20 → 04698_08 | 172 → 163 | 1 |
| BORRO AI COPPINI | CP | 1005 | 1005 | 04688_08 | 162 | 1 |
| FOSSO DELLE MASSICIAIE | CP | 1006 | 1006 | - | 158.5 | 1 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | CP | 1007 | 1007A | - | 152.67 | 1 |
| INTERBACINO 3 | CD | 1008 | 1008A | 04651_08 → 04594_08 | 158 → 153 | 0.12 |
| | CD | | 1008B | 04576_08 → 04488_08 | 152 → 146 | 0.26 |
| | CD | | 1008C | 04481GC20 → 04428_08 | 144 → 140 | 0.14 |
| | CD | | 1008D | 04401_08 → 04147PB20 | 138 → 122 | 0.48 |
| FOSSO DI CAMPOMAGNO | CP | 1009 | 1009 | 04481GB20 | 145 | 1 |
| BORRO DEL GUALDACCIO | CP | 1010 | 1010 | 04415_08 | 139 | 1 |
| INTERBACINO 4 | CD | 1011 | 1011A | 04095_08 → 03987_08 | 119 → 115 | 0.2 |
| | CD | | 1011B | 03957_06 → 03859_06 | 114 → 105 | 0.18 |
| | CD | | 1011C | 03827_06 → 03780_06 | 103 → 100 | 0.12 |
| | CD | | 1011D | 03764_06 → 03607_06 | 99 → 89 | 0.3 |
| | CD | | 1011E | 03588_06 → 03454_06 | 88 → 78 | 0.2 |
| BORRO DEI MAZZOLI | CP | 1012 | 1012A | - | 120.63 | 1 |
| BORRO CERCHIAIO | CP | 1013 | 1013 | - | 114.33 | 1 |
| BORRO DI RIPOLI | CP | 1014 | 1014 | 03842_06 | 104 | 1 |
| FOSSO DI SAN'EUFROSIO | CP | 1015 | 1015 | - | 99.5 | 1 |
| FOSSO DI SAN MARTINO | CP | 1016 | 1016 | - | 88.25 | 1 |
| BORRO DELL'ARGENNA | CP | 1017 | 1017 | 03439_06 | 77 | 1 |
| BORRO DI RIGNANA | CP | 1018 | 1018 | 03422_06 | 76 | 1 |
| BORRO DELLE VILLANE | CP | 1019 | 1019 | 03333_06 | 68 | 1 |
| FOSSO DI RIMAGGIO | CP | 1020 | 1020 | 02886BB06 | 39 | 1 |
| INTERBACINO 5 | CD | 1021 | 1021A | 03409_06 → 03340PC06 | 75 → 69 | 0.12 |
| | CD | | 1021B | 03316_06 → 02894_06 | 67 → 40 | 0.48 |
| | CD | | 1021C | 02886BC06 → 02758_06 | 38 → 21 | 0.4 |

Tabella 4-13 - Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 01 - Torrente Pesa

In Tabella 4-9 a Tabella 4-12 sono riportati i massimi valori di portata al colmo di piena Q_{max} [m³/s] associati agli idrogrammi impiegati come immissioni puntuali e distribuite per i diversi tempi di ritorno (30 e 200 anni) e per le diverse durate di pioggia: 1, 2, 4 e 7 ore, per entrambi gli scenari presi in considerazione.

Relativamente alla condizione al contorno di valle è stata utilizzata la scala di deflusso in corrispondenza della sezione di valle (02516_06) mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa (Figura 3).

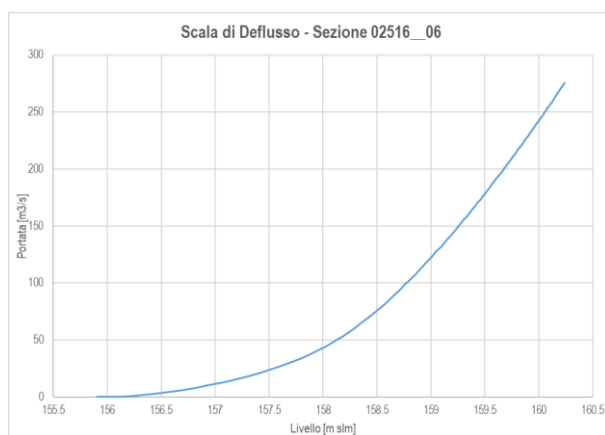


Figura 3 - Condizione al contorno di Valle alla sezione 02516_06 implementata nel modello idraulico del Torrente Pesa

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning come dettagliato in Tabella 4-14:

| Tratto (Hec RS) | Coefficiente di Manning [s/m ^{1/3}] |
|-----------------|---|
| 207 - 201 | 0.05 |
| 201 - 30 | 0.045 |
| 30 - 1 | 0.035 |

Tabella 4-14 – Assegnazione dei coefficienti di scabrezza alle sezioni fluviali del Torrente Pesa

I valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale sono stati stimati adottando un coefficiente di Manning variabile spazialmente in funzione dell'uso del suolo, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente di scabrezza sulla base di una analisi della letteratura in materia.

In *Appendice A - Modellistica* idrologico-idraulica è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

Modelli Idraulici degli affluenti del Torrente Pesa

Nella Tabella 4-15 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica degli affluenti del Torrente Pesa oggetto di indagini idrauliche, ovvero:

- Fosso di Cepperano;
- Fosso del Fagiolare;
- Fosso degli Assilli;
- Borro dei Mazzoli.

La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CM il contributo di monte, CP i contributi puntuali e CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso %, qualora l'input idrologico sia riferito ad un bacino più esteso rispetto al punto di immissione. Tali contributi sono consultabili nell'elaborato grafico *IDR11 - Modello 01 - Planimetria del Modello Idraulico - Torrente Pesa ed Affluenti*.

| BACINO | TIPO IMMISSIONE | CODICE BACINO | CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | RS | % |
|---------------------|-----------------|---------------|------------------------------|---------|-----|
| FOSSO DEL FAGIOLARE | CP | 1003 | 1003A | 13 | 0.7 |
| | CD | | 1003B | 9 → 1 | 0.3 |
| FOSSO DI CEPPERANO | CP | 1004B | 1004B.1 | 7 | 0.9 |
| | CD | | 1004B.2 | 6 → 1 | 0.1 |
| FOSSO DEGLI ASSILLI | CP | 1007 | 1007A | 5 | 0.9 |
| | CD | | 1007B | 4.5 → 2 | 0.1 |
| BORRO DEI MAZZOLI | CP | 1012 | 1012A | 19 | 0.3 |
| | CD | | 1012B | 18 → 1 | 0.7 |

Tabella 4-15 - Elenco dei bacini e degli input idrologici alla modellazione idraulica – Modello 01 – Affluenti oggetto di studio

Come condizione di valle sono state poste le risultanze del modello idraulico del Torrente Pesa in corrispondenza delle rispettive confluenze.

Relativamente al Fosso del Fagiolare, a monte del tratto di corso d'acqua è situato un bacino artificiale (Lago di Volpaia) il cui effetto di laminazione è simulato tramite una curva di invaso determinata a partire dai dati Lidar. A titolo di esempio si riporta, in Figura 4, l'effetto di laminazione per l'evento con tempo di ritorno 200 anni e durata 1 ora.

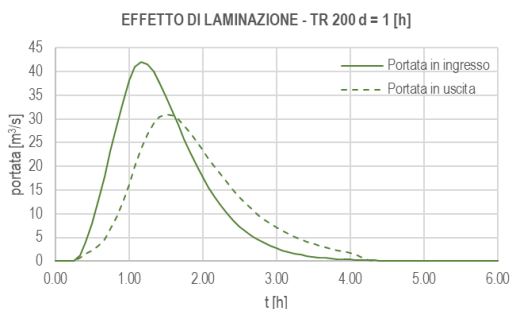


Figura 4 – Fosso del Fagiolare: effetto di laminazione del Lago di Volpaia

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning 0.045 [s/m^{1/3}] sui Fossi di Cepperano e Fagiolare ed il Borro dei Mazzoli e pari a 0.05 [s/m^{1/3}] sul Fosso degli Assilli.

I valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale sono stati stimati adottando un coefficiente di Manning variabile spazialmente in funzione dell'uso del suolo, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente di scabrezza sulla base di una analisi della letteratura in materia.

In *Appendice A - Modellistica* idrologico-idraulica è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

4.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE IMPLEMENTATE

Le verifiche idrauliche sono state svolte nello scenario geometrico del Torrente Pesa e degli affluenti per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1 - 2 - 4 ore, alla quale si aggiunge la durata di 7 ore per il solo Torrente Pesa.

4.3.4 RISULTATI

L'implementazione della modellistica idraulica fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di battenti e velocità lungo il corso d'acqua e nelle aree soggette ad allagamento.

Per ogni tempo di ritorno sono stati inviluppati i massimi battenti e velocità in alveo e nelle aree allagate risultanti dalle simulazioni idrauliche svolte sulle varie durate di pioggia ed i vari scenari. Con questa impostazione si restituiscono i seguenti elaborati grafici:

- **Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
 - IDR12A - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 1
 - IDR12B - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 2
 - IDR12C - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 3
 - IDR12D - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 4
 - IDR13A - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 1
 - IDR13B - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 2
 - IDR13C - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 3
 - IDR13D - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 4
- **Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
 - IDR14A - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 1
 - IDR14B - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 2
 - IDR14C - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 3
 - IDR14D - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 4
 - IDR15A - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 1
 - IDR15B - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 2
 - IDR15C - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 3
 - IDR15D - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 4
- **Inviluppo dei livelli massimi attesi in alveo per TR=30-200 anni:**
 - IDR16 - Modello 01 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 e 200 anni

5. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 02 – FOSSO DI FONTERCOLI

Il presente modello riguarda la modellazione idrologica ed idraulica del reticolo del Fosso di Fontercoli afferente al territorio del Comune di Radda in Chianti, sul confine con il Comune di Gaiole in Chianti (rif. IDR01 – *Inquadramento Generale*).

5.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nella Tavola IDR21 - *Modello 02 - Planimetria del Modello Idraulico - Fosso di Fontercoli* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche, ovvero il Fosso di Fontercoli.

5.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Data la modesta estensione areale dell'intero bacino imbrifero del Fosso di Fontercoli, l'analisi idrologica ha riguardato il solo bacino complessivo del corso d'acqua.

Nella tabella sottostante si riporta il bacino oggetto di analisi idrologica, riportato in forma grafica nell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

| NOME | CODICE | AREA [km ²] |
|---------------------|--------|-------------------------|
| FOSSO DI FONTERCOLI | 2000 | 2.39 |

Tabella 5-1: Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 02 – Fontercoli

5.2.1 MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione dei contributi pluviometrici e degli idrogrammi di piena. I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con modelli numerici di comprovata affidabilità e con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il modello di infiltrazione utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- la [mm], volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- Ks [mm/h], coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- n [-], numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- k [h], tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

Modello di Infiltrazione

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro la [mm] è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dalla carta dell'Uso e Copertura del Suolo), consultabile nell'elaborato *Allegato 1.2.C – Modello 02 – Fosso di Fontercoli - Tavola delle Aree Boscate* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

Il parametro Ks [mm/h] è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale, assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 4-4 e calcolando un coefficiente medio per il bacino idrografico. L'assegnazione dei valori dei coefficienti di infiltrazione è consultabile nell'elaborato *Allegato 1.2.D – Modello 02 – Fosso di Fontercoli - Tavola dei Coefficienti di Infiltrazione* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

I parametri appena descritti nell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica*.

Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Il bacino oggetto di indagine, caratterizzato da aste fluviali di ordine maggiore a 2, è stato oggetto di una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler. Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati dunque derivati i parametri n e k del modello di Nash (si veda l'Appendice A: *Modellistica idrologico-idraulica* per maggiori dettagli).

Per i dettagli sui fondamenti teorici della modellistica idrologica si rimanda all'Appendice A - Modellistica Idrologico – Idraulica. Nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica si riportano in forma grafica la gerarchizzazione del reticolo e del bacino e gli strati informativi per la stima dei parametri la e Ks.

Una sintesi dei parametri idrologici sopra descritti ed utilizzati per la stima del contributo del bacino è riportata nella seguente tabella.

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|---------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|--------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | Tl [h] |
| 2000 | FOSSO DI FONTERCOLI | 2.394 | 15.67 | 4.351 | 2.259 | 0.289 | 0.65 |

Tabella 5-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 02 – Fosso di Fontercoli

5.2.2 SOLLECITAZIONI PLUVIOMETRICHE

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come durate di pioggia si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo) di ciascun contributo idrologico. Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

L'aggiornamento dell'Analisi di Frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, elaborata nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 e pubblicata da parte della Regione Toscana, costituisce la base dati aggiornata su cui implementare le analisi idrologiche.

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO [anni] | Eventi considerati | | |
|---------------------|--------|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | d = 1 [h] | d = 2 [h] | d = 3 [h] |
| FOSSO DI FONTERCOLI | 2000 | 30 | 54.1 | 64.3 | 71.2 |
| | | 200 | 75.2 | 93.5 | 106.2 |

Tabella 5-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 02 – Fosso di Fontercoli

Data la modesta estensione areale dei bacini oggetto di studio, a titolo cautelativo, non è stato applicato alcun ragguglio areale sulle piogge lorde, ovvero è stato imposto $K_R = 1$.

Gli ietogrammi di pioggia sono stati assunti ad intensità costante.

5.2.3 IDROGRAMMI DI PIENA

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico), opportunamente depurate delle perdite idrologiche così come argomentato ai paragrafi precedenti, si sono determinati gli idrogrammi di piena.

I risultati dell'analisi idrologica sono sintetizzati in Tabella 5-4, in cui si riportano i valori di portata di picco [m³/s] e di volumi [1000 m³] stimati per gli scenari di evento su cui è stato cimentato il modello idraulico. Gli idrogrammi completi sono riportati, sia in forma grafica che tabellare, nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

| BACINO | CODICE | TR 30 ANNI | | | | | |
|---------------------|--------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 3 [h] | |
| | | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| FOSSO DI FONTERCOLI | 2000 | 22.2 | 81.55 | 17.5 | 95.66 | 12.8 | 101.66 |

| BACINO | CODICE | TR 200 ANNI | | | | | |
|---------------------|--------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | | d = 3 [h] | |
| | | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| FOSSO DI FONTERCOLI | 2000 | 34.3 | 132.17 | 27.3 | 165.49 | 20.6 | 185.41 |

Tabella 5-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 02 – Fosso di Fontercoli

5.3 VERIFICHE IDRAULICHE

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica.

La modellazione per il Fosso di Fontercoli è una modellazione di dettaglio disaccoppiata, di tipo monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree di territorio contermini al corso d'acqua. Tale scelta deriva dal fatto che la geometrizzazione delle sezioni fluviali, effettuata tramite una campagna di rilievi topografici svoltasi nel Luglio 2020 a supporto delle presenti indagini idrauliche, non risulta del tutto congruente con il modello digitale del terreno utilizzato per la schematizzazione del territorio allagabile in virtù della diversa scala di dettaglio dei due rilievi. Per tale incongruenza non risultava possibile implementare una modellistica di tipo accoppiato senza inficiare le risultanze in termini di aree allagate.

È stato pertanto scelto di implementare una modellazione 1D sul corso d'acqua in cui sono stati inseriti gli sfiori laterali su tutto lo sviluppo spondale alle quote di testa sponda e trasferiti poi gli idrogrammi in uscita dagli sfiori in un modello 2D nel quale è stata simulata la propagazione dei deflussi di esondazione.

5.3.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'AREE DI INTERESSE

La caratterizzazione geometrica del Fosso di Fontercoli è stata derivata dalle sezioni fluviali derivanti da una campagna rilievi svoltasi nel Luglio 2020.

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni (Esempio: sezione 00320PB20):

- 5 caratteri (Esempio: 00320) identificativo del codice della sezione;
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:20) identificativo dell'anno del rilievo topografico.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software HEC-RAS per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

Il territorio potenzialmente soggetto ad allagabilità dal sistema fluviale sopra descritto è stato modellato tramite un DTM ricavato CTR10K, ricomprendendo un areale complessivo di circa 1.09 Km².

La risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata così assegnata pari a 10 x 10 [m] e successivamente dettagliata tramite delle linee di discontinuità (breaklines) in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (viabilità, attraversamenti, etc) sino ad una risoluzione di 5 m ove necessario.

Le tracce delle sezioni, le opere dell'arte, il dominio dell'area 2D, le breaklines utilizzate per infittire la mesh sono riportati in tavola IDR21 - Modello 02 - Planimetria del Modello Idraulico – Fosso di Fontercoli. Le sezioni delle opere idrauliche da rilievo topografico sono riportate nell'elaborato IDR26 - Modello 02 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici – Fosso di Fontercoli - TR 30 e 200 anni.

5.3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Le condizioni al contorno dei modelli idraulici analitici sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche puntuali in corrispondenza delle confluenze con corsi d'acqua non oggetto di simulazione idraulica;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presenta un reticolo idrografico di riferimento;
- Condizioni al contorno di valle.

Nella Tabella 5-5 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica. La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso % in quanto gli input idrologici sia riferiti al bacino totale e quindi più esteso rispetto al punto di immissione.

| CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | TIPO IMMISSIONE | CODICE SEZIONE | RS HEC | % |
|------------------------------|-----------------|-------------------------|--------|-----|
| 2000A | CM | [-] | 34 | 0.2 |
| 2000B | CD | 00227PC20 → 00037_20 | 20 → 7 | 0.7 |
| 2000C | CP | [-] | 6.2 | 0.1 |

Tabella 5-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 02 – Fosso di Fontercoli

In Tabella 5-4 sono riportati i massimi valori di portata Q_{max} [m³/s] associati agli idrogrammi impiegati come immissioni puntuali e distribuite per i diversi tempi di ritorno (30 e 200 anni) e per le diverse durate di pioggia: 1, 2, e 3 ore.

Relativamente alle condizioni al contorno di valle, a favore di sicurezza è stato posto un livello costante di piene rive pari a 393.64 [m slm].

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning 0.045 [s/m^{1/3}].

I valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale sono stati stimati adottando un coefficiente di Manning variabile spazialmente in funzione dell'uso del suolo, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente di scabrezza sulla base di una analisi della letteratura in materia.

In *Appendice A - Modellistica idrologico-idraulica* è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

5.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE IMPLEMENTATE

Le verifiche idrauliche sono state svolte nello scenario geometrico dello stato attuale per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 1-2-3 ore.

5.3.4 RISULTATI

L'implementazione della modellistica idraulica fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di battenti e velocità lungo i corsi d'acqua e nelle aree soggette ad allagamento.

Per ogni tempo di ritorno sono stati sviluppati i massimi battenti e velocità in alveo e nelle aree allagate risultanti dalle simulazioni idrauliche svolte sulle varie durate di pioggia. Con questa impostazione si restituiscono:

- **Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR22 - Modello 02 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso di Fontercoli - TR 30 anni
IDR23 - Modello 02 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso di Fontercoli - TR 200 anni
- **Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR24 - Modello 02 - Carta delle Velocità Massime - Fosso di Fontercoli - TR 30 anni
IDR25 - Modello 02 - Carta delle Velocità Massime - Fosso di Fontercoli - TR 200 anni
- **Inviluppo dei livelli massimi attesi in alveo per TR=30-200 anni:**
IDR26 - Modello 02 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici - Fosso di Fontercoli - TR 30 e 200 anni

6. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 03 – FOSSO DELLA CASUCCIA

Il presente modello riguarda la modellazione idrologica ed idraulica del reticolo del Fosso della Casuccia afferente al territorio del Comune di Radda in Chianti (rif. IDR01 – Inquadramento Generale).

6.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nella Tavola IDR31 - Modello 03 - Planimetria del Modello Idraulico - Fosso della Casuccia si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche, ovvero il Fosso della Casuccia. Si precisa che tale reticolo non è classificato, ai sensi della L.R. n.79/2012 quale reticolo idrografico ma, poiché risulta significativo ai fini della presente indagine, è stato incluso negli studi idraulici di supporto al Piano Strutturale Intercomunale.

6.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Data la modesta estensione areale dell'intero bacino imbrifero del Fosso della Casuccia, l'analisi idrologica ha riguardato il solo bacino complessivo del corso d'acqua.

Nella tabella sottostante si riporta il bacino oggetto di analisi idrologica, riportato in forma grafica nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica.

| NOME | CODICE | AREA [km ²] |
|----------------------|--------|-------------------------|
| FOSSO DELLA CASUCCIA | 3000 | 0.15 |

Tabella 6-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 03 – Casuccia

6.2.1 MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione dei contributi pluviometrici e degli idrogrammi di piena. I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con modelli numerici di comprovata affidabilità e con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il modello di infiltrazione utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- la [mm], volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- Ks [mm/h], coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- n [-], numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- k [h], tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

Modello di Infiltrazione

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro la [mm] è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dalla carta dell'Uso e Copertura del Suolo), consultabile nell'elaborato Allegato 1.3.C – Modello 03 – Fosso della Casuccia - Tavola delle Aree Boscate all'interno dell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica.

Il parametro Ks [mm/h] è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale, assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 4-4 e calcolando un coefficiente medio per il bacino idrografico. L'assegnazione dei valori dei coefficienti di infiltrazione è consultabile nell'elaborato Allegato 1.3.D – Modello 03 – Fosso della Casuccia - Tavola dei Coefficienti di Infiltrazione all'interno dell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica.

I parametri appena descritti nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Il bacino oggetto di indagine è caratterizzato da aste fluviali di ordine pari a 1. Al fine di mantenere invariata la modellazione idrologica, si è quindi proceduto determinando il parametro n con riferimento al più piccolo bacino di ordine pari a 2 che ricomprende il bacino di indagine. Questo è stato dunque oggetto di una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler. Per determinare, invece, il parametro k si è proceduto determinando il tempo di corrivazione del bacino di interesse tramite la seguente Formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{z}}$$

dove:

- A è l'area del bacino [km²];
- L è la lunghezza dell'asta principale [km];
- z è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m]

Tramite il tempo di corrivazione così determinato è stato determinato il parametro k necessario alla modellazione di Nash.

Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati dunque derivati i parametri n e k del modello di Nash (si veda l'Appendice A: *Modellistica idrologico-idraulica* per maggiori dettagli).

Per i dettagli sui fondamenti teorici della modellistica idrologica si rimanda all'Appendice A - *Modellistica Idrologico - Idraulica*. Nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – *Risultati Modellistica Idrologica* si riportano in forma grafica la gerarchizzazione del reticolo e del bacino e gli strati informativi per la stima dei parametri la e Ks.

Una sintesi dei parametri idrologici sopra descritti ed utilizzati per la stima del contributo del bacino è riportata nella seguente tabella.

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|--------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | Tl [h] |
| 3000 | FOSSO DELLA CASUCCIA | 0.152 | 3.51 | 4.65 | 2.789 | 0.082 | 0.23 |

Tabella 6-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 03 – Fosso della Casuccia

6.2.2 SOLLECITAZIONI PLUVIOMETRICHE

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come durate di pioggia si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo) di ciascun contributo idrologico. Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

L'aggiornamento dell'Analisi di Frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, elaborata nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 e pubblicata da parte della Regione Toscana, costituisce la base dati aggiornata su cui implementare le analisi idrologiche.

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO [anni] | Eventi considerati | | |
|----------------------|--------|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | d = 0.5 [h] | d = 1 [h] | d = 2 [h] |
| FOSSO DELLA CASUCCIA | 3000 | 30 | 43.4 | 52.2 | 62.8 |
| | | 200 | 57.8 | 72.6 | 91.3 |

Tabella 6-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 03 – Fosso della Casuccia

Data la modesta estensione areale dei bacini oggetto di studio, a titolo cautelativo, non è stato applicato alcun ragguglio areale sulle piogge lorde, ovvero è stato imposto Kr=1. Gli ietogrammi di pioggia sono stati assunti ad intensità costante.

6.2.3 IDROGRAMMI DI PIENA

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico), opportunamente depurate delle perdite idrologiche così come argomentato ai paragrafi precedenti, si sono determinati gli idrogrammi di piena.

I risultati dell'analisi idrologica sono sintetizzati in Tabella 6-4, in cui si riportano i valori di portata di picco [m³/s] e di volumi [1000 m³] stimati per gli scenari di evento su cui è stato cimentato il modello idraulico. Gli idrogrammi completi sono riportati, sia in forma grafica che tabellare, nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

| Codice | Nome | TR 30 anni | | | | | |
|--------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| 3000 | FOSSO DELLA CASUCCIA | 3.3 | 5.64 | 2.0 | 6.62 | 1.1 | 7.52 |

| Codice | Nome | TR 200 anni | | | | | |
|--------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| 3000 | FOSSO DELLA CASUCCIA | 4.4 | 7.81 | 2.8 | 9.69 | 1.7 | 11.78 |

Tabella 6-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 03 – Fosso della Casuccia

6.3 VERIFICHE IDRAULICHE

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica.

La modellazione per il Fosso della Casuccia è una modellazione di dettaglio disaccoppiata, di tipo monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree di territorio contermini al corso d'acqua. Tale scelta deriva dal fatto che la geometrizzazione delle sezioni fluviali, effettuata tramite una campagna di rilievi topografici svoltasi nel Luglio 2020 a supporto delle presenti indagini idrauliche, non risulta del tutto congruente con il modello digitale del terreno utilizzato per la schematizzazione del territorio allagabile in virtù della diversa scala di dettaglio dei due rilievi. Per tale incongruenza non risultava possibile implementare una modellistica di tipo accoppiato senza inficiare le risultanze in termini di aree allagate.

È stato pertanto scelto di implementare una modellazione 1D sul corso d'acqua in cui sono stati inseriti gli sfiori laterali su tutto lo sviluppo spondale alle quote di testa sponda e trasferiti poi gli idrogrammi in uscita dagli sfiori in un modello 2D nel quale è stata simulata la propagazione dei deflussi di esondazione.

6.3.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'AREE DI INTERESSE

La caratterizzazione geometrica del Fosso della Casuccia è stata derivata dalle sezioni fluviali derivanti da una campagna rilievi svoltasi nel Luglio 2020.

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni (Esempio: sezione 00320PB20):

- 5 caratteri (Esempio: 00320) identificativo del codice della sezione;
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:20) identificativo dell'anno del rilievo topografico.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software HEC-RAS per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

Il territorio potenzialmente soggetto ad allagabilità dal sistema fluviale sopra descritto è stato modellato tramite un DTM ricavato CTR10K, ricomprendendo un areale complessivo di circa 0.08 Km².

La risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata così assegnata pari a 5 x 5 [m] e successivamente dettagliata tramite delle linee di discontinuità (breaklines) in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (viabilità, attraversamenti, etc) sino ad una risoluzione di 1 m ove necessario.

Le tracce delle sezioni, le opere dell'arte, il dominio dell'area 2D, le *breaklines* utilizzate per infittire la mesh sono riportati in tavola IDR31 - *Modello 03 - Planimetria del Modello Idraulico – Fosso della Casuccia*. Le sezioni delle opere idrauliche da rilievo topografico sono riportate nell'elaborato IDR36 - *Modello 03 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici – Fosso della Casuccia - TR 30 e 200 anni*.

6.3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Le condizioni al contorno dei modelli idraulici analitici sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche puntuali in corrispondenza delle confluenze con corsi d'acqua non oggetto di simulazione idraulica;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presenta un reticolo idrografico di riferimento;
- Condizioni al contorno di valle.

Nella Tabella 6-5 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica. La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso % in quanto gli input idrologici sia riferiti al bacino totale e quindi più esteso rispetto al punto di immissione.

| CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | TIPO IMMISSIONE | RS HEC | % |
|------------------------------|-----------------|----------|------|
| 3000A | CM | 9 | 0.4 |
| 3000B | CD | 8.7 → 8 | 0.16 |
| 3000C | CD | 3 → 1.17 | 0.44 |

Tabella 6-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 03 – Fosso della Casuccia

In Tabella 6-4 sono riportati i massimi valori di portata Q_{max} [m³/s] associati agli idrogrammi impiegati come immissioni puntuali e distribuite per i diversi tempi di ritorno (30 e 200 anni) e per le diverse durate di pioggia: 0.5, 1, e 2 ore.

Relativamente alle condizioni al contorno di valle, sono state poste condizioni di efflusso libero controllate dalla pendenza locale del terreno/corso d'acqua recettore, assunta, a favore di sicurezza, pari a 0.05 m/m.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning 0.05 [s/m^{1/3}].

I valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale sono stati stimati adottando un coefficiente di Manning variabile spazialmente in funzione dell'uso del suolo, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente di scabrezza sulla base di una analisi della letteratura in materia.

In *Appendice A - Modellistica idrologico-idraulica* è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

6.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE IMPLEMENTATE

Le verifiche idrauliche sono state svolte nello scenario geometrico dello stato attuale per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1-2 ore.

6.3.4 RISULTATI

L'implementazione della modellistica idraulica fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di battenti e velocità lungo i corsi d'acqua e nelle aree soggette ad allagamento.

Per ogni tempo di ritorno sono stati inviluppati i massimi battenti e velocità in alveo e nelle aree allagate risultanti dalle simulazioni idrauliche svolte sulle varie durate di pioggia. Con questa impostazione si restituiscono:

- **Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR32 - *Modello 03 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso della Casuccia - TR 30 anni*
IDR33 - *Modello 03 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso della Casuccia - TR 200 anni*
- **Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR34 - *Modello 03 - Carta delle Velocità Massime - Fosso della Casuccia - TR 30 anni*
IDR35 - *Modello 03 - Carta delle Velocità Massime - Fosso della Casuccia - TR 200 anni*
- **Inviluppo dei livelli massimi attesi in alveo per TR=30-200 anni:**

7. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 04 – AFFLUENTE DEL FOSSO ARBIOLA

Il presente modello riguarda la modellazione idrologica ed idraulica del reticolo dell'affluente del Fosso Arbiola afferente al territorio del Comune di Castellina in Chianti (rif. IDR01 – *Inquadramento Generale*).

7.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nella Tavola IDR41 - *Modello 04 - Planimetria del Modello Idraulico - Affluente Fosso Arbiola* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche, ovvero l'Affluente del Fosso Arbiola.

7.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Data la modesta estensione areale dell'intero bacino imbrifero dell'Affluente del Fosso Arbiola, l'analisi idrologica ha riguardato il solo bacino complessivo del corso d'acqua.

Nella tabella sottostante si riporta il bacino oggetto di analisi idrologica, riportato in forma grafica nell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

| NOME | CODICE | AREA [km ²] |
|-------------------------|--------|-------------------------|
| AFFLUENTE FOSSO ARBIOLA | 4000 | 0.40 |

Tabella 7-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 04 – Affluente Arbiola

7.2.1 MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione dei contributi pluviometrici e degli idrogrammi di piena. I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con modelli numerici di comprovata affidabilità e con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il modello di infiltrazione utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- la [mm], volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- Ks [mm/h], coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- n [-], numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- k [h], tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

Modello di Infiltrazione

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro la [mm] è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dalla carta dell'Uso e Copertura del Suolo), consultabile nell'elaborato *Allegato 1.4.C – Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola - Tavola delle Aree Boscate* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

Il parametro Ks [mm/h] è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale, assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 4-4 e calcolando un coefficiente medio per il bacino idrografico. L'assegnazione dei valori dei coefficienti di infiltrazione è consultabile nell'elaborato *Allegato 1.4.D – Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola - Tavola dei Coefficienti di Infiltrazione* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

I parametri appena descritti nell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica*.

Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Il bacino oggetto di indagine, caratterizzato da aste fluviali di ordine pari a 2, è stato oggetto di una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler. Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati dunque derivati i parametri n e k del modello di Nash (si veda l'Appendice A: *Modellistica idrologico-idraulica* per maggiori dettagli).

Per i dettagli sui fondamenti teorici della modellistica idrologica si rimanda all'Appendice A - Modellistica Idrologico – Idraulica. Nell'elaborato *IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica* si riportano in forma grafica la gerarchizzazione del reticolo e del bacino e gli strati informativi per la stima dei parametri la e Ks.

Una sintesi dei parametri idrologici sopra descritti ed utilizzati per la stima del contributo del bacino è riportata nella seguente tabella.

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|--------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | TI [h] |
| 4000 | AFFLUENTE FOSSO ARBIOLA | 0.395 | 11.50 | 4.604 | 2.016 | 0.140 | 0.28 |

Tabella 7-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola

7.2.2 SOLLECITAZIONI PLUVIOMETRICHE

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come durate di pioggia si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo) di ciascun contributo idrologico. Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

L'aggiornamento dell'Analisi di Frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, elaborata nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 e pubblicata da parte della Regione Toscana, costituisce la base dati aggiornata su cui implementare le analisi idrologiche.

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO [anni] | Eventi considerati | | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | d = 0.5 [h] | d = 1 [h] | d = 2 [h] |
| AFFLUENTE FOSSO ARBIOLA | 4000 | 30 | 43.5 | 51.8 | 61.8 |
| | | 200 | 59.5 | 72.2 | 87.5 |

Tabella 7-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola

Data la modesta estensione areale dei bacini oggetto di studio, a titolo cautelativo, non è stato applicato alcun ragguglio areale sulle piogge lorde, ovvero è stato imposto Kr=1.

Gli ietogrammi di pioggia sono stati assunti ad intensità costante.

7.2.3 IDROGRAMMI DI PIENA

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico), opportunamente depurate delle perdite idrologiche così come argomentato ai paragrafi precedenti, si sono determinati gli idrogrammi di piena.

I risultati dell'analisi idrologica sono sintetizzati in Tabella 7-4, in cui si riportano i valori di portata di picco [m³/s] e di volumi [1000 m³] stimati per gli scenari di evento su cui è stato cimentato il modello idraulico. Gli idrogrammi completi sono riportati, sia in forma grafica che tabellare, nell'elaborato *IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica*.

| Codice | Nome | TR 30 anni | | | | | |
|--------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| 4000 | AFFLUENTE FOSSO ARBIOLA | 6.9 | 11.58 | 5.0 | 13.96 | 2.9 | 16.04 |

| Codice | Nome | TR 200 anni | | | | | |
|--------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1 [h] | | d = 2 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000 m ³] |
| 4000 | AFFLUENTE FOSSO ARBIOLA | 10.1 | 17.83 | 7.2 | 21.88 | 4.3 | 26.10 |

Tabella 7-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola

7.3 VERIFICHE IDRAULICHE

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica. Quest'ultima tipologia di modellazione è particolarmente indicata per la simulazione degli eventi di piena in cui il flusso nell'alveo fluviale viene schematizzato con un moto 1D, mentre la propagazione della piena sulle aree inondabili, attraverso un moto 2D. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica.

Il modello idraulico implementato è un modello accoppiato mono-bidimensionale. In particolare, è stato sviluppato il modello dell'affluente del Fosso Arbiola.

7.3.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'AREE DI INTERESSE

La caratterizzazione geometrica del fosso oggetto di studio è stata derivata dalle sezioni fluviali derivanti da una campagna rilievi svoltasi nel Luglio 2020.

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni (Esempio: sezione 00320PB20):

- 5 caratteri (Esempio: 00320) identificativo del codice della sezione;
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:20) identificativo dell'anno del rilievo topografico.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software HEC-RAS per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

Il territorio potenzialmente soggetto ad allagabilità dal sistema fluviale sopra descritto è stato modellato tramite un DTM ricavato dal rilievo Lidar (ove assente tramite CTR10K), ricomprendendo un areale complessivo di circa 0.13 Km².

La risoluzione generale della cella di calcolo della mesh è stata così assegnata pari a 3 x 3 [m] e successivamente dettagliata tramite delle linee di discontinuità (breaklines) in corrispondenza di limiti significativi aventi funzionalità idraulica (viabilità, attraversamenti, etc) sino ad una risoluzione di 1 m ove necessario.

Le tracce delle sezioni, le opere dell'arte, il dominio dell'area 2D, le *breaklines* utilizzate per infittire la mesh sono riportati in tavola IDR41 - *Modello 04 - Planimetria del Modello Idraulico – Affluente Fosso Arbiola*. Le sezioni delle opere idrauliche da rilievo topografico sono riportate nell'elaborato IDR46 - *Modello 04 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici – Affluente Fosso Arbiola - TR 30 e 200 anni*.

7.3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Le condizioni al contorno dei modelli idraulici analitici sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche puntuali in corrispondenza delle confluenze con corsi d'acqua non oggetto di simulazione idraulica;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presenta un reticolo idrografico di

riferimento;

- Condizioni al contorno di valle.

Nella Tabella 7-5 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica. La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso % in quanto gli input idrologici sia riferiti al bacino totale e quindi più esteso rispetto al punto di immissione.

| CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | TIPO IMMISSIONE | RS HEC | % |
|------------------------------|-----------------|--------|------|
| 4000A | CM | 19 | 0.25 |
| 4000B | CD | 15 | 0.3 |
| 4000C | CD | 6.83 | 0.45 |

Tabella 7-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 04 – Affluente Fosso Arbiola

In Tabella 5-4 sono riportati i massimi valori di portata Q_{max} [m³/s] associati agli idrogrammi impiegati come immissioni puntuali e distribuite per i diversi tempi di ritorno (30 e 200 anni) e per le diverse durate di pioggia: 1, 2, e 3 ore.

Relativamente alle condizioni al contorno di valle, a favore di sicurezza è stato posto un livello costante di piene rive pari a 481.65 [m slm].

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning 0.045 [s/m^{1/3}].

I valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale sono stati stimati adottando un coefficiente di Manning variabile spazialmente in funzione dell'uso del suolo, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente di scabrezza sulla base di una analisi della letteratura in materia.

In *Appendice A - Modellistica idrologico-idraulica* è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

7.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE IMPLEMENTATE

Le verifiche idrauliche sono state svolte nello scenario geometrico dello stato attuale per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1-2 ore.

7.3.4 RISULTATI

L'implementazione della modellistica idraulica fornisce, per ciascuno degli eventi studiati, i valori di battenti e velocità lungo i corsi d'acqua e nelle aree soggette ad allagamento.

Per ogni tempo di ritorno sono stati inviluppati i massimi battenti e velocità in alveo e nelle aree allagate risultanti dalle simulazioni idrauliche svolte sulle varie durate di pioggia. Con questa impostazione si restituiscono:

- **Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR42 - Modello 04 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi – Affluente Fosso Arbiola - TR 30 anni
IDR43 - Modello 04 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Affluente Fosso Arbiola - TR 200 anni
- **Inviluppo delle velocità massime nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR44 - Modello 04 - Carta delle Velocità Massime - Affluente Fosso Arbiola - TR 30 anni
IDR45 - Modello 04 - Carta delle Velocità Massime - Affluente Fosso Arbiola - TR 200 anni
- **Inviluppo dei livelli massimi attesi in alveo per TR=30-200 anni:**
IDR46 - Modello 04 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici - Affluente Fosso Arbiola - TR 30 e 200 anni

8. MODELLO IDROLOGICO IDRAULICO 05 – BORRO STROLLA

Il presente modello riguarda la modellazione idrologica ed idraulica del reticolo del Borro Strolla e del suo affluente in sinistra Borro Ribaldoni, afferenti al Comune di Castellina in Chianti (rif. IDR01 – *Inquadramento Generale*).

8.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nella Tavola IDR51 - *Modello 05 - Planimetria del Modello Idraulico – Borro Strolla* si riporta il reticolo idraulico preso a riferimento nelle verifiche idrauliche, ovvero il Borro Strolla e il Borro Ribaldoni.

8.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

In virtù dell'estensione areale dell'intero bacino imbrifero del Borro Strolla, l'intero bacino è stato suddiviso in sottobacini ed interbacini riportati nella seguente tabella:

| NOME | CODICE | AREA [km ²] |
|-----------------------|--------|-------------------------|
| BORRO STROLLA MONTE | 5001 | 5.81 |
| INTERBACINO STROLLA | 5002 | 0.90 |
| BORRO RIBALDONI MONTE | 5003 | 1.34 |
| INTERBACINO RIBALDONI | 5004 | 0.51 |
| INTERBACINO VALLE | 5005 | 1.55 |

Tabella 8-1 - Codifiche del bacino oggetto di analisi idrologica Modello 05 – Borro Strolla

Per la rappresentazione grafica del bacino totale e della sua suddivisione in sottobacini ed interbacini si rimanda all'allegato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

8.2.1 MODELLO IDROLOGICO IMPLEMENTATO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione dei contributi pluviometrici e degli idrogrammi di piena. I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con modelli numerici di comprovata affidabilità e con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

Il *modello di infiltrazione* utilizzato è il modello di infiltrazione asintotico a soglia, il quale richiede la stima di due parametri:

- la [mm], volume unitario di perdita iniziale che il terreno assorbe durante i primi istanti di precipitazione;
- Ks [mm/h], coefficiente di infiltrazione a saturazione.

Il *modello di trasformazione afflussi-deflussi* utilizzato è il modello di Nash, che schematizza i bacini idrografici in una serie di serbatoi lineari disposti in serie e che dipende dai seguenti parametri:

- n [-], numero di serbatoi lineari che rappresentano il bacino nella schematizzazione del modello di Nash;
- k [h], tempo caratteristico che rappresenta il tempo di svuotamento del serbatoio.

Modello di Infiltrazione

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo di infiltrazione asintotico a soglia. Il parametro la [mm] è stato determinato in funzione della percentuale di area boscata presente nel bacino considerato (derivata dalla carta dell'Uso e Copertura del Suolo), consultabile nell'elaborato *Allegato 1.5.C – Modello 05 – Borro Strolla - Tavola delle Aree Boscate* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

Il parametro Ks [mm/h] è stato determinato a partire dalla Carta Geologica Regionale, assegnando ad ogni formazione geologica un coefficiente di infiltrazione, secondo quanto riportato in Tabella 4-4 e calcolando un coefficiente medio per il bacino idrografico. L'assegnazione dei valori dei coefficienti di infiltrazione è consultabile nell'elaborato *Allegato 1.5.D – Modello 05 – Borro Strolla - Tavola dei Coefficienti di Infiltrazione* all'interno dell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellazione Idrologica*.

I parametri appena descritti nell'elaborato IDR00B – *Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica*.

Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Il bacino totale oggetto di indagine, caratterizzato da aste fluviali di ordine pari a 4, è stato oggetto di una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler. Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati dunque derivati i parametri n e k del modello di Nash (si veda l'Appendice A: *Modellistica idrologico-idraulica* per maggiori dettagli).

Per i dettagli sui fondamenti teorici della modellistica idrologica si rimanda all'Appendice A - Modellistica Idrologico – Idraulica. Nell'elaborato *IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica* si riportano in forma grafica la gerarchizzazione del reticolo e del bacino e gli strati informativi per la stima dei parametri la e Ks.

Una sintesi dei parametri idrologici sopra descritti ed utilizzati per la stima del contributo del bacino è riportata nella seguente tabella.

| Codice | Nome | Area [km ²] | Modello di Infiltrazione | | Trasformazione Afflussi - Deflussi | | |
|--------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-------|--------|
| | | | la [mm] | Ks [mm/h] | n [-] | k [h] | Tl [h] |
| 5001 | BORRO STROLLA MONTE | 5.81 | 17.21 | 3.052 | 2.73 | 0.44 | 1.19 |
| 5002 | INTERBACINO STROLLA | 0.90 | 15.96 | 0.999 | 2.75 | 0.21 | 0.59 |
| 5003 | BORRO RIBALDONI MONTE | 1.34 | 14.26 | 0.461 | 2.47 | 0.18 | 0.44 |
| 5004 | INTERBACINO RIBALDONI | 0.51 | 9.86 | 0.652 | 2.24 | 0.21 | 0.47 |
| 5005 | INTERBACINO VALLE | 1.55 | 6.39 | 0.755 | 2.82 | 0.29 | 0.81 |

Tabella 8-2 - Parametri idrologici sottobacini Modello 05 – Borro Strolla

8.2.2 SOLLECITAZIONI PLUVIOMETRICHE

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Come durate di pioggia si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo) di ciascun contributo idrologico. Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori.

L'aggiornamento dell'Analisi di Frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, elaborata nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 e pubblicata da parte della Regione Toscana, costituisce la base dati aggiornata su cui implementare le analisi idrologiche.

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

In virtù della ridotta variabilità areale delle piogge si sono adottate le piogge relative al bacino totale che sono riportate nella seguente tabella.

| BACINO | CODICE | TEMPO DI RITORNO [anni] | Eventi considerati | | |
|----------------------|--------|-------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | | | d = 0.5 [h] | d = 1.5 [h] | d = 2.5 [h] |
| BORRO STROLLA TOTALE | 5000 | 30 | 42.3 | 56.2 | 64.1 |
| | | 200 | 57.9 | 79.0 | 91.4 |

Tabella 8-3 - Altezze di pioggia lorda [mm] - Modello 05 – Borro Strolla

Data la modesta estensione areale dei bacini oggetto di studio, a titolo cautelativo, non è stato applicato alcun ragguglio areale sulle piogge lorde, ovvero è stato imposto $K_R=1$.

Gli ietogrammi di pioggia sono stati assunti ad intensità costante.

8.2.3 IDROGRAMMI DI PIENA

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico), opportunamente depurate delle perdite idrologiche così come argomentato ai paragrafi precedenti, si sono determinati gli idrogrammi di piena.

I risultati dell'analisi idrologica sono sintetizzati Tabella 8-4, in cui si riportano i valori di portata di picco [m³/s] e di volumi [1000 m³] stimati per gli scenari di evento su cui è stato cimentato il modello idraulico. Gli idrogrammi completi sono riportati, sia in forma grafica che tabellare, nell'elaborato IDR00B – Allegato 1 – Risultati Modellistica Idrologica.

| Codice | NOME | TR 30 anni | | | | | |
|--------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1.5 [h] | | d = 2.5 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] |
| 5001 | BORRO STROLLA MONTE | 25.0 | 136.8 | 32.8 | 199.1 | 30.6 | 224.4 |
| 5002 | INTERBACINO STROLLA | 8.2 | 23.2 | 8.3 | 34.7 | 6.1 | 41.0 |
| 5003 | BORRO RIBALDONI MONTE | 16.5 | 37.2 | 13.4 | 55.2 | 9.4 | 65.2 |
| 5004 | INTERBACINO RIBALDONI | 6.6 | 16.4 | 5.1 | 23.1 | 3.5 | 26.8 |
| 5005 | INTERBACINO VALLE | 14.4 | 55.1 | 14.0 | 75.5 | 10.6 | 86.6 |

| Codice | NOME | TR 200 anni | | | | | |
|--------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | | d = 0.5 [h] | | d = 1.5 [h] | | d = 2.5 [h] | |
| | | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] | Q _{max} [m ³ /s] | Vol [1000m ³] |
| 5001 | BORRO STROLLA MONTE | 41.2 | 227.0 | 52.5 | 331.3 | 48.0 | 380.6 |
| 5002 | INTERBACINO STROLLA | 12.9 | 37.1 | 12.1 | 55.2 | 8.8 | 65.4 |
| 5003 | BORRO RIBALDONI MONTE | 24.9 | 58.0 | 19.1 | 85.7 | 13.4 | 101.6 |
| 5004 | INTERBACINO RIBALDONI | 9.6 | 24.3 | 7.2 | 34.8 | 5.1 | 40.7 |
| 5005 | INTERBACINO VALLE | 20.5 | 79.2 | 20.1 | 110.9 | 15.3 | 128.8 |

Tabella 8-4 - Portate massime e volumi di piena - Modello 05 – Borro Strolla

8.3 VERIFICHE IDRAULICHE

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica.

In fase di analisi dei dati disponibili, consistenti nei rilievi delle sezioni fluviali per la caratterizzazione geometriche dei corsi d'acqua e del solo Modello Digitale del Terreno (DTM) con risoluzione 10 metri fornito da Regione Toscana, si è riscontrata l'incompatibilità dei due tipi di dati. Tale incompatibilità ha di fatto impedito la modellazione 1D/2D in quanto, in generale, si riscontravano livelli massimi in alveo anche notevolmente inferiori al modello digitale del terreno e, dunque, in una impossibilità di stabilire le aree soggette a potenziale allagamento. A favore di sicurezza, dunque, si è optato per una modellazione 1D senza sfiori per stabilire i livelli massimi che si instaurano in alveo e, sulla base di tali livelli, si sono determinati i battenti che si instaurano a campagna.

8.3.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'AREE DI INTERESSE

La caratterizzazione geometrica del fosso oggetto di studio è stata derivata dalle sezioni fluviali derivanti da una campagna rilievi svoltasi nel Luglio 2020 e nel Marzo 2021 e fornita agli scriventi.

Le sezioni fluviali utilizzate nella modellazione monodimensionale sono individuate attraverso un codice alfanumerico che contiene al proprio interno le seguenti informazioni (Esempio: sezione 00320PB20):

- 5 caratteri (Esempio: 00320) identificativo del codice della sezione;
- 2 caratteri (Esempio: PB) identificativo delle opere idrauliche; se non presenti si utilizzano i caratteri: __
- 2 caratteri (Esempio:20) identificativo dell'anno del rilievo topografico.

Come anticipato, il modello implementato è di tipo monodimensionale 1D senza possibilità di sfiori laterali, e pertanto non considerando l'effetto di laminazione apportato da eventuali esondazioni a campagna.

In ragione della difformità dei dati disponibili, il territorio potenzialmente soggetto ad allagabilità dal sistema fluviale oggetto di studio è stato ottenuto ricavando dai rilievi un modello digitale del terreno dell'alveo ed interpolandolo con il modello digitale del terreno (DTM a 10 metri)

Le tracce delle sezioni, le opere dell'arte, il dominio dell'area 2D, le *breaklines* utilizzate per infittire la mesh sono riportati in tavola IDR51 - *Modello 05 - Planimetria del Modello Idraulico – Borro Strolla*. Le sezioni delle opere idrauliche da rilievo topografico sono riportate nell'elaborato IDR56 - *Modello 05 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici – Borro Strolla - TR 30 e 200 anni*.

8.3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Le condizioni al contorno dei modelli idraulici analitici sono rappresentate da:

- Sollecitazioni idrologiche in testa ad ogni tratto simulato idraulicamente;
- Immissioni idrologiche puntuali in corrispondenza delle confluenze con corsi d'acqua non oggetto di simulazione idraulica;
- Immissioni idrologiche distribuite, nel caso di contributo derivante da un interbacino che non presenta un reticolo idrografico di riferimento;
- Condizioni al contorno di valle.

Nella Tabella 8-5 si riporta l'elenco degli input idrologici utilizzati nella modellistica idraulica. La tabella riporta il codice del contributo, il tipo di immissione (CP contributi puntuali, CD i contributi distribuiti) e la codifica del bacino che lo genera. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso % in quanto gli input idrologici sia riferiti al bacino totale e quindi più esteso rispetto al punto di immissione.

| CODICE CONTRIBUTO IDROLOGICO | TIPO IMMISSIONE | RS HEC |
|------------------------------|-----------------|--------|
| 5001 | CM | 45 |
| 5002 | CD | 39 |
| 5003 | CM | 16 |
| 5004 | CD | 14 |
| 5005 | CD | 28 |

Tabella 8-5 – Elenco degli input idrologici alla modellazione idraulica - Modello 05 – Borro Strolla

In Tabella 8-4 sono riportati i massimi valori di portata Q_{max} [m³/s] associati agli idrogrammi impiegati come immissioni puntuali e distribuite per i diversi tempi di ritorno (30 e 200 anni) e per le diverse durate di pioggia: 0.5, 1.5, e 2.5 ore.

Come condizione al contorno di valle, a favore di sicurezza è stata imposta una pendenza di moto uniforme pari a 0.02 [m/m].

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato. In particolare, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning 0.045 [s/m^{1/3}].

In *Appendice A - Modellistica idrologico-idraulica* è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning, mutuata dallo Studio Idrologico Idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa.

8.3.3 VERIFICHE IDRAULICHE IMPLEMENTATE

Le verifiche idrauliche sono state svolte nello scenario geometrico dello stato attuale per gli eventi con TR 30 e 200 anni e durate di pioggia pari a 0.5-1.5-2.5 ore.

8.3.4 RISULTATI

L'implementazione della modellistica idraulica fornisce i livelli massimi che si instaurano in alveo nei corsi d'acqua oggetto di studio. A partire da questi livelli massimi, considerati equivalenti anche a campagna, sono stati ricavati i battenti massimi ottenuti come differenza tra la superficie dei livelli massimi ed il modello digitale del terreno precedentemente descritto.

Per ogni tempo di ritorno sono stati inviluppati i massimi battenti in alveo e nelle aree allagate risultanti dalle simulazioni idrauliche svolte sulle varie durate di pioggia. Con questa impostazione si restituiscono:

- **Inviluppo dei battenti idrometrici massimi nelle aree allagate per TR = 30-200 anni:**
IDR52 - Modello 05 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi – Borro Strolla - TR 30 anni
IDR53 - Modello 05 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Borro Strolla - TR 200 anni
- **Inviluppo dei livelli massimi attesi in alveo per TR=30-200 anni:**
IDR54 - Modello 05 - Libretto delle Sezioni con Livelli Idrometrici - Borro Strolla - TR 30 e 200 anni

9. DETERMINAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA AI SENSI DELLA L.R. 41/2018

La Legge Regionale 41/2018 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni), Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 - aggiorna la disciplina della gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

Ai sensi della L.R. 41/2018, vengono introdotti i seguenti concetti (art. 2):

- “scenario per alluvioni frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;
- “scenario per alluvioni poco frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b) del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni;
- “magnitudo idraulica”: la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:
 - “magnitudo idraulica moderata”: valori di battente inferiore o uguale a 0.5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0.3 metri
 - “magnitudo idraulica severa”: valori di battente inferiore o uguale a 0.5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0.5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0.3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
 - “magnitudo idraulica molto severa”: battente superiore a 0.5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0.5 metri.

Alla luce delle definizioni di cui sopra, a partire dai risultati ottenuti per i modelli idraulici implementati per la definizione delle aree soggette ad inondazione per eventi con TR=200 anni, descritti nei precedenti capitoli, sono stati estrapolati i dati relativi ai battenti ed alle velocità della corrente attese sul territorio allagato e restituite le carte degli inviluppi dei battenti e delle velocità massime attese su tutti gli scenari idrologici duecentennali esaminati così come descritto per ogni modello.

A partire dagli inviluppi dei battenti e delle velocità massime su tutti gli scenari duecentennali, si è quindi proceduto alla definizione della magnitudo idraulica, così come definita nella L.R. 41/2018, su tutte le aree soggette ad allagabilità per alluvioni poco frequenti.

Il risultato finale delle elaborazioni svolte è riportato negli elaborati seguenti:

- MODELLO 01 – Torrente Pesa ed Affluenti
IDR17A - Modello 01 - Carta della Magnitudo Idraulica - Torrente Pesa ed Affluenti - Quadro 1
IDR17B - Modello 01 - Carta della Magnitudo Idraulica - Torrente Pesa ed Affluenti - Quadro 2
IDR17C - Modello 01 - Carta della Magnitudo Idraulica - Torrente Pesa ed Affluenti - Quadro 3
IDR17D - Modello 01 - Carta della Magnitudo Idraulica - Torrente Pesa ed Affluenti - Quadro 4
- MODELLO 02 – Fosso di Fontercoli
IDR27 - Modello 05 - Carta della Magnitudo Idraulica - Fosso di Fontercoli
- MODELLO 03 – Fosso della Casuccia
IDR37 - Modello 03 - Carta della Magnitudo Idraulica - Fosso della Casuccia
- MODELLO 04 – Affluente Fosso Arbiola
IDR47 - Modello 04 - Carta della Magnitudo Idraulica - Affluente Fosso Arbiola
- MODELLO 05 – Affluente Fosso Arbiola
IDR55 - Modello 05 - Carta della Magnitudo Idraulica - Borro Strolla

10. DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI

Per i modelli idrologici-idraulici da 01 a 04 oggetto di studio, per ogni tempo di ritorno e durata degli eventi meteorici, sono stati ricavati battenti e velocità massime per le aree allagabili. Per il modello 05 sono stati determinati solo i battenti.

Inviluppando i valori massimi risultanti dalle singole simulazioni, si sono ottenuti i battenti e le velocità massime per ciascun tempo di ritorno. Tali risultanze sono riportate nelle già richiamate tavole:

- MODELLO 01 – Torrente Pesa ed Affluenti
 - IDR12A - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 1
 - IDR12B - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 2
 - IDR12C - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 3
 - IDR12D - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 4
 - IDR13A - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 1
 - IDR13B - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 2
 - IDR13C - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 3
 - IDR13D - Modello 01 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 4
 - IDR14A - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 1
 - IDR14B - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 2
 - IDR14C - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 3
 - IDR14D - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 30 anni - Quadro 4
 - IDR15A - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 1
 - IDR15B - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 2
 - IDR15C - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 3
 - IDR15D - Modello 01 - Carta delle Velocità Massime - Torrente Pesa ed Affluenti - TR 200 anni - Quadro 4
- MODELLO 02 – Fosso di Fontercoli
 - IDR22 - Modello 02 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso di Fontercoli - TR 30 anni
 - IDR23 - Modello 02 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso di Fontercoli - TR 200 anni
 - IDR24 - Modello 02 - Carta delle Velocità Massime - Fosso di Fontercoli - TR 30 anni
 - IDR25 - Modello 02 - Carta delle Velocità Massime - Fosso di Fontercoli - TR 200 anni
- MODELLO 03 – Fosso della Casuccia
 - IDR32 - Modello 03 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso della Casuccia - TR 30 anni
 - IDR33 - Modello 03 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Fosso della Casuccia - TR 200 anni
 - IDR34 - Modello 03 - Carta delle Velocità Massime - Fosso della Casuccia - TR 30 anni
 - IDR35 - Modello 03 - Carta delle Velocità Massime - Fosso della Casuccia - TR 200 anni
- MODELLO 04 – Affluente Fosso Arbiola
 - IDR42 - Modello 04 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Affluente Fosso Arbiola - TR 30 anni
 - IDR43 - Modello 04 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Affluente Fosso Arbiola - TR 200 anni
 - IDR44 - Modello 04 - Carta delle Velocità Massime - Affluente Fosso Arbiola - TR 30 anni
 - IDR45 - Modello 04 - Carta delle Velocità Massime - Affluente Fosso Arbiola - TR 200 anni
- MODELLO 05 – Borro Strolla
 - IDR52 - Modello 05 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Borro Strolla - TR 30 anni
 - IDR53 - Modello 05 - Carta dei Battenti Idrometrici Massimi - Borro Strolla - TR 200 anni

Gli inviluppi dei battenti su ciascun tempo di ritorno ha quindi permesso la definizione delle pericolosità idrauliche di carattere analitico, ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020 (art.5 comma 4, il quale rimanda all'art. 2 comma 1 lettere d) ed e) della legge regionale 24 luglio 2018, n. 41), ovvero:

- **aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)**, che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno 30 anni;
- **aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)**, con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

Tali classi di pericolosità corrispondono, ai sensi del PGRA, D.Lgs 49/2010:

- **Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3)**, allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni;
- **Aree a pericolosità da alluvione media (P2)**, allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.

Le aree a pericolosità idraulica derivanti da modellazione analitica e determinate come sopra indicato sono riportate nelle seguenti tavole:

- IDR61 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 1
- IDR62 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 2
- IDR63 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 3
- IDR64 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 4
- IDR65 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 5
- IDR66 - Carta della Pericolosità da Alluvioni ai sensi del DPGR 5R/2020 - Quadro 6

11. DETERMINAZIONE DELLE AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI E DELLE AREE DI FONDOVALLE

La legge regionale n. 41/2018 definisce (art. 2, comma 1, lett. s) le *aree presidiate da sistemi arginali* come le aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 [m] 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 [m] dal piede esterno dell'argine.

Inoltre, il Decreto del presidente della Giunta Regionale (D.P.G.R.) 5/R/2020, al punto B.4) dell'Allegato A- Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche definisce gli elementi per la valutazione degli aspetti idraulici. Tra questi, la direttiva afferma che al di fuori del territorio urbanizzato, in presenza di aree non riconducibili alle mappe di pericolosità da alluvione ed in assenza di studi idrologici, 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.

Nella presente analisi, al fine di definire i tratti di corsi d'acqua che presentano tratti arginati, oltre ai rilievi condotti a supporto degli studi idraulici descritti nei capitoli relativi alla caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua e delle aree di interesse descritti nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento allo strato informativo messo a disposizione da Regione Toscana relativo al Censimento delle Opere Idrauliche e di bonifica, approvato con Delibera di Giunta 1155 del 08/11/2021. Sulla base di tali dati, non risultano presenti nei corsi d'acqua oggetto degli studi idrologici-idraulici oggetto di descrizione nella presente relazione. Non viene pertanto redatto il tematismo relativo alla aree presidiate da sistemi arginali.

Per la definizione della aree di fondovalle si è fatto riferimento ai rilievi Lidar messi a disposizione da Regione Toscana e, laddove assente, si è fatto riferimento modello digitale del terreno derivante dalla cartografia tecnica regionale in scala a 1:10000 messo a disposizione da Regione Toscana. Facendo riferimento ai tratti di reticolo idrografico non oggetto di studi idrologici-idraulici, non completamente ricompresi in mappe di pericolosità da alluvioni ai sensi del P.G.R.A, e considerando i soli tratti vallivi dei reticoli, le aree di fondovalle sono state definite per i seguenti corsi d'acqua così come concordato con gli uffici competenti:

- Borro Cerchiaio;
- Borro di Gagliano;
- Borro di Ripoli;
- Fosso dei Carfini;
- Torrente di Cannicchia;
- Torrente Gena.

Si rimanda ai seguenti elaborati per la consultazione:

- IDR71 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 1
- IDR72 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 2
- IDR73 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 3
- IDR74 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 4
- IDR75 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 5
- IDR76 - Carta delle aree presidiate da sistemi arginali e delle aree di fondovalle - Quadro 6

Si precisa che le aree rappresentate cartograficamente sono relative ai soli tratti vallivi dei corsi d'acqua principali, elencati precedentemente. I disposti normativi di cui alla L.R. 41/2018 relativamente alle aree di fondovalle sono da estendersi a tutto il reticolo di cui alla L.R. 79/2012 qualora siano previsti interventi in porzioni di territorio morfologicamente poste ad una quota inferiore a 2 metri sopra il ciglio di sponda o il piede esterno dell'argine e non ricompresi in ambiti studiati analiticamente.

APPENDICE A - MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA

A.1 MODELLISTICA IDROLOGICA

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno e durata dell'evento meteorico; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (T_r evento di pioggia = T_r idrogramma di piena).

A.1.1 REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP

Il regime pluviometrico è stato caratterizzato sulla base dei risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività "Modellazione idrologica", nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il 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.

Nell'ambito di tale lavoro è stata fornita la stima dell'altezza di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Per le durate caratteristiche, sono state elaborate le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n .

Una volta noti i parametri a e n della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in punto della Regione Toscana.

A.1.2 CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO

Dalle linee guida della Regione Toscana è possibile definire la metodologia di calcolo delle altezze di pioggia su un bacino idrografico.

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile utilizzare due metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.

A. Utilizzo dei parametri a e n della LSPP - Noti i parametri a e n della LSPP per assegnato T_r , viene definita la durata t dell'evento. Per un bacino idrografico si usa $t=t_{cr}$ (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione t_c . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t_c^n \quad (4)$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t_c = tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici.

La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione (4) può essere effettuata tramite software GIS con un *tool* tipo **Raster Calculator**.

Una volta trovata l'altezza di pioggia h in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico.

A.1.3 CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO DELL'INFILTRAZIONE A SOGLIA

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia, di tipo puntuale (registrazioni pluviometriche) sull'area d'interesse, che dovranno essere, in generale, interpolate per ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo, in termini di afflussi per unità di area. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente le dimensioni di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- eventi meteorici sintetici uniformemente distribuiti sul bacino;
- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (Tr evento di pioggia = Tr idrogramma di piena).

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)*, dove i parametri in gioco sono stati ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un *Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico* di cui vengono riportate di seguito le linee principali. Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello proposto da *Nash*.

L'input meteorico è rappresentato da uno "*ietogramma sintetico ad intensità costante*" con il quale si assume che l'intensità di precipitazione sia costante durante l'intera evoluzione del fenomeno e pari al valor medio fornito dalle curve di possibilità climatica (o pluviometrica, di seguito *CPP*) illustrate in seguito. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sulla base del metodo dell'*evento critico*, individuando la durata di pioggia efficace che massimizza il valore al colmo dell'onda di piena fornita dal modello di trasformazione afflussi - deflussi.

Le CPP consentono di rappresentare il regime delle piogge di breve durata e forte intensità in una certa zona. Per la loro determinazione è necessaria un'analisi delle serie pluviometriche disponibili dalla rete di telemisura presente sul territorio a partire dall'esame dei topoi, o poligoni di Thiessen. Dall'analisi statistica delle precipitazioni estreme, in adattamento alla distribuzione TCEV, si perviene appunto alla determinazione delle CPP, che stabiliscono un legame tra le altezze di pioggia e la durata dell'evento piovoso, in funzione della probabilità di accadimento dell'evento stesso.

Il valore della pioggia lorda deve essere depurato delle perdite. La trasformazione afflussi-deflussi adottata prevede l'adozione di un "approccio asintotico a soglia" che richiede la stima di due parametri: la *perdita iniziale*, schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con I_a), che il terreno assorbe completamente durante i primi istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento $t=0$ all'istante $t=t_a$), e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una *infiltrazione cumulata costante a saturazione* (indicata con K_s).

$$\{I_a(t) = I_a(0) + \int (P(\tau) - K_s) d\tau \text{ per } t < t_a$$

$$\{I_a(t) = I_a \text{ per } t \geq t_a$$

dove:

$P(t)$ intensità di precipitazione lorda sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$I_a(t)$ volume unitario di 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 valori di I_a e K_s , nel lavoro di regionalizzazione, sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico.

In particolare, per la stima del coefficiente I_a si è utilizzata la formula:

$$I_a = 3.3 + 22S_b$$

in cui S_b rappresenta la percentuale di superficie boscata presente sul bacino considerato, ricavata a partire dalla carta dell'uso del suolo (cod. 311-312-313).

Per quanto riguarda invece il valore del coefficiente K_s adottato, nella Tabella A.1.1 seguente si riportano i valori dello stesso in funzione della classe geolitologica della Carta Geologica Regionale adottati nel presente studio.

Tali valori risultano in parte mutuati dalle attribuzioni definite nell'ambito della "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana" (rif. tabella A.1.2) e, laddove non presenti, ricavati sulla base dei valori associati a formazioni geolitologiche dal comportamento idraulico analogo.

MODELLO DI FORMAZIONE DELL'ONDA DI PIENA - MODELLO DI NASH E GIUH

L'*Idrogramma Istantaneo Unitario* (IUH) rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotizzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$, supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra l'idrogramma di pioggia 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;

$U(t)$ è l'idrogramma unitario

$$\{U(0) = 1 \quad \int_0^\infty U(t)dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione $U(t)$, che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino. Uno dei più diffusi modelli concettuali utilizzati per determinare la forma della funzione $U(t)$ è quello basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari disposti in serie. L'espressione dell'idrogramma istantaneo unitario che ne deriva per un singolo serbatoio lineare è:

$$U/t = \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove k è la costante del serbatoio che rappresenta il tempo caratteristico di svuotamento del serbatoio.

Supponendo che il bacino si comporti come una serie di n serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico k , la portata in uscita dall'intero bacino come risposta ad un input impulsivo distribuito sul bacino rappresenterà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, nota come *Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash*:

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

dove la funzione $\Gamma(n)=(n-1)!$.

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine viene detto *tempo di ritardo (lag) Tl* ed è dato da:

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

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario). I parametri n, k dell'IUH di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

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

$$k = 0.7(Ra/(Rb \cdot RI))^{0.48} Lc/v$$

in unità congruenti, dove:

R_b = rapporto di biforcazione;

R_l = rapporto di lunghezza;

R_a = rapporto di area;

L_c = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici sopra elencati permettono di rappresentare lo sviluppo della rete idrografica mediante una descrizione gerarchica e possono quindi essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo il metodo di gerarchizzazione e classificazione geomorfologica di Horton e Strahler.

La gerarchizzazione di una rete idrografica si esegue attribuendo un ordine a ciascun segmento fluviale; un'asta che non nasce dalla confluenza di altre due è di primo ordine; un'asta di ordine n e un'asta di ordine $n-1$ congiungendosi danno origine a un'asta di ordine n ; due aste di ordine n congiungendosi danno origine a un'asta di ordine $n+1$. Per ogni bacino idrografico esiste una relazione fra il numero dei rami fluviali aventi un certo ordine e l'ordine stesso: in genere, il valore del primo diminuisce all'aumentare del secondo.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi che definiscono la geometria del reticolo idrografico e il suo grado di organizzazione gerarchica. Il parametro di base è il rapporto di biforcazione R_b , che esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali di un certo ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo. Considerando invece la lunghezza media delle aste di un certo ordine si ottiene il rapporto fra le lunghezze, R_l . Analogamente, si definisce anche il rapporto fra le aree, R_a .

I tre parametri appena descritti vengono determinati sulla base delle seguenti relazioni:

dove

ω è l'ordine massimo del reticolo;

N_u il numero delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

la lunghezza media delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$;

l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3, \dots$

Lo studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena, 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 ed i parametri geomorfologici:

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

dove A è l'area del bacino espressa in $[kmq]$ e Lmc la lunghezza del reticolo in $[km]$, calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici.

Nel presente studio, la metodologia adottata, in sintesi, è la seguente.

Per tutti i bacini, caratterizzati da aste fluviali di ordine maggiore o uguale a 2, è stata effettuata una classificazione geomorfologica del reticolo fluviale secondo il criterio di Horton-Strahler.

Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, sono stati derivati i parametri n e k del modello di Nash, utilizzando le seguenti formulazioni:

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

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

Per i bacini caratterizzati da una sola asta e per gli interbacini, si è proceduto come segue:

n è stato considerato pari al valore associato al sottobacino che lo ricomprende;

Tl è stato calcolato a partire dalla stima del tempo di corrvazione Tc attraverso la formulazione di Giandotti, stimando $Tl = Tc/1.6$.

A.2 MODELLISTICA IDRAULICA HEC-RAS

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è HEC-RAS 5.0.7 distribuito da US Army Corps of Engineers. Il modello permette di effettuare analisi idrauliche monodimensionali, bidimensionali ed accoppiate mono-bidimensionali. Nel presente studio è stata adottata una modellazione di tipo bidimensionale, in cui sia i deflussi in alveo che la propagazione delle piene sulle aree inondabili è schematizzata attraverso un moto 2D

A.2.1 MODELLISTICA IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellistica bidimensionale prevede la risoluzione numerica delle equazioni "Shallow Water", le quali risultano da un'approssimazione delle equazioni di Navier-Stokes in cui le velocità in direzione x ed y sono mediate sulla verticale e l'effetto delle tensioni turbolente di Reynolds è simulato attraverso l'introduzione un parametro di viscosità turbolenta. Inoltre si assumono valide le seguenti ipotesi:

- scala spaziale verticale sia << scala spaziale orizzontale
- fluido incomprimibile;
- componente verticale della velocità trascurabile;
- distribuzione della pressione idrostatica lungo la verticale.

L'equazione di continuità risulta:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} + q = 0$$

dove $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ con z la quota del fondo ed h il battente idraulico, u e v rispettivamente i componenti lungo x e lungo y della velocità mediata sulla verticale e q il termine che tiene conto di possibili immissioni/rimozioni di portata.

L'equazione della quantità di moto risulta:

$$\left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv \right.$$

dove g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta orizzontale, c_f è il coefficiente di resistenza ed f è il parametro di Coriolis. Il coefficiente di viscosità turbolenta è a sua volta calcolato come:

$$\nu_t = Dhu_s$$

in cui D è una costante empirica adimensionale e u_s è la velocità di attrito che può essere calcolata come segue:

$$u_s = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C} |U| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}} |U|$$

con R il raggio idraulico, S la pendenza della linea dell'energia, n il numero di Manning ed |U| il modulo della velocità. I valori da assegnare alla costante D sono riportati in Tabella 0 1.

Il coefficiente di attrito c_f è ottenuto attraverso la formula di Manning:

$$c_f = \frac{n^2 g}{R^{4/3}} |U|$$

mentre il parametro di Coriolis è:

$$f = 2\omega \sin\phi$$

con ω la velocità angolare della terra e ϕ la latitudine.

| D | Intensità di mescolamento | Geometria e superficie |
|-------------|---------------------------|--|
| 0.11 – 0.26 | bassa | canali rettilinei, superfici lisce |
| 0.30 – 0.77 | moderata | meandri poco accentuati, irregolarità moderate |
| 2.0 – 5.0 | alta | meandri molto accentuati, superfici scabre |

Tabella A.2.1: Valori suggeriti da assegnare alla costante D

Le equazioni "Shallow Water" possono essere ulteriormente semplificate quando, nell'equazione della quantità di moto, i termini associati all'accelerazione di gravità ed all'attrito sono predominanti rispetto a quelli inerziali. Attraverso opportune manipolazioni algebriche sostituendo la versione semplificata dell'equazione della quantità di moto nell'equazione di continuità, si ottiene la forma approssimata detta "Diffusion Wave Approximation":

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + q = 0$$

dove: $\beta = R$

Le condizioni al contorno da assegnare sui bordi del dominio di calcolo possono essere di tre differenti tipologie:

- livello della superficie libera;

- gradiente della superficie libera in direzione perpendicolare al dominio di calcolo;
- portata che attraversa il bordo del dominio.

La griglia di calcolo è non strutturata e può essere utilizzato un approccio con “sotto-griglia” (Casulli, 2008) per cui le celle di calcolo hanno passo maggiore rispetto alla batimetria impiegata (Figura A-2 1) e contengono informazioni aggiuntive quali raggio idraulico e area bagnata delle varie facce e curva di invaso dei volumi. Tali grandezze possono essere pre-calcolate prima della simulazione per ridurre il tempo di calcolo. In questo modo si perdono i dettagli ad alta risoluzione, ma l’informazione derivante da essi rimane disponibile (Figura A-2 1b, c).

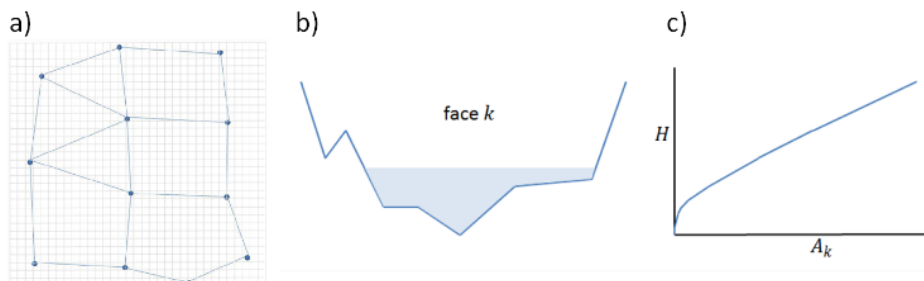


Figura A-2.1: a) Esempio di “sotto-griglia”. b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo k.

Dal punto di vista della risoluzione numerica, viene impiegata una discretizzazione ibrida che combina differenze finite e volumi finiti. Nello specifico le differenze finite sono utilizzate per le derivate temporali mentre un’ approssimazione ibrida viene impiegata per le derivate spaziali.

A.2.2.1 Stima dei valori di scabrezza

Per la stima dei coefficienti di scabrezza utilizzati nella modellistica bidimensionale, si adotta un coefficiente di Manning variabile spazialmente, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente, sulla base di una analisi della letteratura in materia. In Tabella A.2.2. è riportata la tabella utilizzata per l’associazione dei coefficienti di Manning per ogni classe di uso del suolo utilizzata nel presente studio, rielaborata a partire dalla tabella riepilogativa di pubblicazioni e manuali di modellistica di cui alla Tabella A.2.3 nella quale per ogni tipologia di copertura del suolo viene indicato un intervallo del coefficiente di Manning.

| CODICE | descrizione | MANNING N |
|--------|---|-----------|
| 111 | Zone residenziali a tessuto continuo | 0.100 |
| 112 | Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado | 0.040 |
| 1121 | | 0.100 |
| 121 | Aree industriali e commerciali | 0.040 |
| 1211 | | 0.100 |
| 1212 | | 0.040 |
| 122 | Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche | 0.020 |
| 1221 | | 0.020 |
| 123 | Aree portuali | 0.020 |
| 131 | Aree estrattive | 0.020 |
| 132 | Discariche, depositi di rottami | 0.020 |
| 133 | Cantieri, edifici in costruzione | 0.020 |
| 141 | Aree verdi urbane | 0.035 |
| 1411 | | 0.100 |
| 142 | Aree ricreative e sportive | 0.035 |
| 210 | Seminativi irrigui e non irrigui | 0.050 |
| 2101 | | 0.050 |
| 221 | Vigneti | 0.050 |
| 222 | Frutteti e frutti minori | 0.050 |
| 2221 | | 0.050 |
| 223 | Oliveti | 0.050 |
| 231 | Prati stabili | 0.035 |
| 241 | Colture temporanee associate a colture permanenti | 0.050 |
| 242 | Sistemi colturali e particellari complessi | 0.050 |
| 243 | Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti | 0.050 |
| 244 | Aree agroforestali | 0.050 |
| 311 | Boschi di latifoglie | 0.100 |
| 312 | Boschi di conifere | 0.100 |
| 313 | Boschi misti di conifere e latifoglie | 0.100 |
| 321 | Aree a pascolo naturale e praterie | 0.100 |
| 323 | Aree a vegetazione sclerofilla | 0.100 |
| 324 | Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione | 0.100 |
| 331 | Spiagge, dune e sabbie | 0.020 |
| 332 | Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti | 0.020 |
| 333 | Aree con vegetazione rada | 0.050 |
| 3331 | | 0.020 |
| 411 | Paludi interne | 0.020 |
| 511 | Corsi d'acqua, canali e idrovie | 0.020 |
| 512 | Specchi d'acqua | 0.020 |
| 523 | Mare | 0.020 |

Tabella A.2.2: Associazione del coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo

| NLCD ¹ Value | Normal Manning's n Value | Allowable Range of n values | Land Cover Definition | Reference |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 11 | 0.040 | 0.025--0.05 | Open Water - All areas of open water, generally with less than 25% cover or vegetation or soil | ¹² Table 5-6 D-1.a.3 |
| 21 | 0.040 | 0.03--0.05 | Developed, Open Space - Includes areas with a mixture of some constructed materials, but mostly vegetation in the form of lawn grasses. Impervious surfaces account for less than 20 percent of total cover. These areas most commonly include large-lot single-family housing units, parks, golf courses, and vegetation planted in developed settings for recreation, erosion control, or aesthetic purposes. | ¹³ Figure 3-19 |
| 22 | 0.100 | 0.08--0.12 | Developed, Low Intensity - Includes areas with a mixture of constructed materials and vegetation. Impervious surfaces account for 20-49 percent of total cover. These areas most commonly include single-family housing units. | ¹³ Figure 3-19 |
| 23 | 0.080 | 0.06--0.14 | Developed, Medium intensity - Includes areas with a mixture of constructed materials and vegetation. Impervious surfaces account for 50-79 percent of the total cover. These areas most commonly include single-family housing units. | ¹³ Figure 3-19 |
| 24 | 0.150 | 0.12-0.20 | Developed, High Intensity - Includes highly developed areas where people reside or work in high numbers. Examples include apartment complexes, row houses and commercial/industrial. Impervious surfaces account for 80 to 100 percent of the total cover. | ¹³ Figure 3-19 |
| 31 | 0.025 | 0.023--0.030 | Barren Land (Rock/Sand/Clay) - Barren areas of bedrock, desert pavement, scarps, talus, slides, volcanic material, glacial debris, sand dunes, strip mines, gravel pits and other accumulations of earthen material. Generally, vegetation accounts for less than 15% of total cover. | ¹² Table 5-6 C.b.1 |
| 41 | 0.160 | 0.10--0.16 | Deciduous Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. More than 75 percent of the tree species shed foliage simultaneously in response to seasonal change. | ¹² Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris |
| 42 | 0.160 | 0.10--0.16 | Evergreen Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. More than 75 percent of the tree species maintain their leaves all year. Canopy is never without green foliage. | ¹² Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris |
| 43 | 0.160 | 0.10--0.16 | Mixed Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. Neither deciduous nor evergreen species are greater than 75 percent of total tree cover. | ¹² Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris |
| 52 | 0.100 | 0.07--0.16 | Shrub/Scrub - Areas dominated by shrubs; less than 5 meters tall with shrub canopy typically greater than 20% of total vegetation. This class includes true shrubs, young trees in an early successional stage or trees stunted from environmental conditions. | ¹² Table 5-6 D-2.c.5 |
| 71 | 0.035 | 0.025--0.050 | Grassland/Herbaceous - Areas dominated by graminoid or herbaceous vegetation, generally greater than 80% of total vegetation. These areas are not subject to intensive management such as tilling, but can be utilized for grazing. | ¹² Table 5-6 D-2.a.2 |
| 81 | 0.030 | 0.025--0.050 | Pasture/Hay - Areas of grasses, legumes, or grass-legume mixtures planted for livestock grazing or the production of seed or hay crops, typically on a perennial cycle. Pasture/hay vegetation accounts for greater than 20 percent of total vegetation. | ¹² Table 5-6 D-2.a.1 |
| 82 | 0.035 | 0.025--0.050 | Cultivated Crops - Areas used for the production of annual crops, such as corn, soybeans, vegetables, tobacco, and cotton, and also perennial woody crops such as orchards and vineyards. Crop vegetation accounts for greater than 20 percent of total vegetation. This class also includes all land being actively tilled. | ¹² Table 5-6 D-2.b.2 |
| 90 | 0.120 | 0.045--0.15 | Woody Wetlands - Areas Where forest or shrub land vegetation accounts for greater than 20 percent of r substrate is periodically saturated with or covered with water. | ¹² Table 5-6 D-1.a.8 |
| 95 | 0.070 | 0.05--0.085 | Emergent Herbaceous Wetlands - Areas where perennial herbaceous vegetation accounts for greater than 80 percent of vegetative cover and the soil or substrate is periodically saturated with or covered with water. | ¹² Table 5-6 D-1.a.7 |

¹¹ 2011 National Land Cover Data Set (NLCD)

¹² Open-Channel Hydraulics, by Chow, Ven Te, 1959

¹³ HEC-RAS River Analysis System 2D Modeling User's Manual, Version 5.0, February 2016, Figure 3-19

Tabella A.2.3: Fonti bibliografiche per l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza in funzione dell'uso del suolo